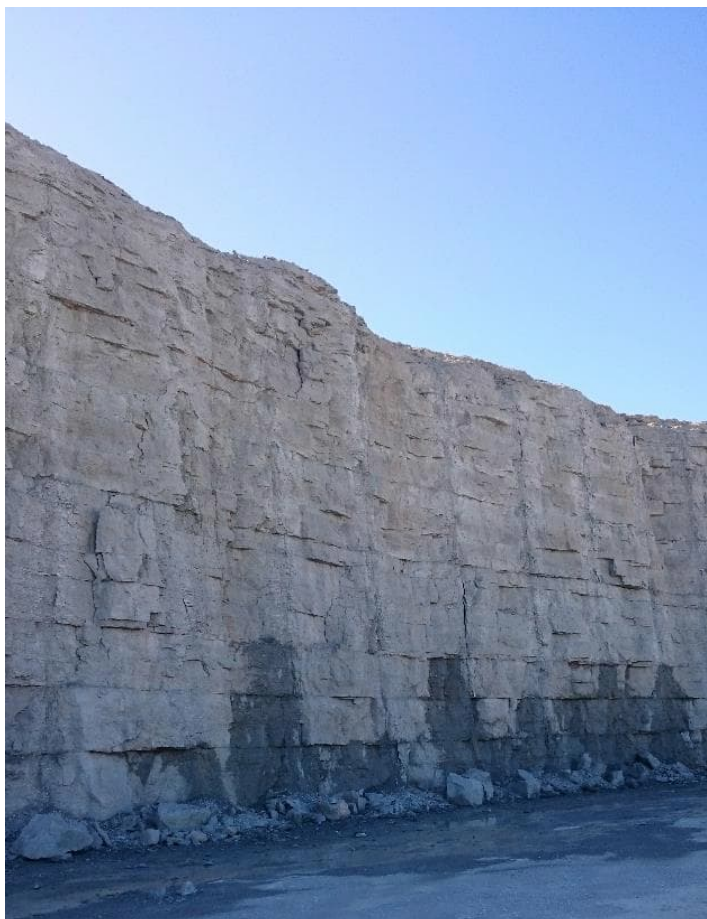


# GRUNDVATTENMODELL FÖR ANSÖKAN OM UTÖKAD TÄKTVERKSAMHET VID SLITE, GOTLAND

Modell version 2023



December 2023

Johan Holmén Fil.dr.



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

---

<b>1. INLEDNING OCH SYFTE</b>	<b>7</b>
<b>2. GEOLOGISKA OCH HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN</b>	<b>9</b>
2.1 BERGGRUND	9
2.1.1 Allmänt	9
2.1.2 Revkalksten	10
2.2 STRUKTURGEOLOGI	13
2.3 KVARTÄRA AVLAGRINGAR	14
2.4 HYDROGEOLOGI	15
2.4.1 Vattenförande strukturer	15
2.4.2 Jordgrundvatten och berggrundvatten	16
2.5 HYDROMETEOROLOGI	20
2.5.1 Allmänt	20
2.5.2 Nuvarande situation – observerade data.	20
2.5.3 Framtida förhållanden – Klimatscenarier	24
2.6 DE KOMMUNALA PRODUKTIONSBRUNNARNA	26
2.7 VATTENBORTLEDNING FRÅN DAGBROTEN	27
<b>3. BERÄKNINGSMETODIK OCH TEORETISKA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR MODELLEN</b>	<b>31</b>
3.1 DEN SYSTEMANALYTISKA METODEN	31
3.2 FORMELL MATEMATISK MODELL OCH PROGRAMKOD	31
<b>4. BESKRIVNING AV DEN UPPRÄTTADE MODELLEN</b>	<b>34</b>
4.1 STORLEK	34
4.2 KOORDINATSYSTEM	35
4.3 NUMERISKT BERÄKNINGSNÄT	36
4.4 RANDVILLKOR - HYDRAULISKA GRÄNSER	38
4.5 VERTIKAL INDELNING I GEOLOGISKA OCH NUMERISKA LAGER	38
4.6 OMRÅDEN MED REVKALK	40
4.7 ÖVERGÅNGSZONER	40
4.8 DEFINITION AV DE KOMMUNALA PRODUKTIONSBRUNNARNA I DEN UPPRÄTTADE MODELLEN	41
4.9 KROSSZONEN ÖSTER OM FILE HAJDAR	42
4.10 BERGGRUNDVATTENNIVÅ OCH REPRESENTATIV GRUNDVATTENNIVÅ I BERG OCH BRUNNAR	43
4.11 GENOMSLÄPPLIGHET (K-VÄRDEN) ETC.	43
4.11.1 Injektering vid Västra brottet	51
4.12 KALIBRERING	52
4.12.1 Den nuvarande situationen (år 2021 och 2022)	52
4.12.2 Metodik	52
4.12.3 Sensitivitetsanalys	54
4.12.4 Grundvattennivåer	54
4.12.5 Vattenbortledning från dagbrotten	64
4.12.6 Andelen grundvatteninflöde	64
4.12.7 Pumpade volymer och vattennivåer i de kommunala brunnarna	66
4.13 BERÄKNAD GRUNDVATTENBILDNING	67
4.14 INDIREKT PÅVERKANSOMRÅDE	70
4.15 GRÄNSVÄRDE FÖR PÅVERKANSOMRÅDE	71
4.16 VATTENMAGASINEN I FILE HAJDAR DAGBROTT	74
4.17 MODELLSIMULERING AV SPÅRÄMNESTEST	75
4.17.1 Inledning	75
4.17.2 Spårämnestest i BH2212	76
4.17.2.1 Provtagning i BH2212	76
4.17.2.2 Simulering av spårämnestesten i BH2212 - Metod	81
4.17.2.3 Simulering av spårämnestesten i BH2212 - Resultat	82
4.17.2.4 Simulering av spårämnestesten i BH2212 - Slutsats	87
4.17.3 Spårämnestest i SGU2017	87

4.17.3.1	Provtagning i SGU2017	87
4.17.3.2	Simulering av spårämnestesten i SGU2017 - Metod	88
4.17.3.3	Simulering av spårämnestesten i SGU2017 - Resultat	88
4.17.3.4	Simulering av spårämnestesten i SGU2017 - Slutsats	90
<b>5.</b>	<b>FRAMTIDA SITUATIONER</b>	<b>91</b>
5.1	BERÄKNINGSFALL	91
<b>6.</b>	<b>RESULTAT FÖR ANSÖKT SITUATION UTAN SKYDDSÅTGÄRDER</b>	<b>96</b>
6.1	ANSÖKT SITUATION ÅR 8. INGA SKYDDSÅTGÄRDER	96
6.1.1	<i>Jämförelse och dagbrott</i>	96
6.1.2	<i>Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden</i>	97
6.1.3	<i>Flöde i de kommunala produktionsbrunnarna</i>	98
6.1.4	<i>Utflöde från Tingstäde träsk</i>	98
6.1.5	<i>Beräknade påverkansområden</i>	99
6.2	ANSÖKT SITUATION ÅR 20. INGA SKYDDSÅTGÄRDER:	104
6.2.1	<i>Jämförelse och dagbrott</i>	104
6.2.2	<i>Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden</i>	105
6.2.3	<i>Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott under ett normalår</i>	106
6.2.4	<i>Flöde i de kommunala produktionsbrunnarna</i>	106
6.2.5	<i>Utflöde från Tingstäde träsk</i>	106
6.2.6	<i>Beräknade påverkansområden (normalår)</i>	107
6.3	ANSÖKT SITUATION ÅR 30. INGA SKYDDSÅTGÄRDER:	112
6.3.1	<i>Jämförelse och dagbrott</i>	112
6.3.2	<i>Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden</i>	113
6.3.3	<i>Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott under ett normalår</i>	114
6.3.4	<i>Flöde i de kommunala produktionsbrunnarna</i>	114
6.3.5	<i>Utflöde från Tingstäde träsk</i>	115
6.3.6	<i>Beräknade påverkansområden (normalår)</i>	115
<b>7.</b>	<b>-RESULTAT FÖR ANSÖKT SITUATION MED SKYDDSÅTGÄRDER</b>	<b>121</b>
7.1	SKYDDSÅTGÄRDER	121
7.1.1	<i>Syftet med skyddsåtgärder</i>	121
7.1.2	<i>Olika typer av skyddsåtgärder</i>	121
7.1.3	<i>Injekttering</i>	121
7.1.4	<i>Infiltration av grundvatten</i>	122
7.1.5	<i>Höjning av vattennivån i Västra brottet</i>	124
7.2	RESULTAT MED SKYDDSÅTGÄRDER	125
7.2.1	<i>Situation</i>	125
7.2.1.1	<i>Injektteringslinjens placering</i>	125
7.2.1.2	<i>Infiltrationsbrunnarnas placering</i>	125
7.2.1.3	<i>Infiltrerade volymer</i>	127
7.2.2	<i>Påverkansområden</i>	128
7.2.3	<i>Flödesvägar från infiltrationsbrunnar</i>	128
7.2.4	<i>Scenario år 8: Skyddsåtgärder: Injekttering och en infiltrationsbrunn</i>	134
7.2.4.1	<i>Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott</i>	134
7.2.4.2	<i>Flöde i de kommunala produktionsbrunnarna</i>	135
7.2.4.3	<i>Utflöde från Tingstäde träsk</i>	135
7.2.4.4	<i>Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden</i>	135
7.2.4.5	<i>Beräknade påverkansområden</i>	135
7.2.5	<i>Scenario år 8: Skyddsåtgärder: Injekttering och tre infiltrationsbrunnar</i>	140
7.2.5.1	<i>Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott</i>	140
7.2.5.2	<i>Flöde i de kommunala produktionsbrunnarna</i>	140
7.2.5.3	<i>Utflöde från Tingstäde träsk</i>	141
7.2.5.4	<i>Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden</i>	141
7.2.5.5	<i>Beräknade påverkansområden</i>	141
7.2.6	<i>Scenario år 20: Skyddsåtgärder: Injekttering och två infiltrationsbrunnar</i>	146
7.2.6.1	<i>Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott</i>	146
7.2.6.2	<i>Flöde i de kommunala produktionsbrunnarna</i>	147
7.2.6.3	<i>Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden</i>	147
7.2.6.4	<i>Utflöde från Tingstäde träsk</i>	147
7.2.6.5	<i>Beräknade påverkansområden</i>	147

7.2.7	<i>Scenario år 30: Skyddsåtgärder: Injekttering och två infiltrationsbrunnar</i>	153
7.2.7.1	Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott	153
7.2.7.2	Flöde i de kommunala produktionsbrunnarna	154
7.2.7.3	Utflöde från Tingstäde träsk	154
7.2.7.4	Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden	154
7.2.7.5	Beräknade påverkansområden	154
7.2.8	<i>Scenario år 30 med skyddsåtgärder (Sky5): Beräknade grundvattennivåer.</i>	160
<b>8.</b>	<b>SUCCESSION UTVECKLING UNDER DEN ANSÖKTA PERIODEN</b>	<b>164</b>
8.1	BERÄKNAT INFLÖDE TILL FILE HAJDAR DAGBROTT MED OCH UTAN SKYDDSÅTGÄRDER	164
8.2	BERÄKNAD VATTENNIVÅ I VÄSTRA BROTTET	165
8.3	BERÄKNAT INFLÖDE TILL ÖSTRA BROTTET	166
8.4	TINGSTÄDE TRÄSK. BERÄKNAT GRUNDVATTENFLÖDE MED OCH UTAN SKYDDSÅTGÄRDER	167
8.5	BERÄKNAD FÖRÄNDRING I FLÖDE I ANERÅN	168
8.6	DISKUSSION KRING BERÄKNAD FÖRÄNDRING AV MÄNGDEN YTLIGT BERGGRUNDVATTEN, MED OCH UTAN SKYDDSÅTGÄRDER, OCH MÄNGDEN INFILTRERAT VATTEN	169
8.7	DISKUSSION KRING BERÄKNADE GRUNDVATTENFLÖDEN OCH STORLEKEN PÅ PALL 2 I FILE HAJDAR DAGBROTT	172
8.8	PÅVERKANSOMRÅDEN – SUCCESSION UTVECKLING	176
8.8.1	<i>Avsänkning - Vårsituation - April</i>	176
8.8.2	<i>Avsänkning- Lågvattensituationen – Juli (sommar)</i>	179
8.8.3	<i>Avsänkning- Höstsituation - September</i>	182
8.8.4	<i>Avsänkning- Högvattensituationen – December (vinter)</i>	185
8.8.5	<i>Höjning- Lågvattensituationen – Juli (sommar)</i>	188
8.8.6	<i>Höjning- Högvattensituationen – December (vinter)</i>	191
<b>9.</b>	<b>SITUATIONEN EFTER ATT DEN ANSÖKTA VERKSAMHETEN HAR AVSLUTATS</b>	<b>194</b>
9.1	ALLMÄNT	194
9.2	BERÄKNAD VATTENNIVÅ I FILE HAJDAR DAGBROTT EFTER DEN ANSÖKTA VERKSAMHETEN HAR AVSLUTATS	195
9.3	DISKUSSION KRING FRAMTIDA FÖRÄNDRING AV BERGGRUNDVATTENNIVÅER OCH FLÖDET AV YTLIGT BERGGRUNDVATTEN	196
9.4	JÄMFÖRELSE AV NUVARANDE OCH FRAMTIDA SITUATION EFTER AVSLUTNING. SITUATION CA 10 ÅR EFTER AVSLUTAD VERKSAMHET	198
9.4.1	<i>Jämförelse och dagbrott</i>	198
9.4.2	<i>Flöde och vattennivå i de kommunala produktionsbrunnarna</i>	198
9.4.3	<i>Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden</i>	199
9.4.4	<i>Utflöde från Tingstäde träsk</i>	200
9.4.5	<i>Beräknade påverkansområden (normalår)</i>	200
9.5	JÄMFÖRELSE AV NUVARANDE OCH FRAMTIDA SITUATION EFTER AVSLUTNING. SITUATION CA 80 ÅR EFTER AVSLUTAD VERKSAMHET	206
9.5.1	<i>Jämförelse och dagbrott</i>	206
9.5.2	<i>Flöde och vattennivå i de kommunala produktionsbrunnarna</i>	206
9.5.3	<i>Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden</i>	207
9.5.4	<i>Utflöde från Tingstäde träsk</i>	208
9.5.5	<i>Beräknade påverkansområden (normalår)</i>	208
<b>10.</b>	<b>NOLLALTERNATIVET</b>	<b>214</b>
10.1	ALLMÄNT	214
10.2	BERÄKNAD VATTENNIVÅ I FILE HAJDAR DAGBROTT VID NOLLALTERNATIVET	216
10.3	BERÄKNAD VATTENNIVÅ I VÄSTRA OCH ÖSTRA BROTTEN VID NOLLALTERNATIVET	217
10.4	NOLLALTERNATIVET ÅR 8	218
10.4.1	<i>Studerad situation</i>	218
10.4.2	<i>Beräknade påverkansområden</i>	218
10.5	NOLLALTERNATIVET ÅR 20	223
10.5.1	<i>Studerad situation</i>	223
10.5.2	<i>Beräknade påverkansområden</i>	223
10.6	NOLLALTERNATIVET ÅR 30	229
10.6.1	<i>Studerad situation</i>	229
10.6.2	<i>Beräknade påverkansområden</i>	229
10.7	NOLLALTERNATIVET ÅR 70	235
10.7.1	<i>Studerad situation</i>	235
10.7.2	<i>Flöde och vattennivå i de kommunala produktionsbrunnarna</i>	235

10.7.3	<i>Utflöde från Tingstäde träsk</i>	235
10.7.4	<i>Beräknade påverkansområden</i>	236
<b>11.</b>	<b>PÅVERKAN PÅ GRUNDVATTENFLÖDENA I GRUNDVATTENFÖREKOMSTERNA – SITUATIONEN MED SKYDDSÅTGÄRDER</b>	<b>242</b>
11.1	INLEDNING	242
11.2	BERÄKNINGAR FÖR SITUATIONEN ÅR 8 MED SKYDDSÅTGÄRDER	242
11.2.1	<i>Grundvattenförekomster och största påverkansområde år 8</i>	242
11.2.2	<i>Norra Gotland – Stenkyrka – Grundvattenflöden år 8</i>	244
11.2.3	<i>Norra Gotland – Kappelshamn - Grundvattenflöden år 8</i>	247
11.2.4	<i>Mellersta Gotland - Roma – Vattenavledning år 8</i>	250
11.2.5	<i>Mellersta Gotland - Roma – Grundvattenflöden år 8</i>	251
11.2.6	<i>Tillströmningsområde år 8</i>	252
11.3	BERÄKNINGAR FÖR SITUATIONEN ÅR 30 MED SKYDDSÅTGÄRDER	255
11.3.1	<i>Grundvattenförekomster och största påverkansområde år 30</i>	255
11.3.2	<i>Norra Gotland – Stenkyrka – Grundvattenflöden år 30</i>	257
11.3.3	<i>Norra Gotland – Kappelshamn - Grundvattenflöden år 30</i>	260
11.3.4	<i>Mellersta Gotland - Roma – Vattenavledning år 30</i>	263
11.3.5	<i>Mellersta Gotland - Roma – Grundvattenflöden år 30</i>	265
11.3.6	<i>Tillströmningsområde år 30</i>	266
<b>12.</b>	<b>BERÄKNING AV SALTHALTER</b>	<b>269</b>
12.1	INLEDNING	269
12.2	SYFTE	271
12.3	GRÄNSVÄRDEN	271
12.4	UPPMÄTTA SALTHALTER RUNT VÄSTRA OCH ÖSTRA BROTTEN	271
12.5	UPPMÄTTA SALTHALTER I DE KOMMUNALA PRODUKTIONSBRUNNARNA	272
12.6	KONCEPTUELL BESKRIVNING	273
12.7	SALTVATTENMODELLEN 2023	274
12.7.1	<i>Randvillkor</i>	274
12.7.2	<i>Beräkningsmetodik</i>	276
12.7.3	<i>Initialvillkor</i>	277
12.7.4	<i>Beräkningsfall</i>	277
12.8	KALIBRERING, DISKUSSION OCH VISUALISERING AV REFERENSSITUATIONEN	278
12.8.1	<i>Kalibrering mot salthalterna i de kommunala produktionsbrunnarna</i>	278
12.8.2	<i>Kalibrering mot salthalter runt Västra brottet</i>	279
12.8.3	<i>Visualisering och diskussion av salthalter för referenssituationen</i>	281
12.9	FRAMTIDA SALTHALTER I DE KOMMUNALA PRODUKTIONSBRUNNARNA	286
12.10	FRAMTIDA SALTHALTER VID VÄSTRA BROTTET	290
12.11	FRAMTIDA SALTHALTER VID FILE HAJDAR DAGBROTT	292
<b>13.</b>	<b>SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER</b>	<b>293</b>
<b>14.</b>	<b>REFERENSER</b>	<b>307</b>
<b>15.</b>	<b>SIMULATION ID</b>	<b>308</b>
<b>16.</b>	<b>APPENDIX A: SENSITIVITETSANALYS AV MODELLENS KALIBRERING</b>	<b>310</b>
16.1	SYFTE	310
16.2	DEN KALIBRERADE MODELLEN	310
16.3	SENSITIVITET MED AVSEENDE PÅ BERGETS GENOMSLÄPPLIGHET	311
16.3.1	<i>Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och vattennivåerna i observationsbrunnarna</i>	312
16.3.2	<i>Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och vattennivåerna i produktionsbrunnarna</i>	315
16.3.3	<i>Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och grundvatteninflöde till File hajdar dagbrott</i>	317
16.3.4	<i>Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och grundvatteninflöde till Västra och Östra brotten</i>	320
16.4	DISKUSSION	323
<b>17.</b>	<b>APPENDIX B – SÄRSKILD JÄMFÖRELSE AV TVÅ FRAMTIDA SITUATIONER</b>	<b>324</b>
17.1.1	<i>Beräknade påverkansområden</i>	324

<b>18. APPENDIX C - NOLLALTERNATIVET - VARIANT 2.</b>	<b>329</b>
18.1 INLEDNING	329
18.2 NOLLALTERNATIVET ÅR 8	330
18.2.1 Studerad situation	330
18.2.2 Beräknade påverkansområden	330
18.3 NOLLALTERNATIVET ÅR 20	335
18.3.1 Studerad situation	335
18.3.2 Beräknade påverkansområden	335
18.4 NOLLALTERNATIVET ÅR 30	341
18.4.1 Studerad situation	341
18.4.2 Beräknade påverkansområden	341
18.5 NOLLALTERNATIVET ÅR 70	347
18.5.1 Studerad situation	347
18.5.2 Beräknade påverkansområden	347
<b>19. APPENDIX D: FÖRÄNDRING AV GRUNDVATTENFLÖDEN I LOKALA OMRÅDEN. BERÄKNINGSMETODIK</b>	<b>353</b>
19.1.1 Metodik	353
19.1.2 Område 1	356
19.1.3 Område 2	357
19.1.4 Område 3	358
19.1.5 Område 4	359
19.1.6 Område 5	360
19.1.7 Område 6	361
19.1.8 Område 7	362
19.1.9 Område 8	363
<b>20. APPENDIX E - BERÄKNAD FÖRÄNDRING AV FLÖDET AV YTTLIGT BERGRUNDVATTEN I LOKALA AVRINNINGSSOMRÅDEN</b>	<b>364</b>
<b>21. APPENDIX F – HUR EFFEKTEN AV INJEKTERING AV BERGET ÄR INKLUDERAD I MODELLEN</b>	<b>374</b>
<b>22. APPENDIX G – TABELL ÖVER OLIKA BERÄKNADE FLÖDEN – SITUATIONEN MED SKYDDSÅTGÄRDER</b>	<b>378</b>

## 1. INLEDNING OCH SYFTE

Heidelberg materials Cement Sverige AB (händanefter benämnt "Heidelberg Materials") bedriver kalkstensbrytning i närheten av Slite på nordöstra Gotland. För närvarande bedrivs verksamhet i två dagbrott, Västra brottet och File hajdar dagbrott. Brytningen av kalksten i Västra brottet påbörjades i slutet av 60-talet och brytningen av kalksten i File hajdar dagbrott påbörjades runt 1983. Tidigare bröts kalksten också i ett mindre tredje dagbrott – Östra brottet - beläget strax öster om Västra brottet. Östra brottet används numera för att lagra sten och bränsle, och av den anledning länshålls dagbrottet. Både Västra och Östra brottet ligger nära Östersjön (några hundra meter till en kilometer). Dagbrottet på File hajdar ligger ca 6 km från strandlinjen.

Heidelberg Materials ansöker nu om tillstånd till fortsatt och utökad täktverksamhet i Slite. Ansökan omfattar sammanfattningsvis 30 års täktverksamhet vid och länshållning av File hajdar-täkten, 8 års täktverksamhet vid och länshållning av Västra brottet samt en tidsobegränsad länshållning av Östra brottet. WSP har fått i uppdrag att utreda den ansökta verksamhetens hydrogeologiska påverkan. Denna modellstudie utgör en del av den utredningen.

Syftet med modellstudier är vanligtvis att förutsäga vad som i framtiden kommer att hända med ett studerat naturligt system. Det studerade systemet representeras matematiskt av en upprättad modell. Syftet med denna studie är att med hjälp av en modell beräkna hur grundvattensituationen i det studerade området påverkas av den ansökta utökningen av dagbrottet på File hajdar. Dessutom beräknas hur grundvattensituationen påverkas av att dagbrotten i framtiden vattenfylls. Följande scenarier har studerats:

### *Referenssituationer*

Kalibrerad situation: Situationen vid år 2021:	Scenario LT1-2021.
Referenssituation: Framtida situation, nuvarande tillstånd utbrutet:	Scenario LT2.

### *Framtida situation, ansökt tillstånd utan skyddsåtgärder:*

Framtida situation, ansökt tillstånd år 8	Scenario Sc8R4K-VbG1
Framtida situation, ansökt tillstånd år 20	Scenario Sc20R4K-VbG1
Framtida situation, ansökt tillstånd år 30	Scenario Sc30R4K-VbG1

### *Framtida situation, ansökt tillstånd med skyddsåtgärder:*

Framtida situation, ansökt tillstånd år 8	Scenario Sc8R4K-VbG1-Sky
Framtida situation, ansökt tillstånd år 20	Scenario Sc20R4K-VbG1-Sky
Framtida situation, ansökt tillstånd år 30	Scenario Sc30R4K-VbG1-Sky

### *Framtida situation, ansökt tillstånd, efter avslutad verksamhet:*

Framtida situation.....	Scenario Sc70R4K-VbG1-Sky
-------------------------	---------------------------

### *Framtida situation, nollalternativ:*

Framtida situation Nollalternativ år 8	Scenario LT2-noll-8a
Framtida situation Nollalternativ år 20	Scenario LT2-noll-20a
Framtida situation Nollalternativ år 30	Scenario LT2-noll-30a
Framtida situation Nollalternativ år 70	Scenario LT2-noll-70a

Följande frågeställningar har studerats i större detalj (med och utan skyddsåtgärder).

Hur påverkas:

- Grundvattensituationen kring dagbrotten.
- Vatteninflödet till dagbrotten.
- De kommunala vattentäkterna öster om File hajdar dagbrott.
- Berggrundvatten i lokala avrinningsområden kring File hajdar.
- Berggrundvatten i vattenförekomstområdena kring File hajdar.
- Saltvattensituationen i produktionsbrunnarna och vid Västra brottet.

Grundvattensituationen utvärderas genom en systemanalytisk metod och numerisk grundvattenmodellering.

Vid Heidelberg materials (då "Cementa") tidigare ansökningar om utvidgat täktområde har grundvattenmodeller också använts. Olika generationer av modeller har uppdaterats och använts: En första modell går tillbaka till början på 1990-talet (1991), och en andra modell från slutet på 1990-talet och början på 2000-talet. En ny modell upprättades 2007 (Modell 2007) och en förstorad och uppdaterad modell upprättades 2017 (Modell 2017), ytterligare en uppdaterad modell togs fram 2021 (Modell 2021), och även för denna ansökan 2023 har en uppdaterad modell tagits fram (Modell 2023). Från början på 2000-talet har alla modellerna upprättats i datorprogrammet Geon. Det är Modell 2023 som vi diskuterar i detta dokument.

Alla de upprättade modellerna bygger på samma grundläggande hydrogeologiska beskrivning. För varje generation av modeller har dock beskrivningen förfinats och mer information lagts till, baserat på utförda fältundersökningar och observerade grundvattennivåer och flöden. Modell 2023 baseras på den konceptuella modell som har presenterats i denna rapport och i den hydrogeologiska huvudrapporten.



## 2. GEOLOGISKA OCH HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

Nedan följer en kort sammanfattning av de geologiska och hydrogeologiska förhållandena vid det studerade området, Slite, File hajdar och dess omgivning. Mer information finns i den hydrogeologiska huvudrapporten.

### 2.1 Berggrund

#### 2.1.1 Allmänt

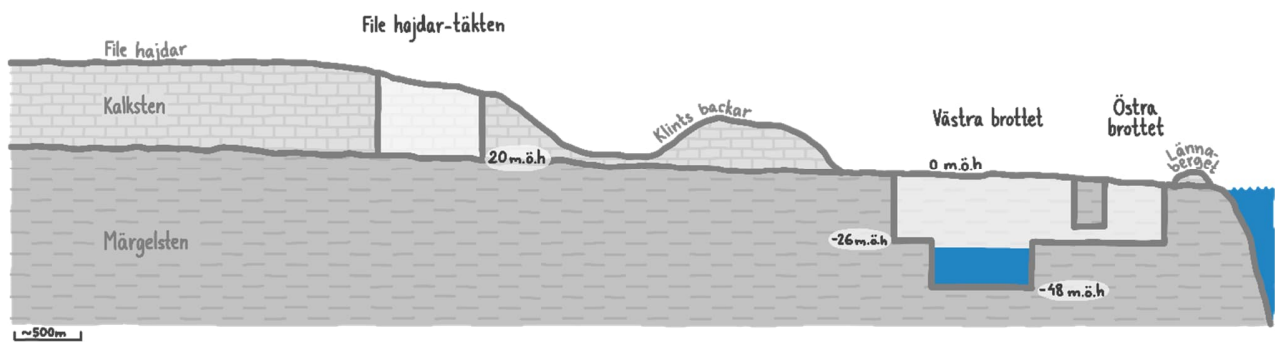
Gotlands berggrund består av sedimentära bergarter. Bergarterna ursprung är sediment som avsattes i ett subtropiskt till tropiskt hav. De ytnära bergarterna är av silurisk ålder (-415– 440 miljoner år gamla). En betydande andel av dessa bergarter utgörs av kalksten med hög kalciumkarbonathalt. Förutom kalksten finns mörkelsten. På vissa ställen finns också sandsten. De siluriska sedimentbergarterna varierar i mäktighet mellan ca 200m (norra Gotland) och ca 500 m (södra Gotland). Under de siluriska sedimentbergarterna finns äldre sedimentbergarter av ordovicisk och kambrisk ålder, som tillsammans har en mäktighet av 150–225 m. De sedimentära lagren på Gotland är nära horisontala i den lokala skalan, men uppvisar i en större skala i allmänhet en strykning mot nordost–sydväst och en svag stupning (mellan 0,15° och 0,3°) mot sydost.

Av särskilt intresse för den industriella användningen av kalksten är Slitelagren. Slitelagren består av kalkstenar, mörkelstenar och sandstenar. Mörkelstenar består av karbonat- och silikatbergarter. Det finns övergångsformer mellan kalkstenar och mörkelstenar. De kallas vanligen leriga kalkstenar.

Det studerade områdets berggrund består av lagrad kalksten: kristallinisk kalksten, revkalksten och mörkelsten. Mörkelstenen överlagras av den lagrade kalkstenen och revkalkstenen. Se principskiss i Figur 2-1.

Vid File hajdar-täkten, i de obrutna delarna, överlagras mörkelstenen av kalksten med en mäktighet på mer än 20 m (se principskiss i Figur 2-1). File hajdar-täktens södra kant utgörs av revkalksten. Revstrukturen är främst belägen i kalkstenen men sträcker sig även ner i mörkelstenen.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 2-1 Principskiss geologi File hajdar och Västra brottet. Figuren illustrerar förhållandena i utgångsläget (den 31 december 2026), precis innan det befintliga tillståndet löper ut.

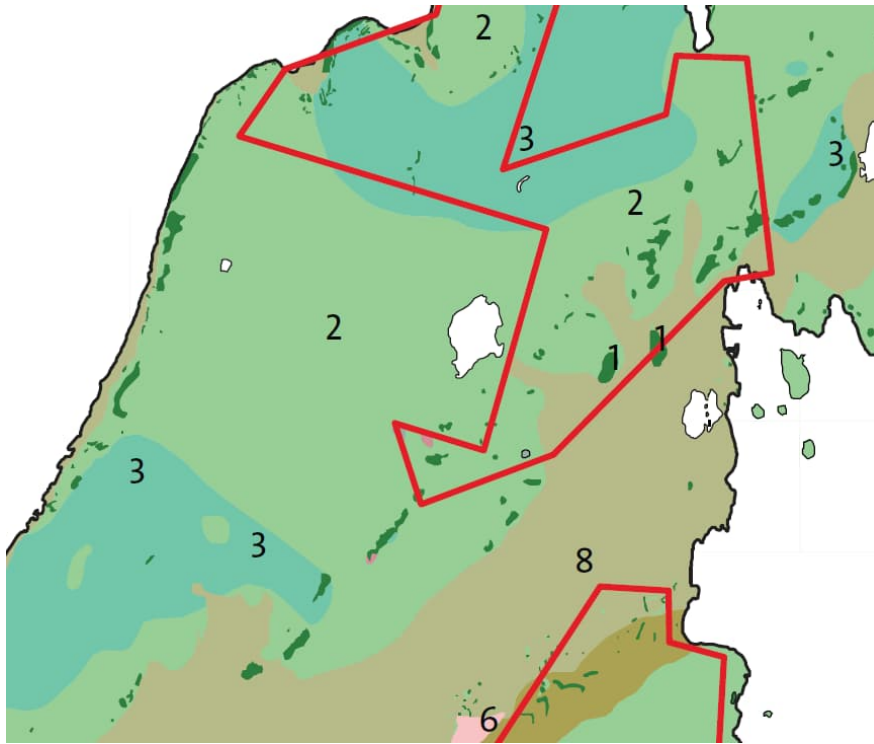
### 2.1.2 Revkalksten

I den upprättade modellen har revkalksten inkluderats. Utbredningen av revkalkstenen har tolkats från SGU:s karteringar och topografin. Figur 2-2 visar områden kring Slite och Tingstäde träsk där revkalksten kan identifieras vid markytan (kartering av SGU). De karterade områdena kan korreleras till topografin; den karterade revkalkstenen tenderar att förekomma i områden med högre topografi. Revkalksten förekommer normalt ovanpå den lagrade kalkstenen och på vissa platser förekommer revkalksten direkt ovanpå märgelstenen. Revkalkstenen ligger normalt överst i den sedimentära lagerföljden vid Slite.

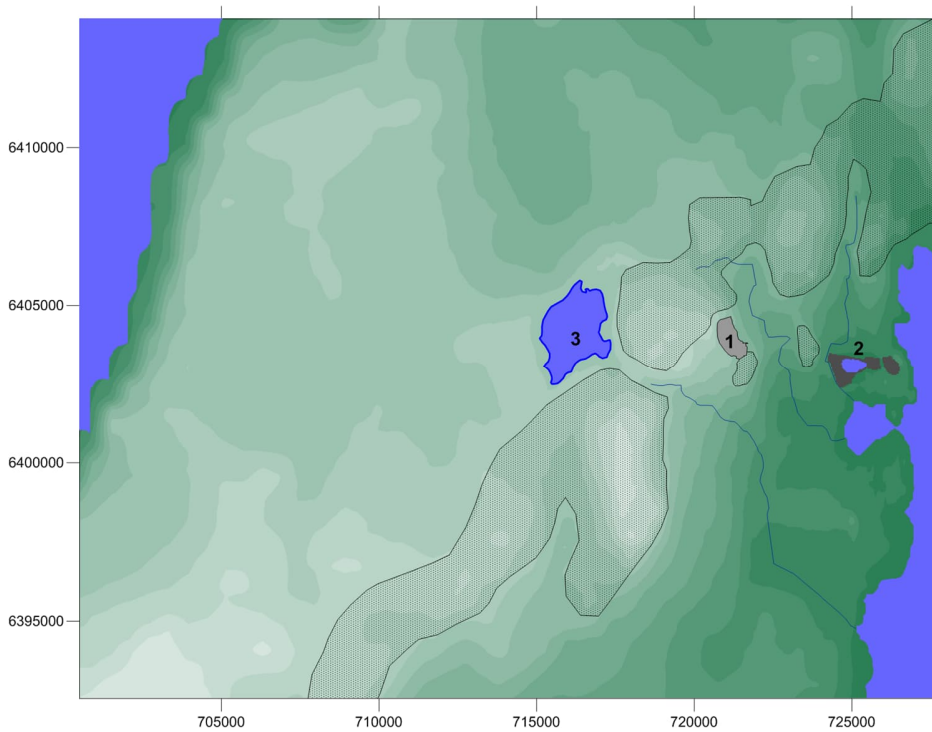
Revkalkstenen förekommer inte bara vid de karterade områdena (Figur 2-2), utan troligtvis också i varierande omfattning mellan dessa områden – i synnerhet längs med den högre topografin. Vi har därför för denna studie sammanbundit de karterade områdena med revkalk till ett större kontinuerligt område, se Figur 2-3. Vår tolkning av revkalkstenens utbredning baseras på SGU:s karteringar och våra fätobservationer.

Revkalkstenen kan i verkligheten ha en större eller mindre utbredning än vad som framgår av Figur 2-3. Enligt en beskrivning från SGU (SGU, 2017) förekommer revartad kalksten, som inte är exakt samma sak som revkalksten, i exempelvis stora områden öster om Hejnum hällar. Att det förekommer revkalksten vid t.ex. Hejnum hällar framgår också av vertikala profiler som har presenterats av SGU, se Figur 2-4 och Figur 2-5.

GRUNDVATTENMODELL SLITE

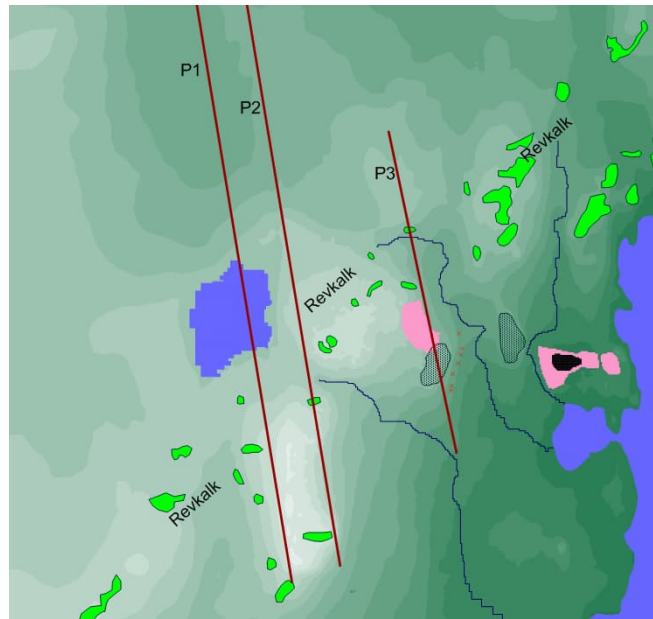


Figur 2-2 De små mörkgröna områdena är revkalksten som kan identifieras vid markytan. Kartering av SGU. Figur från SGU 2017.

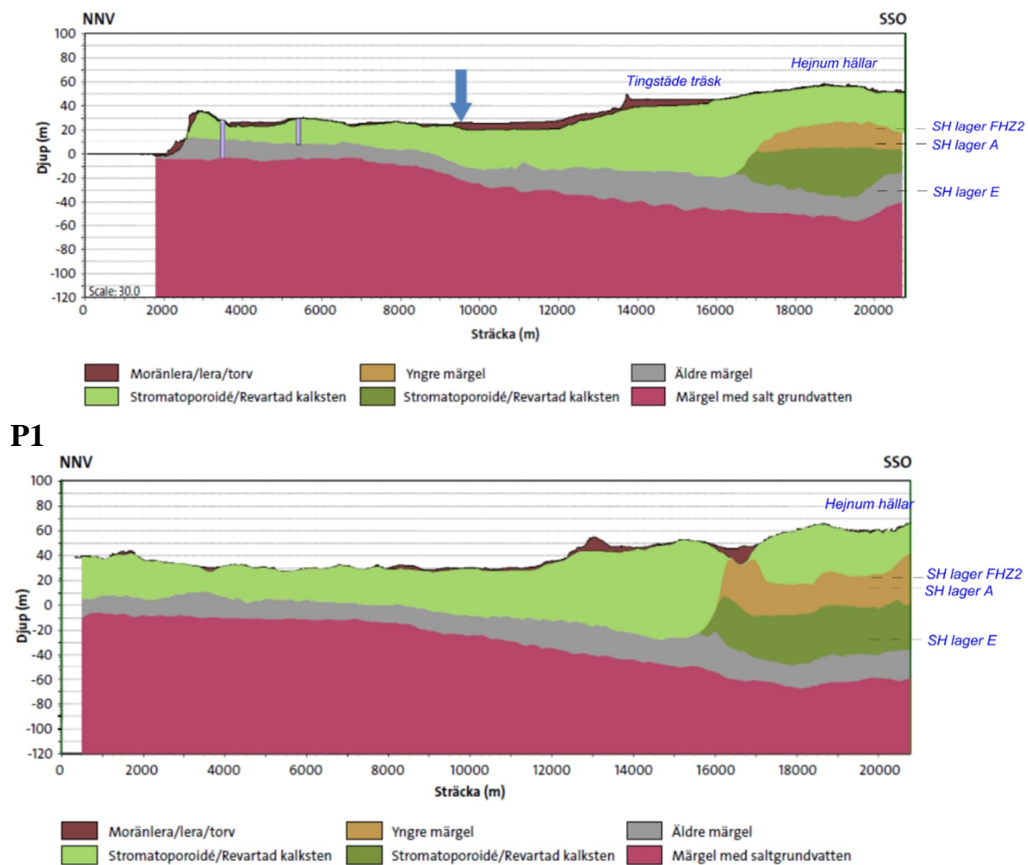


Figur 2-3 Tolkade områden med revkalk i modellen markerade som rasterade områden. Siffran 1= File hajdar dagbrott. Siffran 2= Västra brottet. Siffran 3= Tingstäde träsk.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 2-4 Placering av SGU:s vertikala profiler. Tolkat från SGU, 2017.



Figur 2-5 Tolkade profiler baserade på geofysiska undersökningar av SGU. De två figurerna är från SGU, 2017. Figurena är modifierade med blå text.

## 2.2 Strukturgeologi

Bergarterna har inte utsatts för någon omfattande tektonisk påverkan. Lagren ligger praktiskt taget horisontellt med en lutning av ca 0.3 grader åt sydost. Varken i Västra brottet eller i dagbrottet på File hajdar har några förkastningar observerats.

En konceptuell modell över de dominerande hydrogeologiska strukturerna har upprättats baserat på strukturgeologisk kartering, hydrogeologiska tester i borrhål, borrhållsloggning samt borrhållsprotokoll (se Figur 4-4 och Figur 4-6).

Grundvattenflödet är till större delen koncentrerat till subhorisontella lager, som förekommer både i kalkstenen och i den underlagrande mörkstenen. De vattenförande subhorisontella lagren som observerats i Västra brottet har extrapolerats parallellt med bergartsgränsen in under File hajdar. Extrapoleringen stöds av observationer i Västra brottet där de vattenförande lagren kan följas över en sträcka av 1 kilometer. De extrapolerade lagrens inbördes avstånd och nivåer stämmer väl överens med resistivitetsmätningar och andra hydrauliska tester i borrhål på File hajdar.

De subhorisontella vattenförande lagren framgår av Figur 2-6. Figuren visar en bergvägg i File hajdar dagbrott. De subhorisontella lagren framgår tydligt som horisontala strukturer på bergväggen. De vattenförande lagren längs med bergväggens nedre del syns tydligt genom att vatten läcker ut från dessa lager.



*Figur 2-6* Figuren visar en bergvägg i File hajdar dagbrott. De subhorisontella lagren framgår tydligt som horisontala strukturer på bergväggen. De vattenförande lagren längs med bergväggens nedre del syns tydligt genom att vatten läcker ut från dessa lager.

De subhorisontella vattenförande lagren åtskiljs av lager med tätare material. Totalt har flera (ca 6) stycken större vattenförande lager kunnat identifieras. Det vertikala flödet mellan dessa lager sker genom vertikala sprickor. Öppna vertikala sprickor med betydande öppning kan observeras i dagbrotten.

Som nämnts tidigare förekommer revkalksten ovanpå den lagrade kalkstenen och på vissa platser förekommer revkalksten direkt ovanpå mägerstenen. Från ett strukturgeologiskt och hydrogeologiskt perspektiv skiljer sig revkalkstenen från den lagrade kalkstenen och den lagrade mägerstenen. De stora kontinuerliga lager (subhorisontella lager eller strukturer) som förekommer i den lagrade kalkstenen och i den lagrade mägerstenen förekommer inte i revkalkstenen. Revkalkstenen kan sägas vara delvis lagrad, men den innehåller (normalt) inga stora kontinuerliga subhorisontella lager. Därför utgör revkalkstenen normalt en gräns för stora kontinuerliga subhorisontella lager. Se Figur 2-7.

I den svagt utvecklade dalgången öster om File hajdar är det troligt att den vertikala genomsläppligheten är något förhöjd, tex genom att antalet vertikala spricker är större än i omgivande områden, eller att området genomskärs av en eller flera större vertikala sprickzoner. Detta område, kallat krosszonen, har en huvudsaklig utbredning i Nord-sydlig riktning, strax öster om File hajdar. Zonens existens och position kan delvis tolkas från geofysiska mätningar. Krosszonen är dock inte inkluderad i alla SGU:s geofysiska tolkningar. Krosszonens förekomst har också tolkats utifrån resultat av provpumpningar. Provpumpningar av de kommunala produktionsbrunnarna (Viak 1974 och 1981) visar på att brunnarna är placerade i en linjär formation. Pumpresultaten når ingen begränsning i längd på formationen, *”zonens bredd har uppskattats till 550m och dess utsträckning i längdled har genom provpumpningar belagts till minst 2 km”* (Viak 1974 och 1981). De kommunala produktionsbrunnarna är placerade i denna krosszon.

Den strukturgeologiska tolkningen är av stor betydelse för den hydrogeologiska modellen.

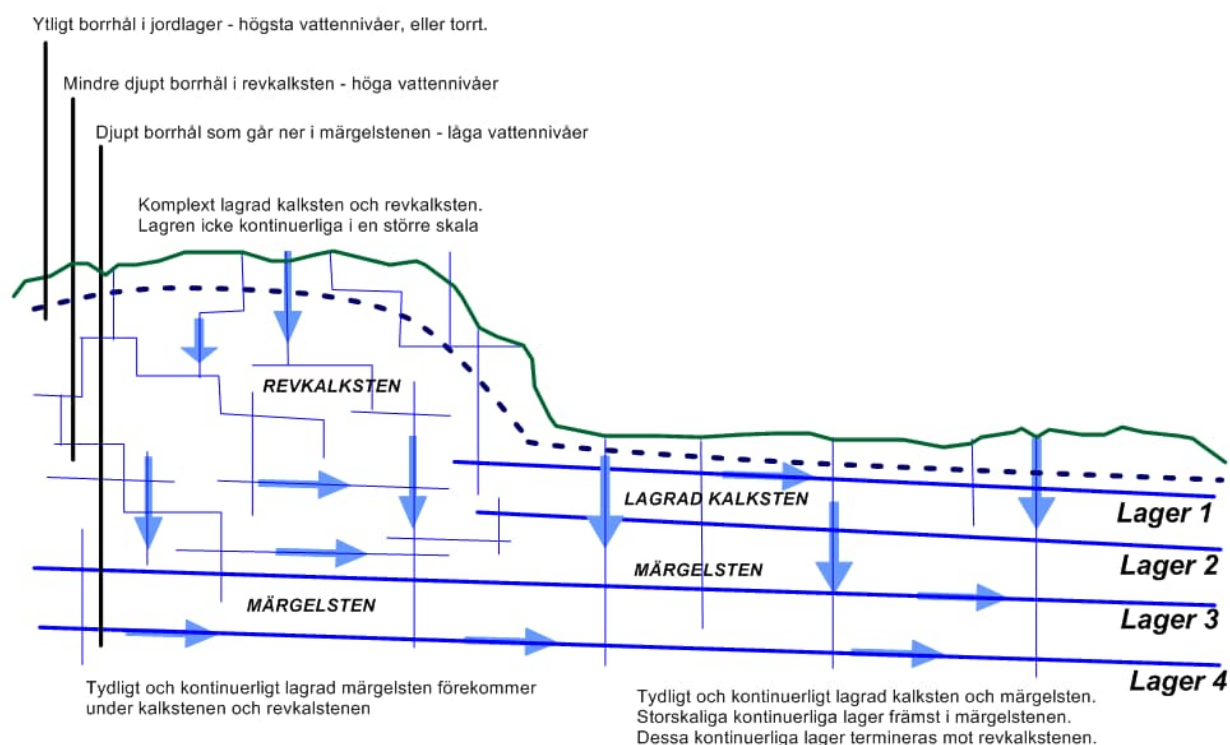
## 2.3 Kvartära avlagringar

De kvartära avlagringarna utgörs av moränlera, grus, sand, vittringsjord och mindre områden med glacial lera. Lokalt förekommer även torv och kalkgyttja. De lösa jordlagren på File hajdar utgörs huvudsakligen av ett tunt lager starkt lerhaltig vittringsjord. På flera platser saknas vittringsjorden varvid underliggande kalksten går i dagen. Lerig moränmärgel förekommer till största delen i lågpartierna i anslutning till File hajdar samt i sluttningen mot Tingstäde träsk. Sand och grusavlagringar påträffas till största delen i området mellan File hajdar och Klints backar, där de överlagrar moränmärgeln. De lösa avlagringarna i anslutning till File hajdar utgörs således av täta jordarter med ringa mäktighet. Detta medför att jordlagren till viss del begränsar infiltrationen till underliggande berggrund på File hajdar, vilket under intensiva regntillfällen kan ge upphov till en inte obetydlig ytavrinning.

## 2.4 Hydrogeologi

### 2.4.1 Vattenförande strukturer

Som nämnts ovan är grundvattenflödet till större delen koncentrerat till stora kontinuerliga subhorisontella lager. Dessa lager försörjs med vatten via subvertikala sprickor, som leder vattnet ner från markytan till de subhorisontella lagren. Stora kontinuerliga subhorisontella lager förekommer både i kalkstenen och i den underlagrande mägerlstenen, men inte i revkalkstenen. Se Figur 2-7.



Figur 2-7 Principskiss som visar en konceptuell tolkning av spricksystem och vattenförande lager för berget vid Slite och File hajdar.

Eftersom de stora kontinuerliga subhorisontella lagren som förekommer i den lagrade kalkstenen och den lagrade mägerlstenen avslutas (termineras) mot revkalkstenen, på de nivåer där dessa lager når fram till revkalkstenen, får revkalkstenen en viss hydrogeologisk betydelse. Detta illustreras i Figur 2-5 av de blå texterna i profilernas högra sida, som talar om på vilka nivåer olika vattenförande lager når fram till Hejnum hällar. I modellen avslutas de översta stora kontinuerliga subhorisontella lagren mot revkalkstenen, detta framgår av Figur 4-6.

I revkalkstenen förekommer också vattenbärande sprickor och lager, men dessa vattenbärande strukturer är inte kontinuerliga över långa avstånd. Det ska påpekas att de stora kontinuerliga subhorisontella lager som förekommer i den lagrade kalkstenen och i den lagrade mägerlstenen kan förekomma under revkalkstenen (se Figur 4-6)

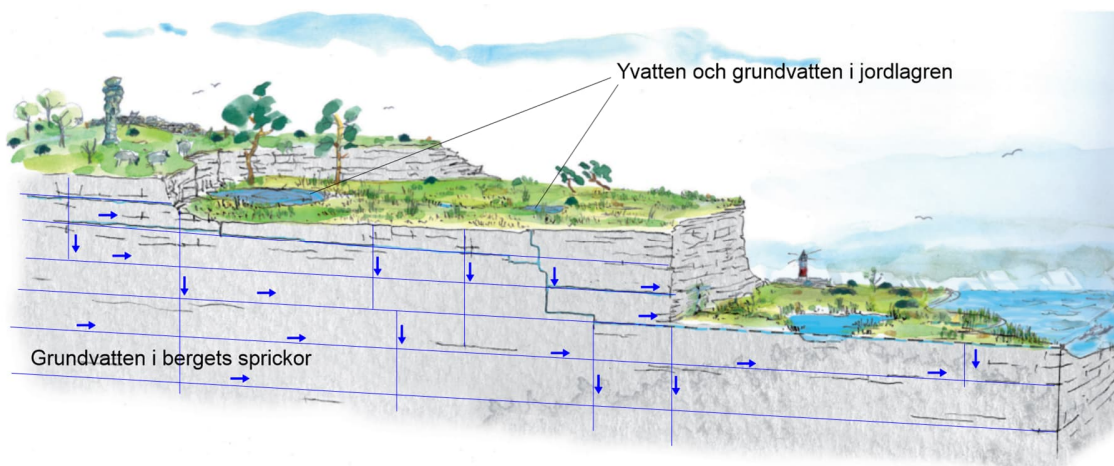
De subhorisontella vattenförande lagren åtskiljs av lager med tätare material. Totalt har minst 6 stycken vattenförande lager kunnat identifieras i mörkelstenen och i den lagrade kalkstenen (se Sektion 2.2). Det vertikala flödet mellan dessa lager sker genom vertikala sprickor.

Vittrade genomsläppliga ådror i berget (s.k. karst) förekommer på Gotland i lagrad kalksten och revkalksten, men inte i mörkelsten, dvs. på File hajdar över nivån ca +20 till +25 möh. Det har genomförts många studier av karst på Gotland. SGU har bl.a. konstaterat att: ”karstvittringen har drabbat alla typer av sprickor och är inte heller knuten till någon särskild sprickriktning. Den är mest utpräglad i berggrundens överyta där denna består av lagrad kalksten eller revkalksten. Många exempel finns på hur millimetertunna sprickor vidgats till flera decimeter. Karstvittringen avtar emellertid oftast mycket snabbt mot djupet och är mest utpräglad de översta metrarna” (SGU, 1977).

## 2.4.2 Jordgrundvatten och berggrundvatten

Grundvatten förekommer både i jordlagren och i berget. Dessa två grundvattensystem kommunicerar med varandra, men kan ha mycket olika trycknivåer. Grundvatten i jordlagren förekommer främst där det finns jordlager av viss mäktighet, ofta i dalgångar eller strandvallar. Den översta delen av grundvattensystemet kallas ibland för markvattnet, det är grundvattnet i jordlagren (markvattnet) som försörjer växterna med vatten. Grundvatten i berget förekommer i bergets spricksystem. En skiss som visar principerna för denna typ av hydrogeologi visas som Figur 2-8.

Som tidigare nämnts är grundvattnet i berget till större delen koncentrerat till subhorisontella lager, som förekommer både i kalkstenen och i den underlagrande mörkelstenen. De subhorisontella vattenförande lagren åtskiljs av lager med tätare material.



Figur 2-8 Skiss. Grundvatten förekommer både i jordlagren och i berget. De två systemen kommunicerar med varandra, men kan ha mycket olika trycknivåer. Grundvatten i jordlagren förekommer främst där det finns jordlager av viss mäktighet, ofta i dalgångar. Det är grundvattnet i jordlagren som försörjer växterna med vatten. Grundvatten i berget förekommer i bergets spricksystem. (Figur ursprungligen från SGU-rapport 2017:01, Figuren är modifierad.)

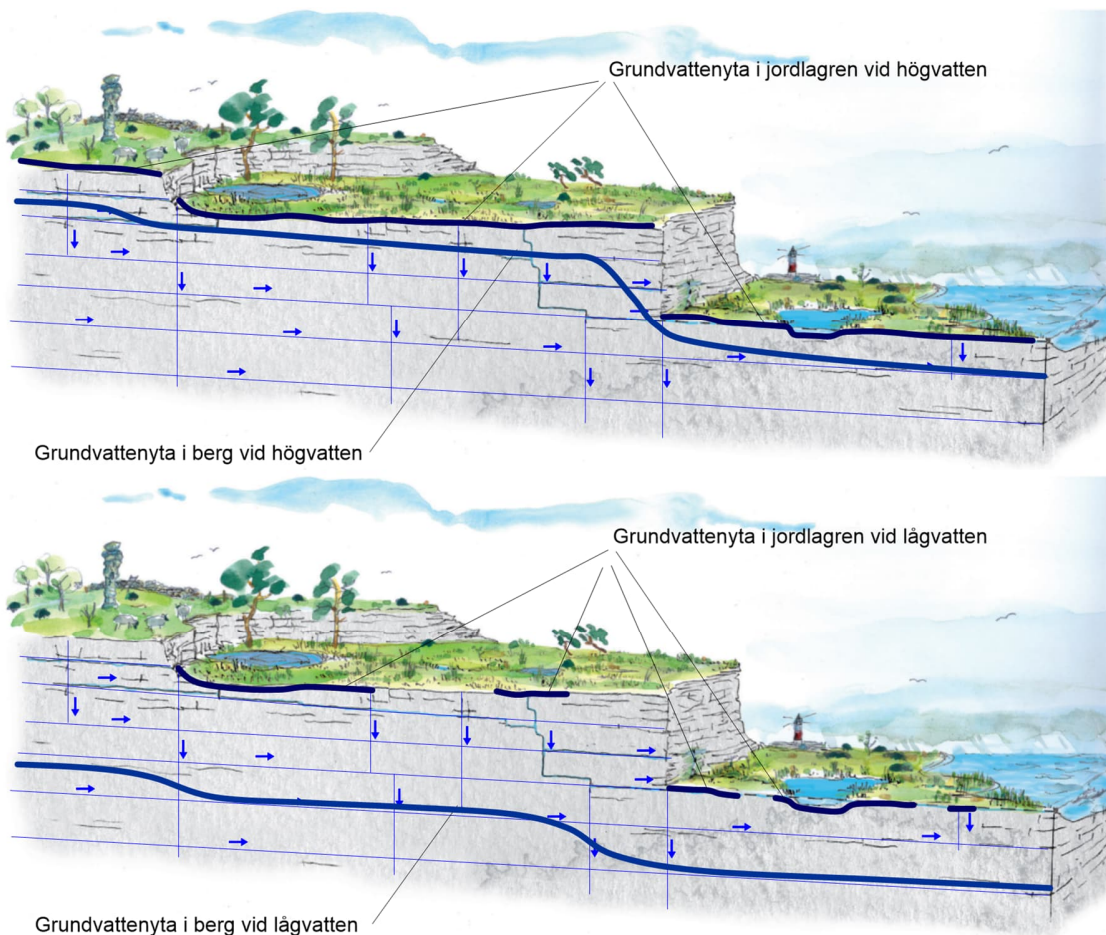
En mycket stor variation i grundvattennivå mellan olika årstider har observerats i borrhålen i berg inom det studerade området. Vattennivåerna i jordlagren varierar alls inte lika mycket, men



jordlagren kan istället inom vissa områden delvis torka ut under perioder med liten nederbörd. En skiss som visar principerna för den ovan diskuterade variationen i grundvattennivå visas som Figur 2-9.

Exempel på variation i grundvattennivå i berg och jord ges nedan i Figur 2-10. Figuren visar uppmätta grundvattennivåer under ett år för två borrhål. BH2001 som är borrarat ned i berget och BH1905J som endast är borrarat i jordlagren. BH2001 visar således grundvattennivåer i berg och BH1905J visar grundvattennivåer i jordlagren. Båda borrhålen är placerade sydväst om File hajdar vid kanten av Hejnum Kallgate Natura 2000-område. Borrhålen står inte bredvid varandra, men avståndet mellan dem är inte stort, lägena framgår av Figur 2-11.

De observerade grundvattennivåerna i bergets spricksystem (BH2001) visar på mycket stora variationer under året. Grundvattennivåerna i BH2001 varierar mellan +16.8 möh (minimum) och +47.4 möh (maximum), amplituden<sup>1</sup> är 30.7 m och medelvärdet är 32.4 möh



Figur 2-9: Skiss. Grundvatten förekommer både i jordlagren och i berget. De två systemen kommunicerar med varandra, men kan ha mycket olika trycknivåer. En mycket stor variation i grundvattennivå har observerats i borrhålen inom det studerade området. (Figur ursprungligen från SGU-rapport 2017:01, Figuren är modifierad).

<sup>1</sup> När vi i denna rapport talar om *amplitud* så syftar vi på skillnaden mellan maximivärdet och minimivärdet.

De stora årstidsbundna variationerna i grundvattennivå i bergets spricksystem – som har observerats i ett stort antal borrhål – är en naturlig variation i grundvattennivå; orsakad av nettonederbördens variation under året, bergets hydrogeologiska egenskaper och av områdets topografi. De låga nivåerna under sommaren är också orsakade av den kommunala dricksvattentäkten vid Dyhagen som avsänker grundvattennivåerna, i synnerhet under sommaren. Nivåerna påverkas också av dagbrotten som avleder inströmmande nederbörd och grundvatten.

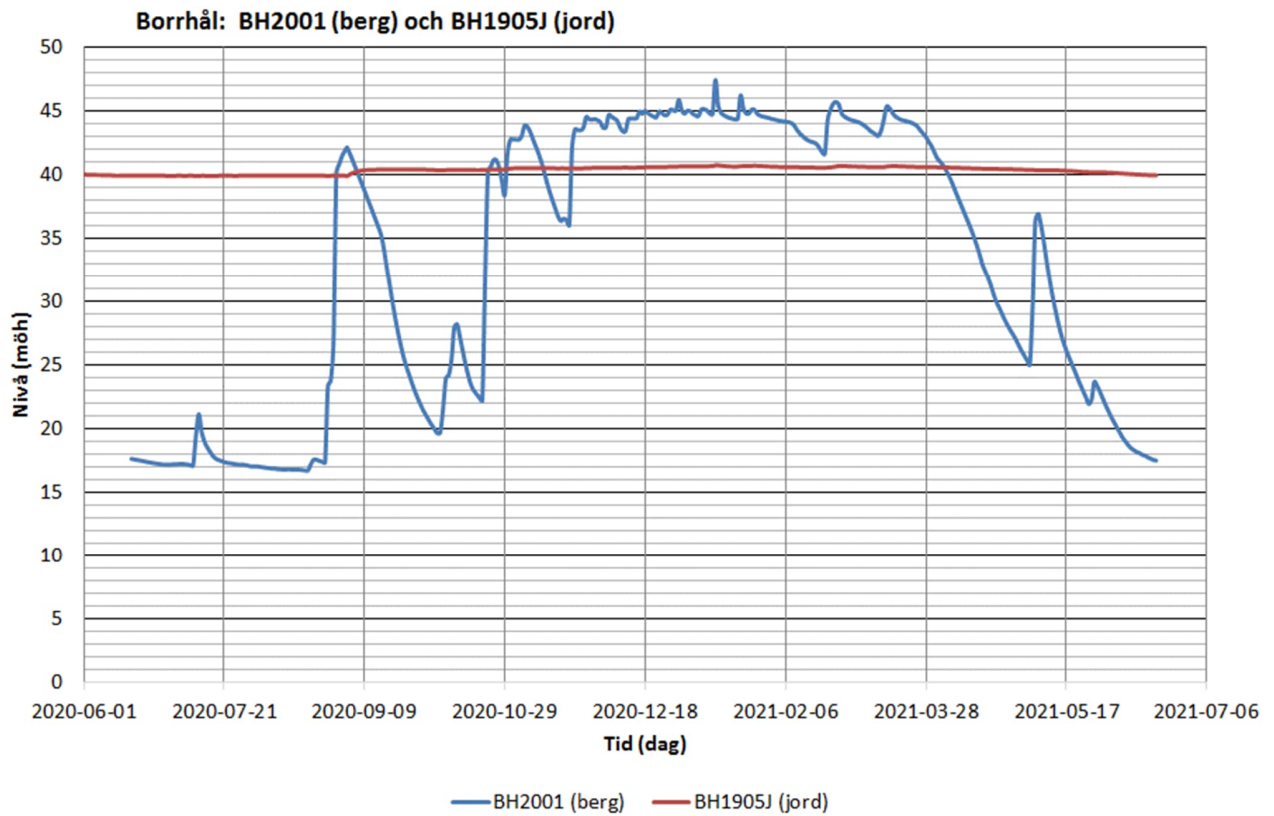
De stora variationerna i grundvattennivå i berget är något som karaktäriserar hela det studerade området vid Slite och File hajdar, förutom i det berg som består av revkalksten. Undersökningsborrhål som bedöms ligga i revkalksten, och som inte når ned till det underliggande lagrade berget, indikerar en nivåvariation som är betydligt mindre i revkalkstenen.

De observerade grundvattennivåerna i jordlagren (BH1905J) visar på betydligt mindre variationer under året. Grundvattennivåerna i BH1905J varierar mellan +39,9 möh (minimum) och +40,7 möh (maximum). Amplituden är 0,9 meter (att jämföra med 30,7 i berggrundvattnet). Medelvärdet är 40.3 möh

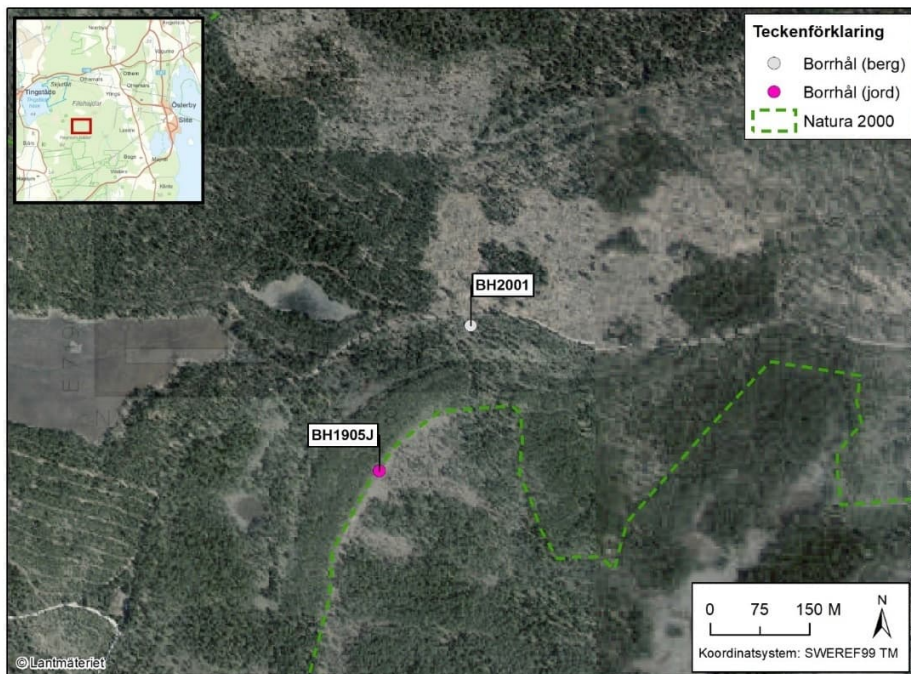
Den årstidsbundna variationen i vattennivå i jordlagren blir mycket mindre än i berg, eftersom det är en helt annan typ av hydrogeologiskt system än grundvattensystemet i bergets sprickor. Grundvattensystemet i jordlagren är ett öppet system med mycket större porositet, nederbörden faller direkt på jordlagren, och vattnet i jordlagren står i kontakt med ytvattensystemet (vattendragen). Grundvattnet i jordlagren står inte i direkt kontakt med den kommunala vattentäkten, och endast i mycket ringa utsträckning med dagbrotten. De stora tryckfluktuationer i berggrundvattnet som skapas av till exempel vattentäkten syns alltså inte i jordgrundvattnet. Grundvattensystemet i jordlagren kommunicerar med de vattenförande horisontala sprickzonerna i berget via vertikala sprickor.

Det är grundvattnet i jordlagren (markvattnet) som försörjer växterna med vatten. Eftersom den årstidsbundna variationen i grundvattennivå är ringa i jordlagren är det möjligt för vegetationen att överleva en sommar med lite nederbörd. Om växterna i det studerade området försörjdes direkt av grundvattnet i berg så skulle de flesta växter vissna under sommaren, eftersom grundvattennivån i berget kan sjunka så mycket som 30 meter under sommaren. Skillnaden mellan grundvattennivåer i jord och berg är en mycket viktig skillnad för de studerade grundvattensystemen, i synnerhet med avseende på växter.

Grundvatten som lagrats i jordlagren under nederbördsrika perioder utströmmar i vattendragen, och sådan utströmning sker även under nederbördsfattiga perioder. Jordlagren har en mycket större porositet och förmåga att lagra vatten än bergets spricksystem. Bergets porositet och förmåga att lagra vatten är i jämförelse liten, vilket är en av orsakerna till de stora årstidsbundna variationerna i grundvattennivå som har observerats i berget.



Figur 2-10: Observerad variation i grundvattennivå i BH2001 (berg) och BH1905J (jord) under ett år. Perioden är 20-06-18 till 21-06-18.



Figur 2-11: Borrhålens läge vid gränsen till Hejnum Kallgate.

## 2.5 Hydrometeorologi

### 2.5.1 Allmänt

Med nettonederbörd (R) menas skillnaden mellan nederbörden (P) och avdunstningen (E). Nettonederbörden kallas också för potentiell grundvattenbildning, eller avrinning. Nettonederbörden är alltså det som finns kvar av nederbörden (P) efter det att avdunstning och transpiration från växterna (E) har subtraherats från nederbörden. Nettonederbörden beräknas som:  $R = P - E$ .

Nettonederbörden är av stor betydelse för de resultat som presenteras i denna studie, eftersom nettonederbörden är direkt indata till den matematiska modellen. Notera att nettonederbörden är indata till modellen, och att grundvattenbildningen och ytvattenflöden beräknas av modellen. Nederbörden och avdunstningen är inte direkta indata till modellen.

På uppdrag av Heidelberg Materials har SMHI beräknat nederbörd, avdunstning och nettonederbörd för olika lokala avrinningsområden kring Slite och File hajdar. Beräkningarna avser både dagens situation samt framtida klimat. Resultaten har bifogats den hydrogeologiska huvudrapporten.

Nettonederbörden i den upprättade modellen, för den nuvarande situationen, följer de av SMHI beräknade värdena för den nuvarande situationen – observerade data. I den upprättade modellen definieras olika värden för nettonederbörden för varje lokalt område som har inkluderats i SMHI:s studie. Områdena visas i Figur 2-13.

Magasinering av nettonederbörden som snö har inte inkluderats i denna studie. Det antas därmed att det inte förekommer snömagasin som varar i flera månader inom det studerade området.

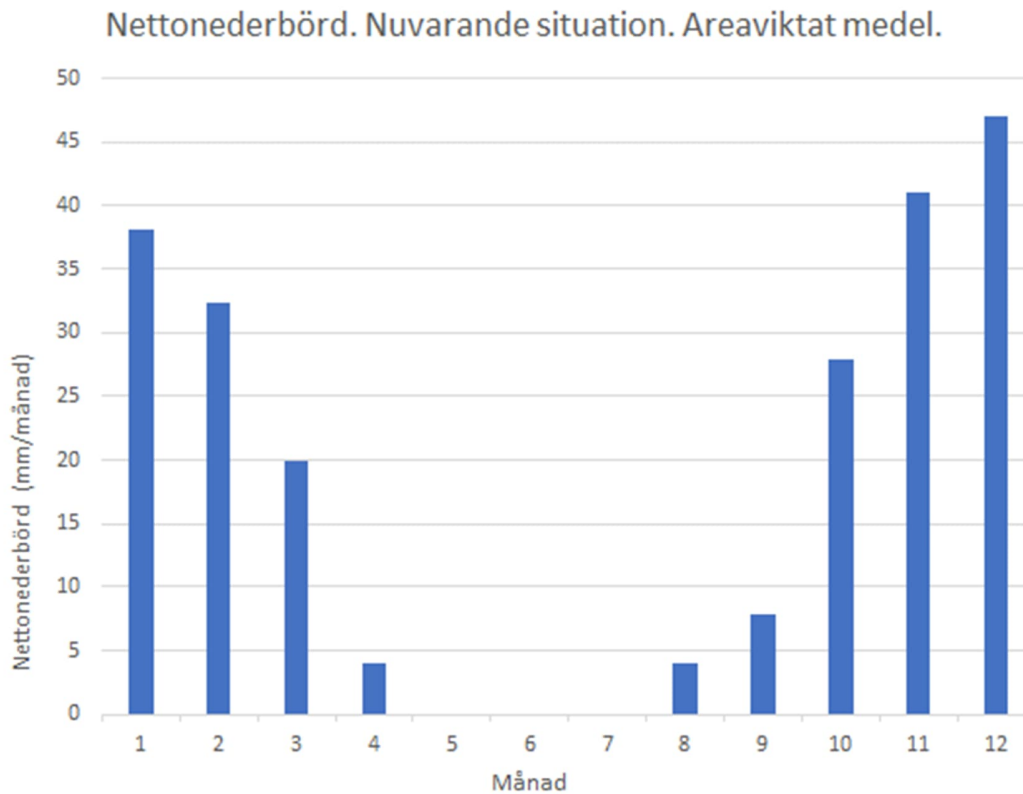
### 2.5.2 Nuvarande situation – observerade data.

I den upprättade modellen har olika värden för nettonederbörden definierats för varje lokalt område, i enlighet med SMHI:s beräknade värden för de lokala avrinningsområdena. Som en sammanfattning av de beräknade värdena för nettonederbörden för de olika lokala avrinningsområdena har vi tagit fram areaviktade medelvärden. Dessa värden används i modellen för områdena bortanför de lokala områdena.

Areaviktade medelvärden för nettonederbörden, avseende de lokala områdena, framgår av Tabell 2-1 och i Figur 2-12 nedan. Fördelningen av nettonederbörden över året har balanserats så att inga negativa värden förekommer under året (sommaren), nettonederbörden under sommaren blir då lika med noll. Nettonederbörden är indata till modellen. Grundvattenbildningen beräknas av modellen, se Sektion 4.13.

I linje med de av SMHI beräknade värdena förekommer i modellen ingen nettonederbörd under sommarmånaderna juni, juli och augusti (förutom i de dränerade dagbrotten). Det är under vintern som den huvudsakliga nettonederbörden och grundvattenbildningen äger rum. Nettonederbörden som visas i Tabell 2-1 (och i Figur 2-12) uppvisar en mycket sned fördelning under året, under vinterhalvåret produceras 93% av nettonederbörden.

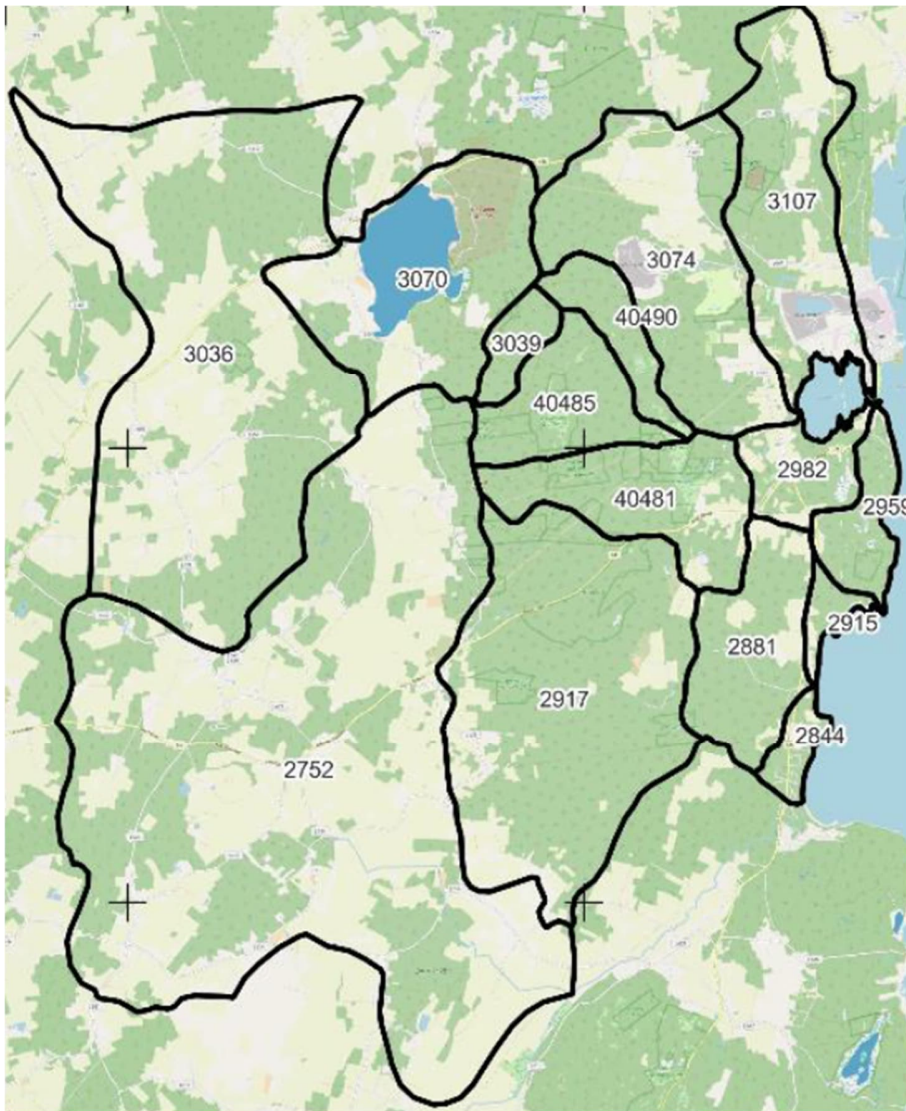
I verkligheten är det troligt att det under kortas perioder förekommer en ringa nettonederbörd även under sommaren, men i modellen är ändå nettonederbörden alltid noll under sommaren. Antagandet om noll nettonederbörd under sommaren är ett konservativt antagande, med avseende på den påverkan som erhålls från den ansökta verksamheten.



Figur 2-12 Av SMHI beräknad nettonederbörd för ett medelår, nuvarande situation. Areaviktat medelvärde för olika lokala avrinningsområden vid File hajdar och Slite.

Tabell 2-1 Av SMHI beräknad nettonederbörd för ett medelår avseende lokala avrinningsområden vid Slite och File hajdar. Areaviktade medelvärden. Nuvarande situation – observerade data.

	Nettonederbörd, nuvarande situation [mm/månad]												
Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Medel	38	32	20	4	0	0	0	4	8	28	41	47	222

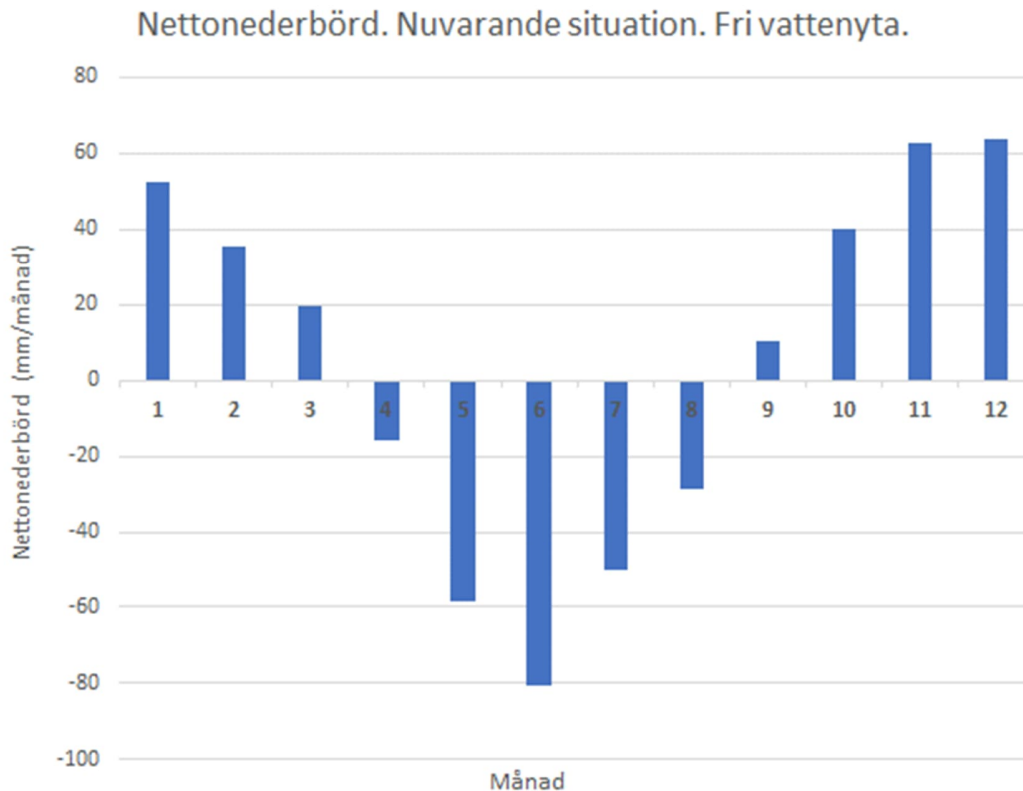


Figur 2-13 Lokala avrinningsområden som har inkluderats i SMHI:s beräkningar av nettonederbörden.

Nettonederbörden över fria vattenytor har inte beräknats av SMHI. Istället har en vattenbalans för fria vattenytor beräknats baserat på SMHI:s data från Visby flygplats.

Vattenbalans för en fri vattenyta demonstrerar en stor avdunstning, en avdunstning som är så stor att den är större än nederbörden under sommarmånaderna, vilket producerar en betydande negativ nettonederbörd under sommaren. För en fri vattenyta är den negativa nettonederbörden under sommaren ett koncept som inkluderats i modellen.

Det är nettonederbörden för en fri vattenyta som har använts för tex Tingstäde träsk. Denna nettonederbörd presenteras i Figur 2-14 och Tabell 2-2 (nedan). För ett medelår beräknas den totala nettonederbörden för fria vattenytor till ca 50 mm/år.



Figur 2-14 Beräknad nettonederbörd för ett medelår avseende en fri vattenyta (t.ex. Tingstüde träsk).

Tabell 2-2 Beräknad hydrometeorologisk vattenbalans för ett medelår avseende en fri vattenyta (t.ex. Tingstüde träsk).

Slite och File hajdar. Fri vattenyta. Beräknad nettonederbörd [mm/månad]													
Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
R	52.3	35.5	19.6	-15.8	-58.5	-80.3	-50.5	-28.8	10.5	39.9	62.7	63.5	50.0

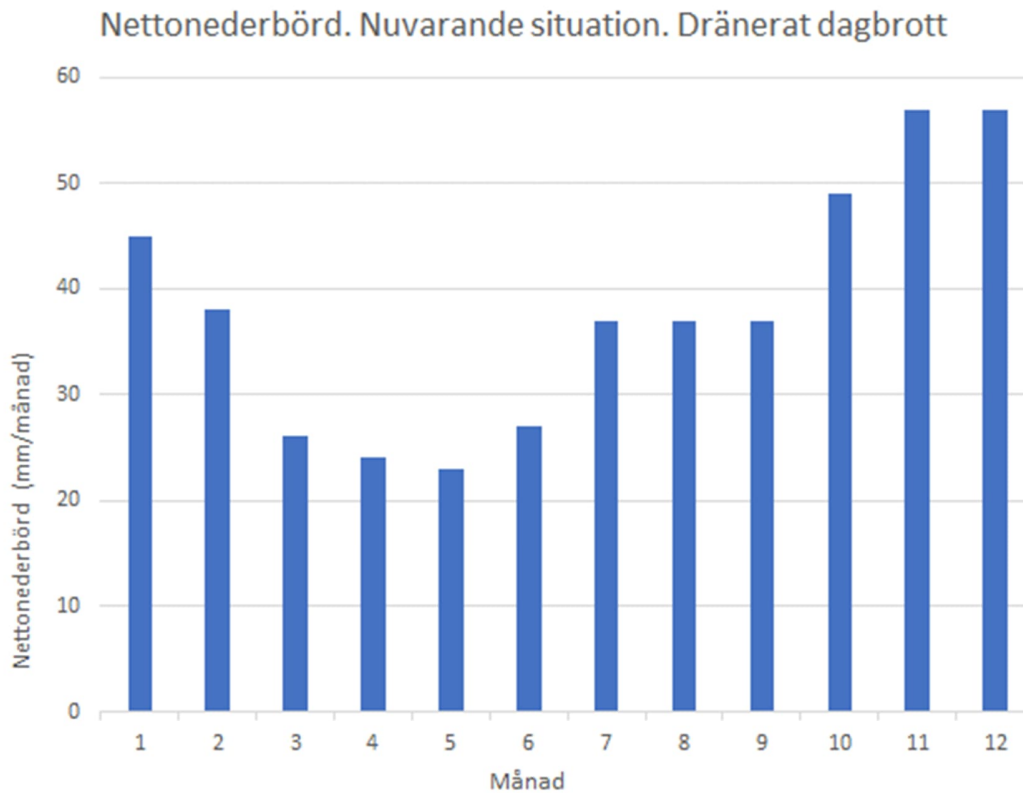
Vi har också tagits fram en uppskattning av nettonederbörden över dagbrotten. En indikation av storleken på nettonederbörden över dagbrotten kan uppskattas, med en betydande osäkerhet, som en andel av den bortledda vattenvolymen via en korrelationsanalys. Korrelationsanalysen består av en jämförelse av bortledda vattenvolymer för olika år och den uppmätta nederbörden för motsvarande år. En sådan analys indikerar det följande:

Som ett medelvärde för hela året är ungefär 60% grundvatten och 40% nettonederbörd av den bortledda vattenvolymen i Västra och Östra brotten.

Som ett medelvärde för hela året är ungefär 40% grundvatten och 60% nettonederbörd av den bortledda vattenvolymen i Västra och Östra brotten.

Dagbrotten är inget naturligt system med nederbörd och avdunstning från växter eller en fri vattenyta. Stora delar av nederbörden pumpas relativt snabbt bort från dagbrotten. De pumpade flödena är också stora, särskilt under höst och vinter vid stora nederbördstillfällen. Avdunstning förekommer från fria vattenytor, främst under sommaren, t.ex. från den vattenfyllda pall 2 i Västra brottet. Den hydrometeorologiska vattenbalansen finns presenterad i Figur 2-15 och Tabell 2-3 nedan. Värdena som anges i Tabell 2-3 kan anses representera ett medelår eller

normalår. Den totala nettonederbörden har uppskattats till 457 mm/år. Det är denna nettonederbörd som har använts för dagbrotten i modellen fördelat som i Tabell 2-3.



Figur 2-15 Beräknad nettonederbörd för ett medelår avseende dagbrott (t.ex. File hajdar).

Tabell 2-3 Beräknad nettonederbörd för ett medelår avseende dagbrott (t.ex. File hajdar).

Västra och Östra brotten, samt File hajdar dagbrott. Uppskattad och beräknad nettonederbörd [mm/månad]													
Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
R	45	38	26	24	23	27	37	37	37	49	57	57	457

### 2.5.3 Framtida förhållanden – Klimatscenarier

De tidigare nämnda vattenbalansberäkningarna, som har utförts av SMHI, inkluderar:

Nettonederbörd för normalperioden 1991–2020

Nettonederbörd för framtida period 2021–2050, med två utsläppsscenario RCP4.5 och RCP8.5.

Nettonederbörd för framtida period 2071–2100, med två utsläppsscenario RCP4.5 och RCP8.5.

I den upprättade modellen har utsläppsscenario RCP4.5 använts. Klimateffekten av de framtida perioderna och utsläppsscenario RCP4.5 inkluderas i modellen på följande vis:

För situationen år 8 gäller den nuvarande situationen, observerade data.

För situationen år 20 gäller den framtida period 2021–2050, med utsläppsscenario RCP4.5

För situationen år 30 gäller den framtida period 2071–2100, med utsläppsscenario RCP4.5



Nettonederbörden för den nuvarande situationen, observerade data, är inte identisk med nettonederbörden för normalperioden 1991–2020. De av SMHI beräknade framtida värdena för nettonederbörden är beräknade i förhållande till normalperioden. I modellen beskrivs den nuvarande situationen av observerade data och inte av normalperioden. I modellen inkluderas därför de av SMHI beräknade förändringarna i nettonederbörd, och inte de absoluta värdena på nettonederbörd för de framtida situationerna. Förändringen i nettonederbörd kvantifieras som faktorer. Faktorerna beräknas på följande vis, för varje månad för det studerade medelåret:

[Faktorer för framtida klimat, period 2021–2050] =  
 [Nettonederbörden för den framtida period 2021–2050, med utsläppsscenarioet RCP4.5]  
 delat med  
 [Nettonederbörd för normal perioden 1991–2020]

[Faktorer för framtida klimat, period 2071–2100] =  
 [Nettonederbörden för den framtida period 2071–2100, med utsläppsscenarioet RCP4.5]  
 delat med  
 [Nettonederbörd för normal perioden 1991–2020]

För att i modellen erhålla nettonederbörden för en framtida situation multipliceras den observerade nettonederbörden för den nuvarande situationen med de beräknade faktorerna, för varje månad för det studerade medelåret:

[Nettonederbörden i modellen för en den framtida situationen år 20] =  
 [Observerad nettonederbörd för den nuvarande situationen]  
 Multipliserat med  
 [Faktorer för framtida klimat, period 2021–2050]

[Nettonederbörden i modellen för en den framtida situationen år 30] =  
 [Observerad nettonederbörd för den nuvarande situationen]  
 Multipliserat med  
 [Faktorer för framtida klimat, period 2071–2150]

De beräknade faktorerna visas i Tabell 2-4. Faktorernas uppvisar värden som ligger nära ett, förutom för april, och i viss mån för augusti och september. För april är faktorerna nära 0.75. Faktorernas storlek indikerar att förändringarna i nettonederbörd är relativt små för alla månader utom för april. Faktorerna indikerar att med avseende på nettonederbörden yttrar sig det framtida förändrade klimatet främst som en tydligt reducerad nettonederbörd i april.

De beräknade faktorerna i Tabell 2-4 visar att om man betraktar nettonederbörden för hela året blir skillnaden liten mellan nettonederbörden för den nuvarande situationen och nettonederbörden för de framtida situationerna.

Tabell 2-4 Faktorer för beräkning av nettonederbörden för framtida tidsperioder. Faktorerna baseras på beräkningar av SMHI. Utsläppsscenarioet RCP4.5.

Månad	Faktorer för nettonederbörd	
	Framtida period	
	2021-2050	2071-2100
1	1.058	1.067
2	1.005	1.042
3	1.043	0.951
4	0.747	0.783
5	1.000	1.000
6	1.000	1.000
7	1.000	1.000
8	0.901	1.001
9	1.063	0.913
10	0.994	1.045
11	1.075	1.006
12	1.051	0.977
	medel	medel
	0.99	0.98

## 2.6 De kommunala produktionsbrunnarna

Vid Dyhagen, strax öster om File hajdar dagbrott, ligger den kommunala vattentäkten som försörjer Slite med vatten. Vattentäkten består av sju bergborrade produktionsbrunnar placerade i ungefärlig nord-sydlig linje med ett inbördes avstånd på mellan 150 och 500 m. Pumpbrunnarna är placerade i en äldre strandzon (Littorinavallen) vilken sammanfaller med en krosszon med förhöjd vattenförande förmåga. Brunnarna i vattentäkten kallas också för produktionsbrunnarna. Brunnarnas placering visas inte i detta dokument.

Den sammanlagda produktionen i dessa brunnar ligger nära tillståndsgivet uttag på 220 000 m<sup>3</sup>/år. En viss variation i produktion har förekommit mellan olika år. Även om skillnader i uttag har förekommit mellan olika år så är det viktigt att notera att brunnarna varit i drift i många år, alltid med stora uttag och utan längre avbrott.

Grundvattensystemet söder om File hajdar och söder om File hajdar täkten påverkas tydligt av de kommunala brunnarna, särskilt på sommaren. Vattennivån i borrhål BH1104 tenderar under sommarmånaderna att efterlikna vattentäkten, både med avseende på tid och nivå.

Vattennivåerna i produktionsbrunnarna varierar under ett normalår med en betydande skillnad mellan högsta nivå (vinter) och lägsta nivå (sommaren), amplituden är i storleksordningen 15 m, se Figur 4-27. Det studerade systemet är ett dynamiskt system med stora variationer i grundvattennivå. Det betyder att en viss vattennivå i produktionsbrunnarna inte motsvarar ett

visst konstant produktionsflöde, eftersom grundvattennivåerna runt brunnarna också förändras, med sjunkande grundvattennivåer under vår och sommar, och stigande nivåer under hösten, och relativt konstanta nivåer under vinter. Vattennivåerna varierar dessutom mellan olika år, och variationen mellan olika år är flera meter.

En statistisk tidserieanalys av vattennivåerna i produktionsbrunnarna (se den hydrogeologiska huvudrapporten för hydrogeologi) visar att utökningen av File hajdar dagbrott och Västra brottet inte har haft någon tydlig påverkan på vattennivåerna i de kommunala produktionsbrunnarna.

Vad gäller kloridhalter i de kommunala produktionsbrunnarna har modellsimuleringar med saltvattenmodellen utförts, dessa simuleringar visar att den ansökta utökningen av dagbrotten inte påverkar kloridhalterna i de kommunala produktionsbrunnarna. Se Sektion 11.

## 2.7 Vattenbortledning från dagbrotten

Vattenbortledningen från dagbrotten är summan av grundvatteninflödet till dagbrotten och nettonederbörden som faller över dagbrotten. Dessa flöden pumpas ut ur dagbrotten, eller ansamlas i dagbrotten (tex i pall 2 i Västra brottet). Den exakta andelen grundvatten i vattenbortledningen är svår att uppskatta. Den totala volymen årlig vattenbortledning beror till stor del på hur mycket nederbörd som faller under höst och vinter. Nederbörden under denna period är stor och avdunstningen under denna period är liten. När nederbörden faller över dagbrotten pumpas den raskt bort, vilket direkt återspeglas i storleken på vattenbortledningen. Man måste därför vara försiktig med att direkt korrelera grundvatteninflödets storlek till vattenbortledningens storlek.

Som tidigare nämnts kan en indikation av storleken på nettonederbörden över dagbrotten uppskattas, med en betydande osäkerhet, som en andel av den bortledda vattenvolymen via en korrelationsanalys. Korrelationsanalysen består av en jämförelse av bortledda vattenvolymer för olika år och den uppmätta nederbörden för motsvarande år. En sådan analys indikerar det följande:

Som ett medelvärde för hela året är ungefär 60% grundvatten och 40% nettonederbörd av den bortledda vattenvolymen i Västra och Östra brotten.

Som ett medelvärde för hela året är ungefär 40% grundvatten och 60% nettonederbörd av den bortledda vattenvolymen i File hajdar dagbrott

Stora pumpade volymer av vattenbortledning under en kort period är normalt en följd av stora mängder nederbörd, inte stora mängder inströmmande grundvatten. Inflödet av grundvatten varierar under året och proportionen grundvatten är inte densamma under hela året. Detta är mycket tydligt för File hajdar-täkten. Botten på File hajdar-täkten ligger på nivån +20 möh Grundvattennivåerna kring dagbrottet faller till nivåer under dagbrottets botten under sommaren, vilket i sin tur betyder att grundvatteninflödet till File hajdar-täkten under sommaren är minimalt.

Det kan dock fortfarande regna kraftigt över dagbrottet under sommaren, vilket producerar en vattenbortledning från dagbrotten även om grundvatteninflödet är minimalt eller obefintligt. Av resonemanget ovan följer att vattenbortledningen till stor del beror av nederbörden över dagbrotten. Eftersom nederbörden varierar mycket mellan olika år så kommer också

vattenbortledningen att variera mycket mellan olika år. År med stora mängder nederbörd under höst och vinter kommer att producera stora volymer vattenbortledning.

Vattenbortledningens storlek har uppmätts. De tidiga mätningarna var behäftade med ett systematiskt mätfel som ledde till att vattenbortledningen överskattades, särskilt före år 2000. Mätningar med bättre kvalitet har utförts de senaste 20 åren, dock kvarstår delar av det systematiska mätfelet i vissa data och de uppmätta flödena tenderar att vara överskattningar. Av dessa orsaker har vi i denna studie fokuserat på mätningar efter 2005, trendanalysen är utförd för värden efter 2012.

Sedan 2017 har Heidelberg Materials låtit vattenfylla Pall 2 i Västra brottet. Vatten har ansamlats i Pall 2, och därmed har en vattenyta skapats i Pall 2, en vattenyta som sakta stiger. Av detta följer att volymen vatten som bortleds från Västra brottet har blivit mindre efter 2016, eftersom en betydande mängd vatten har lagrats i Pall 2. Vi har uppskattat hur mycket vatten som ansamlats i Pall 2 och adderat denna volym till de uppmätta flödena från Västra brottet för att kunna erhålla jämförbara värden över en längre period.

De uppmätta värdena på vattenbortledningen framgår av Figur 2-16 och Figur 2-17

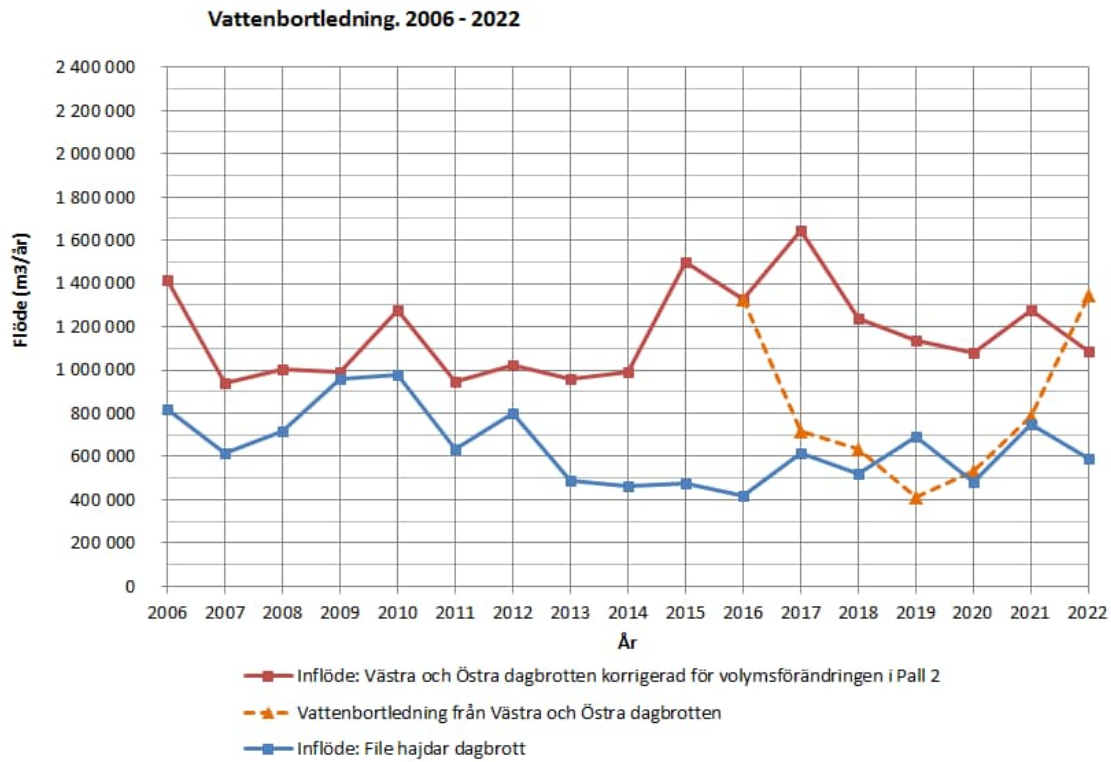
Som ovan redovisats beror vattenbortledningen till stor del av nederbörden över dagbrotten. Eftersom nederbörden varierar mycket mellan olika år så kommer också vattenbortledningen att variera mycket mellan olika år, vilket framgår av Figur 2-16.

Variationen i vattenbortledning mellan olika år gör det svårt att se hur trenden för vattenbortledning förändras i en längre tidsskala. Modellprediktioner av framtida vattenbortledning avser dessutom medelsituationer. För att ta fram en trolig representativ förändring av vattenbortledningen med tiden har vi gjort en linjär trendanalys av den uppmätta vattenbortledningen från och med 2013 och framåt. Notera att för Västra brottet inkluderas volymen vatten som har lagrats i Pall 2. Trendanalysen visas i Figur 2-17

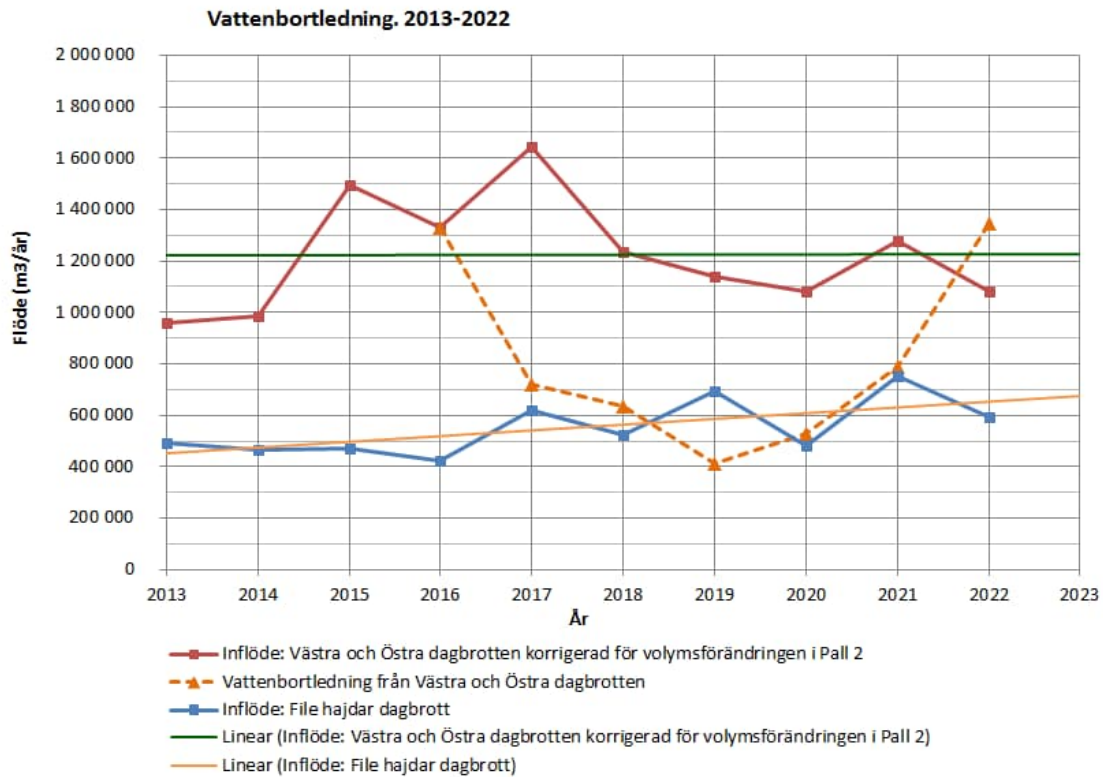
Trendlinjerna visar på svagt ökande inflöden sedan 2013, särskilt för File hajdar dagbrott. Trendlinjerna är i denna analys linjära. Från de linjära ekvationerna kan representativa värden för vattenbortledningen uppskattas för år 2021 baserat på uppmätta värden. De representativa värden för vattenbortledningen för år 2021 är av intresse eftersom modellen har kalibrerats mot dessa värden.

Uppmätta värden för år 2021 visas i Tabell 2-5. Representativa värden för år 2021 visas i Tabell 2-6.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 2-16 Uppmätt vattenbortledning från dagbrotten. Period 2006 till 2022.



Figur 2-17 Uppmätt vattenbortledning från dagbrotten. Period 2013 till 2022.

GRUNDVATTENMODELL SLITE

Tabell 2-5: Vattenbortledning. Uppmätta volymer för år 2021.

<b>För år 2021 erhålls följande årliga uppmätta volymer:</b>
File hajdar: 756 000 m <sup>3</sup> /år
Västra brottet och Östra brottet: 1 238 000 m <sup>3</sup> /år (inkluderande lagring och bortledning från Pall 2)

Tabell 2-6: Vattenbortledning. Representativa volymer för år 2021, baserade på uppmätta volymer.

<b>För år 2021 producerar trendanalysen följande representativa årliga volymer:</b>
File hajdar: 629 000 m <sup>3</sup> /år
Västra brottet och Östra brottet: 1 210 000 m <sup>3</sup> /år (inkluderande lagring och bortledning från Pall 2)

## 3. Beräkningsmetodik och teoretiska förutsättningar för modellen

### 3.1 Den systemanalytiska metoden

Denna studie avser grundvattenflöden och ytvattenflödena i regional och lokal skala. Den studerade delen av verkligheten kallar vi ett system, t ex grundvattensystemet. Den upprättade modellen är en förenklad beskrivning av det studerade systemet.

Studien bygger på en systemanalytisk metod för att lösa komplicerade problem genom att: (i) Upprätta en modell av det studerade systemet, (ii) Använda modellen för simuleringar som imiterar det verkliga systemets beteende och (iii) Baserat på resultat som beräknats av modellen (genom de utförda simuleringarna) uppnå förståelse av det verkliga systemets beteende och tillstånd.

Baserat på studiens syfte och tillgänglig information upprättas en konceptuell modell. Den konceptuella modellen innehåller känd information om det studerade systemets egenskaper (t.ex. topografi, utbredning på olika jordarter, värden på konduktivitet etc.) samt en beskrivning av de fysikaliska processer som styr det studerade systemet (t.ex. Darcys lag). Den konceptuella modellen innehåller dock endast information som är relevant med avseende på studiens syfte.

Baserat på den konceptuella modellen upprättas en formell modell. Den formella modellen är en matematisk beskrivning av den konceptuella modellen, den formella modellen upprättas med hjälp av ett datorprogram (t.ex. Geoan). Den formella modellen används för simuleringar.

### 3.2 Formell matematisk modell och programkod

Grundvattenflödet är beräknat med en matematisk modell. Den upprättade formella modellen är en matematisk beskrivning av det studerade flödessystemet. Beskrivningen bygger på en kontinuumbetraktelse. Beskrivningen är tredimensionell och inkluderar tidsberoende effekter. Den upprättade modellen inkluderar i särskilda beräkningsfall transport av salt och de densitetseffekter som följer med saltet.

Den formella modellen är baserad på numeriska metoder och upprättad i datorprogrammet Geoan (diskuteras i större detalj nedan). Geoan använder den finita differensmetoden för att numeriskt lösa den matematiska beskrivningen. Det studerade modellområdet indelas i beräkningsceller, som kan vara av olika storlekar. Egenskaper hos det studerade systemet som är skalärer (tex tryck, porositet och salinitet) definieras i cellernas centrum, men riktningsberoende egenskaper (tex hydraulisk konduktivitet och flöde) definieras eller beräknas för cellernas väggar.

Den grundläggande patialekvationen för mättat grundvattenflöde, som löses i Geoan, baseras på Darcys lag och har följande form när densitetseffekter inkluderas:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\rho_d}{\rho_0} K_{x0} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\rho_d}{\rho_0} K_{y0} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\rho_d}{\rho_0} K_{z0} \frac{\partial (p+z\rho_F)}{\partial z} \right) - V_F = Ss \frac{\partial p}{\partial t}$$

$p$  = Tryck, definierat i meter sötvatten vid en referenstemperatur [m]

$k$  = Permeabilitet [m<sup>2</sup>]

$K_{x0}$ ,  $K_{y0}$ ,  $K_{z0}$  = Hydraulisk konduktivitet avseende sötvatten vid en given referenstemperatur. [m/s]

$\rho_d$  = Densitet av vatten med lösta komponenter vid en given temperatur [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_0$  = Densiteten av sötvatten vid en given referenstemperatur [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_F$  = Densitetsfaktor (dimensionslös, 1=densitet av sötvatten) [-]

$z$  = Höjd [m]

$V_F$  = Volymflöde (flöde per volymenhet), specificerat in- och utflöde av vatten [s<sup>-1</sup>]

$Ss$  = Specifik magasinskoefficient [1/m]

$t$  = Tid [s]

Härledningen av ekvationen ovan från Darcys lag är välkänd, se t.ex. Bear and Verruit (1987), eller Geoan Users Guide (Holmén, 2023). Ekvationen, tillsammans med randvillkor, initialvillkor och parametervärden, bildar en matematisk representation av det studerade systemet. Analytiska lösningar för den ovan beskrivna matematiska representationen förekommer endast för mycket enkla system, därför används numeriska modeller (som t.ex. Geoan).

För flöde i den omättade zonen, ovanför grundvattenytan, används den välkända Richards ekvation, enligt nedan formulerad för grundvattenpotential (Grundvattennivå, Pisometrisk nivå).

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K(S_w)_x \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K(S_w)_y \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K(S_w)_z \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) - V_F = C(p) \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

$$K(S_w) = F(S_w) \quad , \quad C(p) = \frac{\partial S_w}{\partial p} \quad , \quad p = \phi - Z \quad , \quad \phi = p + Z$$

$\phi$  = Grundvattennivå, Pisometrisk nivå, Grundvattenpotential [m]

$K(S_w)_x$ ,  $K(S_w)_y$ ,  $K(S_w)_z$  = Hydraulisk konduktivitet längs kardinalriktningarna, justerad för vattenmättnad [m/s]

$S_w$  = Vattenmättnad [-]

$C(p)$  = Specifik vattenkapacitetsfunktion [m<sup>-1</sup>]

$p$  = Trycknivå, Tryckhöjd, definierat i meter sötvatten vid en referenstemperatur [m]

$V_F$  = Volymflöde (flöde per volymenhet, in- och utflöde av vatten) [1/s]

$t$  = Tid [s]

$Z$  = Höjd [m]

De omättade egenskaperna, dvs.  $C(p)$  och  $K(S_w)_x$ ,  $K(S_w)_y$ ,  $K(S_w)_z$  definieras i enlighet med välkända formuleringar av VanGenuchten–Mualem, se bla VanGenuchten (1980) eller Geoan Users Guide (Holmén, 2023). Det finns också en förenklad formulering av Richards ekvation, i vilken de omättade egenskaperna inte beräknas i detalj.

Transport av salt löst i grundvattnet simuleras med en transportekvation, den välkända advektion-diffusion-dispersion ekvationen, se t.ex. Bear and Verruit (1987) eller Geoan Users Guide (Holmén, 2017).



$$\nabla(\rho \bar{u} \theta_F - \rho \eta \bar{D} \nabla \theta_F) - U_{spec} = \frac{\partial \theta_F}{\partial t} \eta \rho$$

$\theta_F$  = Koncentrationsfaktor [-]

$D$  = Dispersionskoefficient [ $m^2/s$ ].

$\eta$  = Effektiv porositet för flödesmediet [-]

$\rho$  = Vattnets densitet (med lösta komponenter) [ $kg/m^3$ ]

$u$  = Darcy hastighet för vattnet i x-, y- och z-riktningarna [ $m/s$ ]

$U_{spec}$  = specificerat inflöde och utflöde av massa [ $kg/s m^3$ ]

$\eta$  = Effektiv porositet för flödesmediet [-]

$t$  = Tid [ $s$ ]

Ekvationerna ovan löses med hjälp av finita differenser. Den finita differensmetoden och programkoden Geoan är översiktligt presenterade i Holmén (1992) och Holmén (1997). För en detaljerad presentation av Geoan-koden hänvisas till Geoan Users Guide (Holmén, 2023).

Geoan är en numerisk modell för beräkningar av grundvattenpotential, flöde, hastighet och transport i tre dimensioner liksom ytvattenflöden och hastighet på ytvattenflödet. Geoan kan dessutom hantera transport av lösta ämnen och densitetsberoende flöde (tex saltvatteninträngning). Vidare kan även temperaturer och permafrost inkluderas i en Geoan-modell.

En Geoan-modell inkluderar således både grundvattenflöde och ytvattenflöde. Nivån på grundvattenytan och storleken på in- och utströmningsområden, samt storleken på den lokala grundvattenbildningen, beräknas i modellen på basis av topografi, genomsläpplighet, avrinning och det studerade systemets tillstånd (stationärt eller transient).

Med hjälp av en särskild beräkningsmodul som analyserar det beräknade flödesmönstret kan programmet beräkna flödesvägar (partikelspårning) som är kontinuerliga i både grundvatten- och ytvattensystemen. I modellen kan flödesvägarna alternera mellan båda systemen (ytvatten och grundvatten) beroende på systemet som studeras. Flödesvägarna beräknas via partikelspårning, och partikelspårning kan utföras i Geoan baserat på tre olika metoder:

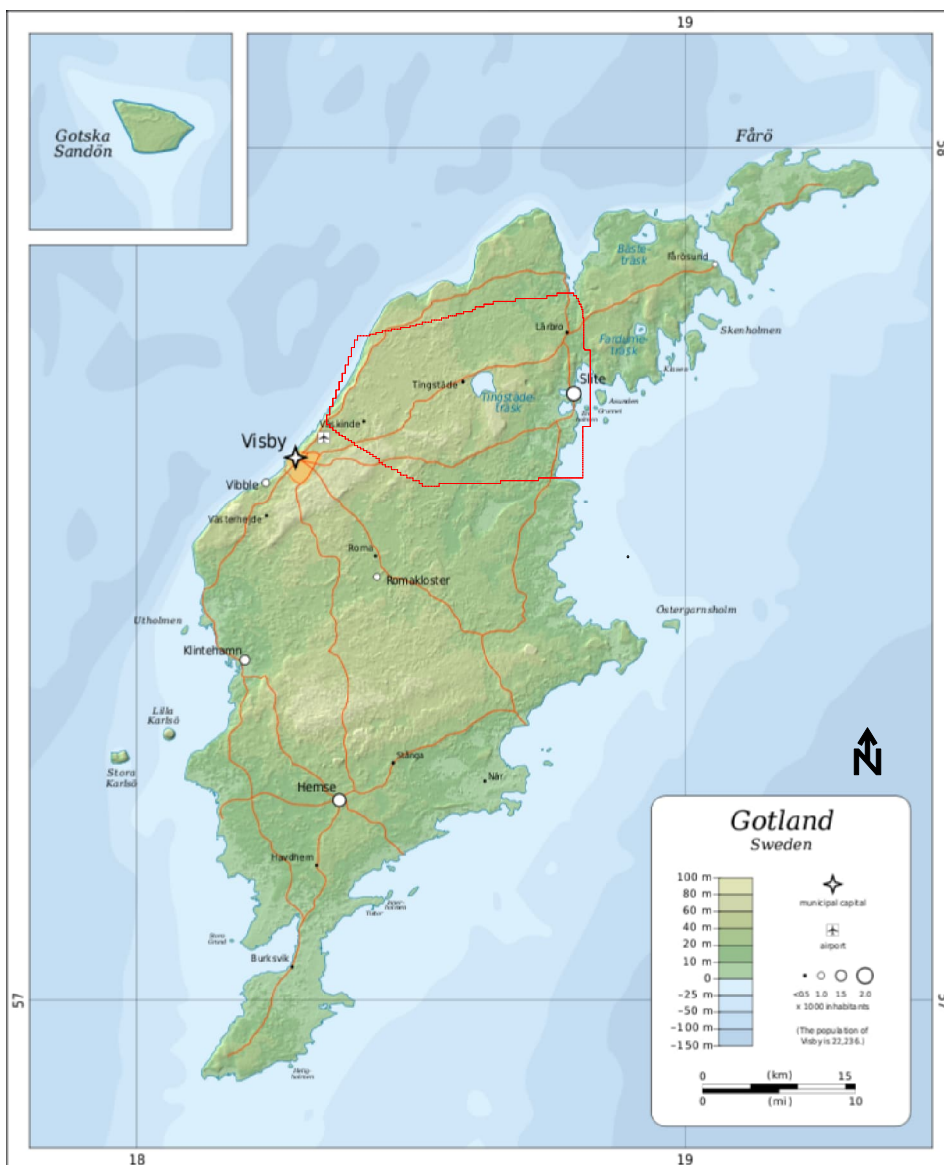
- En metod (FWJ) där partiklarnas flödesmönster baseras på en stokastisk process och storleken på grundvattenflödet genom beräkningscellernas sidor.
- En iterativ metod där partiklarna stegvis (iterativt) följer grundvattnets flödesvektor genom beräkningscellerna.
- En semianalytisk metod som producerar en analytisk lösning för partikelbanor som följer grundvattnets flödesvektor genom beräkningscellerna. Lösning enligt Pollock, D.W. (1989).

I denna studie är det primära alternativet den semianalytiska metoden.

## 4. Beskrivning av den upprättade modellen

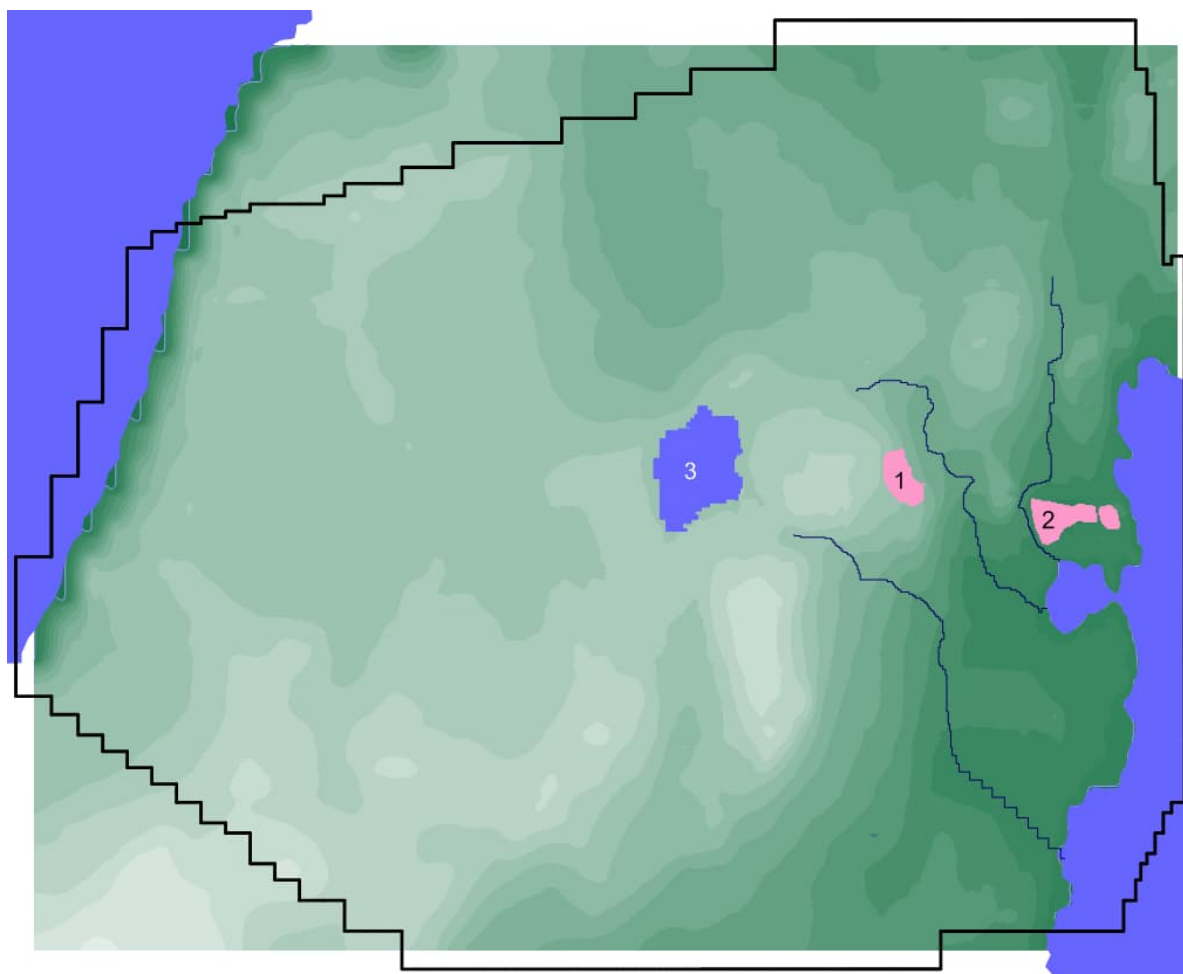
### 4.1 Storlek

Den upprättade modellen inkluderar en stor del av norra Gotland. Modellen sträcker sig tvärs över Gotland, från den västra strandlinjen till den östra strandlinjen. Modellens horisontella storlek framgår av Figur 4-1. Utsträckningen i öst-väst är ca 28 km och utsträckningen i nord-syd är ca 23 km. Centralt i modellen ligger Tingstade träsk. I modellens östra del ligger Slite. Modellen är av nödvändighet arealmässigt stor, detta diskuteras i Kapitel 4.4.



Figur 4-1 Karta över Gotland. Den röda linjen markerar modellens yttre begränsning. Karta från Wikipedia.

Modellens storlek och topografi framgår också av Figur 4-2.



Figur 4-2 Modellens storlek och topografi. 1= File hajdar dagbrott. 2= Västra brottet och Östra brottet. 3= Tingstäde träsk. Fet svart linje markerar modellens yttre begränsning.

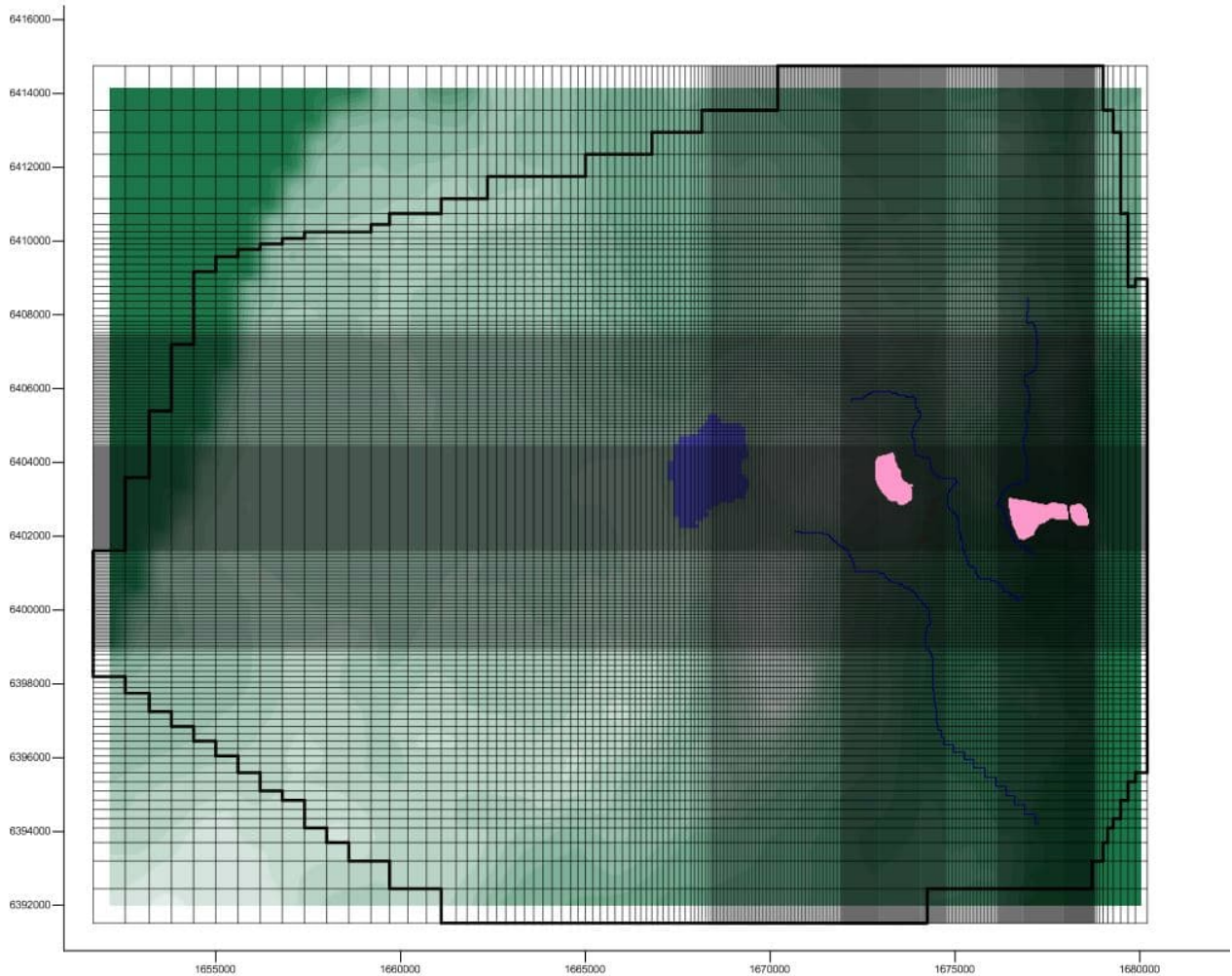
Modellens övre begränsning ges av den undulerande topografien, och modellens bas är satt på nivån minus 200 möh. Moderna datorer och datorprogram som utnyttjar parallellberäkning möjliggör etablerandet av mycket stora matematiska modeller, modeller som både har en god upplösning och omfattar ett betydande område.

## 4.2 Koordinatsystem

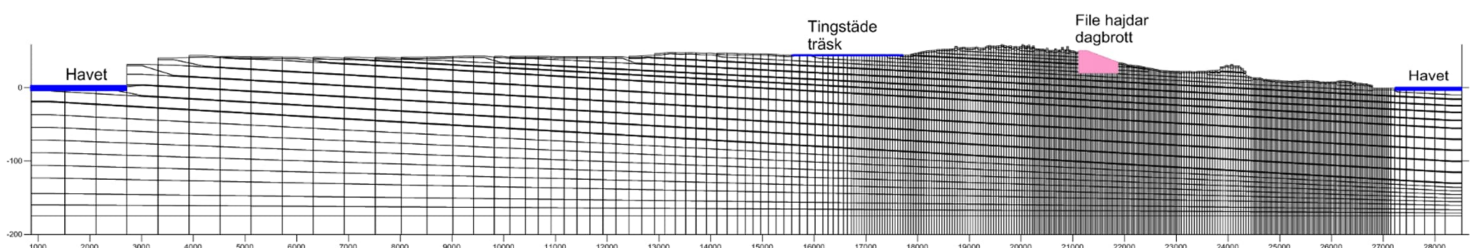
Modell 2023 är definierad i koordinatsystem SWEREF 99 TM. Nivåer anges i höjdsystem RH2000 (om inte annat anges).

### 4.3 Numeriskt beräkningsnät

Kring dagbrotten och i det studerade områdets östra del, har modellens beräkningsceller definierats med en horisontal storlek av 33m x 33m. Utanför detta område ökar cellstorleken mot modellens yttre sidor. Den upprättade modellen består av 40 numeriska lager, vilka representerar det sedimentära bergets geologiska lager (över nivån -200 möh) samt de kvartära avlagringarna. Cellernas vertikala storlek varierar med de geologiska lagrens mäktighet etc. Totalt inkluderar modellen drygt 2.7 miljoner aktiva beräkningsceller, se Figur 4-3, Figur 4-4 och Figur 4-5.

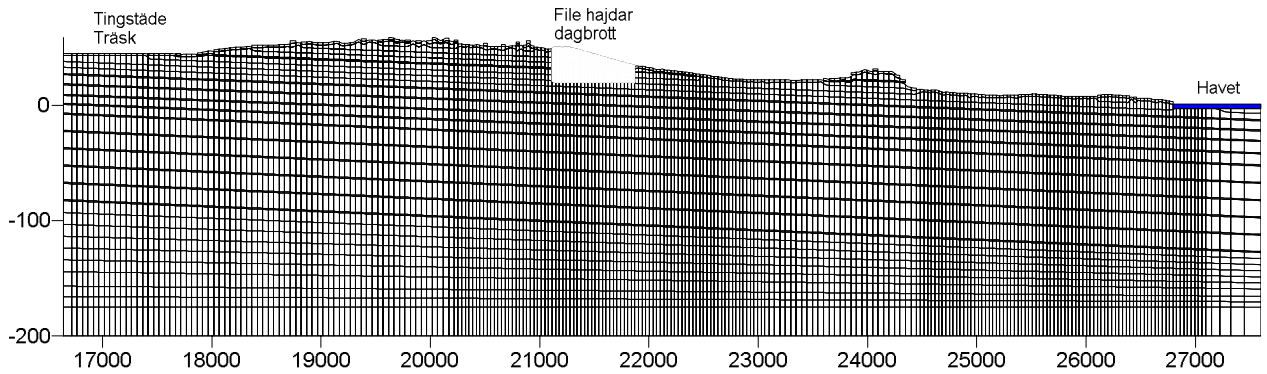


Figur 4-3 Modellens beräkningsnät från ovan.

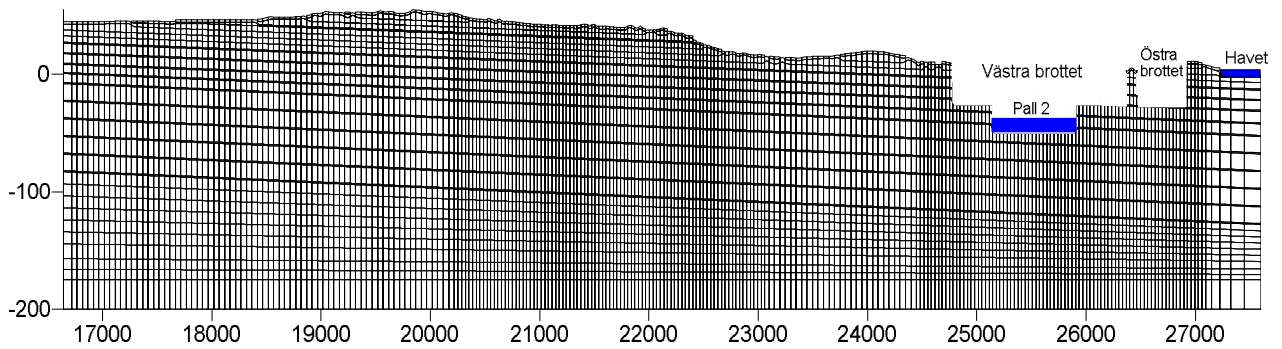


Figur 4-4 Modellens beräkningsnät från sidan. Figuren visar en tvärsnitt genom modellen, från väst till öst, genom File hajdar dagbrott. Den horisontella skalan är inte identisk med den vertikala skalan.

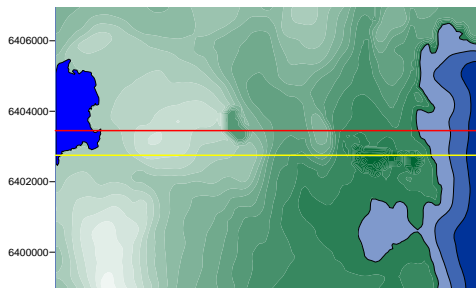
## GRUNDVATTENMODELL SLITE



*Tvärsektioner genom modellens östra del, från väst till öst, genom File hajdar dagbrott. Den horisontala skalan är inte identisk med den vertikala skalan.*



*Tvärsektioner genom modellens östra del, från väst till öst, genom Västra och Östra brotten. Den horisontala skalan är inte identisk med den vertikala skalan.*



*Tvärnittens placering: Röd linje utgör placeringen av tvärsektionen genom File hajdar och gul linje utgör placeringen av tvärsektionen genom Västra brottet.*

**Figur 4-5** Modellens beräkningsnät från sidan. Figuren visar två tvärsektioner genom modellens östra del, från väst till öst, genom File hajdar dagbrott och genom Västra brottet.

## 4.4 Randvillkor - hydrauliska gränser

För att erhålla en korrekt beskrivning av det studerade flödessystemet är det nödvändigt att modellen täcker ett stort område kring Tingstäde träsk, File hajdar och Slite. De tydligaste naturliga hydrauliska gränserna (randvillkoren) på Gotland är strandlinjerna i väst och öst, vilket betyder att en modell som korrekt ska avbilda grundvattnets regionala flödesmönster (på Gotland) bör vara stor nog för att inkludera strandlinjerna. Det regionala flödesmönstret är av stor betydelse för det lokala flödesmönstret kring t.ex. Heidelberg Materials dagbrott.

Längs med strandlinjerna är modellen definierad med en konstant grundvattennivå lika med havets (Östersjön) vattennivå, som sätts till 0 möh. De översta cellerna som befinner sig under havet definieras också med en trycknivå för grundvattnet lika med 0 möh.

Modellens övriga yttre gränser har definierats som täta. Eftersom de täta gränserna i norr och söder inte är naturliga gränser är det viktigt att modellen är så stor att dessa gränser befinner sig ett gott stycke från modellens centrala delar. Inget grundvatten eller ytvatten kan strömma lateralt in eller ut ur modellen förutom vid strandlinjerna. Däremot kan nederbörden infiltrera utmed modellens hela ovansida och grundvatten kan utströmma och bilda ytvatten, men bara om systemets hydrauliska tillstånd tillåter det.

Geoan-modellen inkluderar både grundvattenflöde och ytvattenflöde. Nivån på grundvattenytan och storleken på inströmningsområden och utströmningsområden, samt storleken på den lokala grundvattenbildningen, beräknas av modellen. Även storleken på utflödet av grundvatten vid utströmningsområden beräknas av modellen. Randvillkoret på modellens övre yta kan därför sägas vara en varierande grundvattenbildning som beror av grundvattennivån, nettonederbörden, topografin och ytvattenflödena.

Modellens topografi har kontrollerats och justerats så att större vattendrag är korrekt representerade i modellen. Modellens botten är definierad som tät.

Tingstäde träsk är också inkluderad i modellen som ett område med en specificerad vattennivå lika med 44,92 möh.

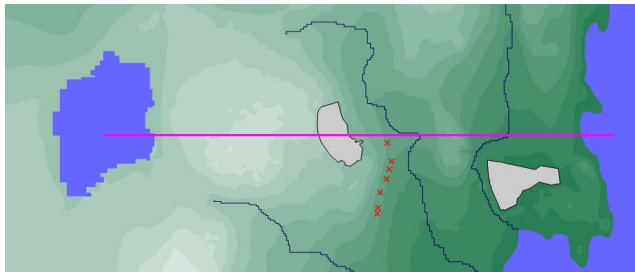
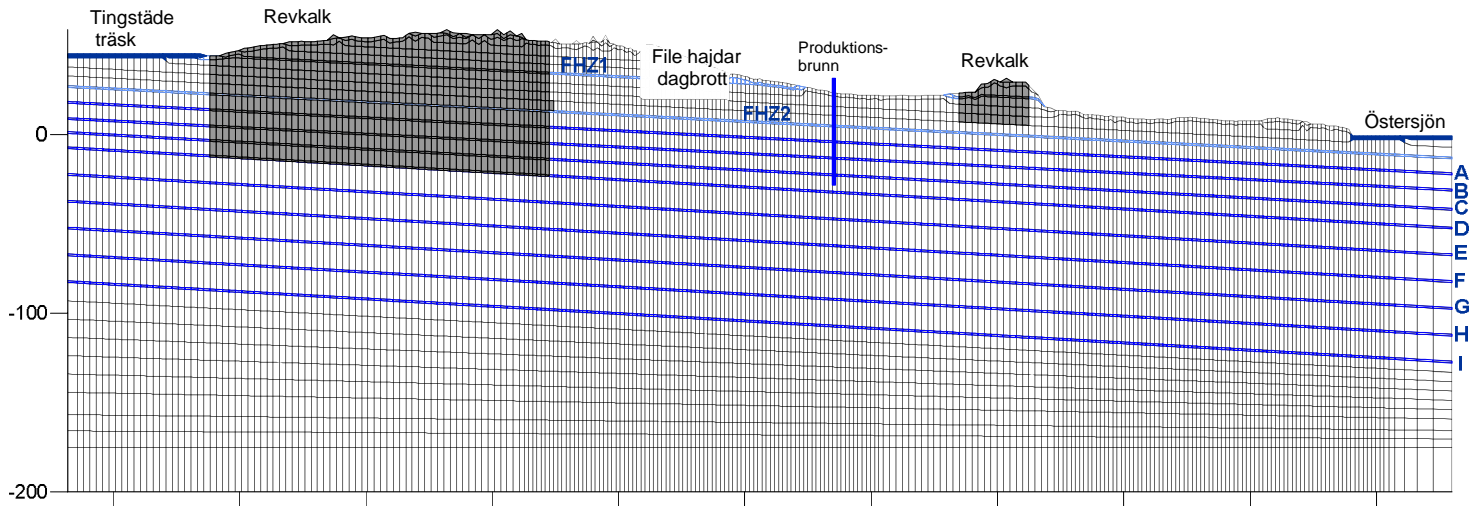
## 4.5 Vertikal indelning i geologiska och numeriska lager

Som tidigare nämnts inkluderar den upprättade modellen 40 numeriska lager vilka representerar de observerade och antagna vattenförande zonerna och de tätare bergmassorna mellan dessa zoner. I modellen ingår dessutom ett antal lager nedanför de observerade och antagna vattenförande zonerna.

Modellens bas ligger på nivån minus 200 möh. De geologiska lagren (de sedimentära bergarterna) anses kunna väl beskrivas av tre dimensionella plan i rummet, med en viss lutning (strykning och stupning). Nivån på de olika geologiska lagren har i modellen definierats med hjälp av hur dessa lager har observerats i verkligheten, se sektionerna 2.2 och 2.4.1.

Hur de numeriska lagren beskriver de geologiska lagren framgår av Figur 4-6. De vattenförande lagren benämns: FHZ1 och FHZ2, samt lager A till I. Lager FHZ1 och FHZ2, samt lager A till D, utgör vattenförande lager som är tolkade från fälldata.

Kvartära avlagringar, dvs. jordarter, definieras i modellens översta lager. Notera att det översta lagret följer topografin. Jordarter är definierade i de centrala delarna av modellen och österut mot Slite, i enlighet med jordartskartan. Jordarter har inte inkluderats i detalj i övriga delar av modellen.



*Tvärsnittets position*

**Figur 4-6** Ett tvärsnitt i väst-östlig riktning genom File hajdar dagbrott. Figuren visar den konceptuella indelningen i olika lager och strukturer, som dessa är definierade i modellen, samt beräkningsnätets celler. Notera att figuren endast avbildar modellens östra del (File hajdar och Slite). Den vertikala skalan är ca 15 gånger större än den horisontella skalan.

*Bokstäverna vid figurens högra sida markerar stora vattenförande zoner, numrerade A till I*

## 4.6 Områden med revkalk

Revkalksten har inkluderats i modellen. Utbredningen av revkalken i modellen framgår av Figur 2-3. Djupet på revkalken varierar men är ofta kring 40 m till 50 m; dessa uppskattningar av revkalkens djup baseras på SGU:s tolkning (Figur 2-5) och utförda hydraultester i borrhål inom det studerade området, samt baserat på omfattande geofysiska undersökningar. Revkalken definieras i modellen som mycket heterogen och med låga värden på genomsläpplighet i en större skala. I en lokal skala kan revkalken vara genomsläpplig där det förekommer lokala genomsläppliga strukturer (tex sprickor), men dessa lokala genomsläppliga strukturer är inte kontinuerliga över större avstånd. I modellen reproduceras detta genom slumpmässigt fördelade värden på genomsläpplighet (stokastiskt kontinuum). Revkalkens heterogenitet och att det inte förekommer stora kontinuerliga vattenförande strukturer i revkalken är den stora konceptuella skillnaden mot den lagrade kalkstenen och mägerstenen, eftersom dessa bergarter uppvisar subhorisontella vattenförande lager som är kontinuerliga över stora avstånd.

## 4.7 Övergångszoner

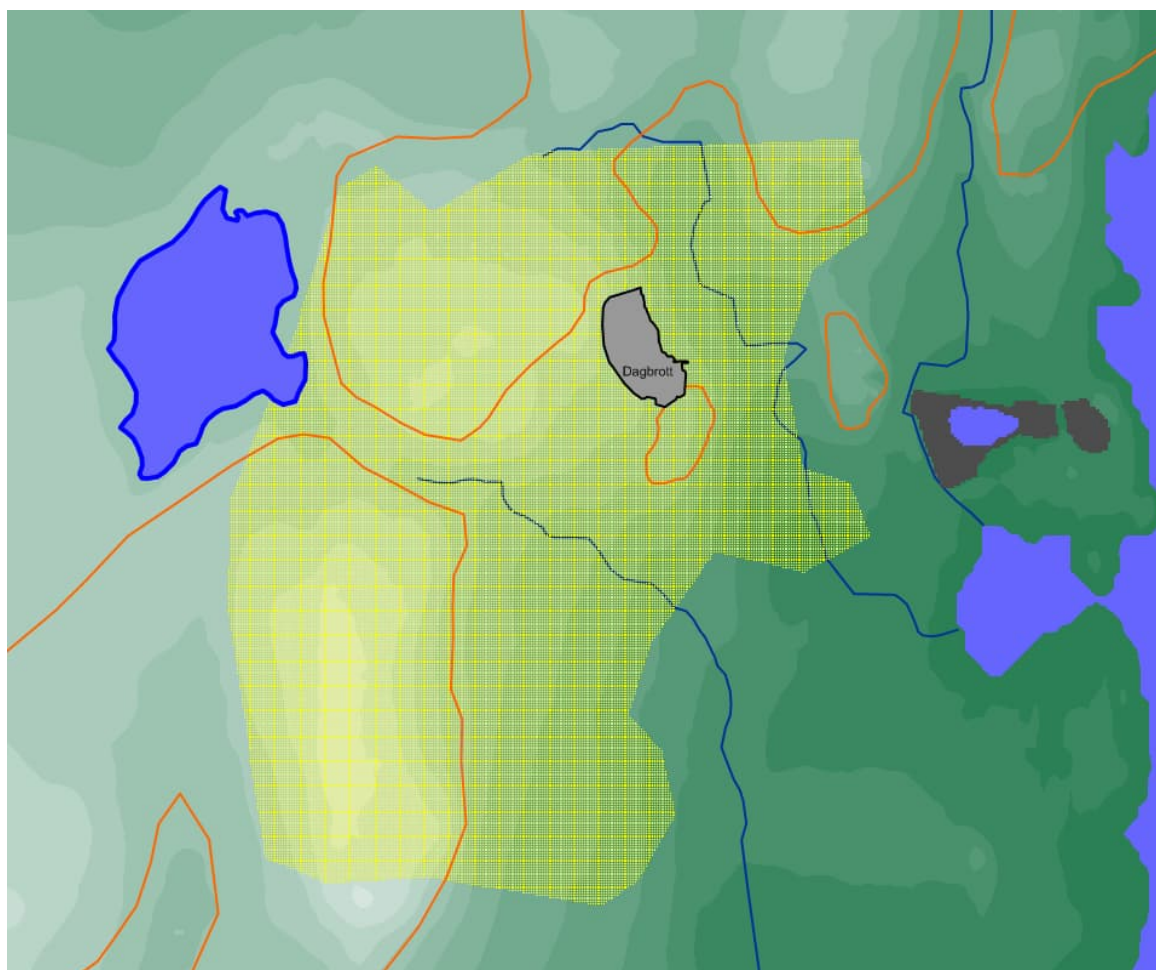
Under kalkstenen förekommer en mägersten. I mägerstenen förekommer stora subhorisontella vattenförande lager med betydande genomsläpplighet, men den vertikala genomsläppligheten i mägersten är liten. Ovanför mägerstenen ligger kalksten, i kalkstenen kan den vertikala genomsläppligheten vara större än vad den är i mägerstenen. En övergångszon finns mellan kalkstenen och mägerstenen. Övergångszonen mellan kalksten och mägersten (kallad ÖZ1) tenderar att ha en ökad horisontell hydraulisk genomsläpplighet. Delvis beroende på den ursprungliga sedimentära processen vid vilken de olika lagren bildades, men också beroende på skillnaden i vertikal genomsläpplighet mellan kalksten och mägersten vilket skapar förutsättningar för horisontala vattenförande lager ovanpå mägerstenen.

Övergångszonen (ÖZ1) har identifierats med hjälp av geofysiska undersökningar. De geofysiska undersökningarna diskuteras också i den hydrogeologiska huvudrapporten. Övergångszonen, som den har identifierats i de geofysiska undersökningarna, har inkluderats i modellen som en stor mjukt buktande tre-dimensionell yta med olika nivåer på olika platser.

Nivån på övergångszonen varierar, övergångszonen ligger dock under revkalkstenen. I modellen följer övergångszonen inte exakt de numeriska lagren utan förekommer i olika lager på olika platser. Övergångszonen är numeriskt implementerad i modellens beräkningsnät som en implicit struktur. Övergångszonen har i modellen inkluderats som en kontinuerlig struktur med ökad horisontal genomsläpplighet.

Den gula ytan i Figur 4-7 visas storleken på det område inom vilket övergångszonen mellan kalksten och mägersten har inkluderats i modellen som en kontinuerlig struktur med ökad horisontal genomsläpplighet, och som nämnts ovan, varierar nivån på övergångszonen.





Figur 4-7 Den gula ytan visar storleken på det område inom vilket övergångszonen mellan kalksten och mörkelsten har inkluderats i modellen som en kontinuerlig struktur med ökad horisontal genomsläpplighet. Nivån på övergångszonen varierar. De orange linjerna visar storleken på områdena definierade som revkalksten. Övergångszonen ligger under revkalkstenen.

Det finns ytterligare en övergångszon på större djup, en övergångszon mellan en övre mörkelstenen och en undre mörkelsten, som också identifierats med geofysik, den zonen kallas ÖZ2. Zonen ÖZ2 är också inkluderad i modellen på ett större djup och med samma horisontala utbredning som ÖZ1. Liksom för zon ÖZ1, har zonen ÖZ2 inkluderats i modellen som en kontinuerlig struktur med ökad horisontal genomsläpplighet. Nivån på ÖZ2 varierar. ÖZ2 är implementerad i modellens beräkningsnät som en implicit struktur.

#### 4.8 Definition av de kommunala produktionsbrunnarna i den upprättade modellen

Modellen inkluderar de sju kommunala produktionsbrunnarna öster om File hajdar. Produktionsbrunnarnas exakta placering är konfidentiell information och visas därför inte i denna rapport. I alla simuleringar är produktionsbrunnarna inkluderade med en total produktion som är lika med 220 000 m<sup>3</sup>/år. I modellen är de sju produktionsbrunnar definierade, produktionen i de enskilda brunnarna kan variera, det är den totala produktionen som i modellen (och i verkligheten) är lika med 220 000 m<sup>3</sup>/år. Vattennivåerna i de enskilda brunnarna varierar under

året. När vi med avseende på den upprättade modellen redovisar och diskuterar vattennivån i de kommunala produktionsbrunnarna så är det medelnivån i brunnarna som avses.

Brunnarna skär igenom flera av de vattenförande lagren. Därför definieras brunnarna i flera olika lager i modellen. Brunnarna genomskär övergångszonen ÖZ1, zonen FHZ2, och de vattenförande lagren A till D (förutom de två nordligaste brunnarna som inte genomskär vattenförande lager D).

Grundvattennivån (trycknivån) i en brunn definieras så att den är densamma i alla lager som genomskärs av brunnen. Randvillkoret för brunnen är en specificerad grundvattennivå (trycknivån). Brunnens produktion (uttaget i brunnen) är också specificerad i modellen. Under modellsimuleringen justerar en algoritm i modellen (automatiskt) vattennivån i varje brunn så att uttaget i brunnarna stämmer överens med uttaget (produktionen). Algoritmen justerar vattennivåerna i varje brunn individuellt, för varje tidssteg i den transienta simuleringen. Det bör noteras att grundvattennivån är densamma i en brunn oavsett vilka lager som brunnen genomskär, men grundvattennivåerna i de omgivande lagren varierar. Teoretiskt kan därför en brunn extrahera vatten från ett lager med höga grundvattennivåer, och samtidigt injicera vatten i ett annat lager med låga grundvattennivåer, även om detta inte är normalfallet. Algoritmen som i modellen justerar vattennivåerna i brunnarna är effektiv: medelfelet i simulerad produktion är mycket litet.

## 4.9 Krosszonen öster om File hajdar

Produktionsbrunnarna är placerade i en zon med förhöjd genomsläpplighet, som brukar kallas för krosszonen öster om File hajdar. Provpumpningar av produktionsbrunnarna (Viak 1974 och 1981) visar att brunnarna är placerade i en linjär formation. Pumpresultaten når ingen begränsning i längd på formationen, *”zonens bredd har uppskattats till 550m och dess utsträckning i längdled har genom provpumpningar belagts till minst 2 km”* (Viak 1974 och 1981)

I modellen har krosszonen inkluderats. Krosszonen är en del av en trolig beskrivning av det studerade systemet. Ett område öster om File hajdar, med nord-sydlig utbredning, har definierats som krosszonen. I modellen är krosszonens bredd satt till 250 m och längden är satt till ca 2 km. Konceptuellt representerar krosszonen ett område med förhöjd frekvens av vertikala sprickor. Krosszonen är alltså inte definierad som ett smalt lineament i modellen, utan som ett större område. Det exakta läget på detta område (krosszonen) är osäkert, området kan vara större eller mindre, det kan sträcka sig längre mot norr eller mot söder, det kan vara rakt eller böjt. Områdets form är dock inte av avgörande betydelse, vad som är av större betydelse är områdets genomsläpplighet och storlek. Krosszonens horisontala utbredning, som den är definierad i modellen visas inte i denna rapport eftersom produktionsbrunnarna är placerade i krosszonen och produktions brunnarnas exakta placering är konfidentiell information.

Krosszonen öster om File hajdar är inkluderad i modellen som en ökning av den vertikala genomsläppligheten i de lågpermeabla lagren (mellan de vattenförande lagren) med en faktor lika med 6.

## 4.10 Berggrundvattennivå och representativ grundvattennivå i berg och brunnar

Den upprättade modellen är tredimensionell och inkluderar 40 olika lager. Grundvattennivåerna är normalt olika i alla 40 lager, även om skillnaderna kan vara små. Ett av syftena med denna modellstudie är att beräkna grundvattennivåerna i berg och grundvattennivåerna i bergborrade brunnar. Ett representativt värde för de varierande grundvattennivåerna i berget längs en vertikal sektion (borrhål) kan beräknas som ett viktat medelvärde, där grundvattennivån i varje lager längs sektionen (längs borrhålet) viktas mot lagrets transmissivitet. Därmed kommer de mest genomsläppliga lagren att ha störst betydelse för den representativa grundvattennivån. Vi kan kalla denna beräknade grundvattennivå för representativ berggrundvattennivå, eller representativ grundvattennivå i en brunn.

Grundvattennivån i ett borrhål bestäms till stor del av grundvattennivåerna i de mest genomsläppliga lagren. Mediandjupet för bergborrade brunnar inom det studerade området är nära 47 m. När vi i denna studie har beräknat en representativ berggrundvattennivå eller representativ grundvattennivå i en brunn har vi analyserat brunnar med djupet 47 m. Vi antar också att de översta 5 m i brunnen är tätade mot omgivningen. Detta antagande görs för att inte grundvattennivån i de översta lagren, t.ex. lösa jordarter, ska påverka den beräknade representativa berggrundvattennivå (eller brunns vattennivå). I verkligheten är brunnarnas översta del ofta tätad mot omgivningen för att förhindra att ytligt vatten i de lösa jordlagren ska läcka in i brunnen. I verkligheten varierar längden på denna tätning med djupet på de lösa jordlagren och är ofta mindre än 5 m. I modellen har vi ansatt ett konstant värde eftersom vi analyserar hela modellen utan att särskilt beakta det lokala djupet på de lösa jordlagren.

## 4.11 Genomsläpplighet (K-värden) etc.

De värden på genomsläpplighet, hydraulisk transmissivitet och konduktivitet, som tilldelats modellen framgår av Tabell 4-1, Figur 4-11, Figur 4-12 och Figur 4-13.

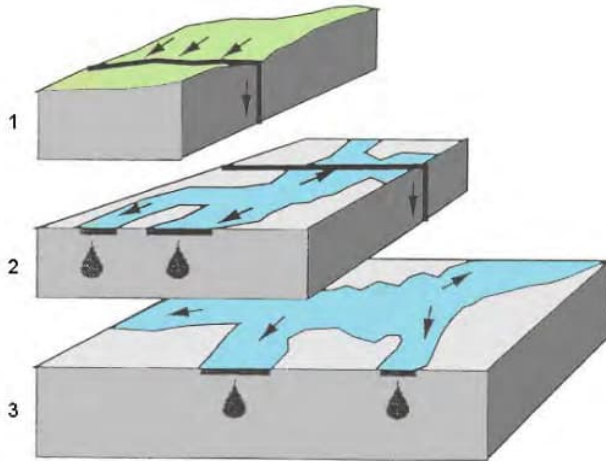
Genomsläppligheten på de olika lagren i den upprättade modellen baseras på de utförda fältundersökningarna och genom kalibreringen av den hydrogeologiska grundvattenmodellen. Kalibreringen av modellen diskuteras i Sektion 4.12.

Bergmassans genomsläpplighet är mycket heterogen. I verkligheten förekommer en betydande variation av genomsläppligheten (K-värdena) inom de vattenförande lagren, t.ex. förekommer ofta hög-genomsläppliga kanaler i det vattenförande lagrets subhorisontella plan. Se Figur 4-8.

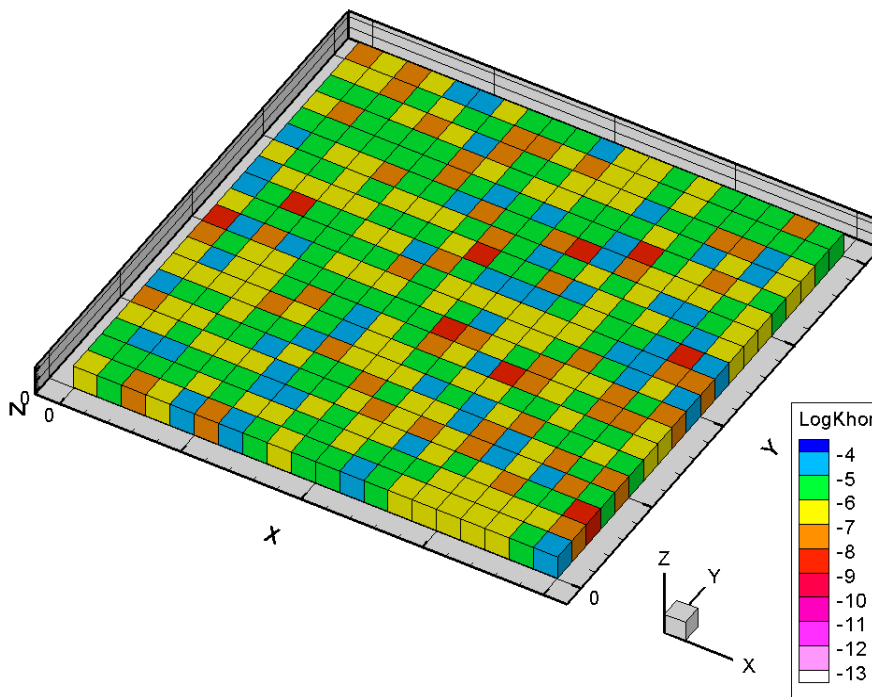
Även mellan de vattenförande lagren varierar genomsläppligheten kraftigt pga. förekomsten av vertikala sprickor i det i övrigt lågpermeabla berget.

Denna heterogenitet är inkluderad i den upprättade modellen, genom att K-värdena har specificerats som heterogena. Alltså varierar K-värdena från beräkningscell till beräkningscell. Varje cell har ett individuellt K-värde. Heterogeniteten baseras på en beskrivning av ett stokastiskt kontinuum, se Figur 4-9. Den heterogena beskrivningen av bergets genomsläpplighet gör att grundvattenflödet delvis kanaliseras till stråk med hög genomsläpplighet, se Figur 4-10.

Beräkningscellernas K-värden varierar baserat på korrigerade (kalibrerade) log-normalfördelningar. Variationens storlek baseras på erfarenheter från sprickigt berg. Bergets heterogenitet är av betydelse och påverkar storleken på inflöde till dagbrotten och även dagbrottens influensområde.

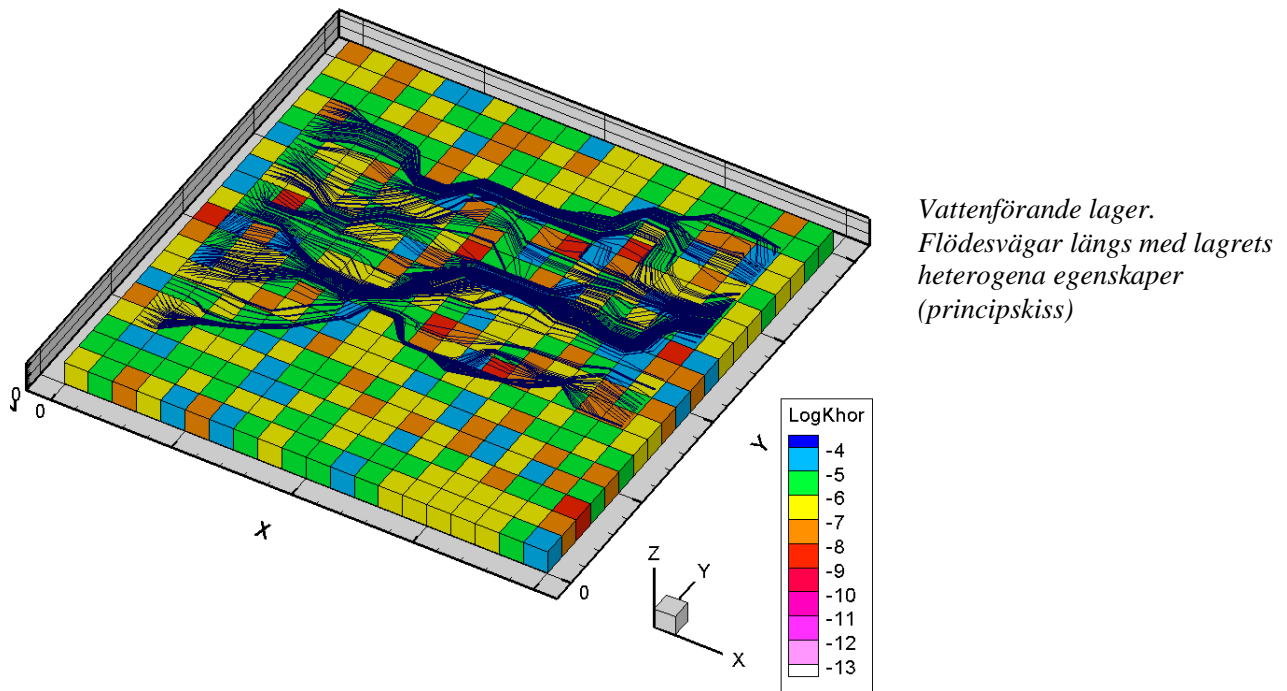


Figur 4-8 Konceptuell beskrivning av heterogen genomsläpplighet längs med vattenförande lager (principskiss).



Vattenförande lager.  
Heterogena egenskaper via  
ett stokastiskt kontinuum.  
(principskiss)

Figur 4-9 Numerisk (matematisk) beskrivning av heterogen genomsläpplighet längs med vattenförande lager. (principskiss). Genomsläppligheten representeras av celler med olika K-värden.



Figur 4-10 Numerisk (matematisk) beskrivning av heterogen genomsläpplighet längs med vattenförande lager, tillsammans med flödesvägar som illustrerar grundvattenflödet i det vattenförande lagret (principskiss). Genomsläppligheten representeras av celler med olika K-värden.

Lokalt kring produktionsbrunnarna (den kommunala vattentäkten) har K-värdena kalibrerats så att både vattennivån i brunnarna och uttagen i brunnarna stämmer väl med uppmätta värden. Denna kalibrering utförs delvis automatisk i modellen.

De heterogena K-värdena, som definieras av log-normal-fördelningar, är justerade inom vissa områden, genom att de initiala K-värdena som kommer från log-normalfördelningarna är multiplicerade med kalibreringsfaktorer. Ett sådant område är krosszonen, som diskuteras i Sektion 4.9. Inom detta område är framförallt de vertikala K-värdena stora. Baserat på fältundersökningarna har också K-värdena i ett begränsat område i södra delen av File hajdar gjorts generellt större. Genomsläppligheten i andra områden har också korrigerats.

Övergångszonerna ÖZ1 och ÖZ2 har definierats med en vertikal vidd lika med 1 m. För beräkningsceller som genomskärs av ÖZ1 eller ÖZ2 adderas zonen egenskaper till de sidor av cellerna som genomskärs av zonen. Zonen transmissivitet varierar från cell till cell och är lika med cellens ursprungliga K-värde multiplicerat med en faktor. För ÖZ1 är faktorn = 1000. För ÖZ2 är faktorn = 500. Ett maximalt K-värde är också inkluderat och lika med  $5E-4$  m/s.

Som en del av modellens detaljerade kalibrering korrigeras de ursprungliga log-normal fördelade värdena lokalt av olika strukturer tex de undulerande zonerna ÖZ1 och ÖZ2, men även lokal ökning och reducering av K-värdena förekommer inom vissa områden.

De uppmätta K-värdena från de utförda hydraultesterna har definierats i modellen på de platser (borrhål) där hydraultesterna utfördes. Detta kallas för konditionering. De konditionerade borrhålen framgår av Figur 4-14. Figuren visar de borrhål för vilka de uppmätta K-värdena har direkt inkluderats i modellen. K-värdena har direkt inkluderats i modellen kring varje brunn inom de markerade områdena.

De värden på genomsläpplighet, hydraulisk transmissivitet och konduktivitet, som tilldelats modellen framgår av Tabell 4-1 och Figur 4-11.

De vattenförande lagrens genomsläpplighet (efter kalibrering) framgår av fördelningsfunktionerna som visas i Figur 4-12.

De icke vattenförande lagrens genomsläpplighet (efter kalibrering) framgår av fördelningsfunktionerna som visas i Figur 4-13.

Modellen har också tilldelats värden på magasinskoefficienten, för den del av modellen i vilken mättat grundvattenflöde förekommer (Ekvation 3-1). Magasinskoefficienten har satts lika med:  $1E-6$  [1/m]. I den numeriska lösningsproceduren är magasinskoefficienten kombinerad med en överrelaxeringsfaktor. Från en matematisk betraktelse av Ekvation 3-1 kan man dra slutsatsen att magasinskoefficienten fungerar som en tidsberoende underrelaxering av grundvattennivåns förändring. Den kan därför kombineras med en överrelaxeringsfaktor i den numeriska lösningsproceduren. Orsaken till kombinationen av en fysisk egenskap (magasinskoefficienten) med en numerisk parameter (överrelaxeringsfaktorn) är en önskan om att optimera beräkningstiderna och göra dessa så korta som möjligt. Syftet med de transienta simuleringarna är inte att kalibrera eller beräkna en magasinskoefficient, utan att på ett effektivt vis efterlikna den uppmätta variationen i grundvattennivå under ett studerat normalår.

Hur grundvattenflödet fördelar sig i de olika vattenförande lagren i modellen illustreras väl av Figur 7-9. Figuren visar flödesvägar från infiltrationsbrunn BH2212. Flödesvägarna visas i figuren som blå linjer. Notera i den nedre av de två figurerna hur flödesvägarna tenderar att förekomma i subhorisontella vattenförande lager. Bergets lagrade struktur, med olika subhorisontella vattenförande lager på olika djup, illustreras tydligt i den nedre figuren av de horisontella blå linjerna. Även de slumpmässigt (stokastiskt) förekommande vertikala strukturerna framgår i figuren, som de vertikala blå linjerna mellan de subhorisontella vattenförande lagren.

Tabell 4-1 Värden på hydraulisk genomsläpplighet som tilldelats modellen. Som en del av modellens detaljerade kalibrering korrigeras log-normal fördelningarna lokalt av olika strukturer tex de undulerande zonerna ÖZ1 och ÖZ2, men även lokal ökning och reducering av K-värdena förekommer inom vissa områden.

---

#### Kvartära avlagringar etc.

Allmänt	$K = 1E-7$ m/s
Torv	$K = 1E-8$ m/s
Kalkgyttja	$K = 1E-8$ m/s
Vittrat berg	$K = 1E-5$ m/s
Sand	$K = 5E-5$ m/s
Grus	$K = 1E-4$ m/s

Sjöbottensediment i Tingstäde träsk:  $K = 1E-8$  m/s

#### Berget

Låg-permeabelt berg  $K = 4E-9$  till  $1E-10$  m/s

Vattenförande lager FHZ1: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning =  $5.6E-6$  m<sup>2</sup>/s

Vattenförande lager FHZ2: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning =  $9.1E-6$  m<sup>2</sup>/s

Vattenförande lager A: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning =  $2.6E-5$  m<sup>2</sup>/s

Vattenförande lager B: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning =  $2.1E-5$  m<sup>2</sup>/s

Vattenförande lager C: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning =  $2.1E-5$  m<sup>2</sup>/s

Vattenförande lager D: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning =  $2.1E-5$  m<sup>2</sup>/s

Vattenförande lager E: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning =  $6.0E-6$  m<sup>2</sup>/s

Vattenförande lager F: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning =  $1.3E-6$  m<sup>2</sup>/s

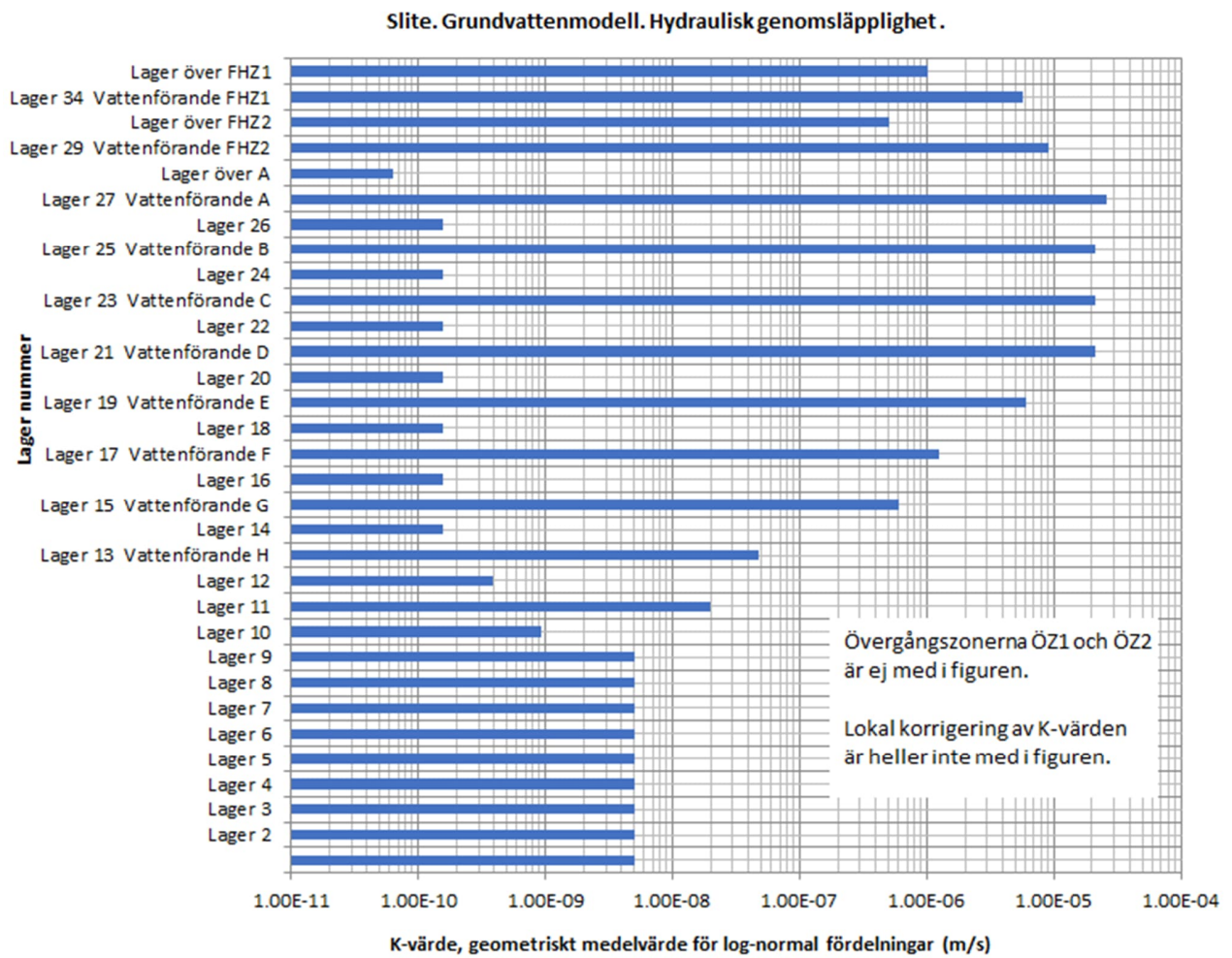
Vattenförande lager G: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning =  $6.0E-7$  m<sup>2</sup>/s

Vattenförande lager H: Transmissivitet, median av kalibrerad log-normalfördelning =  $4.8E-8$  m<sup>2</sup>/s

De kalibrerade log-normalfördelningarna som beskriver bergets egenskaper har definierats med en standardavvikelse som för de Logaritmerade värdena är  $\geq 1.0$ , Variansen framgår av Figur 4-12.

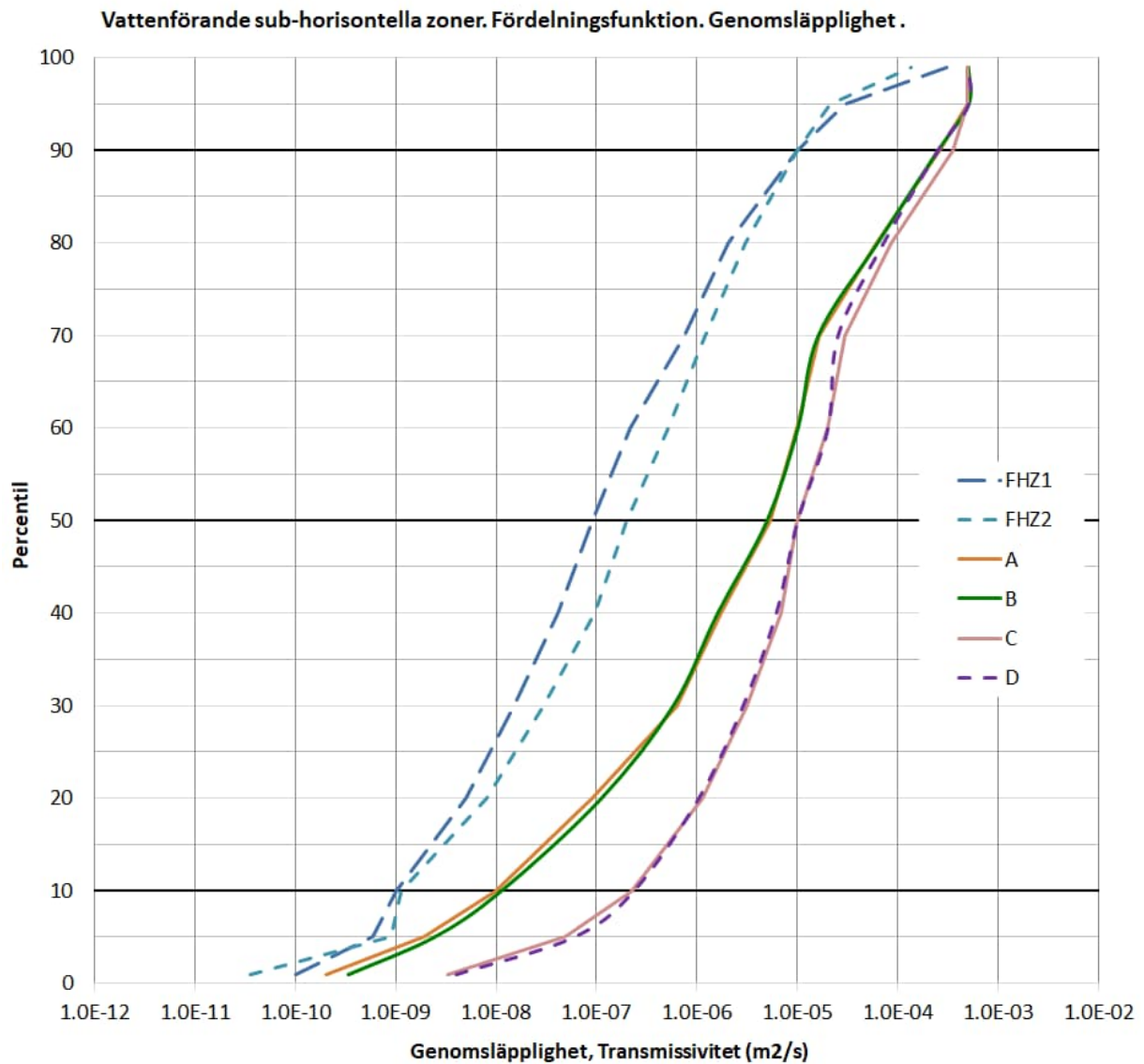
Djupa lager lager E: Konduktivitet\_horisontalt =  $5E-9$  m/s. Konduktivitet\_vertikalt =  $5E-10$  m/s

---

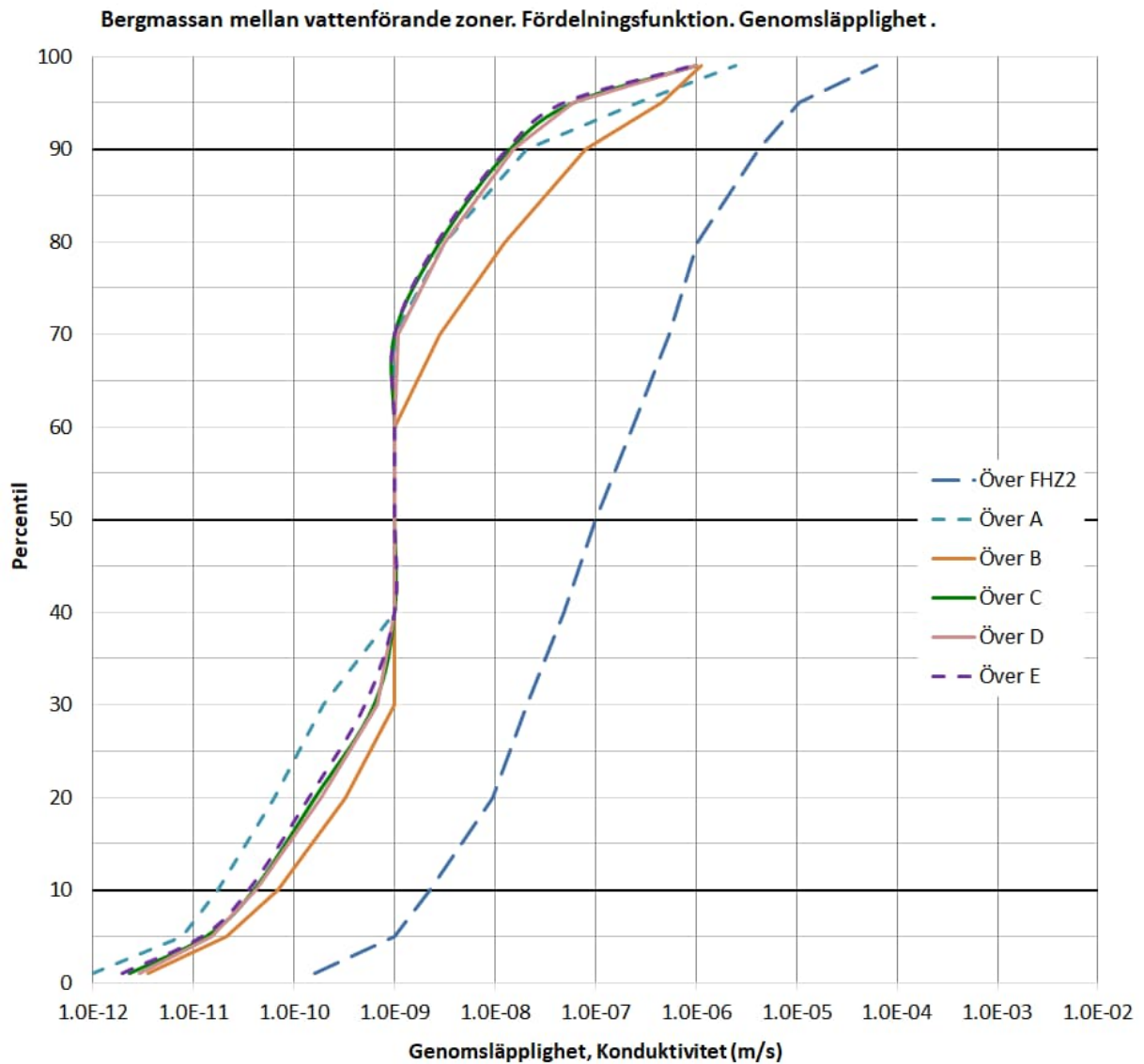


Figur 4-11 Värden på hydraulisk genomsläpplighet som tilldelats modellen. Geometriska medelvärden för log-normalfördelningar. Som en del av modellens detaljerade kalibrering korrigeras log-normal fördelningarna lokalt av olika strukturer tex de undulerande zonerna ÖZ1 och ÖZ2, men även lokal ökning och reducering av K-värdena förekommer inom vissa områden

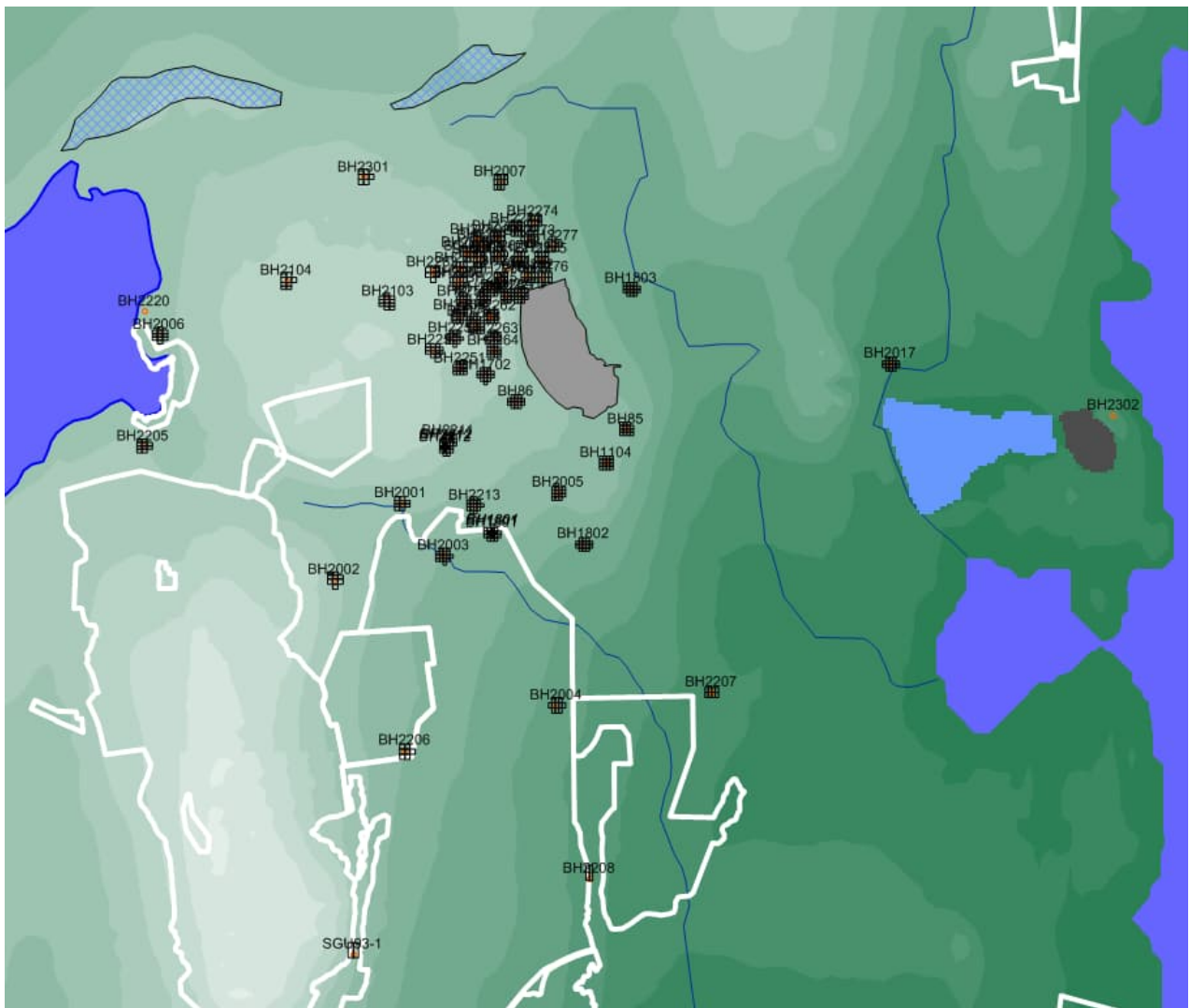




Figur 4-12 Statistisk fördelning av  $T$ -värdet (transmissivitet) i beräkningscellerna i de vattenförande zonerna (efter kalibrering). Avvikelse från log-normalfördelningar beror på modellens detaljerade kalibrering.



Figur 4-13 Statistisk fördelning av  $K$ -värden (konduktivitet) i bergmassan mellan de vattenförande zonerna (efter kalibrering). Avvikelse från log-normalfördelningar beror på modellens detaljerade kalibrering.



Figur 4-14 Borrhål för vilka de uppmätta K-värdena har direkt inkluderats i modellen, så kallade konditionerade borrhål. De uppmätta K-värdena har direkt inkluderats kring varje brunn inom de markerade områdena.

#### 4.11.1 Injektering vid Västra brottet

Injektering av berget har utförts vid Västra brottets västra vägg. Injekteringslinjen sträcker sig från söder till norr, längs med Västra brottets hela västra vägg. Syftet med injektering är att minska bergets vattenförande förmåga genom att via ett stort antal borrhål pumpa in cementbruk i bergssprickor. Därmed minskas grundvattenflödet mot det dränerade dagbrottet. Injekteringsens effektivitet mäts genom hydrauliska tester före och efter själva injekteringen. Injekteringsens effektivitet vid den långa sektionen vid Västra brottet och vid de två testsektionerna söder File hajdar dagbrott har utvärderats och implementerats i den upprättade modellen. Metoden diskuteras i Appendix F, Sektion 21. Injekteringslinjen vid Västra brottet är inte inkluderad i den kalibrerade situation som representerar år 2021, eftersom injekteringslinjen inte existerade år 2021. Injekteringslinjen vid Västra brottet är inkluderad i alla studerade framtida situationer.

## 4.12 Kalibrering

### 4.12.1 Den nuvarande situationen (år 2021 och 2022)

Denna studie har omfattat dels det vi kallar för den nuvarande situationen, dels olika framtida beräkningsfall. Den nuvarande situationen representerar av situationen under år 2021 och delvis under år 2022. Modellen har kalibrerats för det vi kallar den nuvarande situationen. År 2021 är en situation som inte är påverkad av injekteringen vid Västra brottets västra vägg, situationen år 2021 är inte heller påverkad av injektering vid teststräckorna på File hajdar, eftersom injekteringsarbetena utfördes efter år 2021. Infiltrationsförsöken på File hajdar påverkar heller inte situationen år 2021, eftersom de utfördes efter år 2021.

#### **Scenario LT1-2021: Den kalibrerade beskrivningen. Nuvarande situation (2021).**

Dagbrottens storlek såsom de var i oktober 2021.

Pall 1 i Västra och Östra dagbrotten brutet ned till -26 möh Dränerat.

Pall 2 i Västra brottet brutet till -48 möh Pumpgrop vid -50 möh Vattenfylld upp till nivån -31 möh

Pall 1 i File hajdar dagbrott brutet ned till nivån +20 möh Dränerat.

Transient simulering av ett framtida normalår (medelår).

Nettonederbörd enligt ett normalår. Nuvarande situation – observerade data.

### 4.12.2 Metodik

Med kalibrering menas att data och resultat som produceras av modellens simuleringar stämmer överens med kända uppmätta data. Kalibreringen har utförts för en situation som huvudsakligen motsvarar förhållanden under 2021-2022, **Scenario LT1-2021**. En exakt representation av år 2021-2022 är det inte, eftersom en del av indata representerar en längre tidsperiod, tex representerar nettonederbörden (medelvärden) en längre period. Inflödena till dagbrotten är också representativa värden för en längre period och inte exakt de uppmätta värdena för år 2021, eller 2022. Anledningen till att vi väljer medelvärden och representativa värden på indata beror på att förhållanden kan skilja sig mycket åt mellan olika år, och vi vill att modellen skall så mycket som möjligt representera en medelsituation, dock huvudsakligen baserat på år 2021-2022.

Modellen är kalibrerad mot följande uppmätta data, se Tabell 4-2. Det är kalibreringens syfte att reproducera dessa uppmätta data. Kalibreringen inkluderar dessa kalibreringsmål samtidigt och tillsammans.

*Tabell 4-2 Kalibreringsmål, modellen är kalibrerad mot följande uppmätta data.*

- 
- Transient inflöde till File hajdar dagbrott. Representativt värde för år 2021.
  - Transient inflöde till Västra och Östra brotten. Representativt värde för år 2021.
  - Uppmätta volymer som pumpats från produktionsbrunnarna (enligt vattendom)
  - Observerade transienta grundvattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna (medel).
  - Transienta grundvattennivåer i ett flertal utvalda borrhål. Med avseende på grundvattennivåer fokuseras kalibreringen på medelvärden av de uppmätta miniminivåerna i borrhål från de senaste två till tre åren beroende på tillgänglig data.
-

Om man ändrar på någon betydelsefull egenskap i den kalibrerade modellen så kommer modellens egenskaper att förändras och modellen kommer ej längre att vara kalibrerad, de simulerade flödena till dagbrotten kommer ej längre att stämma med uppmätta flöden, vattennivåerna i observationsbrunnar och i produktionsbrunnarna kommer ej längre att stämma med uppmätta nivåer, osv.

Det studerade systemet är mycket komplext och bergmassans egenskaper är heterogena, och det finns därför ingen helt unik lösning för kalibreringen. Den kalibrerade modellen är det alternativ som bedöms vara det mest sannolika. Alla beskrivningar som ligger nära den grundläggande geologiska tolkningen och som kan kalibreras ligger mycket nära den kalibrerade modellens beskrivning. Beskrivningar som tydligt avviker från den kalibrerade beskrivningen kan inte kalibreras mot uppmätta data. Kalibreringen analyseras och diskuteras också i en sensitivitetsanalys, se sektion 4.12.3 (nedan) och Appendix A, kapitel 16.

Kalibreringen är tidsberoende (transient) och redovisar det studerade systemets variation under ett medelår/normalår. Syftet med att utföra en transient kalibrering, som är komplicerad och tidsödande, är att upprätta en modell som kan simulera hur de framtida grundvattennivåerna kommer att variera under ett teoretiskt medelår/normalår. Detta möjliggör en analys av både högvattensituationen (vinter) och lågvattensituationen (sommar). De simulerade regionala grundvattennivåerna på långt avstånd från Slite är inte kalibrerade i detalj.

Det ska påpekas att den stora variationen (amplituden) i grundvattennivå under ett normalår, upp till ca 30 m, gör de transienta simuleringarna mycket beräkningsintensiva, med långa beräkningstider.

Kalibreringen utfördes för en situation med dagbrotten definierade med den storlek som dagbrotten hade i oktober 2021. Pall 2 i Västra brottet simulerades som delvis vattenfylld. Nettonederbörden är den som angivits i Kapitel 2.5.

Kalibreringsmetodikens syfte är att nå fram till de kalibreringsmål som anges i Tabell 4-2. Metoden för att nå kalibreringens mål var att korrigera egenskaperna för de statistiska fördelningar som definierar de olika lagrens heterogena K-värden och magasinsegenskaper, både lokalt och regionalt. Ett mycket stort antal transienta simuleringar utfördes för att nå kalibreringsmålen.

De statistiska fördelningarnas egenskaper korrigerades baserat på en kombinerad metodik som både inkluderade en automatisk nätverksmetod (Geoan PAC, Holmén 2021) och manuell "trial and error" metodik. Det studerade systemets komplexitet gör det omöjligt att använda en helt automatisk kalibreringsmetodik. Det är de kalibrerade (justerade, korrigerade) fördelningarna som visas i Figur 4-12 och i Figur 4-13.

Den transienta simuleringen använder olika värden på nettonederbörden för varje månad (se Kapitel 2.5) För kalibreringen upprepades det studerade normalåret så att magasinseffekter i början och slutet av året utjämnas.

### 4.12.3 Sensitivitetsanalys

Kalibreringen analyseras och diskuteras i en sensitivitetsanalys, se Appendix A, kapitel 16. Sensitivitetsanalysen visar att kalibreringen får en god bestämmande kraft när alla de olika kalibreringsmålen utvärderas tillsammans och samtidigt. Det är viktigt att modellen kalibreras tidsberoende mot både vattennivå och vattenflöde samtidigt. Detta är en svårare och mer bestämmande kalibrering än att bara kalibrera mot vattennivåer i borrhål, som bara avser vattennivå och inte grundvattenflöde; det är också en mer bestämmande kalibrering än att bara kalibrera mot inflöde av grundvatten till dagbrotten, som bara avser flöde och inte vattennivå.

### 4.12.4 Grundvattennivåer

Kalibrering av grundvattennivåer avser de varierande nivåerna under ett normalår, från högvatten under höst och vinter till lågvatten under vår och sommar. Kalibreringen fokuserades på att reproducera grundvattensituationen under slutet på sommaren då vattennivåerna är de lägsta (lågvattensituationen), eftersom detta är en känslig situation med avseende på vattenförsörjning och även en känslig situation för växter och djurliv. Vid högvattensituationen under höst och vinter är vattennivåerna höga och högvattensituationen är därmed av mindre intresse,

Med avseende på grundvattennivåer så har kalibreringen av den transienta lågvattensituationen baserats på lågvattensituationen i borrhålen som visas i Figur 4-15. Kalibreringen har dessutom baserats på lågvattennivåerna i de kommunala produktionsbrunnarna. De studerade borrhålen är utspridda över stora delar av det studerade området, därmed får kalibreringen en god täckning av hela det studerade området-

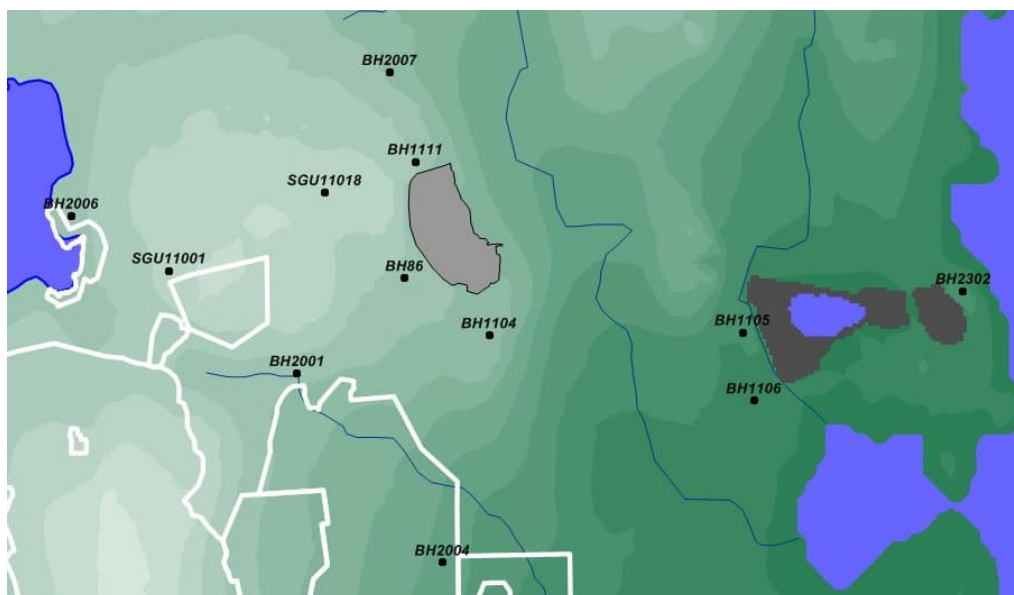
Resultatet av kalibreringen av grundvattennivåer i observationsbrunnar visas i Figur 4-16. Figuren visar matchning av simulerade och uppmätta grundvattennivåer för lågvattensituationen. Notera att de kalibrerade grundvattennivåerna varierar från -12 möh till +45 möh Figuren visar en god överensstämmelse mellan uppmätta och simulerade grundvattennivåer. Medelfelet är minus 0.35 m.

Som exempel på den simulerade årliga variationen i grundvattennivå visas resultatet av kalibreringen för ett normalår, för borrhål BH2001, BH1104, BH86 och BH1105. Se Figur 4-17, Figur 4-18, Figur 4-19 och Figur 4-20. Den stora variationen i grundvattennivå under året framgår tydligt av figurerna.

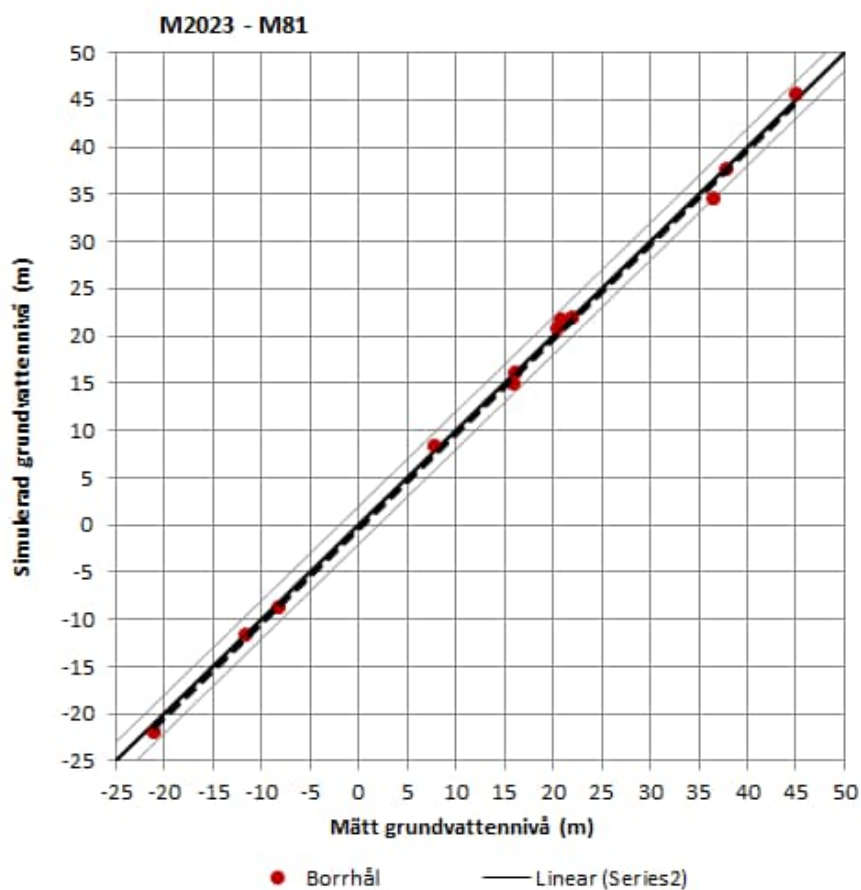
Kalibrerade grundvattennivåer kring dagbrotten (och N-2000 områdena) visas i Figur 4-21 för april månad, i Figur 4-22 för juli månad (lågvatten), i Figur 4-23 för september månad samt i Figur 4-24 för december månad (högvatten).

Figuren visar representativa berggrundvattennivåer, vilket motsvarar grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (se Sektion 4.10).

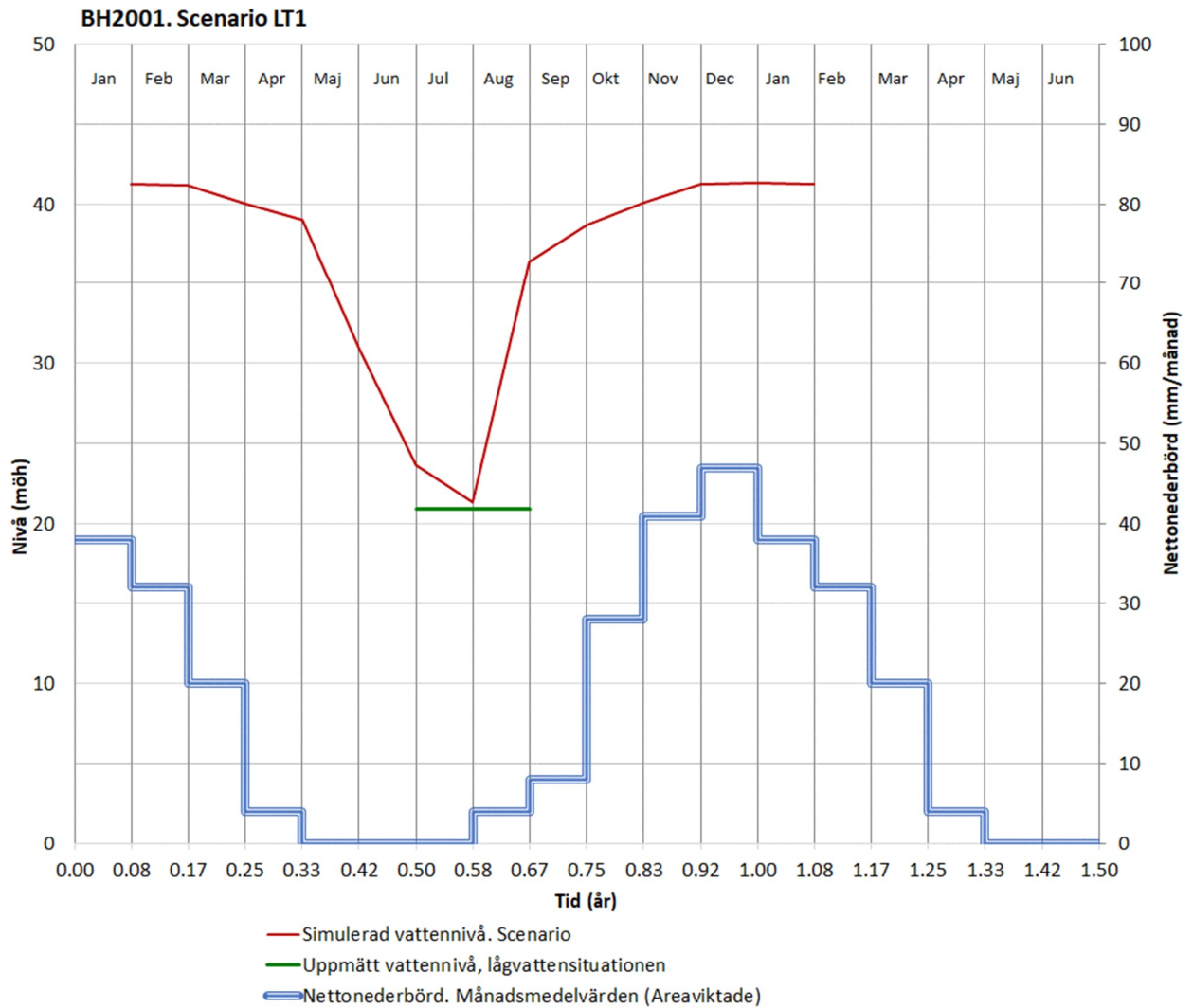
GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 4-15 Borrhål som inkluderats i kalibreringen.

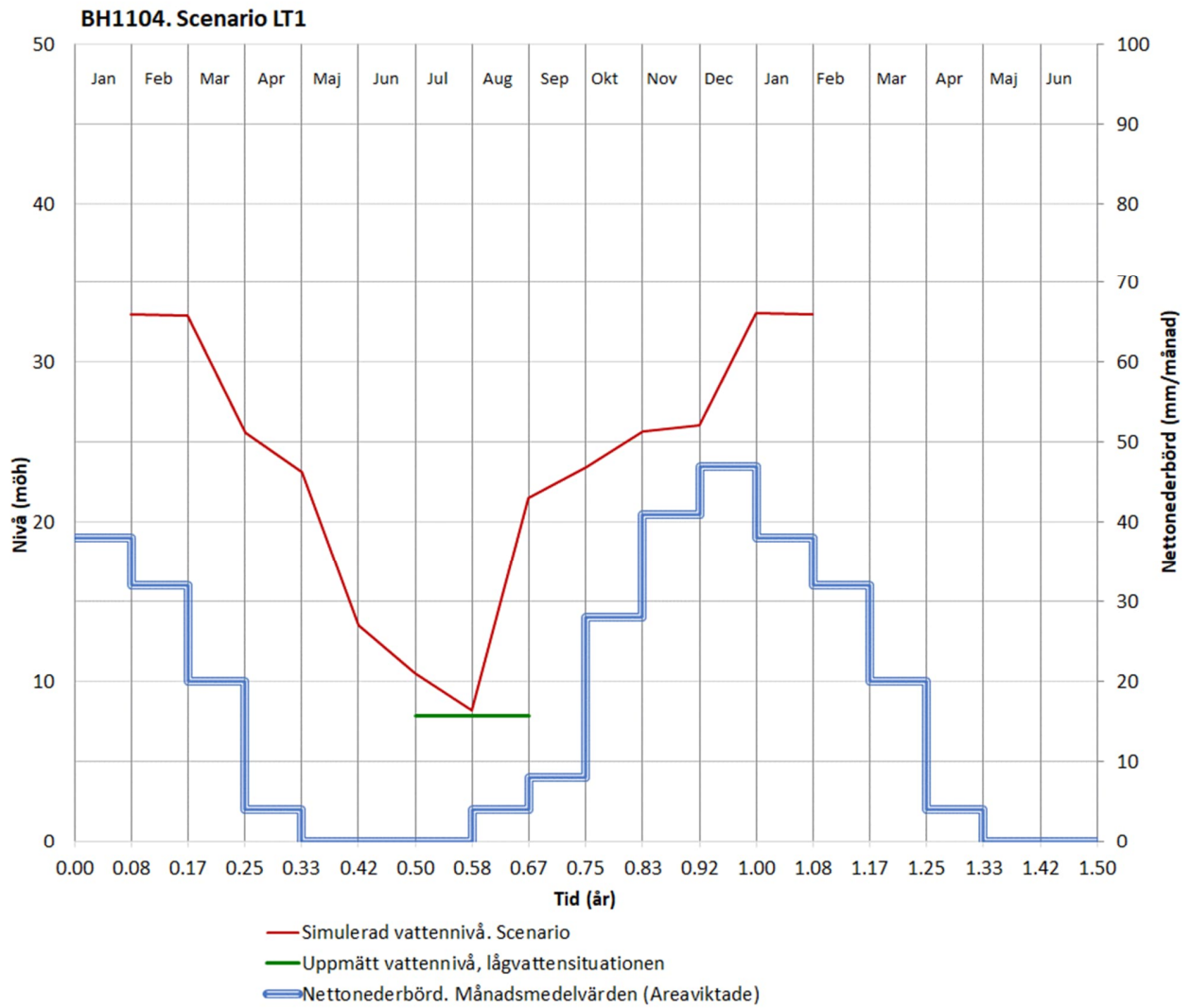


Figur 4-16 Resultat av kalibreringen av grundvattennivåer i observationsbrunnar. Figuren visar matchning av simulerade och uppmätta grundvattennivåer för lågvattensituationen. Notera att de kalibrerade grundvattennivåerna varierar från -21 möh till +45 möh

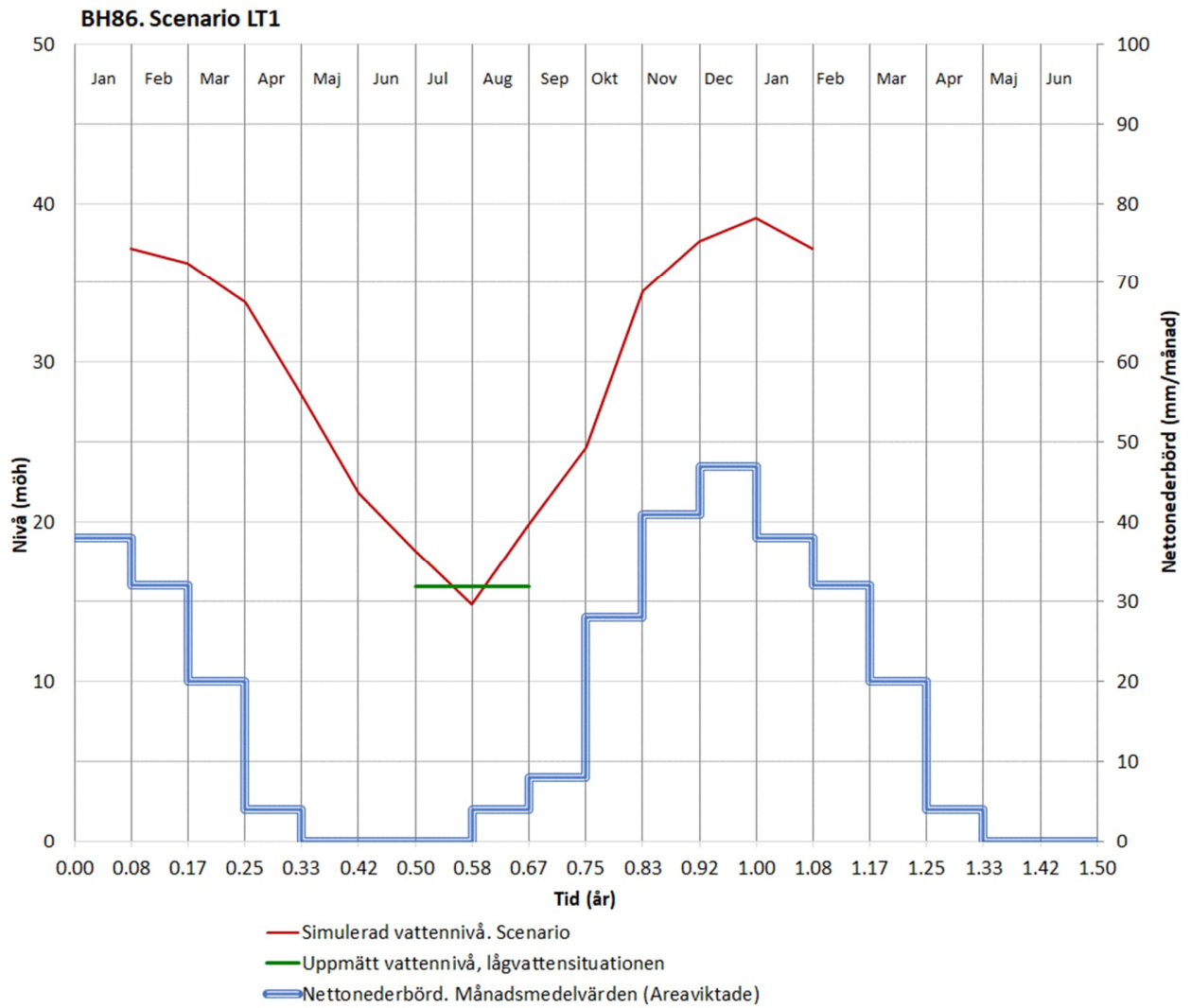


Figur 4-17 Resultat av kalibreringen av grundvattennivåer i observationsbrunn BH2001. Figuren visar den simulerade variationen i grundvattennivå under ett normalår.

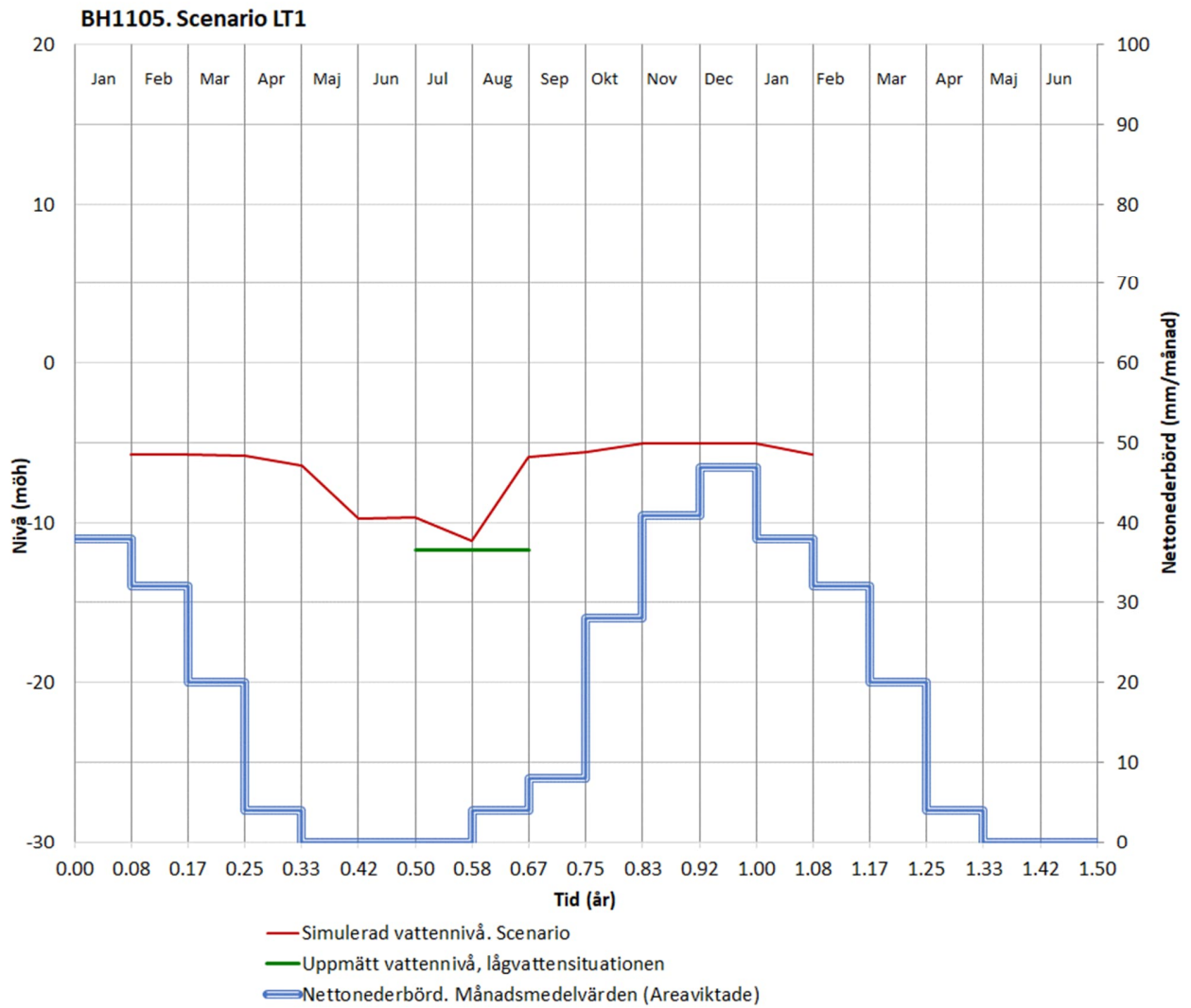




Figur 4-18 Resultat av kalibreringen av grundvattennivåer i observationsbrunn BH1104. Figuren visar den simulerade variationen i grundvattennivå under ett normalår.

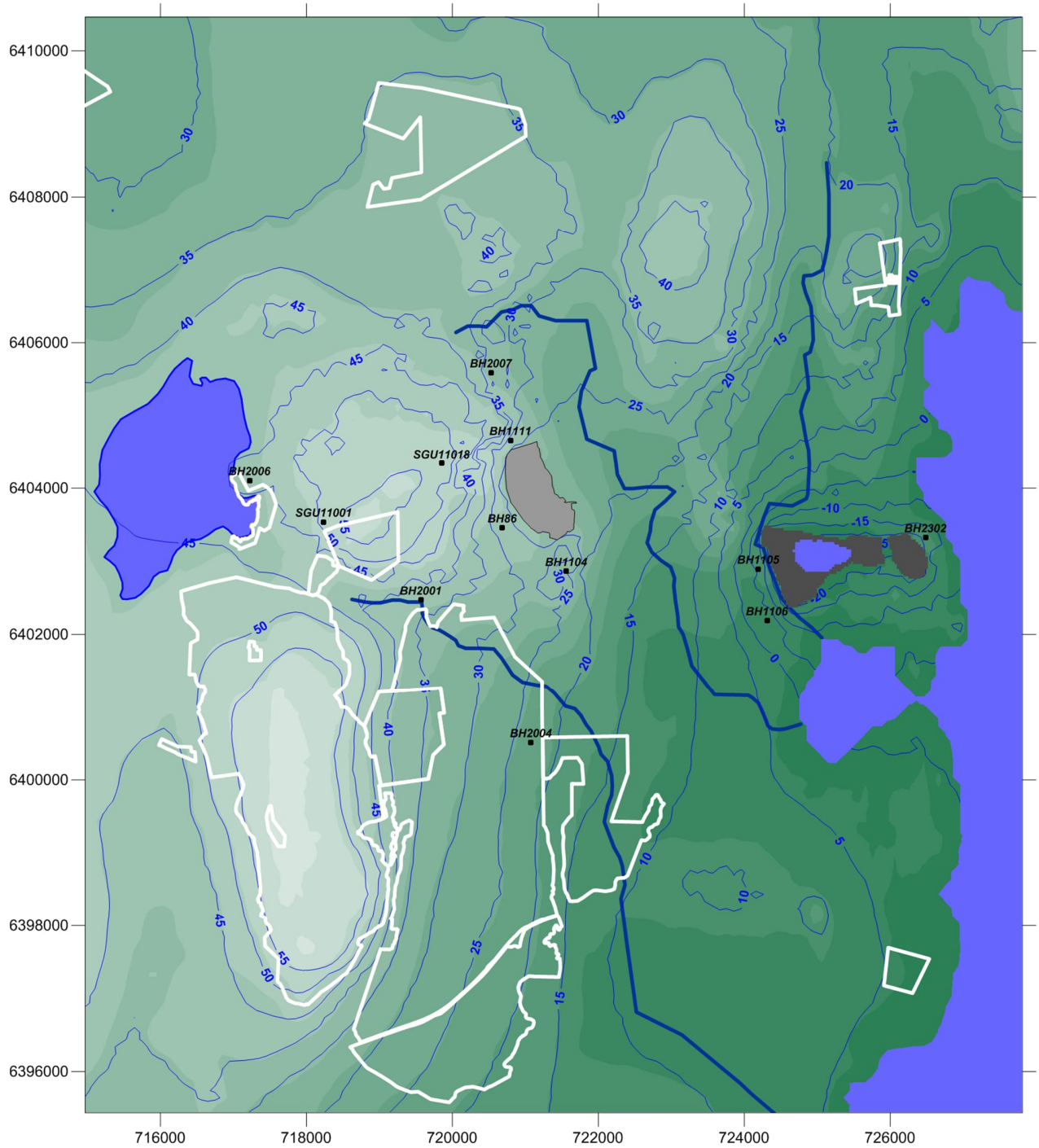


Figur 4-19 Resultat av kalibreringen av grundvattennivåer i observationsbrunn BH86. Figuren visar den simulerade variationen i grundvattennivå under ett normalår.



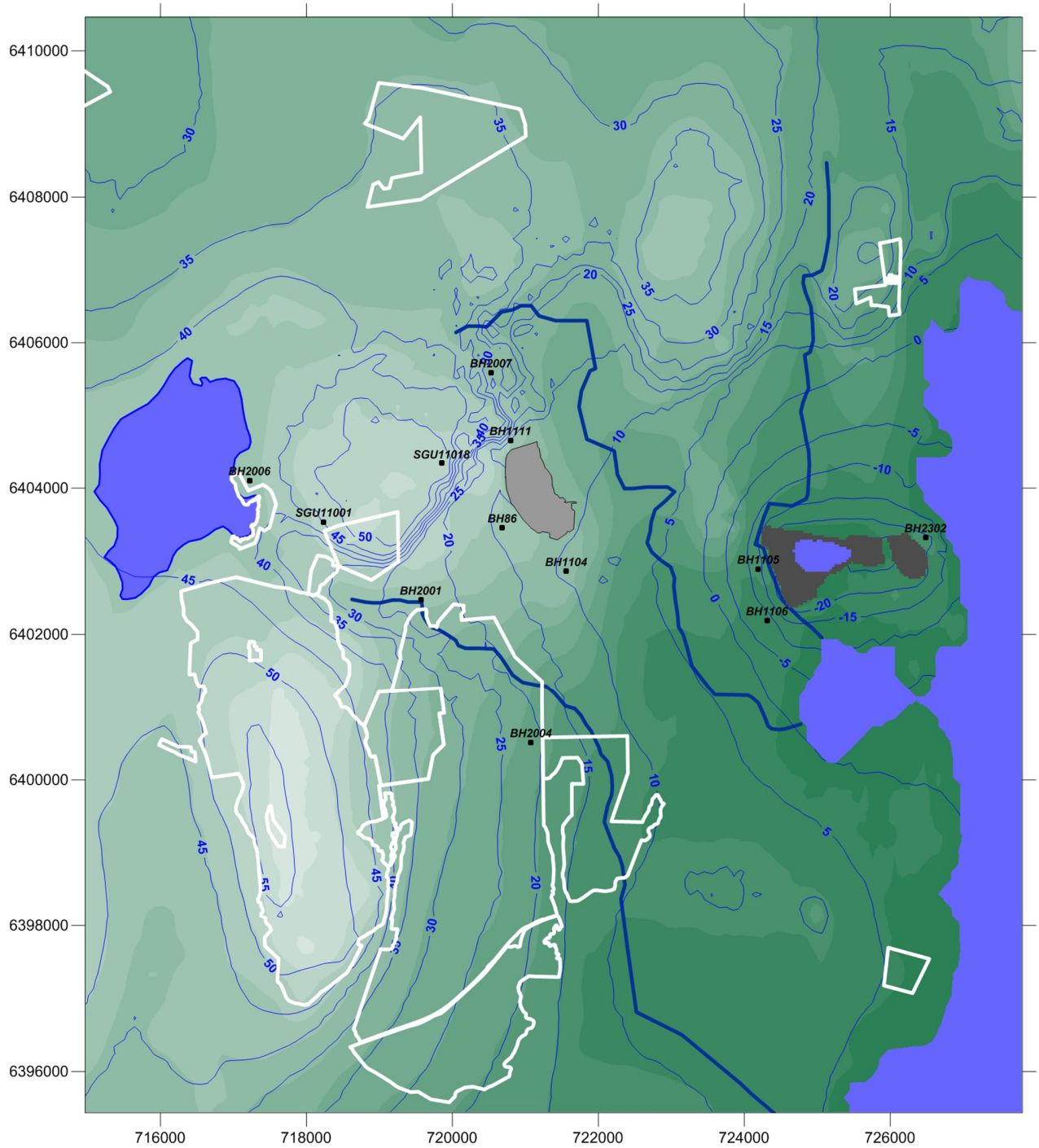
Figur 4-20 Resultat av kalibreringen av grundvattennivåer i observationsbrunn B1105. Figuren visar den simulerade variationen i grundvattennivå under ett normalår.

# GRUNDVATTENMODELL SLITE



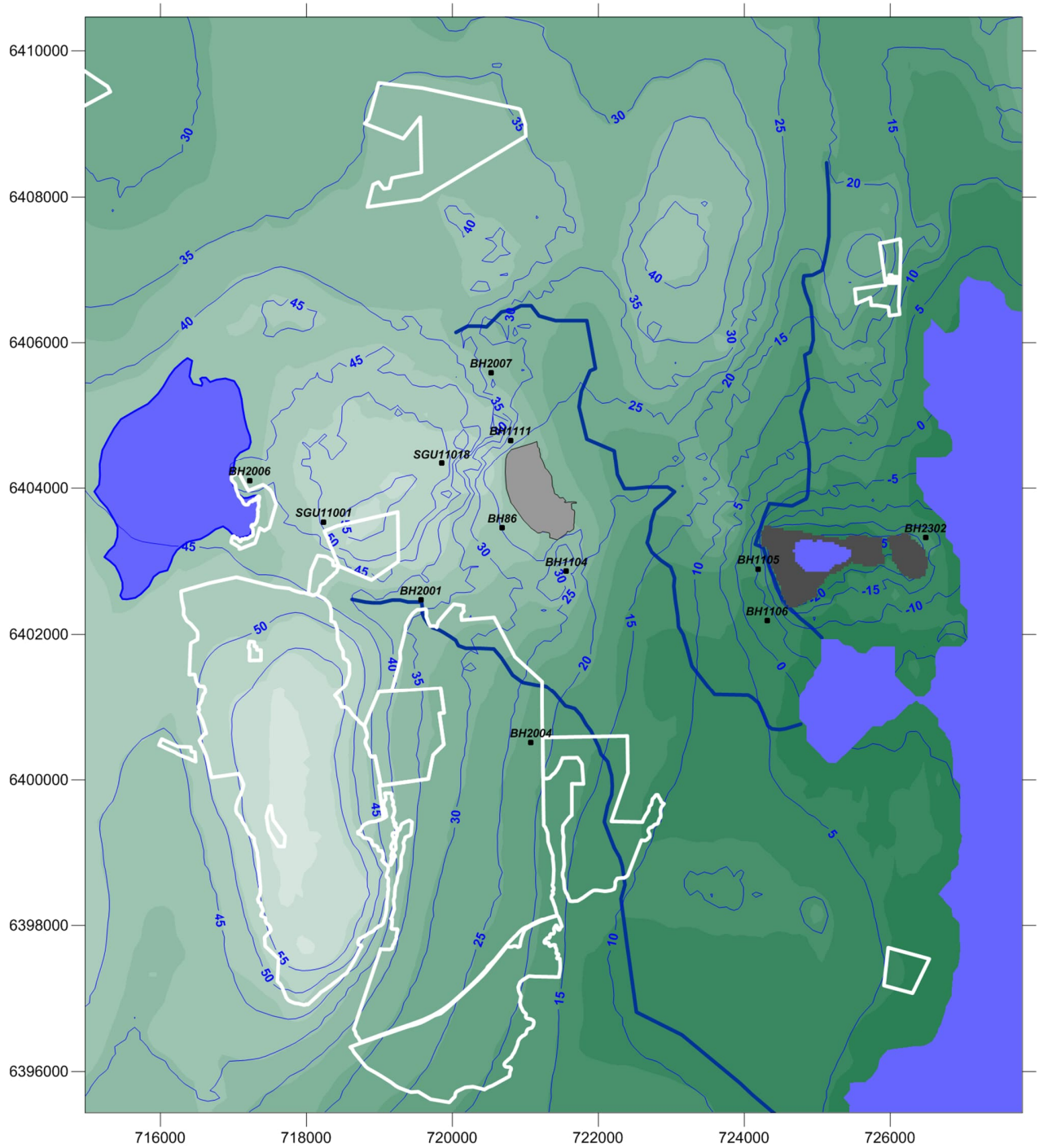
Figur 4-21 Scenario LT1 (2021). Kalibrerad modell. Grundvattennivåer kring dagbrotten för APRIL månad. Figuren visar representativa berggrundvattennivåer, vilket motsvarar grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.10).

GRUNDVATTENMODELL SLITE



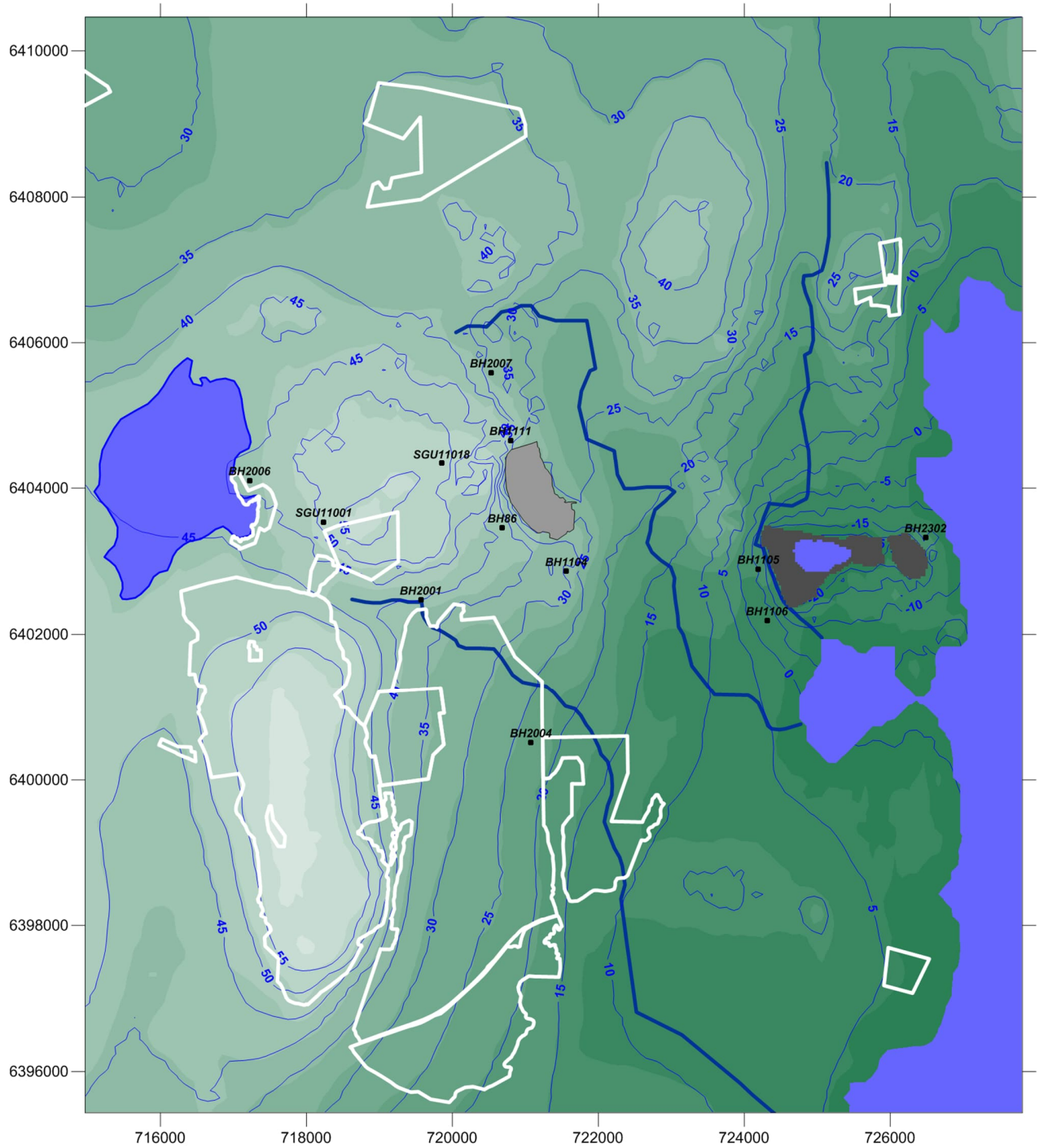
Figur 4-22 Scenario LT1 (2021). Kalibrerad modell. Grundvattennivåer kring dagbrotten för JULI månad (lågvattnesituationen). Figuren visar representativa berggrundvattennivåer, vilket motsvarar grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.10).

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 4-23 Scenario LT1 (2021). Kalibrerad modell. Grundvattennivåer kring dagbrotten för SEPTEMBER månad. Figuren visar representativa berggrundvattennivåer, vilket motsvarar grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.10).

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 4-24 Scenario LT1 (2021). Kalibrerad modell. Grundvattennivåer kring dagbrotten för DECEMBER månad (högvattensituationen). Figuren visar representativa berggrundvattennivåer, vilket motsvarar grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.10).

#### 4.12.5 Vattenbortledning från dagbrotten

Vattenbortledningen från dagbrotten är summan av grundvatteninflödet till dagbrotten och nettonederbörden som faller över dagbrotten. Dessa flöden pumpas ut ur dagbrotten, eller ansamlas i dagbrotten (tex i pall 2 i Västra brottet). Vattenbortledningen diskuteras i Sektion 2.7. Uppmätta värden för år 2021 visas i Tabell 2-5. Representativa värden för år 2021 visas i Tabell 2-6. Modellen har kalibrerats mot de representativa värdena.

Den simulerade och kalibrerade vattenbortledningen från File hajdar dagbrott visas i Figur 4-25. Det kalibrerade totalflödet för hela året är en underskattning med 0.5% i jämförelse med det representativa värdet för år 2021. För hela året utgör andelen grundvatten ca 40%.

Simulerat inflöde till File hajdar dagbrott, grundvatten	= 240 000 m <sup>3</sup> /år
Simulerat inflöde till File hajdar dagbrott, nettonederbörd	= 385 000 m <sup>3</sup> /år
Simulerat inflöde till File hajdar dagbrott, totalt	= 625 000 m <sup>3</sup> /år

Under sommaren ligger de uppmätta grundvattennivåerna kring File hajdar dagbrott nära eller under bottennivån på dagbrottet. Detta betyder att grundvatteninflödet till dagbrottet är minimalt under sommaren. Detta reproduceras av den kalibrerade modellen.

Den simulerade och kalibrerade vattenbortledningen från Västra och Östra brotten visas i Figur 4-26. Det kalibrerade totalflödet för hela året är en underskattning med nära 3% i jämförelse med det representativa värdet för år 2021. För hela året utgör andelen grundvatten ca 60%.

Simulerat inflöde till Västra och Östra dagbrotten, grundvatten	= 710 000 m <sup>3</sup> /år
Simulerat inflöde till Västra och Östra dagbrotten, nettonederbörd	= 440 000 m <sup>3</sup> /år
Simulerat inflöde till Västra och Östra dagbrotten, totalt	= 1 150 000 m <sup>3</sup> /år

#### 4.12.6 Andelen grundvatteninflöde

För den kalibrerade modellen blir den simulerade andelen grundvatten i vattenbortledningen från:

- Västra och Östra brotten, ca 60%
- File hajdar, ca 40%

Vattenbortledningen är summan av nettonederbörden och grundvatteninflödet. Det finns osäkerheter i uppskattningarna av andelen grundvatten och andelen nettonederbörd i vattenbortledningen. Det som mäts är vattenbortledningen och inte grundvatteninflödet eller nettonederbörden, det betyder att osäkerheter i tex uppskattning av storleken på avdunstningen från dagbrotten påverkar den uppskattade nettonederbörden över dagbrotten, vilket i sin tur påverkar den uppskattade andelen grundvatteninflöde. Som tidigare nämnts har det tagits fram en uppskattning av nettonederbörden över dagbrotten. En indikation av storleken på nettonederbörden över dagbrotten kan uppskattas, med en betydande osäkerhet, som en andel av den bortledda vattenvolymen via en korrelationsanalys. Korrelationsanalysen består av en jämförelse av bortledda vattenvolymer för olika år och den uppmätta nederbörden för motsvarande år. En sådan analys indikerar det följande:

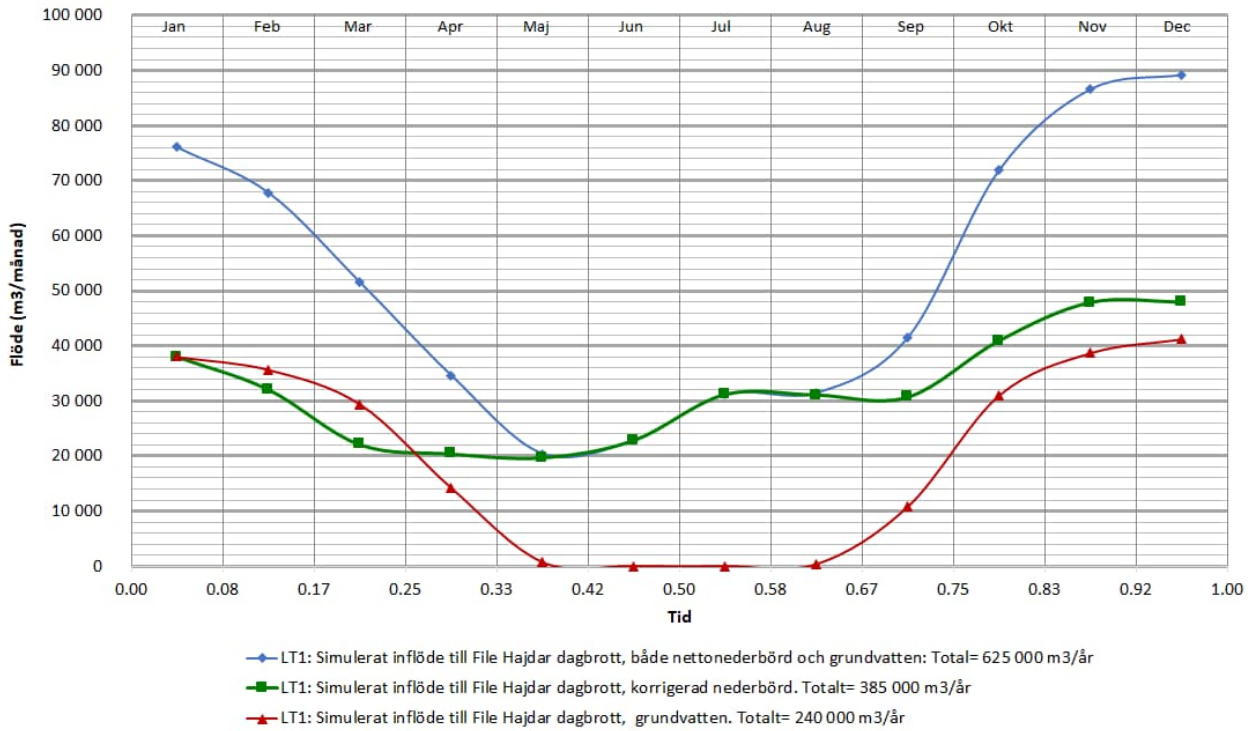
Som ett medelvärde för hela året är ungefär 60% grundvatten och 40% nettonederbörd av den bortledda vattenvolymen i Västra och Östra brotten.

Som ett medelvärde för hela året är ungefär 40% grundvatten och 60% nettonederbörd av den bortledda vattenvolymen i Västra och Östra brotten.



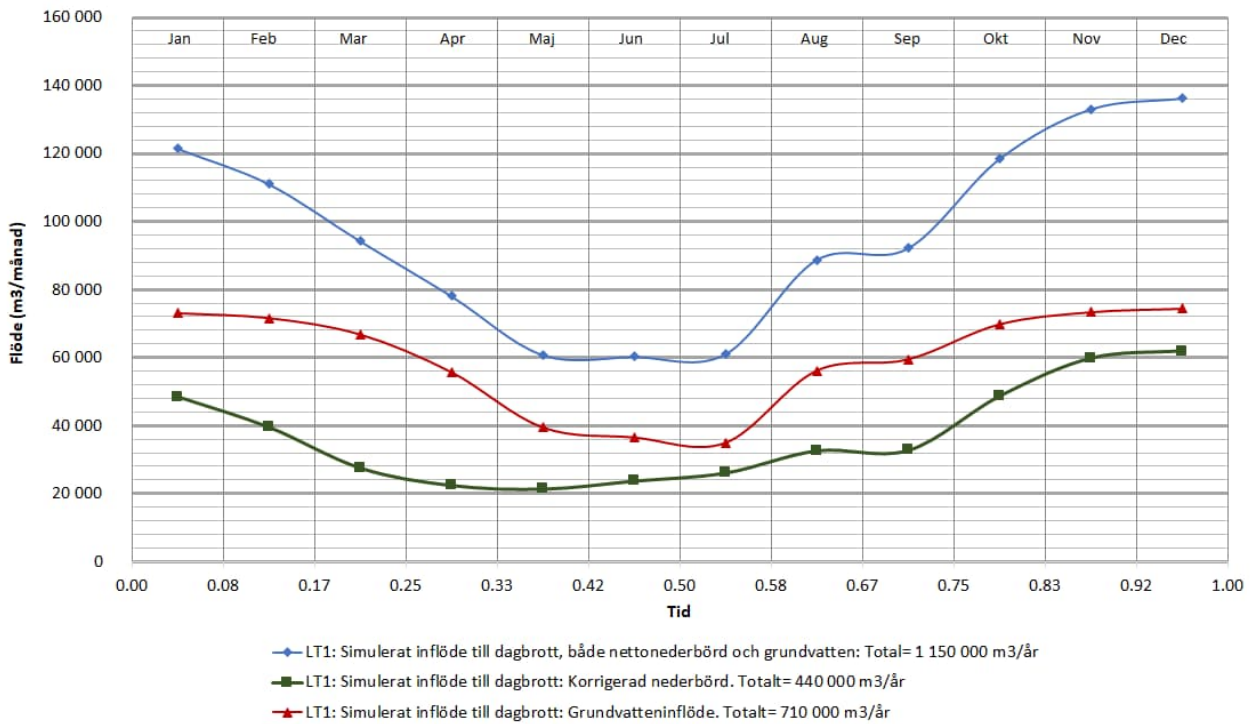
GRUNDVATTENMODELLEN SLITE

Inflöde till File Hajdar dagbrott (simulerat). M81 Scenario LT1



Figur 4-25 Simulerad vattenbortledning från File hajdar dagbrott. Kalibrerade flöden.

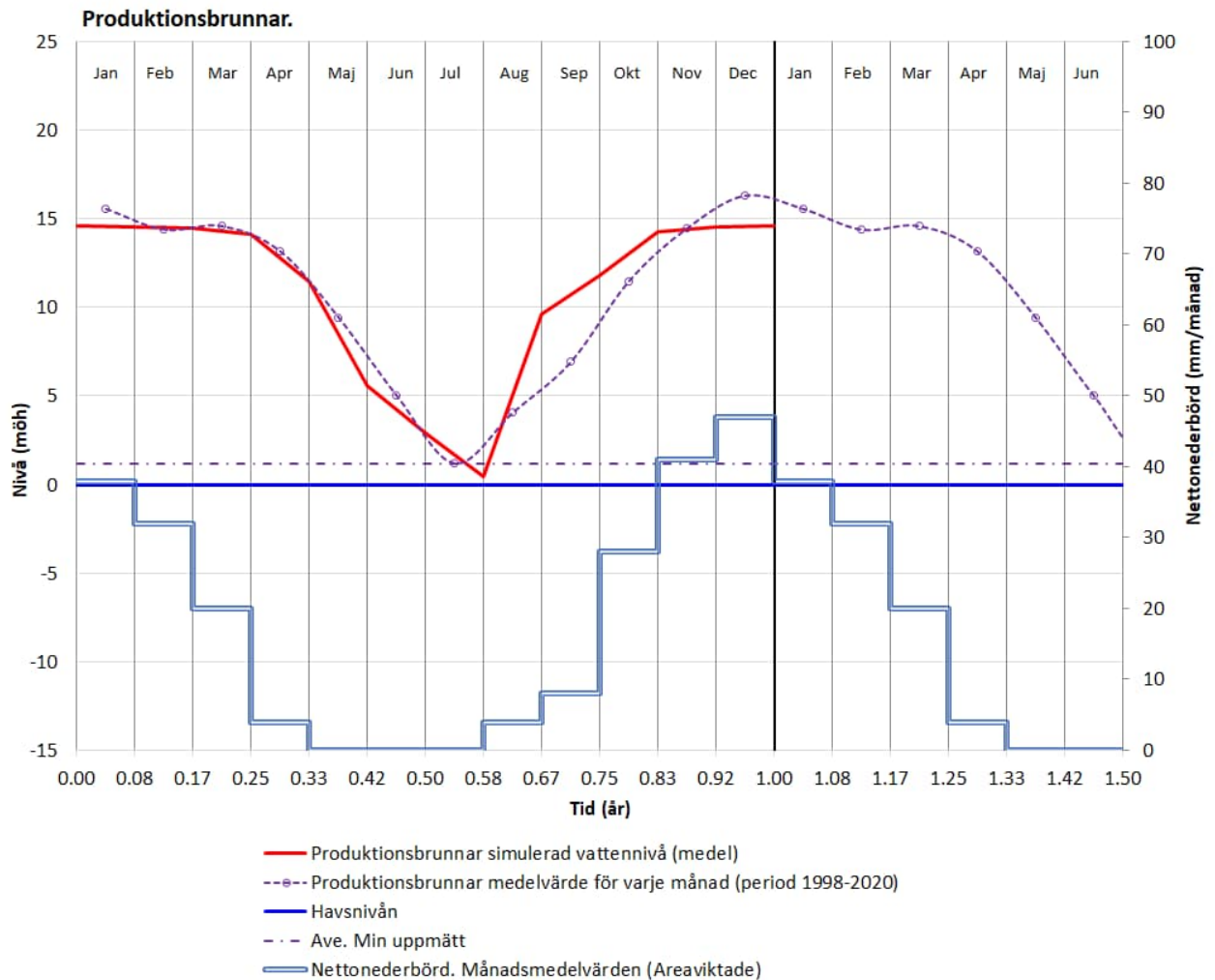
Inflöde till Västra och Östra brotten (simulerat). M81 Scenario LT1



Figur 4-26 Simulerad vattenbortledning från Västra och Östra brotten. Kalibrerade flöden.

#### 4.12.7 Pumpade volymer och vattennivåer i de kommunala brunnarna

Vattennivåerna i produktionsbrunnarna varierar under ett normalår med en betydande skillnad mellan högsta nivå (vinter) och lägsta nivå (sommaren), amplituden är i storleksordningen 15 m (delvis beroende på period som studeras). Resultat av kalibreringen av vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna visas i Figur 4-27. Figuren visar matchning av simulerade och uppmätta vattennivåer i produktionsbrunnarna för ett normalår. Figuren visar en god överensstämmelse mellan uppmätta och simulerade vattennivåer. Den i modellen simulerade totala produktionen i brunnarna ligger mycket nära 220 000 m<sup>3</sup>/år, i modellen är felet i produktion lika med 0.1% (se också Sektion 4.8). Med avseende på produktionsbrunnarna så kalibreras både vattennivå och vattenflöde samtidigt för brunnarna. Detta är teoretiskt en mer bestämmande kalibrering än vattennivåer i borrhål, som bara avser vattennivå och inte grundvattenflöde; också mer bestämmande än inflöde av grundvatten till dagbrotten, som bara avser flöde och inte vattennivå.



Figur 4-27 Simulerade och uppmätta vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna. Resultat av kalibreringen av grundvattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna. Figuren visar matchning av simulerade och uppmätta grundvattennivåer i produktionsbrunnarna för ett normalår

## 4.13 Beräkning grundvattenbildning

Grundvattenbildning syftar normalt på den mängd vatten som passerar nedåt genom en teoretisk yta, t.ex. markytan (topografin). Grundvattenbildning anges ofta i enheten mm/år, så att den enkelt kan jämföras med nederbörden eller nettonederbörden, som också anges med denna enhet.

Konceptet grundvattenbildning kan tyckas vara ett väl definierat koncept, men när man applicerat det på en stor och komplex tredimensionell hydrogeologisk beskrivning, som inkluderar en varierande grundvattennivå, in- och utströmningsområden och ytvattenflöden, märker man snart att det inte är så självklart vad som i praktiken är grundvattenbildning. I verkligheten är interaktionen mellan nederbörd, evapotranspiration, ytvatten, yt nära grundvatten och djupare grundvatten sällan så enkel att man tydligt och lätt kan definiera och beräkna ett allmängiltigt värde för grundvattenbildningen.

Hydrogeologiska beskrivningar är oftast tre-dimensionella och beskriver ett stort och komplext tre-dimensionellt flödessystem. Konceptet grundvattenbildning vid markytan bygger på en förenklad en-dimensionell tolkning av hur ett flödessystem fungerar. Denna förenklade tolkning följer av att många äldre hydrologiska beskrivningar och modeller är just endimensionella beskrivningar av flödessystemet, där grundvattenbildningen vid markytan ofta är ett föreskrivet värde, och där flödena av vatten är vertikala endimensionella flöden genom en omättad zon ned till grundvattenzonen. En sådan förenklad beskrivning motsvarar ungefär en beskrivning av att man håller vatten i en blomkruka, och hur vattnet i blomkrukan sedan transporteras vertikalt nedåt genom blomkrukan. En fullständig beskrivning av ett hydrogeologiskt system är mycket mer komplicerad än den enkla endimensionella beskrivningen.

Det mesta av nederbörden som faller på ett tätt berg eller en lera infiltrerar inte direkt i marken, men det kan mycket väl infiltrera i marken efter att ha strömmat en kort sträcka på den täta ytan, som ytvatten. Om nederbörden faller på ett utströmningsområde (för grundvattnet) eller en vattenyta (som en sjö, en våtmark eller ett vattendrag) bildas inget grundvatten, utan då bildas istället ytvatten, som i sin tur kan infiltrera och bilda grundvatten nedströms.

Det mesta av nederbörden som faller över en skogsmark, och som inte direkt uppfångas av träd och buskar (interception), kommer att infiltrera i marken och bilda flöden i den allra översta markzonen (t.ex. på ett djup mindre än 1 m). Man kan säga att det då har bildats grundvatten i markens allra överstadel. Mycket av nederbörden som har infiltrerat i jord och mark rör sig dock nära markytan och delvis på markytan, ovanför det man normalt menar med grundvattensystemet. Det är också vanligt att vattnet i den översta markzonen utströmmar till ytvattensystemet inom ett kort avstånd från där det först infiltrerade i marken, t.ex. i ett mindre dike, för att sedan ånyo infiltrera i marken ett stycke därifrån. Detta diskuteras i bl.a. Grip och Rodhe (1985) och Rodhe (1987).

Varje gång samma vatten infiltrerar i marken kan man säga att det bildar grundvatten. En frågeställning blir då om man ska räkna samma vatten flera gånger när det bildar grundvatten flera gånger? En betydande andel av nederbörden som har infiltrerat i marken tas dessutom upp av växternas rotsystem, på olika djup. Detta upptag sker under markytan, men i praktiken ovanför det egentliga grundvattensystemet. Om marken är mycket genomsläpplig (t.ex. grus) och inga växter förekommer kan teoretiskt hela nederbörden direkt infiltrera och bilda grundvatten, även om grundvattennivån ligger på betydande djup.

Från resonemanget ovan inser man att en rimlig uppskattning av grundvattenbildningen måste relateras till en större area och till ett visst djup under markytan. Vilket betyder att konceptet grundvattenbildning egentligen avser storleken på det nedåtriktade grundvattenflödet på olika platser och på olika djup.

Eftersom *grundvattenflödet* är tidsberoende och tredimensionellt kommer det nedåtriktade grundvattenflödet att variera från plats till plats, med djupet och med tiden. Eftersom konceptet *grundvattenbildning* egentligen är samma sak som det nedåtriktade grundvattenflödet så kommer således också grundvattenbildningen att variera från plats till plats, med djupet och med tiden. Det finns därför inget enkelt och allmängiltigt svar på frågan: Hur stor är grundvattenbildningen?

Det rimligaste sättet att uppskatta grundvattenbildningen är att beräkna det nedåtriktade grundvattenflödet för en given area på olika djup och att betrakta detta flöde som grundvattenbildning med avseende på det studerade djupet. Grundvattenbildningen anges ofta i enheten längd per tid [mm/år], vilket i sin tur betyder att det beräknade nedåtriktade grundvattenflödet – som normalt beräknas i enheten volym per tid – måste delas med en area för att man ska få flödet i enheten längd per tid. Frågan blir då vilken area? Är det arean för hela det studerade området, eller bara den area över vilken grundvattenflödet är nedåtriktat? Eller arean av någon annan yta i tre dimensioner? Denna fråga visar också på svagheten i konceptet grundvattenbildning i enheten längd per tid (t.ex. mm/år).

Modellen beräknar det nedåtriktade grundvattenflödet för varje beräkningscell i modellen (på olika djup). Detta flöde kan sedan omräknas till en grundvattenbildning (på olika djup) genom att det beräknade nedåtriktade grundvattenflödet ( $\text{m}^3/\text{år}$ ) delas med en given area ( $\text{m}^2$ ).

Grundvattenbildningen (eller det nedåtriktade grundvattenflödet) beror alltså på alla olika parametrar som påverkar grundvattenflödet och ytvattenflödet, t.ex. nettonederbörd, topografi, ytvattensystemets geometri, nivån på grundvattenytan, storlek på in- och utströmningsområden, genomsläpplighet och magasinsegenskaper i jord och berg mm. Grundvattenbildningen är dessutom beroende av det djup och den tidpunkt för vilken man väljer att beräkna grundvattenbildningen.

Det är viktigt att förstå att i modellen är grundvattenbildningen (eller det nedåtriktade grundvattenflödet) en del av de beräknade grundvattenflödena och inte ett föreskrivet värde. Att föreskriva ett visst värde på grundvattenbildningen är ett felaktigt sätt att beskriva och simulera hydrologiska och hydrogeologiska system. Den föreskrivna variabeln i den upprättade modellen är nettonederbörden – inte grundvattenbildningen.

Modellen inkluderar både grundvattenflöden och ytvattenflöden. En viktig anledning till att grundvattenbildningen begränsas är att grundvattensystemet till stora delar blir mättat under vintermånaderna – grundvattenytan ligger då nära markytan, vilket inte nödvändigtvis förhindrar all grundvattenbildningen, men det begränsar den

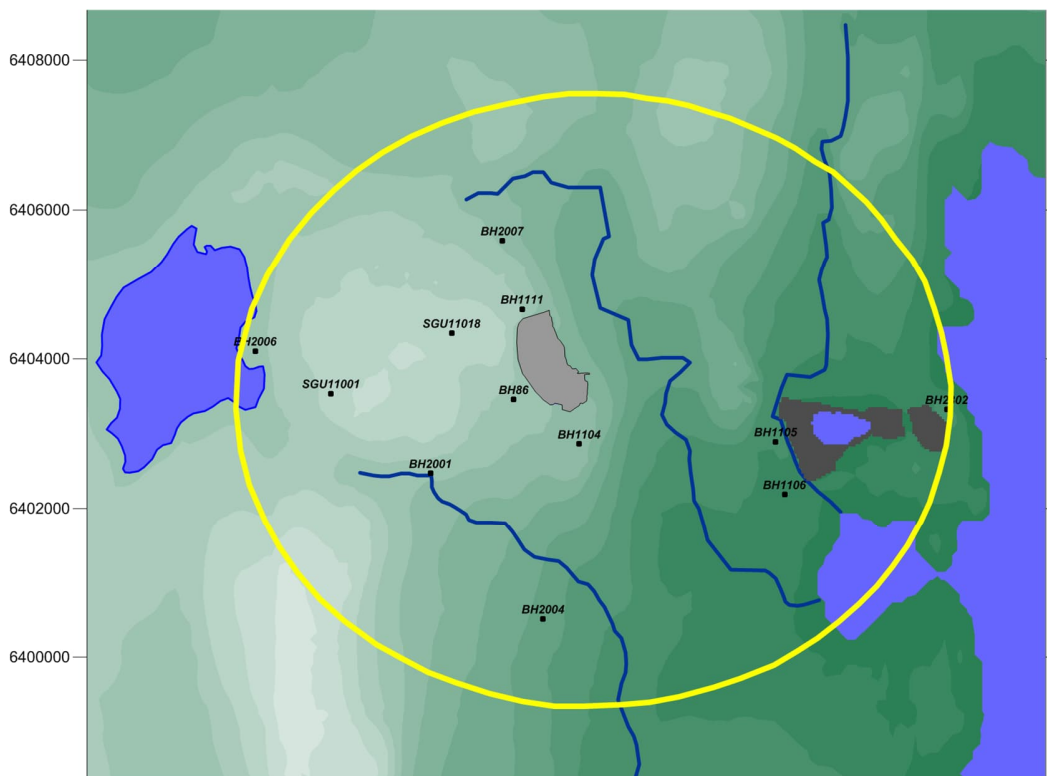
Med avseende på den kalibrerade modellen som motsvarar förhållanden under 2021:  
**(Scenario LT2)**

Det nedåtriktade grundvattenflödet (grundvattenbildningen) har beräknats för ett ellipsformat område runt dagbrotten och File hajdar. Området visas i Figur 4-28.

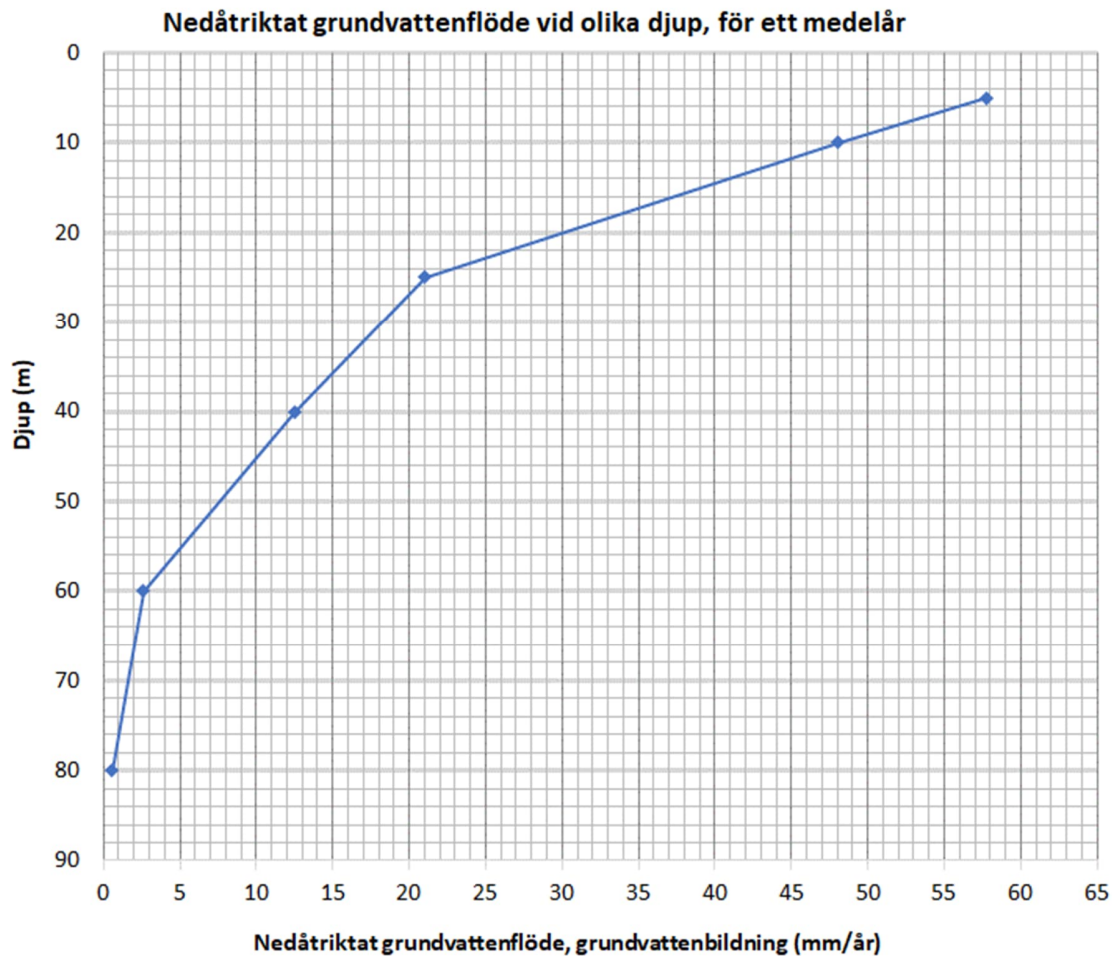
Det nedåtriktade grundvattenflödet (grundvattenbildningen) är störst nära markytan och avtar med djupet – på stora djup är det normalt mycket litet. Årssumman för ett medelår, för det nedåtriktade grundvattenflödet (grundvattenbildningen), har beräknats för olika djup och för det ellipsformade området; de resulterande flödena visas i Figur 4-29. Flödet i mm/år har beräknats genom att det simulerade nedåtriktade grundvattenflödet inom ett visst område (som visas i Figur 4-28), och på ett visst djup, har delats med hela den studerade områdets area.

För ett normalår, och för det studerade området (Figur 4-28), beräknas det nedåtriktade grundvattenflödet (grundvattenbildningen) till:

Djupet 5 m => 58 mm/år.  
 Djupet 10 m => 48 mm/år.  
 Djupet 25 m => 21 mm/år.  
 Djupet 40 m => 12 mm/år.  
 Djupet 60 m => 3 mm/år.  
 Djupet 80 m => 0.6 mm/år.



Figur 4-28 Grundvattenbildningen (det nedåtriktade grundvattenflödet) har beräknats för ett ellipsformat område runt dagbrotten och File hajdar. Området visas i figuren ovan (gul ellips).



Figur 4-29 Årsumman för ett medelår, för det nedåtriktade grundvattenflödet (grundvattenbildningen) har beräknats för olika djup, för ett större ellipsformat område kring dagbrotten (se Figur 4-28). Scenario LT2

## 4.14 Indirekt påverkansområde

Det område från vilket grundvatten kan strömma till ett dagbrott kan benämnas som dagbrottets tillströmningsområde. Ett tillströmningsområde kan beräknas via en analys av grundvattnets flödesmönster, till exempel via numerisk partikelspårning. Det är inte samma sak som ett indirekt påverkansområde. Ett indirekt påverkansområde beräknas genom att grundvattennivåerna för olika situationer subtraheras från varandra och skillnaderna analyseras.

Ett tillströmningsområde behöver inte helt och hållet sammanfalla med ett indirekt påverkansområde. Ett tillströmningsområde kan vara mycket större än ett indirekt påverkansområde, tex i stora slutna akvifärer i sedimentära geologiska bassänger, men för svenska förhållanden och för den typ av system som vi analyserar i denna studie, är tillströmningsområdet normalt mindre än det indirekta påverkansområdet.

Det indirekta påverkansområdet inkluderar också områden där grundvattnet inte strömmar mot dagbrotten; områden som påverkas genom att grundvattennivåerna har förändrats utan att grundvattenflödet nödvändigtvis strömmar mot dagbrotten. Påverkansområdet är inte samma sak som en avsänkningstratt runt dagbrotten.

Analyserna av dagbrottens indirekta påverkansområde baseras på förändring i grundvattennivå, som orsakas av de utökade dagbrotteten, dränerade eller vattenfyllda. De dränerade dagbrotten fungerar som stora hydrauliska sänkor för grundvattensystemet, dessutom utgör den kommunala grundvattentäkten öster om File hajdar ytterligare en betydande hydraulisk sänka för grundvattnet inom det studerade området. Tillsammans har dessa avledningar av vatten lett till att grundvattennivåerna kring Slite och File hajdar har avsänkts. När dagbrotten görs större leder detta till ett större vatteninflöde till dagbrotten och att grundvattennivåerna kommer att avsänkas ytterligare kring dagbrotten.

Det är den kombinerade effekten av dagbrotten och vattentäkten som orsakar grundvattenavsänkningen.

Dagbrottens indirekta påverkan på de omgivande grundvattennivåerna beräknas genom att grundvattennivåerna för olika situationer subtraheras från varandra och skillnaderna analyseras, enligt nedan.

$$H_{diff} = H_{framtida} - H_{nuvarande}$$

$$H_{diff} = \text{Förändring i grundvattennivå [m]}$$

$$H_{nuvarande} = \text{Nuvarande grundvattennivå [m]}$$

$$H_{framtida} = \text{Framtida grundvattennivå [m]}$$

Skillnaderna beräknas för ett stort antal punkter (beräkningsceller) inom det studerade området (modellen). Skillnaderna som beräknats enligt ekvationen ovan kan sedan plottas på en karta och isolinjen för en viss förändring kan markeras. Påverkansområdet är området innanför en viss vald isolinje, den studerade isolinjens värde kan vi kalla för **gränsvärdet**.

Det är viktigt att notera att det indirekta påverkansområdet inte är samma sak som en avsänkningstratt kring dagbrotten. Det indirekta påverkansområdet inkluderar flödesvägar riktade mot dagbrottet, men också flödesvägar riktade bort från dagbrottet.

## 4.15 Gränsvärde för påverkansområde

Storleken på påverkansområdet varierar med storleken på gränsvärdet som diskuteras ovan: ju mindre gränsvärde, desto större påverkansområde. Vad som ofta glöms bort när storleken på gränsvärdet diskuteras är dock att analysens osäkerhet också beror av gränsvärdets storlek: ju mindre gränsvärde, desto större är osäkerheten i storleken på det beräknade påverkansområdet. Det är därför orimligt att välja ett gränsvärde som är mycket mindre än naturliga variationer i grundvattennivå och mycket mindre än osäkerheten i topografi och uppmätta grundvattennivåer.

Gränsvärdet bör vara så stort att den förändring i grundvattennivå som gränsvärdet representerar tydligt kan särskiljas från naturliga variationer i grundvattennivåerna. Gränsvärdet bör därför sättas i relation till de naturliga årliga variationerna i vattennivå. Om den naturliga årliga

variationen är 1–2 meter, vilket ofta är storleksordningen för en naturlig variation i ett grundvattensystem, så motsvarar ett gränsvärde på 0,3 m 15–30 % av den årliga variationen i vattennivå, och kan troligen urskiljas från den naturliga variationen. Det studerade grundvattensystemet vid File hajdar är dock ett ovanligt grundvattensystem med extremt stora årliga variationer i grundvattennivåer i berg – ofta i storleksordningen 20 meter, en amplitud på 35 m är tex uppmätt i borrhål BH1104. Om den naturliga årliga variationen är 20 m, motsvarar ett gränsvärde på 0,3 meter 1,5 % av den årliga variationen, och värdet kommer därför i verkligheten att inte kunna urskiljas från naturliga förändringar. Detta illustreras i figurerna nedan (Figur 4-30 och Figur 4-31).

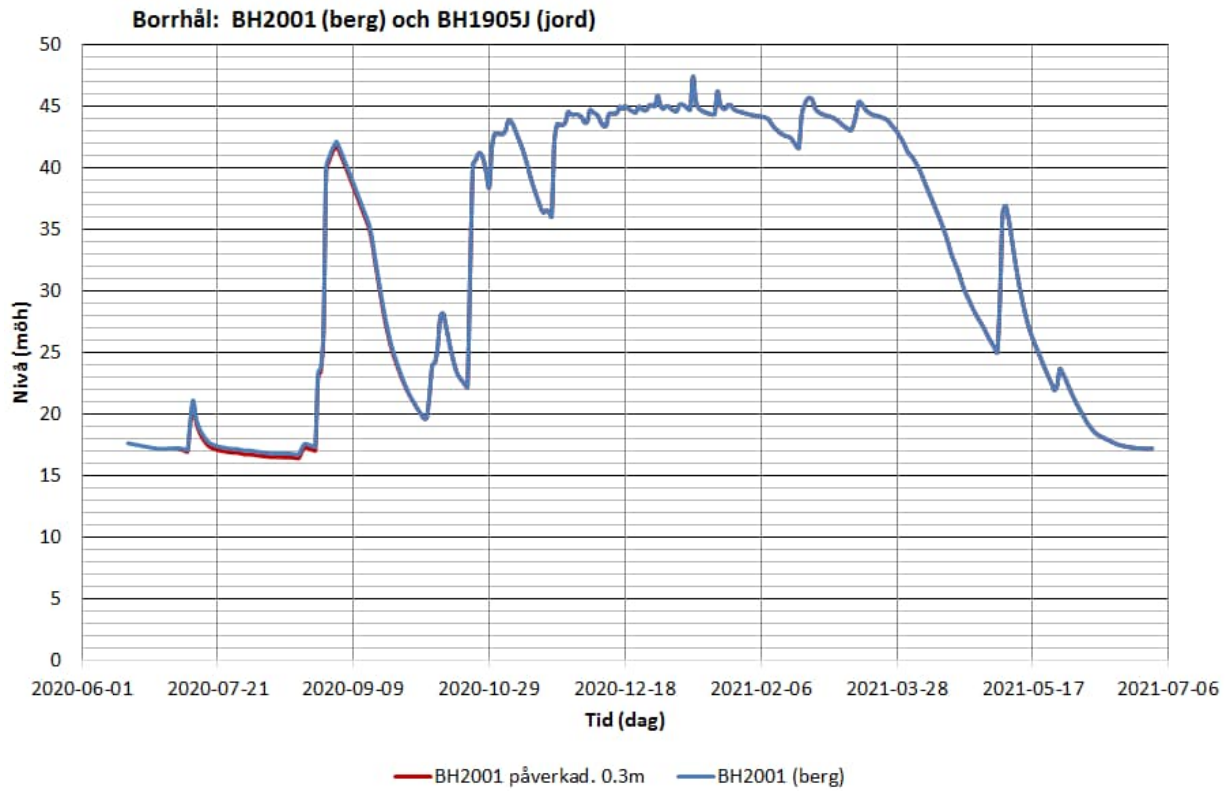
Den blå linjen i figurerna visar uppmätta grundvattennivåer i borrhål BH2001 under 2020-2021. Den röda linjen i Figur 4-30 visar de uppmätta grundvattennivåerna minus en påverkan på 0.3 m i slutet på sommaren 2020. Som man tydligt ser i figuren går det inte att i praktiken särskilja de påverkade nivåerna från de opåverkade nivåerna. Teoretiskt kan man räkna ut att påverkan är lika med -0.3 m, men det går inte att i verkligheten särskilja en så liten förändring från den naturliga variationen om den naturliga variationen är stor.

Den röda linjen i Figur 4-31 visar de uppmätta grundvattennivåer minus en påverkan på 1.0 m i slutet på sommaren 2020. Som man ser i Figur 4-31 går det att särskilja de påverkade nivåerna från de opåverkade nivåerna, men i verkligheten är det fortfarande omöjligt, eftersom amplituden är så stor som 30 m, och mönstret med höga och låga vattennivåer i verkligheten inte infaller på samma tidpunkter för olika år.

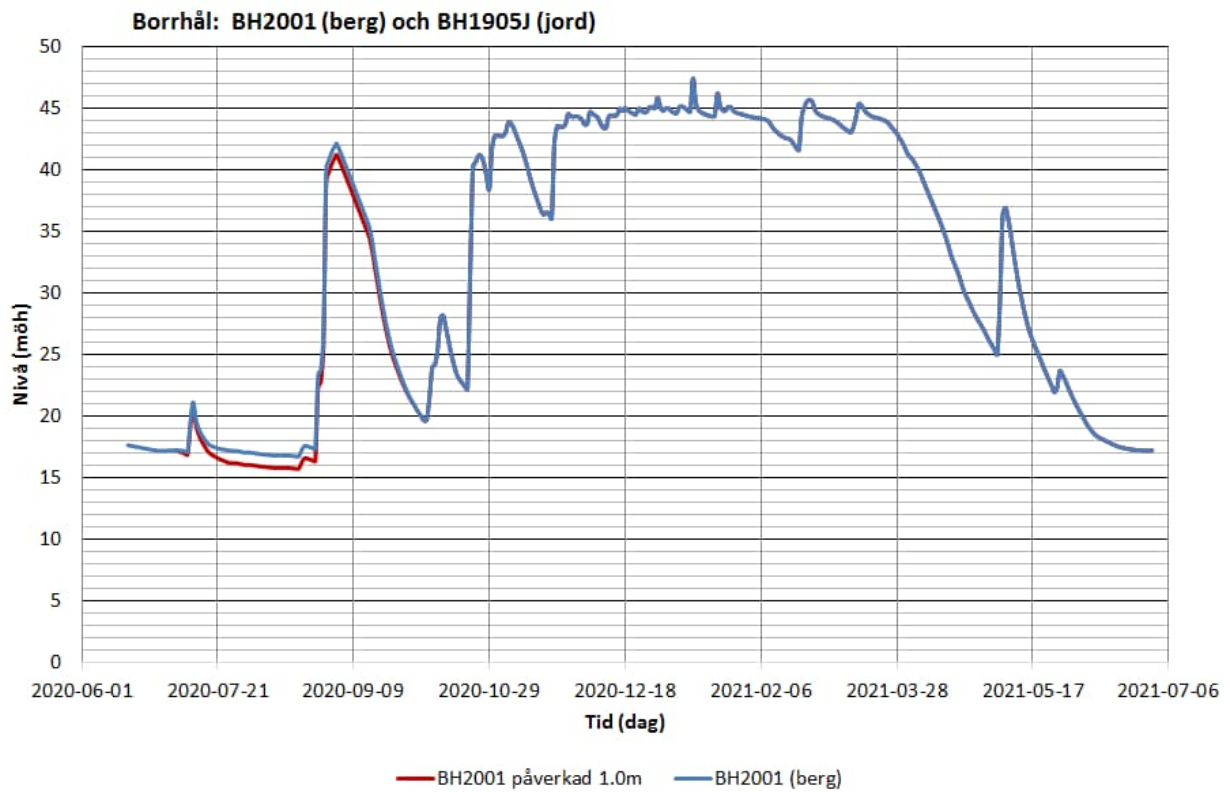
Teoretiskt kan man räkna ut att påverkan är lika med -0.3 m, men en sådan ringa förändring går inte att i verkligheten särskilja från den naturliga variationen när den årliga variationen är så stor som tex 20 m (eller större). Ett bättre sätt vore att definiera gränsvärdet i relation till den årliga amplituden, tex att definiera gränsvärdet till 10% av amplituden med ett minimivärde på 0.3 m, vilket för BH2001 skulle betyda ett gränsvärde lika med ca 3 m.



GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 4-30 Årlig variation i vattennivå i BH2001, och exempel på påverkad vattennivå (konstruerad).



Figur 4-31 Årlig variation i vattennivå i BH2001, och exempel på påverkad vattennivå (konstruerad).

Detta gör att en analys av påverkansområden som baseras på små gränsvärden, och som appliceras på ett studerat system med stora nivåvariationer, kommer att resultera i en analys med betydande osäkerheter med avseende på påverkansområdets storlek. Det är då en förbättring att välja ett större gränsvärde, som kommer att producera en analys med mindre osäkerheter.

Vi har i denna studie främst använt ett gränsvärde som är lika med 1 m när vi har beräknat påverkansområden. Vi har också beräknat påverkansområden med ett gränsvärde som är lika med 0,3 m för att tillmötesgå tidigare framförda önskemål från myndigheter, även om 0,3 m är ett orimligt litet gränsvärde för det studerade systemet.

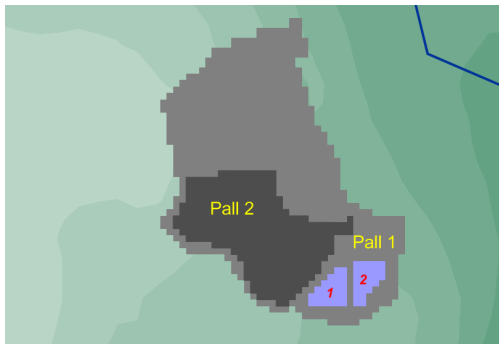
Detta handlar inte bara om huruvida en förändring är uppföljningsbar utan också om vilken påverkan på andra värden en avsänkning kan få. De årliga variationerna är stora på grund av en liten porositet (i form av sprickor), vilket gör att en liten skillnad i mängden vatten ger stor skillnad i vattennivå, men alltså en liten förändring i vattentillgången.

Påverkansområdena definieras av gränsvärden. För varje valt gränsvärde producerar en linje, innanför linjen är påverkan större eller mindre än det valda gränsvärdet. De beräknade linjerna uppvisar ofta ett komplicerat mönster med isolerade öar. Detta komplicerade mönster följer av det studerade systemets heterogena egenskaper och grundvattnets tre dimensionella flödesmönster med stora årstidsbundna variationer.

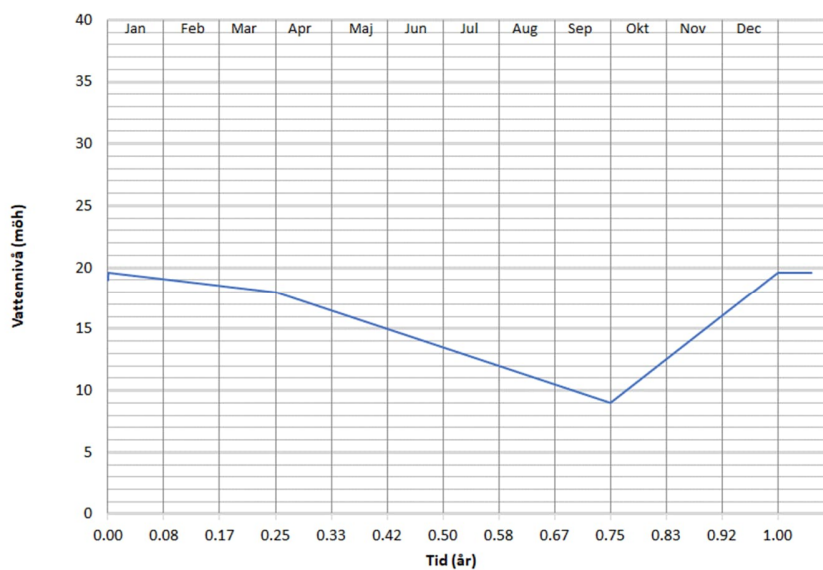
## 4.16 Vattenmagasinen i File hajdar dagbrott

Två vattenmagasin skall brytas ut i södra delen av täkten. Magasinens totala volym i modellen är 620 000 m<sup>3</sup>. Om det modellen är tre eller fyra magasin istället för två, vid det studerade området i dagbrottets södra del, eller om magasinen i modellen har en något annorlunda volym än volymen som angetts ovan, det är för modellsimuleringarna inte av någon större betydelse. Det intressanta är att det i modellen finns vattenmagasin med en fri vattenyta i dagbrottets södra del.

Vattennivåerna i magasinen kommer att variera under året, med höga nivåer på vintern och låga nivåer i slutet på sommaren. Vattennivån i magasinen kommer dock att hållas över basnivån på Pall 2 (+5 möh). Därmed kommer vattenläckage från magasinen att strömma genom berget mot Pall 2. Vattenmagasinen är inkluderade i modellen för de framtida scenarierna (se Figur 4-32), magasinen är desamma för alla studerade framtida situationerna. De simulerade vattennivåerna i magasinen visas i Figur 4-33, dessa nivåer är föreskrivna i modellen och inte resultat av simuleringar. Analyser i den upprättade modellen, som baseras på partikelspårning, bekräftar att läckagevatten från magasinen strömmar mot Pall 2. De totala läckagen (båda magasinen tillsammans) bedöms vara i storleksordningen 25 000 m<sup>3</sup>/år. Läckagen varierar endast mycket ringa för de olika studerade scenarierna och täktens successiva utökning (dränerad täkt). Läckagen från magasinen blir en del av vattnet som uppsamlas i Pall 2 i dagbrottet.



Figur 4-32 De två vattenmagasinen i File hajdar dagbrott för situationen vid år 8. Magasinen är markerade med blå färg, och numrerade som 1 och 2. Magasinen är desamma för alla studerade framtida situationer.



Figur 4-33 Simulerade vattennivåer i vattenmagasinen i File hajdar dagbrott.

## 4.17 Modellsimulering av spårämnestest

### 4.17.1 Inledning

I samband med infiltrationsförsöken på File hajdar under sommaren 2023 genomfördes spårämnestester i borrhål BH2212 med spårämnet Rhodamine WT, och i borrhål BH SGU2017 med Fluorescein. Infiltration av vatten och injicering av spårämne skedde den 29 juni 2023. De nedan redovisade resultaten bygger på tillgängliga data från provtagningar fram till 23 oktober 2023. Provtagningen fortsätter fram till 2024. Spårämnestesterna diskuteras också i den hydrogeologiska huvudrapporten.

Förekomsten av spårämne i vatten analyseras både med påsar med aktiv kol som installerats i observationsbrunnar och genom uttag av vattenprover. De bägge metoderna kan ses som kompletterande till varandra. Kolpåsar har låg detektionsgräns och mäter det samlade massflödet (halten) under all den tid de befinner sig i vattnet i brunnen. Kolpåsar ger ett

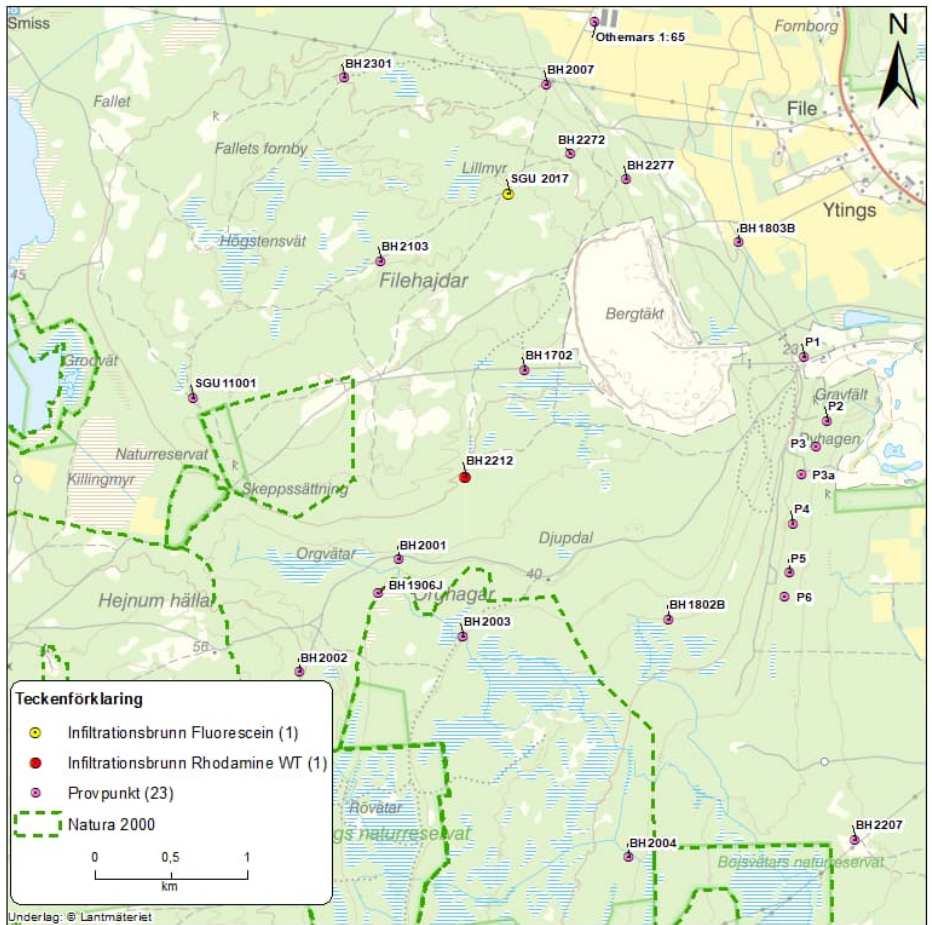
integrerat värde av det under en viss tidsperiod varierande massflödet (halterna). Vattenproven ger en halt i vattnet för det ögonblick provet togs. Provtagning utförs utifrån ett förbestämt och uppdaterat mätprogram med gradvis sjunkande provtagningsfrekvens. Provtagning har gjorts i 23 brunnar i alla riktningar runt infiltrationsbrunnarna, se Figur 4-34. De kommunala produktionsbrunnarna var i drift med normal produktion, före, under och efter, spårämnestesten. Alla produktionsbrunnarna har använts som observationsbrunnar både med kolpåsar och med vattenprov.

#### 4.17.2 Spårämnestest i BH2212

##### 4.17.2.1 Provtagning i BH2212

Under våren 2023, innan spårämnestesten utfördes i BH2212, användes den etablerade grundvattenmodellen för att simulera en spårämnestest i BH2212 och för att prediktera genombrottstider (ankomsttider) för spårämnet i de kommunala produktionsbrunnarna. I modellen simulerades flödesvägar från BH2212 till produktionsbrunnarna med hjälp av teoretiska partiklar, som i modellen följer grundvattnets flödesmönster. Ingen retardation etc inkluderades i analysen, partiklarna i modellen följer med grundvattnet som ett konservativt spårämne. Modellens effektiva porositet definierades i enlighet med de värden som normalt används för att representera ett sprickigt berg med mycket låg porositet, tex en effektiv porositet mellan 0.0001 till 0.001 (0.01% till 0.1%). Baserat på modellens predikterade genombrottstider och vår hydrogeologiska kunskap om det studerade systemet upprättades ett mätprogram och det bestämdes när de verkliga provtagningarna skulle utföras i de kommunala produktionsbrunnarna.

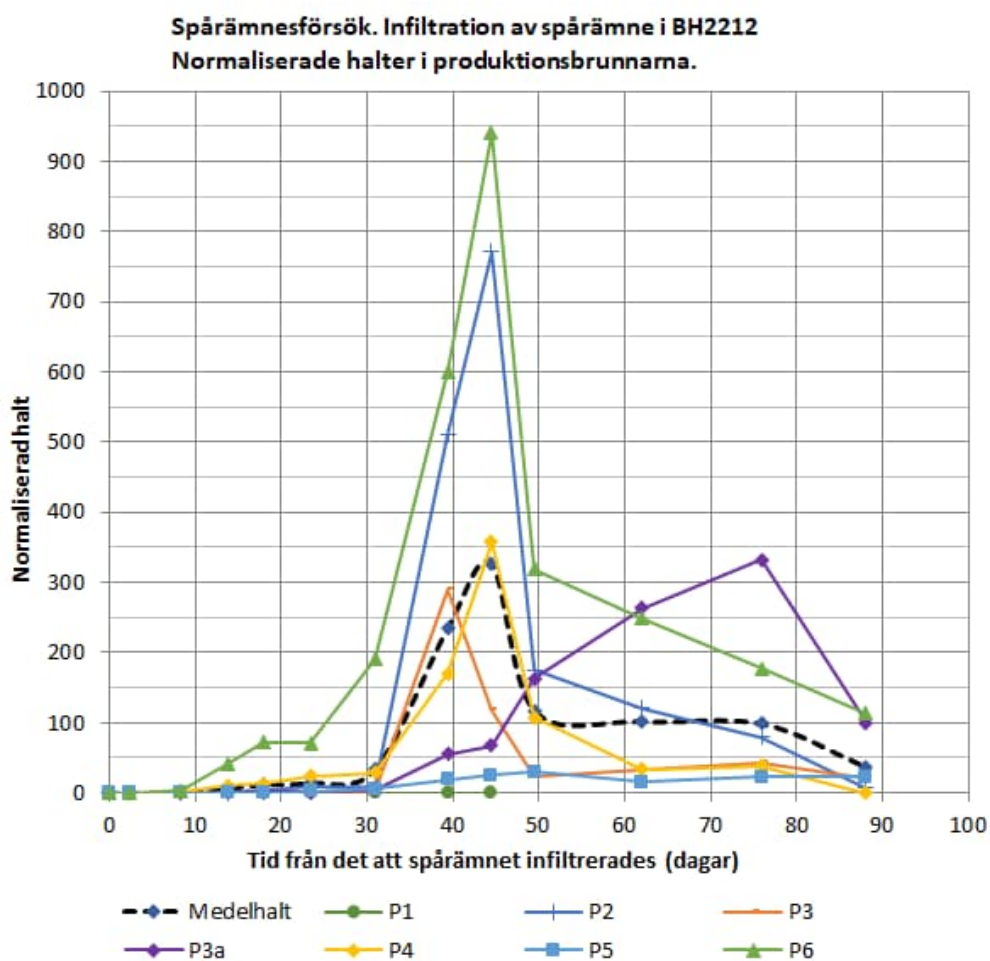
Modellen predikterad att ett första genombrott i produktionsbrunnarna kunde förväntas inom tidsperioden en till fyra veckor efter injicering av spårämnet i BH2212. Provtagningarna i produktionsbrunnarna (verkliga mätningar) visade ett första mindre genombrott av spårämnet efter 9 dagar, och ett tydligare genombrott efter 14 dagar, och ett genombrott i nästan alla produktionsbrunnarna (P2, P3a, P4, P5 och P6) efter 23 dagar. Modellens prediktion av det första genombrottstiderna visade sig alltså stämma mycket väl. Modellens *blinda* prediktion av de första genombrottstiderna är en validering av den etablerade grundvattenmodellen hydrogeologiska egenskaper. En väl genomförd validering mot det storskaliga spårämnestestet tvärs över File hajdar från BH2212 till produktionsbrunnarna är ett bra bevis på att modellen väl representerar det studerade systemet och att modellen väl kan prediktera framtida förhållanden.



Figur 4-34 Brunnar där provtagning för spårämne genomförs.

Fram till den 23 oktober 2023 har spårämnet bara hittats i kommunens produktionsbrunnar, förutom i låga halter i BH1802B, belägen sydväst om vattentäkten. Utöver i dessa punkter har spårämnet inte återfunnits i någon provtagningspunkt. Avsaknaden av detektion är särskilt noterbart i observationsbrunnarna söder om BH2212, i vilka tryckresponser från infiltrationen av vatten i BH2212 var tydlig och mycket snabb. Det samlade resultatet från de båda metoderna med spårämne och tryckrespons visar därmed att infiltration av grundvatten i BH2212 kan höja grundvattennivån i de norra delarna av Natura 2000-områdena söder om File hajdar-täkten, men inte i första hand genom ett grundvattenflöde av infiltrerat vatten mot söder, utan främst på grund av ett mothållande tryck för det vatten som naturligt strömmar från väster mot öster inom Natura 2000 området. Det är tydligt att den absoluta majoriteten av det infiltrerade vattnet strömmar åt öster och en betydande andel kommer att nå vattentäkten. Detta är en intressant information som indikerar att grundvattnets flödesmönster från BH2212 är riktat mot produktionsbrunnarna.

Resultaten av provtagningarna i produktionsbrunnarna visas i Figur 4-35. Figuren visar uppmätta halter av spårämnet i kommunens produktionsbrunnar (P1 till P6). Resultaten baseras på påsar med aktivt kol som installerats i brunnarna. Kurvorna i Figur 4-35 kan kallas för genombrottskurvor för spårämnet (i produktionsbrunnarna). Halterna är normaliserade mot exponeringstiden. De flesta av brunnarna visar på en pik i uppmätt halt efter ca 40 till 50 dagar, med undantag för produktionsbrunn P3a där piken kommer först efter 75 dagar.

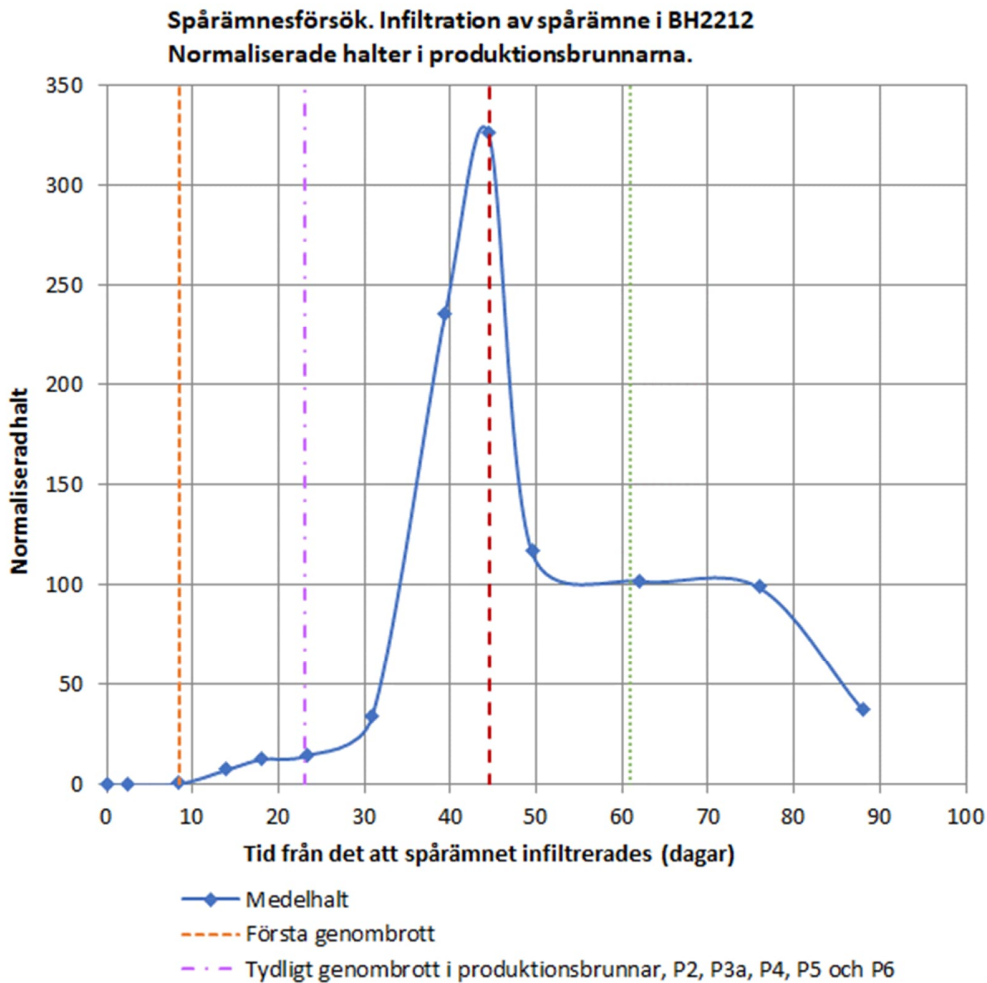


Figur 4-35 Spårämnestest. Injicering av spårämne i BH2212. Genombrottskurvor för spårämnet i produktionsbrunnarna. Figuren visar uppmätta halter av spårämnet i kommunens produktionsbrunnar (P1 till P6). Halterna är normaliserade mot ett högsta värde. De flesta av brunnarna visar på en pik (högsta halter) efter ca 45 dagar. (Provtagningen baseras på påsar med aktivt kol som installerats i brunnarna).

De uppmätta halterna är egentligen inte ett massflöde av spårämne, utan ett mått på mängden spårämne i en kolpåse i en observationsbrunn vid en viss tidpunkt. Mängden spårämne i kolpåsar beror dock på massflödet av spårämnet som når fram till observationsbrunnarna, i detta fallet produktionsbrunnarna, under en viss given tidsperiod. Vi kan därför betrakta de uppmätta halterna som proportionella mot massflödet av spårämne, och variationen av halt med tid blir därför proportionell mot en teoretisk genombrottskurva för massflödet av spårämne (ju högre halt, ju större massflöde).

En genombrottskurva visas också i Figur 4-36. Figuren visar medelvärde av uppmätta halter av spårämnet i kommunens produktionsbrunnar. Halterna är normaliserade. (Resultaten baseras på påsar med aktivt kol som installerats i brunnarna.) Figuren visar ett första mindre genombrott av spårämnet efter 9 dagar, och ett tydligare genombrott efter 14 dagar, och ett genombrott i nästan alla produktionsbrunnarna (P2, P3a, P4, P5 och P6) efter 23 dagar. För de studerade medelhalterna förekommer de högsta uppmätta halterna, alltså piken, efter 45 dagar. Det kan vara värt att notera att tidpunkterna när provtagningstillfällena sker påverkar när det första

genombrottet och den högsta halten (pik) kan uppmätas, detta ger en viss osäkerhet i observationernas tidsskala, som beror av tidsavståndet mellan provtagningstillfällena.



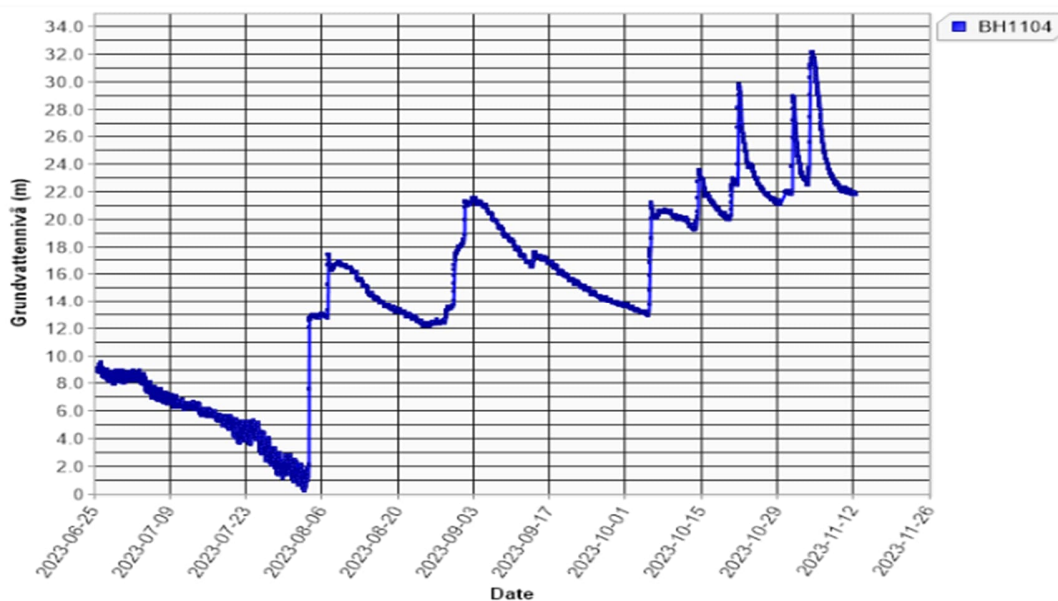
Figur 4-36 Spårämnestest. Injicering av spårämne i BH2212. Genombrottskurva för spårämnet i produktionsbrunnarna. Figuren visar medelvärde av uppmätta halter av spårämnet i kommunens produktionsbrunnar. Halterna är normaliserade. Figuren visar ett första mindre genombrott av spårämnet efter 9 dagar, och ett tydligare genombrott efter 14 dagar, och ett genombrott i nästan alla produktionsbrunnarna (P2, P3a, P4, P5 och P6) efter 23 dagar. Piken (högsta halter) kommer efter 50 dagar. Efter att piken har inträffat faller medelhalterna mycket snabbt. (Provtagningen baseras på påsar med aktivt kol som installerats i brunnarna).

Efter att piken har inträffat faller medelhalterna mycket snabbt (se Figur 4-36). Fallet i medelhalt efter att piken har inträffat är faktiskt snabbare än tillväxten i halt före piken. Detta är inte vad som normalt kan förväntas, eller något som enkelt kan förklaras. Normalt följer efter en uppmätt pik långsamt sjunkande halter.

Förklaringen till det snabba fallet i medelhalt kan vara att grundvattnets flödesmönster förändras efter det att piken har inträffat; vilket stämmer konceptuellt väl med den stora årliga amplituden i grundvattennivå, som har observerats vid och kring File hajdar, och även i observationsbrunnarna. När grundvattennivåerna stiger efter sommaren förändras grundvattnets flödesmönster och spårämnet strömmar inte längre mot produktionsbrunnarna på samma vis som

tidigare under sommaren. Detta kan vara en orsak till att halterna sjunker snabbt i produktionsbrunnarna efter piken.

Att grundvattensituationen påverkades i början och i slutet på augusti är troligt, eftersom stora nederbörds mängder föll i det studerade området under några dagar kring den 29 augusti 2023 (ca 30 dagar efter injicering av spårämne), även tidigare i början på augusti föll stora mängde nederbörd. Trenden med ökande grundvattennivåer från och med början på augusti framgår av Figur 4-37. Figuren visar uppmätta vattennivåer i borrhål BH1104 under sommaren och hösten 2023. Figuren demonstrerar också den mycket stora förändringen i vattennivå i borrhålet mellan sommar och vinter (drysigt 30 m), vilket är karaktäristiskt för det studerade området. Borrhålet ligger längs med de simulerade flödesvägarna från BH2212.



Figur 4-37 Uppmätta vattennivåer i borrhål BH1104 under sommaren och hösten 2023. Borrhålet ligger längs med de simulerade flödesvägarna från BH2212. Figuren demonstrerar den mycket stora förändringen i vattennivå mellan sommar och vinter, vilket är karaktäristiskt för det studerade området.

Vi bör också notera att medelvärdet för de uppmätta halterna baseras på uppmätta halter i olika produktionsbrunnar och brunnarna uppvisar olika genombrottstider. Produktionsbrunn P3a uppvisar till exempel långsammare uppbyggnad av halter (relativt) och en tydligt senare pik än de andra produktionsbrunnarna (se Figur 4-35). En orsak till det snabba fallet i medelvärdet skulle därför kunna vara att medelvärdet produceras av olika produktionsbrunnar som är utspridda över ett relativt stort område. Att varje brunn var för sig uppvisar en mer förväntad utveckling i uppmätt halt, men att medelvärdets utveckling blir egendomligt just för att det är ett medelvärde. Detta kan vara en bidragande orsak, men de flesta av produktionsbrunnarna som uppvisar en tydlig pik i uppmätt halt uppvisar också ett snabbt fall i halt efter piken, på samma vis som medelvärdet, även om de analyseras var för sig.

En annan förklaring kan vara att produktionen i produktionsbrunnarna har förändrats (tex reducerats) efter sommaren, vilket påverkar halterna och de hydrauliska gradienterna runt brunnarna.



Dessa observationer och diskussionen ovan demonstrerar den komplexitet som följer med det studerade områdets stora amplitud i grundvattennivå under ett normalår och de konceptuella problem som följer med att ta prover i ett antal produktionsbrunnar som är i full drift.

#### 4.17.2.2 Simulering av spårämnestesten i BH2212 - Metod

Under oktober-november 2023 användes grundvattenmodellen för att simulera det utförda spårämnestestet i BH2212. Beräkningarna baserar på provtagningar fram till den 23 oktober 2023. Syftet med simuleringarna är att demonstrera modellens förmåga att efterlikna verkligheten (de observerade genombrottskurvorna) och att beräkna ett värde på den effektiva porositeten. Den effektiva porositeten är svår att bestämma i fält. Ett av de bättre sätten att uppskatta den effektiva porositeten är att i fält utföra ett spårämnestest och att därefter i en mot flöden kalibrerad grundvattenmodell simulera spårämnestestet. I grundvattenmodellen korrigeras därefter värdet på den effektiva porositeten till dess att modellens simulerade genombrottskurva stämmer rimligt väl med den uppmätta genombrottskurvan. För ett stort spårämnestest i naturliga och komplexa förhållanden är det i praktiken omöjligt att helt perfekt matcha den uppmätta genombrottskurvan i en modell. Därför har vi valt att primärt matcha tiden för det första tydliga genombrottet och tiden för genombrottskurvas pik. Den uppmätta genombrottskurvas svans (tail) efter piken kan också vara av stort intresse, men det är av sekundärt intresse i denna analys.

Simuleringen av flödesvägar från BH2212 till produktionsbrunnarna utfördes i den etablerade (kalibrerade) grundvattenmodellen med hjälp av teoretiska partiklar, som i modellen följer grundvattnets flödesmönster, s.k. partikelspårning. De teoretiska partiklarna bildar flödesvägar genom modellen. Ingen retardation, absorption, nedbrytning etc inkluderades i analysen; partiklarna i modellen följer med grundvattnet som ett konservativt spårämne och interagerar inte med det omgivande berget. Partiklarna injiceras i de vattenförande lagren i beräkningscellerna runt BH2212. Baserat på borrhålets djup och de utförda hydrauliska testerna i borrhålet injicerades partiklarna i följande lager:

Lager 32 och 31 (lokala vattenförande lager på File hajdar),  
 Lager 29 (vattenförande lager FHZ2 och övergångszon ÖZ1)  
 Lager 27 (vattenförande lager A)  
 Lager 25 (vattenförande lager B)

I varje identifierad beräkningscell runt borrhålet injicerades ett stort antal partiklar slumpmässigt i beräkningscellen, oberoende av grundvattenflödet genom beräkningscellen. Alla partiklarna injicerades samtidigt vid den simulerade tidpunkten noll. För varje simulering injicerades totalt ca 5000 partiklar kring BH2212. Varje partikel genererar en flödesväg.

Flödesvägarna kan simuleras i ett givet stationärt flödesfält, sådana flödesvägar kallas för stationära flödesvägar. I ett stationärt flödesfält förändras inte grundvattentryck och grundvattenflöden med tiden. Flödesvägarna kan också simuleras i ett tidsberoende flödesfält, sådana flödesvägar kallas för transienta flödesvägar. I ett tidsberoende flödesfält förändras alla grundvattentryck och grundvattenflöden med tiden, tex i enlighet med den simulerade årliga variationen av grundvattennivåer och grundvattenflöden. Vi har använt båda metoderna i denna studie.

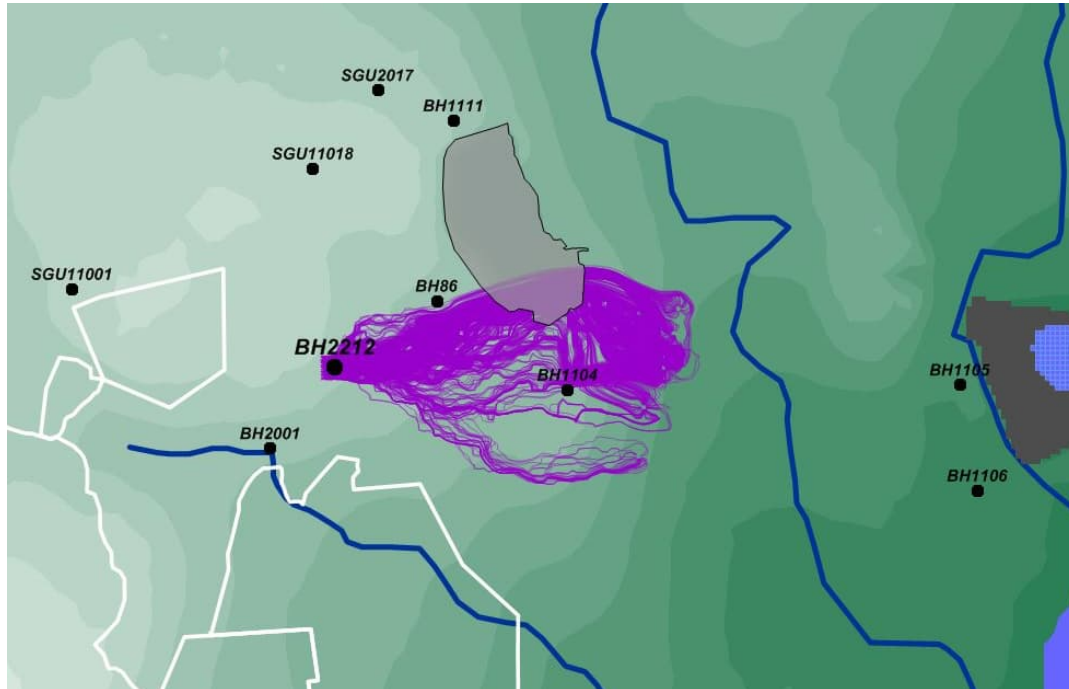
I verkligheten injicerades spårämnet den 29 juni 2023. I produktionsbrunnarna inträffade piken i uppmätt medelhalt den 14 augusti 2023, alltså 45 dagar efter injiceringen. Transporten av spårämnet från injiceringen fram till den uppmätta piken i medelhalt skedde således under

sommaren 2023. Om syftet är att simulera de första genombrotten och piken i medelhalt, då kan den beräknade grundvattensituationen för sommaren användas som en representativ grundvattensituation. En sådan simulering kan göras baserat på den beräknade grundvattensituationen för juli månad och stationära flödesvägar.

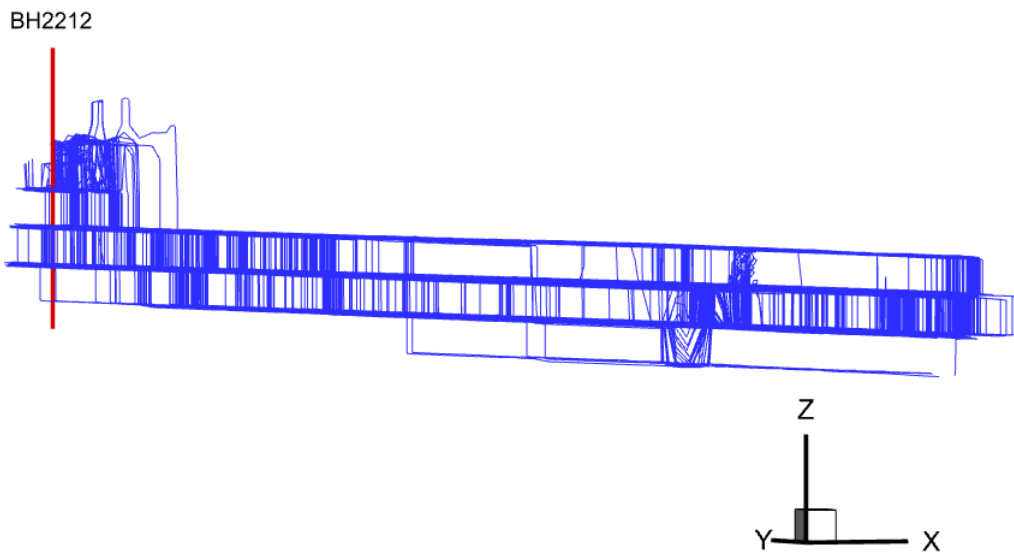
Om syftet är att simulera transporten under en längre tidsperiod än de första ca 45 dagarna, då måste också den representativa grundvattensituationen förändras med tiden, eftersom grundvattnets flödesmönster (tryck och flöden) förändras tydligt när grundvattennivåerna stiger efter sommaren, se Figur 4-37. En sådan simulering kan göras baserat på de beräknade grundvattensituationerna för juli månad och de beräknade grundvattensituationerna för de efterföljande månaderna under hösten och vintern, och med hjälp av transienta flödesvägar. Att simulera transienta flödesvägar är betydligt mer komplicerat än att simulera stationära flödesvägar. För den metod som modellen Geoan använder, simuleras varje partikel separat i ett flödesfält som varierar linjärt mellan de beräknade grundvattensituationerna (månaderna). Eftersom varje partikel simuleras separat kan flödesfältets utveckling optimeras för varje partikelbana (flödesväg). Metoden har utvecklats åt den franska kärnavfallsmyndigheten (ANDRA).

#### 4.17.2.3 Simulering av spårämnestesten i BH2212 - Resultat

De simulerade transienta flödesvägarnas till produktionsbrunnarna visas i Figur 4-38 och Figur 4-39 (tvärsnitt i perspektiv). Längderna varierar mellan 2.5 km (percentil 5) och 3.0 km (percentil 95), medianen är 2.8 km. Att de simulerade flödesvägarnas medianlängd är nära 2.8 km visar på ett spårämnestest som täcker ett betydande område.



Figur 4-38 Spårämnestest. Simulerade transienta flödesvägarna från BH2212, som når fram till produktionsbrunnarna (markerade med lila färg). Dagbrottet markerat med grå färg.



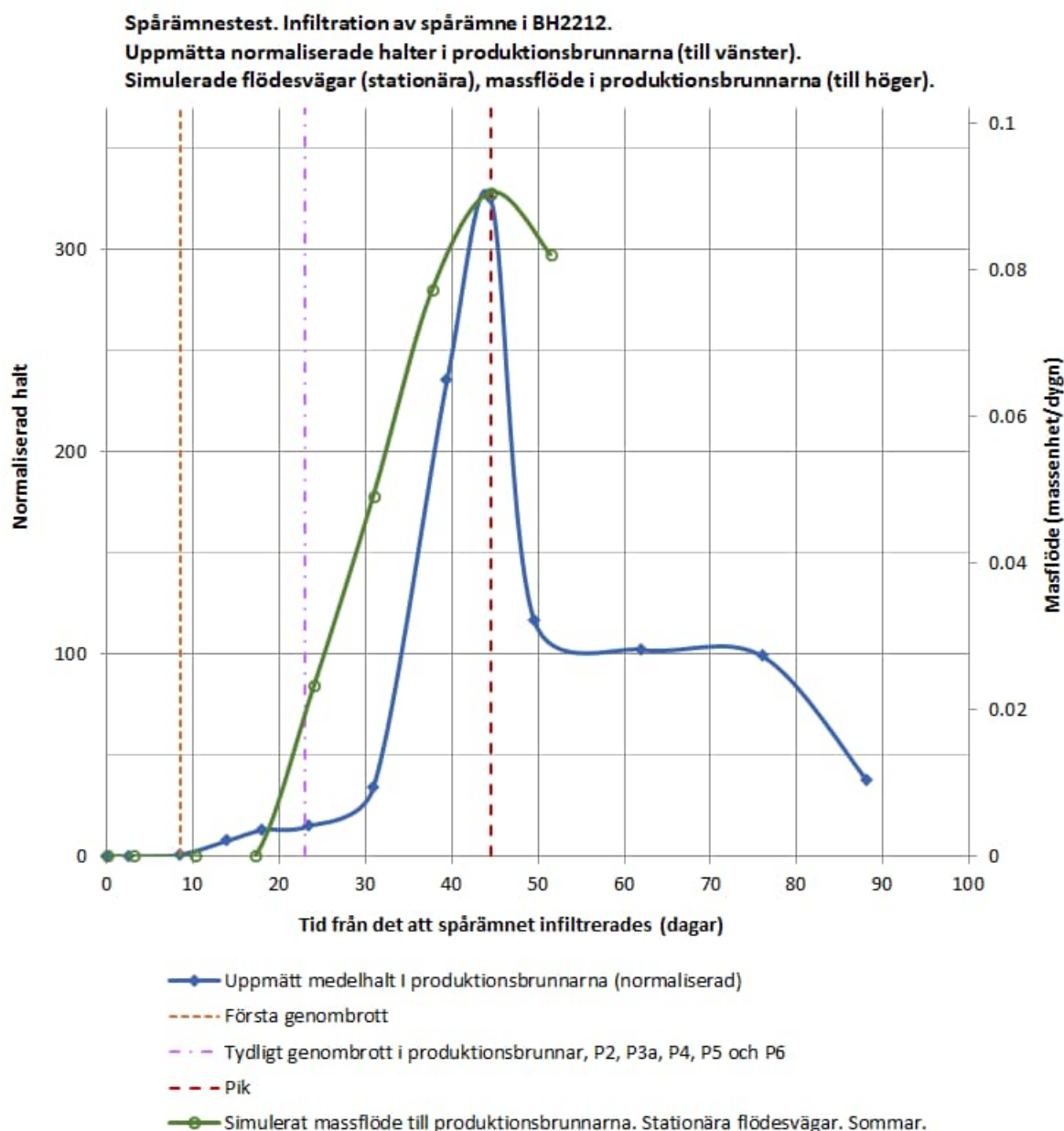
Figur 4-39 Spårämnestest. Simulerade transienta flödesvägarna från BH2212, som når fram till produktionsbrunnarna (markerade med blå färg). Tvärsnitt i perspektiv, den vertikala skalan är 10 gånger större än den horisontala skalan.

Uppmätta och simulerade genombrottskurvor för sommarsituationen visas i Figur 4-40. Den simulerade genombrottskurvan är beräknad med stationära flödesvägar och för en stationär flödessituation som representeras av juli månads flödesfät. Den uppmätta genombrottskurvan i Figur 4-40 är densamma som i tidigare figurer och baseras på en normaliserad medelhalt i produktionsbrunnarna, och refererar i figuren till den vertikala axeln till vänster. Som tidigare nämnts kan vi betrakta de uppmätta halterna som proportionella mot massflödet av spårämne, och variationen av halt med tid blir därför proportionell mot en teoretisk genombrottskurva för massflödet av spårämne (ju högre halt, ju större massflöde).

Den simulerade genombrottskurvan i Figur 4-40 avser inte en medelhalt i produktionsbrunnarna, utan ett simulerat massflöde som når fram till produktionsbrunnarna. Massflödet produceras av de ovan beskrivna teoretiska partiklarna när de (vid olika tidpunkter) når fram till produktionsbrunnarna. Varje partikel kan betraktas som ett paket som bär med sig massa. I detta fallet är mängden massa satt till en teoretisk massenhet för varje partikel. Det simulerade massflödet i produktionsbrunnarna anges därför i enheten: [massenhet/dygn], och refererar i figuren till den vertikala axeln till höger. Massflödet i modellen beräknas över en given tidsperiod, tidsperioden är satt till 1 vecka, denna tidsperiod har valts för att matcha tidsperioden mellan provtagningarna av kolpåsarna (i observationsbrunnarna). I modellen erhålls således för varje simulerad vecka ett värde på massflödet i produktionsbrunnarna.

Relationen mellan ett massflöde och en halt beror av ett volymflöde, i detta fallet är volymflödet lika med vattenproduktionen i brunnarna. Vi har i dessa beräkningar antagit att volymflödet är en konstant, därmed blir massflödet direkt proportionellt mot halten och vi kan därmed jämföra massflöden och halter i samma figur.

Det vi är intresserade av är tidpunkten för ett första tydligt genombrott och tidpunkten för när piken inträffar, formen på genombrottskurvorna är också av intresse, men huvudsyftet är att matcha tidpunkten för det första tydliga genombrottet och tidpunkten för piken (högsta värdet).



Figur 4-40 Uppmätta och simulerade genombrottskurvor för sommarsituationen. Den simulerade genombrottskurvan är beräknad med stationära flödesvägar och för en stationär flödessituation som representeras av juli månads flödesfät.

Den simulerade genombrottskurvan i Figur 4-40, och en statistisk analys av fördelningen av de teoretiska partiklarnas genombrottsstider, indikerar ett första genombrott efter 23 dagar, vilket matchar det första uppmätta tydliga genombrottet i produktionsbrunnarna P2, P3a, P4, P5 och P6. Den simulerade genombrottskurvan uppvisar en pik (högst halt) efter 45 dagar, vilket också matchar tidpunkten för den uppmätta piken.

Främst baserat på modellens prediktion av piken i den uppmätta genombrottskurvan i produktionsbrunnarna, och en statistisk analys av fördelningen av de teoretiska partiklarnas genombrottsstider, beräknas den effektiva porositeten för berget genom vilket spårämnestesten simulerades. Det beräknade värdet är lika med 0.12% för beräkningsceller som representerar berg

i modellen. Ett undantag är dock beräkningscellerna kring BH2212, där spårämnet injicerades, för de cellerna har den effektiva porositeten beräknats till 1.37%. Beräkningen av den effektiva porositeten är en iterativ process där olika värden på den effektiva porositeten provas till dess en god matchning erhålls mellan uppmätta och simulerade genombrottskurvor.

Att bergets beräknade porositet ligger nära 0.1% är ett förväntat värde. Värden på den effektiva porositeten som normalt används för att representera ett sprickigt berg med låg porositet, är värden mellan 0.01% till 0.1%. För berg med en tydlig sprickzon kan den effektiva porositeten variera mellan ca 0.1% till 1%

Den uppmätta genombrottskurvan för medelhalterna och den simulerade genombrottskurvan för en längre tidsperiod, sommar-höst-vinter, visas i Figur 4-41. Den simulerade genombrottskurvan är beräknad med transienta flödesvägar och en tidsberoende flödessituation. Den tidsberoende flödessituation representeras av flödesfälten för juli månad och för varje efterföljande månad fram till december. Eftersom den simulerade genombrottskurvan för en längre tidsperiod har producerats av transienta flödesvägar och ett tidsberoende flödesfält, måste den effektiva porositeten vara en god uppskattning (korrekt) när de transienta flödesvägarna genereras. Därför utfördes först en analys med stationära flödesvägar, som producerar ett värde för den effektiva porositeten, och därefter en analys med transienta flödesvägar.

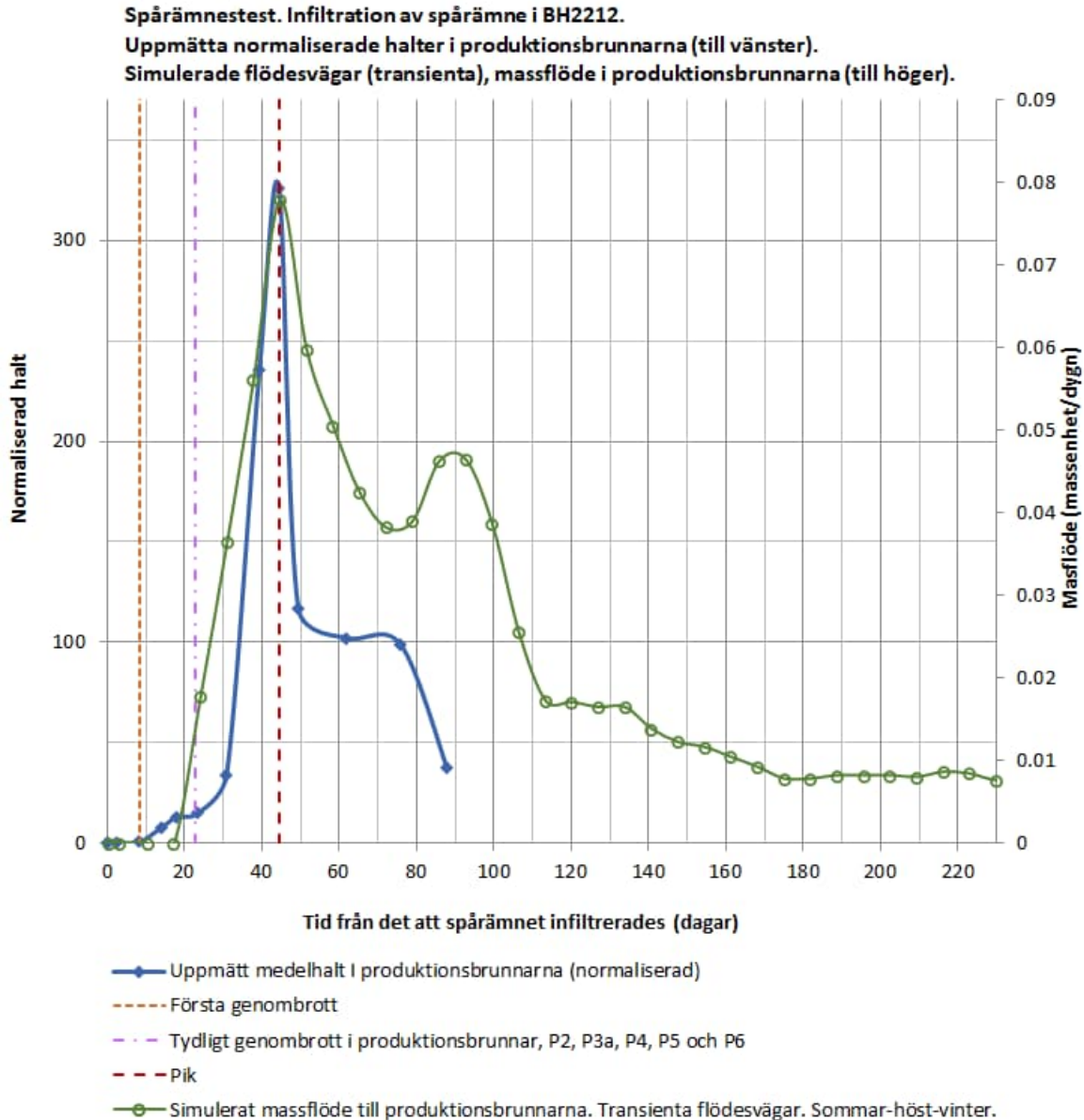
I Figur 4-41 går den simulerade tidsperioden fram till 230 dagar efter injiceringen av spårämnet. Tidpunkterna för det första tydliga genombrottet och piken i massflöde är desamma som för beräkningarna med stationära flödesvägar (alltså samma som i Figur 4-40). Det beror på att för den första tidsperioden (sommaren) är flödesfältet detsamma i den stationära simuleringen (med stationära flödesvägar) och i den tidsberoende simuleringen (med transienta flödesvägar). Det är efter ca 45 dagar som tydliga skillnader uppkommer då transienta flödesvägar simuleras. Skillnaderna uppkommer eftersom flödesfältet förändras i simuleringen med ett tidsberoende flödesfält.

Ett intressant resultat som visas i Figur 4-41 är platån i den uppmätta genombrottskurvan, med nästan konstanta uppmätta halter, som uppträder några veckor efter den uppmätta piken. Platån finns både i den uppmätta genombrottskurvan och i den simulerade genombrottskurvan. I den simulerade genombrottskurvan inkluderar platån en mindre lokal pik. Platån i den uppmätta genombrottskurvan ligger på en lägre nivå i förhållande till piken än i den simulerade genombrottskurvan, och platån i den uppmätta genombrottskurvan är kortare än i den uppmätta genombrottskurvan. Det intressanta är dock inte den exakta nivån och längden på platån, utan att platån (eller den andra piken) finns både i den uppmätta genombrottskurvan och i den simulerade genombrottskurvan.

Vi har ovan nämnt att observationernas tidsskala, som beror av tidsavståndet mellan provtagningstillfällena, påverkar de erhållna resultaten. Kolpåsarna ger ett integrerat värde av det under en viss tidsperiod varierande massflödet (halterna). Den observerade (uppmätta) platån är därför delvis en funktion av tidsskalan för provtagningarna av kolpåsarna. Provtagningen har ett tidsavstånd av två veckor efter den uppmätta piken. Om tidsavståndet hade varit kortare hade kanske den uppmätta platån inkluderat en mindre lokal pik.

Detta kan demonstreras av modellen. De av modellen beräknade värdena för massflödet, som producerar modellens genombrottskurva, baseras på ett tidssteg av en viss storlek (en vecka) och integration av massflödet över det tidsteget och eventuellt delvis en integration över omgivande

tidssteg. Om tidsskalan och integrationsproceduren i modellen förändras, så att de beräknade massflödena representerar en längre tidsperiod, då kan den lokala mindre piken i modellens genombrottskurva omvandlas till en plåtå.



Figur 4-41 Uppmätta och simulerade genombrottskurvor för en längre tidsperiod, sommar-höst-vinter. Den simulerade genombrottskurvan är beräknad med transienta flödesvägar och en tidsberoende flödessituation som representeras flödesfälten för månaderna juli till december.

Simuleringarna i modellen visar på en trolig orsak till plåtån och den andra lokala mindre piken i Figur 4-41. Under sommaren är flödesvägarna till produktionsbrunnarna snabba, massflödet till produktionsbrunnarna domineras av transport längs dessa snabba flödesvägar. Det finns också andra långsammare flödesvägar, men transporten via de långsammare flödesvägarna märks inte tydligt under sommaren. Efter sommaren stiger grundvattennivåerna, och flödesvägarna tenderar

att vridas mer mot sydöst. Detta ger generellt en något långsammare transport. Samtidigt som transporten via de snabba flödesvägarna avtar i betydelse, når mer och mer av transporten via de långsammare flödesvägarna fram till produktionsbrunnarna. Detta leder till att massflödet i produktionsbrunnarna uppvisar en platå, eller en andra mindre pik. Platån varar så länge som transporten via de långsamma flödesvägarna är av betydelse. När också transporten via de långsammare flödesvägarna avtar i betydelse försvinner platån och massflödet faller ned mot ett sakta avtagande basflöde. Detta basflöde skapas av transport via flödesvägar som är riktigt långsamma, basflödet kan därför fortsätta under en lång period. Effekten av olika transporttider till olika produktionsbrunnar illustreras också av produktionsbrunnarna P6 och P3a i Figur 4-35.

#### 4.17.2.4 Simulering av spårämnestesten i BH2212 - Slutsats

Modellens *blinda* prediktion av de första genombrottstiderna i produktionsbrunnarna av spårämnet som injicerades i BH2212 är en validering av den etablerade grundvattenmodellen hydrogeologiska egenskaper. En väl genomförd validering mot det storskaliga spårämnestestet tvärs över Fil hajdar, från BH2212 till produktionsbrunnarna, är ett bra bevis på att modellen väl representerar det studerade hydrogeologiska systemet, och att modellen väl kan prediktera framtida förhållanden. De simulerade flödesvägarnas medianlängd är nära 2.8km, vilket visar på ett spårämnestest som täcker ett betydande område.

Den etablerade grundvattenmodellens förmåga att inte bara reproducera de första genombrotten av spårämne i produktionsbrunnarna, utan att också kunna reproducera piken i den uppmätt genombrottskurvan i produktionsbrunnarna, bekräftar att modellen väl representerar det studerade hydrogeologiska systemet.

Främst baserat på modellens prediktion av piken i den uppmätt genombrottskurvan i produktionsbrunnarna, och en statistisk analys av fördelningen av de teoretiska partiklarnas genombrottstider, beräknas den effektiva porositeten för berget genom vilket spårämnestesten simulerades. Det beräknade värdet är lika med 0.12% för beräkningsceller som representerar berg i modellen. Ett undantag är dock beräkningscellerna kring BH2212, där spårämnet injicerades, för de cellerna har den effektiva porositeten beräknats till 1.37%.

### 4.17.3 Spårämnestest i SGU2017

#### 4.17.3.1 Provtagning i SGU2017

Ett andra spårämnestest utfördes under sommaren 2023. Spårämnet Fluorescein injicerades i SGU2017 den 29 juni. Provtagningen för Spårämnet Fluorescein har skett på samma vis som provtagningen för spårämnet Rhodamine WT, vilket diskuteras ovan. Provtagning har gjorts i 23 brunnar i alla riktningar runt infiltrationsbrunnarna, se Figur 4-34. I skrivande stund (10 november 2023) har inte spårämnet Fluorescein observerats i någon observationsbrunn, vilket indikerar att transporttiderna från BH SGU2017 är betydligt längre än transporttider från BH2212.

Att transporttiderna från SGU2017 är långa är ett förväntat resultat. Borrhållet är placerat i revkalksten, och enligt vår konceptuella modell så förekommer inte större kontinuerliga vattenförande lager i revkalkstenen. Vid SGU2017 förekommer kontinuerliga vattenförande lager endast under revkalkstenen på större djup. Dock uppvisar även dessa djupt liggande

vattenförande lager lägre genomsläpplighet än vad som mätts i t.ex. tex BH2212. Ett mycket stort antal mätningar av bergets genomsläpplighet har utförts nordväst om det nuvarande dagbrottet, alla dessa mätningar har direkt inkluderats i modellen, se Figur 4-14. Borrhålet SGU2017 är så djupt att det går ner under revkalkstenen, så en viss transport från borrhålet är fullt möjlig i de djupare lagren. Provtagning av spårämnet fortgår ännu.

Om spårämnet så småningom påträffas i någon mätpunkt så vore det naturligtvis av stort intresse; men syftet med spårämnestestet i SGU2017 är också att validera vår konceptuella modell av revkalkstenen, som ett berg utan större kontinuerliga vattenförande lager. Ett berg som inte effektivt leder grundvatten, även om mindre vattenförande strukturer kan förekomma. Det kan tyckas egendomligt att utföra ett experiment (ett spårämnestest) där det förväntade resultatet är att vi inte upptäcker spårämnet inom en kort tidsperiod. Ett negativt resultat, alltså att vi inte upptäcker något spårämne inom en rimlig tidsperiod, kan också vara av stort intresse, särskilt i detta fall, eftersom ett negativt resultat i detta fall bekräftar vår konceptuella modell.

#### 4.17.3.2 Simulering av spårämnestesten i SGU2017 - Metod

Under oktober-november 2023 användes grundvattenmodellen för att simulera det utförda spårämnestestet i SGU2017. Den effektiva porositeten i dessa simuleringar är de värden som diskuteras ovan, och som har beräknats baserat på spårämnestesten i BH2212.

Syftet med simuleringarna är att demonstrera modellens förmåga att efterlikna verkligheten, och vår konceptuella modell och bekräfta de observationer som gjorts vid spårämnestesten. Vilket i praktiken betyder modellen skall demonstrera att transporttiderna från SGU2017 är långa. Simuleringen av flödesvägar från SGU2017 utfördes i den etablerade (kalibrerade) grundvattenmodellen med hjälp av teoretiska partiklar, på samma vis som diskuterats ovan.

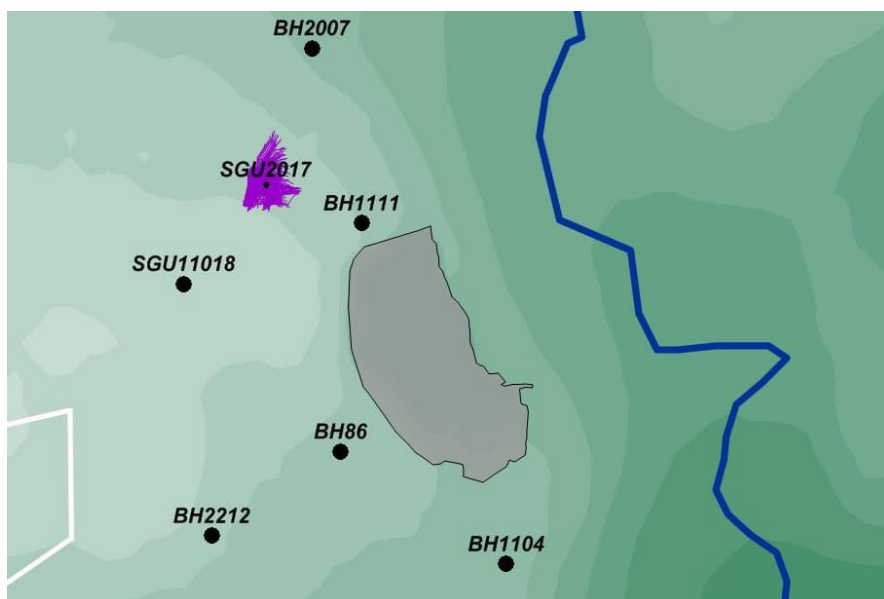
Partiklarna injicerades i alla lager mellan djupen 10m och 55 m. Det djupaste lagret i vilket partiklar har injicerats är övergångszonen ÖZ1, under revkalkstenen. I varje identifierad beräkningscell runt borrhålet injicerades ett stort antal partiklar slumpmässigt i beräkningscellen, oberoende av grundvattenflödet genom beräkningscellen. Alla partiklarna injicerades samtidigt vid den simulerade tidpunkten noll. För varje simulering injicerades ett stort antal partiklar. Varje partikel genererar en flödesväg. Eftersom vi förväntar oss att transporttiderna blir långa har vi simulerat transporten med hjälp av transienta flödesvägar. I dessa tidsberoende simuleringar förändras den representativa grundvattensituationen med tiden, eftersom grundvattnets flödesmönster (tryck och flöden) förändras tydligt när grundvattennivåerna stiger efter sommaren, se Figur 4-37, och sjunker under våren. Simuleringen baserades på de beräknade grundvattensituationerna för hela året, från juli månad (sommar) och de beräknade grundvattensituationerna för de efterföljande 12 månaderna, höst – vinter – vår – sommar. Metoden för att simulera transienta flödesvägar har diskuterats ovan.

#### 4.17.3.3 Simulering av spårämnestesten i SGU2017 - Resultat

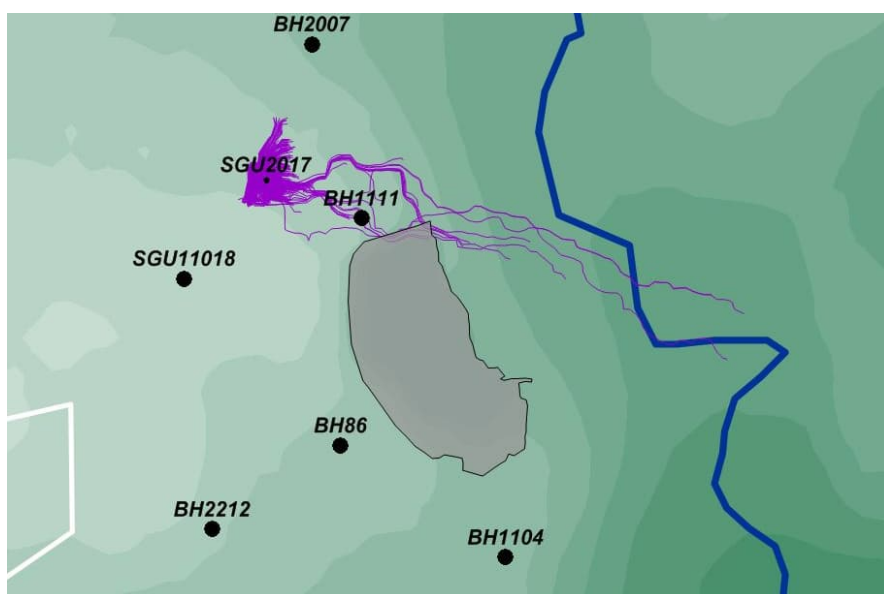
De simulerade transienta flödesvägarnas visas i tre olika figurer. Figur 4-42 visar flödesvägarna efter ett halvt år avtransport, 90 procent av flödesvägarna är kortare än 40 m, de längsta flödesvägarna är drygt 350 m långa. Figur 4-43 visar flödesvägarna efter ett år avtransport, 90 procent av flödesvägarna är kortare än 70 m, men de längsta flödesvägarna är över 3 km långa. Att de simulerade flödesvägarnas längd är korta efter ett halvt år av transport är i linje med att



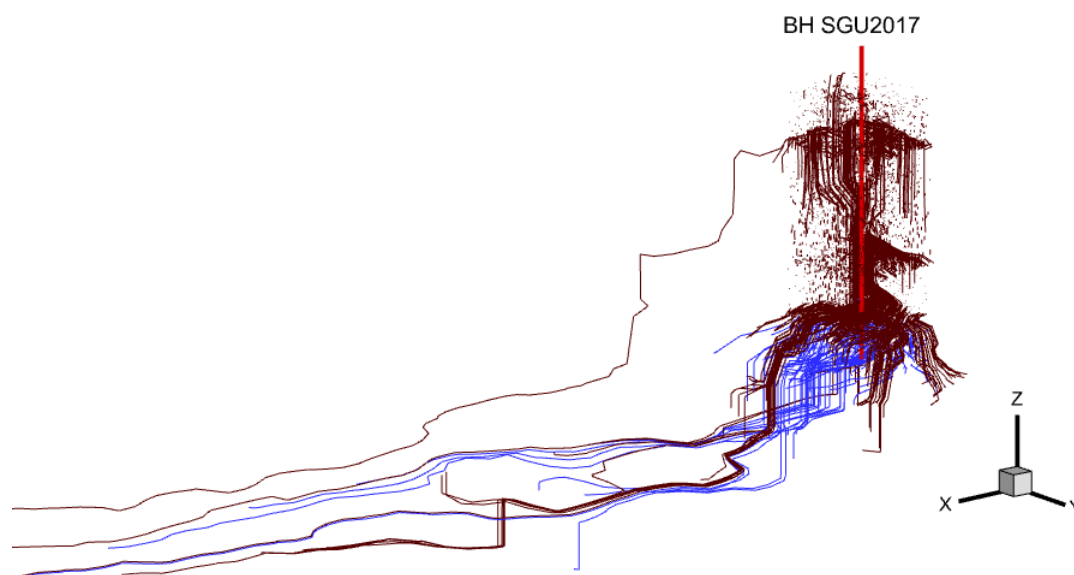
inget spårämne har ännu detekterats vid provtagningarna. Figur 4-44 visar flödesvägarna från SGU2017 i ett tvärsnitt i perspektiv. Figuren visar med bruna linjer flödesvägar initierade i revkalkstenen, och med blå linjer flödesvägar initierade i den vattenförande zonen under revkalkstenen. Av figuren framgår att det i modellen (med stor sannolikhet) inte finns några effektiva flödesvägar i revkalken. De flödesvägar i revkalken som lyckas finna en väg ned till den vattenförande zonen kan utvecklas till långa flödesvägar, genom transport i den djupt liggande vattenförande zonen. Flödesvägar initierade i den djupa vattenförande zonen kan utvecklas till långa flödesvägar.



Figur 4-42 Spårämnestest. Simulerade flödesvägarna från SGU2017. Lila linjer representerar de transienta flödesvägarna. Alla flödesvägar terminerades efter ett halvt år av transport, 90 procent av flödesvägarna är kortare än 40 m. Dagbrottet markerat med grå färg.



Figur 4-43 Spårämnestest. Simulerade flödesvägarna från SGU2017. Lila linjer representerar de transienta flödesvägarna. Alla flödesvägar terminerades efter ett år av transport, 90 procent av flödesvägarna är kortare än 70 m, de längsta flödesvägarna är över 3 km långa. Dagbrottet markerat med grå färg.



Figur 4-44 Spårämnestest. Simulerade flödesvägarna från SGU2017. Bruna linjer representerar de transienta flödesvägarna initierade i revkalk. . Blå linjer representerar de transienta flödesvägarna initierade i det vattenförande lagret under revkalken. Alla flödesvägar terminerades efter ett år av transport. Perspektiv, den vertikala skalan är 10 gånger större än den horisontala skalan.

#### 4.17.3.4 Simulering av spårämnestesten i SGU2017 - Slutsats

Spårämnestestet i SGU2017 är ett sätt att validera vår konceptuella modell av revkalkstenen, som ett berg utan större kontinuerliga vattenförande lager. Ett berg som inte effektivt leder grundvatten, även om mindre vattenförande strukturer kan förekomma. Provtagningen har bekräftat den konceptuella modellen, eftersom inget spårämne har hittats i de omgivande observationsborrhålen.

Simuleringen av spårämnestestet i SGU2017 är ett sätt att validera att den etablerade modellen simulerar revkalkstenen och dess omgivning i enlighet med den konceptuella modellen. Simuleringen av spårämnen från SGU2017 visar att så är fallet, eftersom modellen visar korta flödesvägar då transporttiden begränsas till ett halvt år, 90% av flödesvägarna är kortare än 40m. Även då transporttiden begränsas till ett år är de allra flesta flödesvägarna korta, 90% av flödesvägarna är kortare än 70m, även om det då också kan förekomma ett mycket ringa antal långa flödesvägar, med längder över 3 km.

Det kan tyckas egendomligt att utföra ett experiment (ett spårämnestest) där det förväntade resultatet är att vi inte upptäcker spårämnet inom en kort tidsperiod. Ett negativt resultat, alltså att vi inte upptäcker något spårämne inom en rimlig tidsperiod, kan också vara av stort intresse, särskilt i detta fall, eftersom ett negativt resultat i detta fall bekräftar vår konceptuella modell.

## 5. Framtida situationer

### 5.1 Beräkningsfall

Modellen inkluderar Västra brottet, Östra brottet och File hajdar dagbrott. De olika nivåerna i dagbrotten är inkluderade och representeras i modellen av olika numeriska lager. I de fall dagbrotten simuleras som dränerade, definieras dagbrotten med atmosfäriskt tryck. I de simuleringar i vilka en fri vattenyta förekommer i dagbrotten (vattenfyllda dagbrott) simuleras de vattenfyllda delarna med en specificerad vattennivå, som i sin tur skapar olika tryck på olika nivåer. Modellen beräknar inflöde till dagbrotten både genom dagbrottens sidor och genom botten. I modellen läggs också en nettonederbörd över dagbrottet. Inget vatten kan strömma ut från dagbrotten. Beräkningarna har utförts som transienta (tidsberoende) simuleringar avseende ett normalår (medelår). Resultat erhålls för varje månad under det studerade året.

Nuvarande situation och olika framtida beräkningsfall har inkluderats i denna studie. Dagbrottens storlek framgår av Figur 5-1, Figur 5-2, Figur 5-3 och Figur 5-4 och Figur 5-5.

#### **Den kalibrerade beskrivningen. Nuvarande situation (2021). Scenario LT1-2021**

Dagbrottens storlek såsom de var i oktober 2021.

Pall 1 i Västra och Östra dagbrotten brutet ned till -26 möh Dränerat.

Pall 2 i Västra brottet brutet till -48 möh Pumpgrop vid -50 möh Vattenfylld upp till nivån -31 möh

Pall 1 i File hajdar dagbrott brutet ned till nivån +20 möh Dränerat.

Transient simulering av ett framtida normalår.

Nettonederbörd enligt ett medelår. Nuvarande situation – observerade data.

#### **Referenssituation. Nuvarande tillstånd utbrutet och dränerat. Scenario LT2.**

Referenssituationen definieras som tidpunkt noll, när nuvarande tillståndet löper ut 31 december 2026.

Dagbrottens storlek såsom de kommer att vara när nuvarande tillståndet löper ut.

Pall 1 i Västra och Östra brotten brutet ned till -26 möh Dränerat.

Pall 2 i Västra brottet brutet till -48 möh Pumpgrop vid -50 möh Vattenfylld upp till -26.5 möh

Pall 1 i File hajdar dagbrott brutet ned till nivån +20 möh Dränerat.

Produktionsbrunnarna producerar i enlighet med vattendomen 220 000 m<sup>3</sup>/år.

Nettonederbörd enligt ett medelår. Nuvarande situation – observerade data.

#### **Framtida situationer. Ansökt utökning**

De framtida situationernas tidpunkter anges i relation till referenssituationen, som är tidpunkt noll.

Framtida studerade situationer är: år 8, år 20 och år 30.

Dagbrottens storlek såsom de kommer att vara vid olika tidpunkter. Störst storlek vid 30 år.

Västra och Östra brotten:

Pall 1 och Pall 2 Västra brottet vattenfylls i olika steg och med olika hastighet.

Pall 1 i Östra brotten något utökad och basnivån i delar av dagbrottet sänkt till -27 möh Dränerat.

File hajdar dagbrott:

En utökad Pall 1 brutet ned till +20 möh Dränerat.

En ny Pall 2 brutet ned till +5 möh Dränerat.

Två vattenmagasin har brutits ut i södra delen av dagbrottet.

Produktionsbrunnarna producerar i enlighet med vattendomen 220 000 m<sup>3</sup>/år.

Nettonederbörd:

Tre framtida situationer studerade 8 år, 20 år, 30 år.

För situation 8 år: Nettonederbörd för Nuvarande situation – observerade data. Medelår.

För situation 20 år: Nettonederbörd för Klimatscenario RCP4.5 Period 2021-2050 (medelår)

För situation 30 år: Nettonederbörd för Klimatscenario RCP4.5 Period 2071-2100 (medelår)

De ansökta framtida situationerna analyseras med och utan skyddsåtgärder. Skyddsåtgärderna för grundvatten består av injektering vid File hajdar dagbrott och infiltration i infiltrationsbrunnar sydväst om File hajdar dagbrottet.

### **Framtida situationer. Avslutad verksamhet efter ansökt brytning.**

En framtida situation studerad ungefär 40 år efter avslutad verksamhet, 30år + 40år = 70 år

Dagbrottens storlek såsom de kommer att vara efter ansökt brytning. Motsvarar storleken vid år 30.

Västra brottet vattenfyllt.

Östra brottet dränerat.

File hajdar dagbrott vattenfyllt.

Produktionsbrunnarna producerar i enlighet med vattendomen 220 000 m<sup>3</sup>/år.

Nettonederbörd:

Nettonederbörd för Klimatscenario RCP4.5 Period 2071-2100 (medelår)

### **Framtida situationer. Nollalternativet**

Fyra framtida situationer studerade år 8, år 20, år 30 och år 70.

Dagbrottens storlek såsom de kommer att vara när nuvarande tillståndet går ut.

Västra brottet vattenfylls med tiden.

Östra brottet vattenfylls med tiden.

File hajdar dagbrott vattenfylls med tiden. Nivån 22.5 möh är tröskelnivå och den nås efter ca 8 år.

Produktionsbrunnarna producerar i enlighet med vattendomen 220 000 m<sup>3</sup>/år.

Nettonederbörd:

Fyra framtida situationer.

För situation 8 år: Nettonederbörd för Nuvarande situation – observerade data. Medelår.

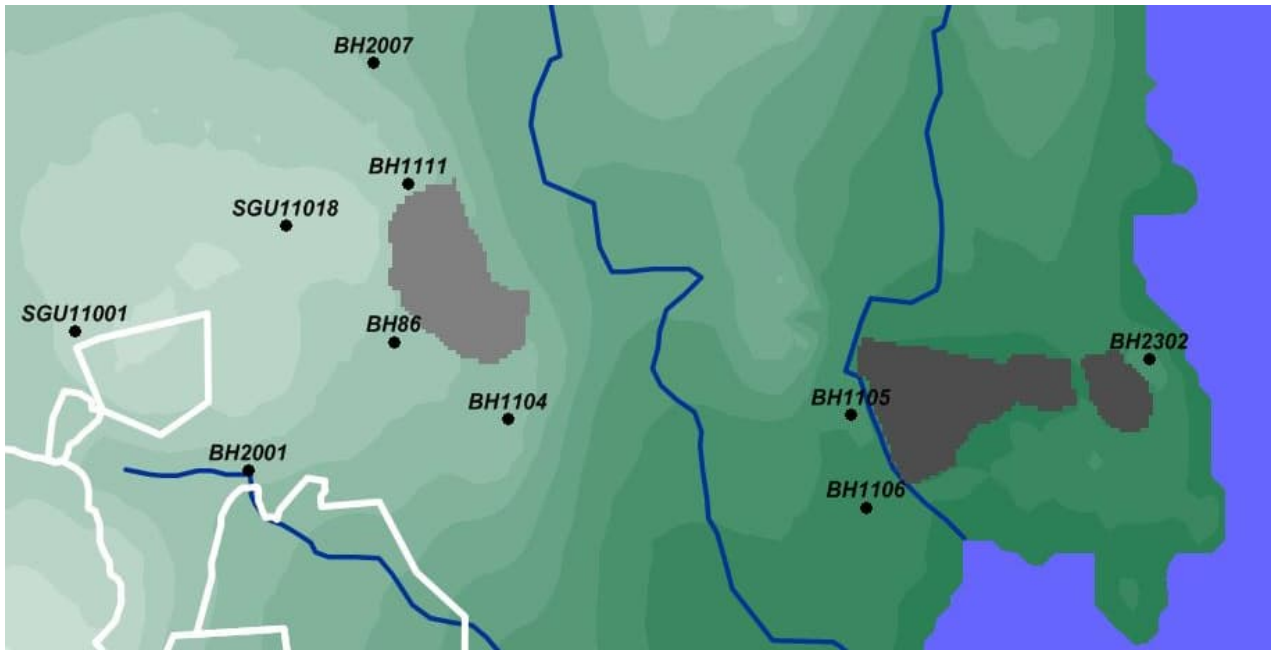
För situation 20 år: Nettonederbörd för Klimatscenario RCP4.5 Period 2021-2050 (medelår)

För situation 30 år: Nettonederbörd för Klimatscenario RCP4.5 Period 2071-2100 (medelår)

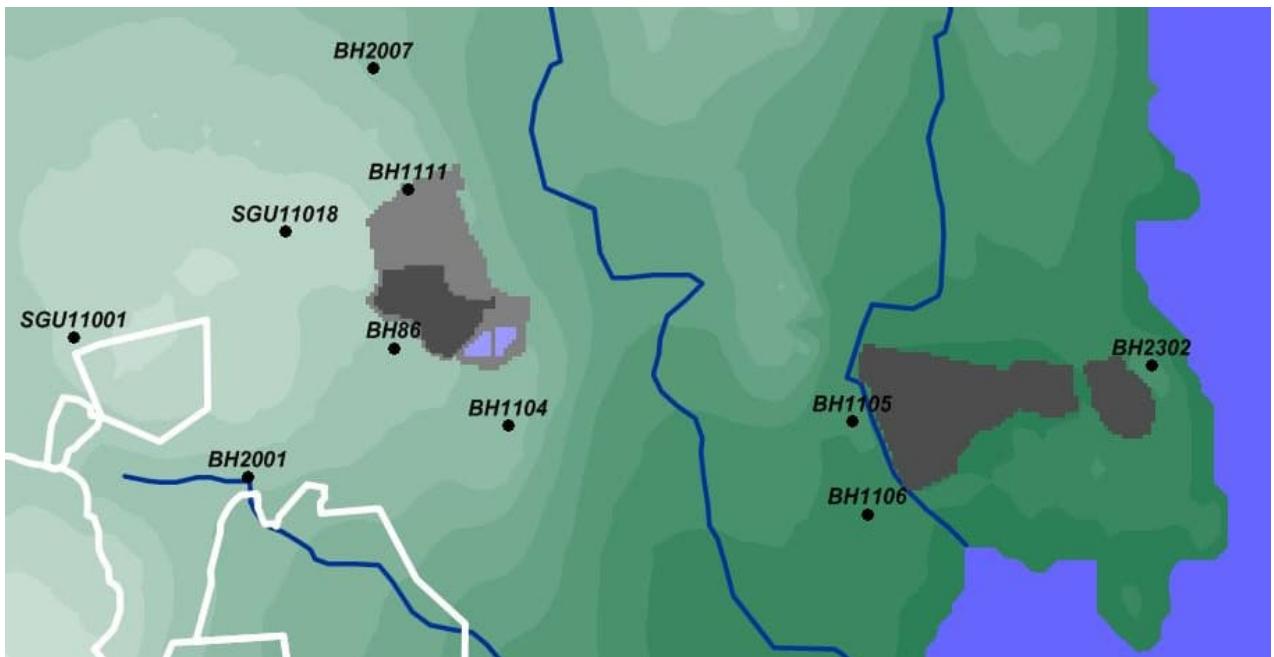
För situation 70 år: Nettonederbörd för Klimatscenario RCP4.5 Period 2071-2100 (medelår)

Tiden det kommer att ta att fylla dagbrotten med vatten är svår att förutsäga exakt eftersom det bland annat beror på hur klimatet kommer att utvecklas. Den framtida vattennivån är också svår att förutsäga exakt eftersom nivån bland annat kommer att bero på hur de framtida vattenfyllda dagbrotten kommer att användas.

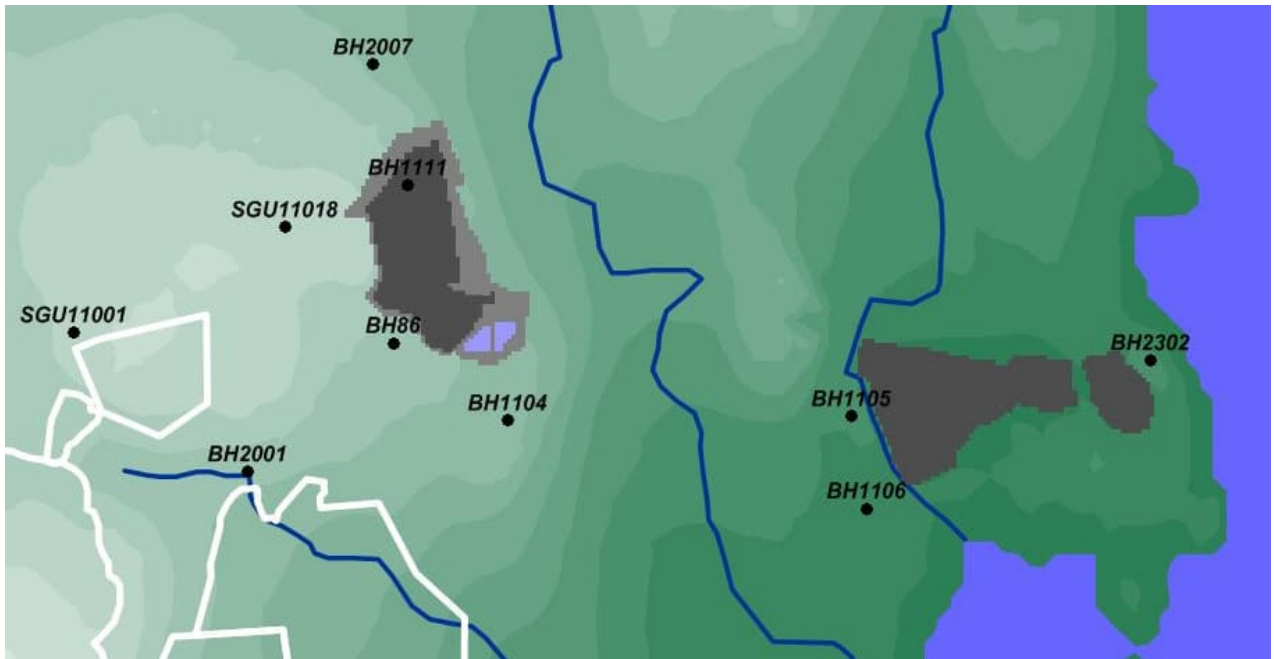
Vi kan dock konstatera att det kommer att ta lång tid att fylla dagbrotten med vatten genom naturlig vattenfyllning. En uppskattning är att det kommer att ta ca 40 – 50 år att vattenfylla Västra brottet, och 20 – 30 år att helt vattenfylla File hajdar dagbrott. En vattennivå på ca 22 möh kan dock nås i File hajdar på ca 8 år. Vi har för dessa uppskattningar antagit att inget ytvattendrag kommer att ledas in i täkterna.



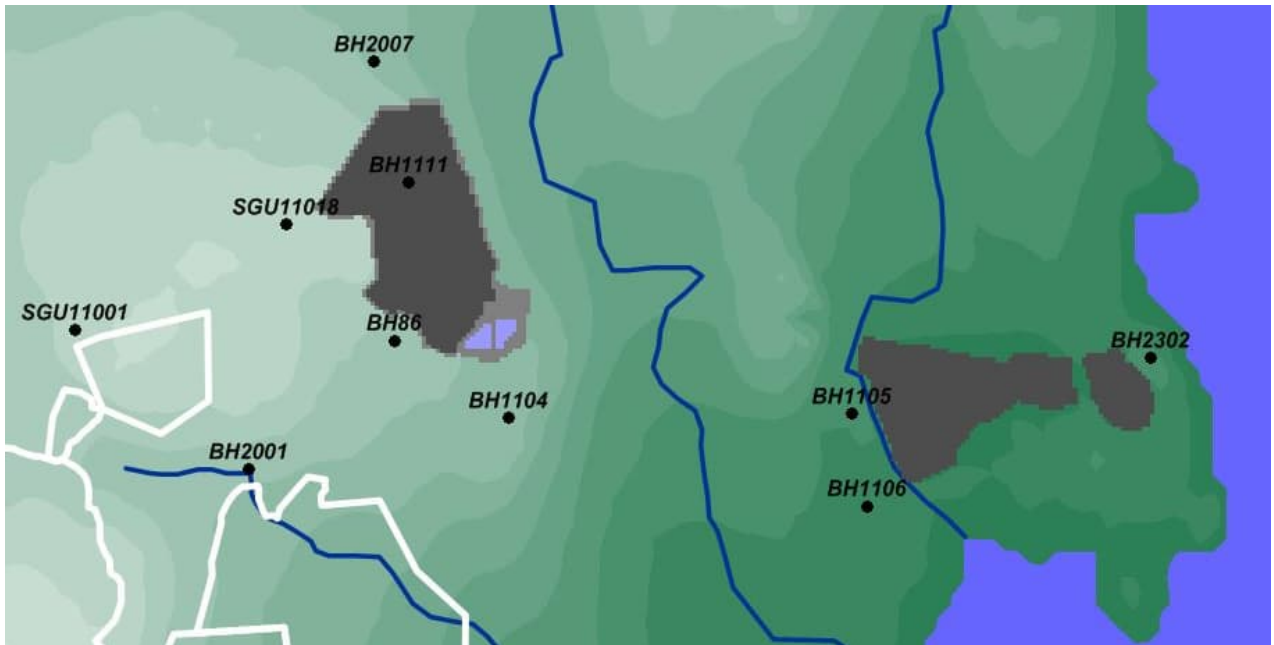
Figur 5-1 Topografien och Heidelberg Materials dagbrott med omgivning, som de är definierade i modellen för: Referenssituation: Framtida situation, nuvarande tillstånd utbrutet: Scenario LT2. I File hajdar finns endast Pall 1, bruten till +20 möh



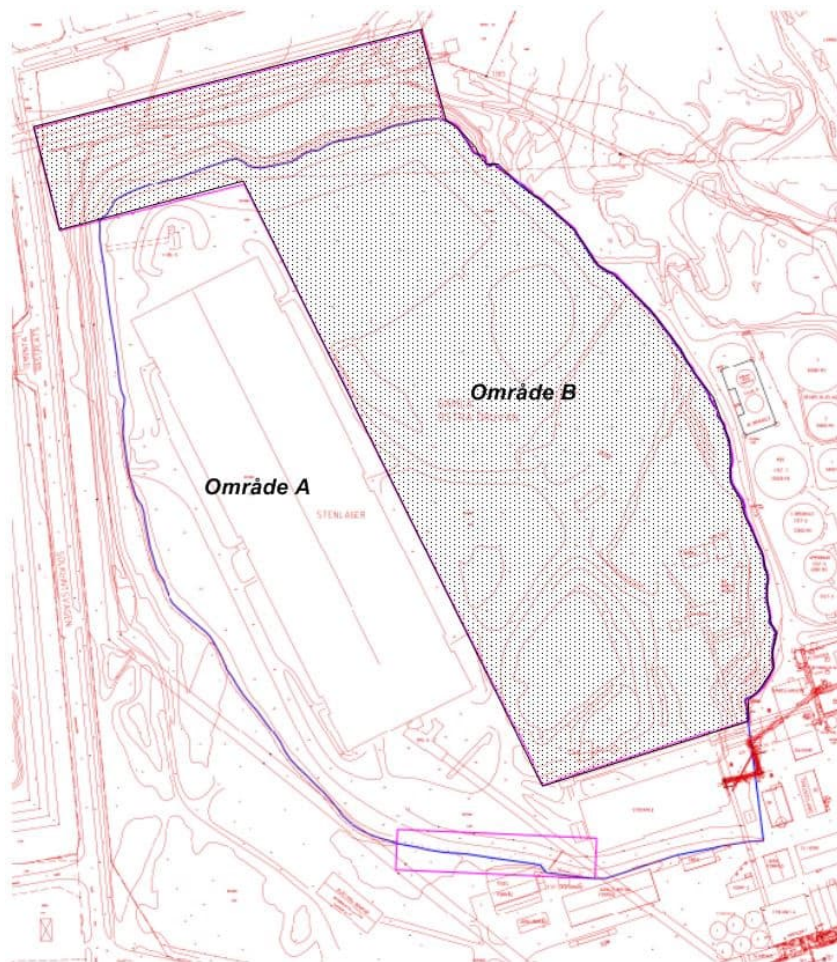
Figur 5-2 Topografien och Heidelberg Materials dagbrott med omgivning, som de är definierade i modellen för: Ansökt framtida situation om 8 år. I File hajdar finns Pall 1 (ljusgrå) med nivån +20 möh och Pall 2 (mörkgrå) med nivån +5 möh Dessutom två bassänger i södra delen av dagbrottet (blå).



Figur 5-3 Topografien och Heidelberg Materials dagbrott med omgivning, som de är definierade i modellen för: Ansökt framtida situation om 20 år. I File hajdar finns Pall 1 (ljusgrå) med nivån +20 möh och Pall 2 (mörkgrå) med nivån +5 möh Dessutom två bassänger i södra delen av dagbrottet (blå).



Figur 5-4 Topografien och Heidelberg Materials dagbrott med omgivning, som de är definierade i modellen för: Ansökt framtida situation om 30 år. I File hajdar finns Pall 1 (ljusgrå) med nivån +20 möh och Pall 2 (mörkgrå) med nivån +5 möh Dessutom två bassänger i södra delen av dagbrottet (blå).



*Figur 5-5 Östra brottet. Östra brottet kommer att i framtiden något förändras (utökas), och basnivån i dagbrottets östra del kommer att sänkas något. Figuren visar:*

*Inom område A är den framtida basnivån lika med -26 möh*

*Inom område B är den framtida basnivån lika med -27 möh*

*Dagbrottet kommer i framtiden att vara dränerat.*

## 6. RESULTAT FÖR ANSÖKT SITUATION UTAN SKYDDSÅTGÄRDER

### 6.1 Ansökt situation år 8. Inga skyddsåtgärder

#### 6.1.1 Jämförelse och dagbrott

Jämförelsen avser:

[Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat. Scenario LT2F.]

och

[Ansökt situation år 8. Inga skyddsåtgärder. Scenario Sc8R4K-VbG1Vam265.]

File hajdar dagbrott:

En utökad Pall 1 ned till +20 möh Dränerat.

En mindre Pall 2 ned till +5 möh Dränerat.

Två vattenmagasin skall brytas ut i södra delen av dagbrottet, med vattennivåer som varierar under året, höga på vintern och låga i slutet på sommaren. (Total volym ca 400 000 m<sup>3</sup>)

Västra brottet:

Pall1 dränerat.

Pall 2 vattennivå vid -26.5 möh (ej vattenfyllt).

Östra brottet dränerat.

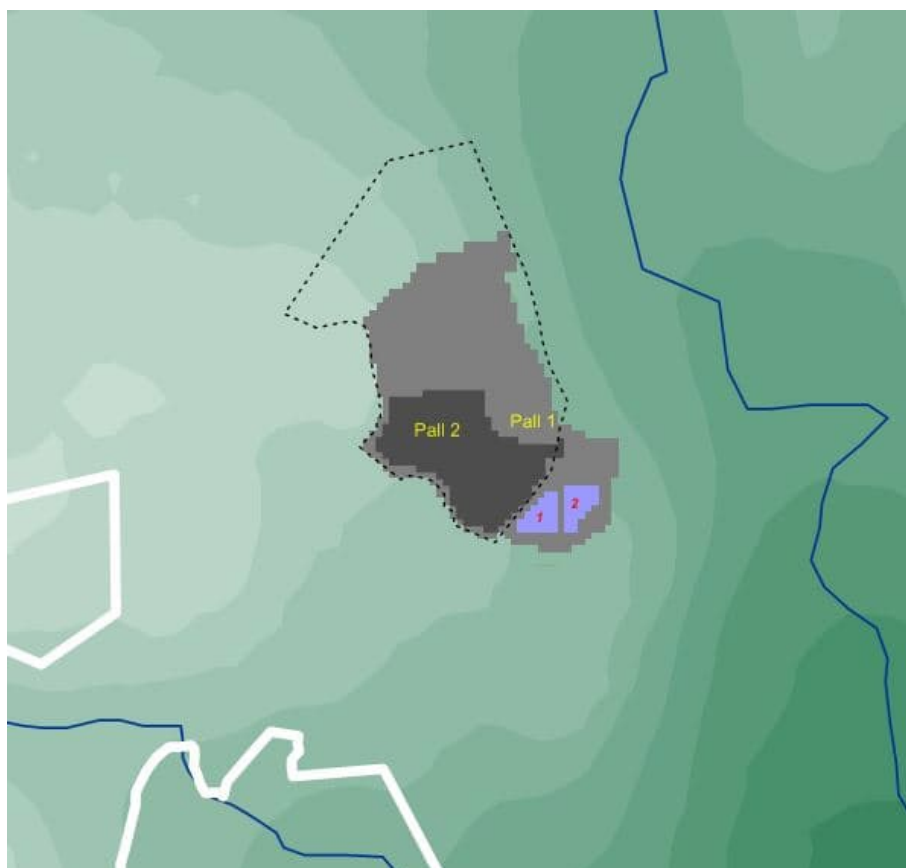
Inga skyddsåtgärder.

Oförändrat klimat. Samma klimat (nettonederbörd) används för båda situationerna.

Storleken på File hajdar dagbrott vid ansökt situation år 8 framgår av Figur 6-1.

Eftersom den planerade Pall 2 efter ca 8 år kommer att skära igenom flera större vattenförande lager blir påverkan på grundvattensituationen betydande





Figur 6-1 Storleken på File hajdar dagbrott vid ansökt situation år 8, som dagbrottet är definierat i modellen. Den punktstreckade linjen visar dagbrottets största storlek, vid ansökt situation år 30. De två bassängerna i dagbrottets södra del är markerade som 1 och 2.

### 6.1.2 Beräkning förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottets framtida utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Men hjälp av den upprättade modellen har vi beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal lokala avrinningsområden runt dagbrotten. Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet (nettoflödet) beräknats längs med en yta på djupet ca 7.5 m. Förändringen i detta nettoflöde har beräknats för de olika studerade situationerna i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. Metod och resultat diskuteras i Appendix D och E, Sektion 19 och Sektion 20.

Tabell 6-1 Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott. Situation år 8.

[Ansökt situation år 8. Inga skyddsåtgärder.  
Scenario Sc8R4K-VbG1Vam265.]

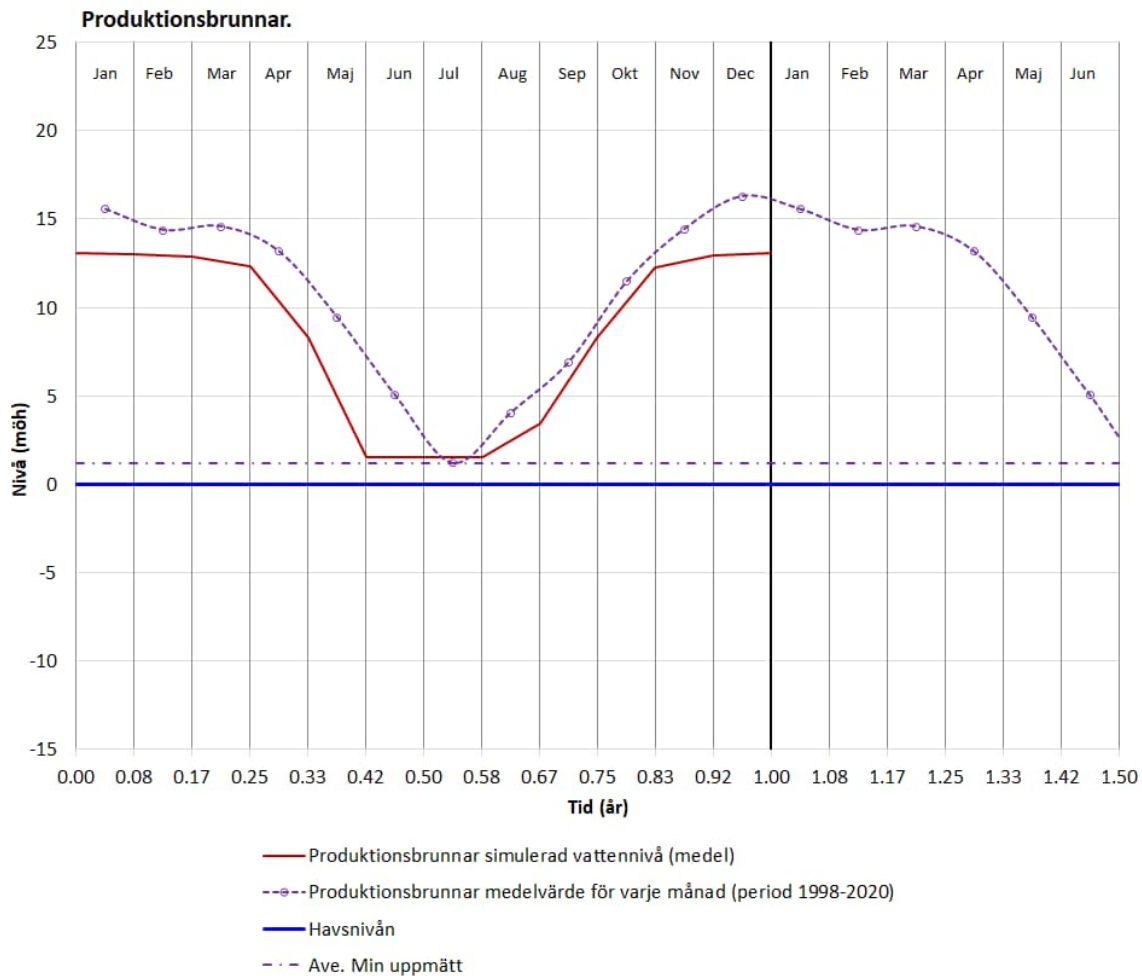
Månad	Totalt m <sup>3</sup> /mån
1	130 834
2	118 811
3	96 255
4	70 066
5	47 870
6	43 934
7	52 617
8	64 156
9	73 739
10	112 930
11	140 442
12	148 687
Summa	
1 100 340	

### 6.1.3 Flöde i de kommunala produktionsbrunnarna

För den studerade situationen visas beräknade vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna i Figur 6-2. Medelvärde för minsta vattennivå i produktionsbrunnarna har satts till +0.5 möh Därmed begränsas produktion under sommarhalvåret med ca 7 000 m<sup>3</sup>, vilket är mycket litet i jämförelse med den totala årsproduktionen som är lika med 220 000 m<sup>3</sup>.

### 6.1.4 Utflöde från Tingstäde träsk

Genom botten på Tingstäde träsk sker ett mindre netto utflöde av grundvatten, flödets storlek varierar under året, med störst utflöde under sommaren. För referenssituationen (den tillståndsgivna verksamheten Scenario LT2) beräknas detta nettoutflöde (Inflöde-Utflöde) till nära 5 000 m<sup>3</sup>/år. För situationen år 8 beräknas detta nettoutflöde (Inflöde-Utflöde) öka med nära 1 000 m<sup>3</sup>. Vilket är en försumbar förändring i jämförelse med andra flöden i sjöns vattenbalans, tex uppskattas tillrinningen till sjön vara större än två miljoner m<sup>3</sup>/år.

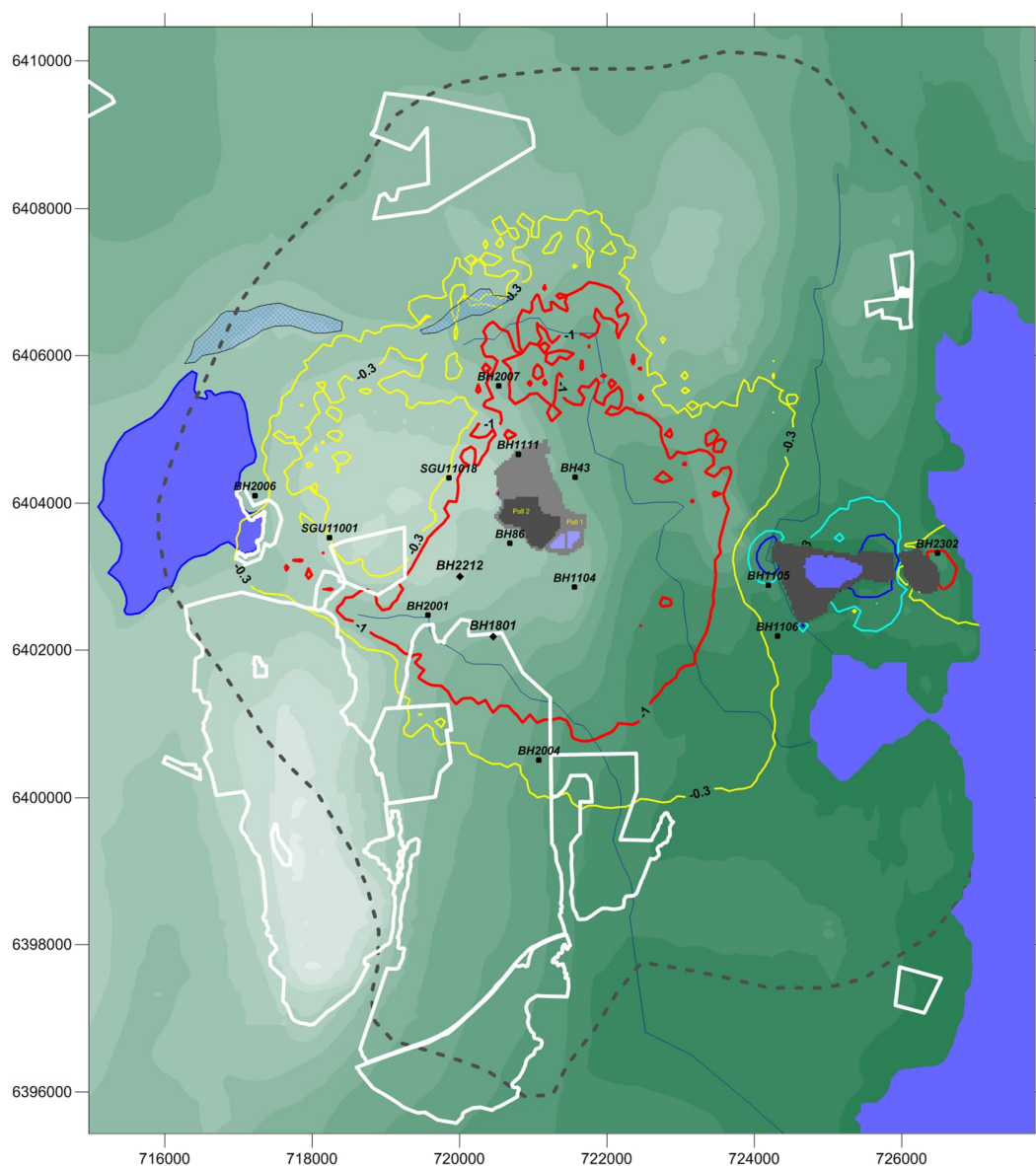


Figur 6-2 Simulerade och uppmätta vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna. Situation år 8.

### 6.1.5 Beräknade påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m. Viktfaktorerna ges av de studerade lagrens transmissivitet. Det betyder att grundvattennivån i de vattenförande lagren får stor betydelse, eftersom dessa lager har stor transmissivitet. Djupet 47 m har valts eftersom det ligger nära mediandjupet på bergborrade brunnar inom det studerade området. Det beräknade värdet för berggrundvattnets nivå representerar vattennivån i en brunn med djupet 47 m, och där de översta 5 m av brunnen är isolerad från omgivningen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 6-3 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 8: Vår, April månad. Scenario Sc8R4K-VbG1Vam265.

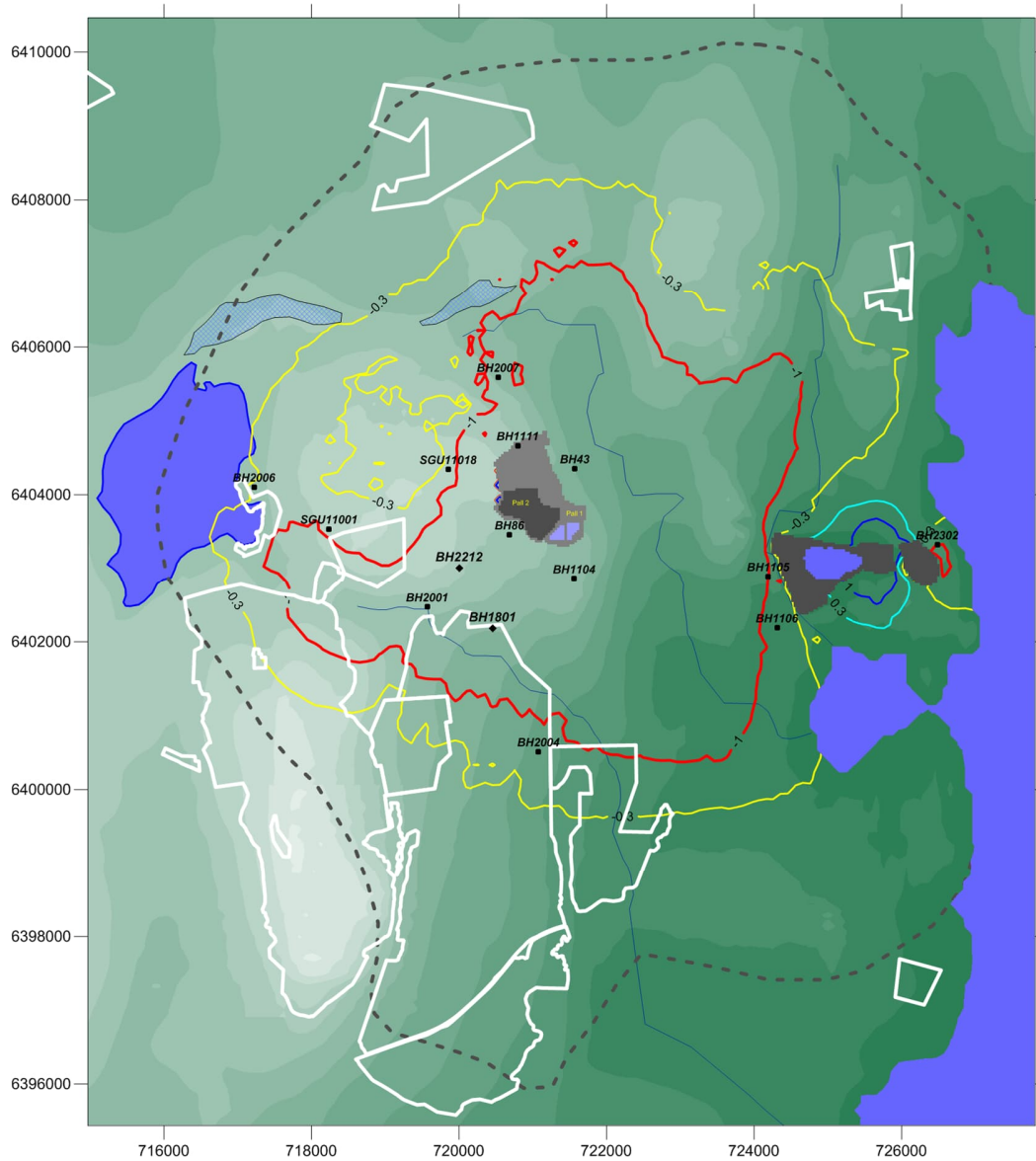
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glaciifluvium markerat med blå rastering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samråds-kretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 6-4 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 8: Sommar, Juli månad. Scenario Sc8R4K-VbG1Vam265.

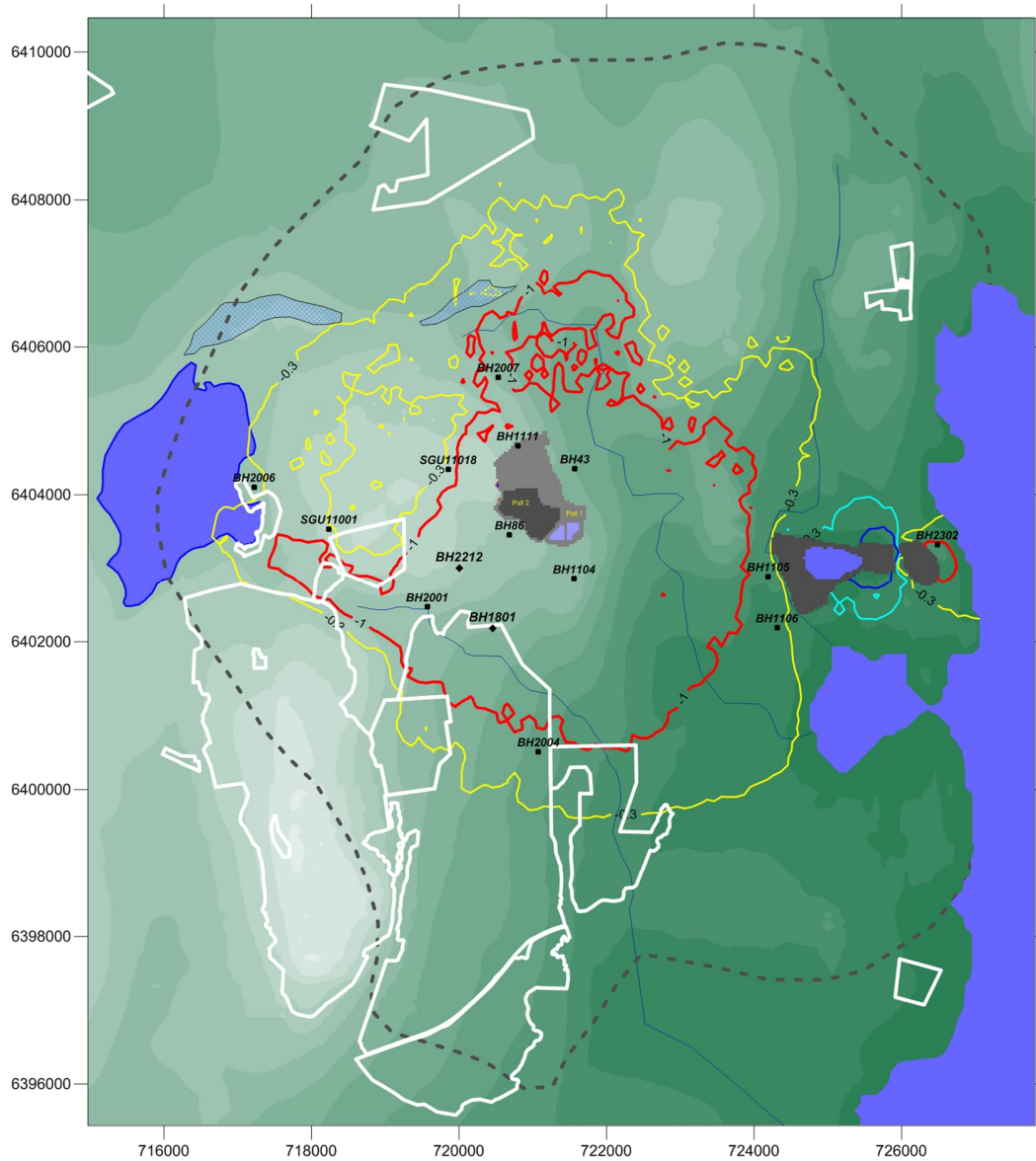
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glaciifluvium markerat med blå rastering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 6-5 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 8: Höst, September månad. Scenario Sc8R4K-VbG1Vam265.

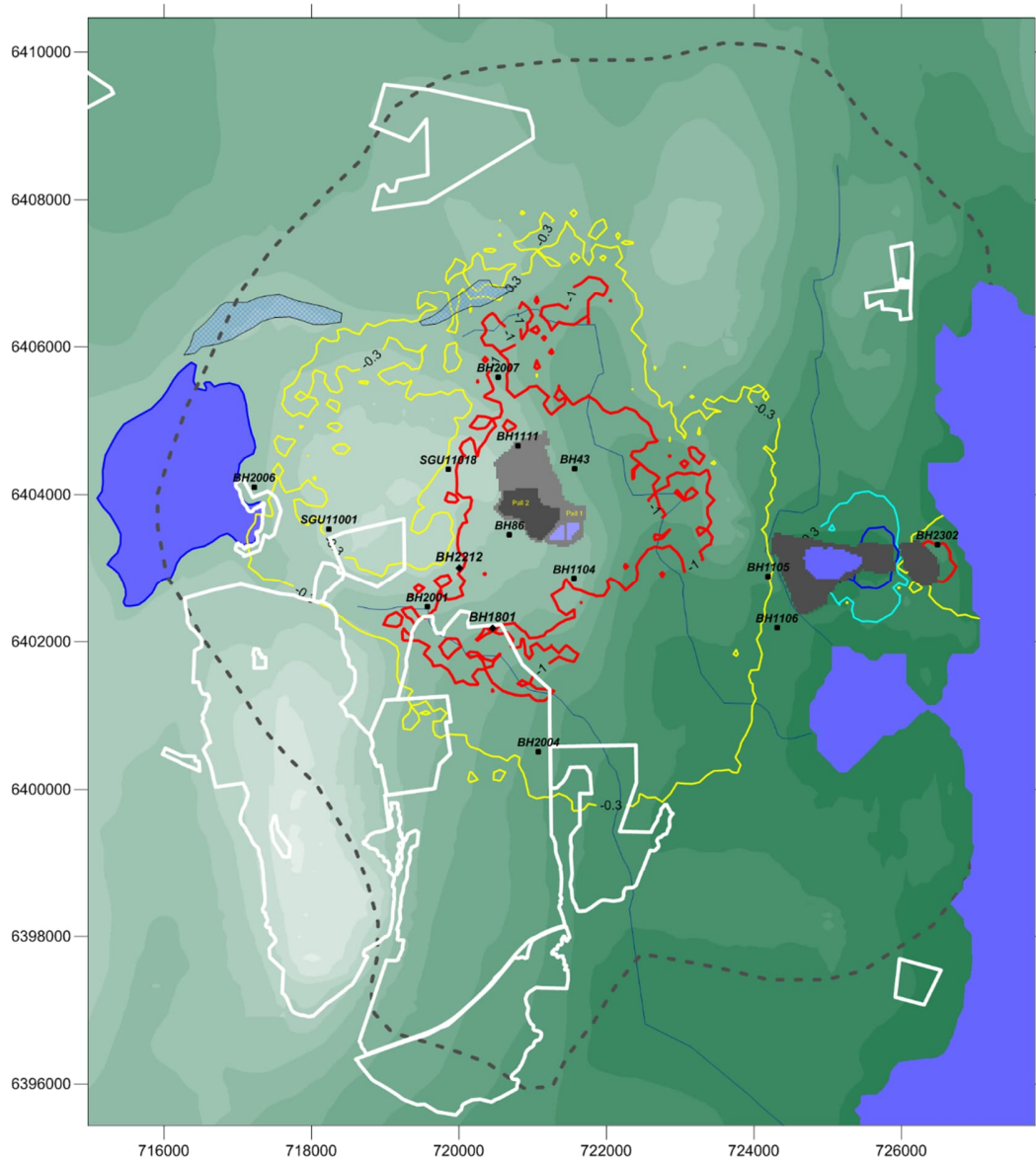
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glaciifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 6-6 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 8: Vinter, December månad. Scenario Sc8R4K-VbGIVam265.

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

## 6.2 Ansökt situation år 20. Inga skyddsåtgärder:

### 6.2.1 Jämförelse och dagbrott

Jämförelsen avser:

[Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.  
Scenario LT2F.]

och

[Ansökt situation år 20. Inga skyddsåtgärder.  
Scenario Sc20R4K-VbG1Vam18.]

File hajdar dagbrott:

En utökad Pall 1 ned till +20 möh Dränerat.

En utökad Pall 2 ned till +5 möh Dränerat.

Två vattenmagasin skall brytas ut i södra delen av dagbrottet, med vattennivåer som varierar under året, höga på vintern och låga i slutet på sommaren. (Total volym ca 400 000 m<sup>3</sup>)

Västra brottet:

Pall 1 och Pall 2 vattennivå vid -18 möh (ej helt vattenfyllt).

Östra brottet dränerat.

Inga skyddsåtgärder.

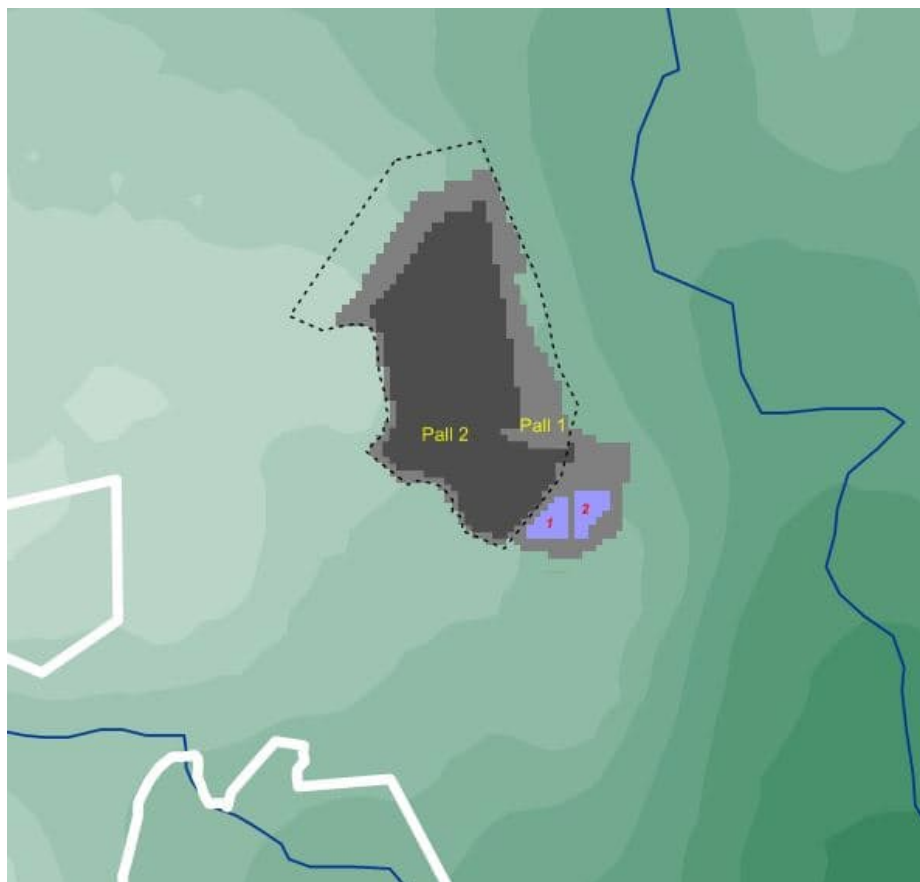
Referenssituationen (LT2F) är definierat med det nuvarande klimatet. Den framtida situationen år 20 (Sc20G1R4K-VbG1Vam18) är definierat med ett framtida klimat. Framtida klimat enligt RCP 4.5 Period 2021-2050 (faktorer). Det betyder att de beräknade påverkansområdena inkluderar inte bara effekten av det utvidgade dagbrottet utan också effekten av det framtida klimatet. Nettonederbörden definierar klimatet i modellen. Förändringen i nettonederbörd som följer av det framtida klimatet (klimatpåverkan) är ringa för alla månader utom april.

Storleken på File hajdar dagbrott vid ansökt situation år 20 framgår av Figur 6-7

Eftersom Pall 2 i File hajdar-dagbrott kommer att skära igenom flera större vattenförande lager blir påverkan på grundvattensituationen betydande. Den stora förändringen i grundvatteninflöde sker när Pall2 etableras i dagbrottet, och det görs inom de första 8 åren. För perioden mellan år 8 och år 20 utökas dagbrottet, men det görs inte djupare. Därför är förändringen i grundvatteninflöde mindre om man jämför år 8 och år 20, än om man jämför år 0 och år 8.

Resultatet visas nedan i Tabell 20-2.





Figur 6-7 Storleken på File hajdar dagbrott vid ansökt situation år 20, som dagbrottet är definierat i modellen. Den punktstreckade linjen visar dagbrottets största storlek, vid ansökt situation år 30. De två bassängerna i dagbrottets södra del är markerade som 1 och 2.

### 6.2.2 Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottets framtida utvidgning av File hajdar dagbrott och en framtida vattenfyllning av Västra brottet. Men hjälp av den upprättade modellen har vi beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal lokala avrinningsområden runt dagbrotten. Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet (nettoflödet) beräknats längs med en yta på djupet ca 7.5 m. Förändringen i detta nettoflöde har beräknats för de olika studerade situationerna i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. Metod och resultat diskuteras i Appendix D och E, Sektion 19 och Sektion 20.

### 6.2.3 Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott under ett normalår

Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott framgår av Tabell 6-2

Tabell 6-2 Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott. Situation år 20 (Sc20R4K-VbG1Vam18).

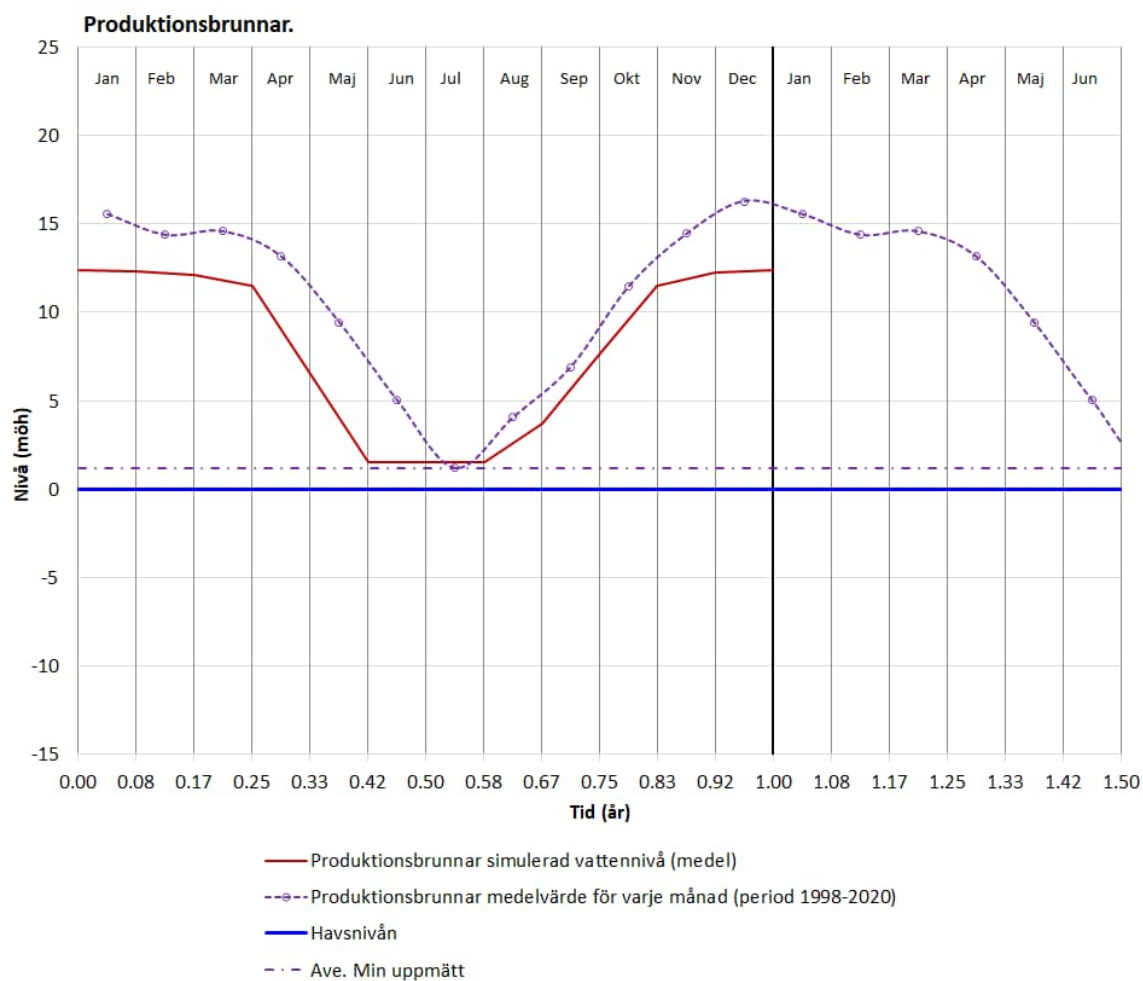
Månad	Totalt m <sup>3</sup> /mån
1	154 110
2	139 511
3	114 644
4	81 101
5	56 529
6	52 943
7	63 679
8	77 269
9	90 414
10	133 970
11	165 646
12	174 058
Summa	
1 303 872	

### 6.2.4 Flöde i de kommunala produktionsbrunnarna

För den studerade situationen visas beräknade vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna i Figur 6-8. Medelvärde för minsta vattennivå i produktionsbrunnarna har satts till +0.5 möh Därmed begränsas produktion under sommarhalvåret med ca 13 000 m<sup>3</sup>. Vilket är mycket litet i jämförelse med den totala årsproduktionen som är lika med 220 000 m<sup>3</sup>.

### 6.2.5 Utflöde från Tingstäde träsk

Genom botten på Tingstäde träsk sker ett mindre nettoutflöde av grundvatten, flödets storlek varierar under året, med störst utflöde under sommaren. För referenssituationen (den tillståndsgivna verksamheten Scenario LT2) beräknas detta nettoutflöde (inflöde-utflöde) till nära 5 000 m<sup>3</sup>/år. För situationen år 20 beräknas detta nettoutflöde (inflöde-utflöde) öka med nära 1 500 m<sup>3</sup>, vilket är en försumbar förändring i jämförelse med andra flöden i sjöns vattenbalans, tex uppskattas tillrinningen till sjön vara större än två miljoner m<sup>3</sup>/år.

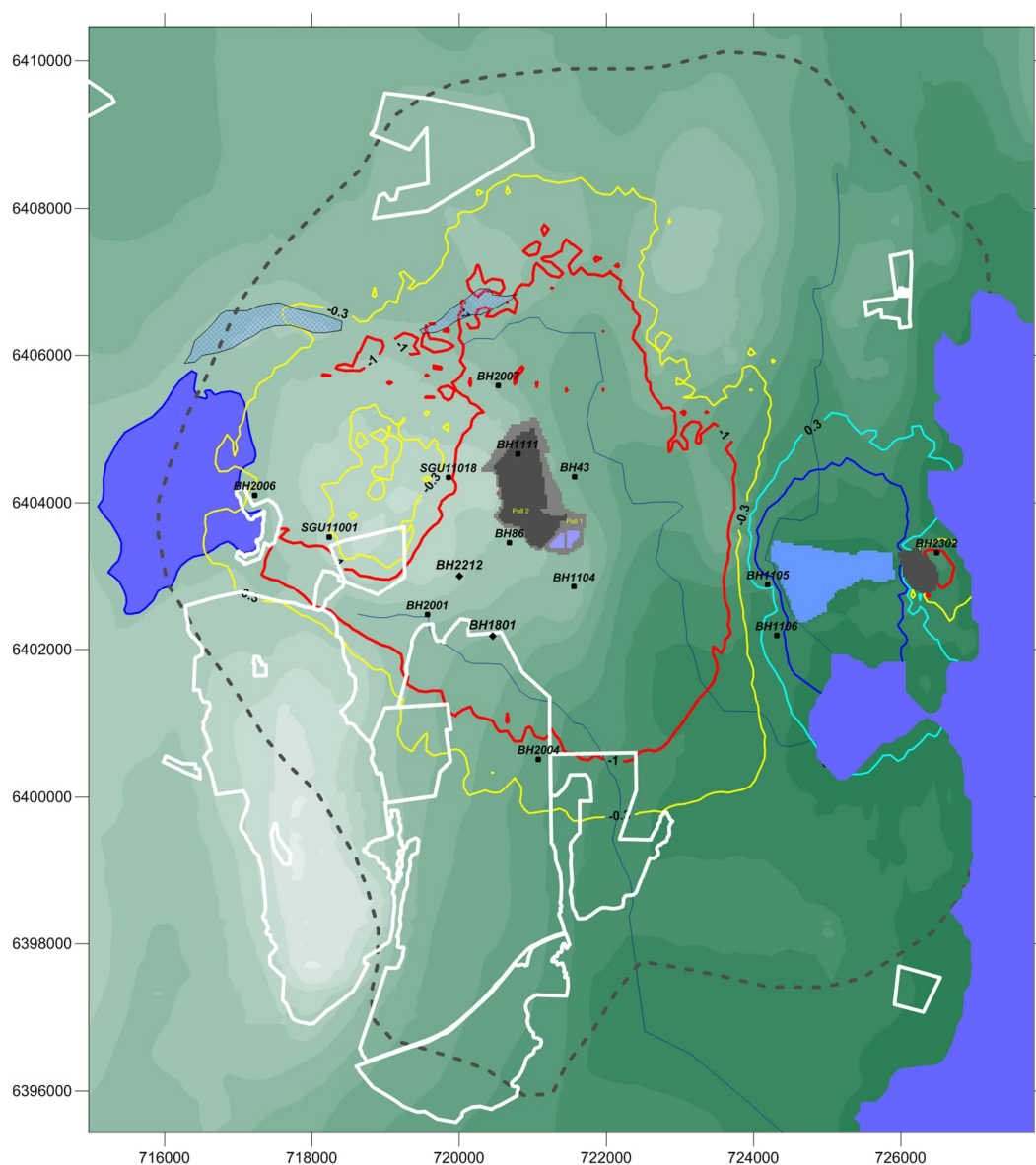


Figur 6-8 Simulerade och uppmätta vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna. Situation år 20.

### 6.2.6 Beräknade påverkansområden (normalår)

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m. Viktfaktorerna ges av de studerade lagrens transmissivitet. Det betyder att grundvattennivån i de vattenförande lagren får stor betydelse, eftersom dessa lager har stor transmissivitet. Djupet 47 m har valts eftersom det ligger nära mediandjupet på bergboreade brunnar inom det studerade området. Det beräknade värdet för berggrundvattnets nivå representerar vattennivån i en brunn med djupet 47 m, och där de översta 5 m av brunnen är isolerad från omgivningen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 6-9 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 20: Vår, April månad. Scenario Sc20R4K-VbG1Vam18.

Påverkansområden med klimateffekter.

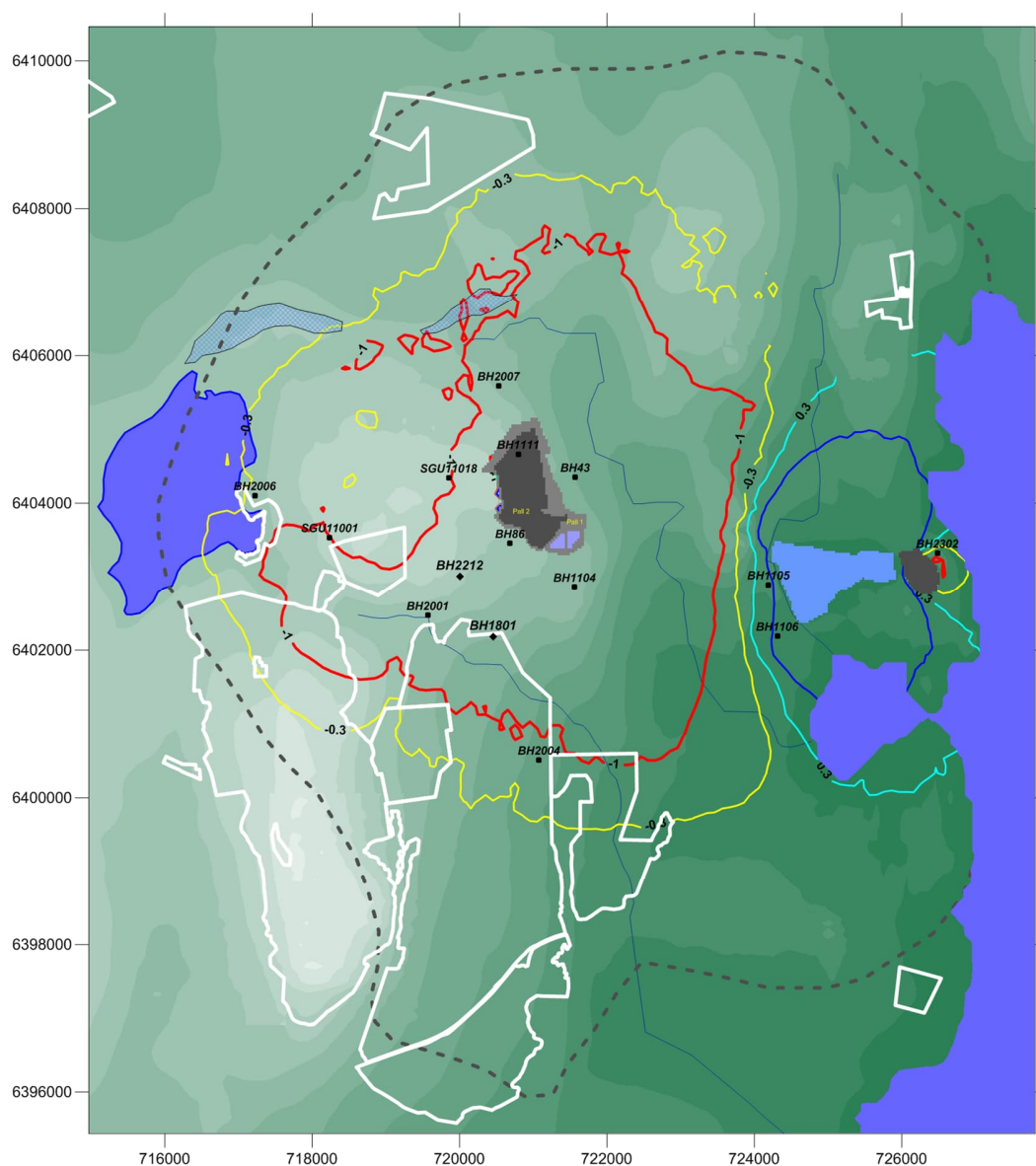
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= + 1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= + 0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 6-10 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 20: Sommar, Juli månad. Scenario Sc20R4K-VbGIVam18.

Påverkansområden med klimatteffekter.

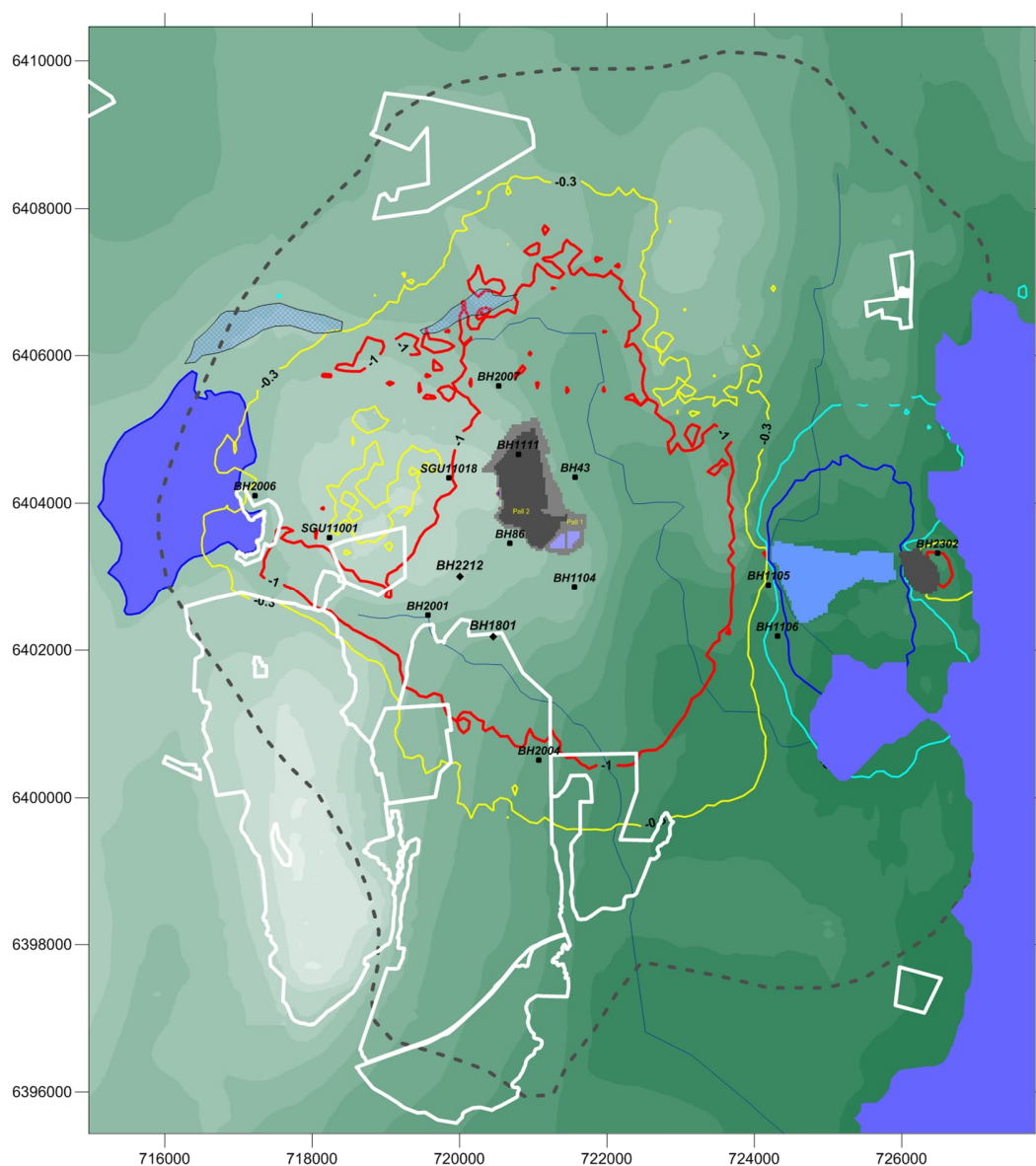
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 6-11 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 20: Höst, September månad. Scenario Sc20R4K-VbG1Vam18.

Påverkansområden med klimateffekter.

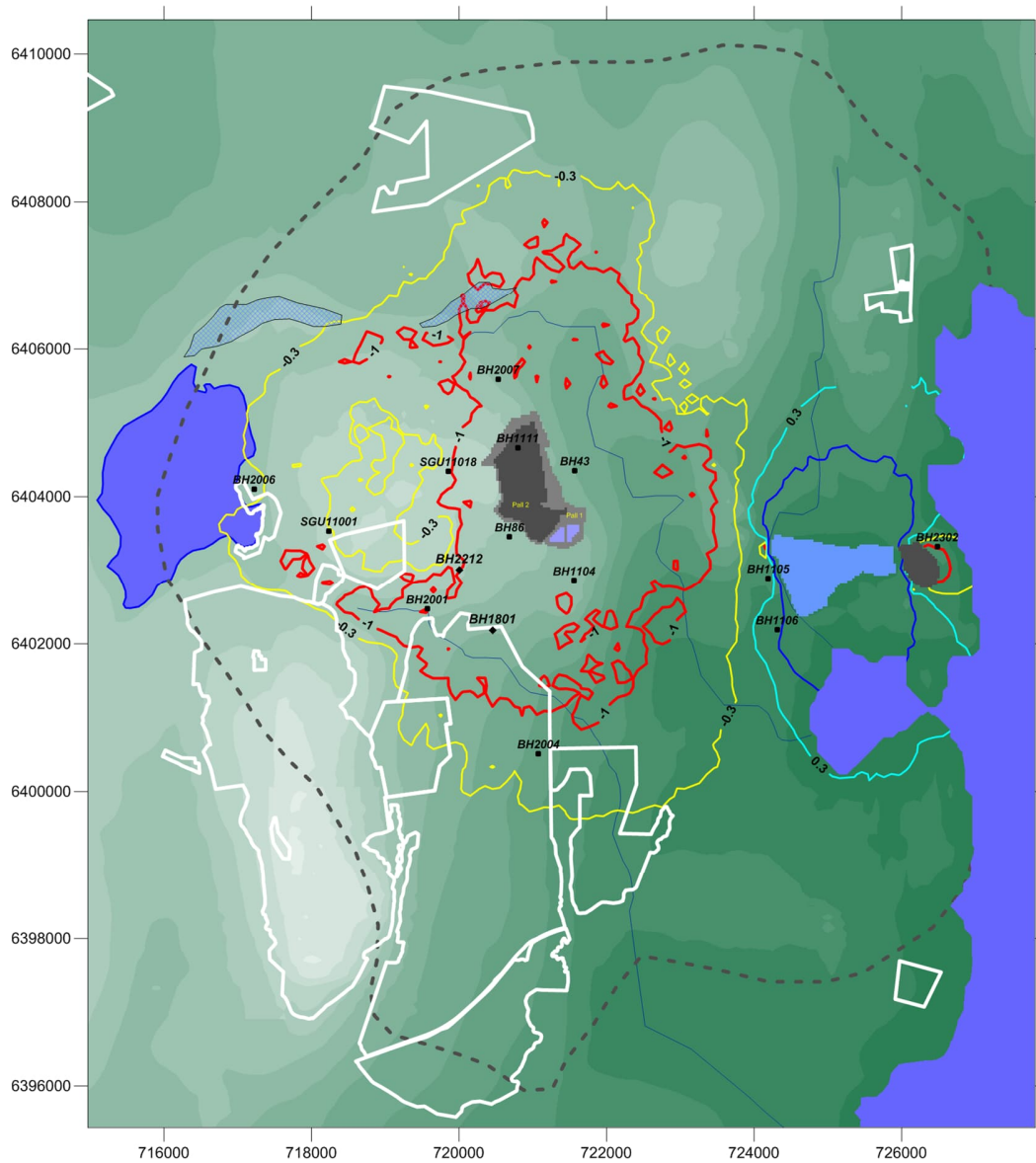
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samråds-kretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 6-12 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 20: Vinter, December månad. Scenario Sc20R4K-VbG1Vam18.

Påverkansområden med klimateffekter.

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

## 6.3 Ansökt situation år 30. Inga skyddsåtgärder:

### 6.3.1 Jämförelse och dagbrott

Jämförelsen avser:

[Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.  
Scenario LT2F.]

och

[Ansökt situation år 30. Inga skyddsåtgärder.  
Scenario Sc30R4K-VbG1Vam11]

File hajdar dagbrott:

En utökad Pall 1 ned till +20 möh Dränerat.

En utökad Pall 2 ned till +5 möh Dränerat.

Två vattenmagasin skall brytas ut i södra delen av dagbrottet, med vattennivåer som varierar under året, höga på vintern och låga i slutet på sommaren. (Total volym ca 400 000 m<sup>3</sup>)

Västra brottet:

Pall 1 och Pall 2 vattennivå vid -11 möh (ej helt vattenfyllt).

Östra brottet dränerat.

Inga skyddsåtgärder.

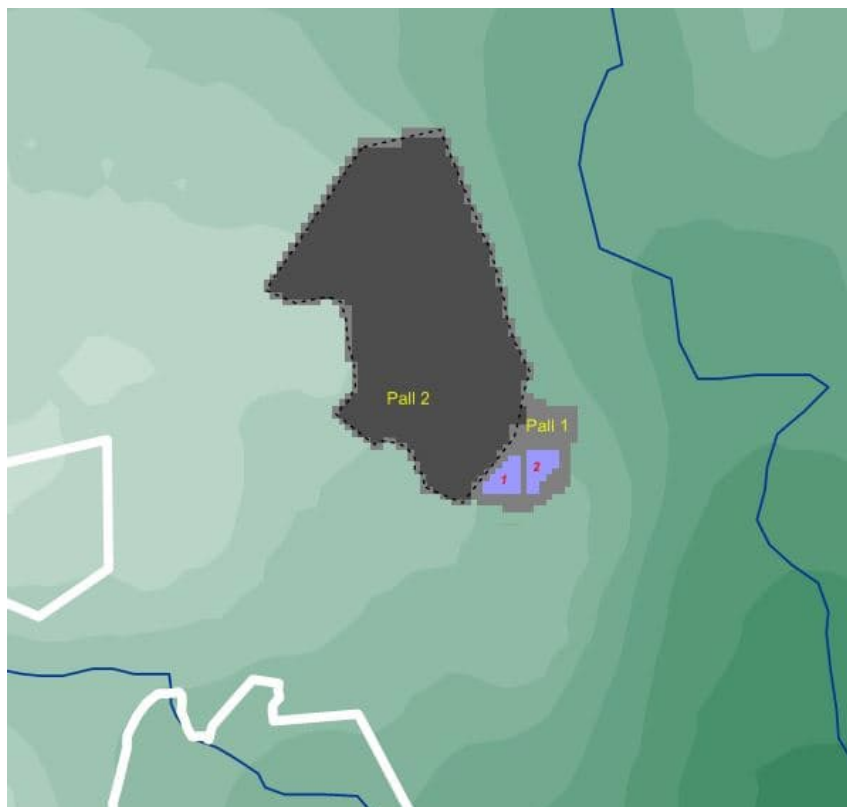
Referenssituationen (LT2F) är definierat med det nuvarande klimatet. Den framtida situationen om 20 år (Sc20G1R4K-VbG1Vam18) är definierat med ett framtida klimat. Framtida klimat enligt RCP 4.5 Period 2071-2100 (faktorer). Det betyder att de beräknade påverkansområdena inkluderar inte bara effekten av det utvidgade dagbrottet utan också effekten av det framtida klimatet. Nettonederbörden definierar klimatet i modellen. Förändringen i nettonederbörd som följer av det framtida klimatet (klimatpåverkan) är ringa för alla månader utom april.

Storleken på File hajdar dagbrott vid ansökt situation år 30 framgår av Figur 6-13.

Eftersom den planerade Pall 2 kommer att skära igenom flera större vattenförande lager blir påverkan på grundvattensituationen betydande. Den stora förändringen i grundvatteninflöde sker när Pall2 etableras i dagbrottet, och det görs inom de första 8 åren. För perioden mellan år 8 och år 30 utökas dagbrottet, men det görs inte djupare.

Resultatet visas nedan i Tabell 20-3.





Figur 6-13 Storleken på File hajdar dagbrott vid ansökt situation år 30, som dagbrottet är definierat i modellen. De två bassängerna i dagbrottets södra del är markerade som 1 och 2

### 6.3.2 Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottets framtida utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Men hjälp av den upprättade modellen har vi beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal lokala avrinningsområden runt dagbrotten. Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet (nettoflödet) beräknats längs med en yta på djupet ca 7.5 m. Förändringen i detta nettoflöde har beräknats för de olika studerade situationerna i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. Metod och resultat diskuteras i Appendix D och E, Sektion 19 och Sektion 20.

### 6.3.3 Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott under ett normalår

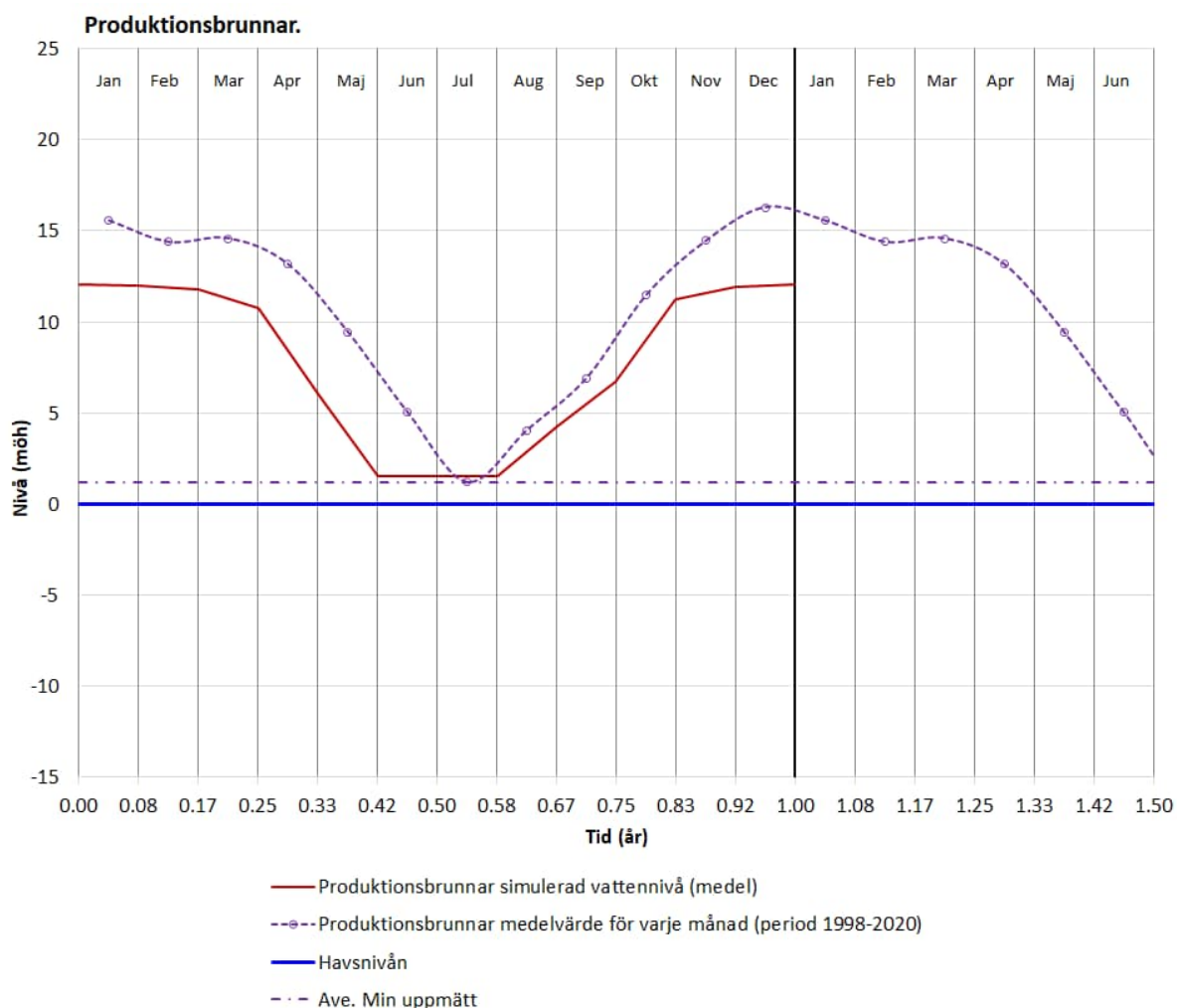
Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott framgår av Tabell 6-3.

Tabell 6-3 Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott. Situation år 30 (*Scenario Sc30R4K-VbG1Vam11*)

Månad	Totalt m <sup>3</sup> /mån
1	179 645
2	162 648
3	129 513
4	94 377
5	67 356
6	65 207
7	79 954
8	97 876
9	108 004
10	161 543
11	194 565
12	202 698
Summa	
1 543 385	

### 6.3.4 Flöde i de kommunala produktionsbrunnarna

För den studerade situationen visas beräknade vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna i Figur 6-14. Medelvärdet för minsta vattennivå i produktionsbrunnarna har satts till +0.5 möh Därmed begränsas produktion under sommarhalvåret med ca 13 000 m<sup>3</sup>. Vilket är mycket litet i jämförelse med den totala årsproduktionen som är lika med 220 000 m<sup>3</sup>.



Figur 6-14 Simulerade och uppmätta vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna. Situation år 30.

### 6.3.5 Utflöde från Tingstäde träsk

Genom botten på Tingstäde träsk sker ett mindre nettoutflöde av grundvatten, flödets storlek varierar under året, med störst utflöde under sommaren. För referenssituationen (den tillståndsgivna verksamheten Scenario LT2) beräknas detta nettoutflöde (inflöde-utflöde) till nära 5 000 m<sup>3</sup>/år. För situationen år 30 beräknas detta nettoutflöde (inflöde-utflöde) öka med nära 1 800 m<sup>3</sup>, vilket är en försumbar förändring i jämförelse med andra flöden i sjöns vattenbalans, tex uppskattas tillrinningen till sjön vara större än två miljoner m<sup>3</sup>/år.

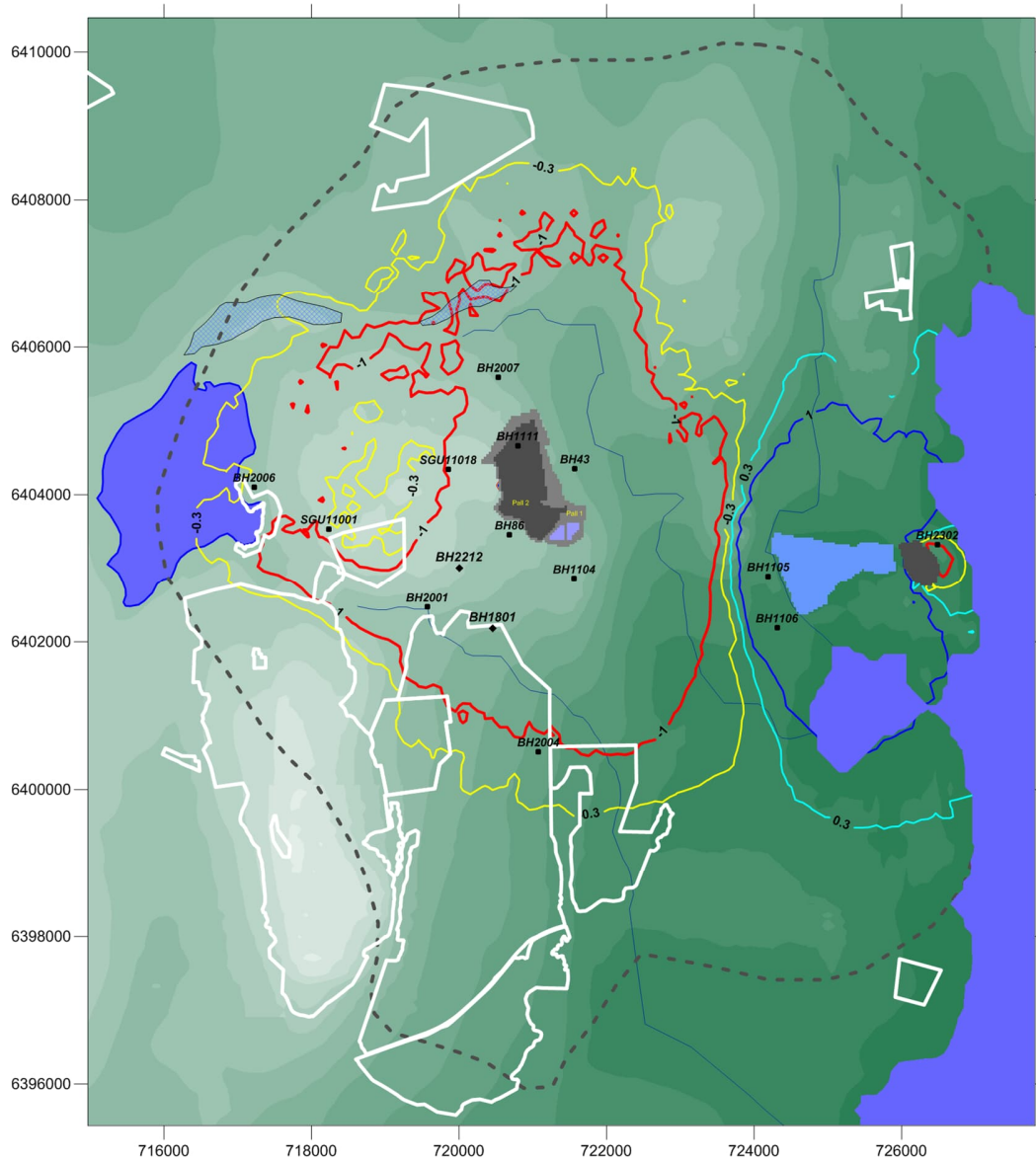
### 6.3.6 Beräknade påverkansområden (normalår)

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m. Viktfaktorerna ges av de studerade lagrens transmissivitet. Det betyder att grundvattennivån i de vattenförande lagren får stor betydelse, eftersom dessa lager har stor transmissivitet. Djupet 47 m har valts eftersom det ligger nära mediandjupet på bergborrade brunnar inom det studerade området. Det

#### GRUNDVATTENMODELL SLITE

beräknade värdet för berggrundvattnets nivå representerar vattennivån i en brunn med djupet 47 m, och där de översta 5 m av brunnen är isolerad från omgivningen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 6-15 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 30: Vår, April månad. Scenario Sc30R4K-VbG1Vam11.

Påverkansområden med klimateffekter.

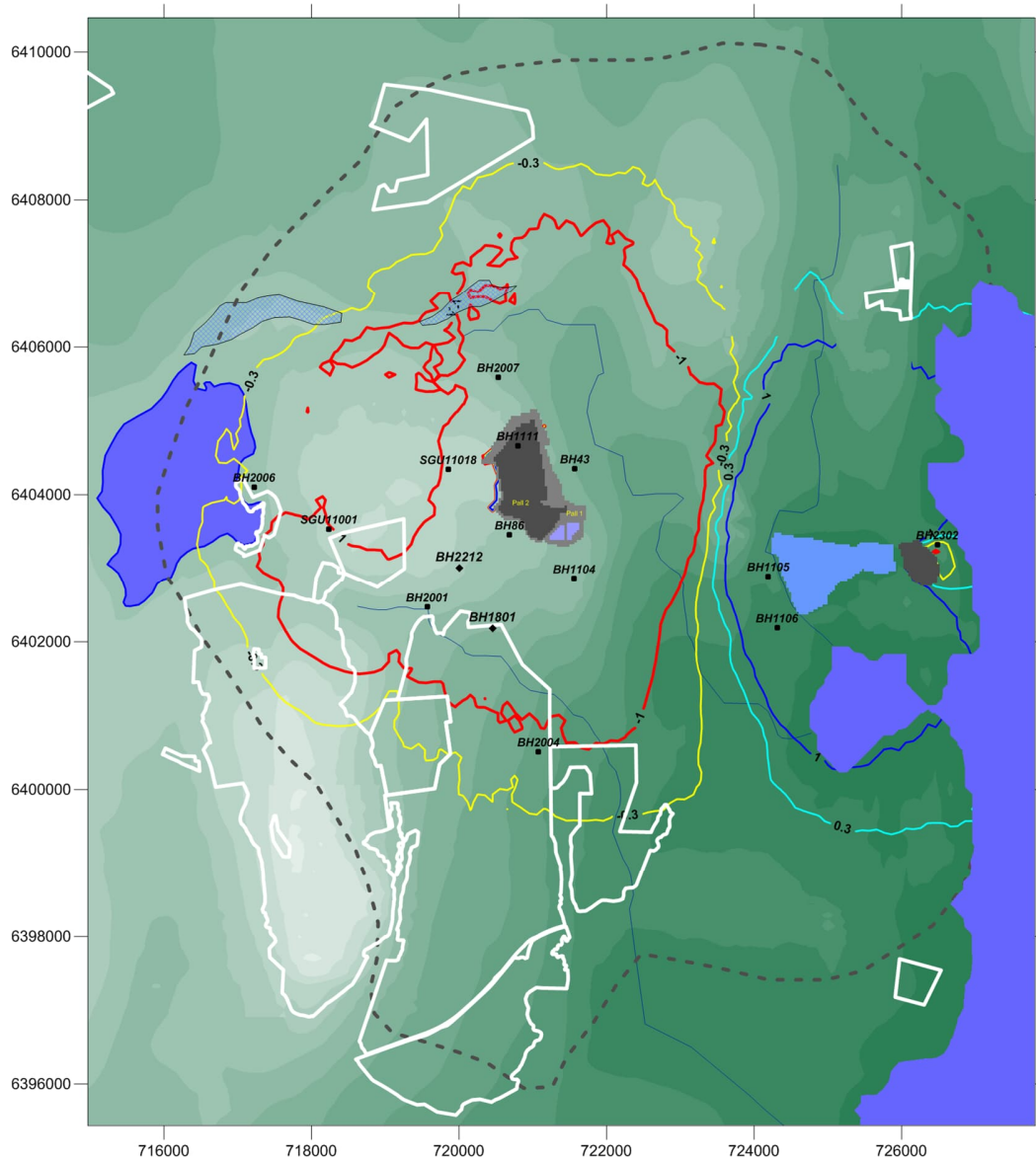
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 6-16 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 30: Sommar, Juli månad. Scenario Sc30R4K-VbGIVam11.

Påverkansområden med klimateffekter.

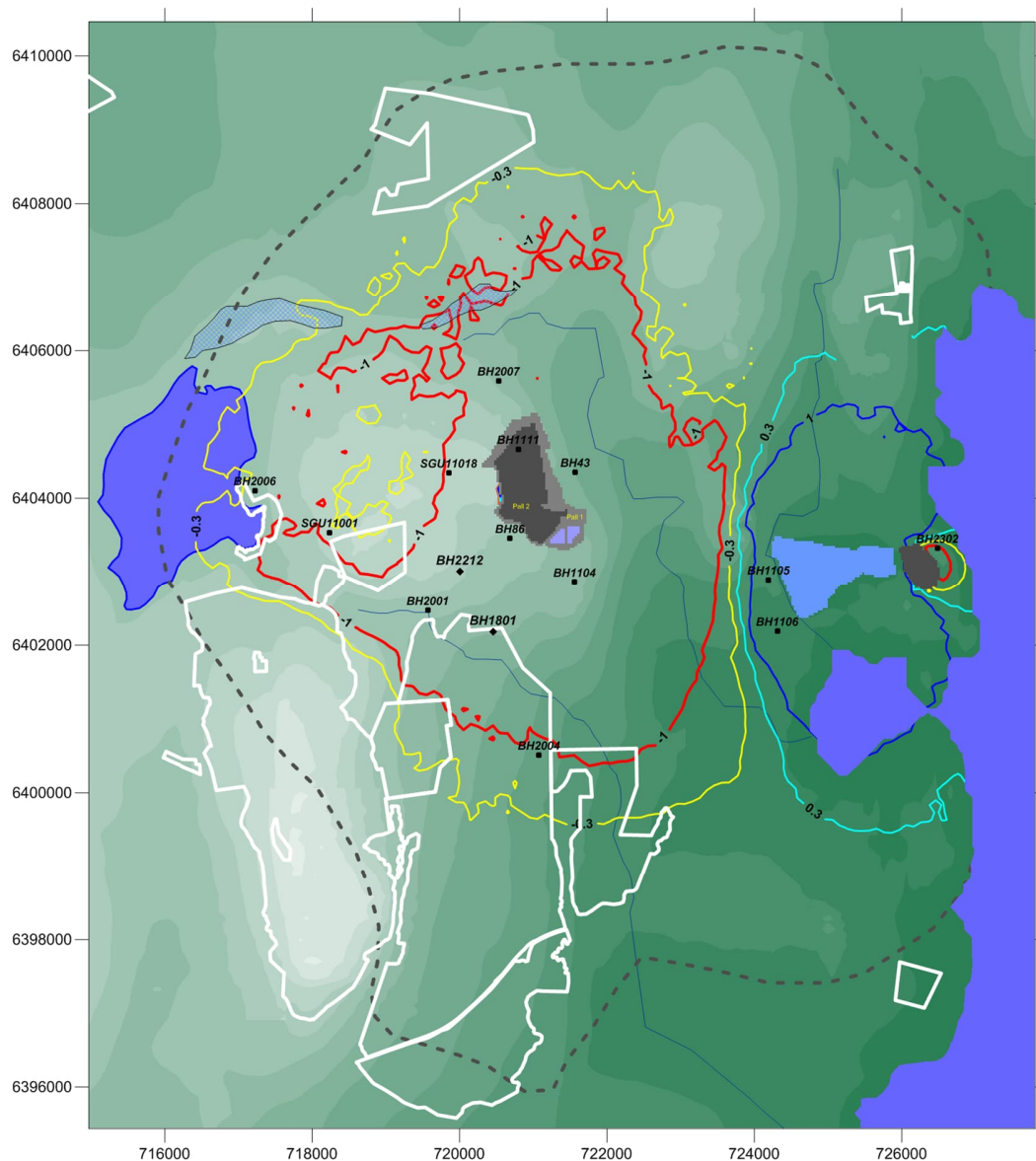
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glaciifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 6-17 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 30: Höst, September månad. Scenario Sc30R4K-VbGIVam11.

Påverkansområden med klimateffekter.

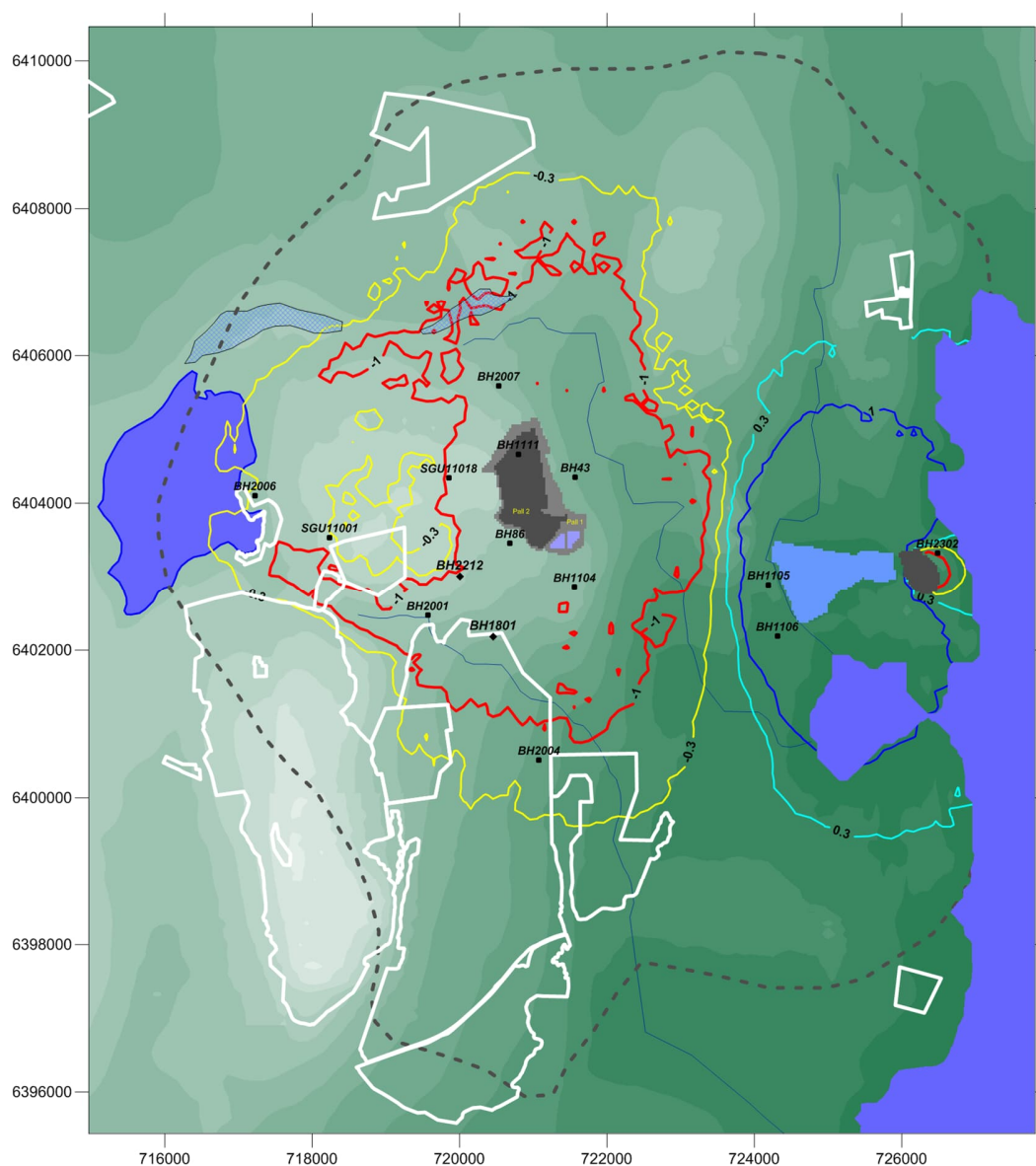
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glaciifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådsregionen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 6-18 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 30: Vinter, December månad. Scenario Sc30R4K-VbG1Vam11.

Påverkansområden med klimateffekter.

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.



## 7. -RESULTAT FÖR ANSÖKT SITUATION MED SKYDDSÅTGÄRDER

### 7.1 Skyddsåtgärder

#### 7.1.1 Syftet med skyddsåtgärder

Exempel på skyddsåtgärder presenteras och diskuteras nedan. Samtidigt är inte syftet med skyddsåtgärderna att kompensera för naturliga variationer i tex temperatur, nederbörd och nettonederbörd. Den inverkan som torra år och blöta år har på grundvattensystemet skall inte förändras eller förhindras av skyddsåtgärderna. Det är heller inte syftet med skyddsåtgärderna att förhindra klimatförändringarna från att påverka grundvattensystemet. Syftet med skyddsåtgärderna är att till stor del kompensera för den påverkan som utvidgningen av dagbrottet på File hajdar kan ha på det omgivande grundvattensystemet, särskilt med avseende på Natura 2000-områdena söder om dagbrottet.

#### 7.1.2 Olika typer av skyddsåtgärder

För att minimera det utökade File hajdar dagbrots påverkan på omgivande grundvattenförhållandena, särskilt med avseende på grundvattenförhållandena i berget under N2000-områdena söder om dagbrottet, kan olika skyddsåtgärder påföras grundvattensystemet kring dagbrottet. Olika skyddsåtgärder som är lämpliga att använda är:

- Injektering av berget runt File hajdar dagbrots södra och västra delar.
- Infiltration av vatten i borrhål i berget söder och sydväst om File hajdar dagbrott.

Dessutom höjs vattennivån Västra brottet, vilket också fungerar som en skyddsåtgärd.

Den bästa effekten av skyddsåtgärder erhålls då olika åtgärder kombineras, tex injektering av berget och infiltration i berget bortanför injekteringen.

#### 7.1.3 Injektering

En skyddsåtgärd är injektering av berget runt File hajdar dagbrots södra och västra delar, mellan revkalkskropparna söder och norr om dagbrottet (se Figur 7-3 och Figur 7-4). Injekteringen utförs med den metod som tidigare har använts för att:

- Injektera berget vid Västra brotts västra vägg.
- Injektera berget vid två kortare testsektioner söder om File hajdar dagbrott.

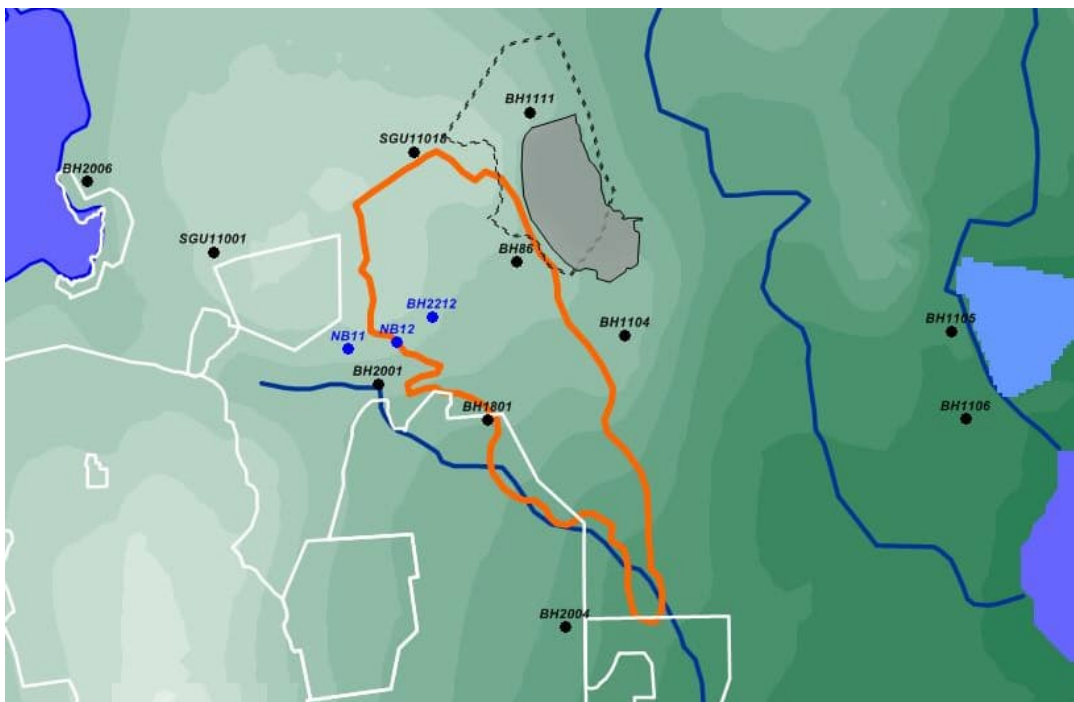
Syftet med injektering är att minska bergets vattenförande förmåga genom att via ett stort antal borrhål pumpa in cementbruk i bergssprickor. Därmed minskas grundvattenflödet mot det dränerade dagbrottet, vilket är positivt för det omgivande grundvattensystemet. Injekterings effektivitet mäts genom hydrauliska tester före och efter själva injekteringen. Injekterings effektivitet vid den långa sektionen vid Västra brottet och vid de två testsektionerna söder File

hajar dagbrott har utvärderats och implementerats i den upprättade modellen. Metoden diskuteras i Appendix F, Sektion 21.

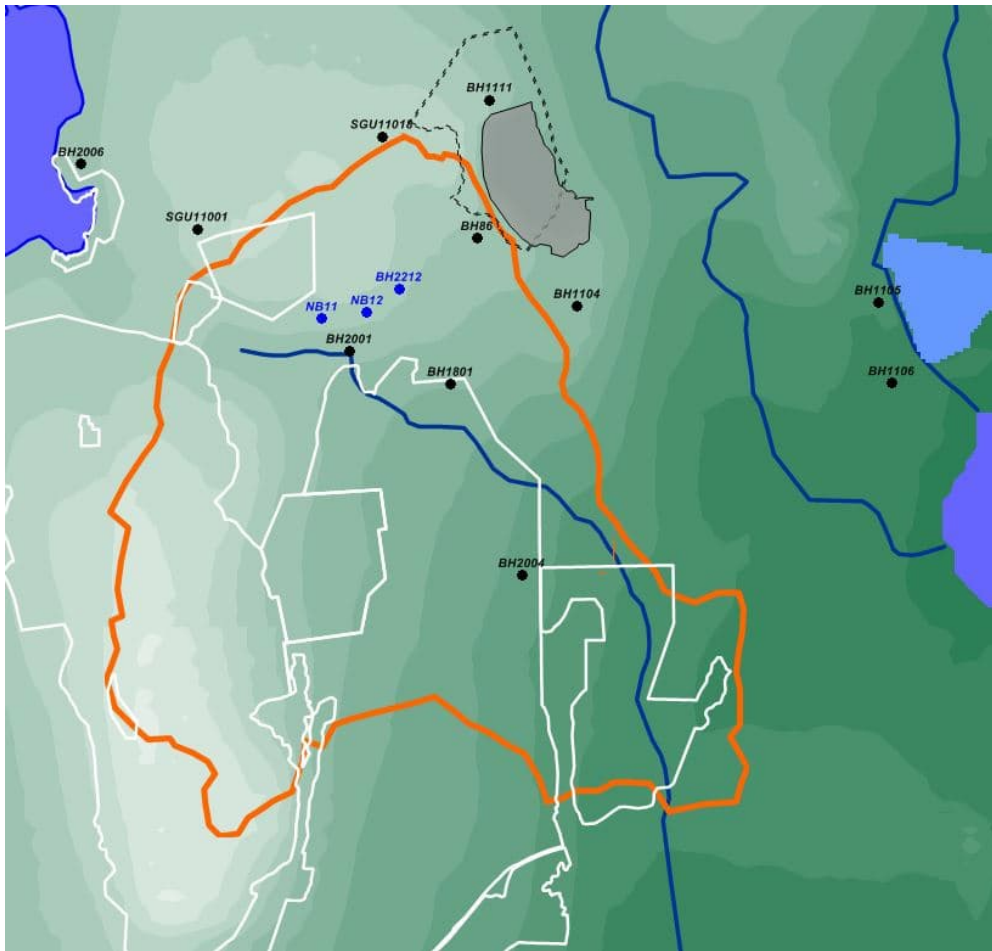
#### 7.1.4 Infiltration av grundvatten

Grundvatten kan infiltreras i berget i utvalda borrhål. Berget i de utvalda borrhålen bör uppvisa en betydande genomsläpplighet. Ett lämpligt borrhål för infiltration är BH2212, som också har testats med infiltration av grundvatten. Ett borrhål som kan vara lämpligt är BH1801 som ligger precis vid kanten av Natura 2000-områdena. Vid hydraultester har berget i brunnen uppvisat (rimligt) höga värden på genomsläpplighet. Ytterligare två teoretiska brunnar har inkluderats, NB11 och NB12. Att infiltrera nära det område som skall skyddas är naturligtvis en fördel. Nya infiltrationsbrunnar kan borras i framtiden, tex nära de infiltrationsbrunnar som har inkluderats i modellen (BH2212, NB11 och NB12, se Figur 7-1 och Figur 7-4). Brunnarnas exakta position är inte av avgörande betydelse, dock är de valda positionerna exempel på lämpliga områden.

Volymen som behöver infiltreras i berget, för att kompensera för en minskad mängd ytligt berggrundvatten i Natura 2000-områdena, kan uppskattas via den beräknade förlusten av ytligt berggrundvatten i samma områden. Förlusten av ytligt berggrundvatten har beräknats för olika lokala avrinningsområden via simuleringar i den etablerade grundvattenmodellen. Dessa flöden och volymer diskuterades i föregående sektioner. Förlusten i det tidigare diskuterade lokala områdena No. 3 och No.2 (se Figur 7-1 och Figur 7-2) under växtperioden, vår-sommar-höst, är tex lämpliga uppskattningar av infiltrationsbehovet för att skydda Natura 2000-områdena söder om File hajar dagbrott under samma period (växtperioden). Under vintern är grundvattennivåerna naturligt höga och vintern är inte heller en växtsäsongs. Därför infiltreras inte vatten under vintern.



Figur 7-1 Lokala avrinningsområdena No.2, brandgul linje. Infiltrationsbrunnar markerade som blåa.



Figur 7-2 Lokala avrinningsområdena No.3, brandgul linje. Infiltrationsbrunnar markerade som blåa.

Med avseende på dagbrottets utökning och vattenbortledningen, så kommer vattenbortledningen främst att öka under vintern. Det betyder att förlusterna av yt- och grundvatten kommer att vara störst under vinterhalvåret. Detta är en följd av att nettonederbörden är stor under vintern. För det studerade området produceras drygt 90% av nettonederbörden under vinterhalvåret (se Hydrometeorologi 2.5). Grundvattenflödena är också störst under vintern och mindre under sommaren. Skyddsåtgärden infiltration bygger på konceptet att en andel av nettonederbörden som produceras under vintern sparas i stora vattenmagasin i File hajdar dagbrott. Under växtperioden (vår-sommar-tidighöst) används vattnet i magasinerna för infiltration. Förlusten av yt- och grundvatten under vintern kompenseras ej med infiltration, däremot fungerar skyddsåtgärden injektering under hela året.

Det skall påpekas att infiltrationen aldrig kan producera en kompensation som exakt stämmer med förlusten, eftersom vattnet infiltreras i utvalda brunnar, vilket inte är samma sak som hur förlusten skapas via det utökade dagbrottet. Grundvattennivåerna kan dock höjas och den annars förlorade volymen ytligt berggrundvatten kan återföras.

### 7.1.5 Höjning av vattennivån i Västra brottet

Efter det att brytning och industriell verksamhet har avslutats i Västra brottet, och efter det att de två tunnlarna mellan Västra och Östra brottet har gjutits igen och berget mellan Östra och Västra brottet eventuellt har tätats genom injektering, då kan pumpningen av vatten från Pall 2 i Västra brottet avslutas. Vattennivån i Pall 2 i Västra brottet kommer då att stiga och så småningom kommer vattennivån i Pall 2 att nå upp till botten på Pall 1 och hela Västra brottet kommer att börja vattenfyllas. Denna höjning av vattennivån i Västra brottet kommer att påverka den omgivande grundvattensituationen, särskilt när vattennivån i Västra brottet blir så hög att hela Pall 1 översvämmas. Höjningen av vattennivån i Västra brottet kommer att ha en positiv påverkan på grundvattensituationen kring Västra och Östra brotten, eftersom grundvattennivåerna succesivt kommer att höjas och inflödet av grundvatten till Västra brottet succesivt kommer att minska. Så småningom när vattennivån i Västra brottet blir tydligt högre än botten på Pall 1 kommer grundvattennivåerna att höjas även på betydande avstånd från Västra brottet. Tiden för en naturlig vattenfyllning av Västra brottet är relativt lång, 40 år till 50 år bla beroende på vid vilken vattennivå som Västra brottet kan definieras som vattenfyllt (se Figur 8-2). Tiden för en vattenfyllning av Västra brottet kan tydligt kortas genom att vatten tillförs dagbrottet., tex genom att vatten från File hajdar dagbrott och Östra brottet pumpas till Västra brottet.

Med avseende på grundvattenförhållandena vid Natura 2000-områdena söder om File hajdar så har vattenhöjningen i Västra brottet endast en mindre direkt påverkan, och den påverkan märks främst då vattennivåerna i Västra brottet tydligt har höjts från dagens nivå. Indirekt påverkan förekommer eftersom vattennivån och uttagen i de kommunala produktionsbrunnarna på lite länge sikt påverkas positivt av att grundvattennivåerna kring Västra brottet höjs. Vilket i sin tur positivt påverkar grundvattenförhållandena vid Natura 2000-områdena söder om File hajdar, eftersom grundvattenavsänkningen kring brunnarna reduceras, och denna minskade grundvattenavsänkning kring produktionsbrunnarna blir en positiv påverkan på Natura 2000-områdena söder om File hajdar.

## 7.2 Resultat med skyddsåtgärder

### 7.2.1 Situation

Den studerade situationerna är identiska med det tidigare diskuterade situationerna för år 8, år 20 och år 30, förutom att skyddsåtgärder har inkluderats. Skyddsåtgärder har inkluderats för att minimera det utökade File hajdar dagbrotts påverkan på omgivande grundvattenförhållandena, särskilt med avseende på grundvattenförhållandena i Natura 2000-områdena söder om dagbrottet.

#### Skyddsåtgärder:

Höjning av vattennivån i Västra brottet Pall2 till nivån -26.5 möh

Injektering längs med Västra brottets västra sida. Denna injektering är färdigställd och inkluderad i referenssituationen och framtida situationer.

Injektering längs med File hajdar dagbrotts södra och sydvästra sida.

Infiltration i brunnar söder och sydväst om File hajdar dagbrott. Två alternativ:

Infiltration i BH2212: [Scenario ... -Sky2](#)

Infiltration i brunn BH2212, NB11 och NB12: [Scenario ... -Sky5](#)

Beräkningarna har utförts för varje månad under ett normalår.

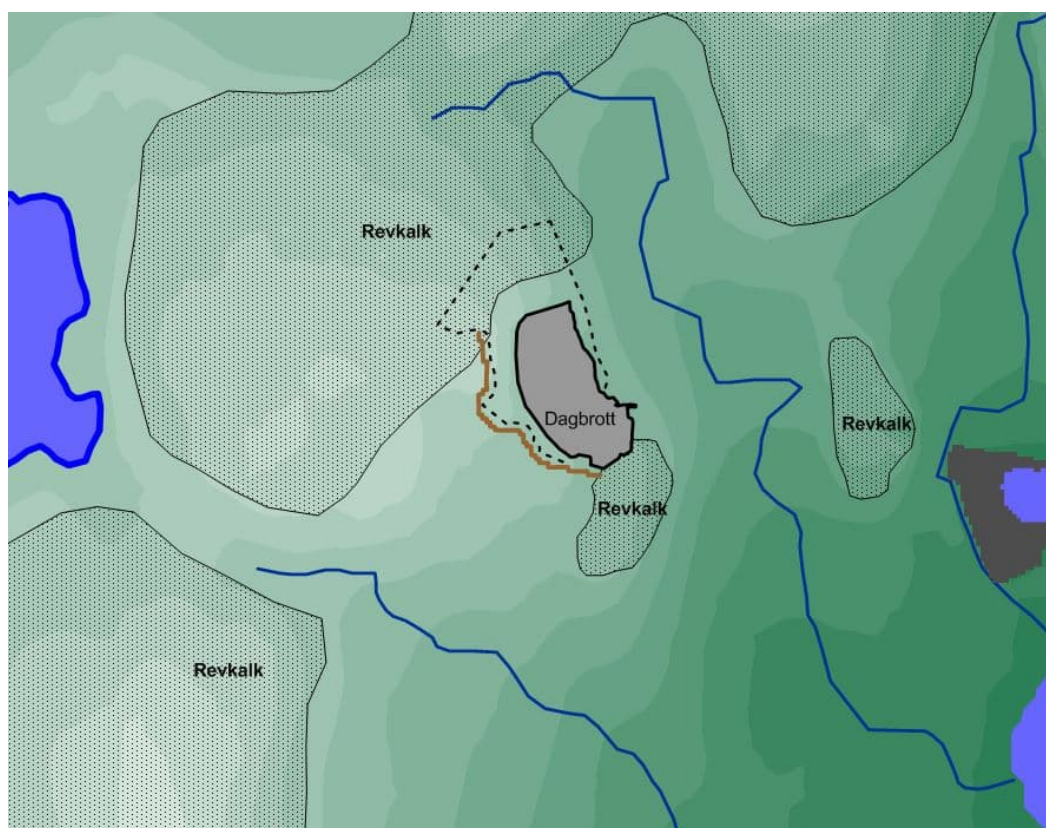
Det studerade dagbrottet, injekteringslinjen och infiltrationsbrunnarna, som de har inkluderats i modellen, framgår av Figur 7-4

#### 7.2.1.1 Injekteringslinjens placering

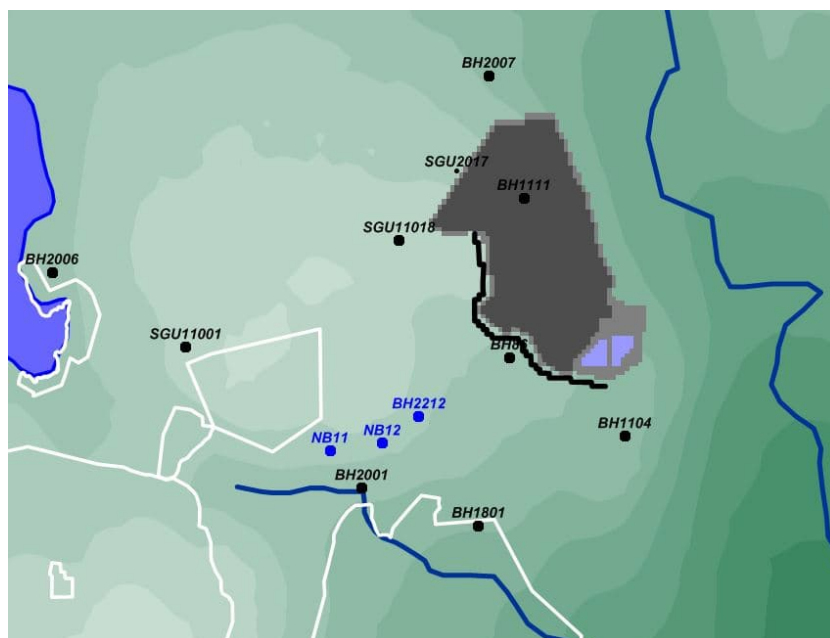
Injekteringslinjen vid File hajdar dagbrott bör lokaliseras mellan revkalksområdet söder om File hajdar dagbrott och revkalksområdet vid norra delen av File hajdar dagbrott. Injekteringslinjen bör placeras relativt nära dagbrottet (se Figur 7-3 och Figur 7-4).

#### 7.2.1.2 Infiltrationsbrunnarnas placering

I modellen har tre infiltrationsbrunnar inkluderats, BH2212, NB11 och NB12. Brunnarna är placerade sydväst om File hajdar dagbrott (se tex Figur 7-4 och Figur 7-1). Infiltrationsbrunnar i modellen är valda eftersom syftet med skyddsåtgärderna är att kompensera för den påverkan som utvidgningen av dagbrottet på File hajdar kan ha på det omgivande grundvattensystemet, särskilt med avseende på Natura 2000-områdena söder om dagbrottet.



Figur 7-3 File hajdar dagbrott med nuvarande utbredning. Brun linje indikerar föreslagen linje för injektering. I modellen har injektering inkluderats längs denna linje. Injekteringslinjen sträcker sig mellan två revkalkskroppar, norr och söder om dagbrottet. Punktstreckad linje markerar dagbrottets storlek vid ansökt situation år 30.



Figur 7-4 Det studerade dagbrottet vid ansökt situation ca år 30. Svart fet linje indikerar sektionen där injektering har inkluderats i modellen. Blå punkter markerar position för infiltrationsbrunnar (BH2212, NB11, NB12).

### 7.2.1.3 Infiltrerade volymer

De i modellen infiltrerade volymerna i en infiltrationsbrunn framgår nedan av Tabell 7-1 och Figur 7-5.

Volymen infiltrerat vatten per år är flera gånger större än den beräknade förlusten av vatten under vår-sommar-höst, för det lokala avrinningsområde No.3. Den beräknade förlusten baseras på förändringar i nettoflöden av det ytliga berggrundvattnet. Metodiken diskuteras i Sektion 19. De beräknade förändringen i nettoflöden visas i tabeller i Sektion 20. Den succesiva utvecklingen av den beräknade förändringarna i nettoflöden diskuteras i Sektion 8.6 och 8.7. De månatliga infiltrationsvolymerna matchar inte exakt de beräknade förlusterna av vatten varje månad.

Infiltrationens storlek är optimerad för att ge god effekt varje månad under växtsäsongen med fokus på påverkan under vår (april), sommar (juli) och höst (september). När infiltrationens påverkan skall optimeras, baseras bedömningarna på de av grundvattenmodellen beräknade påverkansområdena. När infiltrationen ger god effekt för dessa månader erhålls även god effekt för månaderna däremellan.

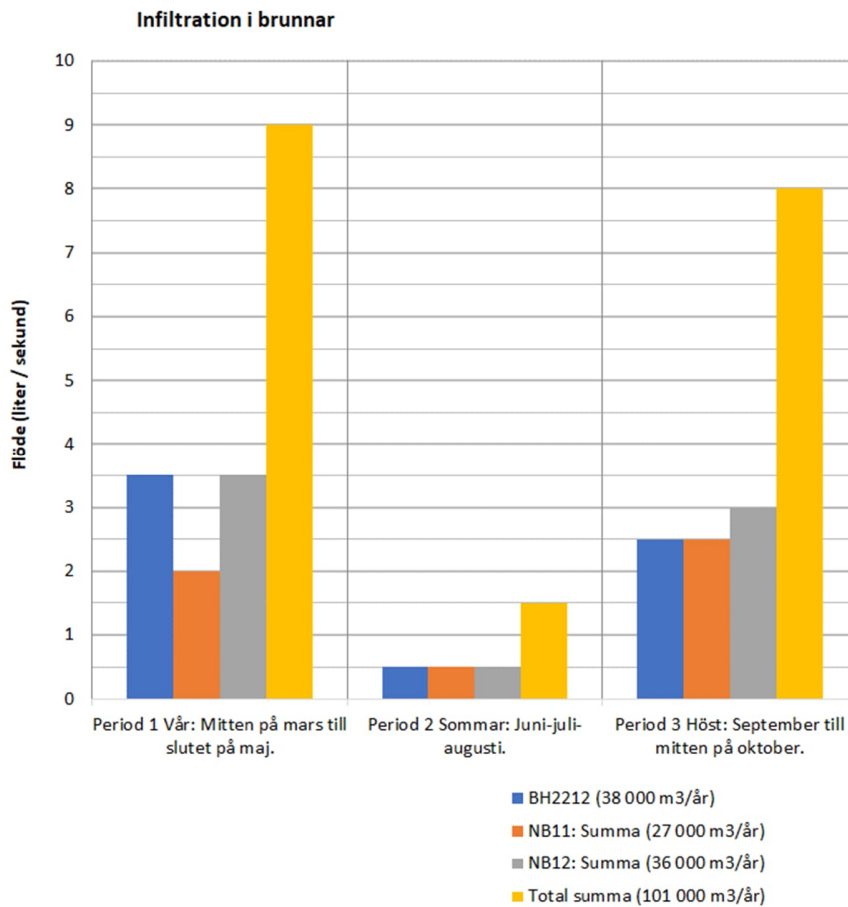
För det studerade scenariot utan skyddsåtgärder är den uppskattade förlusten från mars månad till och med september för Område 3 (som inkluderar område 2) år ca 40 000 m<sup>3</sup>/år (se Sektion 20). Förlusten för hela året är för Område 3 (som inkluderar område 2) år ca 130 000 m<sup>3</sup>/år (se Sektion 20). Förlusten under vintern, som sker under en högvattensituation och dessutom inte under växtsäsongen, kompenseras ej med infiltration.

För [Scenario ...-Sky2](#) infiltreras vatten i BH2212. Från mitten på mars till slutet på maj infiltreras 3 liter/sekund. Under sommaren, juni-juli-augusti infiltreras 1 liter/sekund. Under hösten september till mitten på oktober infiltreras 3 liter/sekund. Totalt 39 000 m<sup>3</sup>/år. Årssumman av infiltration är densamma som den beräknade förlusten i det lokala avrinningsområde 3 under växtperioden, alltså nära 40 000 m<sup>3</sup> per år, se Tabell 20-1, Tabell 20-2 och Tabell 20-3.

För [Scenario ...-Sky5](#) infiltreras vatten i BH2212, NB11 och NB12 enligt Tabell 7-1 och Figur 7-5, den totala årssumman av infiltration är 101 000 m<sup>3</sup>/år, vilket är ca 2.5 gånger mer än den beräknade förlusten för i det lokala avrinningsområde 3 under växtperioden, se Tabell 20-1, Tabell 20-2 och Tabell 20-3.

Tabell 7-1 Infiltrationsflöde i infiltrationsbrunnar för scenario Sky-5.

	Infiltration (liter/sekund)			
	BH2212	NB11	NB12	Totalt
Period 1 Vår: Mitten på mars till slutet på maj.	3.5	2	3.5	9
Period 2 Sommar: Juni-juli-augusti.	0.5	0.5	0.5	1.5
Period 3 Höst: September till mitten på oktober.	2.5	2.5	3	8



Figur 7-5 Infiltrationsflöde i infiltrationsbrunnar för Scenario -Sky5

## 7.2.2 Påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m. Viktfaktorerna ges av de studerade lagrens transmissivitet. Det betyder att grundvattennivån i de vattenförande lagren får stor betydelse, eftersom dessa lager har stor transmissivitet. Djupet 47 m har valts eftersom det ligger nära mediandjupet på bergboreade brunnar inom det studerade området. Det beräknade värdet för berggrundvattnets nivå representerar vattennivån i en brunn med djupet 47 m, och där de översta 5 m av brunnen är isolerad från omgivningen.

## 7.2.3 Flödesvägar från infiltrationsbrunnar

Infiltration av vatten i infiltrationsbrunnarna lyfter lokalt grundvattennivåerna och påverkar tydligt grundvattnets strömningsmönster, men infiltrationsbrunnarna kan inte förändra grundvattnets strömningsmönster i en större regional skala. Därför kommer vattnet som infiltreras i brunnarna att strömma i linje med det regionala flödesmönstret – från väster mot öster, från infiltrationsbrunnarna mot dagbrotten och mot produktionsbrunnarna. Detta strömningsmönster har bekräftats av spårämnesförsök i borrhål BH2212 (vilket också diskuteras i Sektion 4.17).



Simuleringar i modellen bekräftar resonemanget ovan. Genom infiltrationen av vatten i infiltrationsbrunnarna kommer grundvattennivåerna kring infiltrationsbrunnarna att höjas, vilket i sin tur trycker tillbaka påverkansområdet för berggrundvattnet (som orsakats av utökning av File hajdar dagbrott). Med infiltration av vatten i infiltrationsbrunnarna påverkas grundvattennivåerna i Natura 2000-områden söder om File hajdar dagbrott mindre av dagbrottets utökning, i jämförelse med en situation utan infiltrationsbrunnar.

Som nämnts ovan kan infiltrationsbrunnarna inte förändra grundvattnets strömningsmönster i en större regional skala. En analys i den upprättade modellen av beräknade flödesvägar från infiltrationsbrunnarna visar att vattnet som infiltreras i brunnarna strömmar mot dagbrotten och mot produktionsbrunnarna. Inget av det infiltrerade vattnet strömmar långt in i Natura 2000-områdena. Modellen indikerar att en viss mängd av det infiltrerade vattnet strömmar ut i närområdet kring brunnarna då de naturliga grundvattennivåerna är höga, tex under april och september, men ingen sådan utströmning sker vid låga grundvattennivåer, tex under juli. Om man så önskar kan ett sådant utflöde vid markytan nära infiltrationsbrunnarna åtgärdas (i verkligheten och i modellen) genom att infiltrerade volymer korrigeras eller genom att infiltrationen fokuseras på lite större djup i borrhålen.

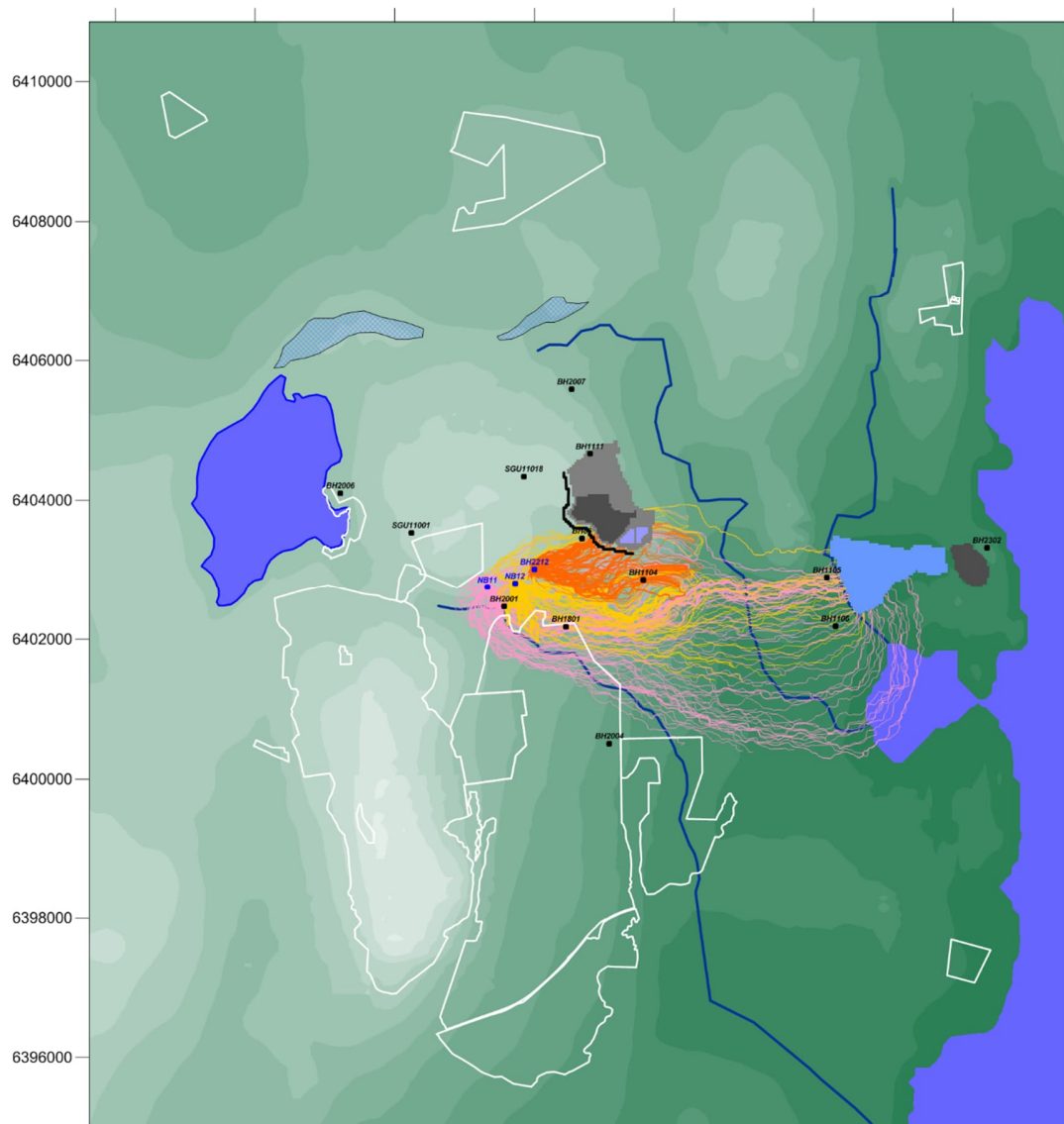
Flödesvägar beräknades genom partikelspårning i den upprättade modellen. Partiklarna och flödesvägarna initierades i de beräkningsceller som representerar infiltrationsbrunnarna. Partiklarna initieras slumpmässigt i de vattenförande lagren i infiltrationsbrunnarna. Partiklarna representerar inte en viss bestämd mängd vatten. Partiklarna följer det beräknade grundvattenflödet genom modellen och skapar därigenom flödesvägar. Partiklarna och flödesvägarna termineras när de når fram till markytan, dagbrotten, eller regionens produktionsbrunnar. Ingen dispersion har inkluderats i beräkningarna, förutom den naturliga spridning av flödesvägarna som följer av modellens heterogena egenskaper.

Beräkningarna har utförts för följande flödessituationer: Situationen år 8, och för tre tidpunkter, april, juli, och september. Flödesvägarna utvecklas i den givna flödessituationen utan att flödessituationen förändras med tiden. Analysen av flödesvägar visas något olika flödesmönster för de tre studerade tidpunkterna, och små skillnader mellan de tre olika situationerna år 8, år 20 och år 30.

Resultaten visas nedan för år 8, i tre figurer, Figur 7-6 (vår), Figur 7-7 (sommar) och Figur 7-8 (höst).

Hur grundvattenflödet fördelar sig i de olika vattenförande lagren i modellen illustreras väl av Figur 7-9. Figuren visar flödesvägar från infiltrationsbrunn BH2212. Flödesvägarna visas i figuren som blå linjer. Notera i den nedre av de två figurerna hur flödesvägarna tenderar att förekomma i subhorisontella vattenförande lager. Bergets lagrade struktur, med olika subhorisontella vattenförande lager på olika djup, illustreras tydligt i den nedre figuren av de horisontella blå linjerna. Även de slumpmässigt (stokastiskt) förekommande vertikala strukturerna framgår i figuren, som de vertikala blå linjerna mellan de subhorisontella vattenförande lagren.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-6 Simulerade flödesvägar från två infiltrationsbrunnar.

År 8: Vår, April månad. Scenario *Sc8GIR4-VbGIVam265-Sky5*

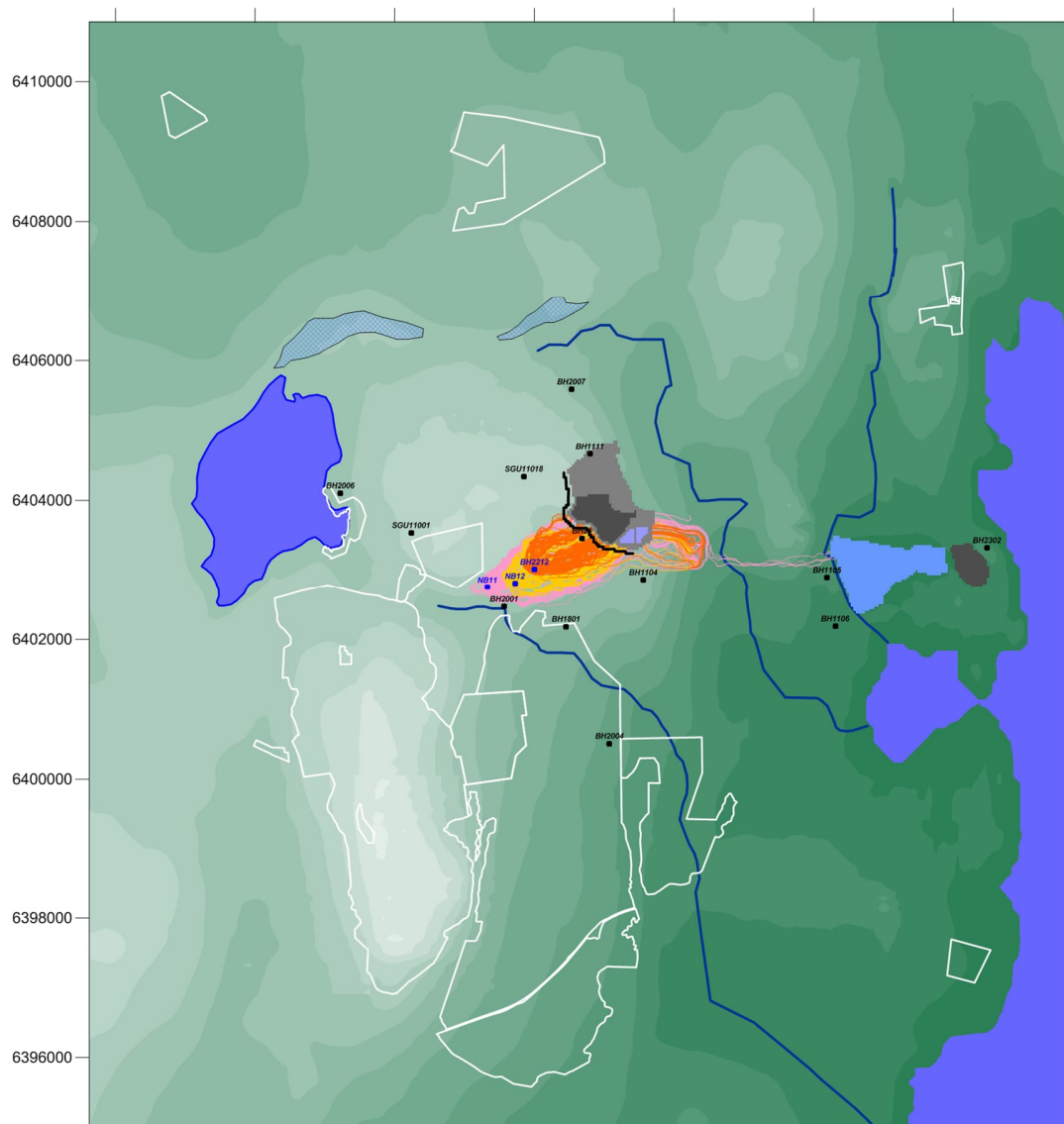
*Brandgul linje* = Flödesvägar från BH2212

*Gul linje* = Flödesvägar från NB12

*Skär linje* = Flödesvägar från NB11

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-7 Simulerade flödesvägar från två infiltrationsbrunnar.

År 8: Sommar, Juli månad. Scenario *Sc8GIR4-VbGIVam265-Sky5*

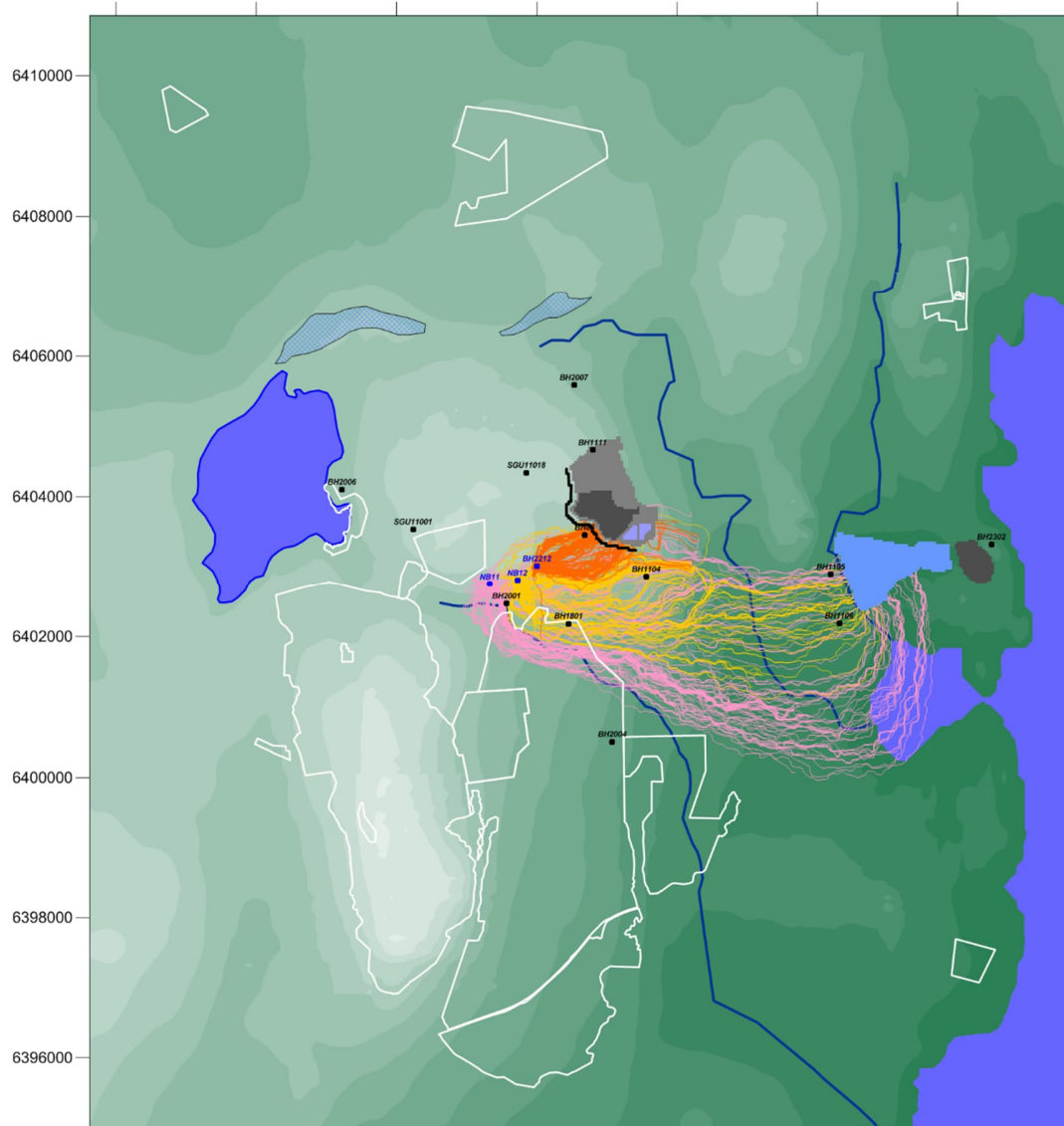
Brandgul linje = Flödesvägar från BH2212

Gul linje = Flödesvägar från NB12

Skär linje = Flödesvägar från NB11

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-8 Simulerade flödesvägar från två infiltrationsbrunnar.

År 8: Höst, September månad. Scenario *Sc8GIR4-VbG1Vam265-Sky5*

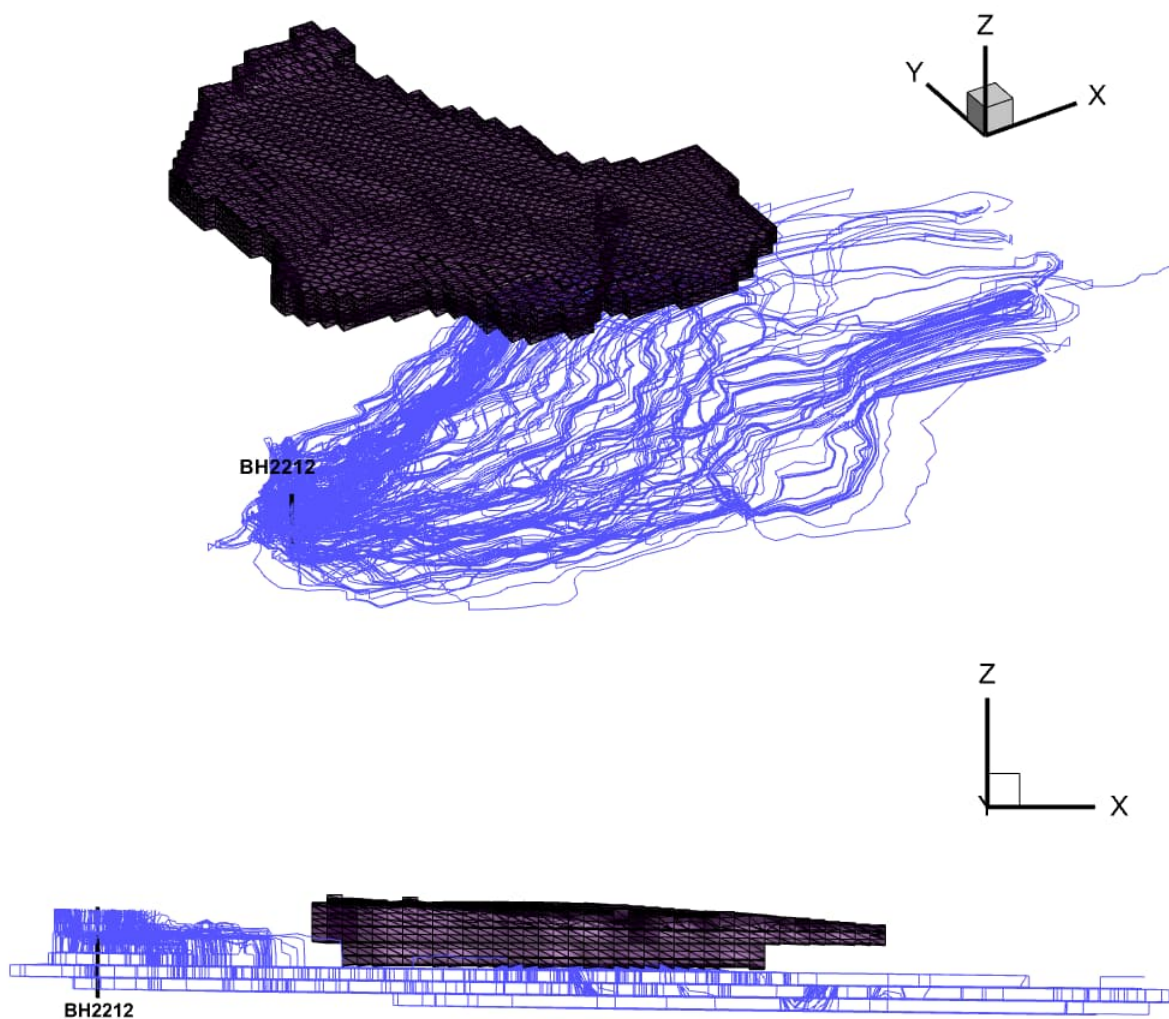
Brandgul linje = Flödesvägar från BH2212

Gul linje = Flödesvägar från NB12

Skär linje = Flödesvägar från NB11

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-9 Simulerade flödesvägar från infiltrationsbrunn BH2212.

År 8: Vår, April månad. Scenario *Sc8G1R4-VbGIVam265-Sky3*

Flödesvägar från BH2212 visas med blå linjer. File hajdar dagbrott, med storlek år 8, visas med lila färg. Infiltrationsbrunn B2212 är markerad i figuren.

Notera i den nedre figuren hur flödesvägarna tenderar att förekomma i de vattenförande lagren. Bergets lagrade struktur, med olika vattenförande lager på olika djup, illustreras tydligt av den nedre figuren.

Den vertikala skalan i figuren är 3 gånger större än den horisontella skalan.

## 7.2.4 Scenario år 8: Skyddsåtgärder: Injektering och en infiltrationsbrunn

Jämförelsen avser:

Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.

Scenario: LT2F.

och

Ansökt situation år 8. Med skyddsåtgärder.

Injektering och tre infiltrationsbrunnar.

Scenario: Sc8G1R4-VbG1Vam265-Sky5

Båda situationerna är definierade med samma klimat (nuvarande klimat).

### 7.2.4.1 Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott

Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott framgår av Tabell 6-1. Grundvatteninflödet minskar i jämförelse med situationen utan injektering, och utan skyddsåtgärder, en minskning med nära 70 000 m<sup>3</sup>/år

Tabell 7-2 Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott. Situation år 8 -Sky5

M2023SweRef--M81--Sc8G1R4K-VbG1Vam265-Sky5-work.dat			
Månad	NettoNed. m3/mån	GrundVatt. m3/mån	Totalt m3/mån
1	53 069	62 096	115 165
2	44 827	58 948	103 775
3	30 893	52 718	83 611
4	28 518	37 246	65 764
5	27 524	21 363	48 887
6	31 924	12 006	43 929
7	43 563	8 770	52 333
8	43 432	22 277	65 709
9	42 882	34 301	77 183
10	57 147	52 105	109 252
11	66 845	62 127	128 972
12	66 998	66 269	133 267
	Summa	Summa	Summa
	537 623	490 226	1 027 849

#### 7.2.4.2 Flöde i de kommunala produktionsbrunnarna

Medelvärde för minsta vattennivå i produktionsbrunnarna har satts till +0.5 möh. Därmed begränsas produktion under sommarhalvåret med ca 5 900 m<sup>3</sup>, vilket är mycket litet i jämförelse med den totala årsproduktionen som är lika med 220 000 m<sup>3</sup>. Skillnaden mot situationen utan skyddsåtgärder är liten.

#### 7.2.4.3 Utflöde från Tingstäde träsk

Genom botten på Tingstäde träsk sker ett mindre nettoutflöde av grundvatten, flödets storlek varierar under året, med störst utflöde under sommaren. För referenssituationen (den tillståndsgivna verksamheten Scenario LT2) beräknas detta nettoutflöde (inflöde-utflöde) till nära 5 000 m<sup>3</sup>/år. För situationen år 8 med skyddsåtgärder (injektering och tre infiltrationsbrunnar) förändras i praktiken inte detta nettoutflöde, endast en minimal minskning av utflödet beräknat till med nära 100 m<sup>3</sup>. Vilket är en helt försumbar förändring i jämförelse med andra flöden i sjöns vattenbalans, tex uppskattas tillrinningen till sjön vara större än två miljoner m<sup>3</sup>/år.

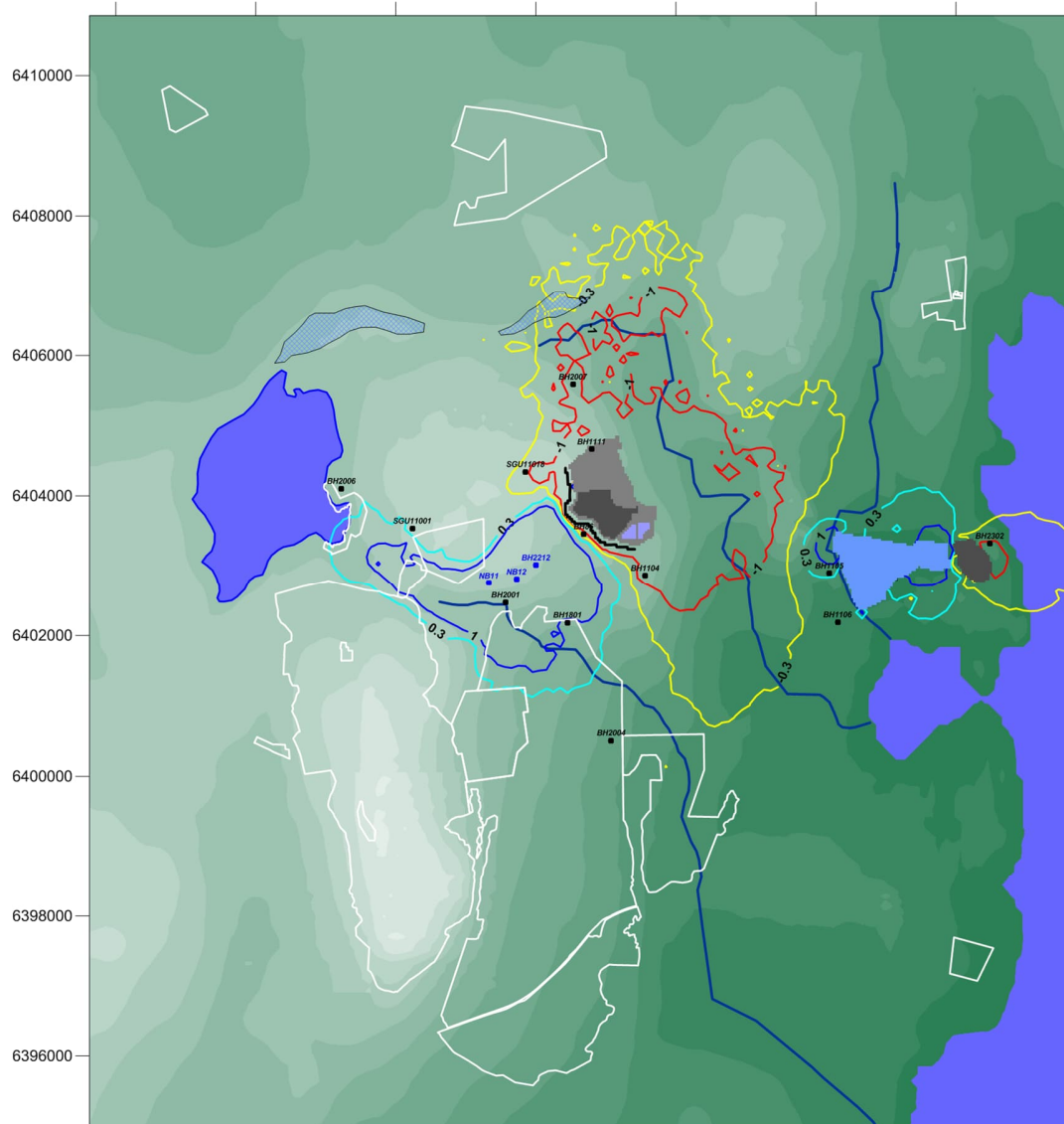
#### 7.2.4.4 Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottets framtida utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Men hjälp av den upprättade modellen har vi beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal lokala avrinningsområden runt dagbrotten. Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet (nettoflödet) beräknats längs med en yta på djupet ca 7.5 m. Förändringen i detta nettoflöde har beräknats för de olika studerade situationerna i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. Metod och resultat diskuteras i Appendix D och E, Sektion 19 och Sektion 20.

#### 7.2.4.5 Beräknade påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-10 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 8: Vår, April månad. Scenario *Sc8G1R4-VbGIVam265-Sky5*

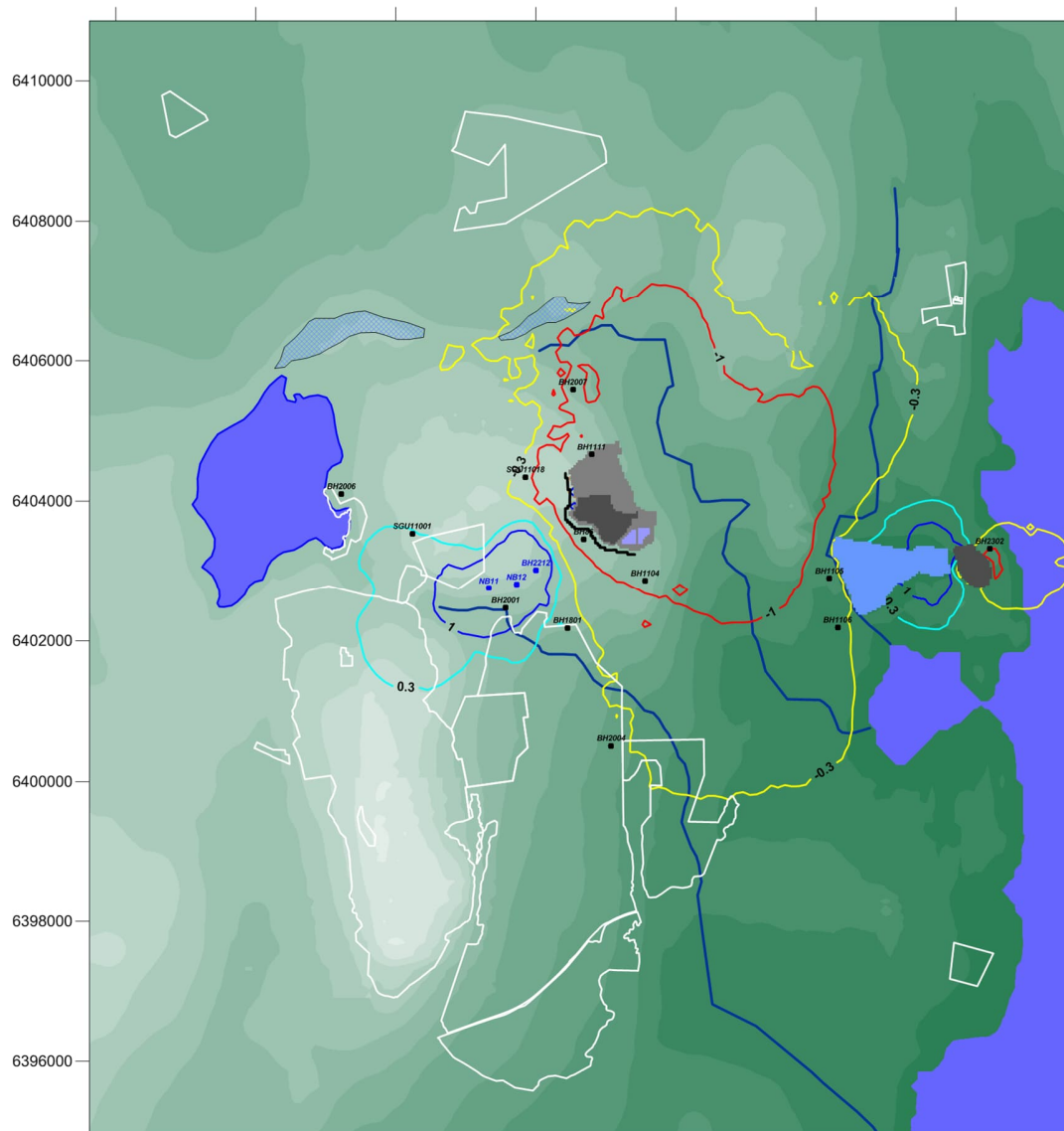
Skyddsåtgärder: Injektering och tre infiltrationsbrunnar

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastrening



## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-11 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 8: Sommar, Juli månad. Scenario *Sc8G1R4-VbG1Vam265-Sky5*

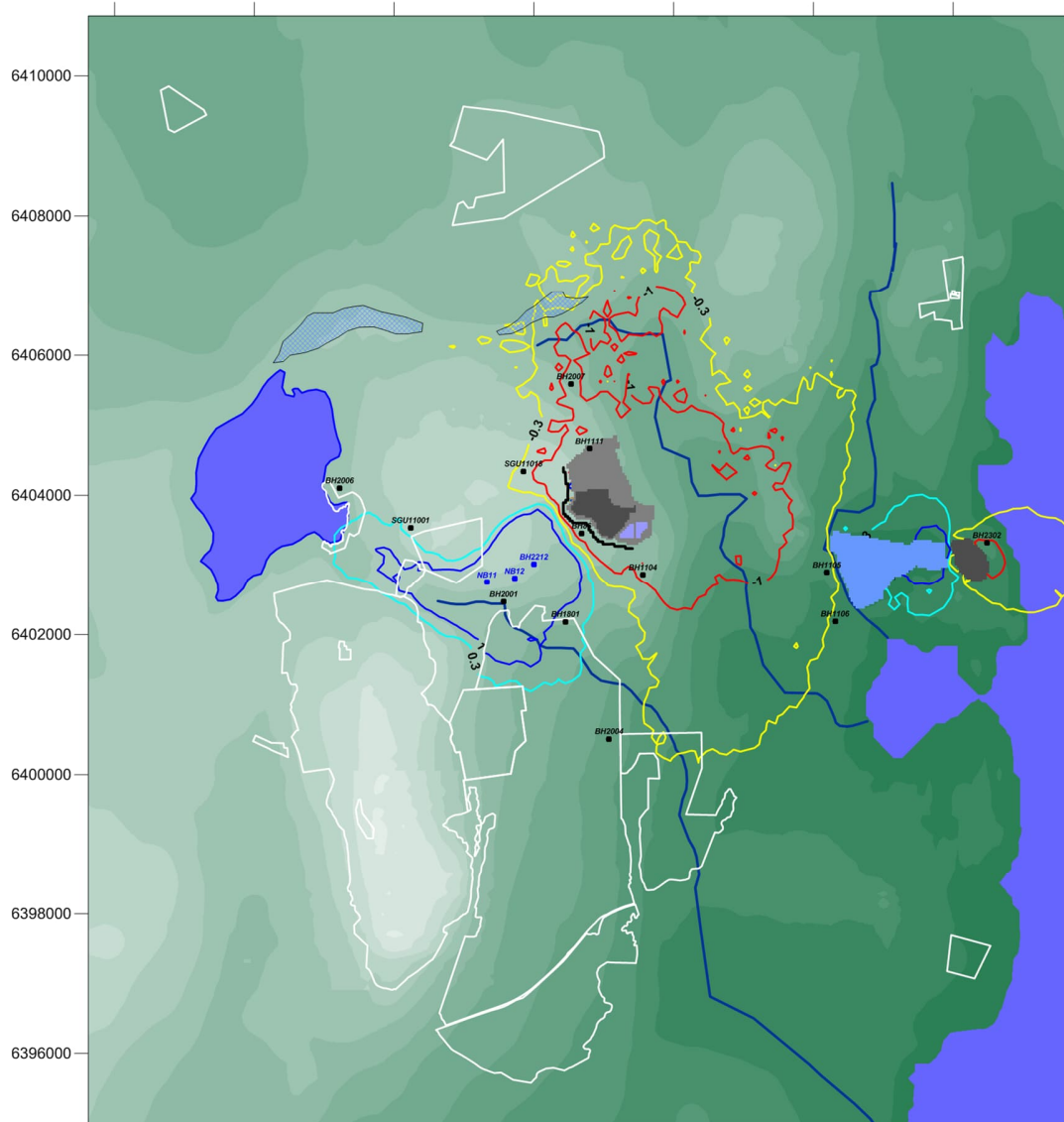
Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-12 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

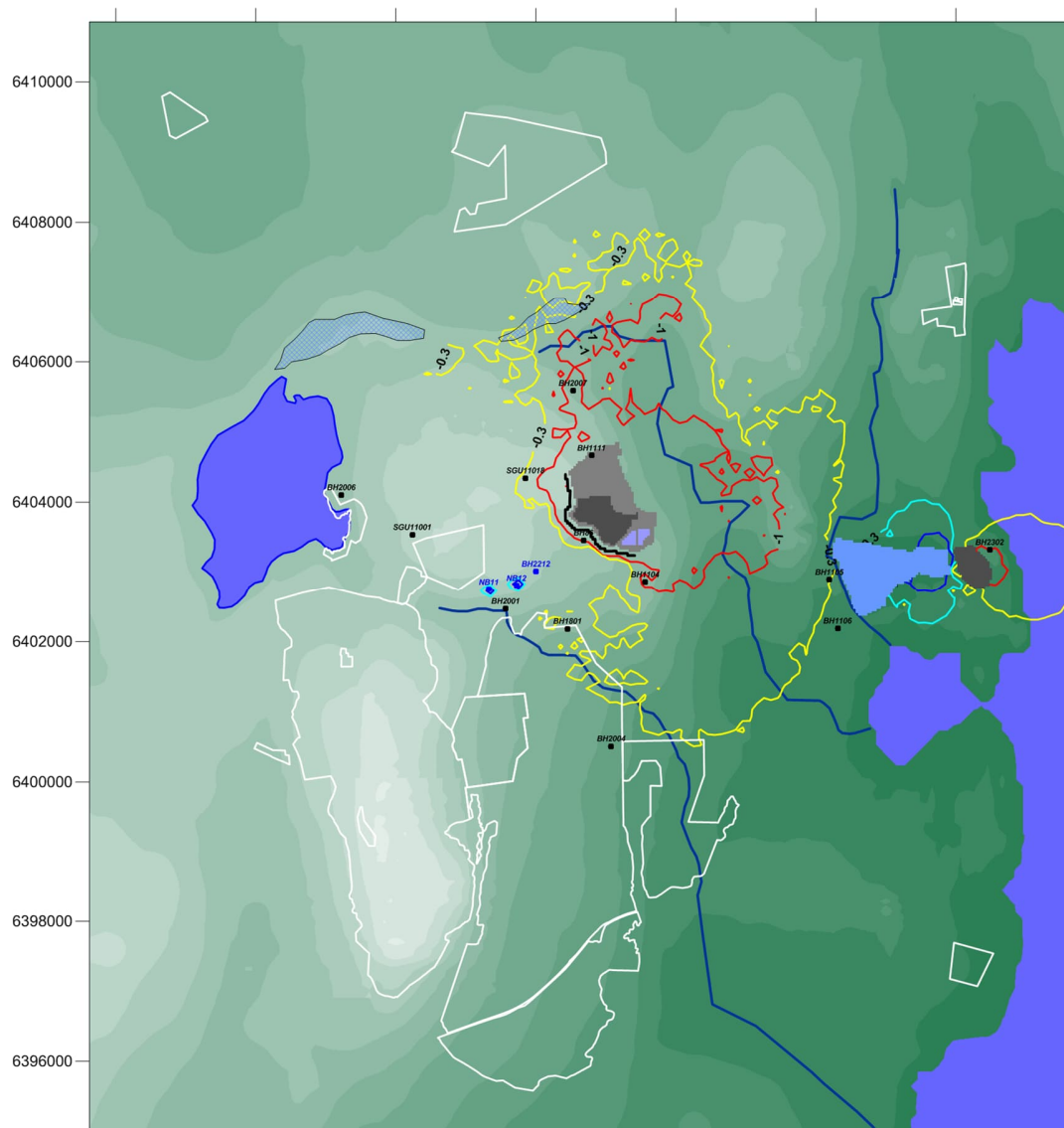
År 8: Höst, September månad. Scenario *Sc8GIR4-VbGIVam265-Sky5*

*Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar*

<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastrering*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-13 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 8: Vinter, December månad. Scenario *Sc8GIR4-VbGIVam265-Sky5*

Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastrering

## 7.2.5 Scenario år 8: Skyddsåtgärder: Injektering och tre infiltrationsbrunnar

Jämförelsen avser:

Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.

Scenario: LT2F.

och

Ansökt situation år 8. Med skyddsåtgärder.

Injektering och tre infiltrationsbrunnar.

Scenario: Sc8G1R4-VbG1Vam265-Sky5

Båda situationerna är definierade med samma klimat (nuvarande klimat).

### 7.2.5.1 Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott

Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott framgår av Tabell 6-1. Grundvatteninflödet minskar i jämförelse med situationen utan injektering, och utan skyddsåtgärder, en minskning med nära 70 000 m<sup>3</sup>/år

Tabell 7-3 Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott. Situation år 8 -Sky5

M2023SweRef--M81--Sc8G1R4K-VbG1Vam265-Sky5-work.dat			
Månad	NettoNed. m <sup>3</sup> /mån	GrundVatt. m <sup>3</sup> /mån	Totalt m <sup>3</sup> /mån
1	53 069	62 096	115 165
2	44 827	58 948	103 775
3	30 893	52 718	83 611
4	28 518	37 246	65 764
5	27 524	21 363	48 887
6	31 924	12 006	43 929
7	43 563	8 770	52 333
8	43 432	22 277	65 709
9	42 882	34 301	77 183
10	57 147	52 105	109 252
11	66 845	62 127	128 972
12	66 998	66 269	133 267
Summa	Summa	Summa	Summa
	537 623	490 226	1 027 849

### 7.2.5.2 Flöde i de kommunala produktionsbrunnarna

Medelvärde för minsta vattennivå i produktionsbrunnarna har satts till +0.5 möh Därmed begränsas produktion under sommarhalvåret med ca 5 900 m<sup>3</sup>, vilket är mycket litet i jämförelse med den totala årsproduktionen som är lika med 220 000 m<sup>3</sup>. Skillnaden mot situationen utan skyddsåtgärder är liten.

### 7.2.5.3 Utflöde från Tingstäde träsk

Genom botten på Tingstäde träsk sker ett mindre nettoutflöde av grundvatten, flödets storlek varierar under året, med störst utflöde under sommaren. För referenssituationen (den tillståndsgivna verksamheten Scenario LT2) beräknas detta nettoutflöde (inflöde-utflöde) till nära 5 000 m<sup>3</sup>/år. För situationen år 8 med skyddsåtgärder (injektering och tre infiltrationsbrunnar) förändras i praktiken inte detta nettoutflöde, endast en minimal minskning av utflödet beräknat till med nära 100 m<sup>3</sup>. Vilket är en helt försumbar förändring i jämförelse med andra flöden i sjöns vattenbalans, tex uppskattas tillrinningen till sjön vara större än två miljoner m<sup>3</sup>/år.

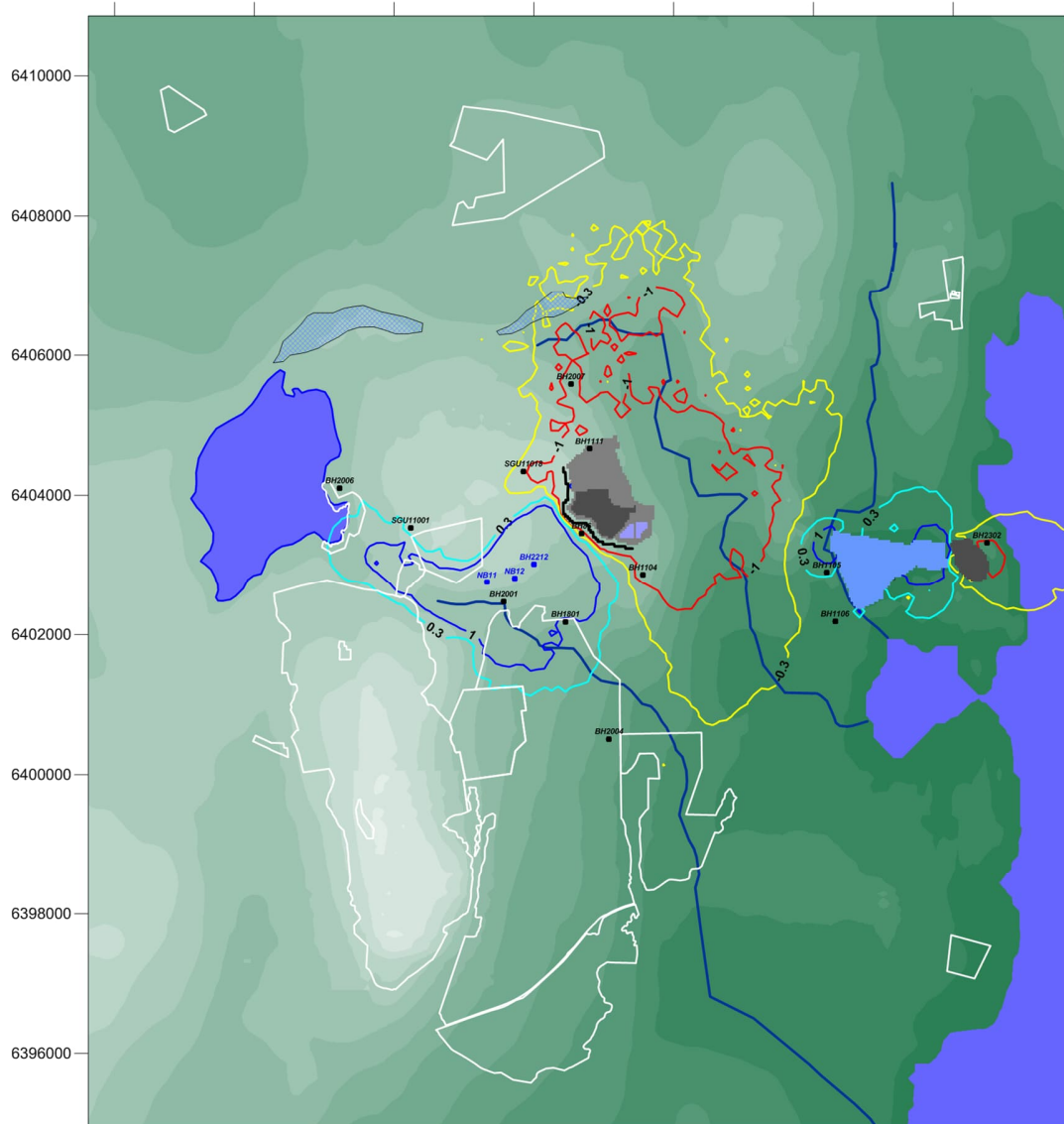
### 7.2.5.4 Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottens framtida utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Men hjälp av den upprättade modellen har vi beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal lokala avrinningsområden runt dagbrotten. Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet (nettoflödet) beräknats längs med en yta på djupet ca 7.5 m. Förändringen i detta nettoflöde har beräknats för de olika studerade situationerna i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. Metod och resultat diskuteras i Appendix D och E, Sektion 19 och Sektion 20.

### 7.2.5.5 Beräknade påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-14 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

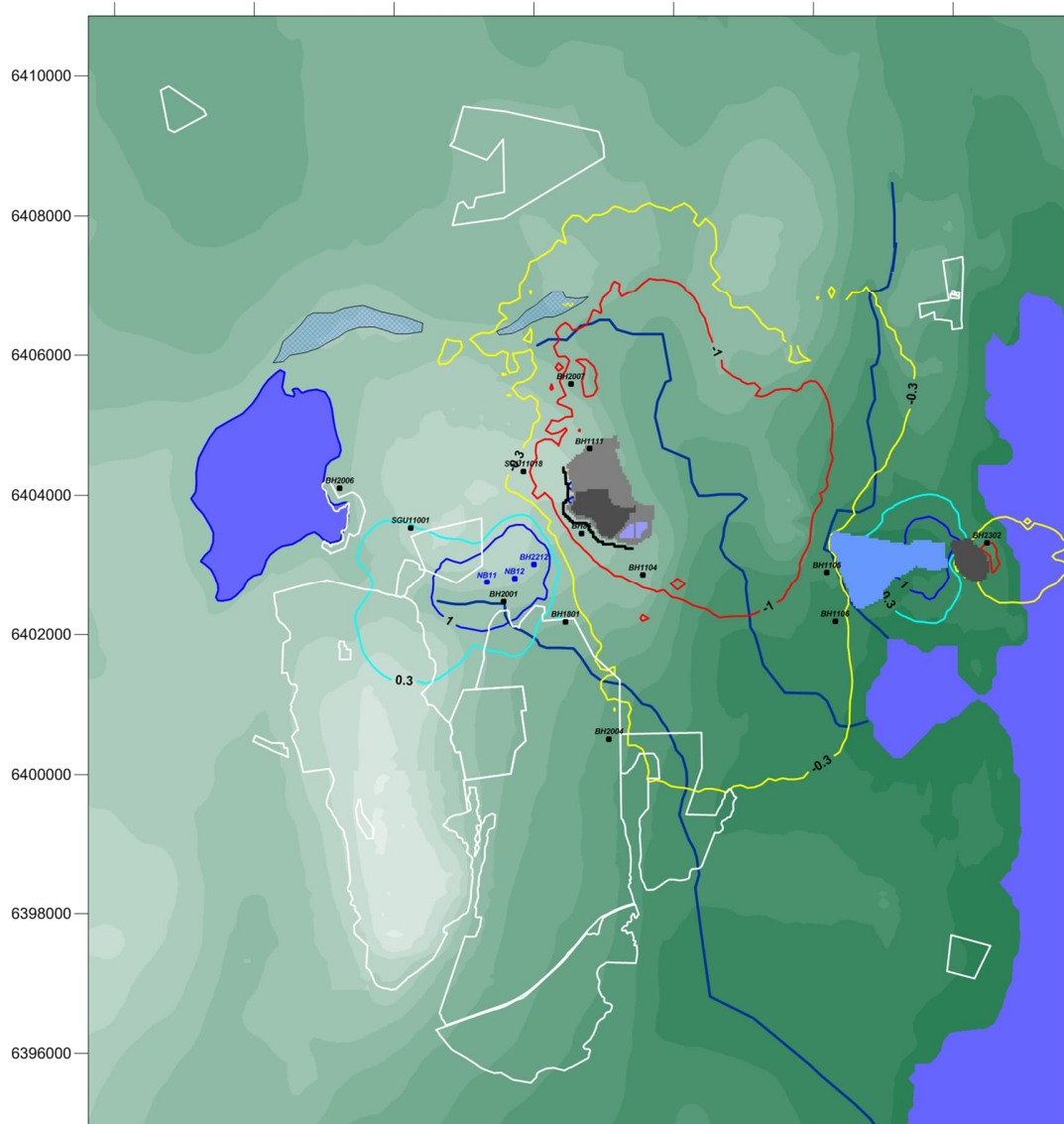
År 8: Vår, April månad. Scenario *Sc8GIR4-VbGIVam265-Sky5*

Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastreering

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-15 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

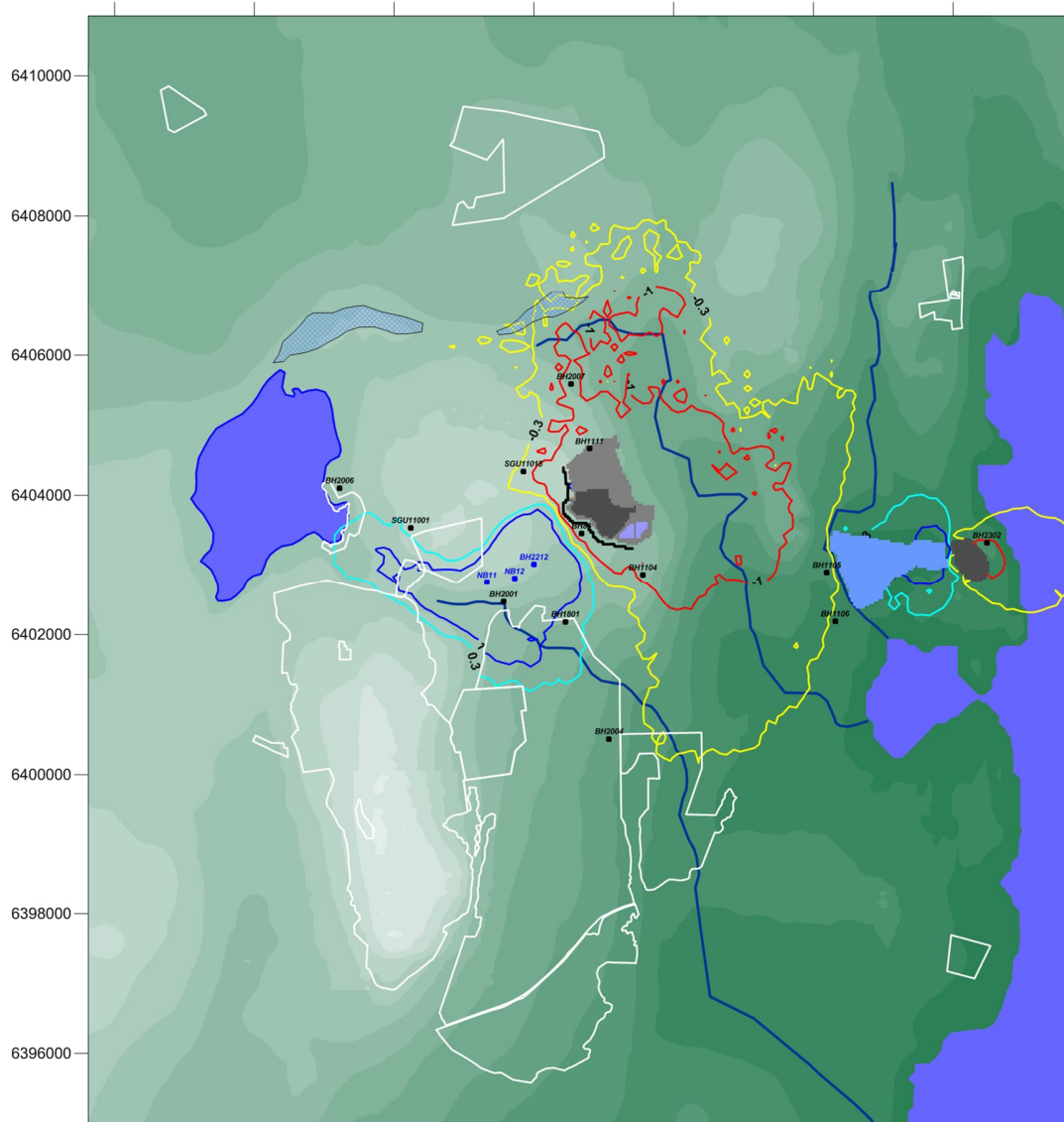
År 8: Sommar, Juli månad. Scenario *Sc8G1R4-VbGIVam265-Sky5*

Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastrering

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-16 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 8: Höst, September månad. Scenario *Sc8GIR4-VbGIVam265-Sky5*

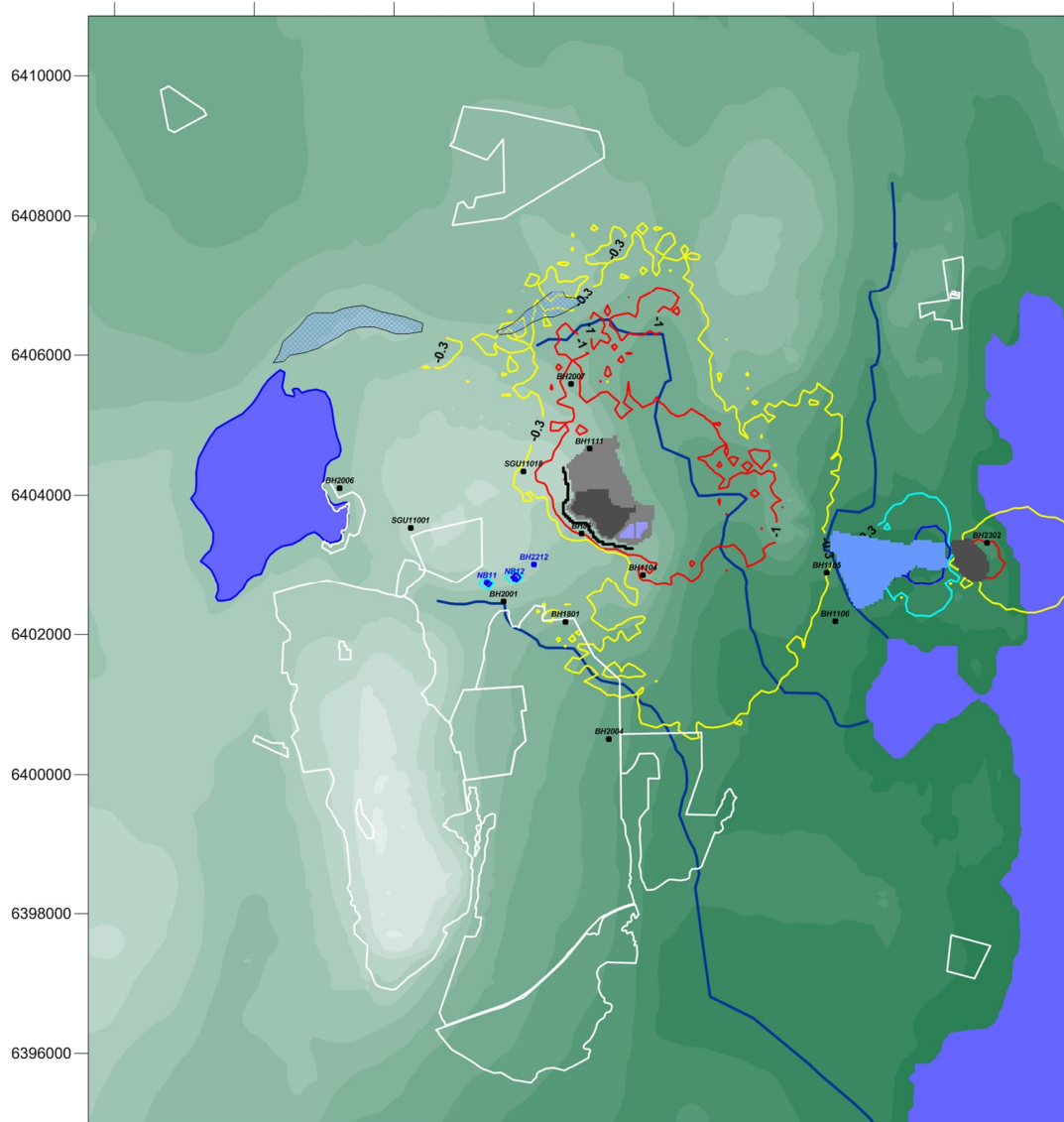
*Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar*

<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastrering*



GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-17 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 8: Vinter, December månad. Scenario *Sc8GIR4-VbGIVam265-Sky5*

Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastrering

## 7.2.6 Scenario år 20: Skyddsåtgärder: Injektering och två infiltrationsbrunnar

Jämförelsen avser:

Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.

Scenario: LT2F.

och

Ansökt situation år 8. Med skyddsåtgärder.

Injektering och tre infiltrationsbrunnar.

Scenario: Sc20G1R4K-VbG1Vam18-Sky5

Referenssituationen (LT2F) är definierat med det nuvarande klimatet. Den framtida situationen om 20 år (Sc20G1R4K-VbG1Vam18) är definierat med ett framtida klimat. Framtida klimat enligt RCP 4.5 period 2021-2050 (faktorer). Det betyder att de beräknade påverkansområdena inkluderar inte bara effekten av det utvidgade dagbrottet utan också effekten av det framtida klimatet. Nettonederbörden definierar klimatet i modellen. Förändringen i nettonederbörd som följer av det framtida klimatet (klimatpåverkan) är ringa för alla månader utom april. Det är inte syftet med skyddsåtgärden infiltration att skydda mot framtida klimatförändringar. Därför visas för april månad påverkansområden med klimateffekter, och påverkansområden där klimateffekterna har subtraherats bort. Med avseende på skyddsåtgärdernas effektivitet är den relevanta jämförelsen den jämförelse där klimateffekterna inte har inkluderats. Som ett alternativ visas också påverkansområden för april månad med klimateffekter och en fördubblad infiltration under våren.

### 7.2.6.1 Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott

Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott framgår av Tabell 6-1. Grundvatteninflödet minskar i jämförelse med situationen utan injektering, en minskning med nära 80 000 m<sup>3</sup>/år

Tabell 7-4 Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott. Situation år 20 -Sky5

M2023SweRef--M81--Sc20G1R4K-VbG1Vam18-Sky5-work.dat			
Månad	NettoNed. m3/mån	GrundVatt. m3/mån	Totalt m3/mån
1	63 830	72 940	136 770
2	53 917	69 037	122 954
3	37 158	63 647	100 804
4	34 301	43 295	77 596
5	33 105	25 079	58 184
6	38 397	14 838	53 235
7	52 396	11 189	63 585
8	52 239	26 416	78 655
9	51 577	39 998	91 575
10	68 735	61 607	130 342
11	80 399	72 755	153 154
12	80 583	76 466	157 049
	Summa	Summa	Summa
	646 637	577 267	1 223 904

### 7.2.6.2 Flöde i de kommunala produktionsbrunnarna

Medelvärde för minsta vattennivå i produktionsbrunnarna har satts till +0.5 möh. Därmed begränsas produktion under sommarhalvåret med ca 7 000 m<sup>3</sup>, vilket är mycket litet i jämförelse med den totala årsproduktionen som är lika med 220 000 m<sup>3</sup>. Skillnaden mot situationen utan skyddsåtgärder är liten.

### 7.2.6.3 Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottens framtida utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Men hjälp av den upprättade modellen har vi beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal lokala avrinningsområden runt dagbrotten. Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet (nettoflödet) beräknats längs med en yta på djupet ca 7.5 m. Förändringen i detta nettoflöde har beräknats för de olika studerade situationerna i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. Metod och resultat diskuteras i Appendix D och E, Sektion 19 och Sektion 20.

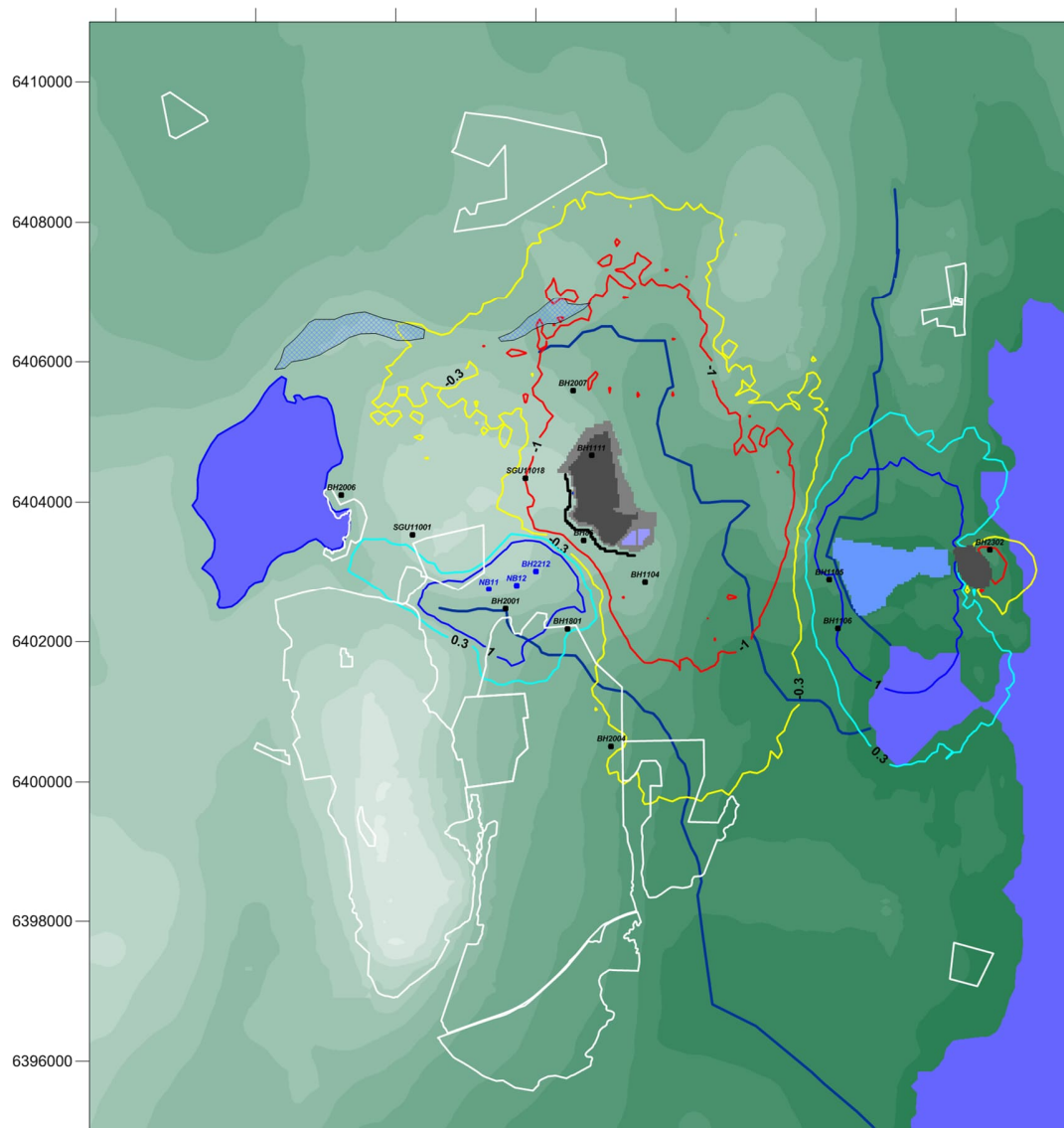
### 7.2.6.4 Utflöde från Tingstäde träsk

Genom botten på Tingstäde träsk sker ett mindre nettoutflöde av grundvatten, flödets storlek varierar under året, med störst utflöde under sommaren. För referenssituationen (den tillståndsgivna verksamheten Scenario LT2) beräknas detta nettoutflöde (inflöde-utflöde) till nära 5 000 m<sup>3</sup>/år. För situationen år 20 med skyddsåtgärder (injektering och tre infiltrationsbrunnar) förändras i praktiken inte detta nettoutflöde, endast en minimal ökning av utflödet beräknat till med nära 300 m<sup>3</sup>. Vilket är en helt försumbar förändring i jämförelse med andra flöden i sjöns vattenbalans, tex uppskattas tillrinningen till sjön vara större än två miljoner m<sup>3</sup>/år.

### 7.2.6.5 Beräknade påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-18 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 20: Vår, April månad. Scenario *Sc20G1R4K-VbG1Vam18-Sky5*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar*

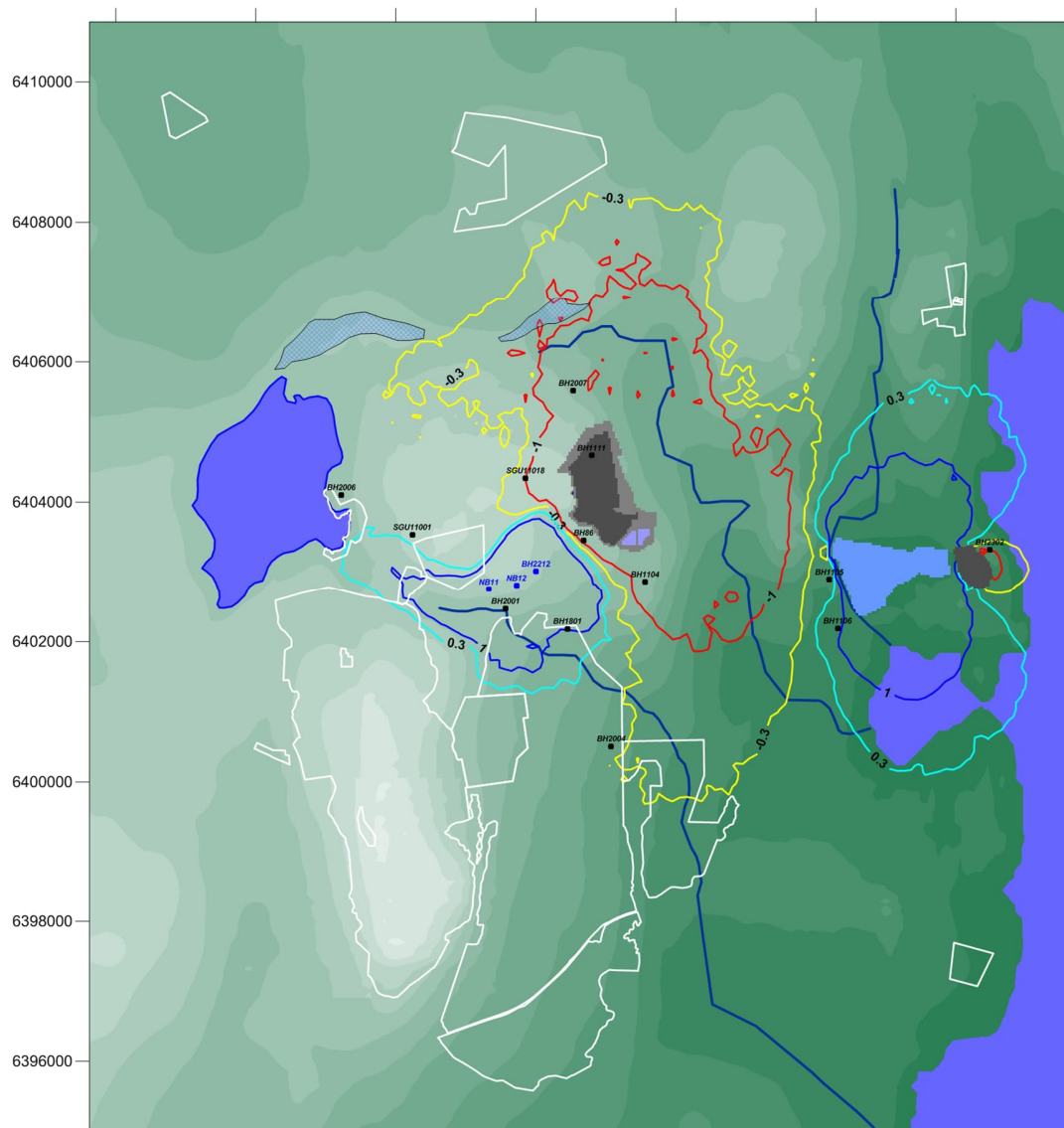
<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-19 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. PN2

År 20: Vår, April månad. Scenario *Sc20G1R4K-VbG1Vam18-Sky5*

Påverkansområden **utan** klimateffekter.

Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar

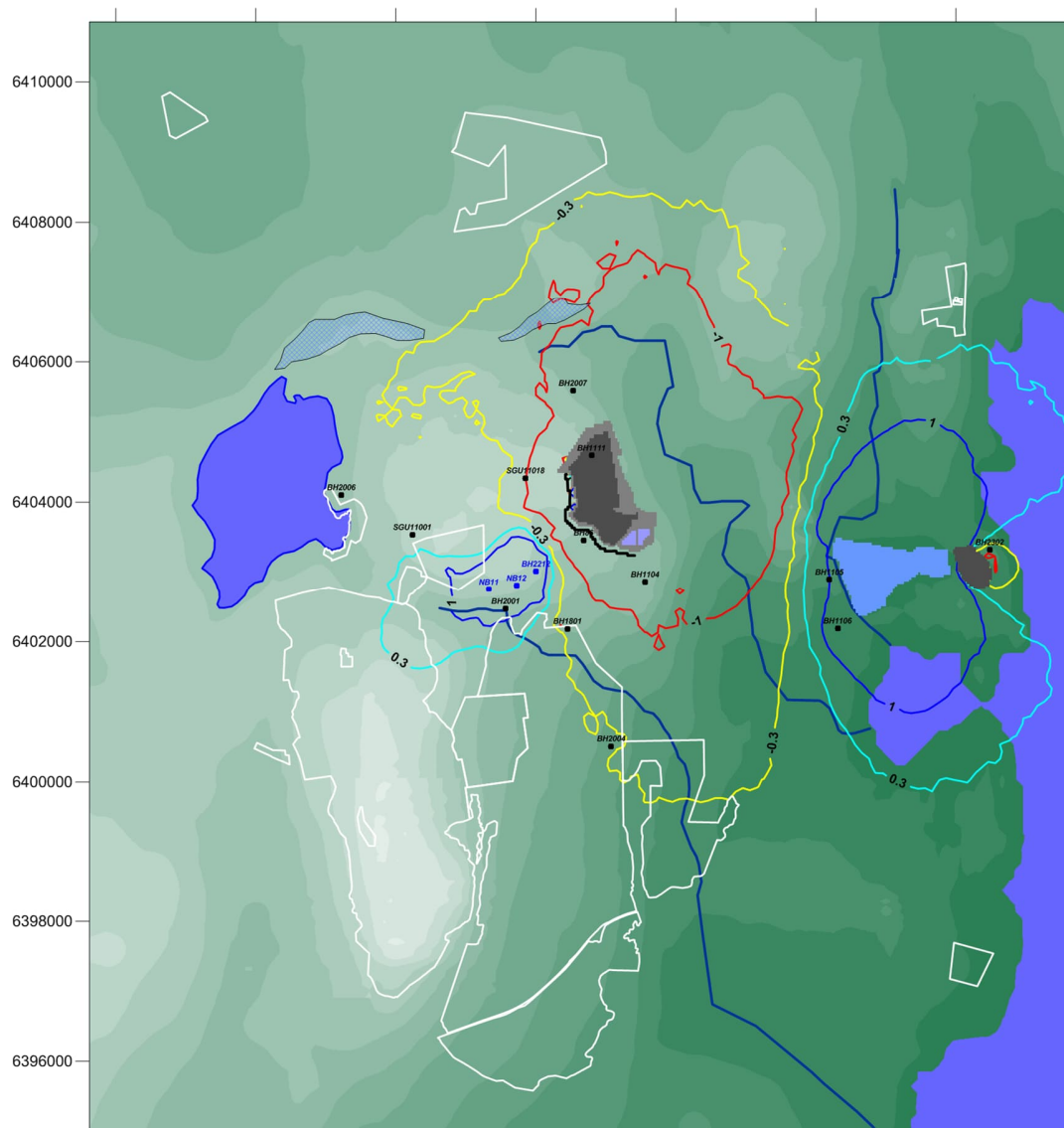
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samråds-kretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-20 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 20: Sommar, Juli månad. Scenario *Sc20G1R4K-VbG1Vam18-Sky5*

Påverkansområden med klimatteffekter.

Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar

Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m

Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m

Blå linje (höjning) = +1.0 m

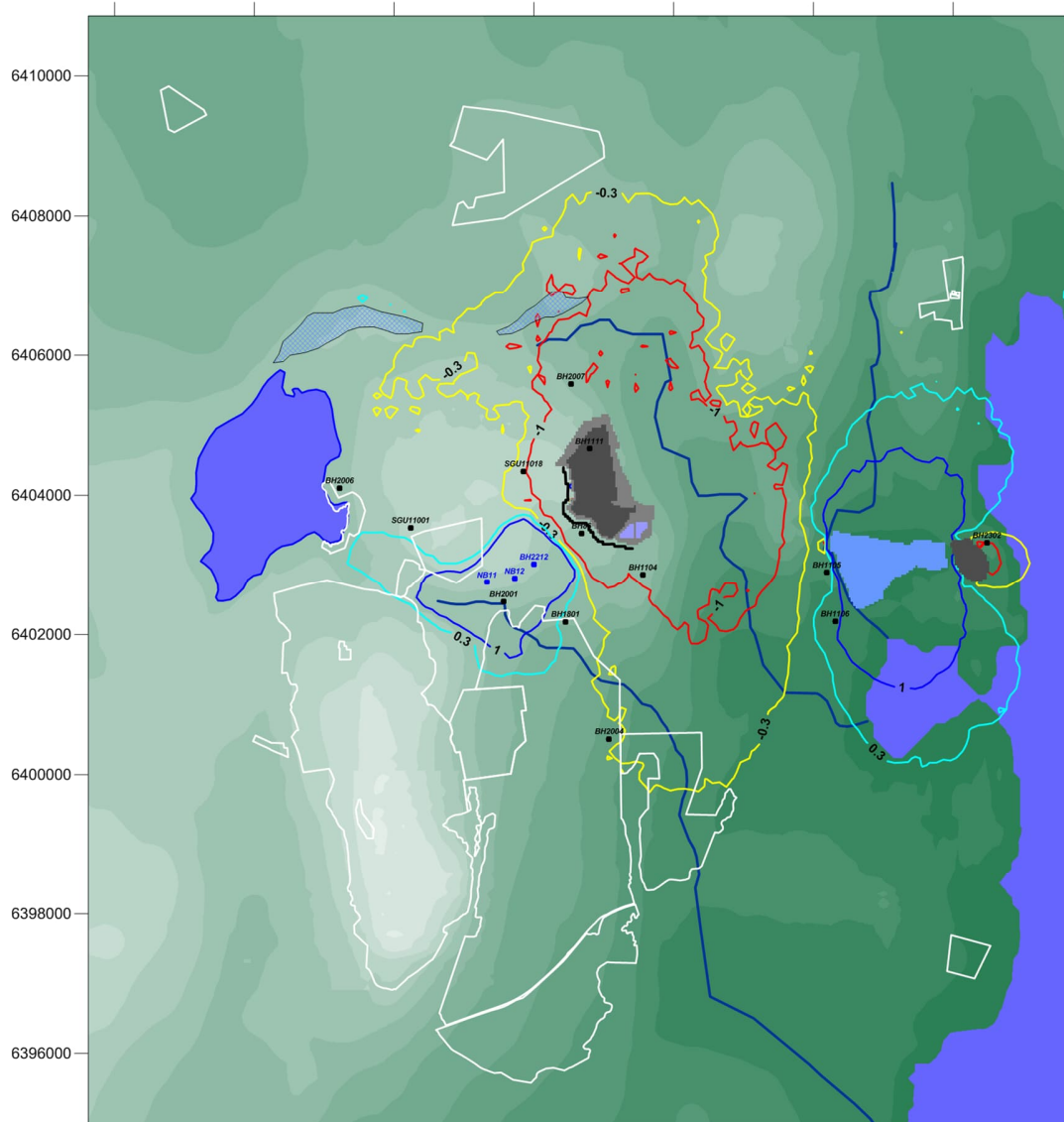
Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-21 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 20: Höst, September månad. Scenario *Sc20G1R4K-VbGIVam18-Sky5*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar*

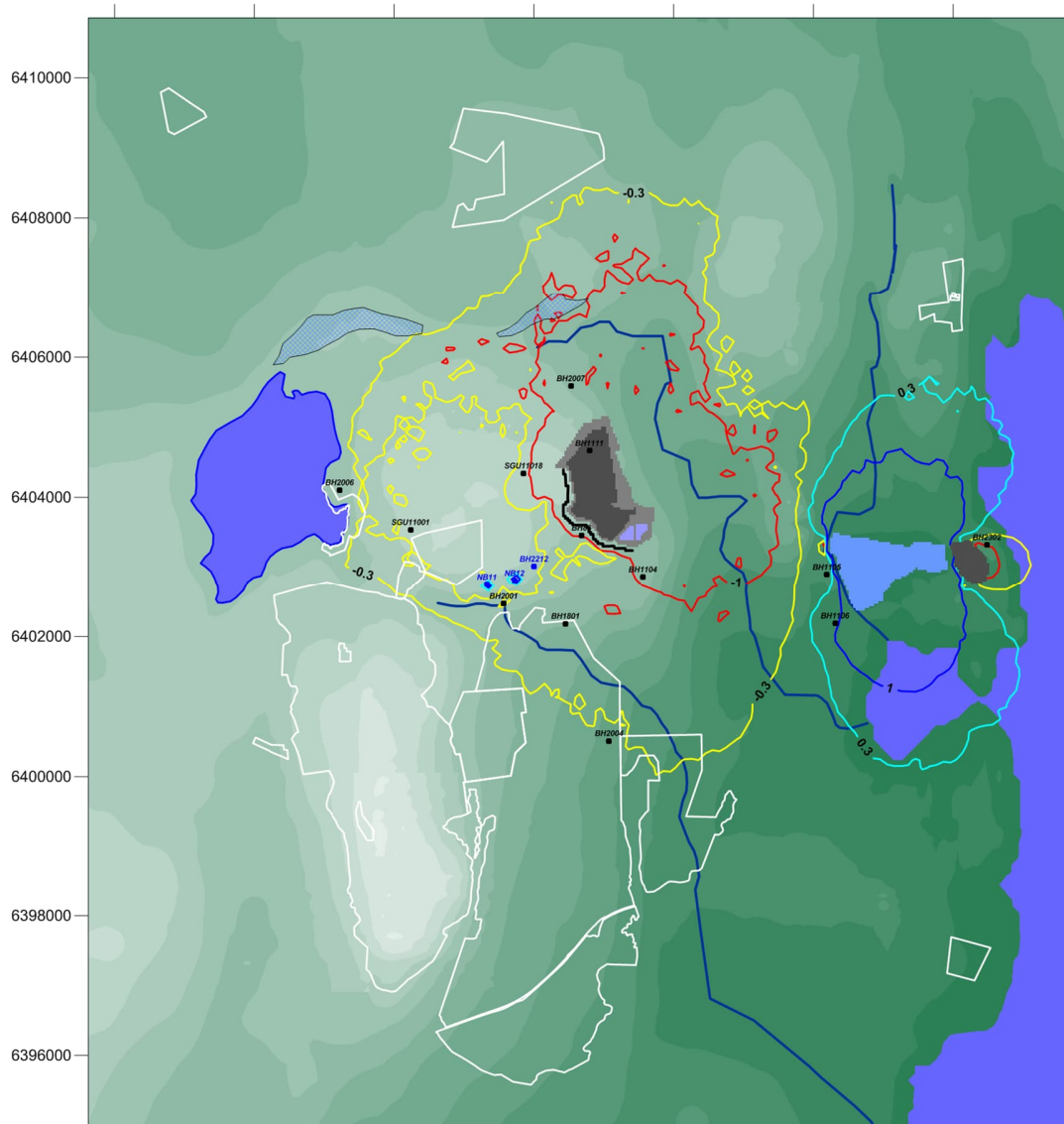
<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

*Natura 200- områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-22 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 20: Vinter, December månad. Scenario *Sc20G1R4K-VbG1Vam18-Sky5*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar*

*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m*  
*Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m*  
*Blå linje (höjning) = + 1.0 m*  
*Ljusblå linje (höjning) = + 0.3 m*

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*



## 7.2.7 Scenario år 30: Skyddsåtgärder: Injektering och två infiltrationsbrunnar

Jämförelsen avser:

Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.

Scenario: LT2F.

och

Ansökt situation år 8. Med skyddsåtgärder.

Injektering och tre infiltrationsbrunnar.

Scenario: Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5

Referenssituationen (LT2F) är definierat med det nuvarande klimatet. Den framtida situationen om 30 år (Sc30G1R4K-VbG1Vam13) är definierat med ett framtida klimat. Framtida klimat enligt RCP 4.5 period 2071-2100 (faktorer). Det betyder att de beräknade påverkansområdena inkluderar inte bara effekten av det utvidgade dagbrottet utan också effekten av det framtida klimatet. Klimatpåverkan är ringa för alla månader utom april. Det är inte syftet med skyddsåtgärden infiltration att skydda mot framtida klimatförändringar. Därför visas för april månad påverkansområden med klimateffekter, och påverkansområden där klimateffekterna har subtraherats bort. Med avseende på skyddsåtgärdernas effektivitet är den relevanta jämförelsen den jämförelse där klimateffekterna inte har inkluderats. Som ett alternativ visas också påverkansområden för april månad med klimateffekter och en fördubblad infiltration under våren.

### 7.2.7.1 Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott

Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott framgår av Tabell 6-1. Grundvatteninflödet minskar i jämförelse med situationen utan injektering, en minskning med drygt 90 000 m<sup>3</sup>/år

Tabell 7-5 Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott. Situation år 30 -Sky5

M2023SweRef--M81--Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5-work.dat			
Månad	NettoNed. m3/mån	GrundVatt. m3/mån	Totalt m3/mån
1	82 181	77 813	159 994
2	69 418	74 390	143 807
3	47 840	67 063	114 903
4	44 163	46 665	90 828
5	42 622	26 714	69 337
6	49 436	16 060	65 495
7	67 460	12 336	79 796
8	67 258	31 758	99 015
9	66 406	42 209	108 615
10	88 496	66 692	155 188
11	103 513	76 250	179 763
12	103 751	80 038	183 789
	Summa	Summa	Summa
	832 542	617 987	1 450 530

### 7.2.7.2 Flöde i de kommunala produktionsbrunnarna

Medelvärde för minsta vattennivå i produktionsbrunnarna har satts till +0.5 möh. Därmed begränsas produktion under sommarhalvåret med ca 7 000 m<sup>3</sup>, vilket är mycket litet i jämförelse med den totala årsproduktionen som är lika med 220 000 m<sup>3</sup>. Skillnaden mot situationen utan skyddsåtgärder är liten.

### 7.2.7.3 Utflöde från Tingstäde träsk

Genom botten på Tingstäde träsk sker ett mindre netto utflöde av grundvatten, flödets storlek varierar under året, med störst utflöde under sommaren. För referenssituationen (den tillståndsgivna verksamheten Scenario LT2) beräknas detta nettoutflöde (inflöde-utflöde) till nära 5 000 m<sup>3</sup>/år. För situationen år 30 med skyddsåtgärder (injektering och tre infiltrationsbrunnar) förändras i praktiken inte detta nettoutflöde, endast en minimal ökning av utflödet beräknat till med nära 500 m<sup>3</sup>. Vilket är en helt försumbar förändring i jämförelse med andra flöden i sjöns vattenbalans, tex uppskattas tillrinningen till sjön vara större än två miljoner m<sup>3</sup>/år.

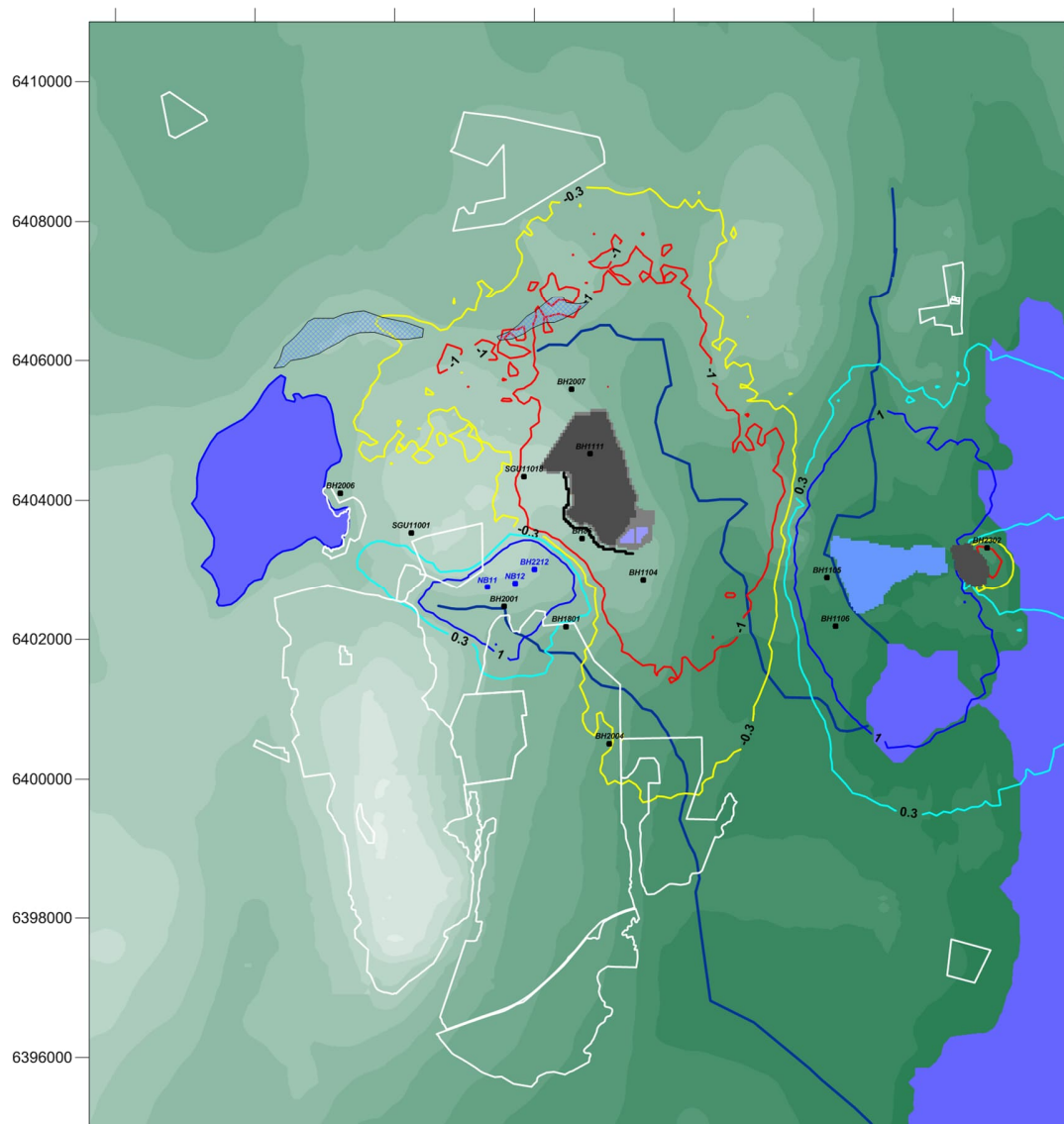
### 7.2.7.4 Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottens framtida utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Men hjälp av den upprättade modellen har vi beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal lokala avrinningsområden runt dagbrotten. Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet (nettoflödet) beräknats längs med en yta på djupet ca 7.5 m. Förändringen i detta nettoflöde har beräknats för de olika studerade situationerna i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. Metod och resultat diskuteras i Appendix D och E, Sektion 19 och Sektion 20.

### 7.2.7.5 Beräknade påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-23 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 30: Vår, April månad. Scenario *Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5*

Påverkansområden med klimatteffekter.

Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar.

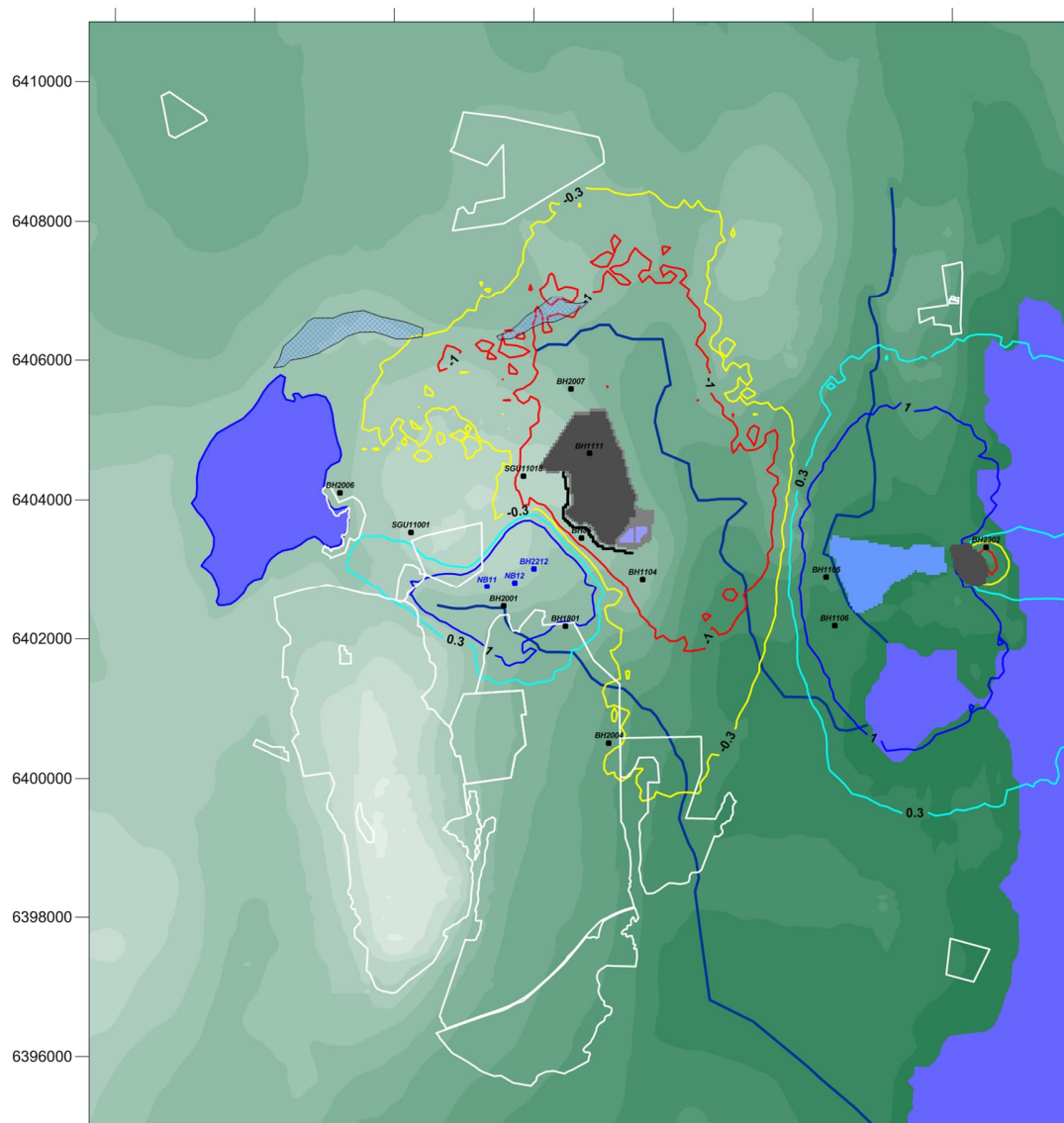
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-24 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. PN3

År 30: Vår, April månad. Scenario *Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5*

Påverkansområden **utan** klimateffekter.

Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar.

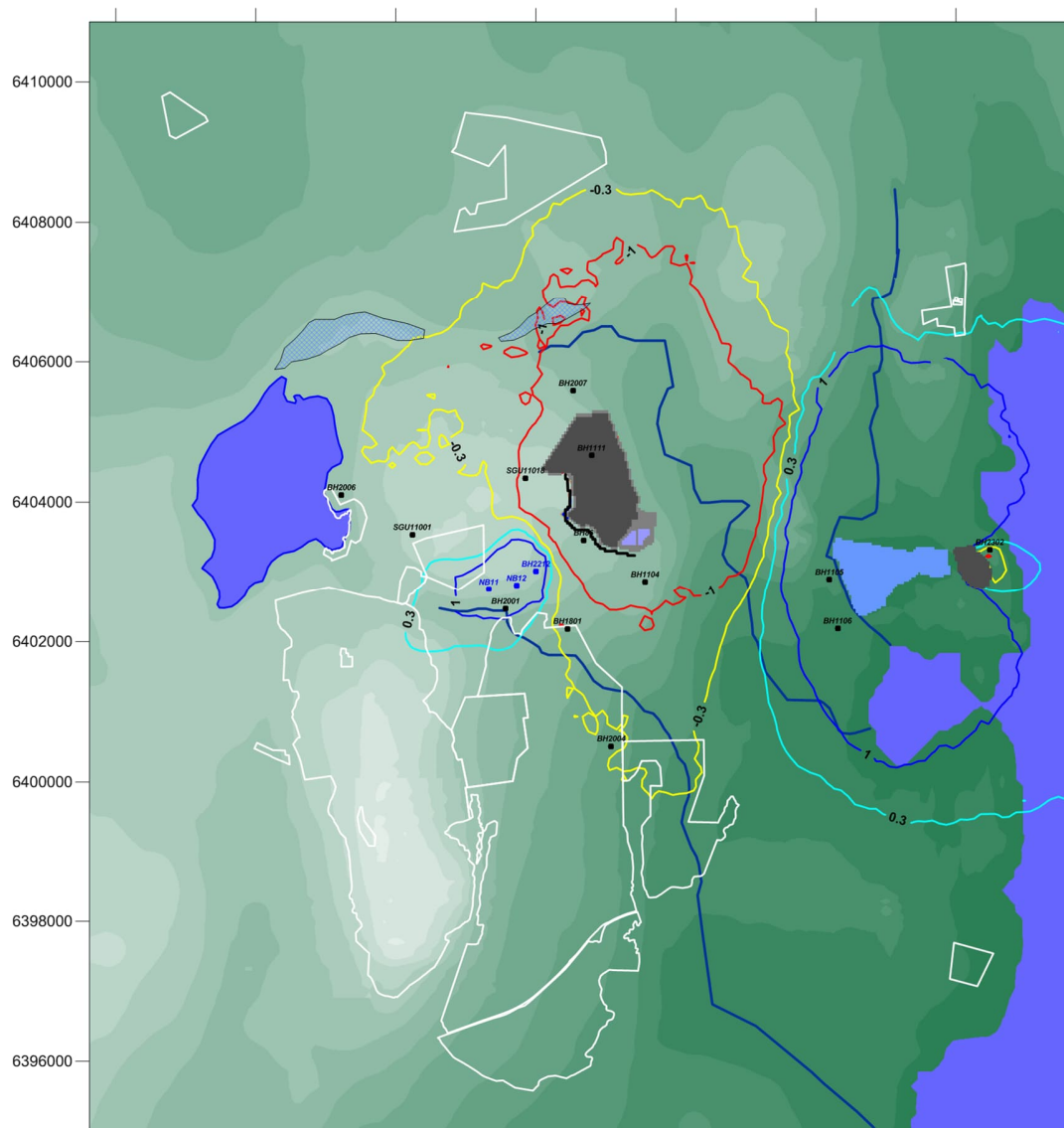
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-25 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 30: Sommar, Juli månad. Scenario *Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar.*

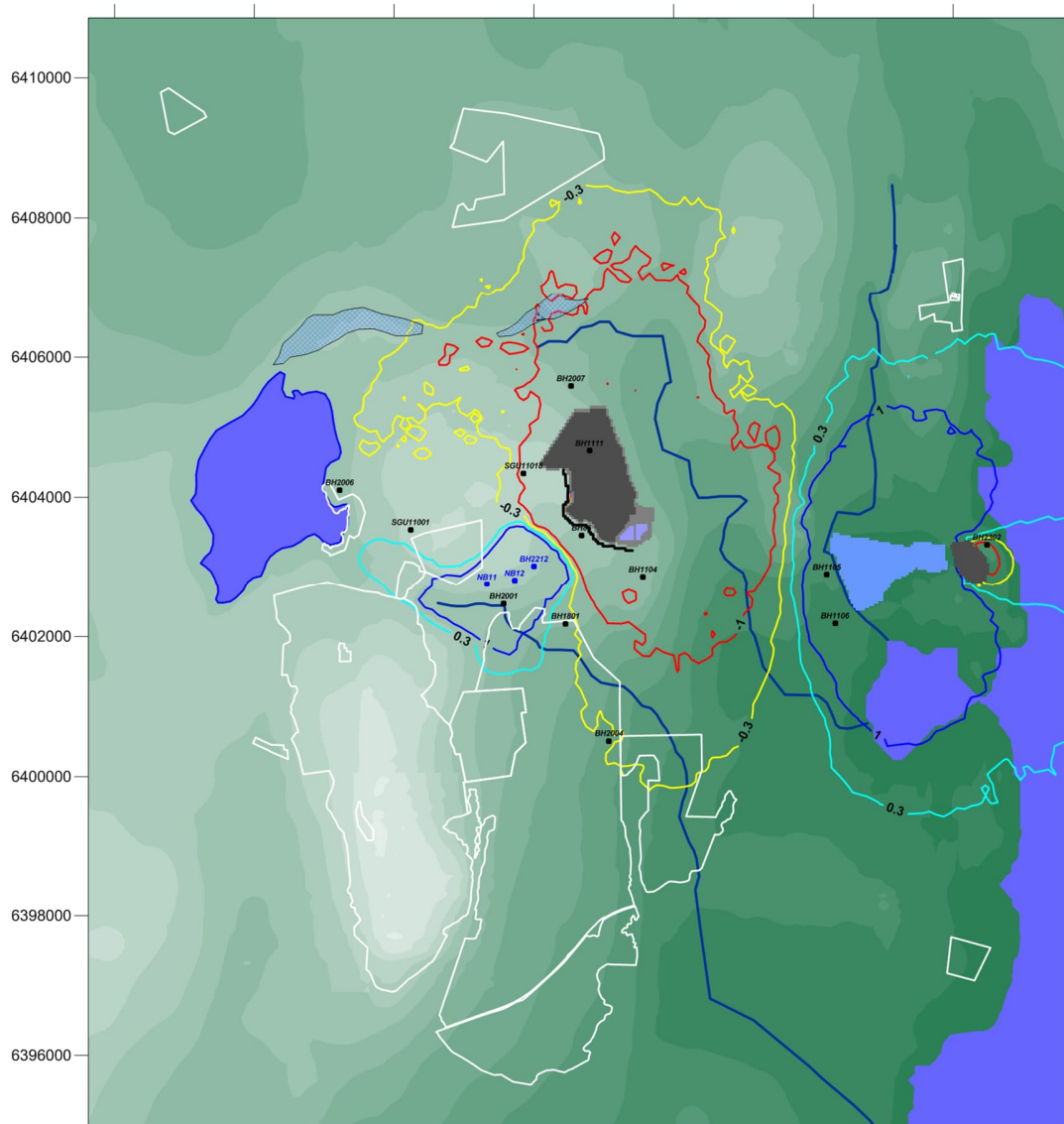
<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-26 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 30: Höst, September månad. Scenario *Sc30G1R4K-VbGIVam11-Sky5*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar.*

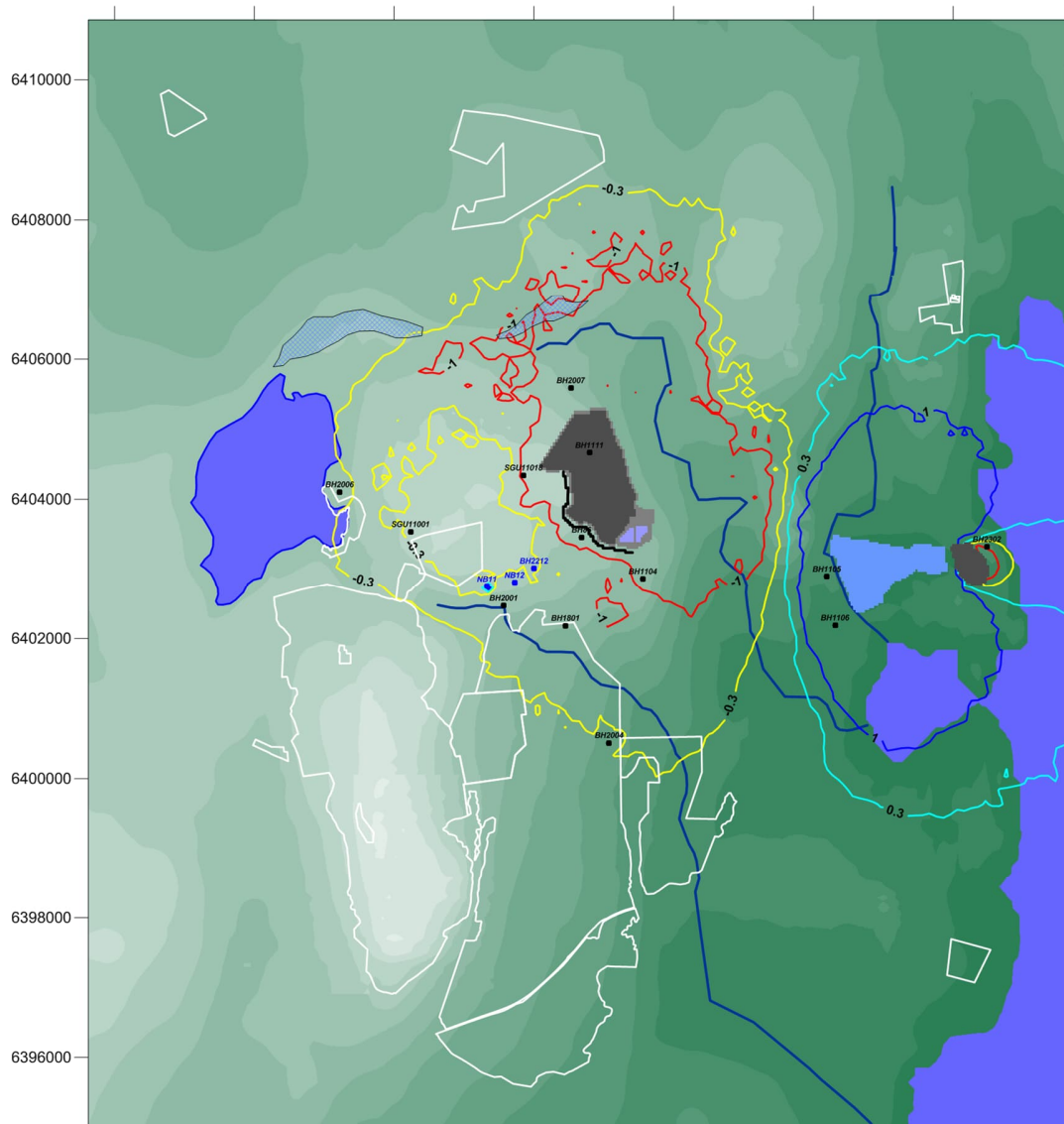
<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-27 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 30: Vinter, December månad. Scenario *Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5*

Påverkansområden med klimatteffekter.

Skyddsåtgärder: Injektion och tre infiltrationsbrunnar.

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

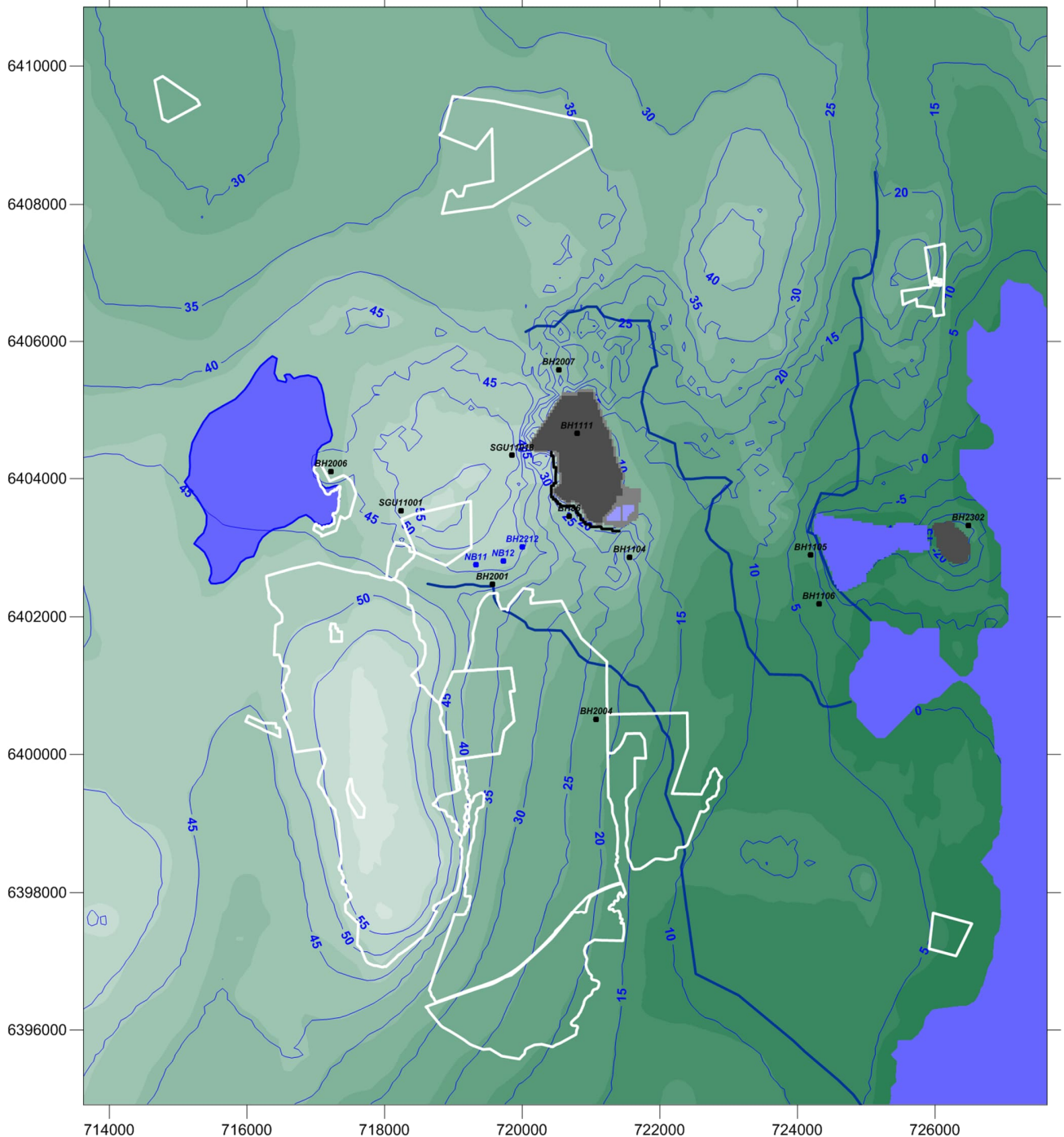
Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

### 7.2.8 Scenario år 30 med skyddsåtgärder (Sky5): Beräknade grundvattennivåer.

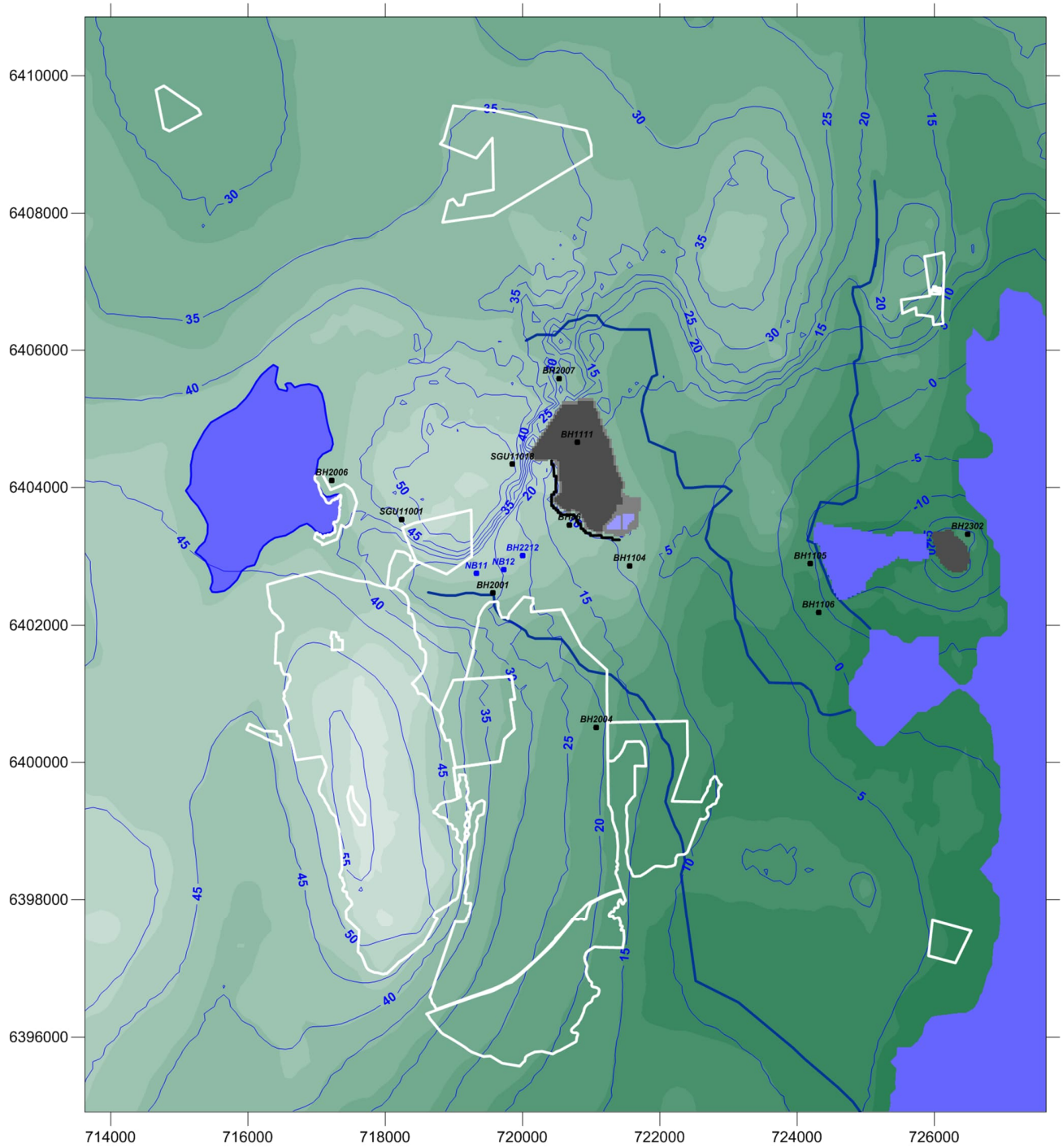
Beräknade grundvattennivåer kring dagbrotten och N-2000 områdena visas i Figur 7-28 för april månad, i Figur 7-29 för juli månad (lågvattnen), i Figur 7-30 för september månad samt i Figur 7-31 för december månad (högvatten). Figurerna visar representativa berggrundvattennivåer, vilket motsvarar grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (se Sektion 4.10).



Figur 7-28 Scenario år 30 med skyddsåtgärder (Sky5). Grundvattennivåer kring dagbrotten för APRIL månad. Figuren visar representativa berggrundvattennivåer, vilket motsvarar grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.10).

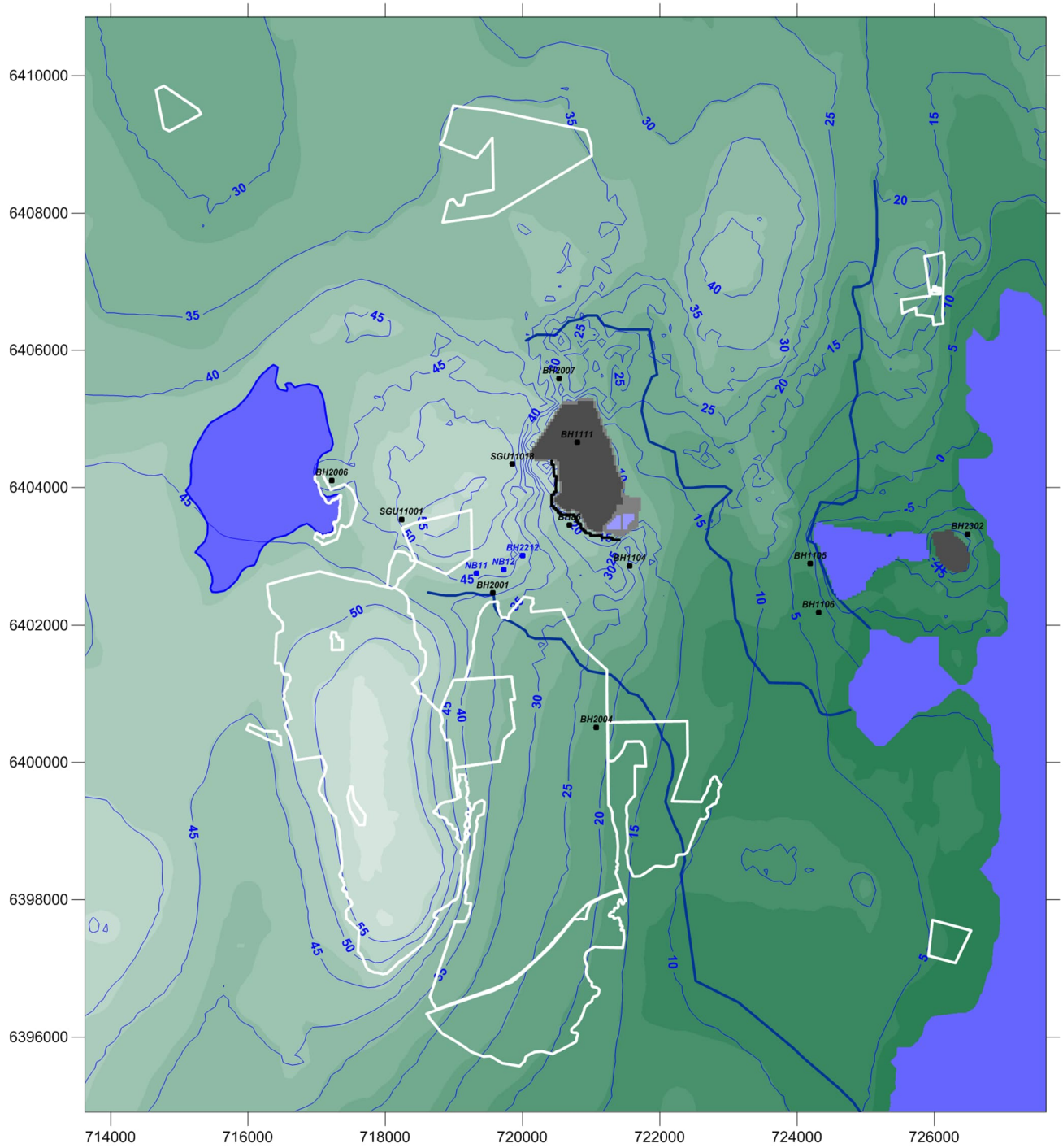


GRUNDVATTENMODELL SLITE



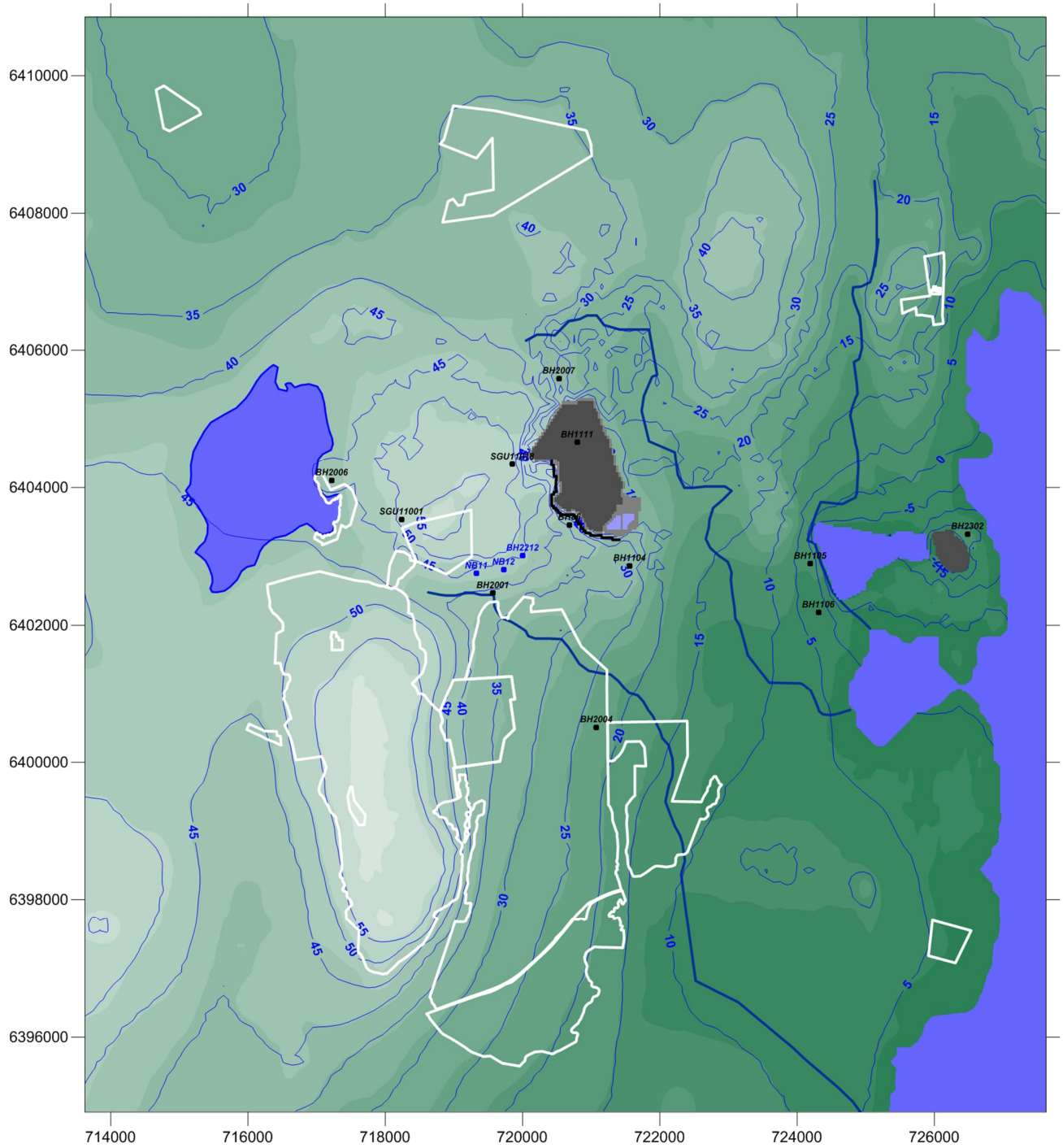
Figur 7-29 Scenario år 30 med skyddsåtgärder (Sky5). Grundvattennivåer kring dagbrotten för JULI månad (lågvattnesituationen). Figuren visar representativa berggrundvattennivåer, vilket motsvarar grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.10).

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 7-30 Scenario år 30 med skyddsåtgärder (Sky5). Grundvattennivåer kring dagbrotten för SEPTEMBER månad. Figuren visar representativa berggrundvattennivåer, vilket motsvarar grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.10).

GRUNDVATTENMODELL SLITE

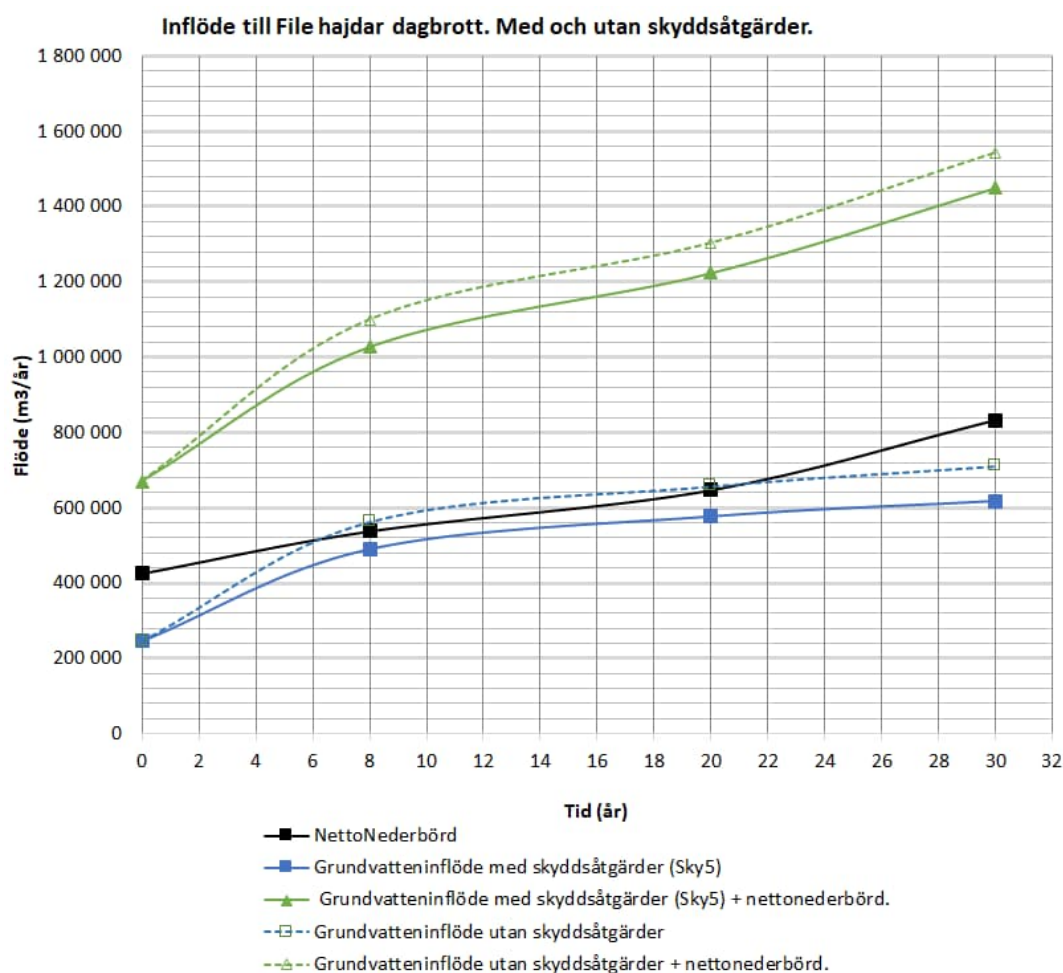


Figur 7-31 Scenario år 30 med skyddsåtgärder (Sky5). Grundvattennivåer kring dagbrotten för DECEMBER månad (högvattensituationen). Figuren visar representativa berggrundvattennivåer, vilket motsvarar grundvattennivå i en bergborrad brunn med djupet 47 m (Se Sektion 4.10).

## 8. Succesiv utveckling under den ansökta perioden

### 8.1 Beräknat inflöde till File hajdar dagbrott med och utan skyddsåtgärder

För den ansökta utvecklingen kommer dagbrottet att vara dränerat, fram till dess att verksamheten avslutas. Beräkningar av inflödet till File hajdar dagbrott har utförts för de olika studerade situationerna, för varje månad för ett normalår, och summerats för att erhålla årsvärden. För situationerna med och utan skyddsåtgärder visas den beräknade succesiva utvecklingen av inflödet till File hajdar dagbrott i Figur 8-1. Skyddsåtgärderna inkluderar injektering längs med dagbrottets västra vägg, samt infiltration i tre brunnar.



Figur 8-1 Den beräknade succesiva utvecklingen av inflödet till File hajdar dagbrott, för situationen utan skyddsåtgärder. Beräkningarna har utförts för varje månad för ett normalår, och summerats för att erhålla årsvärden.

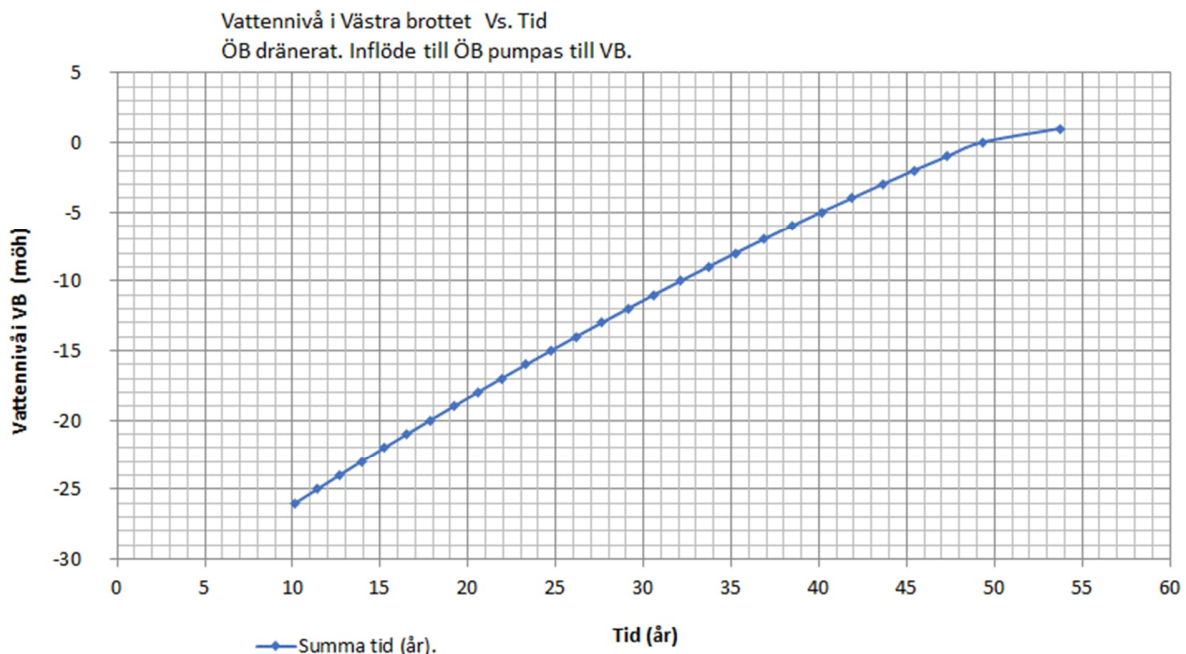
Av figuren framgår att den stora förändringen i grundvatteninflöde sker när den djupa Pall2 etableras i dagbrottet (+5 möh), och det görs inom de första 8 åren. Som framgår av figuren är

grundvatteninflödet ungefär lika stort som nettonederbörden. Om verksamheten avbryts efter år 30 kommer dagbrottet att vattenfyllas och inflödet minska beroende på vattennivå i dagbrottet.

## 8.2 Beräknad vattennivå i Västra brottet

För den tillståndsgivna situationen är Pall 2 i Västra brottet delvis vattenfylld och Pall 1 i Västra brottet är dränerad. För den ansökta utvecklingen kommer vattennivån i Västra brottet att succesivt höjas, Östra brottet förblir dränerat.

I diskussionen nedan motsvarar tidpunkten noll den tillståndsgivna situationen (se Sektion 5). Fram tills en tidpunkt ca år 8 kontrolleras vattennivån i Västra brottet (Pall 2) genom pumpning. När pumpningen upphör bedöms vattennivån i Pall 2 ligga nära basnivån för Pall 1, vid ungefär -26.5 möh. När pumpningen av vatten från Pall 2 upphör kommer vattennivån i Pall 2 att stiga. Vid ungefär år 10 översvämmas Pall 1. Hela Västra brottet blir då en sjö. Vattennivån i denna sjö kommer att sakta stiga. För situationen vid år 20 bedöms vattennivån vara ca -18 möh. För situationen vid år 30 bedöms vattennivån vara ca -11 möh. Så småningom nås en vattennivå i Västra brottet som ligger nära havets nivå. Den totala tiden för återfyllnad av Västra brottet bedöms vara kring 40 år till 50 år, delvis beroende av vid vilken nivå som Västra brottet kan anses som vattenfyllt, och även beroende på tidpunkten som definieras som startpunkt. Höjningen av vattennivån i Västra brottet sker mycket långsamt då vattennivån i dagbrottet kommer nära havets nivå. Utvecklingen av vattennivån i Västra brottet är ett föreskrivet randvillkor i den upprättade modellen. Den beräknade och uppskattade utvecklingen av vattennivån i Västra brottet visas i Figur 8-2.



Figur 8-2 Beräknad framtida vattennivå i Västra brottet. Tidpunkten noll motsvarar den tillståndsgivna situationen. Fram tills tidpunkten ca år 10 år kontrolleras vattennivån i Västra brottet (Pall2) genom pumpning.

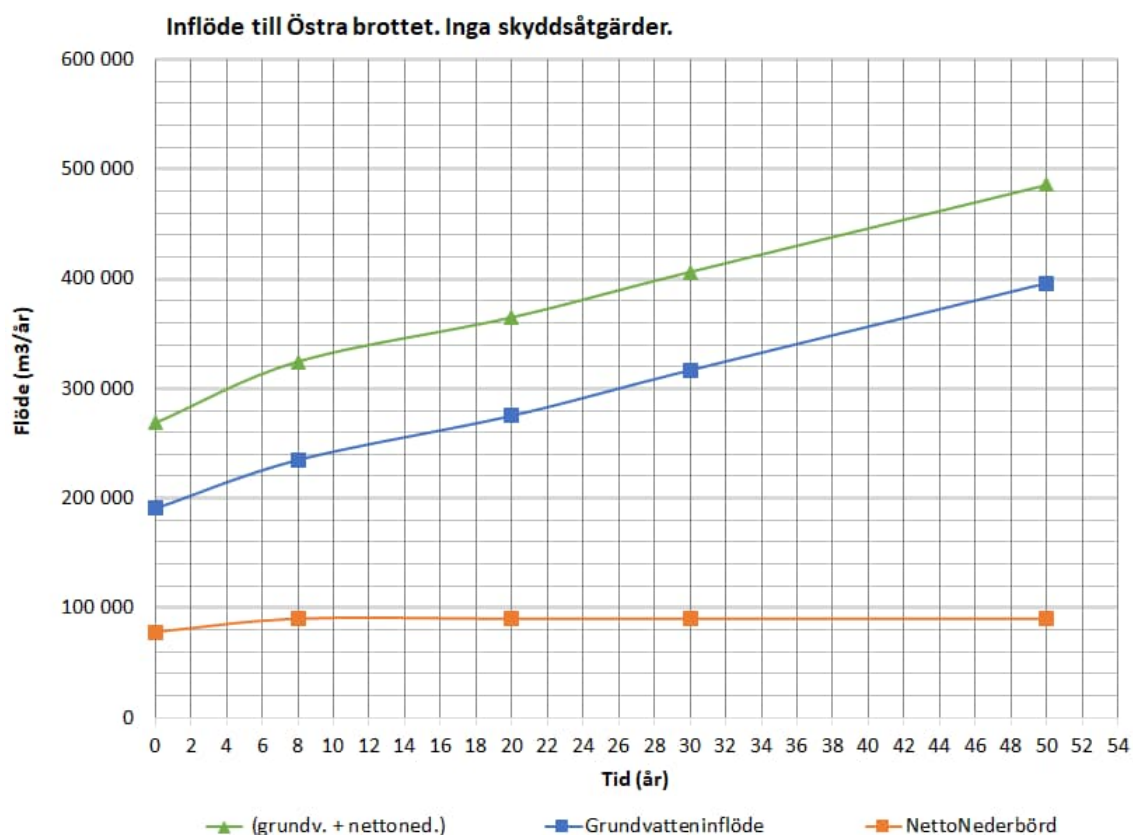
Kurvan som visas i Figur 8-2 förutsätter att inflödet till Östra brottet pumpas till Västra brottet. Att inga stora vattenuttag görs i Västra brottet, och att heller inga stora flöden pumpas till Västra brottet förutom vattnet från Östra brottet. Kurvan skall betraktas som en uppskattning.

### 8.3 Beräknat inflöde till Östra brottet

För den tillståndsgivna situationen är Östra brottet dränerat. För den ansökta succesiva utvecklingen kommer Östra brottet att förbli dränerat.

Två större vägtunnlar och en mindre transporttunnel genomskär bergsområdet mellan Västra och Östra brotten (bergplinten). Tunnlarna kommer att förseglas med mycket lågpermeabla tunnelpluggar av betong. Ridåinjektering kommer också att utföras i själva bergplinten. I den etablerade modellen inkluderas tunnlar mellan Västra och Östra brotten, dessutom inkluderas effektiva och lågpermeabla tunnelpluggar i modellen, även ridåinjektering av bergplinten är inkluderad i modellen.

Inflödet till Östra brottet beror till viss del på vattennivån i Västra brottet, som antas öka stadigt efter år 8. Grundvattenflödet från Västra brottet till Östra brottet kommer att öka allteftersom vattennivån i Västra brottet stiger. Efter år 50 antas Västra brottet vara vattenfyllt, därefter ökar inte inflödet till Östra brottet. Det beräknade inflödet till Östra brottet visas i Figur 8-3. Som framgår av figuren är grundvatteninflödet tydligt större än nettonederbörden.

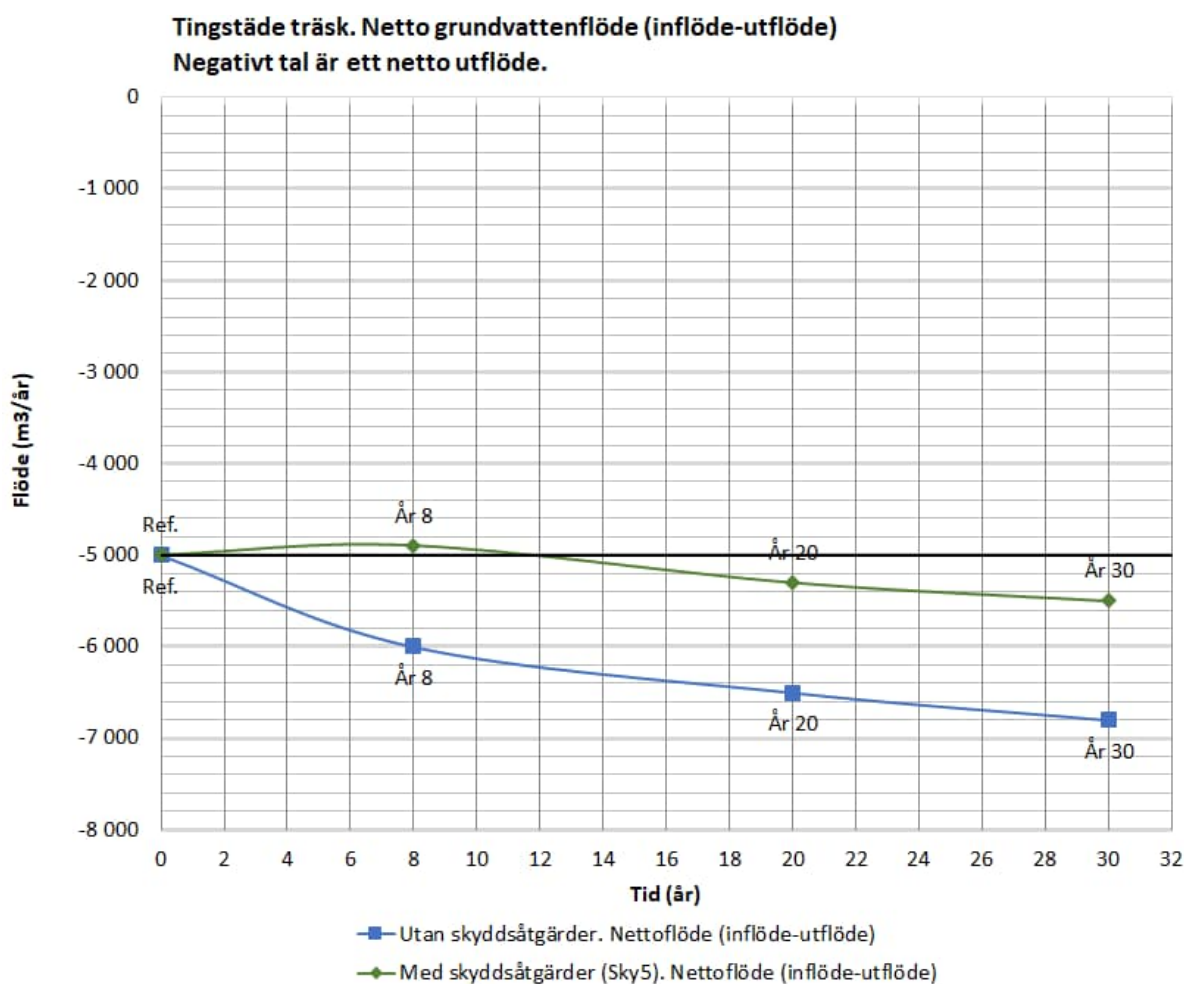


Figur 8-3 Den beräknade succesiva utvecklingen av inflödet till Östra brottet. Beräkningarna har utförts för varje månad för ett normalår, och summerats för att erhålla årsvärden.

## 8.4 Tingstäde träsk. Beräknat grundvattenflöde med och utan skyddsåtgärder

Genom botten på Tingstäde träsk sker ett mindre nettoutflöde av grundvatten (inflöde-utflöde), flödets storlek varierar under året, med störst utflöde under sommaren. För referenssituationen (den tillståndsgivna situationen) beräknas detta nettoutflöde till nära 5 000 m<sup>3</sup>/år. Tingstäde träsk läcker alltså en ringa mängd grundvatten (nettoflöde) till omgivningarna. För de studerade situationerna, år 8, år 20 och år 30, utan och med skyddsåtgärder (injektering och tre infiltrationsbrunnar) beräknas detta nettoutflöde att förändras med mycket små volymer.

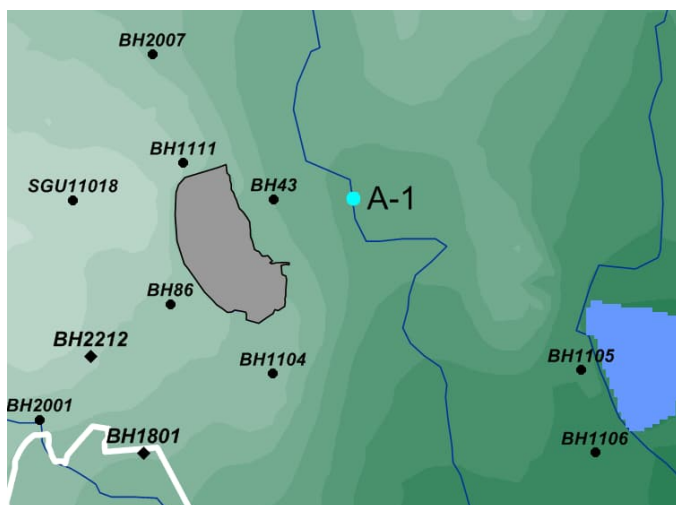
I jämförelse med den tillståndsgivna situationen och för situationen utan skyddsåtgärder blir ökningen mindre än 2 000 m<sup>3</sup>/år och ännu mindre ökning med skyddsåtgärder. Vilket är en helt försumbar ökning i jämförelse med andra flöden i sjöns vattenbalans, tex uppskattas tillrinningen till sjön vara större än två miljoner m<sup>3</sup>/år. För Tingstäde träsk och för situationerna med och utan skyddsåtgärder visas den beräknade succesiva utvecklingen av grundvattnets nettoflöde i Figur 8-4.



Figur 8-4 För Tingstäde träsk och för situationerna med och utan skyddsåtgärder visas den beräknade succesiva utvecklingen av grundvattnets nettoflöde i figuren ovan. Notera att det inte är förändringen i nettoflöde, utan hela nettoflödet som visas. Beräkningarna har utförts för varje månad för ett normalår, och summerats för att erhålla årsvärden. Texten "Ref" markerar den tillståndsgivna situationen.

## 8.5 Beräknad förändring i flöde i Anerån

Förändringen i vattenföring i Anerån har beräknats vid Position A-1 (se Figur 8-5).



Figur 8-5 Position A-1 i Anerån.

Förändringen av flödet i Anerån, som den har beräknats i modellen, beror av:

- Dagbrottets utvidgning (indirekt påverkan).
- Förändring i avrinningsområdets storlek (pga av dagbrottets utvidgning).
- Förändring i nettonederbörden (förändrat klimat).
- Förändring i storleken på grundvattenflödet till vattendraget.
- Förändring i storleken på grundvattenflödet från vattendraget.
- Förändringen i flöde har beräknats för varje månad, och summerats för att erhålla årsvärden.
- Skyddsåtgärderna är av ringa betydelse för vattenflödet i Anerån.

Situation år 8 utan skyddsåtgärder (File hajdar dagbrott är dränerat):

Position A-1, flödet minskar med 95 000 m<sup>3</sup>/år

Situation år 20 utan skyddsåtgärder (File hajdar dagbrott är dränerat):

Position A-1, flödet minskar med 127 000 m<sup>3</sup>/år

Situation år 30 utan skyddsåtgärder (File hajdar dagbrott är dränerat):

Position A-1, flödet minskar med 245 000 m<sup>3</sup>/år

Situation år 70 efter avslutad verksamhet

File hajdar dagbrott med vattennivån +26 möh

Västra brottet med vattennivån +1 möh Östra brottet dränerat

Position A-1, flödet minskar med 105 000 m<sup>3</sup>/år

Notera att den beräknade minskningen inte inkluderar det vatten som bräddas från ett vattenfyllt File hajdar dagbrott, och som troligen kommer att tillföras Anerån som ett ytvattenflöde. Om detta flöde tillförs Anerån vid position A-1 blir det ingen minskning utan ett överskott på ungefär 100 000 m<sup>3</sup>/år vid Position A-1. Produktionen i kommunens produktionsbrunnar är satt till 220 000 m<sup>3</sup>/år, om denna produktion ökas då minskar volymen vatten som bräddas från det vattenfyllda File hajdar dagbrott.



## 8.6 Diskussion kring beräknad förändring av mängden ytligt berggrundvatten, med och utan skyddsåtgärder, och mängden infiltrerat vatten

Det lokala avrinningsområdet No.3 täcker till stor del Natura 2000-områdena söder om File hajdar dagbrott (se tex Figur 19-5). Förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområdet No.3 kan beräknas som förändring av det vertikala nettoflödet inom det studerade avrinningsområdet (på djupet 7.5 m). Metodiken diskuteras i Sektion 19. De beräknade förändringen i nettoflöden visas i tabeller i Sektion 20. Förändringar kan beräknas i förhållande till den tillståndsgivna situationen. En negativ förändring av nettoflödet är en förlust av ytligt berggrundvatten i området. En positiv förändring av nettoflödet är en vinst av ytligt berggrundvatten i området.

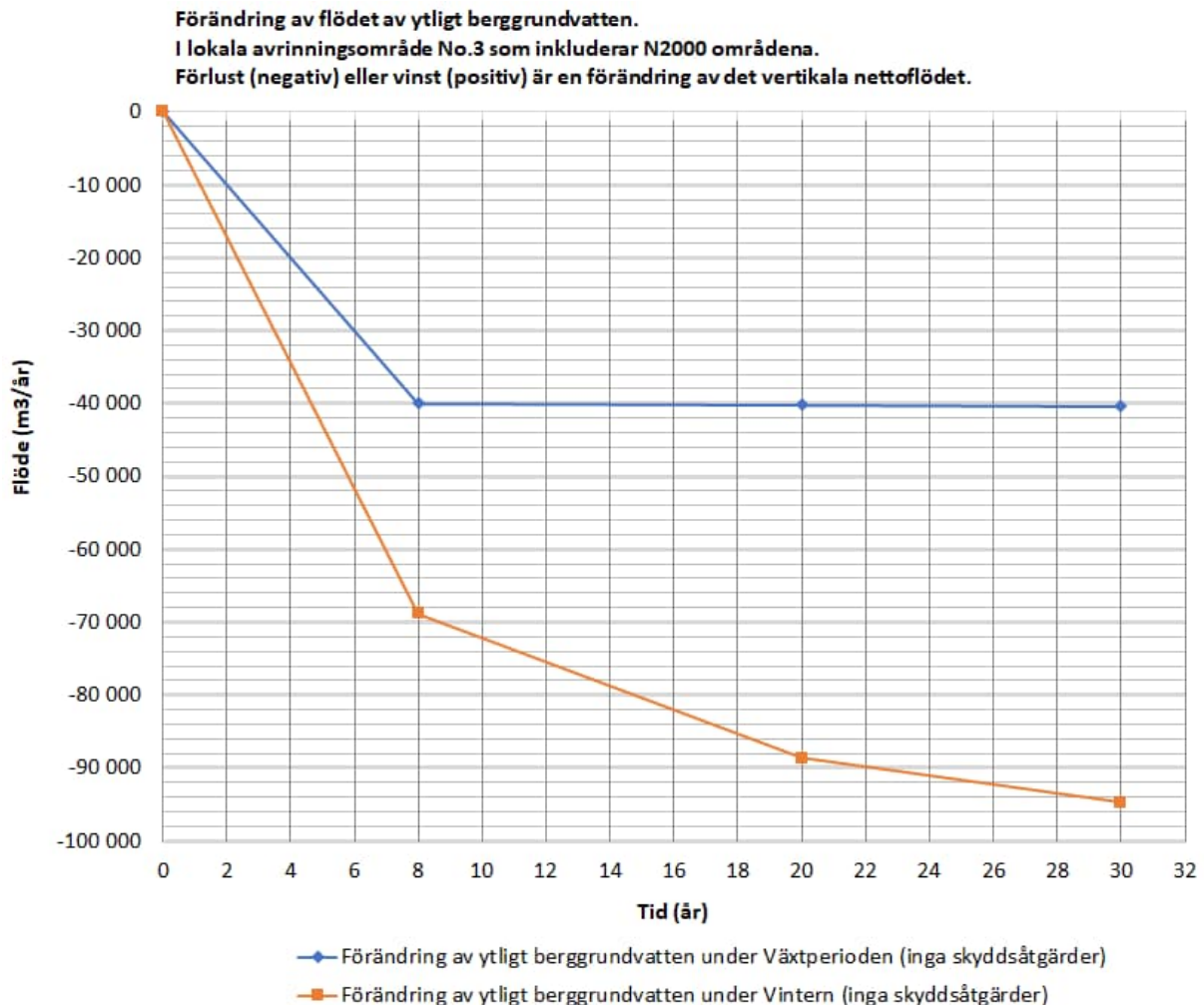
Med avseende på ytligt berggrundvatten plottas i Figur 8-6 förändring i nettoflöde i det lokala avrinningsområdet No.3 mot tid, för de olika studerade situationerna (år 0, år 8, år 20, år 30) för situationer utan skyddsåtgärder. Av figuren framgår det att förändringen (förlusten) av ytligt berggrundvatten i det studerade området sker före år 8. Efter år 8 så förändras förlusten av ytligt berggrundvatten under växtperioden mycket litet. Förändringen (förlusten) sker när den djupa Pall 2 etableras i File hajdar dagbrott. Redan vid år 8 är denna pall relativt stor och täcker då ca 30 hektar. Orsaken till att förlusten är liten efter år 8 är att efter år 8 utvidgas dagbrottet nästan enbart åt norr, inte åt söder, och inte mot Natura 2000-områdena. När dagbrottet utökas efter år 8 sker de nya förlusterna av berggrundvatten under växtperioden huvudsakligen i andra områden tex norrut. Om vi väljer att studera berggrundvatten under vintern, så visar Figur 8-6 att förlusten av berggrundvatten under vintern ökar allteftersom dagbrottet görs större. Detta beror på att grundvattensituationen under vintern är annorlunda än grundvattensituationen under växtperioden, under sommaren är grundvattennivåerna låga, under vintern är grundvattennivåerna betydligt högre.

Syftet med skyddsåtgärden infiltrationen av grundvatten i brunnar är att kompensera för förlusten av ytligt berggrundvatten under växtperioden i Natura 2000-områdena söder om File hajdar dagbrott. Vad som är intressant med Figur 8-6 är att den visar att förlusten av ytligt berggrundvatten under växtperioden inte förändras tydligt efter år 8. Detta betyder att mängden infiltrerat vatten inte behöver ökas efter år 8. Inte med avseende på förlusten av det ytliga berggrundvattnet.

De beräknade påverkansområdena som har presenterats i de tidigare sektionerna har beräknats för ett djupare berggrundvatten, baserat på ett med de olika lagrens transmissivitet viktat medelvärde av de simulerade grundvattennivåerna i olika lager mellan djupen 7.5m och 47 m. Påverkansområdena indikerar att dagbrottets utökning influerar den djupare grundvattensituationen söder om dagbrottet, och att det påverkade området ökar något i storlek även efter år 8. Därför kan det vara rimligt att öka mängden infiltrerat vatten med tiden och att öka antalet infiltrationsbrunnar från en brunn till två brunnar när Pall2 i dagbrottet får en viss storlek. Detta diskuteras i Sektion 8.7. Detta demonstreras också av simuleringarna med skyddsåtgärder.

Figur 8-6 visar att ett rimligt infiltrationsflöde är ungefär 40 000 m<sup>3</sup>/år, eftersom detta flöde motsvarar förlusten av ytligt berggrundvatten. När två infiltrationsborrhål används ökas detta flöde till 2 x 40 000 = 80 000 m<sup>3</sup>/år (totalt för två borrhål). Den infiltrerade volymen blir då

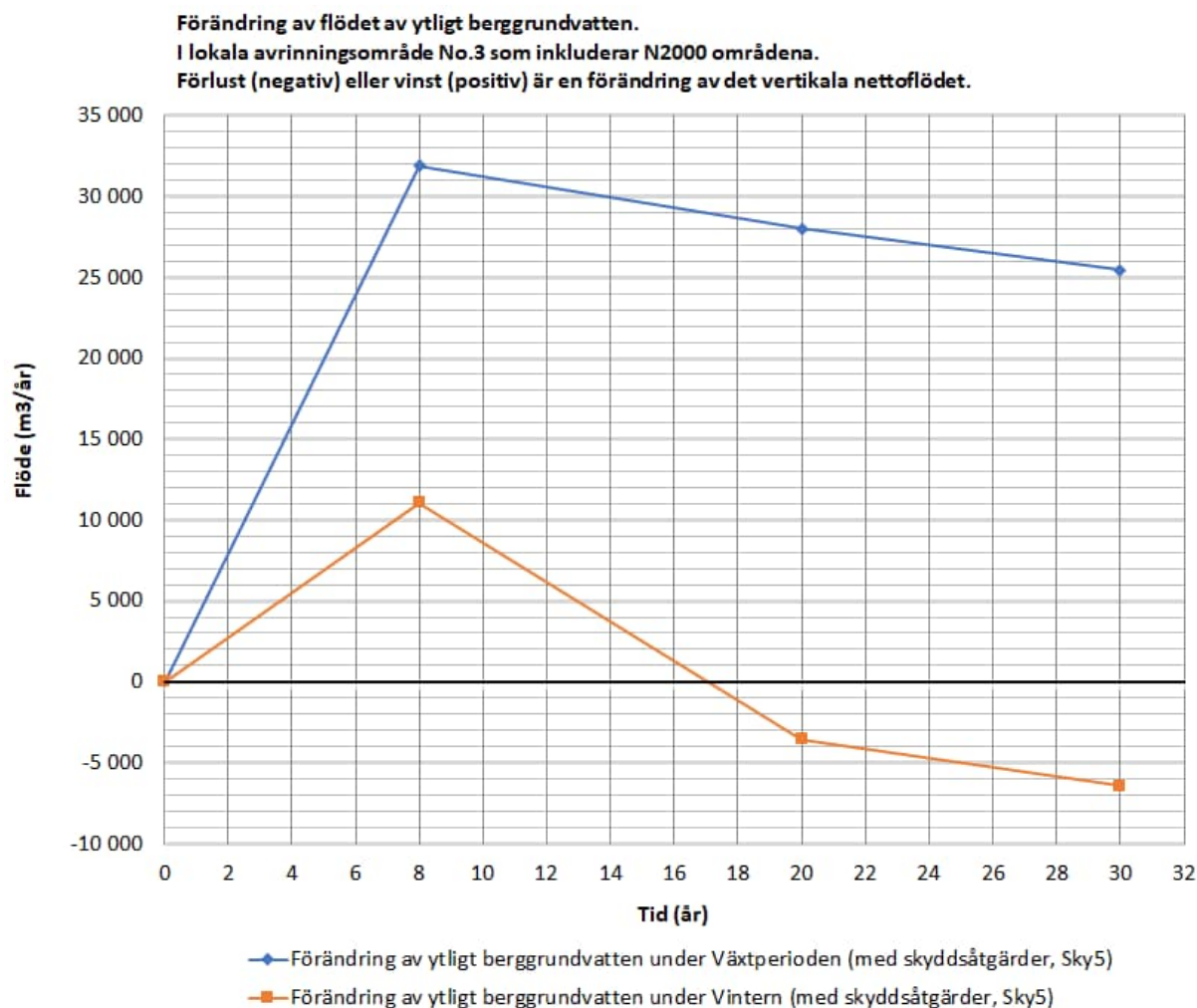
dubbelt så stor som den beräknade förlusten av ytligt berggrundvatten under växtsäsongen (enligt Figur 8-6).



Figur 8-6 Figuren visar förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområdet No.3 i förhållande till den tillståndsgivna situationen, utan skyddsåtgärder. Med avseende på ytligt berggrundvatten plottas i figuren förändring i nettoflöde i det lokala avrinningsområdet No.3 mot tid, för de olika studerade situationerna (år 8, år 20, år 30), för situationer utan skyddsåtgärder. Ett negativt flöde är en förlust för det studerade lokala avrinningsområdet. Ett positivt flöde är en vinst för det studerade lokala avrinningsområdet.

Med avseende på ytligt berggrundvatten plottas i Figur 8-7 förändring i nettoflöde i det lokala avrinningsområdet No.3 mot tid, för de olika studerade situationerna (år 0, år 8, år 20, år 30) för situationer med skyddsåtgärder (injektering och tre infiltrationsbrunnar). Av figuren framgår det att skyddsåtgärderna fungerar väl, det blir ingen förlust av ytligt berggrundvatten under växtperioden i det studerade området. Istället blir det en vinst av ytligt berggrundvatten under växtperioden. För vinterperioden blir det en vinst vid år 8, men en förlust vid år 20 och år 30.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 8-7 Figuren visar förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområdet No.3 i förhållande till den tillståndsgivna situationen, med skyddsåtgärder. Med avseende på ytligt berggrundvatten plottas i figuren förändring i nettoflöde i det lokala avrinningsområdet No.3 mot tid, för de olika studerade situationerna (år 8, år 20, år 30), för situationer med skyddsåtgärder. Ett negativt flöde är en förlust för det studerade lokala avrinningsområdet. Ett positivt flöde är en vinst för det studerade lokala avrinningsområdet.

Med avseende på det ytliga berggrundvattnet redovisas nedan i Tabell 8-1 förändringen av nettoflöde för hela året i det lokala avrinningsområdet No.3, för olika beräkningsfall. Förändringen redovisas i m<sup>3</sup> per år och i procent av nettonederbörden över det studerade avrinningsområdet (222 mm/år). Skyddsåtgärder är de som tidigare diskuterats (injektering och infiltration i två brunnar). Vad tabellen främst visar är att i jämförelse med nettonederbörden är de beräknade förändringarna av nettoflöde (för hela året) i det studerade avrinningsområdet mycket små, även utan skyddsåtgärder. (Data från Appendix E, Sektion 20)

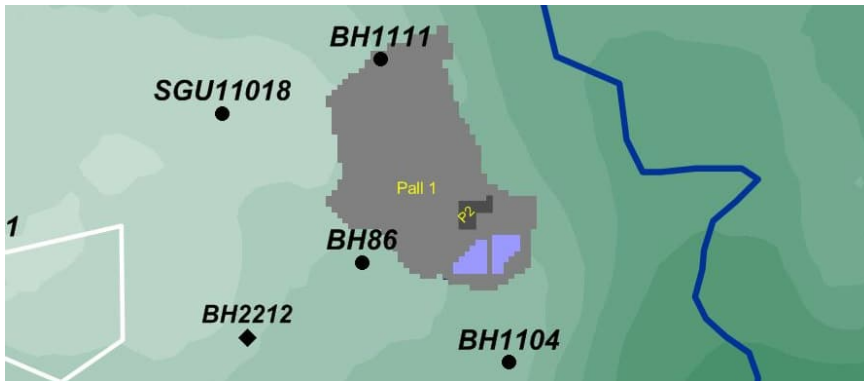
Tabell 8-1 Förändring av nettoflöde av ytligt berggrundvatten i det lokala avrinningsområdet No.3 för olika situationer. Den beräknade förändringen i nettoflöde i tabellen nedan avser hela året och inte bara växtsäsongen.

Scenario	Förändring	
	m <sup>3</sup> /år	% av nettonederbörden
Framtida situation år 8, inga skyddsåtgärder:	-108 000	-2.2
Framtida situation år 20, inga skyddsåtgärder:	-128 000	-2.6
Framtida situation år 30, inga skyddsåtgärder:	-135 000	-2.8
Framtida situation år 8, med skyddsåtgärder (Sky5):	+11 000	+0.22
Framtida situation år 20, med skyddsåtgärder (Sky5):	-3 500	-0.07
Framtida situation år 30, med skyddsåtgärder (Sky5):	-6 500	-0.13
Framtida situation 10 år efter avslutad verksamhet, utan skyddsåtgärder:	+1 000	+0.02
Framtida situation 80 år efter avslutad verksamhet, utan skyddsåtgärder:	+98 000	+2.0

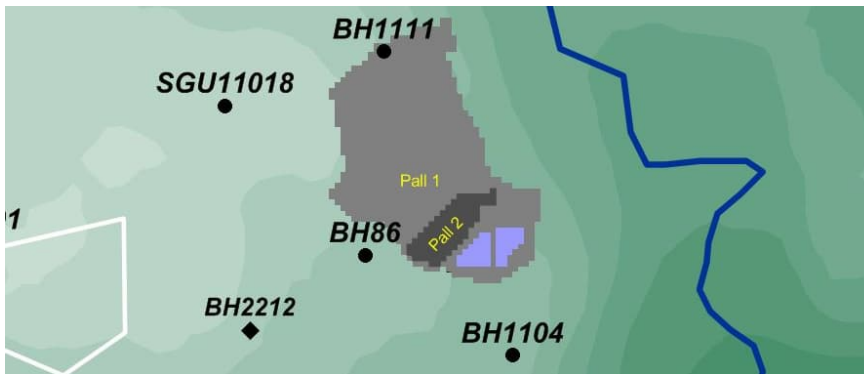
## 8.7 Diskussion kring beräknade grundvattenflöden och storleken på Pall 2 i File hajdar dagbrott

Diskussionerna i denna sektion avser situationer utan skyddsåtgärder. Storleken på den framtida Pall 2 i File hajdar dagbrott är av stor betydelse för hur det framtida dagbrottet påverkar den omgivande grundvattensituationen, särskilt för situationen utan skyddsåtgärder. Pall 2 är av stor betydelse eftersom Pall 2 går ned till nivån +5 möh, vilket är betydligt djupare än Pall 1 som går ned till nivån +20 möh. Som nämnts i föregående sektion (se Figur 8-6) sker den stora förändringen (förlusten) av ytligt berggrundvatten i det lokala avrinningsområdet No.3 (se Figur 19-5) före år 8. Efter år 8 så förändras förlusten av ytligt berggrundvatten under växtperioden mycket litet (i det studerade avrinningsområdet). Förändringen (förlusten) sker när den djupa Pall 2 etableras i File hajdar dagbrott. Redan vid år 8 är denna pall relativt stor och täcker då ca 30 hektar (i modellen 33 hektar).

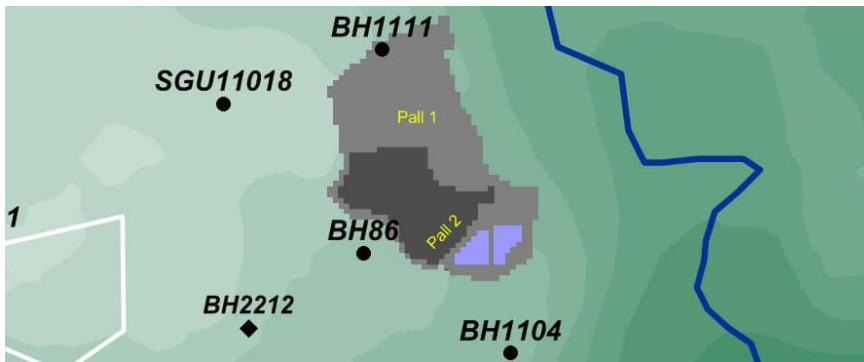
Vi har analyserat betydelsen av storleken på Pall 2 före år 8, med avseende på inflödet till File hajdar dagbrott (utan skyddsåtgärder) och med avseende på förändringen (förlusten) av ytligt berggrundvatten i det studerade lokala avrinningsområdet No.3 (Metodiken diskuteras i Sektion 19.) Simuleringarna med en mindre Pall 2 baseras huvudsakligen på situationen år 8. För att enbart simulera effekten av olika storlek på Pall 2 har samma storlek på Pall 1 använts i dessa simuleringar. Det är dock rimligt att anta att i verkligheten kommer Pall 1 att utökas samtidigt som Pall 2 utökas. Pall 1 har i dessa simuleringar definierats med samma storlek som för situationen år 8. Mindre storlekar på Pall 2 har simulerats, se Situation B Figur 8-8, och Situation C Figur 8-9, och Situation år 8 Figur 8-10.



Figur 8-8 Analys av storleken på Pall 2. Situation B. Area Pall 2= 2.4 hektar.

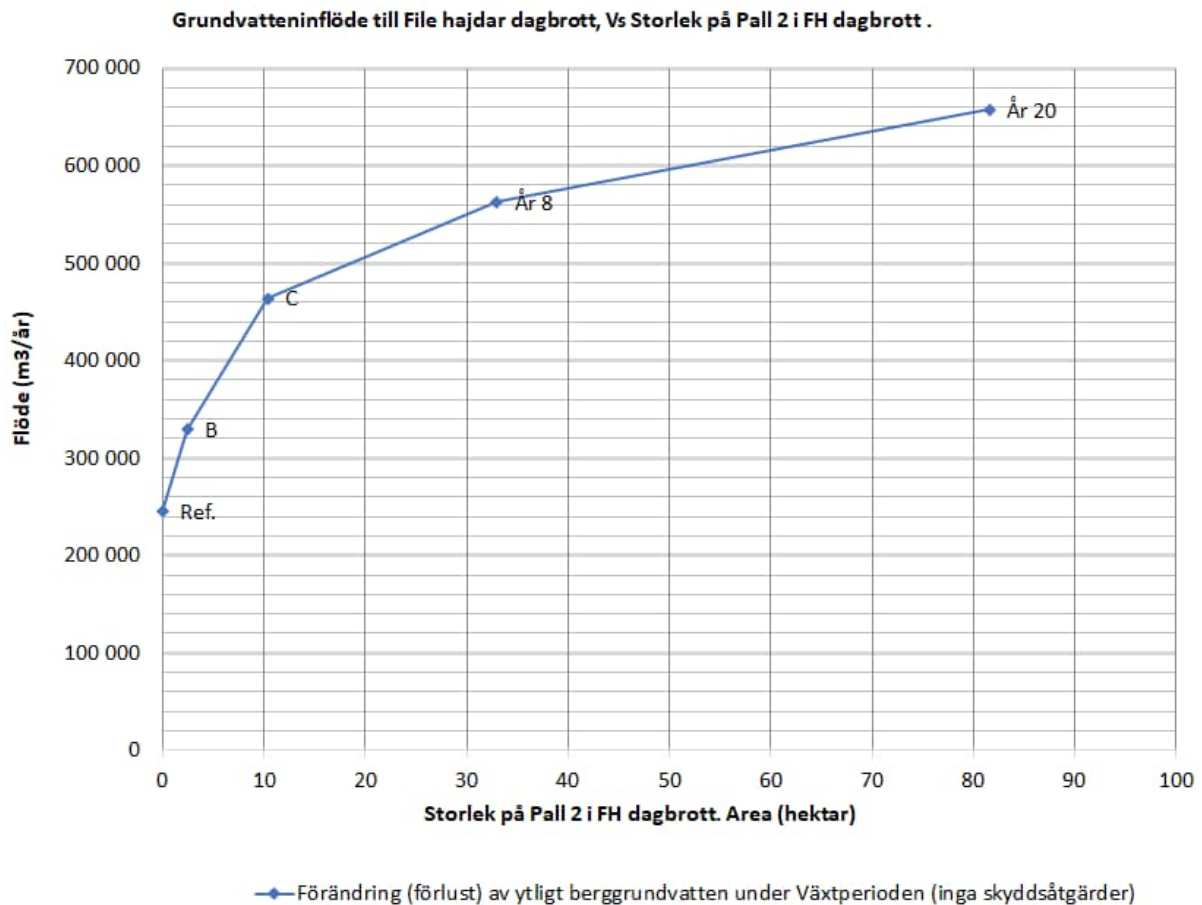


Figur 8-9 Analys av storleken på Pall 2. Situation C. Area Pall 2= 10.4 hektar.



Figur 8-10 Analys av storleken på Pall 2. Situation år 8. Area Pall 2= 33 hektar.

Det beräknade inflödet till File hajdar dagbrott (utan skyddsåtgärder) visas i Figur 8-11. Situationerna B och C är situationerna med en liten storlek på Pall 2 (Se Figur 8-8, Figur 8-9). Texten "Ref." i figuren markerar referenssituationen som är den tillståndsgivna situationen. De studerade situationerna inkluderar inga skyddsåtgärder. Som framgår av figuren har grundvatteninflödet till dagbrottet ökat betydligt (nära en fördubbling) då storleken på Pall 2 är ca 10 hektar, och Pall 1 har samma storlek som för år 8 (Situation C).

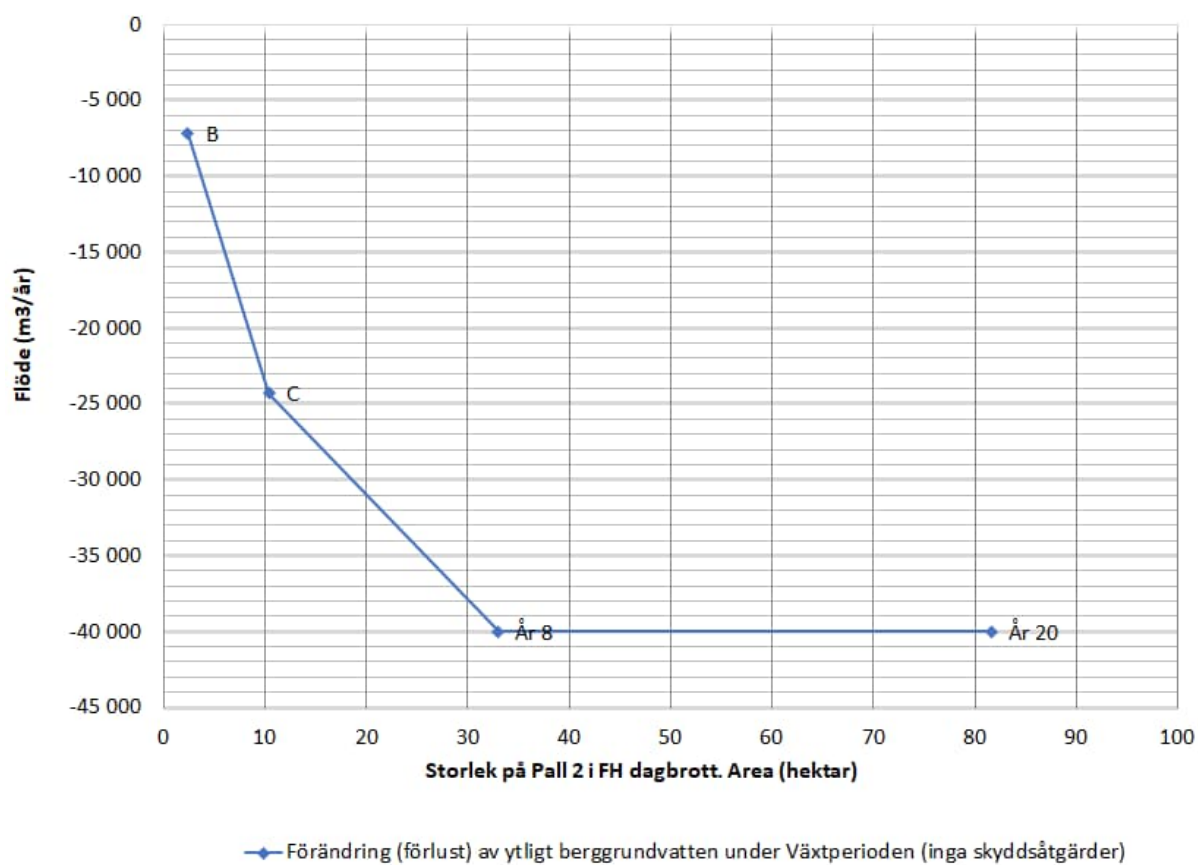


*Figur 8-11 Beräknat (simulerat) grundvatteninflödet till File hajdar dagbrott (utan skyddsåtgärder). Situationerna B och C är situationerna med en liten storlek på Pall 2 (Se Figur 8-8, Figur 8-9). Texten "Ref." i figuren markerar referenssituationen som är den tillståndsgivna situationen. De studerade situationerna inkluderar inga skyddsåtgärder.*

Den beräknade förändringen (förlusten) av ytligt berggrundvatten i det studerade lokala avrinningsområdet No.3 under växtperioden visas i Figur 8-12. De studerade situationerna inkluderar inga skyddsåtgärder. Av figuren framgår det tex att en förlust på ca 20 000 m<sup>3</sup>/år erhålls då Pall 2 har en storlek på ca 10 hektar, och Pall 1 har samma storlek som för år 8 (Situation C). Figuren indikerar att skyddsåtgärder bör vara på plats då arean på Pall 2 närmar sig 10 till 20 hektar.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE

Förändring av flödet av ytligt berggrundvatten, Vs Storlek på Pall 2 i FH dagbrott .  
Pall 1 enligt situationen för år 8. Förändring i jämförelse med tillståndsgiven situation.  
Förändring avseende lokala avrinningsområde No.3 som inkluderar N2000 områdena.



Figur 8-12 Beräknad (simulerad) förändringen (förlust) av ytligt berggrundvatten under växtperioden i det studerade lokala avrinningsområdet No.3, utan skyddsåtgärder. Förändring i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. Situationerna B och C är situationerna med en liten storlek på Pall 2 (Se Figur 8-8, Figur 8-9). De studerade situationerna inkluderar inga skyddsåtgärder.

## 8.8 Påverkansområden – Succesiv utveckling

Hur påverkansområdena utvecklas med tiden visas i figurer nedan. Vi har valt ett gränsvärde som representerar en avsänkning av 0.65 m (vilket är samma sak som -0.65 m), eller en höjning av 0.65 m (vilket är samma sak som +0.65 m). Vi har valt detta gränsvärde för att det är medelvärdet av de två tidigare redovisade värden (0.3 m och 1 m). Genom att använda detta gränsvärde blir det bara en linje för varje studerad situation.

Påverkansområdena beräknas i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. Alltså:

Påverkan = Studerad\_framtida\_situation – Tillståndsgiven\_situation

Påverkansområdena beräknas för berggrundvatten, se Sektion 4.10.

### 8.8.1 Avsänkning - Vårsituation - April

Vi har valt att studera vårsituationen, april månad, då grundvattennivåerna sjunker från höga till låga nivåer.

Figur 8-13 Succesiv utveckling av vårsituationen (april), utan skyddsåtgärder.

Figur 8-14 Succesiv utveckling av vårsituationen (april), med skyddsåtgärder.

Figurerna visar succesiv utveckling av påverkansområden med gränsvärdet -0.65 m (avsänkning). Med tiden stiger vattennivån i Västra brottet, vilket höjer vattennivåerna, och pressar tillbaka påverkansområdena mot väster, men denna effekt är inte så stor för april månad, som karakteriseras av sjunkande grundvattennivåer.

#### Utan skyddsåtgärder

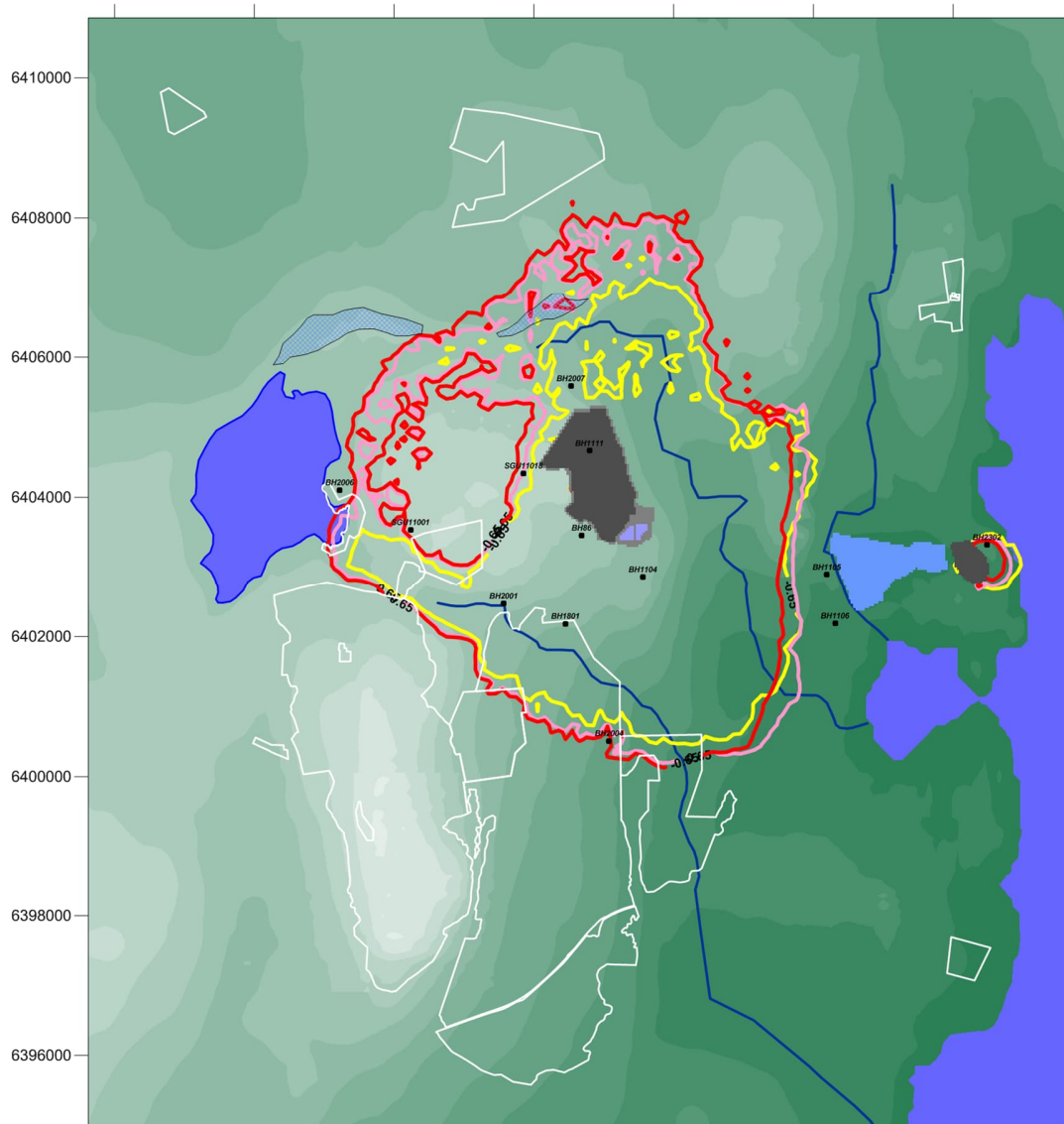
Påverkansområdena expanderar med tiden, utökningen av påverkansområdena är inte obetydlig mot nordväst efter år 8. Utökningen av områdena mot söder är små efter år 8. För Natura 2000-områdena är påverkan ungefär densamma för de olika tidpunkterna, dock sker en viss mycket liten ökning av påverkansområdena mot söder mellan år 8 och år 20.

#### Med skyddsåtgärder

Med skyddsåtgärder blir påverkan mot väster och söder tydligt annorlunda än för situationen utan skyddsåtgärder. För situationen år 8 är påverkansområdena små mot väste och söder. Vid år 20 har påverkansområdena expanderat ned mot söder och precis nått fram till Natura 2000-områdena. Med skyddsåtgärder är expansionen av påverkansområden mot väster mycket liten. Påverkansområdena betydligt mindre mot väster och söder då skyddsåtgärderna inkluderas.



GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 8-13 Succesiv utveckling av påverkansområden vid vårsituationen, utan skyddsåtgärder. Påverkansområdena avser berggrundvatten, jämförelse med tillståndsgiven situation.

April månad:

Påverkansområden med climateffekter.

Avsänkning

År 8: Gul linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 20: Skär linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 30: Röd linje (avsänkning) = - 0.65 m

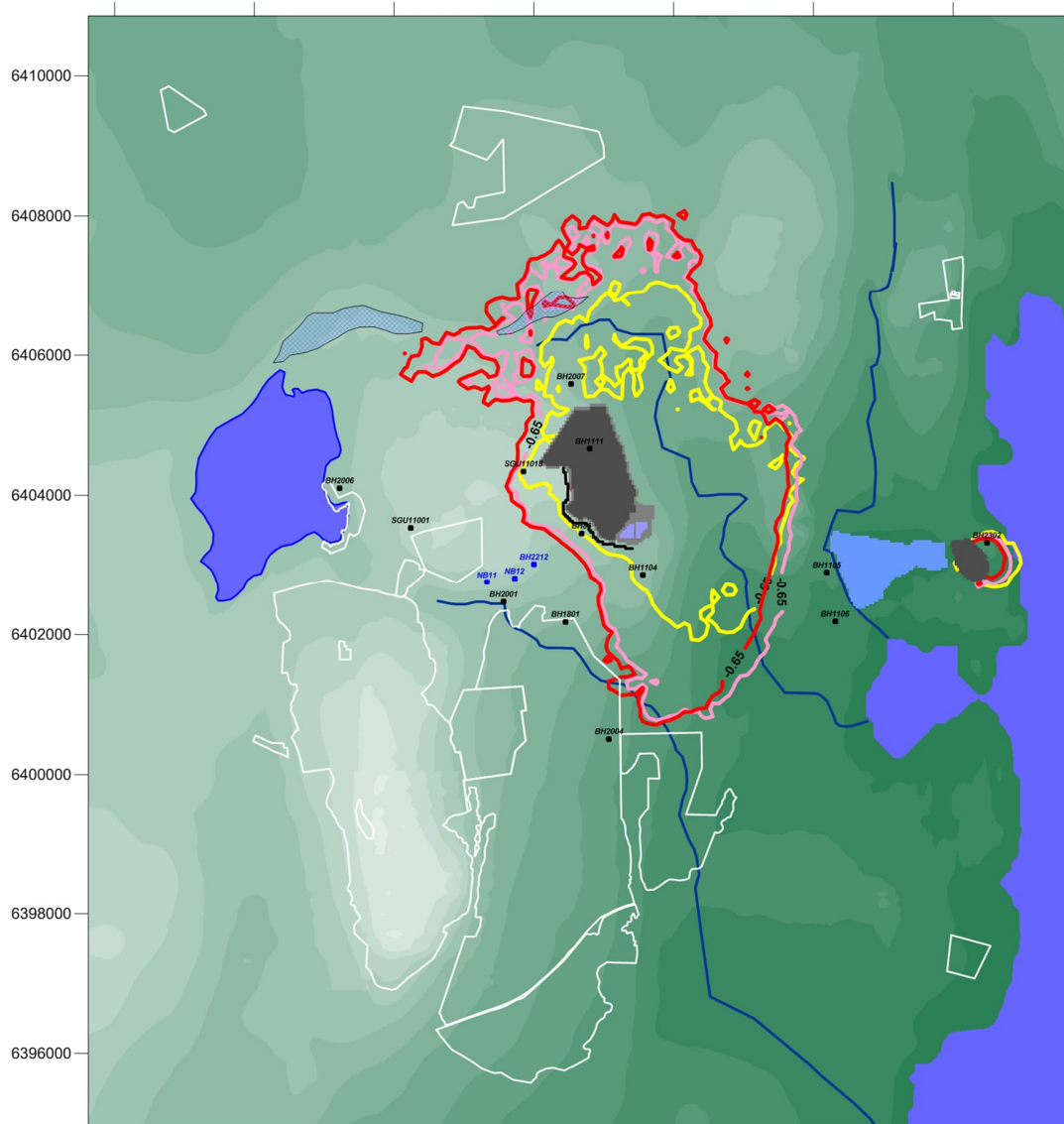
Endast avsänkning visas i figuren.

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastering.

Storlek på File hajdar dagbrottet enligt år 30. För år 8 och år 20 är dagbrottet mindre.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 8-14 Succesiv utveckling av påverkansområden vid vårsituationen, **med** skyddsåtgärder. Påverkansområdena avser berggrundvatten, jämförelse med tillståndsgiven situation.

April månad:

Påverkansområden med klimateffekter.

Avsänkning

År 8: Gul linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 20: Brandgul linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 30: Röd linje (avsänkning) = - 0.65 m

Endast avsänkning visas i figuren.

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastring.

Storlek på File hajdar dagbrottet enligt år 30. För år 8 och år 20 är dagbrottet mindre.

### 8.8.2 Avsänkning- Lågvattensituationen – Juli (sommar)

Vi har valt att studera lågvattensituationen under sommaren (juli) då grundvattennivåerna är som lägst. I vissa områden kan större påverkansområden uppkomma på våren och hösten, och även delvis på vintern, men då är grundvattennivåerna betydligt högre än under sommaren.

Figur 8-15 Succesiv utveckling av lågvattensituationen (juli), utan skyddsåtgärder.

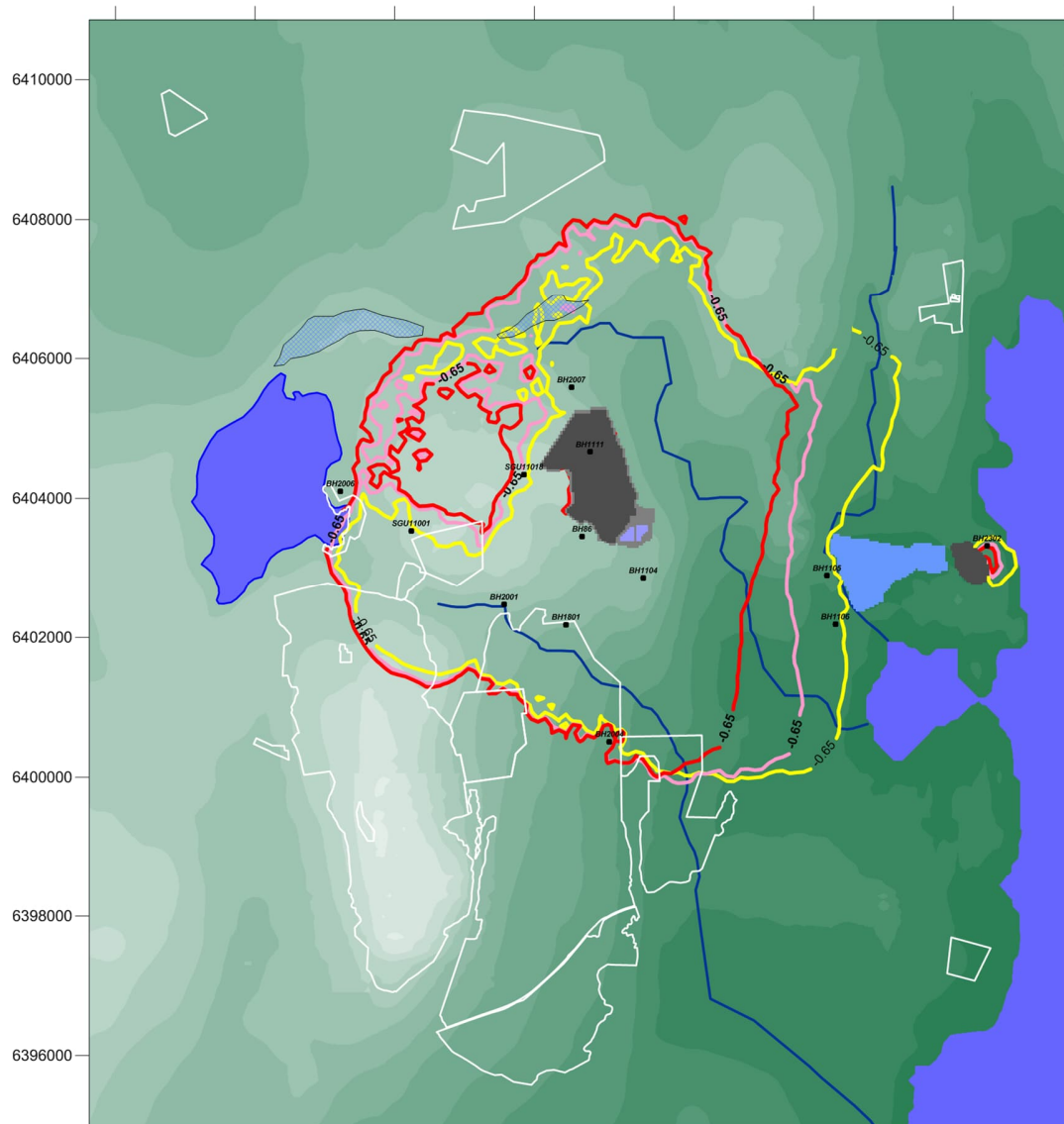
Figur 8-16 Succesiv utveckling av lågvattensituationen (juli), med skyddsåtgärder.

Figureerna visar succesiv utveckling av påverkansområden med gränsvärdet  $-0.65$  m (avsänkning). Notera att påverkansområdet är störst i början av de studerade tidpunkterna (år 8), eftersom vattennivån i Västra brottet då är låg. Med tiden stiger vattennivån i Västra brottet, vilket pressar tillbaka påverkansområdena mot väster. I de andra riktningarna expanderar påverkansområdena med tiden, utökningen av påverkansområdena är inte obetydlig mot nordväst efter år 8, men utökningen av områdena mot söder är små efter år 8.

För Natura 2000-områdena är påverkan ungefär densamma för de olika tidpunkterna, något lite större vid år 30. Det bör noteras att skillnaderna i storlek på påverkansområden söder om dagbrottet är mycket liten för de olika tidpunkterna. Detta stämmer tex väl med flödena för växtsäsongen som visas i Figur 8-6.

Den generella utvecklingen av påverkansområdena är ungefär densamma med och utan skyddsåtgärder, dock är påverkansområdena betydligt mindre mot väster och söder då skyddsåtgärderna inkluderas.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 8-15 Succesiv utveckling av påverkansområden vid lågvattensituationen, **utan** skyddsåtgärder. Påverkansområdena avser berggrundsvattennivå, jämförelse med tillståndsgiven situation.

Juli månad:

Påverkansområden med klimateffekter.

### Avsänkning

År 8: Gul linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 20: Skär linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 30: Röd linje (avsänkning) = - 0.65 m

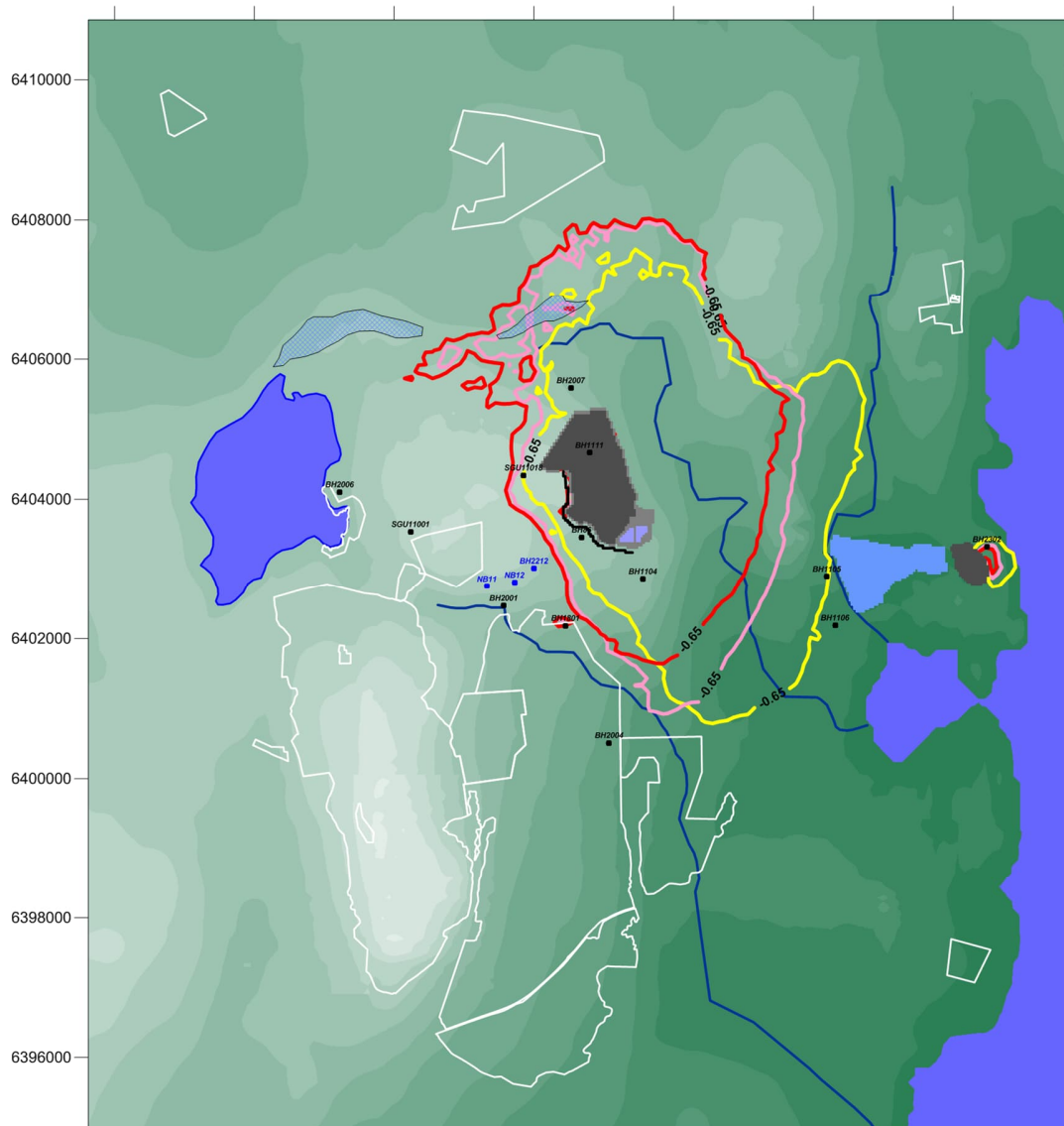
Endast avsänkning visas i figuren.

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastering.

Storlek på File hajdar dagbrottet enligt år 30. För år 8 och år 20 är dagbrottet mindre.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 8-16 Succesiv utveckling av påverkansområden vid lågvattensituationen, **med** skyddsåtgärder. Påverkansområdena avser berggrundsvattennivå, jämförelse med tillståndsgiven situation.

Juli månad:

*Påverkansområden med klimateffekter.*

### Avsänkning

År 8: Gul linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 20: Skär linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 30: Röd linje (avsänkning) = - 0.65 m

Endast avsänkning visas i figuren.

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastring.

Storlek på File hajdar dagbrottet enligt år 30. För år 8 och år 20 är dagbrottet mindre.

### 8.8.3 Avsänkning- Höstsituation - September

Vi har valt att studera höstsituationen, september månad, då grundvattennivåerna stiger från låga till höga nivåer.

Figur 8-17 Succesiv utveckling av höstsituationen (september), utan skyddsåtgärder.

Figur 8-18 Succesiv utveckling av höstsituationen (september), med skyddsåtgärder.

Figurerna visar succesiv utveckling av påverkansområden med gränsvärdet -0.65 m (avsänkning). Med tiden stiger vattennivån i Västra brottet, vilket höjer vattennivåerna, och pressar tillbaka påverkansområdena mot väster.

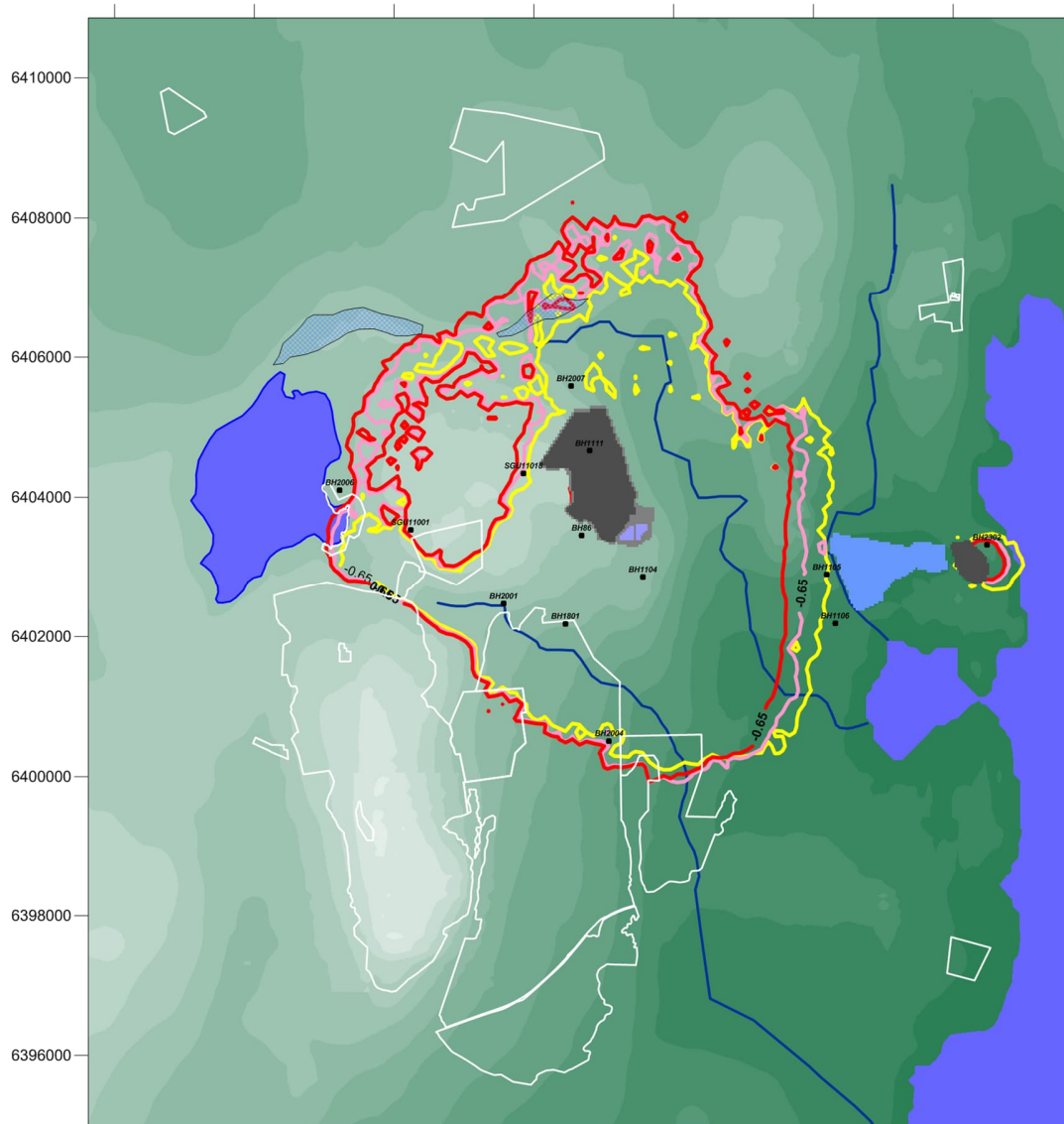
#### Utan skyddsåtgärder

Påverkansområdena expanderar med tiden, utökningen av påverkansområdena är inte obetydlig mot nordväst efter år 8. Utökningen av områdena mot söder är små efter år 8. För Natura 2000-områdena är påverkan ungefär densamma för de olika tidpunkterna, dock sker en mycket liten ökning av påverkansområdena mot södermed tiden.

#### Med skyddsåtgärder

Med skyddsåtgärder blir påverkan mot väster och söder tydligt annorlunda än för situationen utan skyddsåtgärder. För situationen år 8 är påverkansområdena små mot väste och söder. Vid år 20 har påverkansområdena expanderat mot söder ungefär halvvägs ned mot Natura 2000-områdena. Vid år 30 har påverkansområdena expanderat ytterligare mot söder och är nästan framme vid Natura 2000-områdena. Med skyddsåtgärder är expansionen av påverkansområden mot väster mycket liten. Vidare är påverkansområdena betydligt mindre mot väster och söder då skyddsåtgärdena inkluderas.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 8-17 Succesiv utveckling av påverkansområden vid höstsituationen, **utan** skyddsåtgärder. Påverkansområdena avser berggrundvattennivå, jämförelse med tillståndsgiven situation.

September månad:

Påverkansområden med klimateffekter.

Avsänkning

År 8: Gul linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 20: Skär linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 30: Röd linje (avsänkning) = - 0.65 m

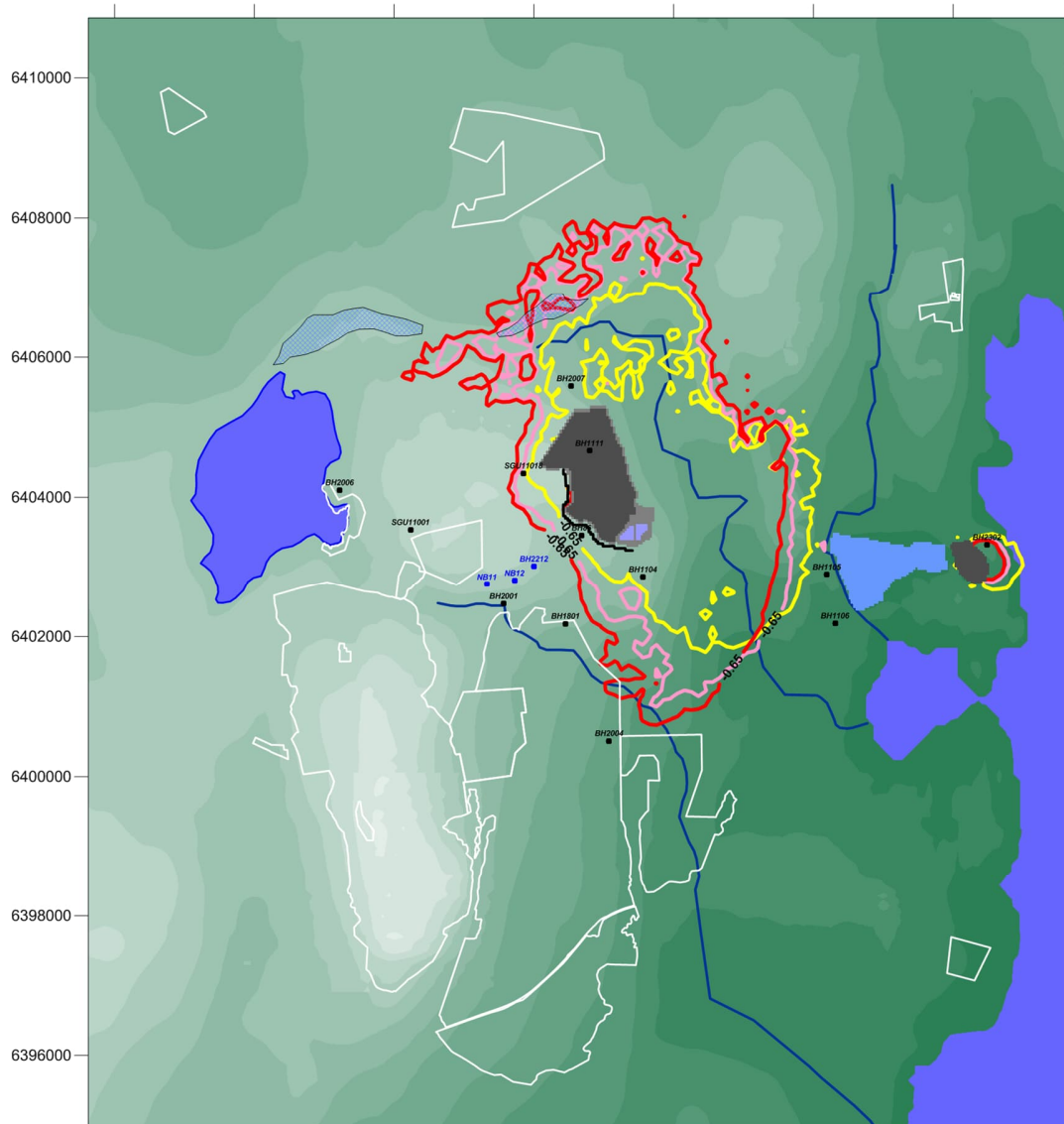
Endast avsänkning visas i figuren.

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastring.

Storlek på File hajdar dagbrottet enligt år 30. För år 8 och år 20 är dagbrottet mindre.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 8-18 Succesiv utveckling av påverkansområden vid höstsituationen, **med** skyddsåtgärder. Påverkansområdena avser berggrundsvattennivå, jämförelse med tillståndsgiven situation.

September månad:

Påverkansområden med klimateffekter.

### Avsänkning

År 8: Gul linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 20: Skär linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 30: Röd linje (avsänkning) = - 0.65 m

Endast avsänkning visas i figuren.

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastering.

Storlek på File hajdar dagbrottet enligt år 30. För år 8 och år 20 är dagbrottet mindre.



#### 8.8.4 Avsänkning- Högvattensituationen – December (vinter)

Vi har valt att studera högvattensituationen under vintern (december) då grundvattennivåerna är som högst och nettonederbörden stor.

Figur 8-19 Succesiv utveckling av högvattensituationen, utan skyddsåtgärder.

Figur 8-20 Succesiv utveckling av högvattensituationen, med skyddsåtgärder.

Figureerna visar succesiv utveckling av påverkansområden med gränsvärdet  $-0.65$  m (avsänkning). Med tiden stiger vattennivån i Västra brottet, vilket pressar tillbaka påverkansområdena mot väster, men denna effekt är ringa för högvattensituationen då nettonederbörd är stor.

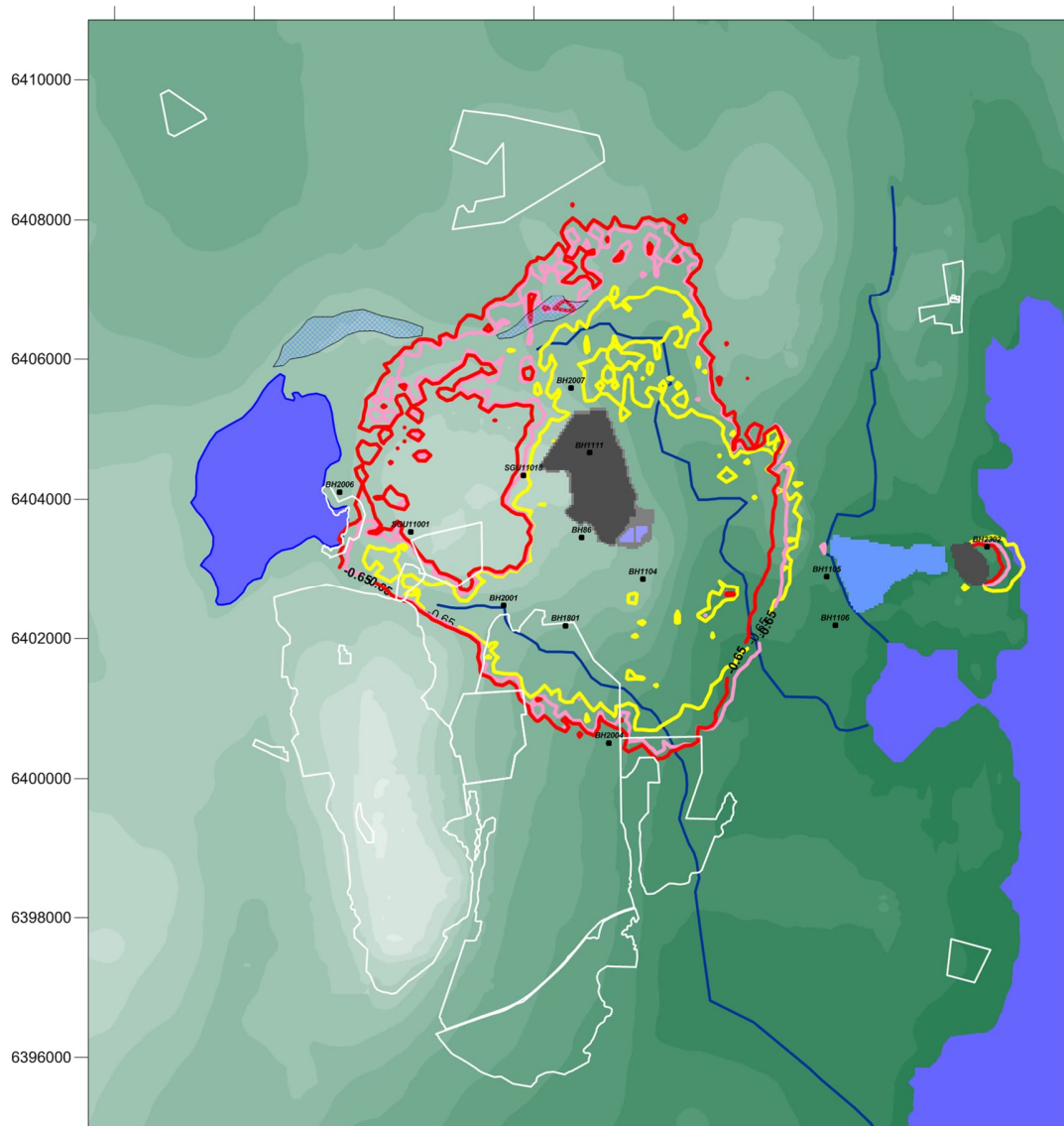
##### Utan skyddsåtgärder

I övriga riktningar expanderar påverkansområdena med tiden, utökningen av påverkansområdena är inte obetydlig mot nordväst efter år 8. Utökningen av områdena mot söder är små efter år 8, men större än för lågvattensituationen. För Natura 2000-områdena är påverkan ungefär densamma för de olika tidpunkterna, dock sker en viss liten (men tydlig) ökning av påverkansområdena mot söder med tiden. Detta stämmer med flödena för vintersäsongen som visas i Figur 8-6.

##### Med skyddsåtgärder

För vintersituationen (tex december) infiltreras inget vatten i infiltrationsbrunnarna. Skyddsåtgärderna har ändå en viss positiv påverkan eftersom injekteringen är på plats oavsett årstid, och de höjda vattennivåerna från hösten utgör en förbättring. Med skyddsåtgärder blir påverkan mot väster och söder tydligt annorlunda än för situationen utan skyddsåtgärder. För situationen år 8 är påverkansområdena små mot väste och söder. Vid år 20 har påverkansområdena expanderat ned mot söder och precis nått fram till Natura 2000-områdena. Med skyddsåtgärder är expansionen av påverkansområden mot väster mycket liten. Påverkansområdena betydligt mindre mot väster och söder då skyddsåtgärderna inkluderas.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 8-19 Succesiv utveckling av påverkansområden vid högvattensituationen, utan skyddsåtgärder. Påverkansområdena avser berggrundvattennivå, jämförelse med tillståndsgiven situation.

December månad:

Påverkansområden med klimateffekter.

Avsänkning

År 8: Gul linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 20: Skär linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 30: Röd linje (avsänkning) = - 0.65 m

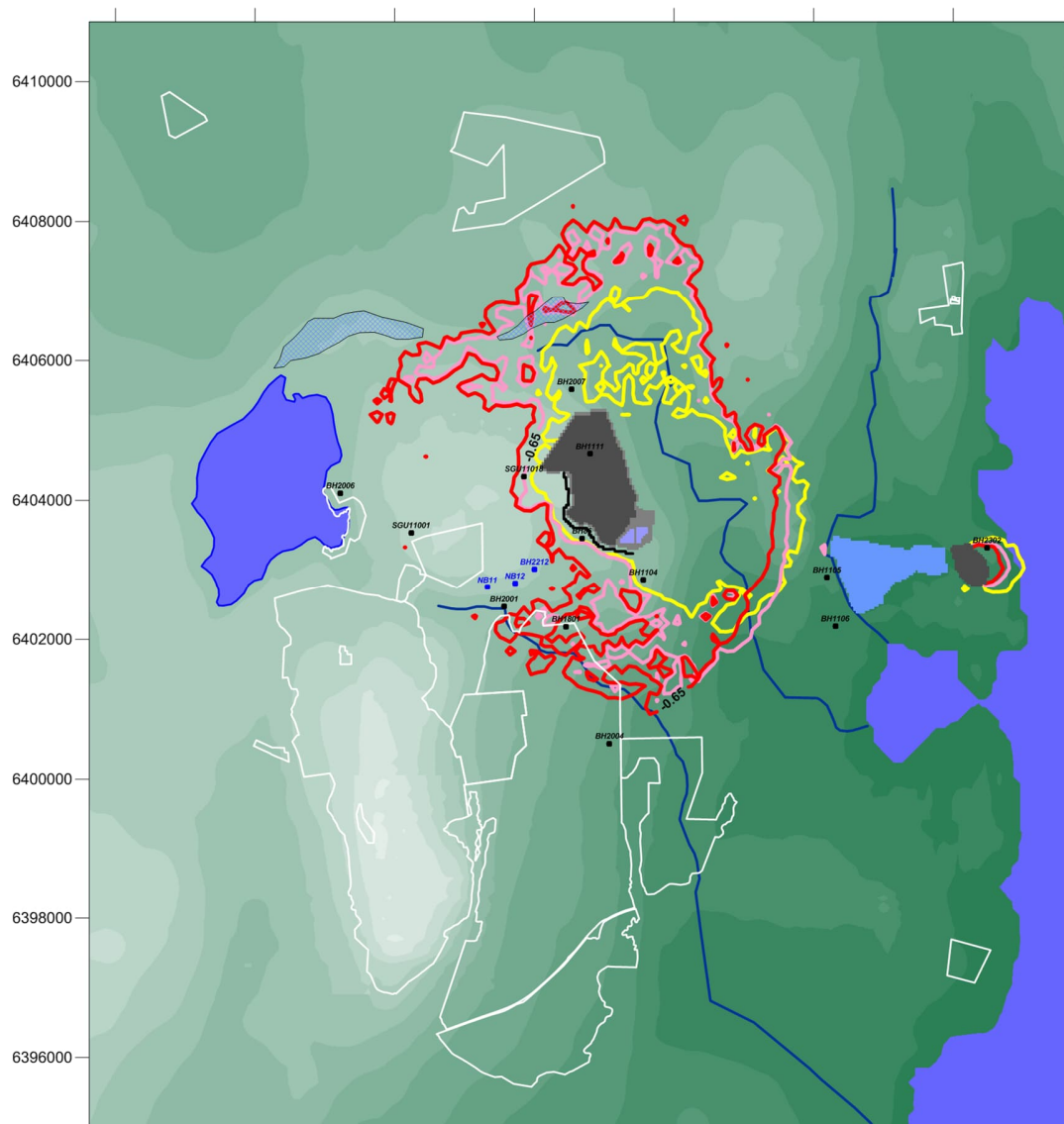
Endast avsänkning visas i figuren.

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastring.

Storlek på File hajdar dagbrottet enligt år 30. För år 8 och år 20 är dagbrottet mindre.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 8-20 Succesiv utveckling av påverkansområden vid högvattensituationen, **med** skyddsåtgärder. Påverkansområdena avser berggrundsvattennivå, jämförelse med tillståndsgiven situation.

December månad:

Påverkansområden med klimateffekter.

### Avsänkning

År 8: Gul linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 20: Skär linje (avsänkning) = - 0.65 m

År 30: Röd linje (avsänkning) = - 0.65 m

Endast avsänkning visas i figuren.

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastring.

Storlek på File hajdar dagbrottet enligt år 30. För år 8 och år 20 är dagbrottet mindre.

### 8.8.5 Höjning- Lågvattensituationen – Juli (sommar)

Vi har valt att studera lågvattensituationen under sommaren (juli) då grundvattennivåerna är som lägst.

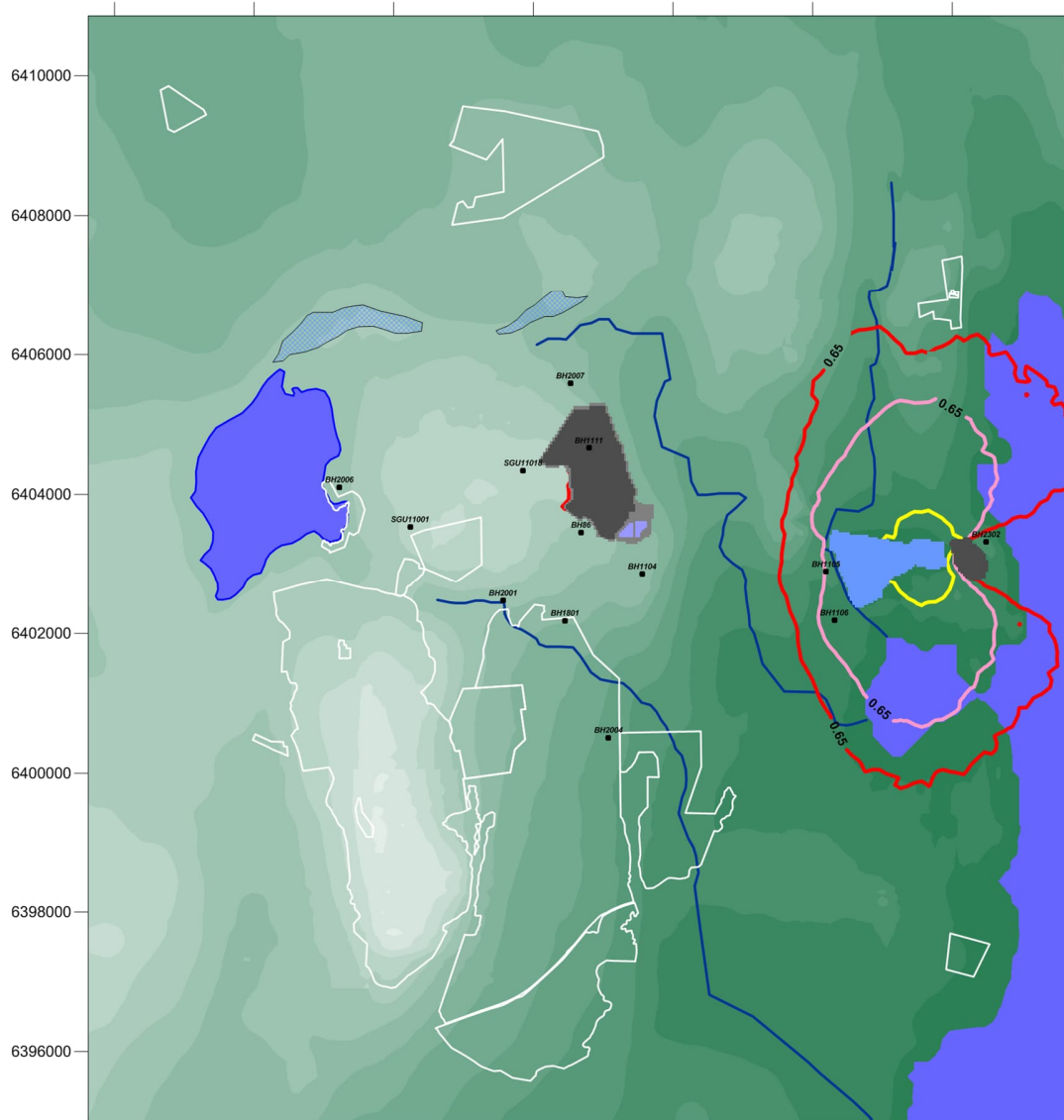
Figur 8-21 Succesiv utveckling av lågvattensituationen (juli), utan skyddsåtgärder.

Figur 8-22 Succesiv utveckling av lågvattensituationen (juli), med skyddsåtgärder.

Figureerna visar succesiv utveckling av påverkansområden med gränsvärdet +0.65 m (höjning). Höjning av berggrundvattennivåerna följer av den stigande vattennivån i Västra brottet, och en eventuell infiltration av berggrundvatten söder om File hajdar dagbrott. Skillnaden mellan situationerna med och utan skyddsåtgärder är mycket små, förutom för området kring infiltrationsbrunnarna. Området med förhöjda berggrundvattennivåer expanderar i alla riktningar från Västra brottet, med tiden. Minst är området med förhöjda berggrundvattennivåer vid år 8, och betydligt mycket större vid år 20. Expansionen mot väster är av störst intresse, eftersom höjda berggrundvattennivåer väster om Västra brottet underlättar för regionens produktionsbrunnar och minskar påverkan från utökningen av File hajdar dagbrott. Kring infiltrationsbrunnarna höjs berggrundvattennivåerna tydligt inom ett relativt stort område när brunnarna används för infiltration.

Området med förhöjda berggrundvattennivåer kring Västra brottet är nästan identiskt för låg- och högvattensituationerna. Notera dock att det är påverkansområdena som är nästan identiska, berggrundvattennivåerna är de inte. Berggrundvattennivåerna är mycket lägre under sommaren (lågvattensituationen) än under vintern (högvattensituationen).

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 8-21 Succesiv utveckling av påverkansområden vid lågvattensituationen, **utan** skyddsåtgärder. Påverkansområdena avser berggrundvattennivå, jämförelse med tillståndsgiven situation.

Juli månad:

Påverkansområden med klimateffekter.

Höjning

År 8: Gul linje (avsänkning) = + 0.65 m

År 20: Skär linje (avsänkning) = + 0.65 m

År 30: Röd linje (avsänkning) = + 0.65 m

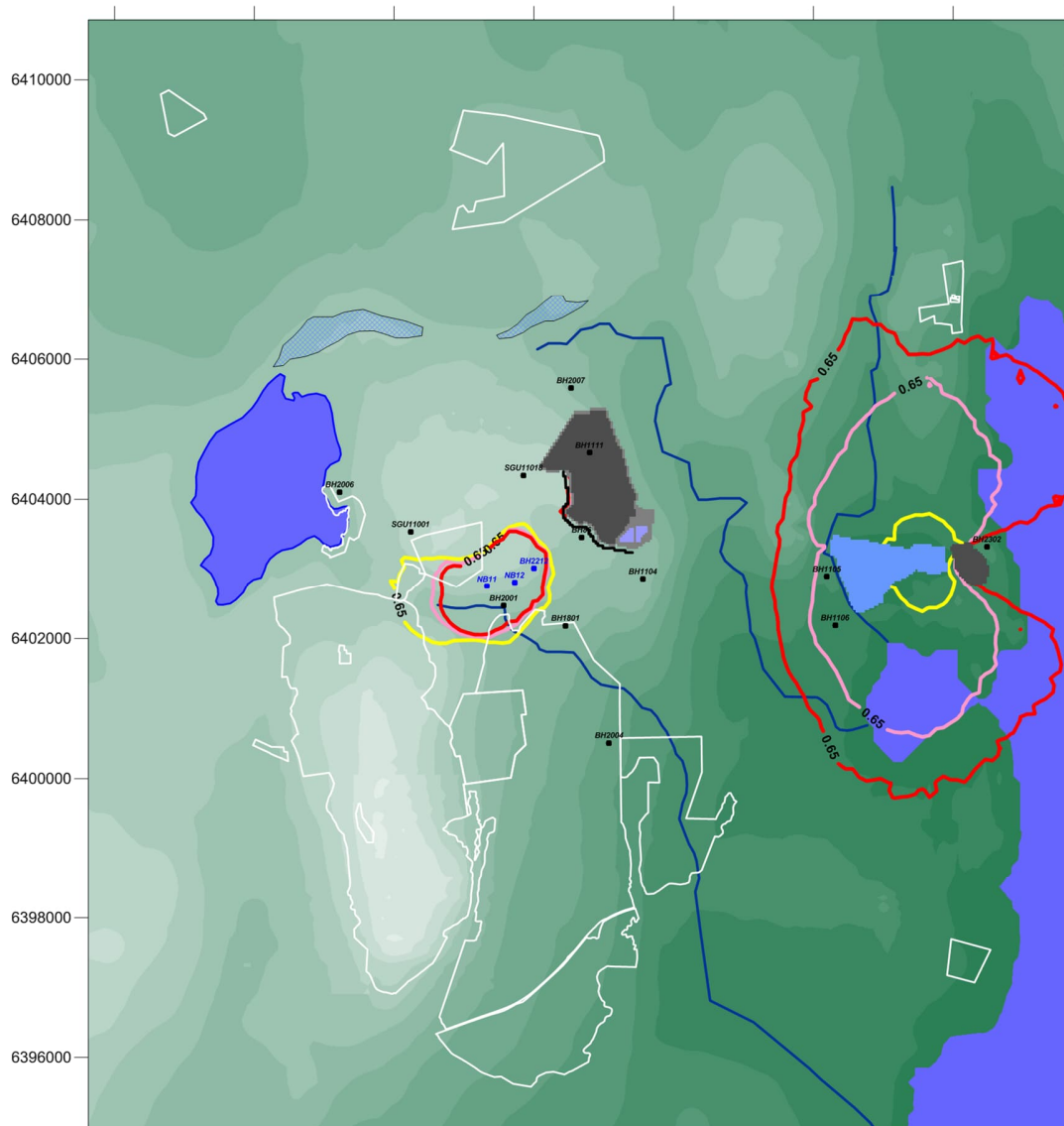
Endast avsänkning visas i figuren.

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastring.

Storlek på File hajdar dagbrottet enligt år 30. För år 8 och år 20 är dagbrottet mindre.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 8-22 Succesiv utveckling av påverkansområden vid lågvattensituationen, **med** skyddsåtgärder. Påverkansområdena avser berggrundsvattennivå, jämförelse med tillståndsgiven situation.

Juli månad:

Påverkansområden med klimateffekter.

### Höjning

År 8: Gul linje (avsänkning) = + 0.65 m

År 20: Skär linje (avsänkning) = + 0.65 m

År 30: Röd linje (avsänkning) = + 0.65 m

Endast avsänkning visas i figuren.

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastering.

Storlek på File hajdar dagbrottet enligt år 30. För år 8 och år 20 är dagbrottet mindre.

### 8.8.6 Höjning- Högvattensituationen – December (vinter)

Vi har valt att studera högvattensituationen under vintern (december) då grundvattennivåerna är som högst och nettonederbörden stor.

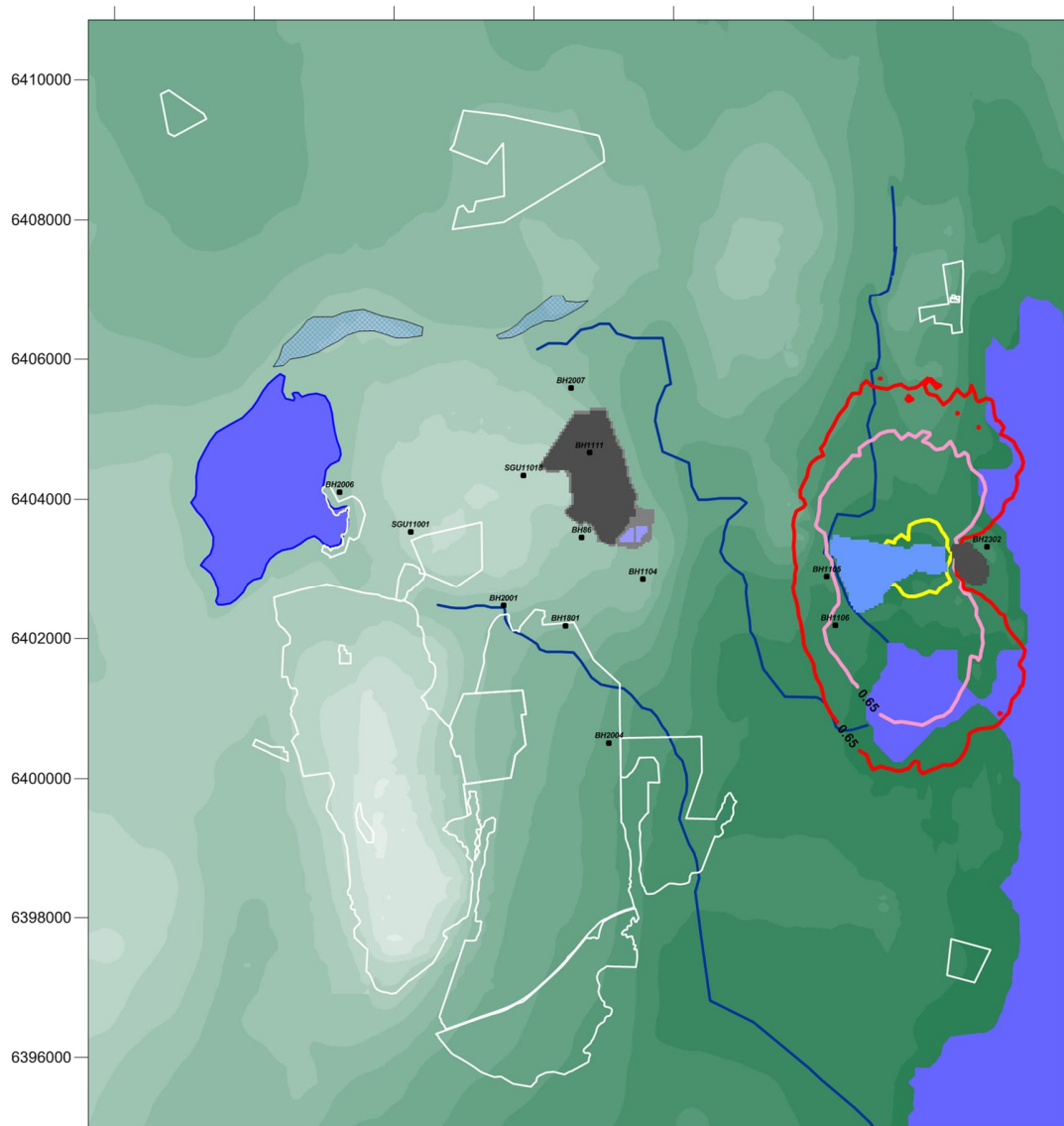
Figur 8-23 Succesiv utveckling av högvattensituationen, utan skyddsåtgärder.

Figur 8-24 Succesiv utveckling av högvattensituationen, med skyddsåtgärder.

Figureerna visar succesiv utveckling av påverkansområden med gränsvärdet +0.65 m (höjning). Höjning av berggrundvattennivåerna följer av den stigande vattennivån i Västra brottet. För högvattensituationen (december månad) sker ingen infiltration och därför erhålls inga förhöjda grundvattennivåer vid infiltrationsbrunnarna. Skillnaden mellan situationerna med och utan skyddsåtgärder blir därför minimala. Området med förhöjda berggrundvattennivåer expanderar i alla riktningar från Västra brottet, med tiden. Minst är området med förhöjda berggrundvattennivåer vid år 8, och betydligt mycket större vid år 20. Expansionen mot väster är av störst intresse, eftersom höjda berggrundvattennivåer väster om Västra brottet underlättar för regionens produktionsbrunnar och minskar påverkan från utökningen av File hajdar dagbrott.

Området med förhöjda berggrundvattennivåer kring Västra brottet är nästan identiskt för låg- och högvattensituationerna. Notera dock att det är påverkansområdena som är nästan identiska, berggrundvattennivåerna är de inte. Berggrundvattennivåerna är mycket lägre under sommaren (låg-vattensituationen) än under vintern (högvattensituationen).

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 8-23 Succesiv utveckling av påverkansområden vid högvattensituationen, *utan* skyddsåtgärder. Påverkansområdena avser berggrundvattennivå, jämförelse med tillståndsgiven situation.

December månad:

Påverkansområden med klimateffekter.

### Höjning

År 8: Gul linje (avsänkning) = + 0.65 m

År 20: Skär linje (avsänkning) = + 0.65 m

År 30: Röd linje (avsänkning) = + 0.65 m

Endast avsänkning visas i figuren.

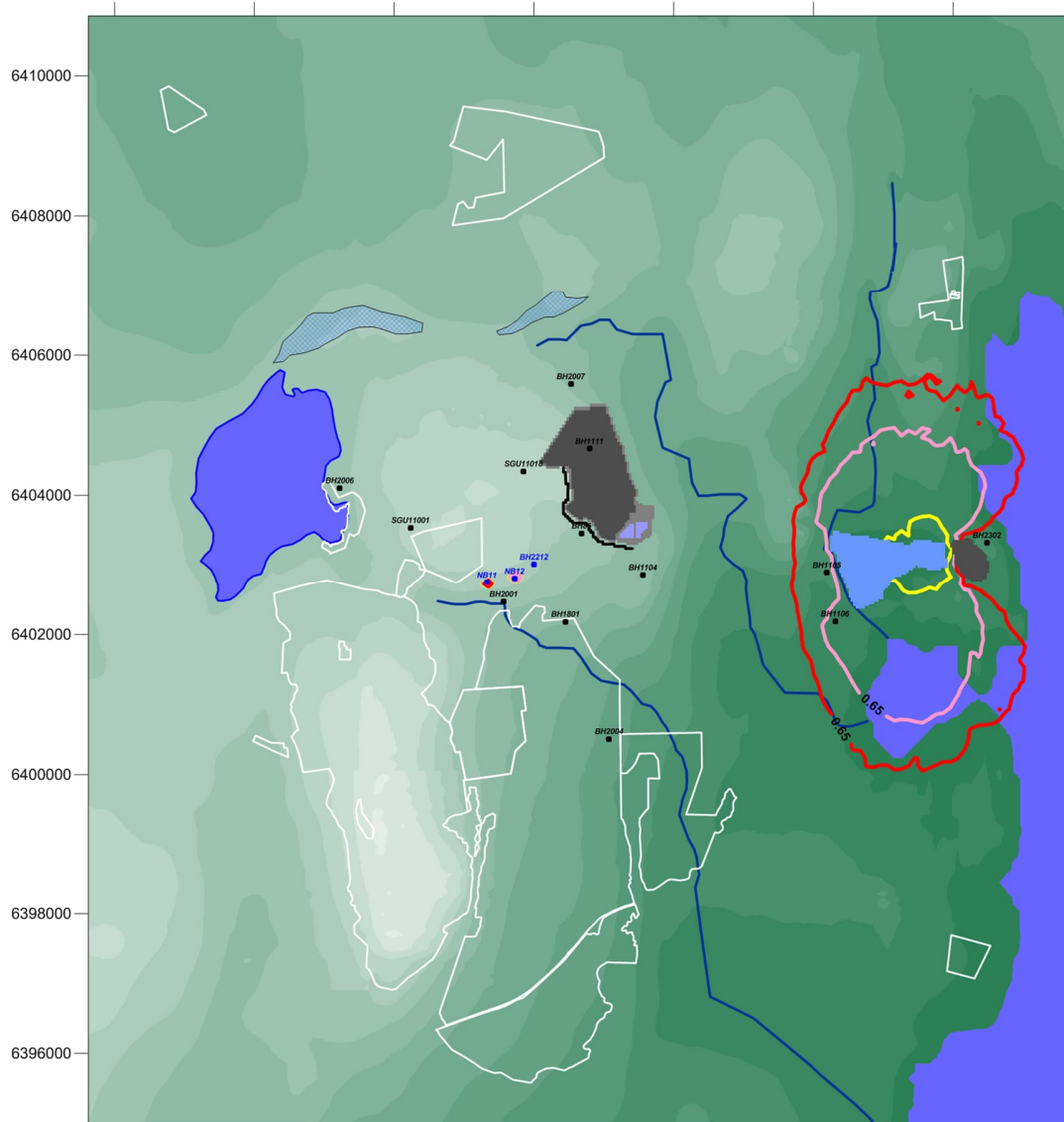
Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastering.

Storlek på File hajdar dagbrottet enligt år 30. För år 8 och år 20 är dagbrottet mindre.



GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 8-24 Succesiv utveckling av påverkansområden vid högvattensituationen, **med** skyddsåtgärder. Påverkansområdena avser berggrundsvattennivå, jämförelse med tillståndsgiven situation.

December månad:

Påverkansområden med klimateffekter.

Höjning

År 8: Gul linje (avsänkning) = + 0.65 m

År 20: Skär linje (avsänkning) = + 0.65 m

År 30: Röd linje (avsänkning) = + 0.65 m

Endast avsänkning visas i figuren.

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastering.

Storlek på File hajdar dagbrottet enligt år 30. För år 8 och år 20 är dagbrottet mindre.

## 9. Situationen efter att den ansökta verksamheten har avslutats

### 9.1 Allmänt

Då Heidelberg Materials i framtiden avslutar brytningen i File hajdar dagbrott kommer länshållningen från File hajdar dagbrott att upphöra. Detta kommer att leda till att en vattenyta bildas i dagbrottet (efter en vintersäsong). Så småningom utvecklas dagbrottet till en sjö. Situationen som diskuteras i detta kapitel är den framtida situationen då File hajdar dagbrott omvandlas till en sjö.

Det kommer att ta många år att vattenfylla det framtida File hajdar dagbrott (utbrudet enligt ansökan) av följande orsaker:

- Det framtida dagbrottet är betydligt större och djupare än det nuvarande dagbrottet.
- Dagbrottet ligger högt upp i landskapet, ytvattentillströmningen till dagbrottet är mycket liten.
- Grundvatteninflödet är relativt litet när vattennivån är hög i dagbrottet.
- Avdunstningen från dagbrottet blir stor när det bildas en fri vattenyta i dagbrottet.

En betydelsefull förändring är den ökande avdunstningen När dagbrotten är dränerade, då pumpas nederbörden snabbt undan, det är en orsak till att vi får stor nettonederbörd över dagbrotten när dagbrotten är dränerade.

När dagbrotten vattenfylls då får vi en stor avdunstning från vattenytan i dagbrotten, särskilt på sommaren. Den stora sommaravdunstningen blir inte bara potentiell, den blir verklig eftersom det finns en sjö att avdunsta från. Det blir alltså mindre överskottsvatten tillgängligt då vi har en fri vattenyta i dagbrotten, i jämförelse med situationen då dagbrotten är dränerade.

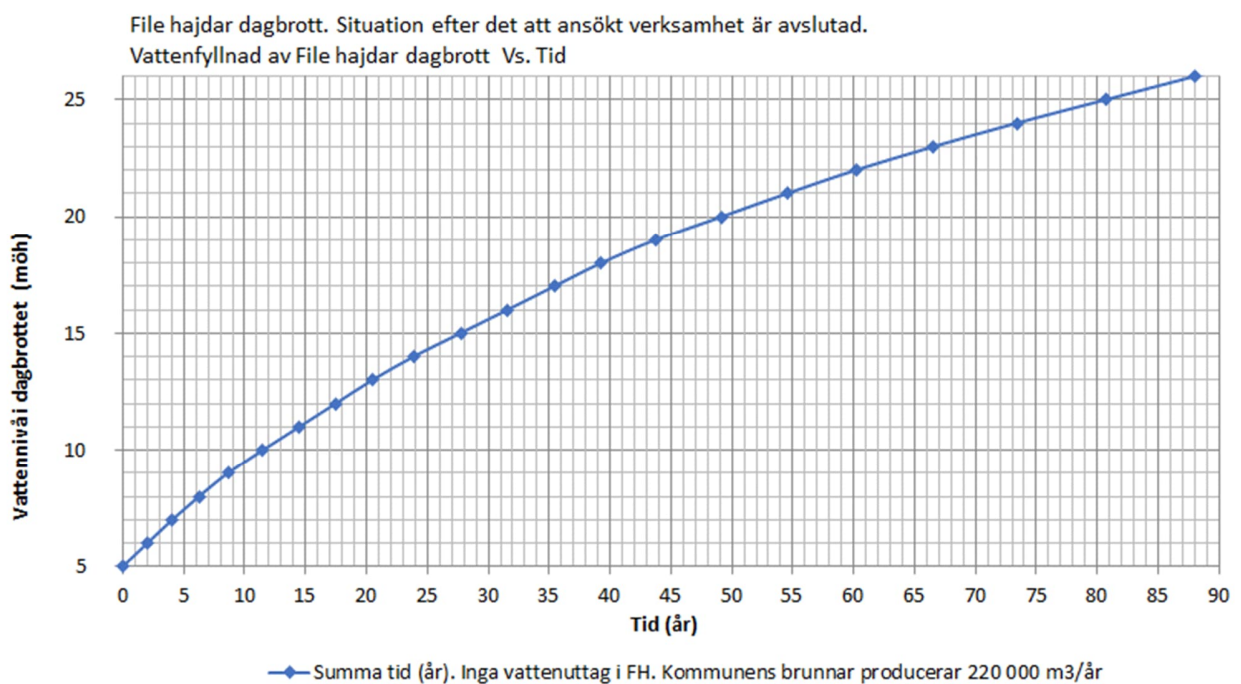
Grundvatteninflödet till sjön minskar också allteftersom vattennivån i sjön stiger. Istället blir det mer grundvatten i omgivningarna.

Basen på File hajdar dagbrott kommer i framtiden (i den ansökta utvecklingen) att ligga på +5 möh Det är från denna nivå som vattenytan i dagbrottet kommer att stiga. Efter 5 år får vi en vattennivå som är ca 7.5 möh Efter 10 år till 11 år får vi en vattennivå som är ca 10 möh De beräknade vattennivåerna visas i Figur 9-1. De beräknade vattennivåerna skall ses som uppskattningar.

Beräkningarna som diskuteras i denna sektion förutsätter att File hajdar dagbrottets västra vägg har injekterats (se Appendix F, Sektion 21), och att kommunens produktionsbrunnar producerar 220 000 m<sup>3</sup>/år.

## 9.2 Beräknad vattennivå i File hajdar dagbrott efter den ansökta verksamheten har avslutats

Efter att den ansökta verksamheten har avslutats upphör vattenbortledningen från File hajdar dagbrott, vilket leder till att en vattenyta bildas i dagbrottet. Så småningom utvecklas dagbrottet till en sjö. Den beräknade utvecklingen av vattennivån i File hajdar dagbrott efter avslutad verksamhet visas i Figur 9-1. Figuren visar att vattenfyllning av File hajdar dagbrott kommer att ta lång tid. Särskilt vattenfyllnaden av den översta delen, det tar till exempel nära 40 år att vattenfylla dagbrottets översta 4 meter (från +22 möh till +26 möh). Kurvan som visas i figuren förutsätter att inga stora vattenuttag görs i dagbrottet, och att heller inga stora flöden tillförs dagbrottet. Det antas dock att kommunens produktionsbrunnar har ett uttag på 220 000 m<sup>3</sup>/år. Kurvan skall betraktas som en uppskattning.



Figur 9-1 *Situationen efter att den ansökta verksamheten har avslutats. Beräknad framtida vattennivå i File hajdar dagbrott. Tidpunkten noll motsvarar tidpunkten då den ansökta verksamheten avslutas. Basen på File hajdar dagbrott kommer i framtiden (i den ansökta utvecklingen) att ligga på +5 möh. Det är från denna nivå som vattenytan i dagbrottet kommer att stiga.*

### 9.3 Diskussion kring framtida förändring av berggrundvattennivåer och flödet av ytligt berggrundvatten

Då Heidelberg i framtiden avslutar brytningen i File hajdar dagbrott kommer vattenbortledningen från File hajdar dagbrott att upphöra. Detta kommer att leda till att en vattenyta bildas i dagbrottet (efter en vintersäsong). Så småningom utvecklas dagbrottet till en sjö.

Vi kan analysera den framtida förändring i berggrundvattennivå kring dagbrottet (efter avslutad verksamhet) i förhållande till den tillståndsgivna situationen. En sådan analys av berggrundvattennivåer visar att då vattennivån i det framtida File hajdar dagbrott är +10 möh (5 m över dagbrottets botten) kommer linjen för påverkan (förändrade nivåer) = -0.3 att vara innanför Natura 2000-områdena söder om dagbrottet vår och höst (och vinter), men mycket mindre innanför Natura 2000-områdena på sommaren. När vattennivån i dagbrottet blir betydligt högre än +10 möh, tex +26 möh, då kommer grundvattennivåerna i Natura 2000-områdena söder om dagbrottet att höjas (under alla årstider).

Det lokala avrinningsområdet No.3 täcker till stor del Natura 2000-områdena söder om File hajdar dagbrott (se tex Figur 19-5). Förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområdet No.3 kan beräknas som förändring av det vertikala nettoflödet inom det studerade avrinningsområdet (på djupet 7.5 m). Metodiken diskuteras i Appendix D, Sektion 19. Förändringar kan beräknas i förhållande till den tillståndsgivna situationen. En negativ förändring av nettoflödet är en förlust av ytligt berggrundvatten i området. En positiv förändring av nettoflödet är en vinst av ytligt berggrundvatten i området.

I Figur 9-2 plottas förändringen i nettoflöde mot vattennivån i det framtida File hajdar dagbrott efter det att verksamheten har avslutats och vattenbortledningen har upphört. Förändringen avser en jämförelse med den tillståndsgivna situationen.

Om vi analyserar den framtida förändring (efter avslutad verksamhet) av ytligt berggrundvatten i det lokala avrinningsområdet No.3, i jämförelse med den tillståndsgivna situationen (Figur 9-2), då balanseras vinster/förluster under växtperioden när vattennivån i det framtida dagbrottet är nära +10 möh. När vattennivån blir tydligt högre än +10 möh blir det en vinst av ytligt berggrundvatten i det lokala avrinningsområdet No.3. Om vattennivån blir tydligt lägre än +10 möh blir det en förlust av ytligt berggrundvatten i det lokala avrinningsområdet No.3.

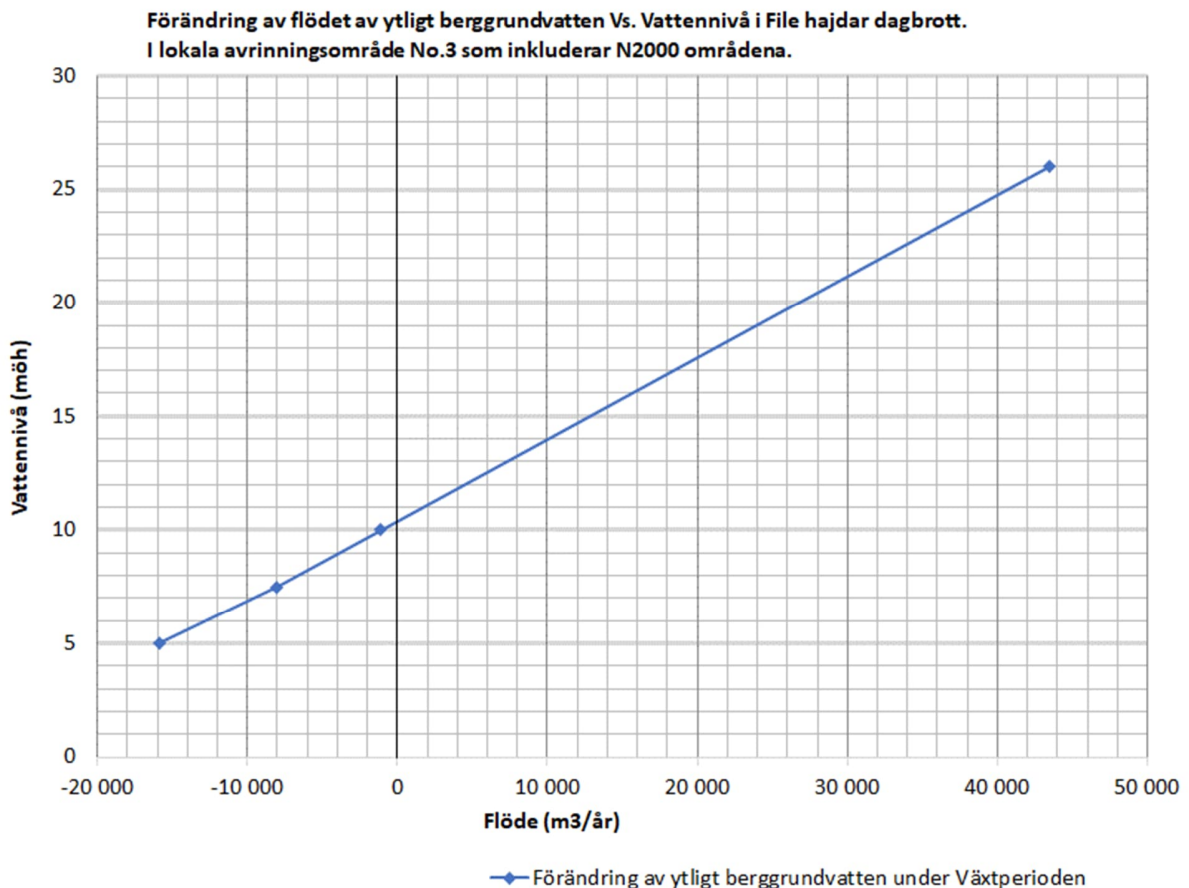
Den förlust av berggrundvatten under växtperioden, som vi kompenserar för med infiltrationsbrunnar då dagbrottet är dränerat, den förlusten finns alltså inte på samma vis när vattennivån i dagbrottet är +10 möh (eller högre). Men vi har ändå linjen för påverkan = -0.3 inne i Natura 2000-områdena då vattennivån är +10 möh. Påverkan blir dessutom minst för lågvattensituationen under sommaren. Förklaringen till detta är att grundvattensituationen har tydligt förändrats då det finns en fri vattenyta i dagbrottet hela året. Till exempel kommer grundvattennivåerna inte att falla på samma sätt som tidigare under sommaren. Det är alltså en ny framtida situation med nya grundvattennivåer och nya flöden, en framtida situation som inte är densamma som den tillståndsgivna situationen.

Om vi för växtperioden fokuserar på volymer och flöden av ytligt berggrundvatten i det lokala avrinningsområdet No.3, får vi en situation som är rimligt jämförbar med den tillståndsgivna situationen, alltså inga större vinster eller förluster när det gäller volymer, då vattennivån i det

framtida dagbrottet närmar sig +10 möh (5 m över dagbrottets botten). Även om volymerna är fördelade på ett något annorlunda vis under året, i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. När vattennivå stiger över +7.5 möh (och under -10m ö.h.) är förlusten i volymer begränsad och alltså nära noll då nivån är +10 möh

Med avseende på eventuell vinst/förlust av ytligt berggrundvatten i det lokala avrinningsområdet No.3 (i jämförelse med den tillståndsgivna situationen) kan man alltså konstatera att en situation som är rimligt jämförbar med den tillståndsgivna situationen uppkommer då vattennivån i det framtida dagbrottet ligger nära +10 möh. När vattennivån i dagbrottet är lägre än ca 7.5 möh blir det en förlust av ytligt berggrundvatten i det lokala avrinningsområdet No.3, och när vattennivån är tydligt högre än +10 möh blir det vinst av ytligt berggrundvatten i det lokala avrinningsområdet No.3. Grundvattennivåerna kommer dock inte vara exakt desamma eftersom det är en förändrad grundvattensituation då dagbrottet vattenfylls.

Tiden det tar att för att med naturlig tillrinning uppnå vattennivåerna +7.5 möh till drygt +10 möh i det framtida File hajdar dagbrott bedöms vara ca 5 år till 10 år (se Figur 9-1), efter det att länshållningen av dagbrottet har upphört.



Figur 9-2 Förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområdet No.3, som inkluderar Natura 2000-områden söder om File hajdar dagbrott. Figuren visar förändringen i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. En förlust av ytligt berggrundvatten är negativ, en vinst av ytligt berggrundvatten är positiv. Förändringen plottas mot vattennivån i det framtida File hajdar dagbrott efter det att verksamheten har avslutats och länshållningen har upphört.

## 9.4 Jämförelse av nuvarande och framtida situation efter avslutning. Situation ca 10 år efter avslutad verksamhet

### 9.4.1 Jämförelse och dagbrott

Jämförelsen avser:

Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.

Scenario LT2F.

och

Ansökt situation c: a 10 år efter avslutning ca år 40.

Scenario: Sc70G1R4K-VbG1Vam5-FH10-wp1

File hajdar dagbrott:

En utökad Pall 1 ned till +20 möh Vattenfylld till +10 möh

En utökad Pall 2 ned till +5 möh Vattenfylld till +10 möh

Södra delen av dagbrottet och de två vattenmagasin i dagbrottet är vattenfyllda.

Västra brottet:

Pall 1 och Pall 2 vattennivå vid -5 möh

Östra brottet dränerat.

Skyddsåtgärder: Injektering av västra väggen vid File hajdar dagbrott. Vattenfyllning av Västra brottet.

Referenssituationen (LT2F) är definierat med det nuvarande klimatet. Den framtida situationen om ca 40 år (Sc70G1R4K-) är definierat med ett framtida klimat. Framtida klimat enligt RCP 4.5 Period 2071-2100 (faktorer). Det betyder att de beräknade påverkansområdena inkluderar inte bara effekten av det utvidgade dagbrottet utan också effekten av det framtida klimatet.

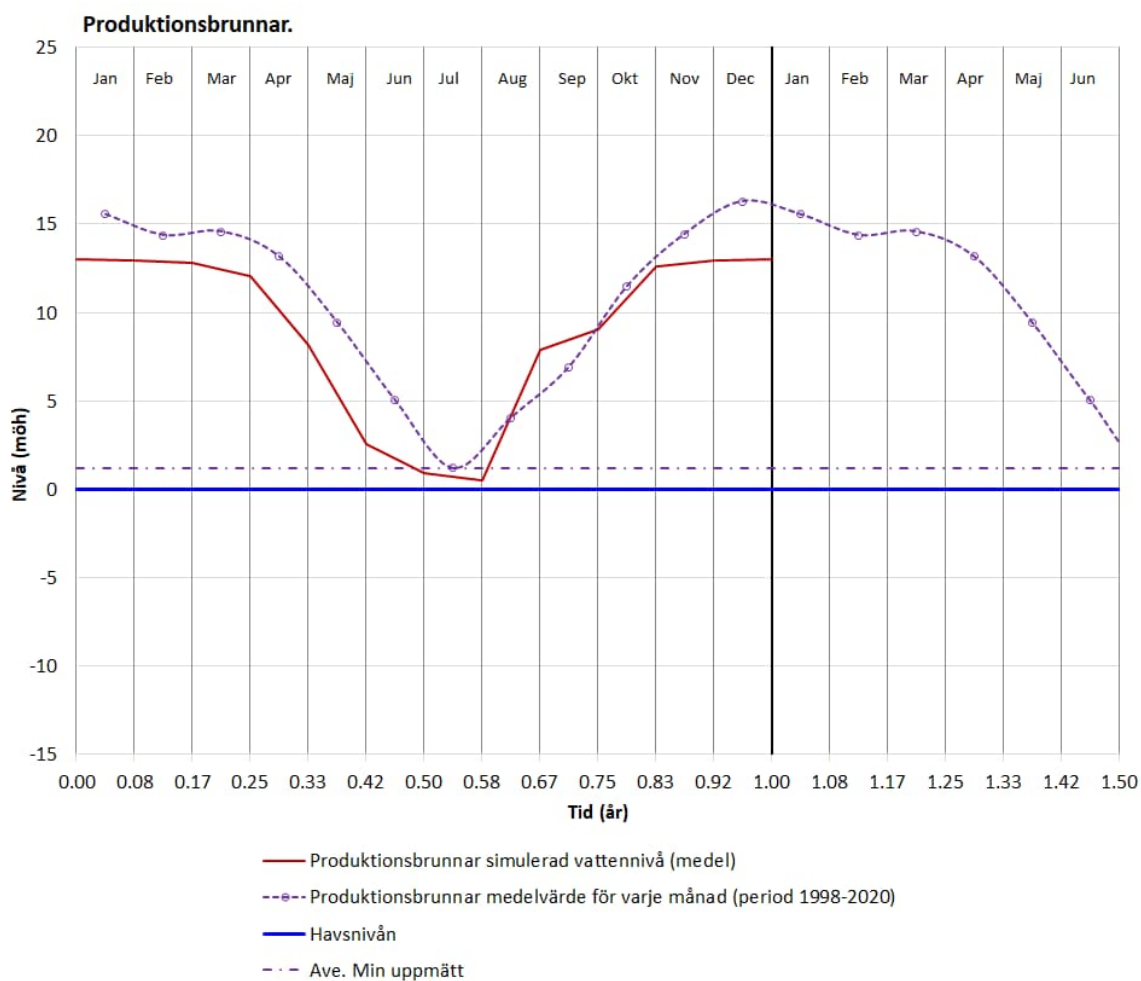
Nettonederbörden definierar klimatet i modellen. Förändringen i nettonederbörd som följer av det framtida klimatet (klimatpåverkan) är ringa för alla månader utom april.

Beräkningarna har utförts för varje månad för ett normalår.

Storleken på File hajdar dagbrott efter ansökt situation framgår av Figur 6-13.

### 9.4.2 Flöde och vattennivå i de kommunala produktionsbrunnarna

För den studerade situationen visas beräknade vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna i Figur 9-3. Medelvärde för minsta vattennivå i produktionsbrunnarna har satts till +0.5 möh Därmed begränsas produktion under sommarhalvåret med ca 700 m<sup>3</sup>, vilket är mycket litet i jämförelse med den totala årsproduktionen som är lika med 220 000 m<sup>3</sup>.



Figur 9-3 Simulerade och uppmätta vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna, efter avslutad verksamhet, ca 10 år efter avslutad verksamhet. Scenario: Sc70G1R4K-VbGIVam5-FH10-wp1

### 9.4.3 Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottets framtida utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Men hjälp av den upprättade modellen har vi beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal lokala avrinningsområden runt dagbrotten. Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet (nettoflödet) beräknats längs med en yta på djupet ca 7.5 m. Förändringen i detta nettoflöde har beräknats för de olika studerade situationerna i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. Metod och resultat diskuteras i Appendix D och E, Sektion 19 och Sektion 20.

#### 9.4.4 Utflöde från Tingstäde träsk

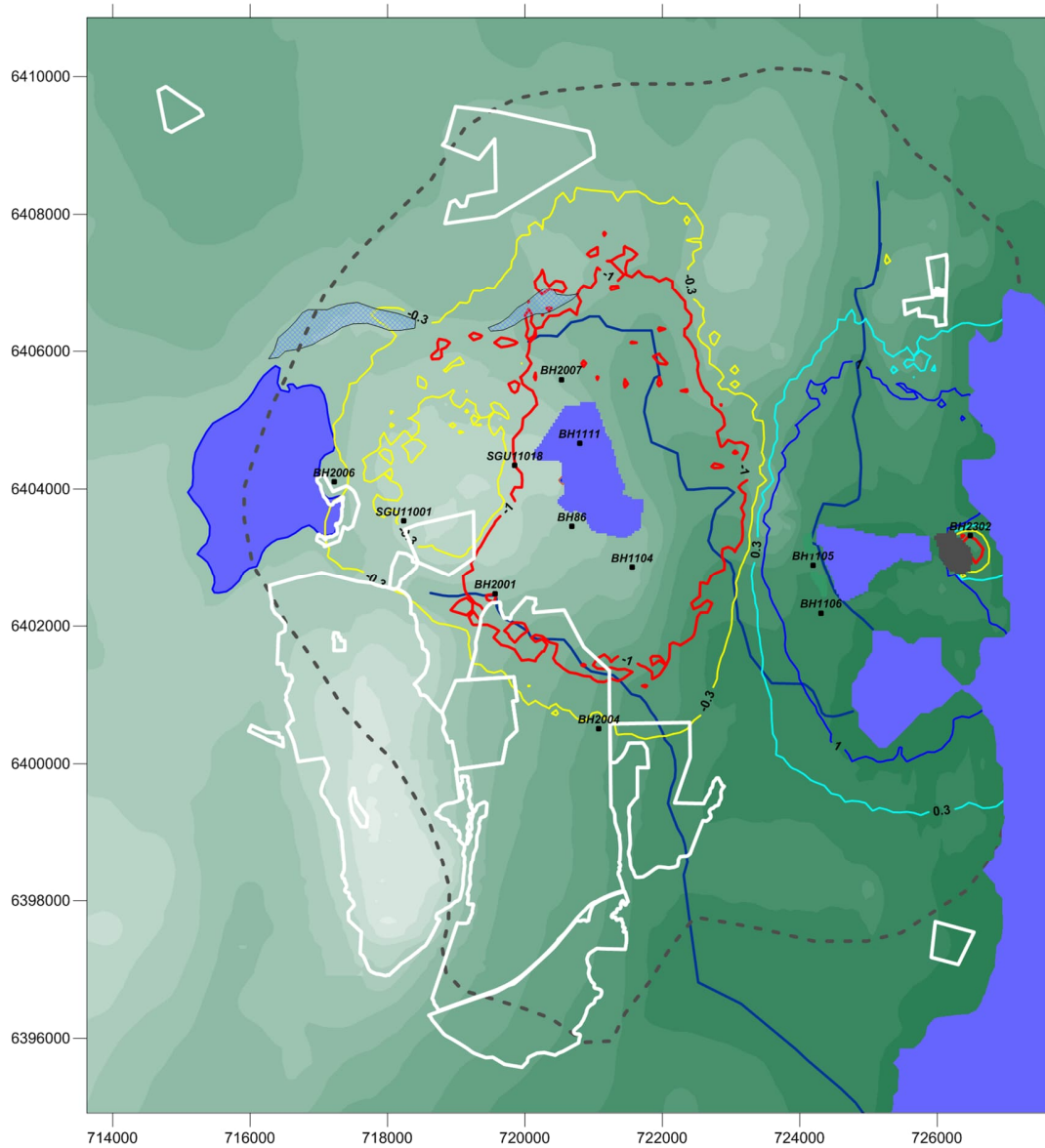
Genom botten på Tingstäde träsk sker ett mindre nettoutflöde av grundvatten, flödets storlek varierar under året, med störst utflöde under sommaren. För referenssituationen (den tillståndsgivna verksamheten Scenario LT2) beräknas detta nettoutflöde (inflöde-utflöde) till nära 5 000 m<sup>3</sup>/år. För den studerade jämförelsen beräknas detta nettoutflöde (inflöde-utflöde) öka med nära 700 m<sup>3</sup>, vilket är en försumbar förändring jämförelse med andra flöden i sjöns vattenbalans, tex uppskattas tillrinningen till sjön vara större än två miljoner m<sup>3</sup>/år.

#### 9.4.5 Beräknade påverkansområden (normalår)

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m. Viktfaktorerna ges av de studerade lagrens transmissivitet. Det betyder att grundvattennivån i de vattenförande lagren får stor betydelse, eftersom dessa lager har stor transmissivitet. Djupet 47 m har valts eftersom det ligger nära mediandjupet på bergboreade brunnar inom det studerade området. Det beräknade värdet för berggrundvattnets nivå representerar vattennivån i en brunn med djupet 47 m, och där de översta 5 m av brunnen är isolerad från omgivningen.



GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 9-4 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 40: Vår, April månad. Scenario: *Sc70G1R4K-VbG1Vam5-FH10-wp1*

Vattennivån i File hajdar dagbrott = +10 möh

Vattennivån i Västra brottet = -5 möh Östra brotten dränerat.

Påverkansområden med klimatteffekter.

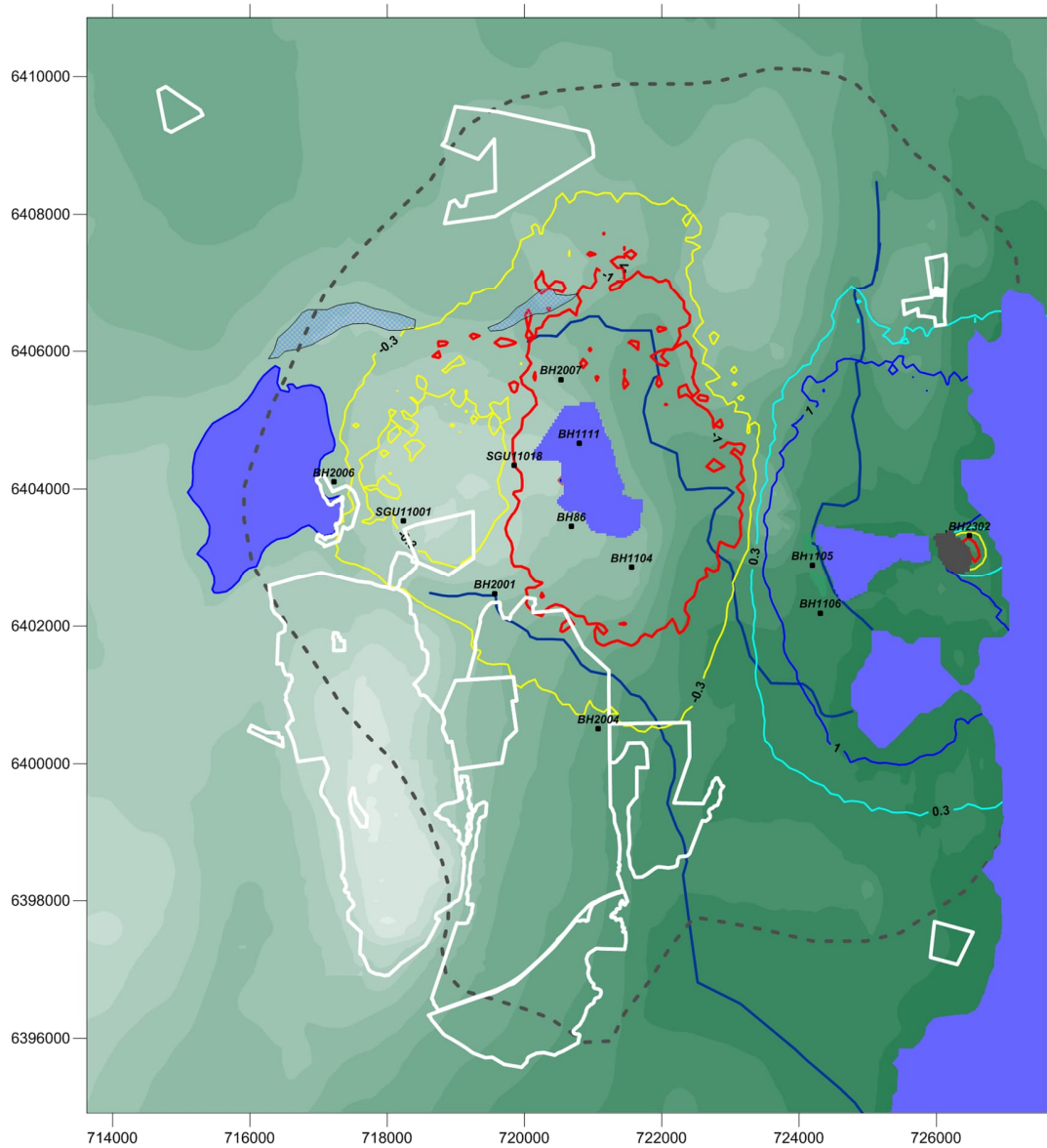
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 9-5 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 50: Vår, April månad. Scenario: *Sc70G1R4K-VbG1Vam5-FH10-wp1*

Vattennivån i File hajdar dagbrott = +10 möh

Vattennivån i Västra brottet = -5 möh Östra brotten dränerat.

Påverkansområden **utan** klimatteffekter.

Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m

Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m

Blå linje (höjning) = +1.0 m

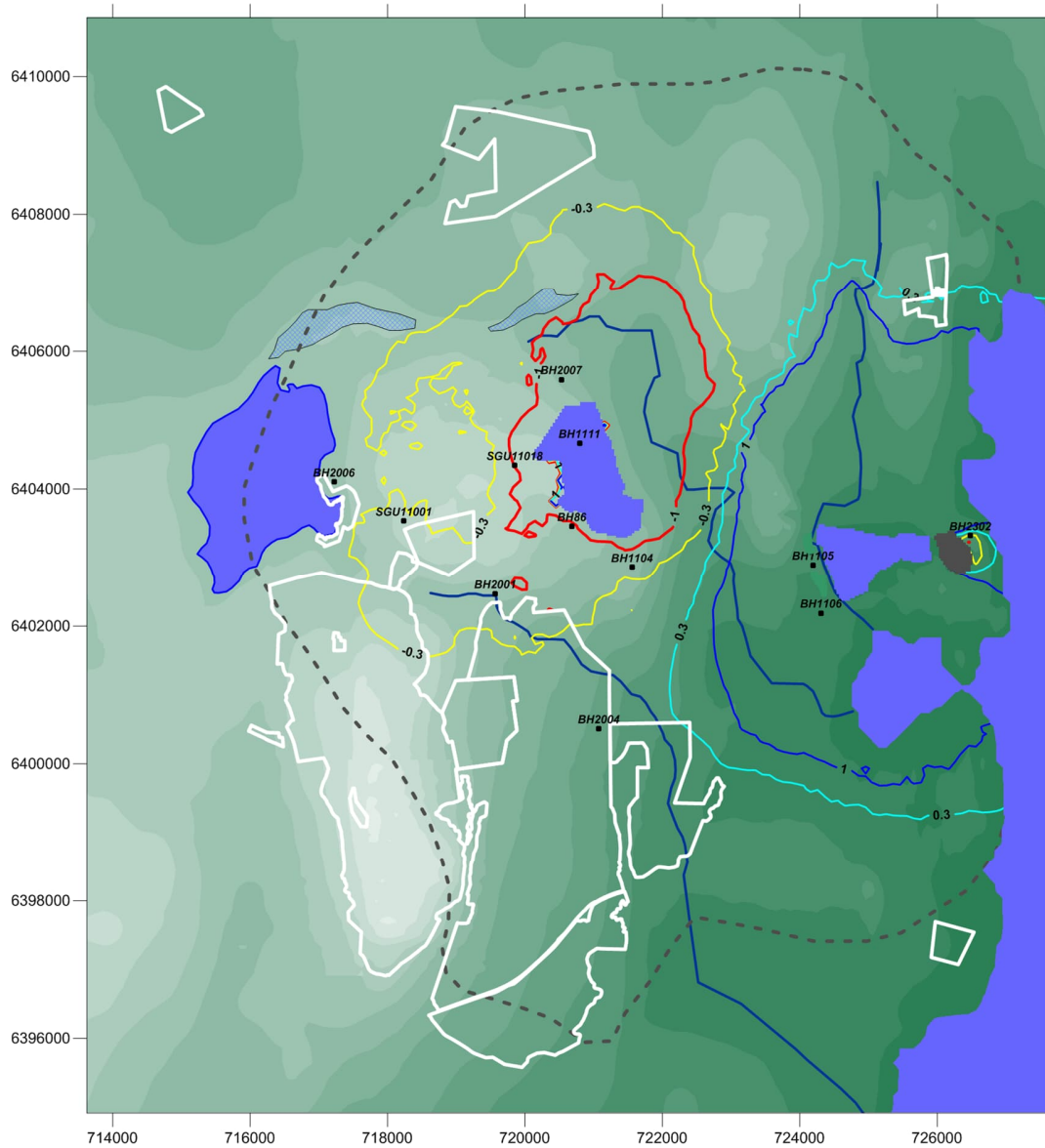
Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glaciöfluvium markerat med blå rastering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 9-6 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 50: Sommar, Juli månad. Scenario: *Sc70G1R4K-VbG1Vam5-FH10-wp1*

Vattennivån i File hajdar dagbrott = +10 möh

Vattennivån i Västra brottet = -5 möh Östra brotten dränerat.

Påverkansområden med klimatteffekter.

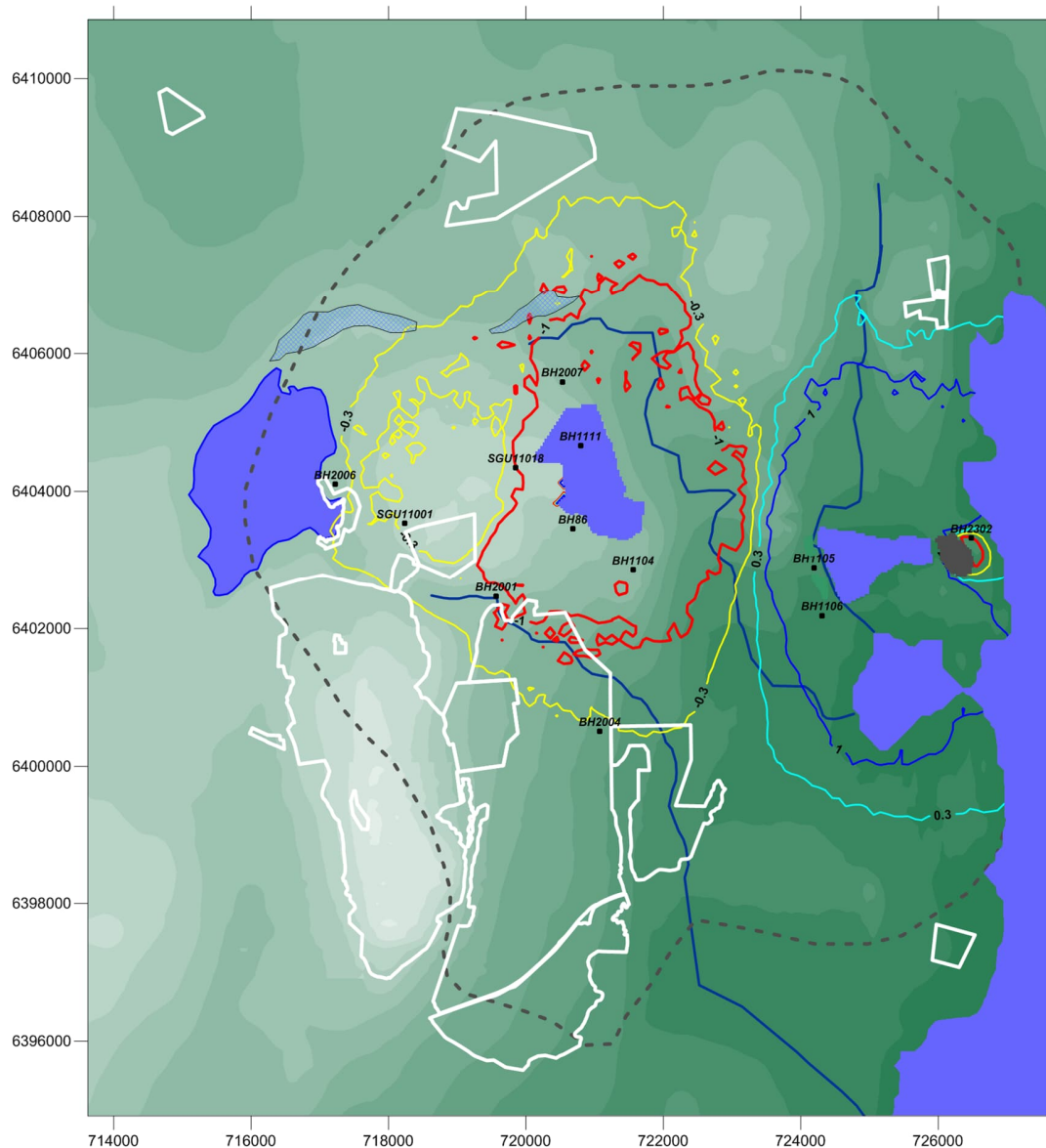
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 9-7 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 50: Höst, September månad. Scenario *Sc70R4K-VbGIVap1-FH26*.

Vattennivån i File hajdar dagbrott = +10 möh

Vattennivån i Västra brottet = -5 möh Östra brotten dränerat.

Påverkansområden med klimateffekter.

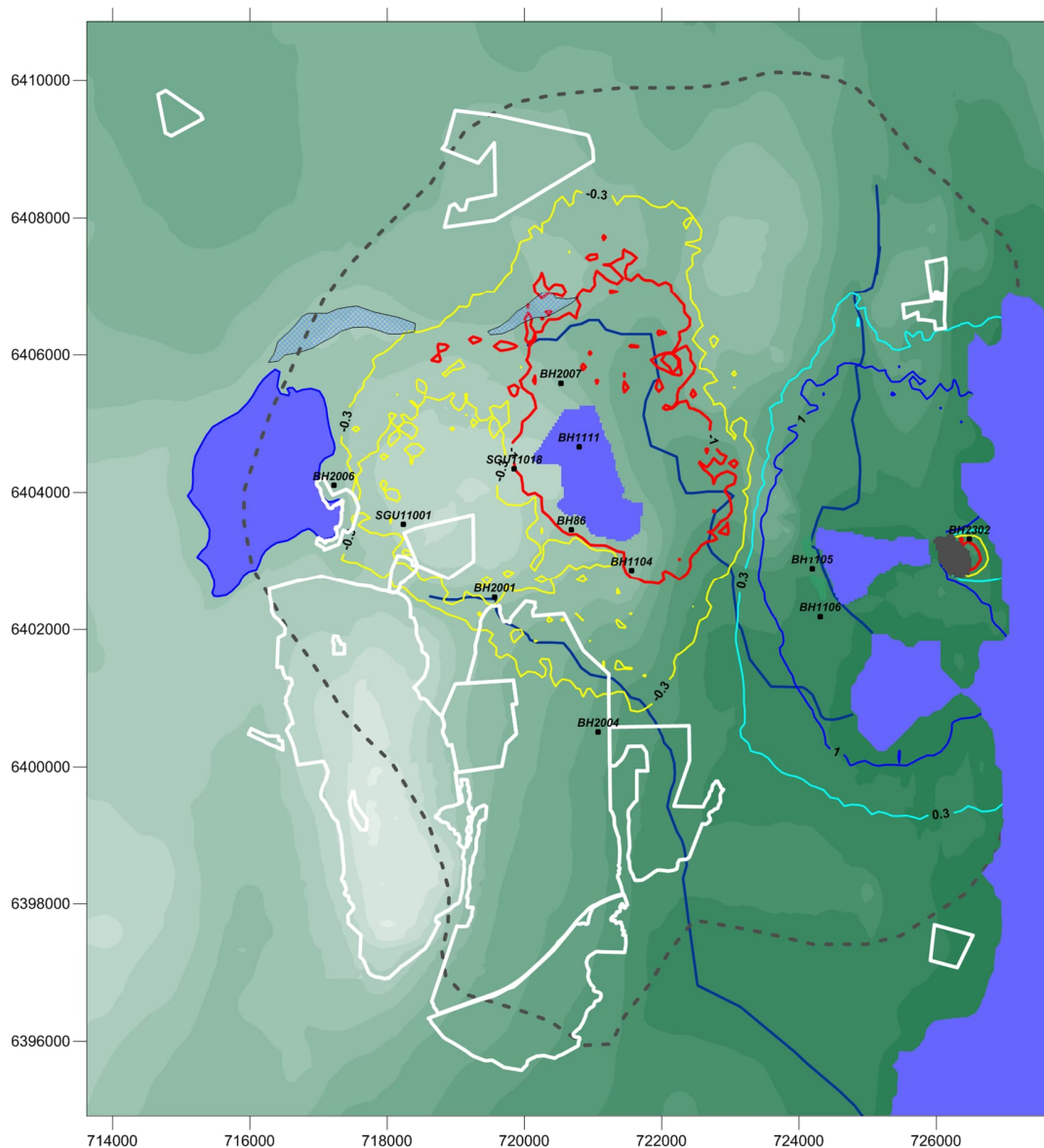
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 9-8 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 50: Vinter, December månad. Scenario *Sc70R4K-VbG1Vap1-FH26*.

Vattennivån i File hajdar dagbrott = +26 möh

Vattennivån i Västra brottet = -5 möh Östra brotten dränerat.

Påverkansområden med klimatteffekter.

Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m

Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m

Blå linje (höjning) = +1.0 m

Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

## 9.5 Jämförelse av nuvarande och framtida situation efter avslutning. Situation ca 80 år efter avslutad verksamhet

### 9.5.1 Jämförelse och dagbrott

Jämförelsen avser:

Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.

Scenario LT2F.

och

Ansökt situation c: a 80 år efter avslutning.

Scenario: Sc70G1R4K-VbG1Vap1-FH26-wp1

File hajdar dagbrott:

En utökad Pall 1 ned till +20 möh Vattenfylld till +26 möh

En utökad Pall 2 ned till +5 möh Vattenfylld till +26 möh

Södra delen av dagbrottet och de två vattenmagasin i dagbrottet är vattenfyllda.

Västra brottet:

Pall 1 och Pall 2 vattennivå vid +1 möh (helt vattenfylld).

Östra brottet dränerat.

Skyddsåtgärder: Injektering av västra väggen vid File hajdar dagbrott. Vattenfyllning av Västra brottet.

Referenssituationen (LT2F) är definierat med det nuvarande klimatet. Den framtida situationen ca 80 år avslutad verksamhet (Sc70G1R4K- VbG1Vap1-FH26-wp1) är definierat med ett framtida klimat. Framtida klimat enligt RCP 4.5 Period 2071-2100 (faktorer). Det betyder att de beräknade påverkansområdena inkluderar inte bara effekten av det utvidgade dagbrottet utan också effekten av det framtida klimatet. Nettonederbörden definierar klimatet i modellen. Förändringen i nettonederbörd som följer av det framtida klimatet (klimatpåverkan) är ringa för alla månader utom april.

Den framtida situationen ca 80 år avslutad verksamhet motsvarar ungefär år 110 (30+80=110)

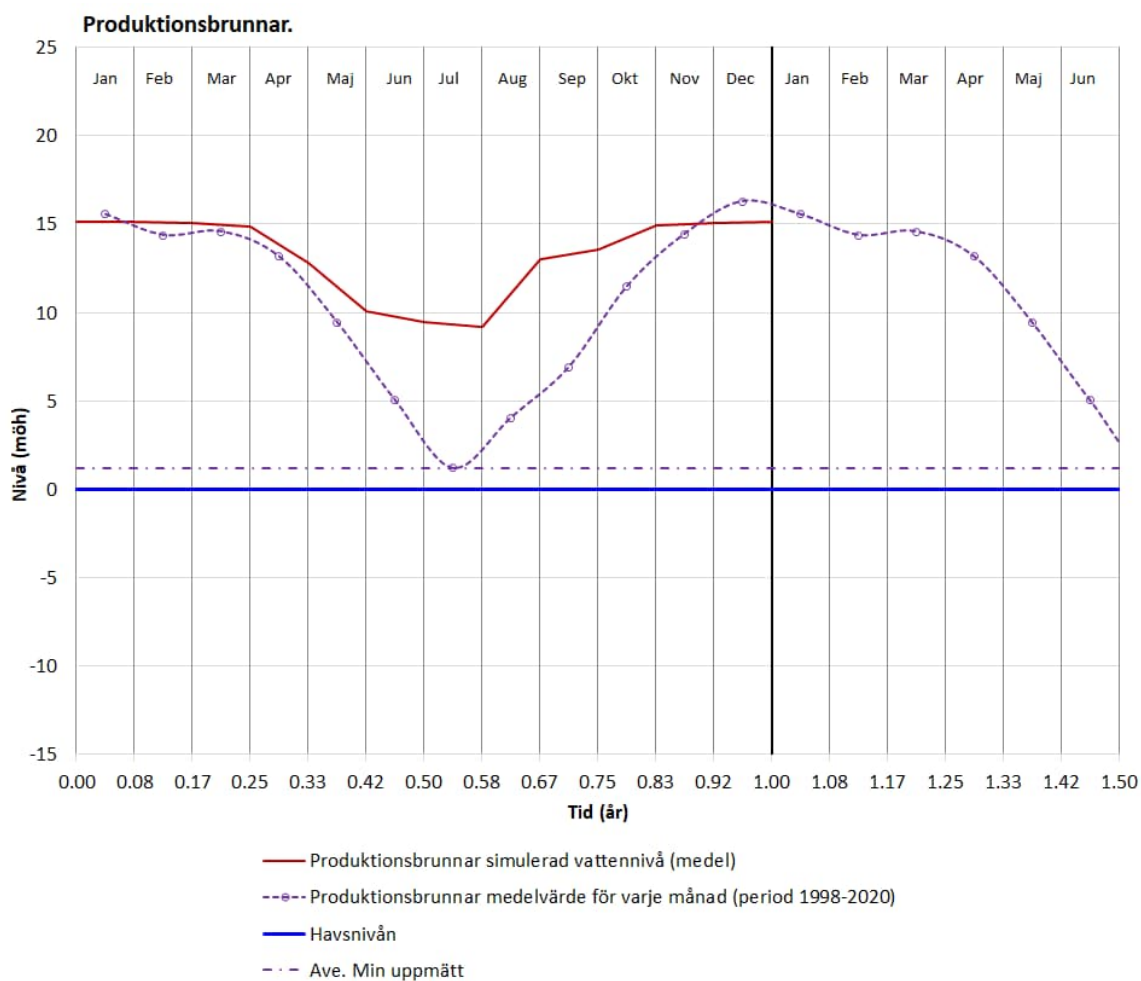
Beräkningarna har utförts för varje månad för ett normalår.

Storleken på File hajdar dagbrott efter ansökt situation framgår av Figur 6-13.

### 9.5.2 Flöde och vattennivå i de kommunala produktionsbrunnarna

För den studerade situationen visas beräknade vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna i Figur 9-9. Medelvärde för minsta vattennivå i produktionsbrunnarna har satts till +0.5 möh Den totala årsproduktionen är satt till 220 000 m<sup>3</sup>/år (vattendom). Som framgår av figuren ökar vattennivåerna i brunnarna tydligt under sommarhalvåret. Detta beror på att File hajdar dagbrott är vattenfylld, vilket naturligtvis är positivt för produktionsbrunnarna. Då File hajdar dagbrott är vattenfylld kan uttagen ur brunnarna ökas betydligt i jämförelse med vattendomen.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 9-9 Simulerade och uppmätta vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna, ca 80 år efter avslutad verksamhet (år 110). Scenario: Sc70G1R4K-VbG1Vap1-FH26-wp1

### 9.5.3 Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottets framtida utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Men hjälp av den upprättade modellen har vi beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal lokala avrinningsområden runt dagbrotten. Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet (nettoflödet) beräknats längs med en yta på djupet ca 7.5 m. Förändringen i detta nettoflöde har beräknats för de olika studerade situationerna i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. Metod och resultat diskuteras i Appendix D och E, Sektion 19 och Sektion 20.

#### 9.5.4 Utflöde från Tingstäde träsk

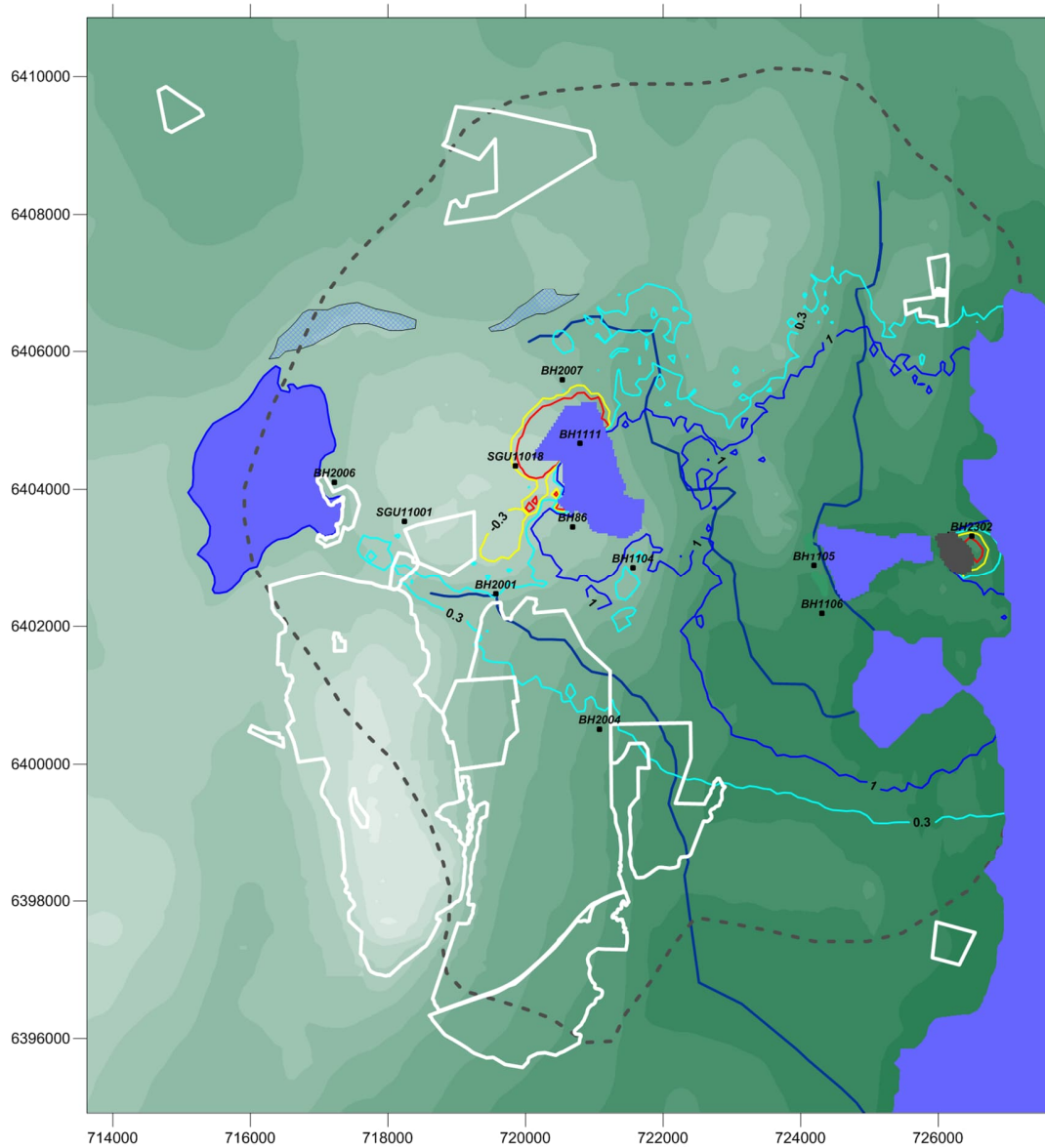
Genom botten på Tingstäde träsk sker ett mindre nettoutflöde av grundvatten, flödets storlek varierar under året, med störst utflöde under sommaren. För referenssituationen (den tillståndsgivna verksamheten Scenario LT2) beräknas detta nettoutflöde (inflöde-utflöde) till nära 5 000 m<sup>3</sup>/år. För den studerade situationen ([Sc70G1R4K-VbG1Vap1-FH26-wp1](#)) beräknas detta nettoutflöde (inflöde-utflöde) minska med nära 600 m<sup>3</sup>. Vilket är en försumbar förändring i jämförelse med andra flöden i sjöns vattenbalans, tex uppskattas tillrinningen till sjön vara större än två miljoner m<sup>3</sup>/år.

#### 9.5.5 Beräknade påverkansområden (normalår)

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m. Viktfaktorerna ges av de studerade lagrens transmissivitet. Det betyder att grundvattennivån i de vattenförande lagren får stor betydelse, eftersom dessa lager har stor transmissivitet. Djupet 47 m har valts eftersom det ligger nära mediandjupet på bergborrade brunnar inom det studerade området. Det beräknade värdet för berggrundvattnets nivå representerar vattennivån i en brunn med djupet 47 m, och där de översta 5 m av brunnen är isolerad från omgivningen.



GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 9-10 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 110: Vår, April månad. Scenario *Sc70R4K-VbG1Vap1-FH26-wp1*.

Vattennivån i File hajdar dagbrott = +26 möh

Vattennivån i Västra brottet = +1 möh Östra brotten dränerat.

Påverkansområden med klimateffekter.

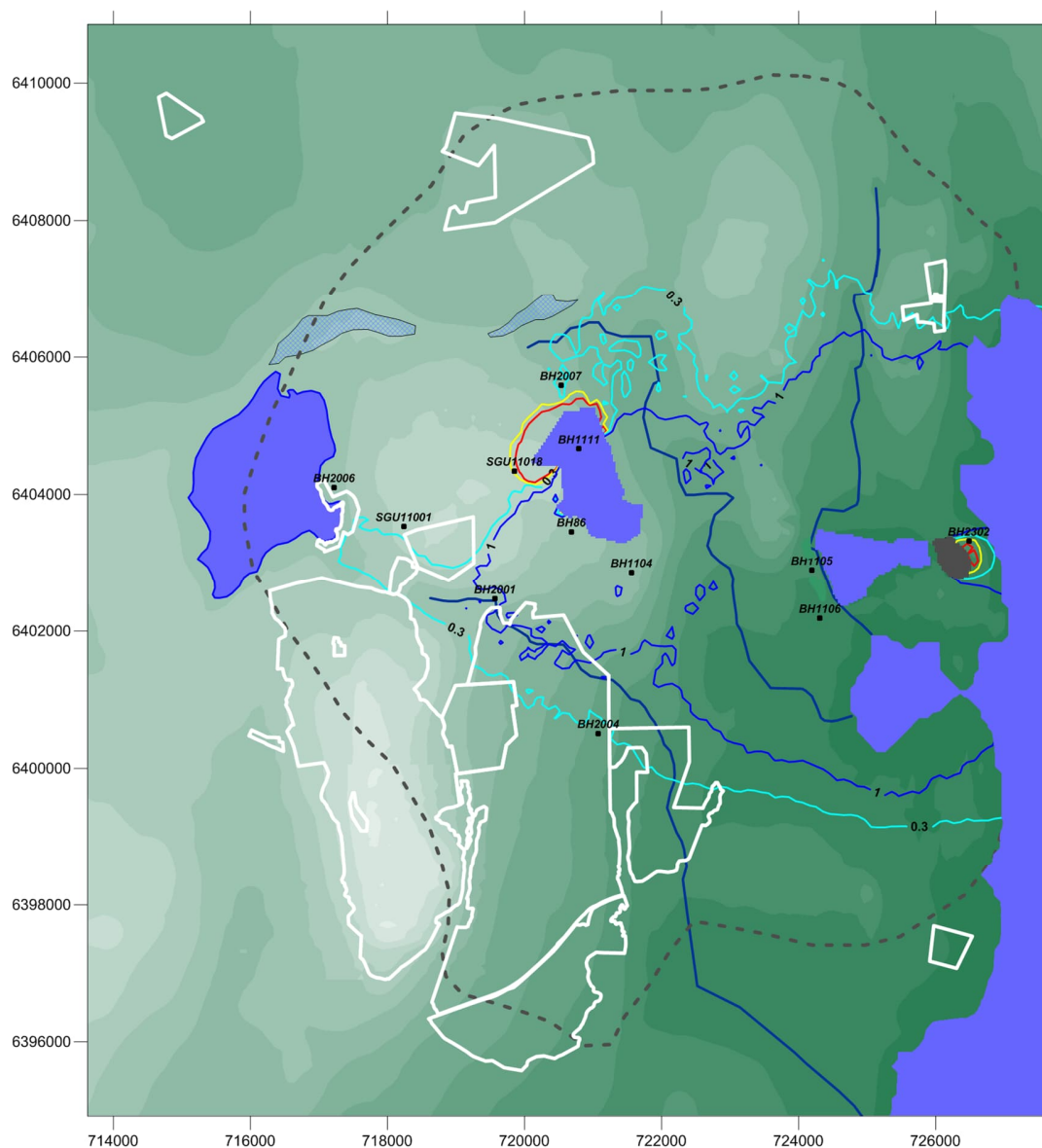
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 9-11 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 110: Vår, April månad. Scenario *Sc70R4K-VbG1Vap1-FH26-wp1*

Vattennivån i File hajdar dagbrott = +26 möh

Vattennivån i Västra brottet = +1 möh Östra brotten dränerat.

Påverkansområden **utan** klimatteffekter.

Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m

Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m

Blå linje (höjning) = +1.0 m

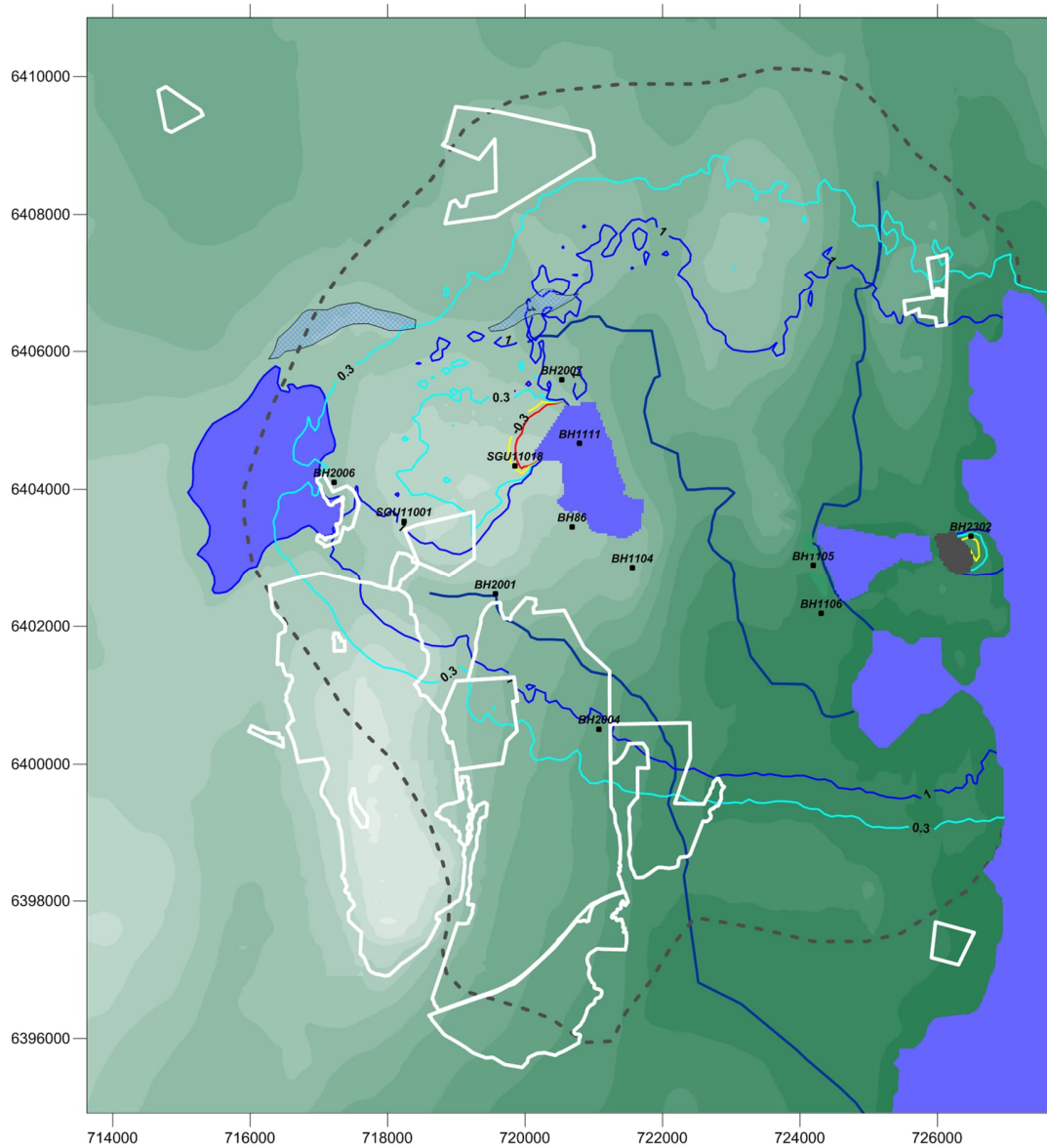
Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 9-12 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 110: Sommar, Juli månad. Scenario *Sc70R4K-VbG1Vap1-FH26-wp1*

Vattennivån i File hajdar dagbrott = +26 möh

Vattennivån i Västra brottet = +1 möh Östra brotten dränerat.

Påverkansområden med klimateffekter.

Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m

Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m

Blå linje (höjning) = +1.0 m

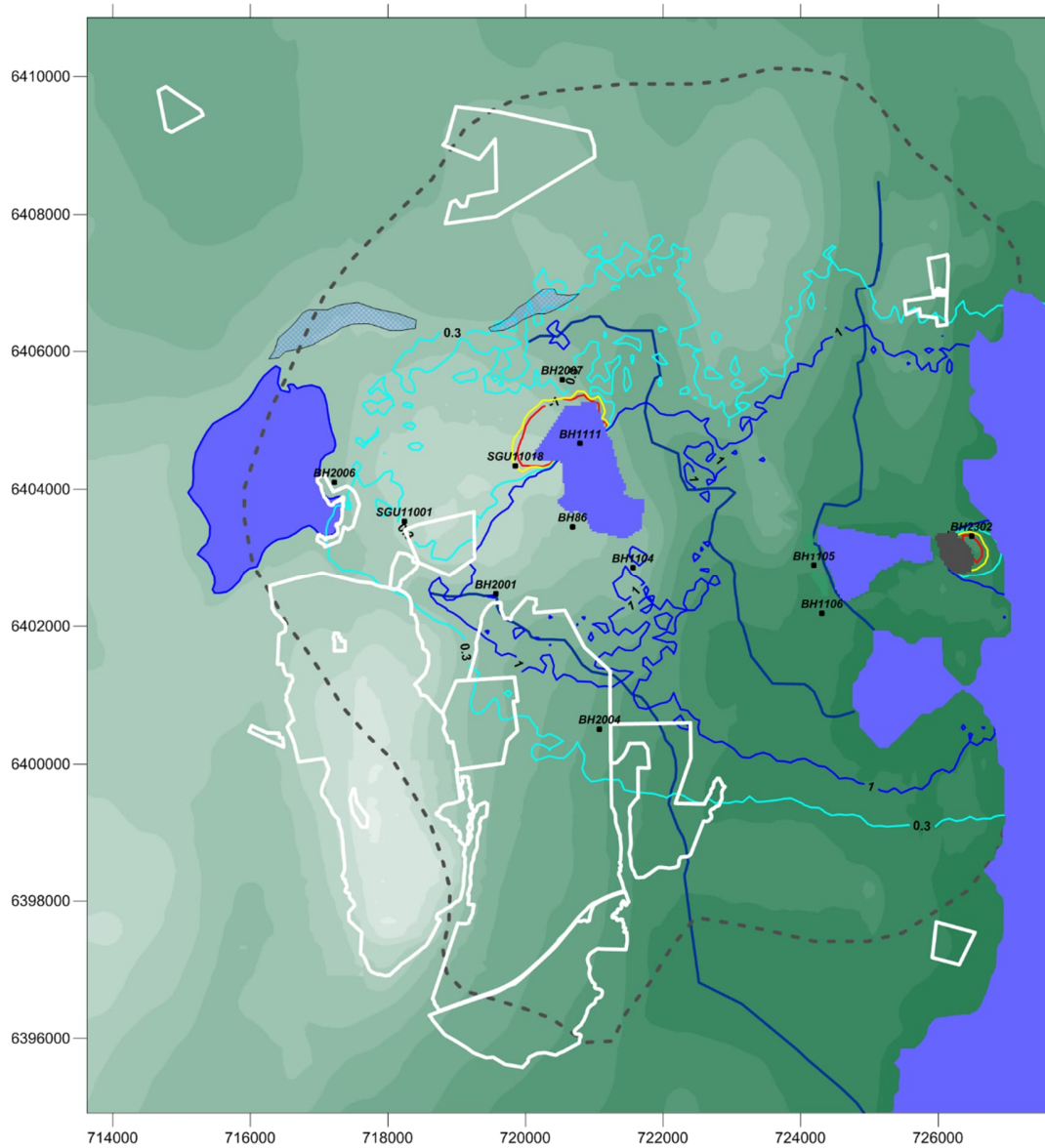
Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glaciifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 9-13 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 110: Höst, September månad. Scenario *Sc70R4K-VbG1Vap1-FH26-wp1*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott = +26 möh*

*Vattennivån i Västra brottet = +1 möh Östra brotten dränerat.*

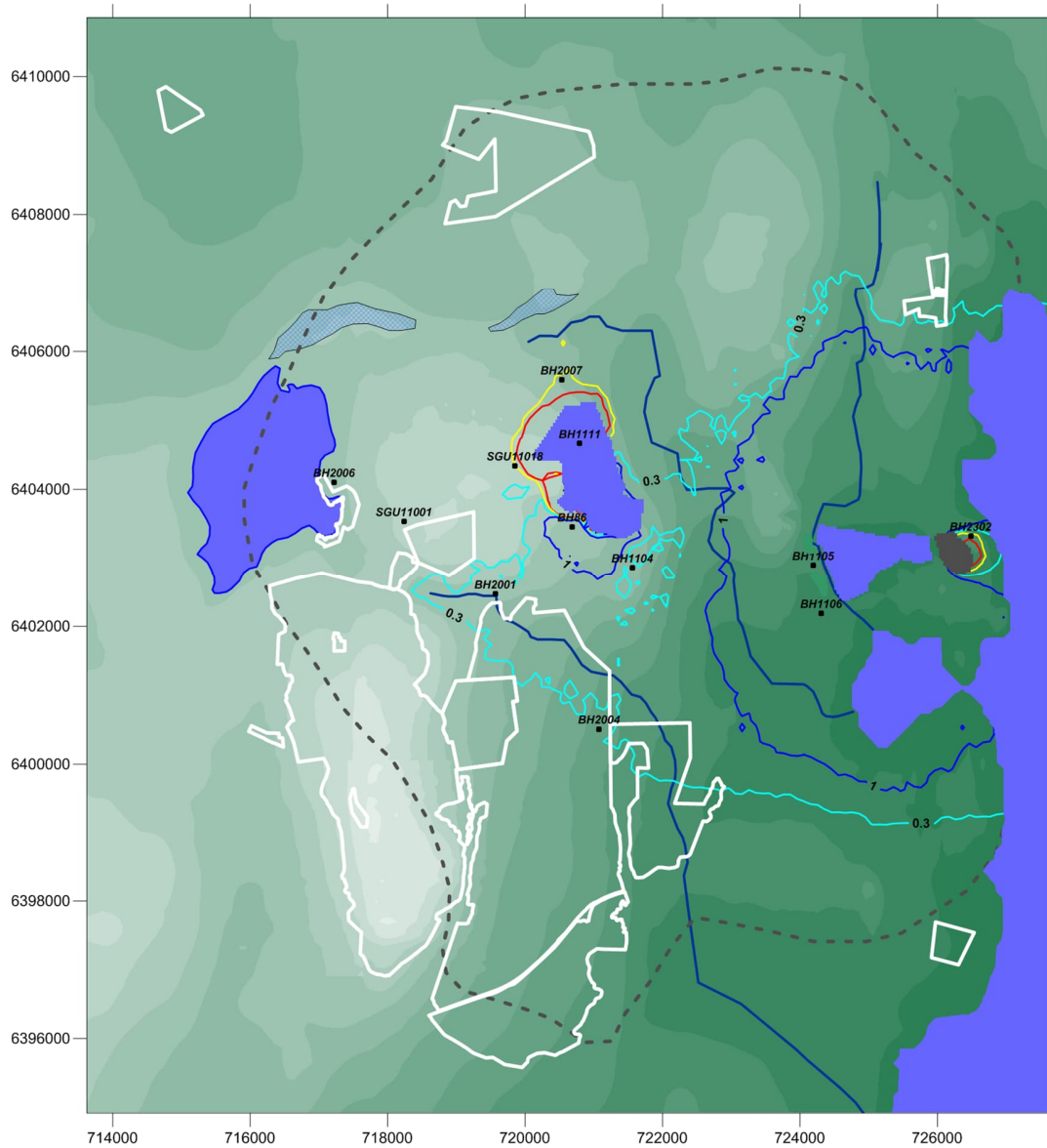
<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastring*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 9-14 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 110: Vinter, December månad. Scenario *Sc70R4K-VbGIVap1-FH26-wp1*

Vattennivån i File hajdar dagbrott = +26 möh

Vattennivån i Västra brottet = +1 möh Östra brotten dränerat.

Påverkansområden med klimateffekter.

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glaciifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

## 10. Nollalternativet

### 10.1 Allmänt

Nollalternativet, det vill säga att den ansökta verksamheten *inte* kommer till stånd, innebär att både kalkstensbrytningen och länshållningen av täkterna upphör vid utgången av år 2026, då det befintliga tillståndet löper ut. Efter att länshållningen har upphört, kommer samtliga tre täkter börja vattenfyllas och sedermera bilda täktsjöar.

När dagbrotten vattenfylls blir förändringarna i omgivande grundvattennivåer stora, särskilt för lågvattensituationen. När dagbrotten är helt eller delvis vattenfyllda kommer dagbrotten inte att avsänka grundvattennivåerna på det sätt som de gör när dagbrotten är dränerad.

För File hajdar dagbrott blir förändringen under lågvattensituationen stor, eftersom det dränerade File hajdar dagbrott till stor del ligger ovanför grundvattenytan under sommaren. I situationen med vattenfyllda dagbrott finns vatten i File hajdar dagbrott under hela sommaren, vatten som kan infiltrera till grundvattensystemet. Då kommer inte grundvattennivåerna i omgivningarna att sjunka på sommaren (långvattensituationen), på det vis som de gör under nuvarande förhållanden (då File hajdar dagbrott är dränerat). Det spelar roll om vattennivån i dagbrottet är låg eller hög, men för File hajdar dagbrott skapas den stora effekten skapas av att det finns vatten i File hajdar dagbrott under hela sommaren.

Infiltration av vatten från sjön i File hajdar dagbrott till omgivningarna förutsätter att det finns en god hydraulisk kontakt mellan sjön i File hajdar dagbrott och det omgivande grundvattensystemet, det är ett rimligt antagande baserat på hur förhållandena ser ut idag. I ett längre perspektiv, många år in i framtiden, är det troligt att sediment kommer att ansamlas i sjön, vilket på lång sikt kommer att förminska den hydrauliska kontakten mellan sjön och det omgivande grundvattensystemet. Därmed kommer också infiltrationen av vatten från sjön till omgivningarna att minska med tiden. Beräkningarna med vattenfyllda dagbrott, som presenteras i denna rapport, förutsätter en god hydraulisk kontakt mellan sjöarna i dagbrotten (tex sjön i File hajdar dagbrott) och det omgivande grundvattensystemet.

Grundvattensituationerna som erhålls då dagbrotten vattenfylls är situationer som aldrig tidigare har förekommit. Det är alltså inte en återgång till en tidigare situation eller en jämförelse med förhållandena innan Heidelberg Materials verksamhet i Slite startade i början av 1900-talet. Dagbrotten har omvandlats till sjöar av en betydande storlek och volym. Dessa sjöar har aldrig tidigare existerat.

Modellen predikterar att då dagbrotten vattenfylls kommer grundvattennivåerna att höjas tydligt inom ett mycket stort område, även nivåerna på större djup kommer att påverkas tydligt. Särskilt lågvattensituationen påverkas av att dagbrotten omvandlas till sjöar. Regionens vattentäkt påverkas kraftigt på ett positivt vis med tydligt förhöjda vattennivåer.

För nollalternativet, antas det att dagbrotten kommer vara fullt utbrutna enligt Heidelberg's nuvarande tillstånd. Dagbrottens storlek framgår av Figur 5-1. För de studerade tidpunkterna år 8, år 20, år 30 och år 70 kommer dagbrotten vara delvis vattenfyllda.

File hajdar dagbrott kommer att vattenfyllas upp till en vald dränagenivå. Den valda dränagenivån i File hajdar dagbrott baseras på simuleringar av storleken på det positiva påverkansområde som produceras av det vattenfyllda dagbrottet. Stora positiva påverkansområden produceras främst under sommaren. Den positiva påverkan under (tex under vår och höst) bör inte vara så stor att Natura 2000-områdena söder om File hajdar dagbrott blir onödigt mycket påverkade av höjda grundvattennivåer. Det är å andra sidan önskvärt att den sjö som bildas i File hajdar dagbrott i framtiden i nollalternativet innehåller mycket vatten, och ett rimligt stort djup, dels för att göra vattnet i dagbrottet till en sötvattenresurs men också för att kvaliteten på vattnet i dagbrottet skall vara god.

Utifrån diskussionen ovan har simuleringar utförts för två olika vattennivåer (dränagenivåer) i File hajdar dagbrott, en lägre nivå: +22.5 möh och en högre nivå +26 möh Det är den högre nivån som är huvudalternativet och det är resultat för den simuleringen som presenteras nedan. Resultat för vattennivån +22.5 möh visas i ett appendix.

Vattennivåerna i File hajdar dagbrott, och vattennivån i Västra och Östra brotten, baseras på beräkningar av hur vattennivåerna i dessa dagbrott sannolikt skulle förändras med tiden då dränagepumpningen upphör (se Figur 10-1 och Figur 10-2). I de simuleringar som presenteras nedan tillåts vattennivån i File hajdar dagbrott inte att stiga till högre nivåer än +26 möh Vid tidpunkten år 8 är vattennivån i File hajdar dagbrott lika med 22.5 möh, vid år 20, och därefter, är vattennivån i File hajdar dagbrott lika med 26 möh

Följande vattennivåer (dränagenivåer) har antagits för dessa beräkningar:

Nollalternativet år 8.

File hajdar dagbrott:	Vattenfyllt till nivå: +22.5 möh
Västra brottet:	Vattenfyllt till nivå: -21 möh
Östra brottet:	Vattenfyllt till nivå: -21 möh

Nollalternativet år 20.

File hajdar dagbrott:	Vattenfyllt till nivå: +26 möh
Västra brottet:	Vattenfyllt till nivå: -14 möh
Östra brottet:	Vattenfyllt till nivå: -14 möh

Nollalternativet år 30.

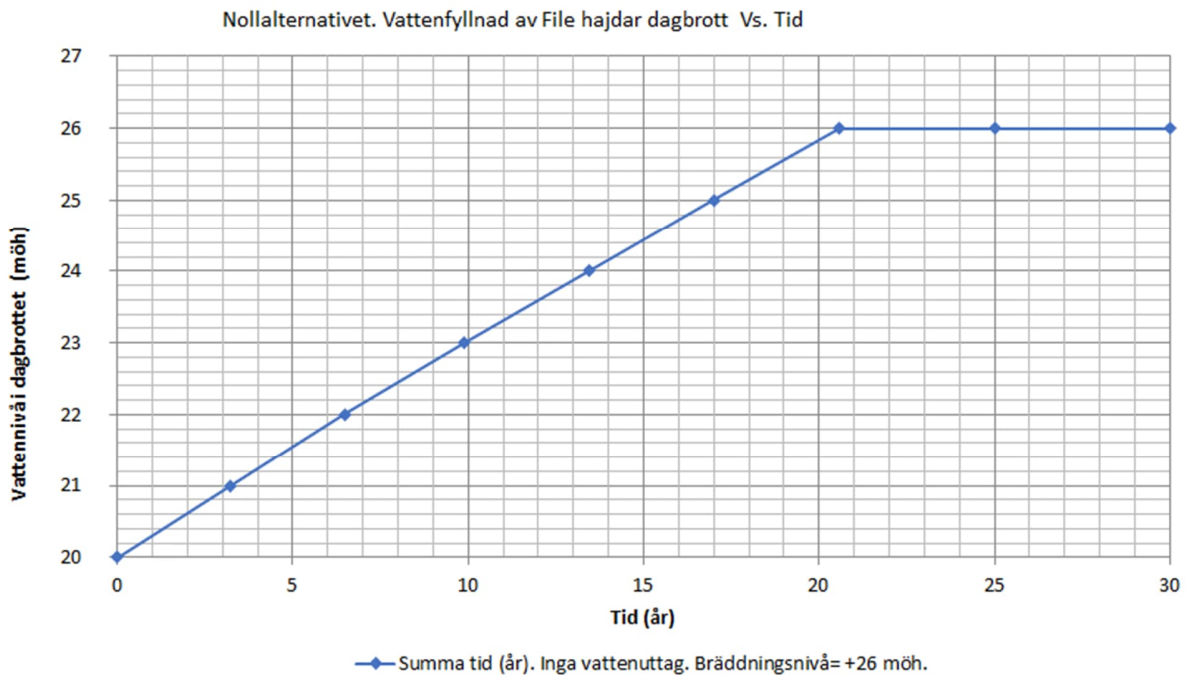
File hajdar dagbrott:	Vattenfyllt till nivå: +26 möh
Västra brottet:	Vattenfyllt till nivå: -8 möh
Östra brottet:	Vattenfyllt till nivå: -8 möh

Nollalternativet år 70.

File hajdar dagbrott:	Vattenfyllt till nivå: +26 möh
Västra brottet:	Vattenfyllt till nivå: +1 möh
Östra brottet:	Vattenfyllt till nivå: +1 möh

## 10.2 Beräknad vattennivå i File hajdar dagbrott vid nollalternativet

För nollalternativet upphör vattenbortledningen från File hajdar dagbrott, vilket leder till att en vattenyta bildas i dagbrottet. Så småningom utvecklas dagbrottet till en sjö. Den beräknade utvecklingen av vattennivån i File hajdar dagbrott visas i Figur 10-1. Kurvan som visas i figuren förutsätter att inga stora vattenuttag görs i dagbrottet, och att heller inga stora flöden pumpas till dagbrottet. Det antas dock att regionens produktionsbrunnar har ett uttag på 220 000 m<sup>3</sup>/år enligt vattendom. Det antas dessutom att en utloppsränna konstrueras med en bräddningsnivå vid +26 möh. De beräknade vattennivåerna skall ses som uppskattningar.

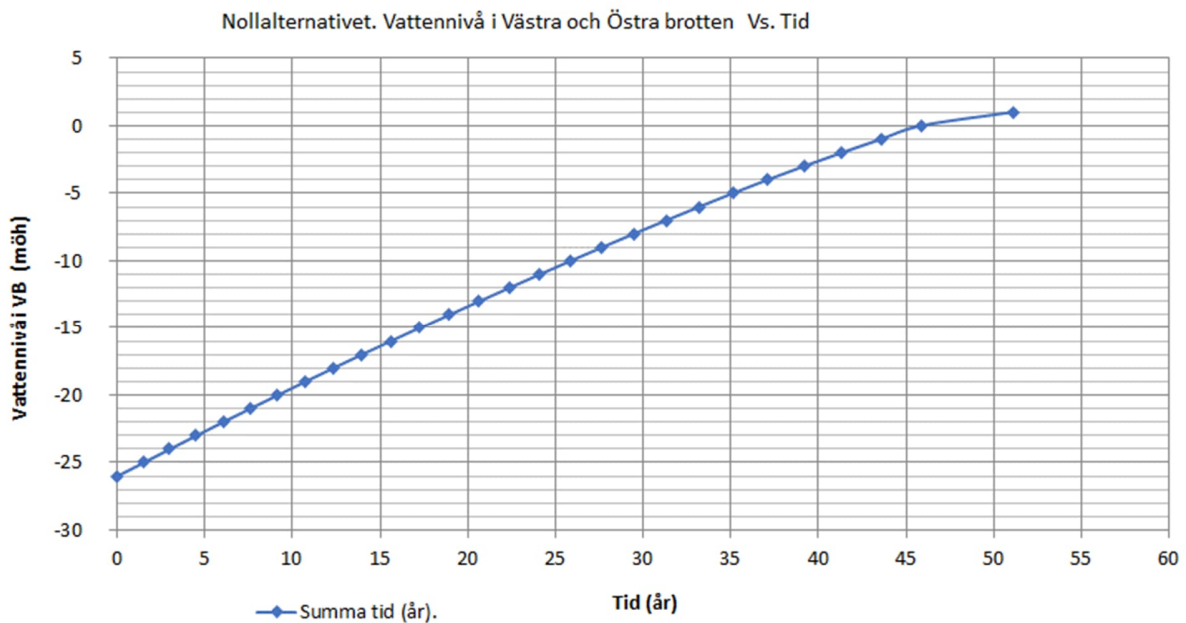


Figur 10-1 Nollalternativet. Beräknad framtida vattennivå i File hajdar dagbrott. Tidpunkten noll motsvarar den tillståndsgivna situationen. Basen på File hajdar dagbrott kommer i nollalternativet att ligga på +20 möh. Det är från denna nivå som vattenytan i dagbrottet kommer att stiga.



### 10.3 Beräknad vattennivå i Västra och Östra brotten vid nollalternativet

För nollalternativet upphör vattenbortledningen från Västra och Östra brotten, vilket leder till att en vattenyta bildas i dagbrotten. Så småningom utvecklas dagbrotten till en sjö. Eftersom Västra och Östra brotten är sammanbundna med tunnlar kommer vattennivån vara densamma i de båda dagbrotten. Den beräknade utvecklingen av vattennivån i Västra och Östra brotten i nollalternativet visas i Figur 10-2. Kurvan som visas i figuren förutsätter att inga stora vattenuttag görs i dagbrotten, och att heller inga stora flöden pumpas till dagbrotten. Det antas att en utloppsränna konstrueras med en bräddningsnivå vid +1 möh. De beräknade vattennivåerna skall ses som uppskattningar.



Figur 10-2 Nollalternativet. Beräknad framtida vattennivå i Västra och Östra brotten Tidpunkten noll motsvarar den tillståndsgivna situationen. Inga uttag av vatten görs från dagbrotten.

## 10.4 Nollalternativet år 8

### 10.4.1 Studerad situation

För den studerade situation, som är nollalternativet år 8, antas det att dagbrotten kommer vara fullt utbrutna enligt Heidelbergs nuvarande tillstånd. Dagbrottens storlek framgår av Figur 5-1. De antagna vattennivåerna i dagbrotten diskuteras i Sektion 10.1.

Jämförelsen avser:

Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.

Scenario: LT2F.

och

Nollalternativet år 8.

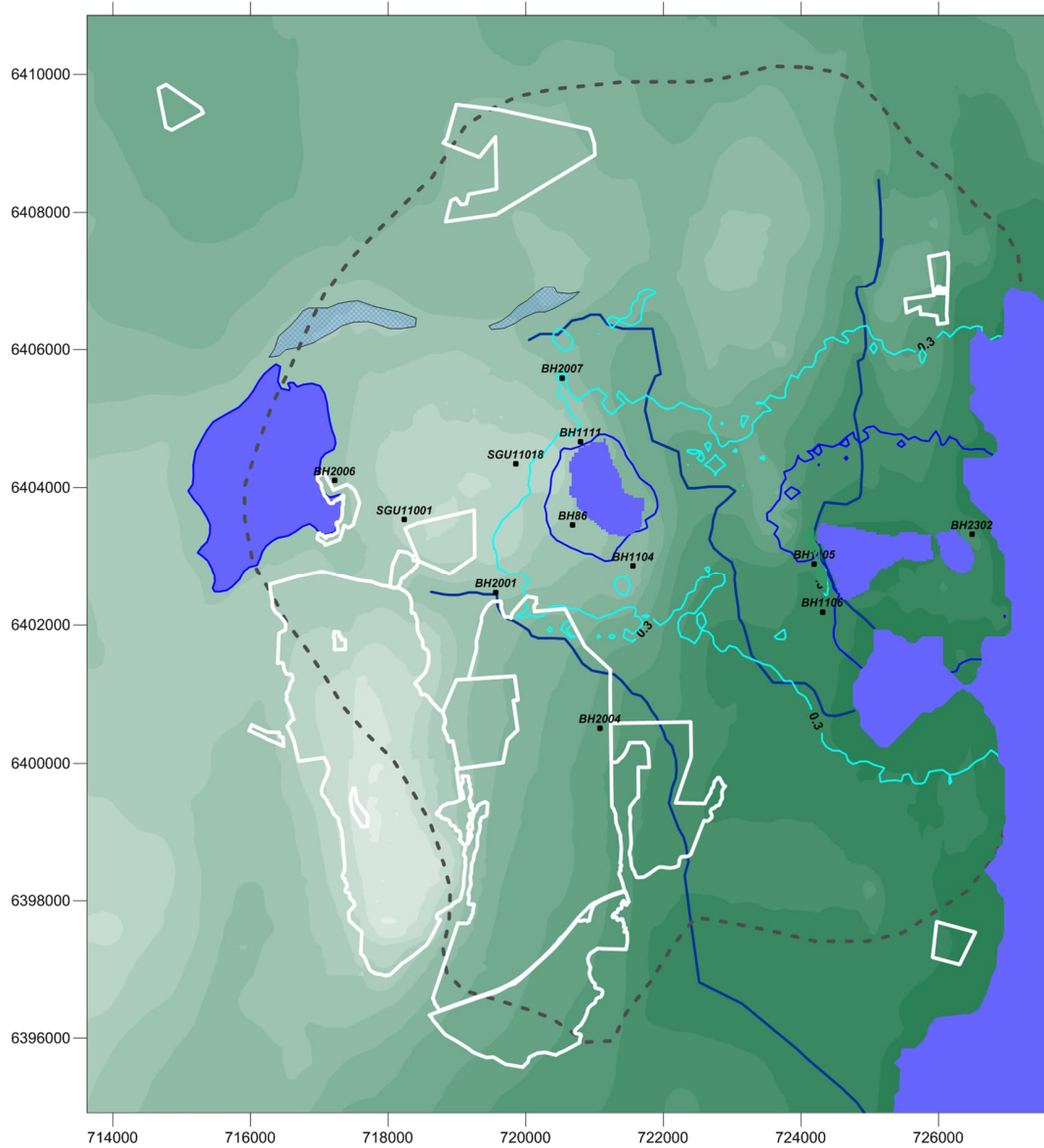
Scenario: M81--LT2F-Noll-8a

Samma klimat (nettonederbörd) används för båda situationerna.

### 10.4.2 Beräknade påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-3 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

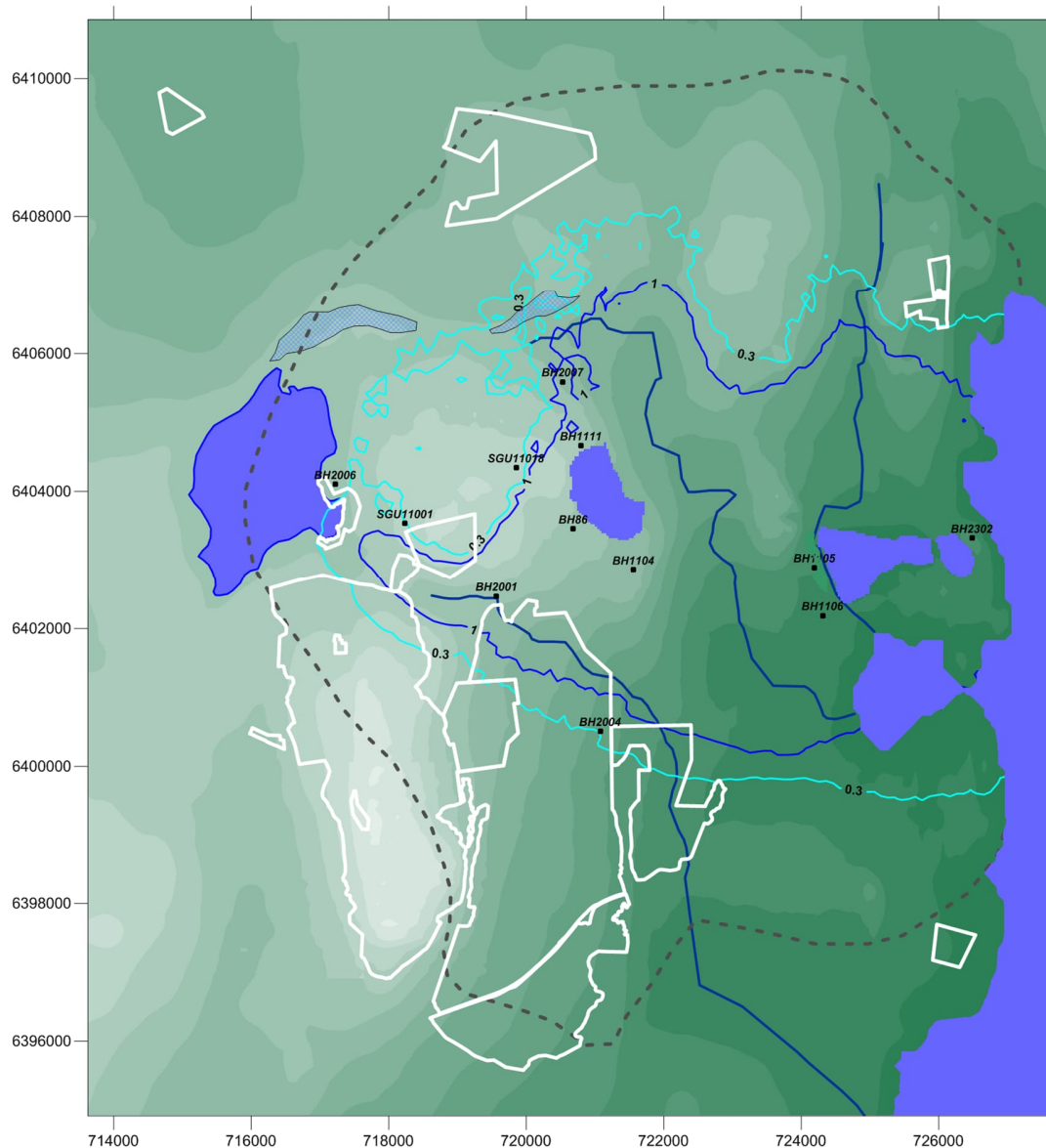
År 8: Vår, April månad. Scenario *LT2F-Noll-8a*

Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.  
Vattennivån i Västra och Östra brotten -21 möh

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastrering  
Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-4 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

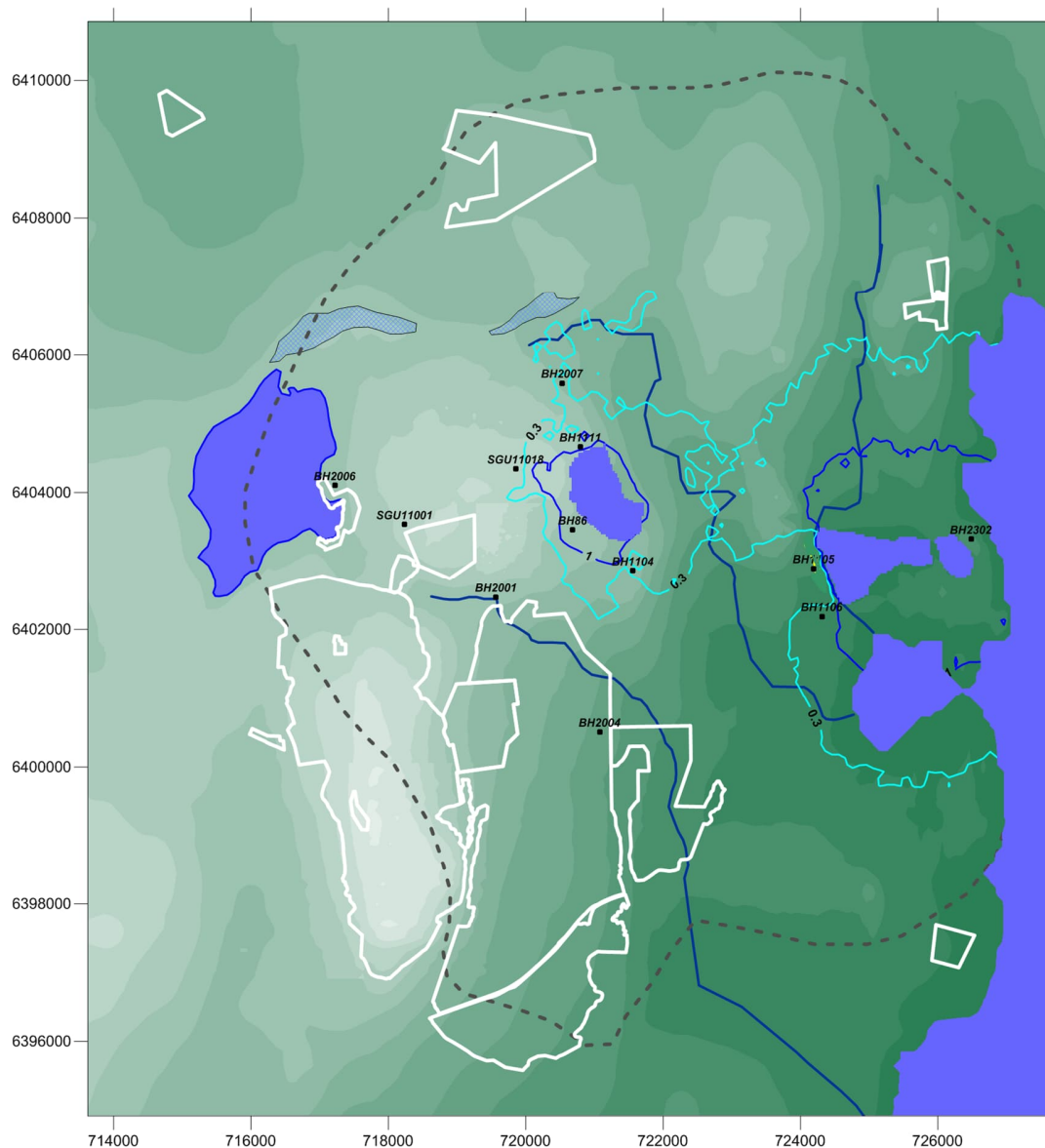
År 8: Sommar, Juli månad. Scenario *LT2F-Noll-8a*

Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.  
 Vattennivån i Västra och Östra brotten= -21 möh

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.  
 Glacifluvium markerat med blå rastrering  
 Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-5 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 8: Höst, September månad. Scenario *LT2F-Noll-8a*

Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.

Vattennivån i Västra och Östra brotten= -21 möh

Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m

Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m

Blå linje (höjning) = +1.0 m

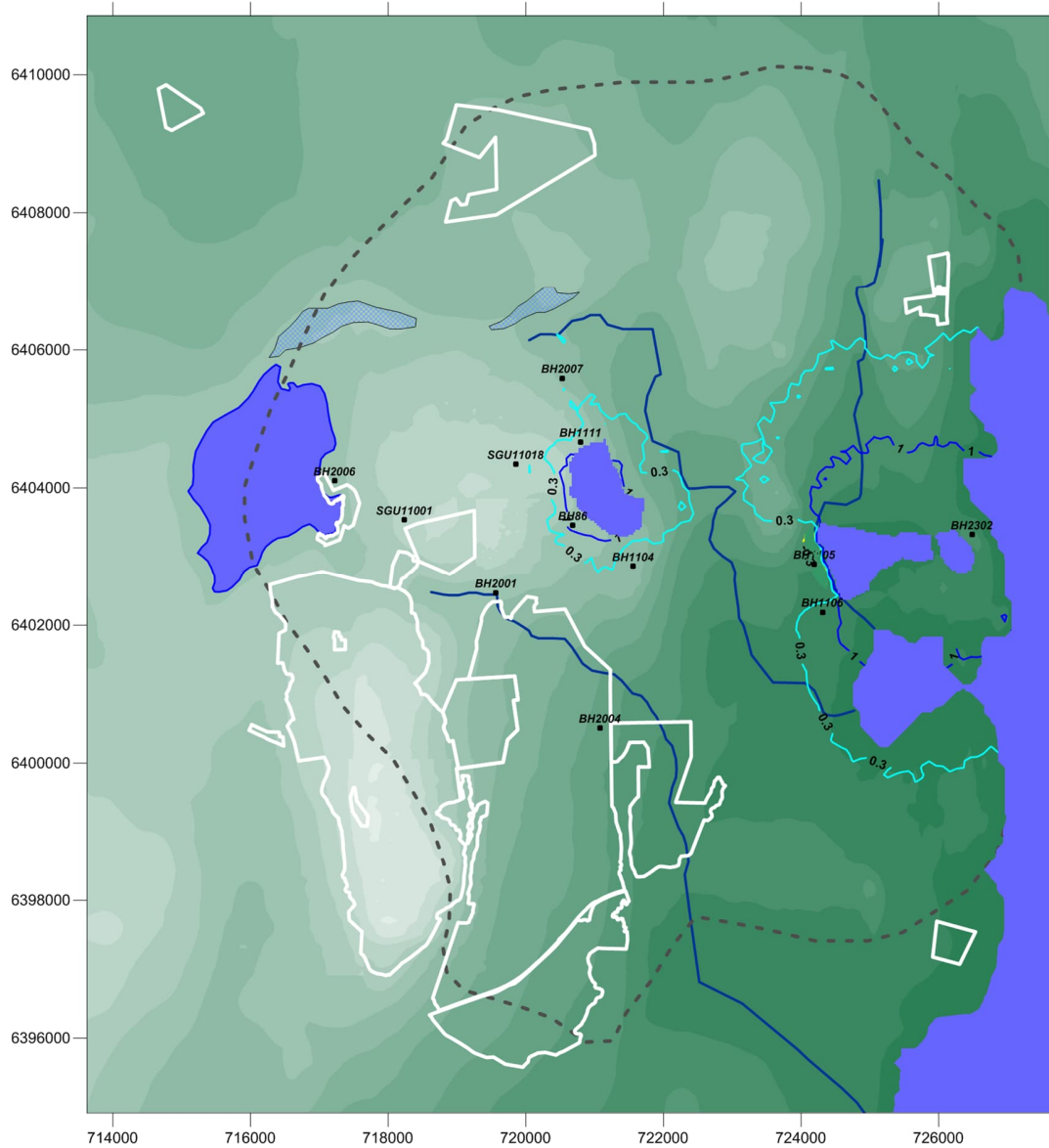
Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-6 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 8: Höst, December månad. Scenario *LT2F-Noll-8a*

Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.

Vattennivån i Västra och Östra brotten= -21 möh

Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m

Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m

Blå linje (höjning) = +1.0 m

Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

## 10.5 Nollalternativet år 20

### 10.5.1 Studerad situation

För den studerade situation, som är nollalternativet år 20, antas det att dagbrotten kommer vara fullt utbrutna enligt Heidelberg Materials nuvarande tillstånd. Dagbrottens storlek framgår av Figur 5-1. De antagna vattennivåerna i dagbrotten diskuteras i Sektion 10.1.

Jämförelsen avser:

Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.

Scenario: LT2F.

och

Nollalternativet år 20.

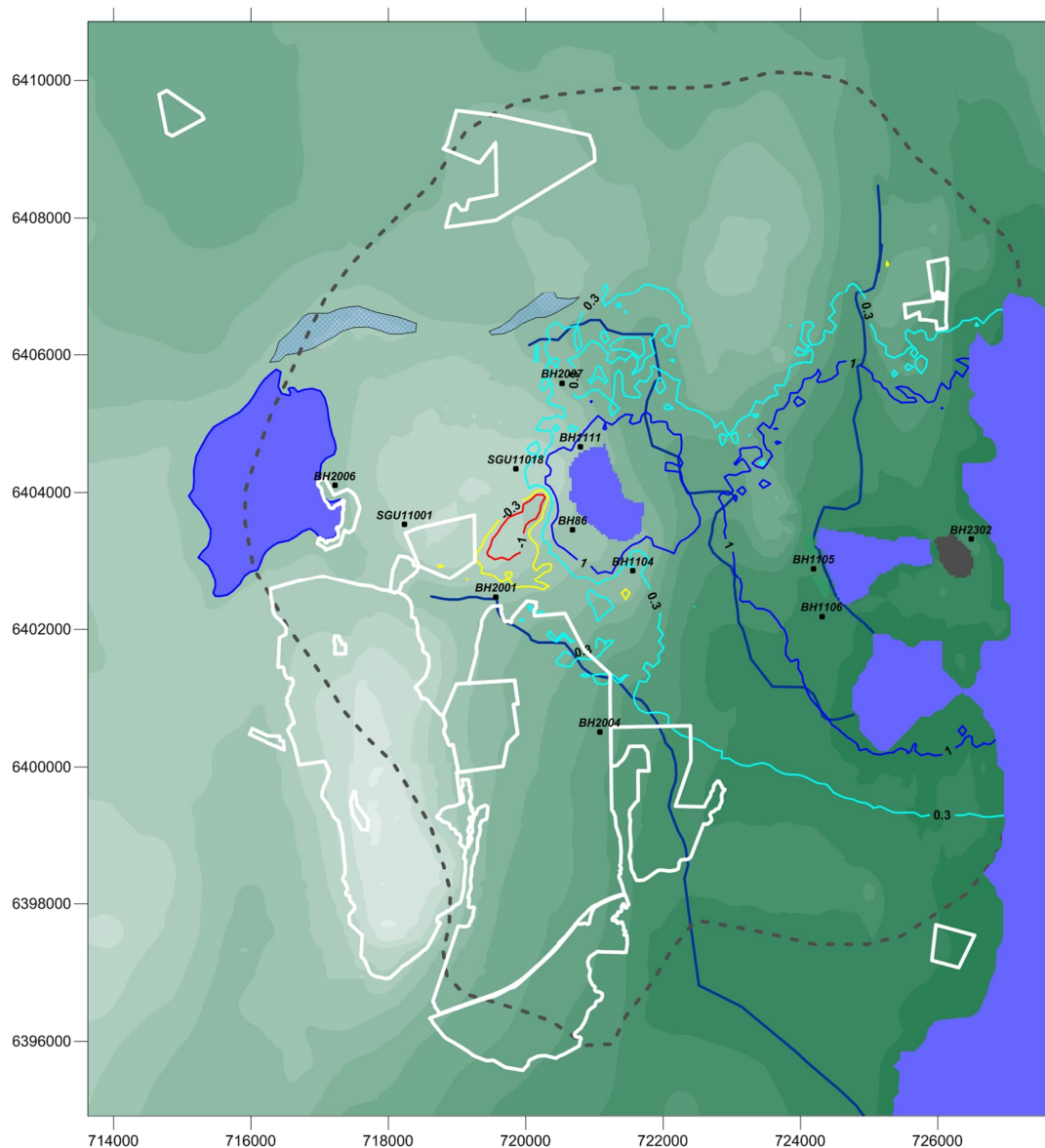
Scenario: M81--LT2F- Noll-VOm14-FH26m-20a

Referenssituationen (LT2F) är definierat med det nuvarande klimatet. Den framtida situationen år 20 är definierat med ett framtida klimat. Framtida klimat enligt RCP 4.5 Period 2021-2050 (faktorer). Det betyder att de beräknade påverkansområdena inkluderar inte bara effekten av att dagbrotten vattenfylls utan också effekten av det framtida klimatet. Nettonederbörden definierar klimatet i modellen. Förändringen i nettonederbörd som följer av det framtida klimatet (klimatpåverkan) är ringa för alla månader utom april. Därför visas för april månad både påverkansområden med klimateffekter och påverkansområden där klimateffekterna har subtraherats bort.

### 10.5.2 Beräknade påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-7 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5 m-47 m. Nollalternativet.

År 20: Vår, April månad. Scenario *LT2F- Noll-VOm14-FH26m-20a*

*Påverkansområden med climateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= -14 möh*

<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

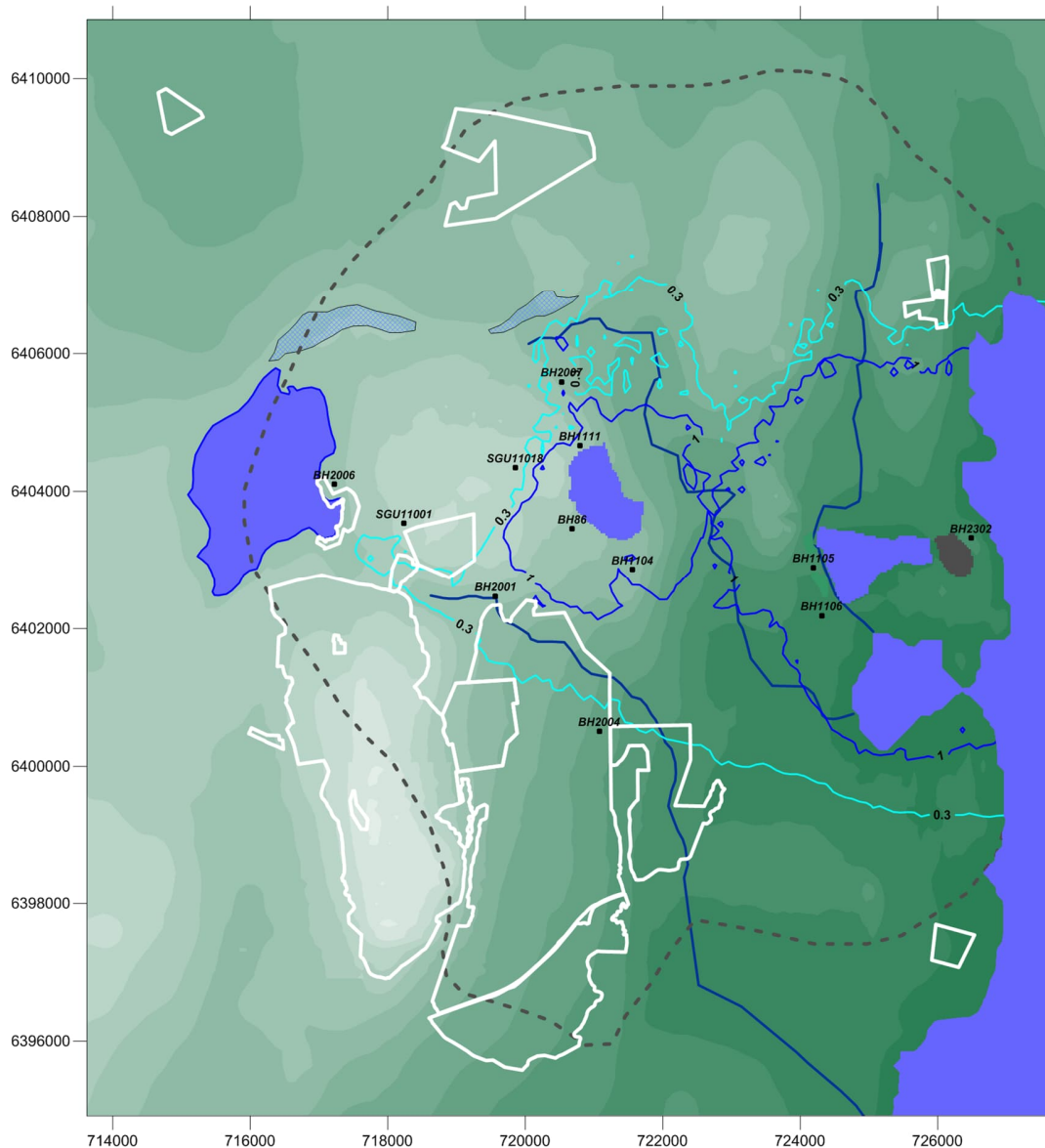
*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådsområdet.*



GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-8 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5 m-47 m. Nollalternativet.

År 20: Vår, April månad. Scenario *LT2F- Noll-VOm14-FH26m-20a*

Påverkansområden **utan** klimateffekter.

Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh

Vattennivån i Västra och Östra botten= -14 möh

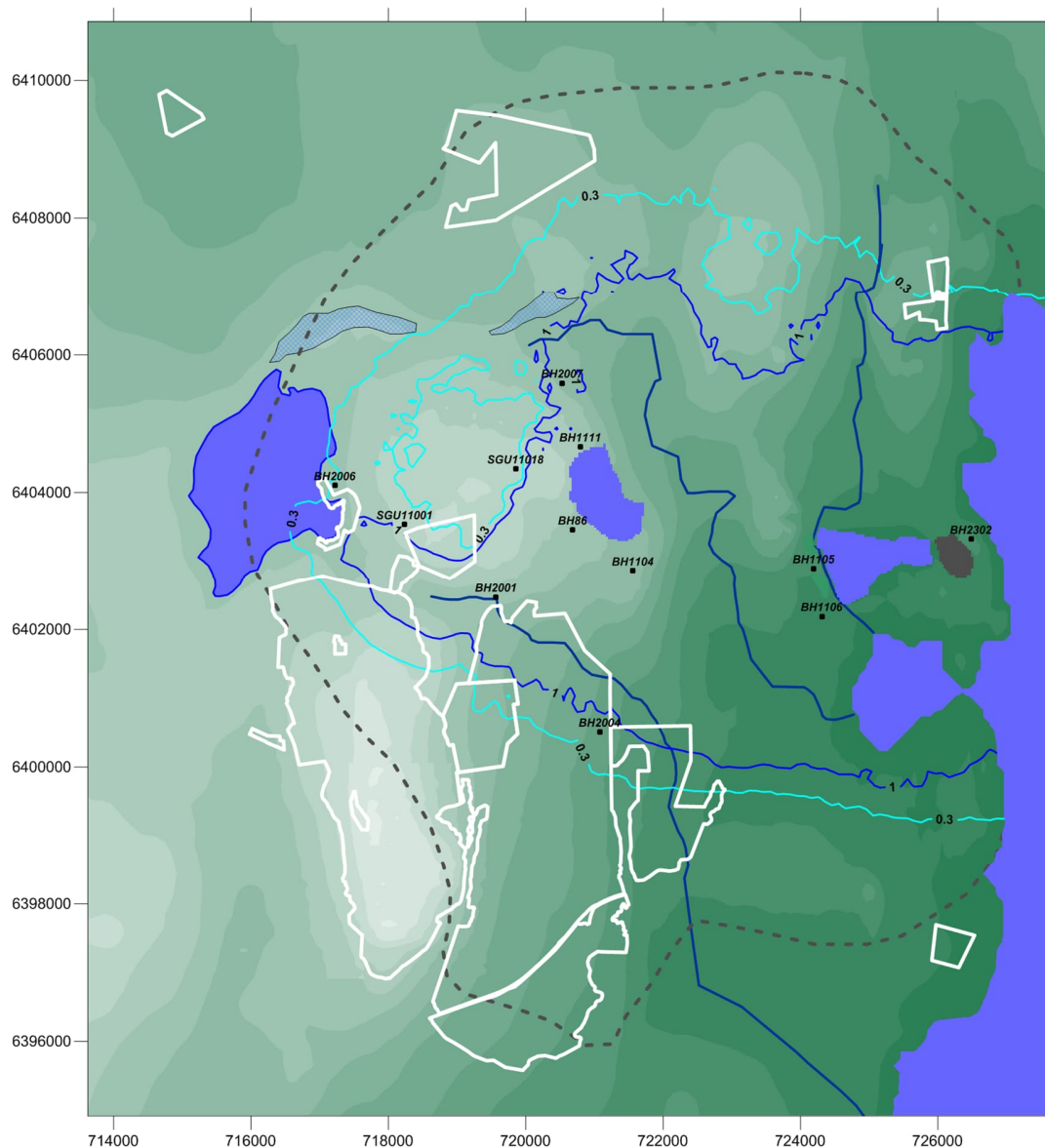
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-9 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5 m-47 m. Nollalternativet.

År 20: Sommar, Juli månad. Scenario *LT2F- Noll-VOm14-FH26m-20a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= -14 möh*

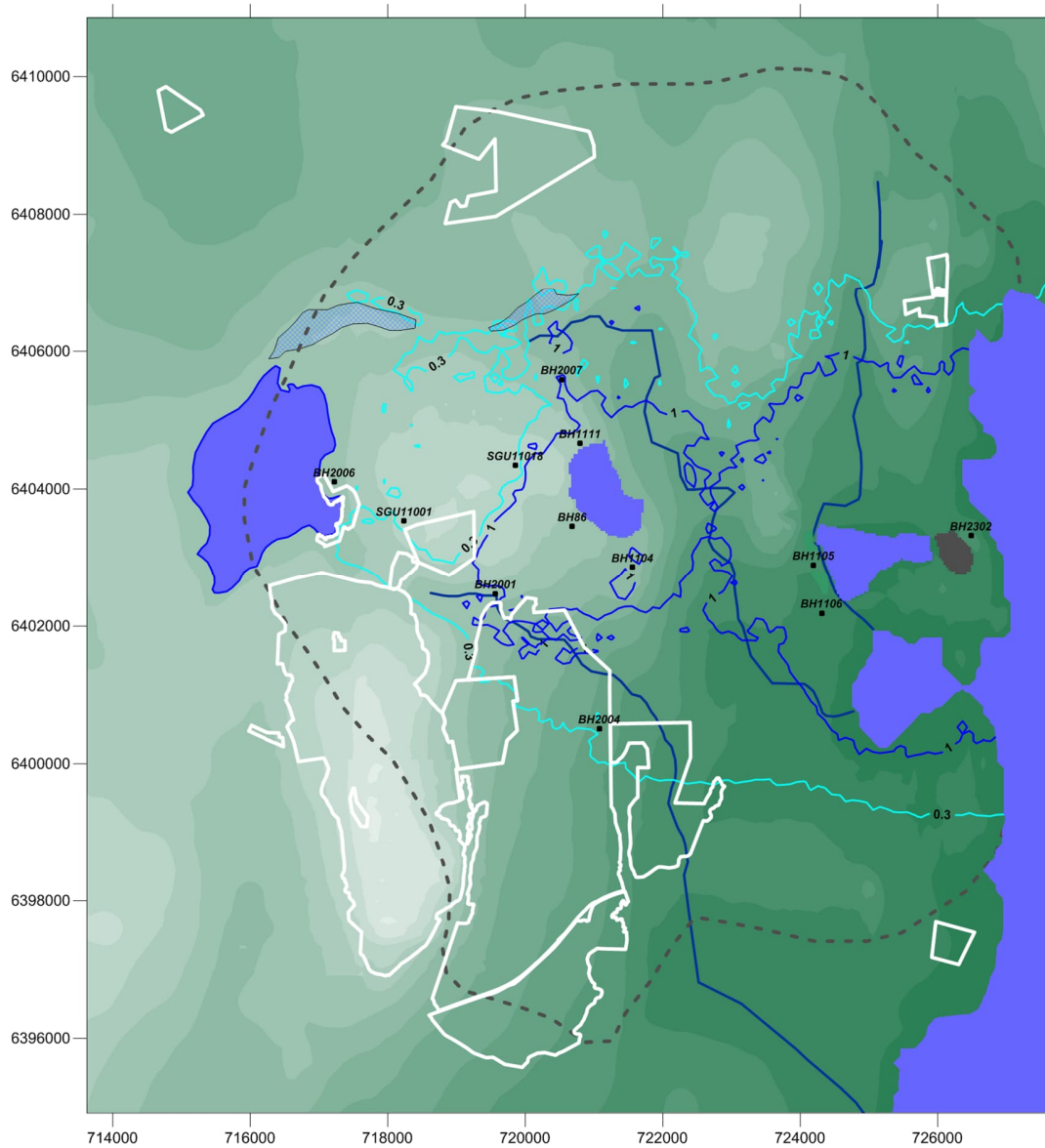
<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-10 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5 m-47 m. Nollalternativet.

År 20: Höst, September månad. Scenario *LT2F- Noll-V0m14-FH26m-20a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= -14 möh*

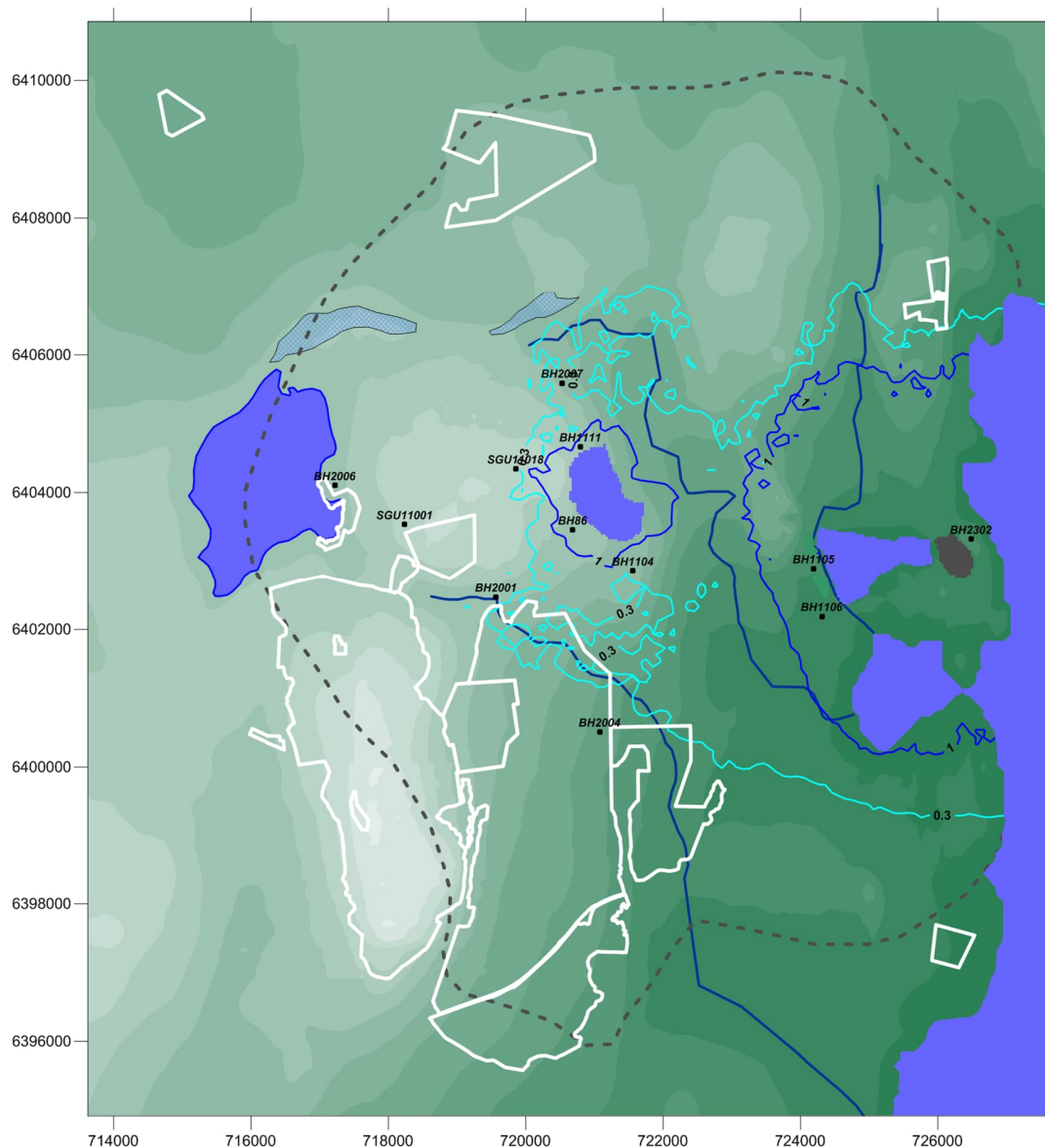
<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-11 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5 m-47 m. Nollalternativet.

År 20: Vinter, December månad. Scenario *LT2F- Noll-VOm14-FH26m-20a*

*Påverkansområden med climateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= -14 möh*

*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m*

*Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m*

*Blå linje (höjning) = +1.0 m*

*Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m*

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*

## 10.6 Nollalternativet år 30

### 10.6.1 Studerad situation

För den studerade situation, som är nollalternativet år 30, antas det att dagbrotten kommer vara fullt utbrutna enligt Heidelberg materials nuvarande tillstånd. Dagbrottens storlek framgår av Figur 5-1. De antagna vattennivåerna i dagbrotten diskuteras i Sektion 10.1.

Jämförelsen avser:

Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.

Scenario: LT2F.

och

Nollalternativet år 30.

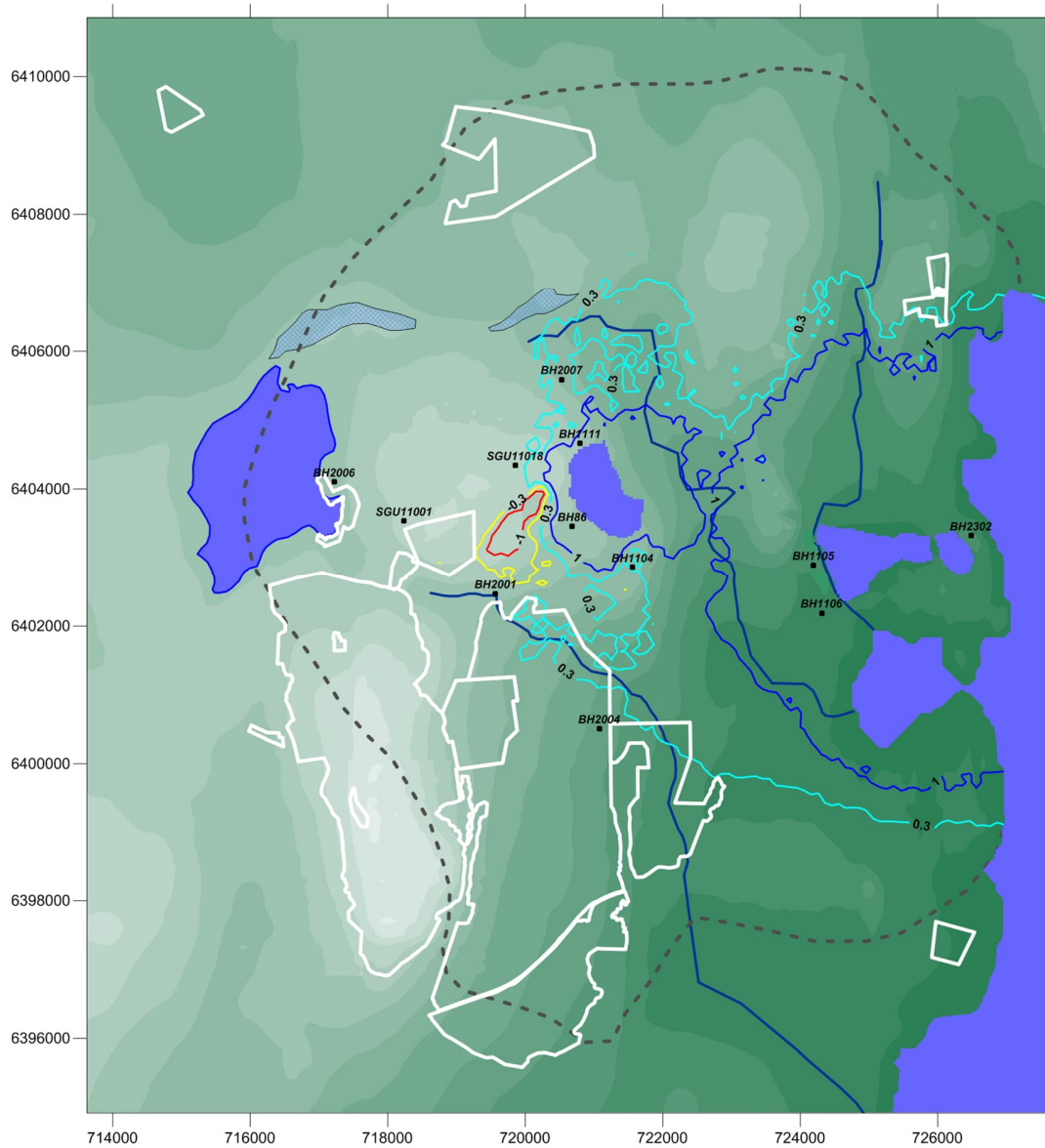
Scenario: M81--LT2F- Noll-VOm8-FH26m-30a

Referenssituationen (LT2F) är definierat med det nuvarande klimatet. Den framtida situationen år 30 är definierat med ett framtida klimat. Framtida klimat enligt RCP 4.5 Period 2071-2100 (faktorer). Det betyder att de beräknade påverkansområdena inkluderar inte bara effekten av att dagbrotten vattenfylls utan också effekten av det framtida klimatet. Nettonederbörden definierar klimatet i modellen. Förändringen i nettonederbörd som följer av det framtida klimatet (klimatpåverkan) är ringa för alla månader utom april. Därför visas för april månad påverkansområden med klimateffekter, och påverkansområden där klimateffekterna har subtraherats bort.

### 10.6.2 Beräknade påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-12 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5 m-47 m. Nollalternativet.

År 30: Vår, April månad. Scenario *LT2F- Noll-VOm8-FH26m-30a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= -8 möh*

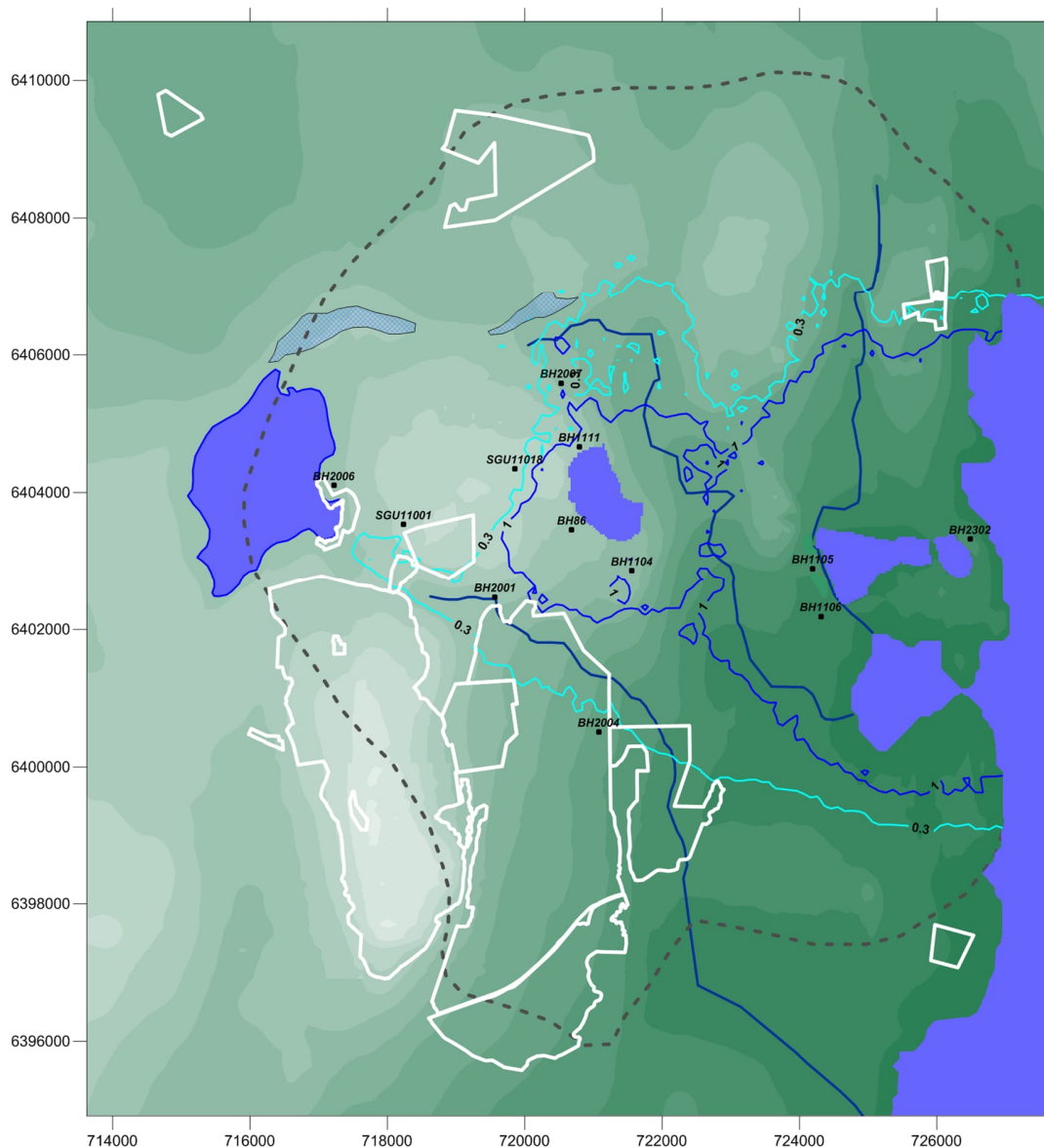
<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-13 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5 m-47 m. Nollalternativet.

År 30: Vår, April månad. Scenario *LT2F-Noll-VOm8-FH26m-30a*

Påverkansområden **utan** klimatteffekter.

Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh

Vattennivån i Västra och Östra botten= -8 möh

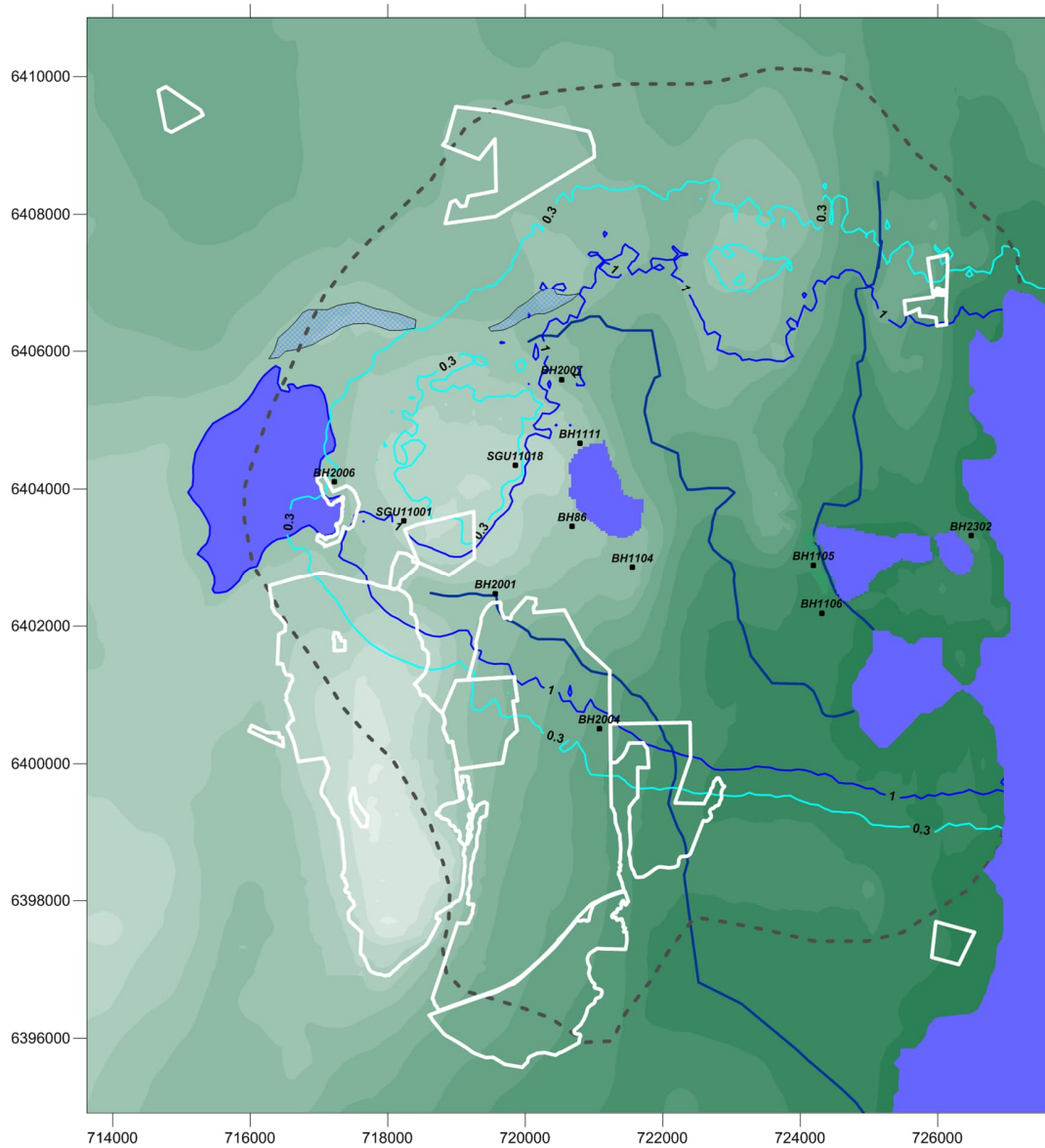
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-14 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5 m-47 m. Nollalternativet.

År 30: Sommar, Juli månad. Scenario *LT2F-Noll-V0m8-FH26m-30a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= -8 möh*

*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m*  
*Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m*  
*Blå linje (höjning) = +1.0 m*  
*Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m*

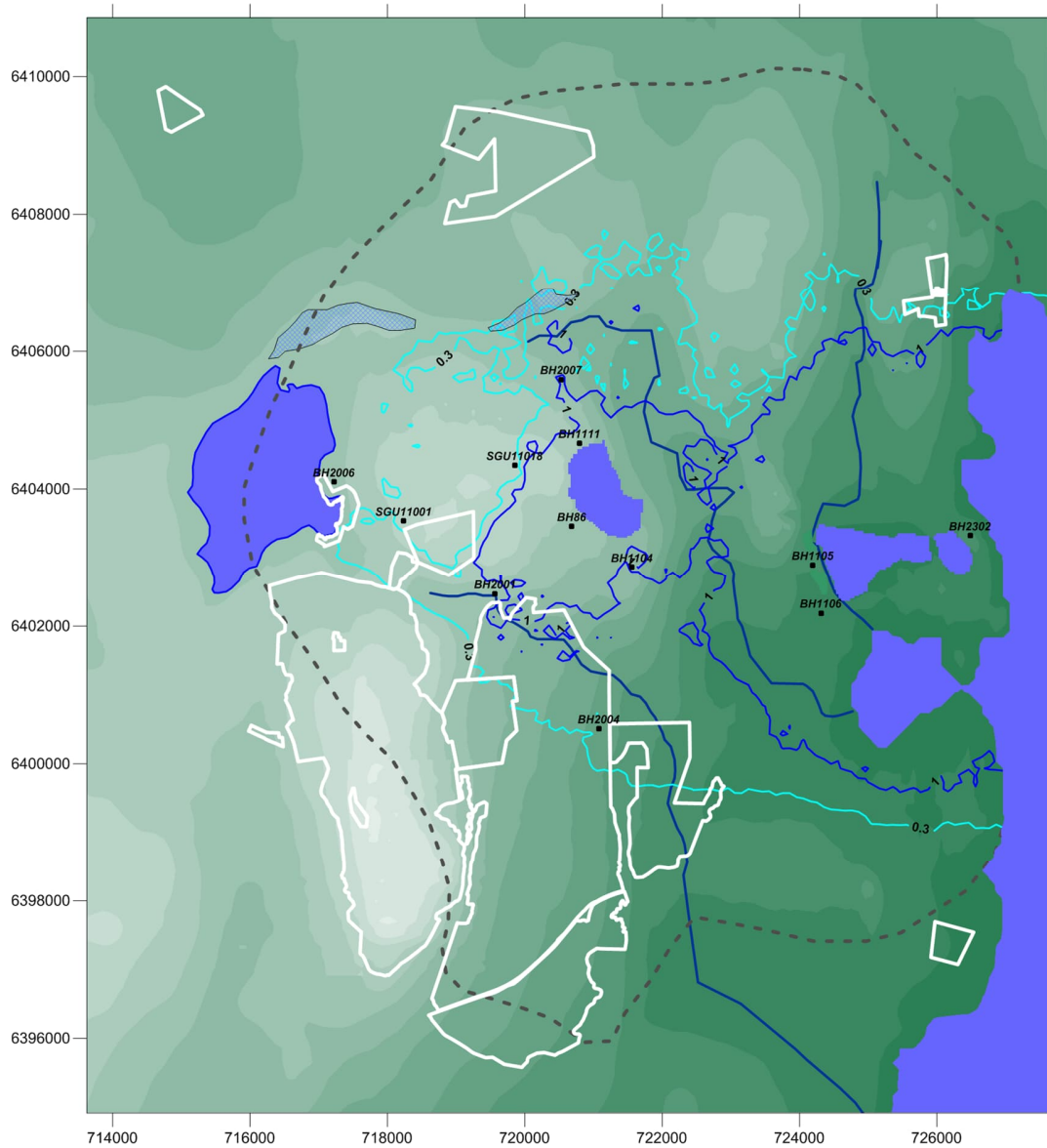
*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*



GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-15 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5 m-47 m. Nollalternativet.

År 30: Höst, September månad. Scenario *LT2F-Noll-V0m8-FH26m-30a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= -8 möh*

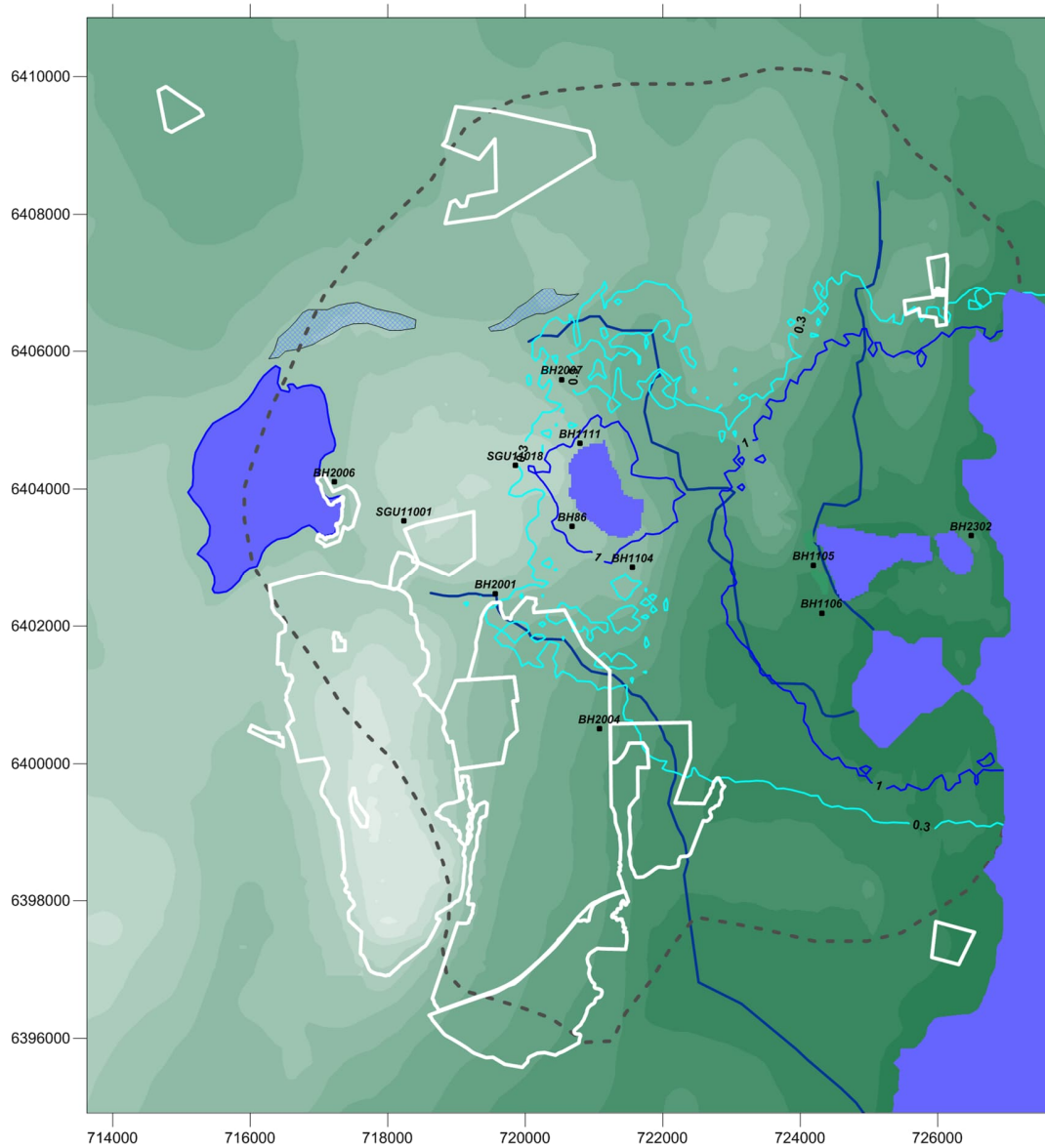
*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m*  
*Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m*  
*Blå linje (höjning) = +1.0 m*  
*Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m*

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-16 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5 m-47 m. Nollalternativet.

År 30: Vinter, December månad. Scenario *LT2F-Noll-VOm8-FH26m-30a*

*Påverkansområden med climateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= -8 möh*

*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m*  
*Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m*  
*Blå linje (höjning) = +1.0 m*  
*Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m*

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*

## 10.7 Nollalternativet år 70

### 10.7.1 Studerad situation

För den studerade situation, som är nollalternativet år 70, antas det att dagbrotten kommer vara fullt utbrutna enligt Heidelbergs nuvarande tillstånd. Dagbrottens storlek framgår av Figur 5-1. De antagna vattennivåerna i dagbrotten diskuteras i Sektion 10.1.

Jämförelsen avser:

Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.

Scenario: LT2F.

och

Nollalternativet år 70.

Scenario: M81--LT2F- Noll-VOp1-FH26m-70a

Referenssituationen (LT2F) är definierat med det nuvarande klimatet. Den framtida situationen år 70 är definierat med ett framtida klimat. Framtida klimat enligt RCP 4.5 Period 2071-2100 (faktorer). Det betyder att de beräknade påverkansområdena inkluderar inte bara effekten av att dagbrotten vattenfylls utan också effekten av det framtida klimatet. Nettonederbörden definierar klimatet i modellen. Förändringen i nettonederbörd som följer av det framtida klimatet (klimatpåverkan) är ringa för alla månader utom april. Därför visas för april månad påverkansområden med klimateffekter, och påverkansområden där klimateffekterna har subtraherats bort.

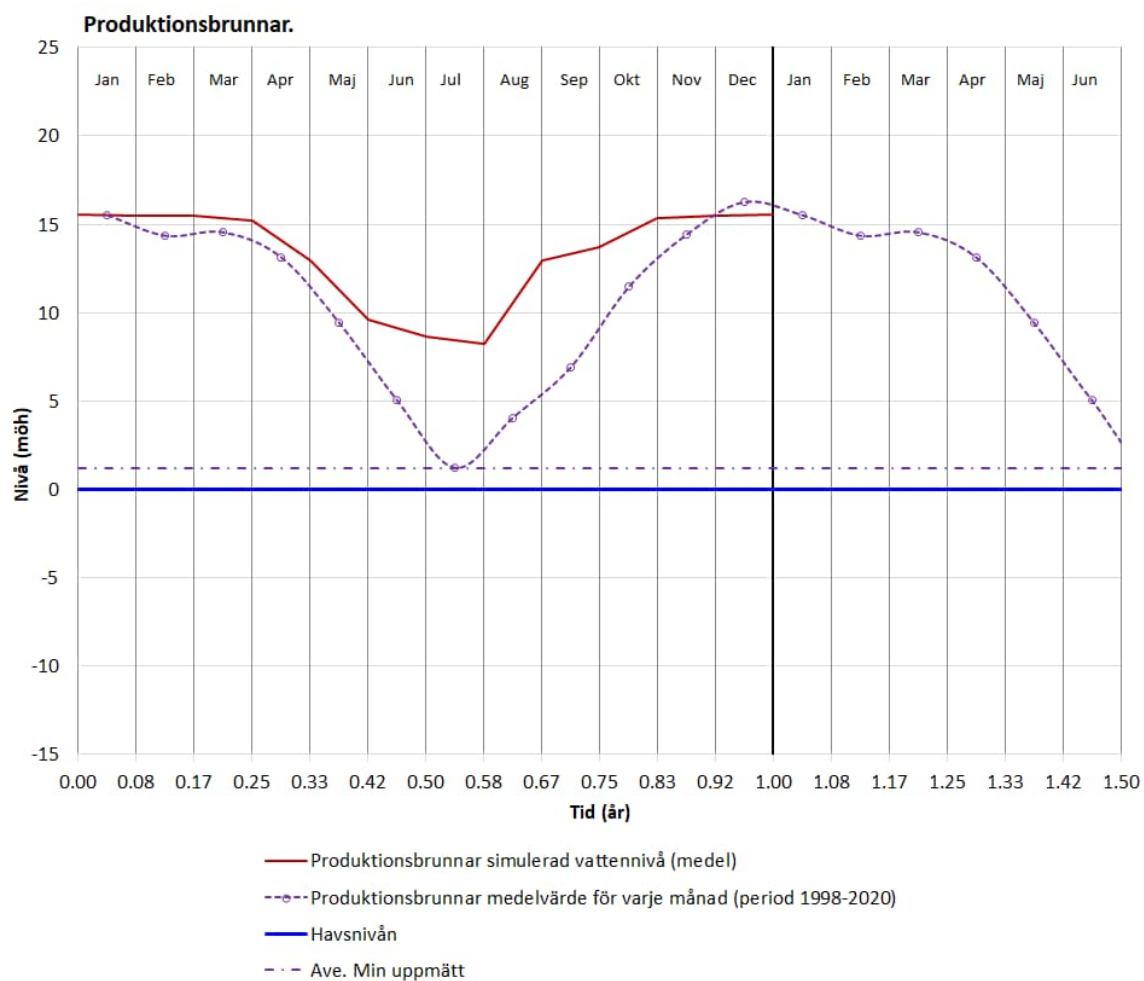
### 10.7.2 Flöde och vattennivå i de kommunala produktionsbrunnarna

För den studerade situationen visas beräknade vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna i Figur 9-9. Medelvärde för minsta vattennivå i produktionsbrunnarna har satts till +0.5 möh Den totala årsproduktionen är satt till 220 000 m<sup>3</sup>/år (vattendom). Som framgår av figuren ökar vattennivåerna i brunnarna tydligt. Detta beror på att File hajdar dagbrott är vattenfyllt, vilket naturligtvis är positivt för produktionsbrunnarna. Då File hajdar dagbrott är vattenfyllt kan uttagen ur brunnarna ökas betydligt i jämförelse med vattendomen.

### 10.7.3 Utflöde från Tingstäde träsk

Genom botten på Tingstäde träsk sker ett mindre nettoutflöde av grundvatten, flödets storlek varierar under året, med störst utflöde under sommaren. För referenssituationen (den tillståndsgivna verksamheten Scenario LT2) beräknas detta nettoutflöde (inflöde-utflöde) till nära 5 000 m<sup>3</sup>/år. För situationen år 70 beräknas detta nettoutflöde (inflöde-utflöde) minska med nära 500 m<sup>3</sup>, vilket är en försumbar förändring i jämförelse med andra flöden i sjöns vattenbalans, tex uppskattas tillrinningen till sjön vara större än två miljoner m<sup>3</sup>/år.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE

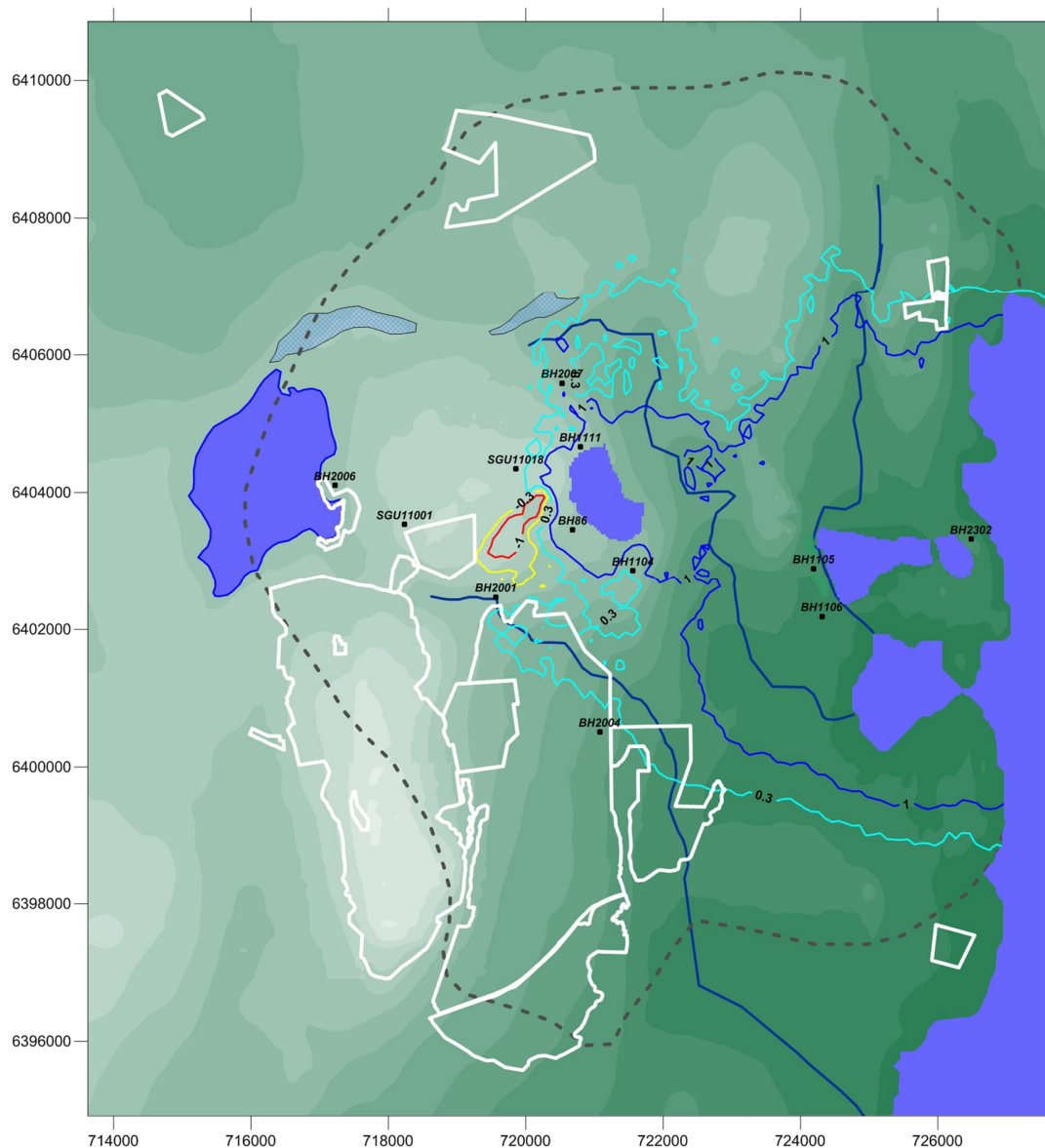


Figur 10-17 Simulerade och uppmätta vattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna. Nollalternativ år 70.

### 10.7.4 Beräknade påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-18 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 70: Vår, April månad. Scenario *LT2F- Noll-VOp1-FH26m-70a*

*Påverkansområden med climateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= +1 möh*

*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m*

*Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m*

*Blå linje (höjning) = +1.0 m*

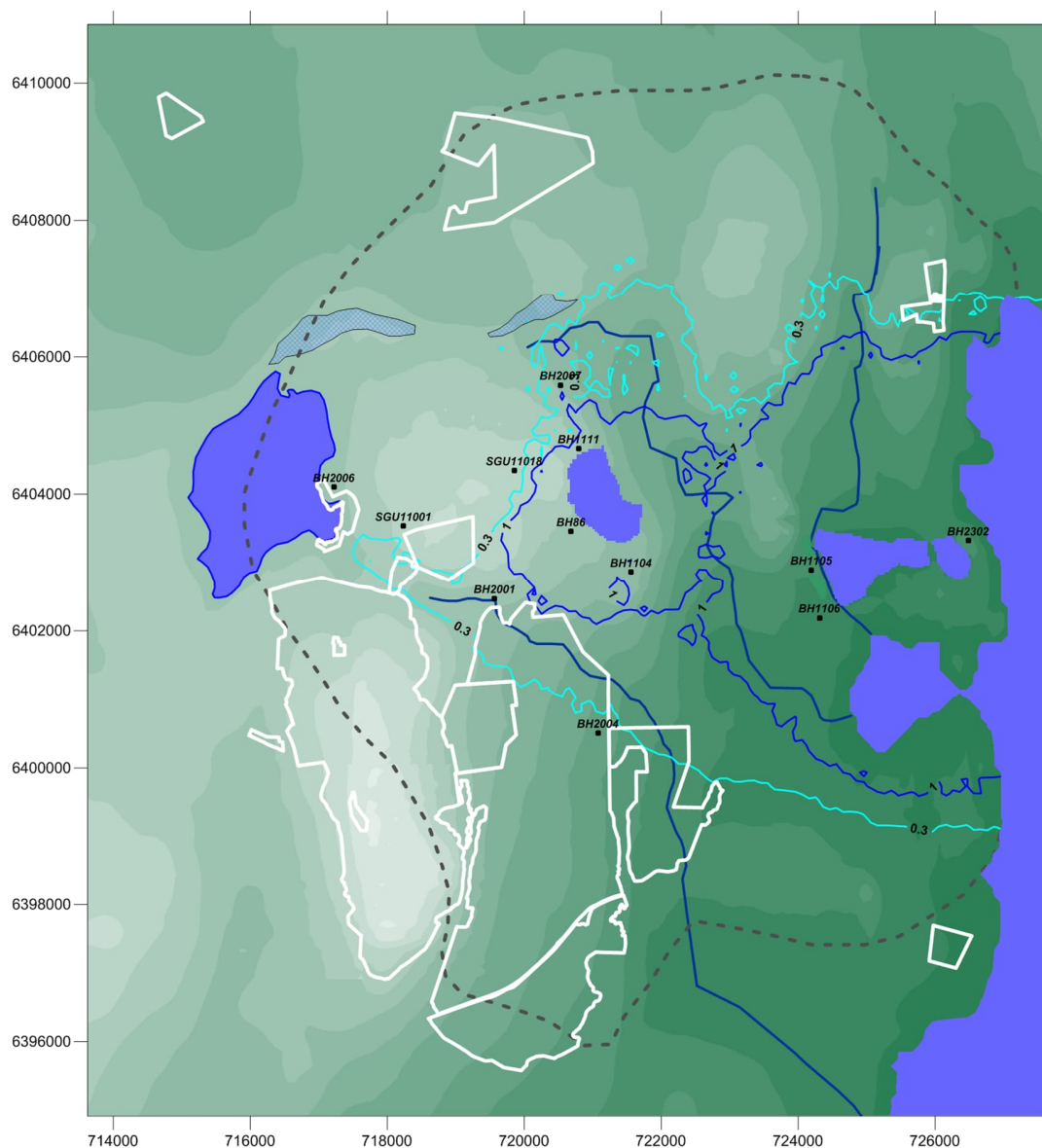
*Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m*

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-19 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5 m-47 m.

År 70: Vår, April månad. Scenario *LT2F- Noll-VOp1-FH26m-70a*

Påverkansområden **utan** klimatteffekter.

Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh

Vattennivån i Västra och Östra botten= +1 möh

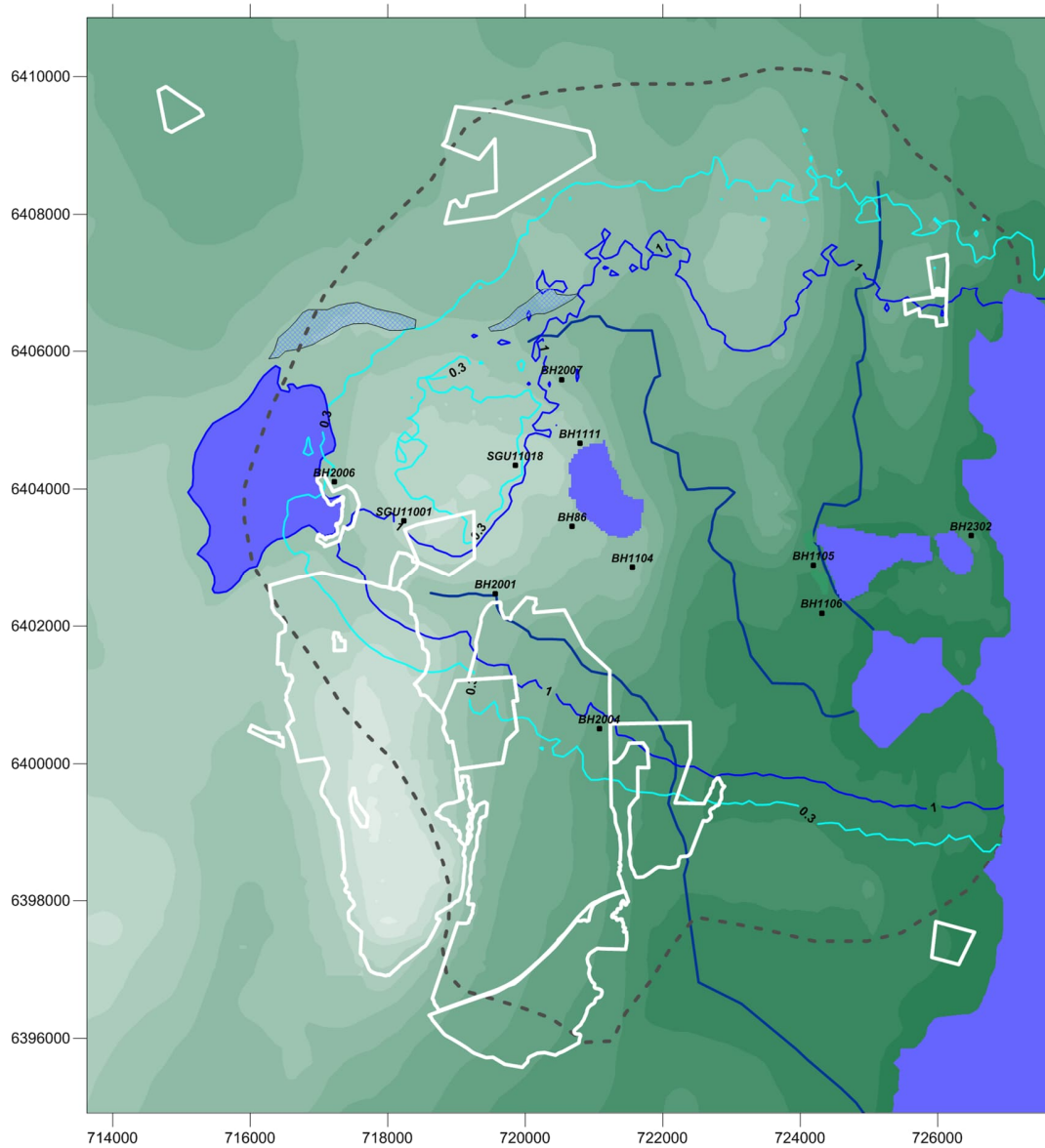
Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-20 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5 m-47 m. Nollalternativet.

År 70: Sommar, Juli månad. Scenario *LT2F- Noll-VOp1-FH26m-70a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh*

*Vattennivån i Västra och Östra brotten= +1 möh*

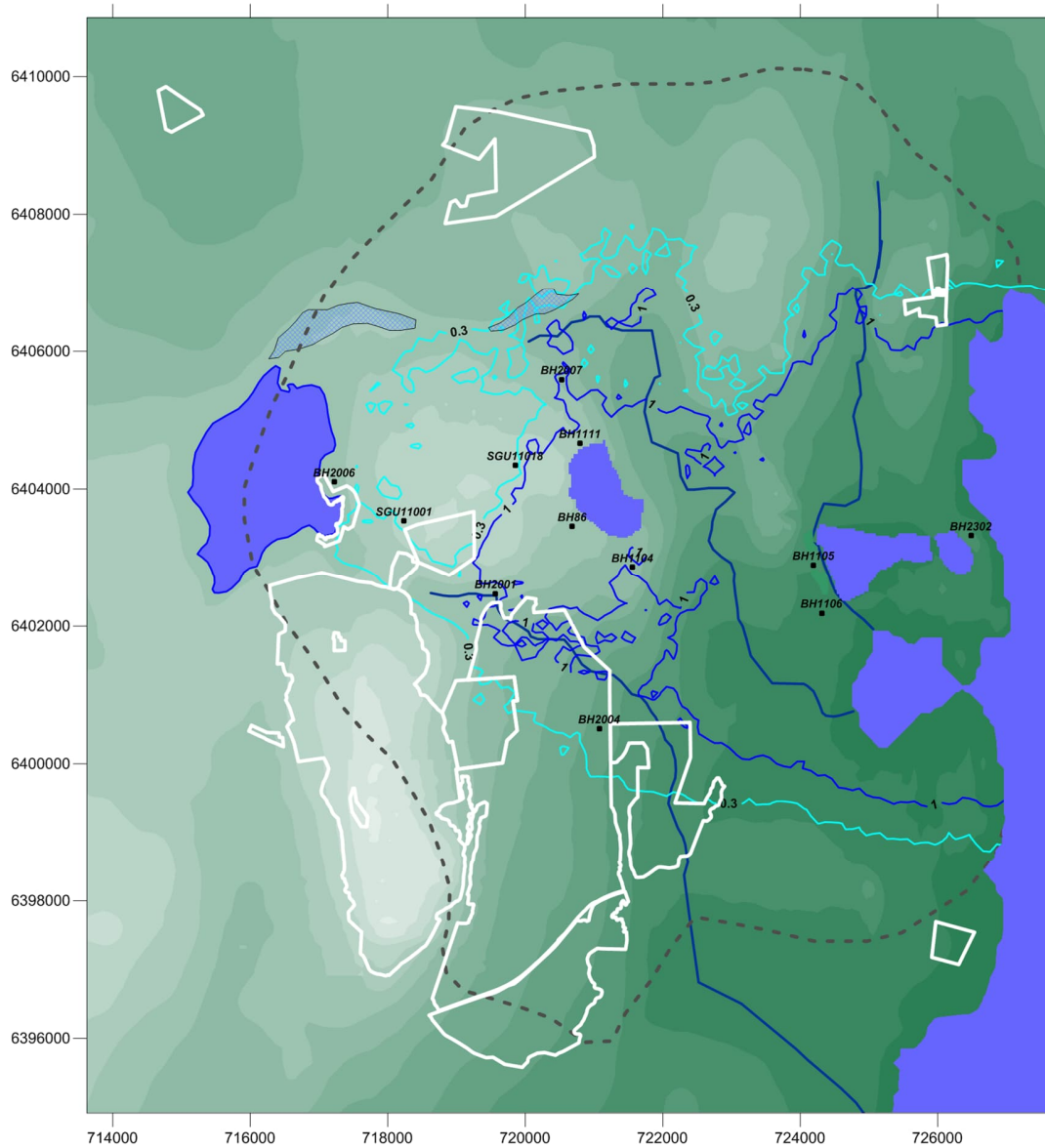
<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-21 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5 m-47 m. Nollalternativet.

År 70: Höst, September månad. Scenario *LT2F- Noll-VOp1-FH26m-70a*

*Påverkansområden med klimatteffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= +1 möh*

<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

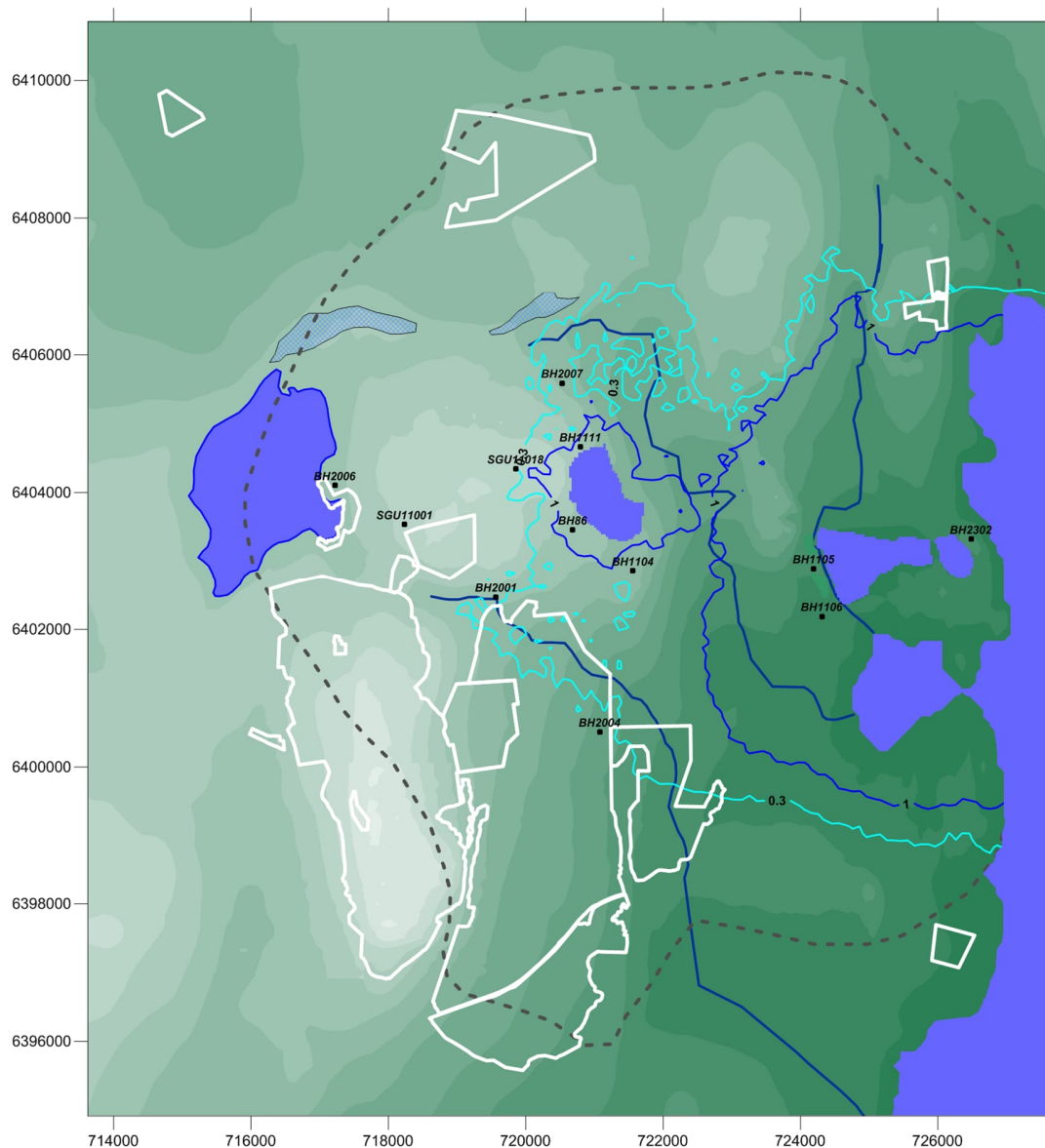
*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*



GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 10-22 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5 m-47 m. Nollalternativet.

År 70: Vinter, December månad. Scenario *LT2F- Noll-VOp1-FH26m-70a*

*Påverkansområden med climateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +26 möh*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= +1 möh*

*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m*

*Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m*

*Blå linje (höjning) = +1.0 m*

*Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m*

*Natura 2000-områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

*Den yttre grå punktstreckade linjen visar avgränsningen för samrådskretsen.*

# 11. Påverkan på grundvattenflödena i grundvattenförekomsterna – Situationen med skyddsåtgärder

## 11.1 Inledning

I detta kapitel beräknas hur det utvidgade dagbrottet på File hajdar påverkar grundvattenflödena i och mellan de olika vattenförekomsterna inom det studerade området. Den studerade situationen är de framtida situationerna för år 8 och år 30 med skyddsåtgärder (Sky5), ridåinjektering av berget längs med västra kanten på File hajdar dagbrott samt infiltration i tre infiltrationsbrunnar (se Sektion 7). De olika flödena för de olika dagbrotten etc, som diskuteras i detta kapitel, presenteras också i tabeller i Appendix H. Sektion 22.

## 11.2 Beräkningar för situationen år 8 med skyddsåtgärder

### 11.2.1 Grundvattenförekomster och största påverkansområde år 8

I tidigare sektioner har vi presenterat påverkansområden, dessa områden är indirekta påverkansområden. Grundvattnet inom verksamhetens indirekta påverkansområde strömmar inte nödvändigtvis till dagbrotten, men grundvattennivåerna inom det indirekta påverkansområdet är påverkade av dagbrottets utökning. För den ansökta framtida situationen år 8 kommer grundvattennivåerna kring dagbrotten att förändras. Påverkansområdena för berggrundvatten visas i Sektion 7.2.5 för den framtida situationen år 8 med skyddsåtgärder.

Påverkansområdena har beräknats för en jämförelse mellan:

[Tillståndsgiven situation, LT2] och

[Situationen år 8 med skyddsåtgärder, Sc8G1R4K-VbG1Vam265-Sky5]

Ett största påverkansområde kan uppskattas genom att alla påverkansområdena, för olika årstider, vår-sommar-höst, från figurerna i Sektion 7.2.5 läggs ovanpå varandra och den yttersta linjen identifieras (längst bort från dagbrotten). En linje kan då ritas som följer de yttersta linjerna för påverkansområdet med gränsvärdet 0.3 m. Två sådana gemensamma linjer kan identifieras, en linje för gränsvärdet -0.3 m (avsänkning), en linje för gränsvärdet +0.3 m (höjning). Dessa två linjer representerar det största påverkansområdet för gränsvärdet +/-0.3 m, för situationen år 8, med skyddsåtgärder, för årstiderna vår-sommar-höst.

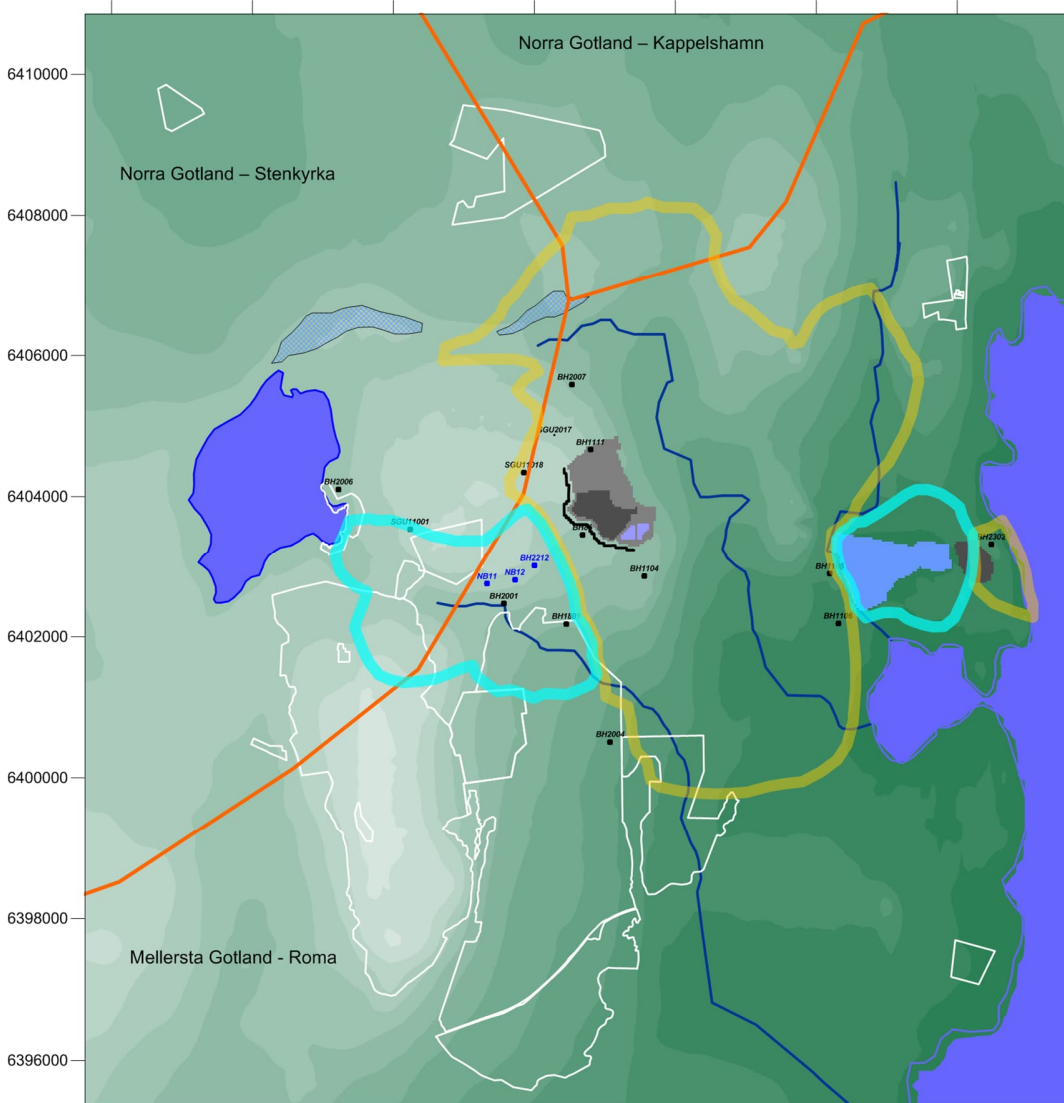
Påverkansområdena visas i Figur 11-1 nedan. Figuren visar också de olika vattenförekomsterna inom det studerade området. Tre vattenförekomster finns inom det största påverkansområdet:

- Norra Gotland – Stenkyrka
- Norra Gotland – Kappelshamn
- Mellersta Gotland – Roma

GRUNDVATTENMODELL SLITE

Arean för de sammanlagda påverkansområdena i Figur 11-1 (gul och blå linjer) är:  
 Påverkansområdet för gränsvärdet -0.3 m (avsänkning) = 3 500 hektar.  
 Påverkansområdet för gränsvärdet +0.3 m (höjning) = 1 000 hektar.  
 Totalt = 4 500 hektar

Den areaviktade nettonederbörden för ett normalår för den nuvarande situationen är 222 mm/år. Förändringen i nettonederbörd för det framtida klimatet är liten. De beräknade faktorerna i Tabell 2-4 visar att om man betraktar nettonederbörden för hela året blir skillnaden liten mellan nettonederbörden för den nuvarande situationen och nettonederbörden för de framtida situationerna. En nettonederbörd lika med 222 mm/år producerar en total volym av nettonederbörd för de två områdena i Figur 11-1 lika med 9.9 miljoner m<sup>3</sup>/år.



Figur 11-1 Det studerade området med dagbrotten etc. Gränserna för de olika grundvattenförekomsterna framgår i figuren med röda linjer.

För situationen år 8 med skyddsåtgärder: Det största sammanlagda negativa påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde -0.3 m är markerat med fet gul linje. Det största sammanlagda positiva påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde +0.3 m är markerat med en fet ljusblå linje.

### 11.2.2 Norra Gotland – Stenkyrka – Grundvattenflöden år 8

En mycket liten del av grundvattenförekomsten ligger innanför det största påverkansområdet. Se Figur 11-2. Figuren visar det studerade området med dagbrotten etc. Gränsen för grundvattenförekomsten är markerat i figuren. Det största påverkansområdet är beräknat för gränsvärdet -0.3 m (avsänkning) eller +0.3 m (höjning). och beräknas som: [Situationen år 30 med skyddsåtgärder Sky 5] minus [Tillståndsgiven situation]. Detta område är markerat med gula och blå linjer i figuren. Förändringen i grundvattenflöde från grundvattenförekomsten har beräknats längs med den svarta streckade linjen i Figur 11-2

Areasnittet mellan grundvattenförekomsten och det största påverkansområdet markeras med den svarta streckade linjen i Figur 11-3. Areasnittet har storleken 550 hektar. Nettonederbörden är lika med 222 mm/år. Volymen vatten som produceras av nettonederbörden över areasnittet är lika med 1.2 miljoner m<sup>3</sup>/år.

Den svarta streckade linjen i Figur 11-2 och Figur 11-3 är inte ett lokalt avrinningsområde. Den metod som har använts för att beräkna påverkan på grundvattenförekomsten är inte samma metod som har använts för de lokala avrinningsområdena (presenterade i de tidigare sektionerna). Vi tänker oss att grundvattenförekomsten begränsas av en vertikal yta från markytan och nedåt, längs med den streckade linjen i Figur 11-2. Genom denna vertikala yta kan grundvattenflödet beräknas. Det är det totala utflödet av grundvatten från grundvattenförekomsten Stenkyrka till grundvattenförekomsten Roma som har beräknats längs med den streckade linjen i Figur 11-2; från ett djup från markytan mindre än eller nära 5 m, och ned till nivån ca -75 m ö.h. Vi har inte beräknat utflödet av grundvatten på markytan, utan utflödet genom den vertikala yta som begränsar grundvattenförekomsten nere i berget.

Grundvattenflödet har beräknats för följande scenarier:

Referenssituation	Tillståndsgiven situation, LT2
Framtida situation	Situationen år 8 med skyddsåtgärder, Sc8G1R4K-VbG1Vam265-Sky5

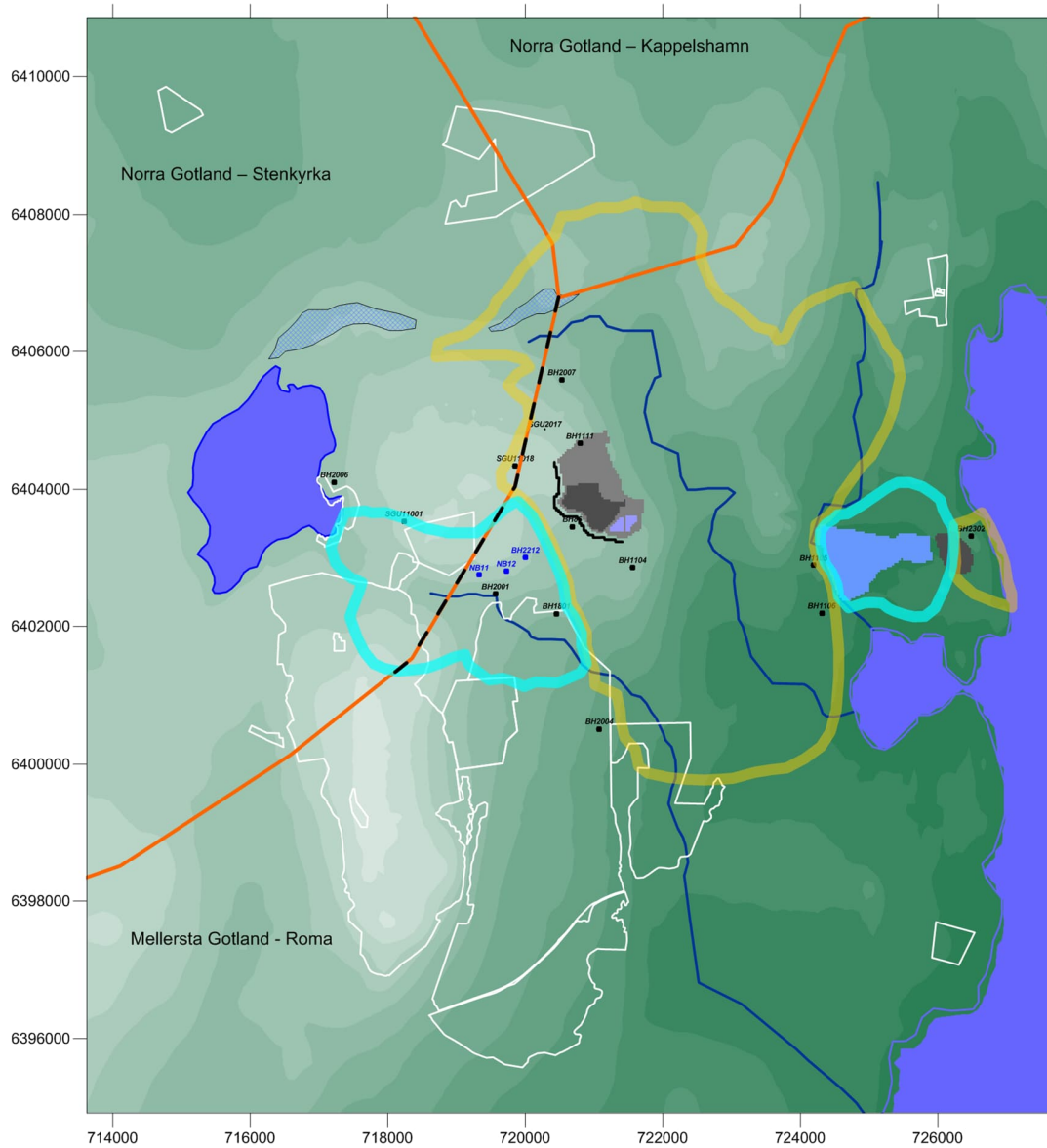
Förändringen i utflöde av grundvatten när de olika scenarierna jämförs med varandra visar på hur den framtida situationen påverkar grundvattenförekomsten (Stenkyrka). Förändringen i utflödet är den påverkan som dagbrottets utvidgning kommer att orsaka (för år 8).

En jämförelse mellan:

[Tillståndsgiven situation, LT2] och  
[Situationen år 8 med skyddsåtgärder, Sc8G1R4K-VbG1Vam265-Sky5]

Visar att det är det totala utflödet av grundvatten från grundvattenförekomsten Stenkyrka till grundvattenförekomsten Roma ökar med nära 100 000 m<sup>3</sup>/år (för ett normalår). Notera att det är förändringen i flöde, inte det totala flödet. Förändringen i flöde blir en förlust för grundvattenförekomsten Stenkyrka. Vilket kan jämföras med nettonederbörden över areasnittet, som är lika med 1.2 miljoner m<sup>3</sup>/år. Ökningen i utflöde motsvarar således 8% av nettonederbörden över areasnittet. Förändringen i flöde blir en vinst för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma.

GRUNDVATTENMODELL SLITE

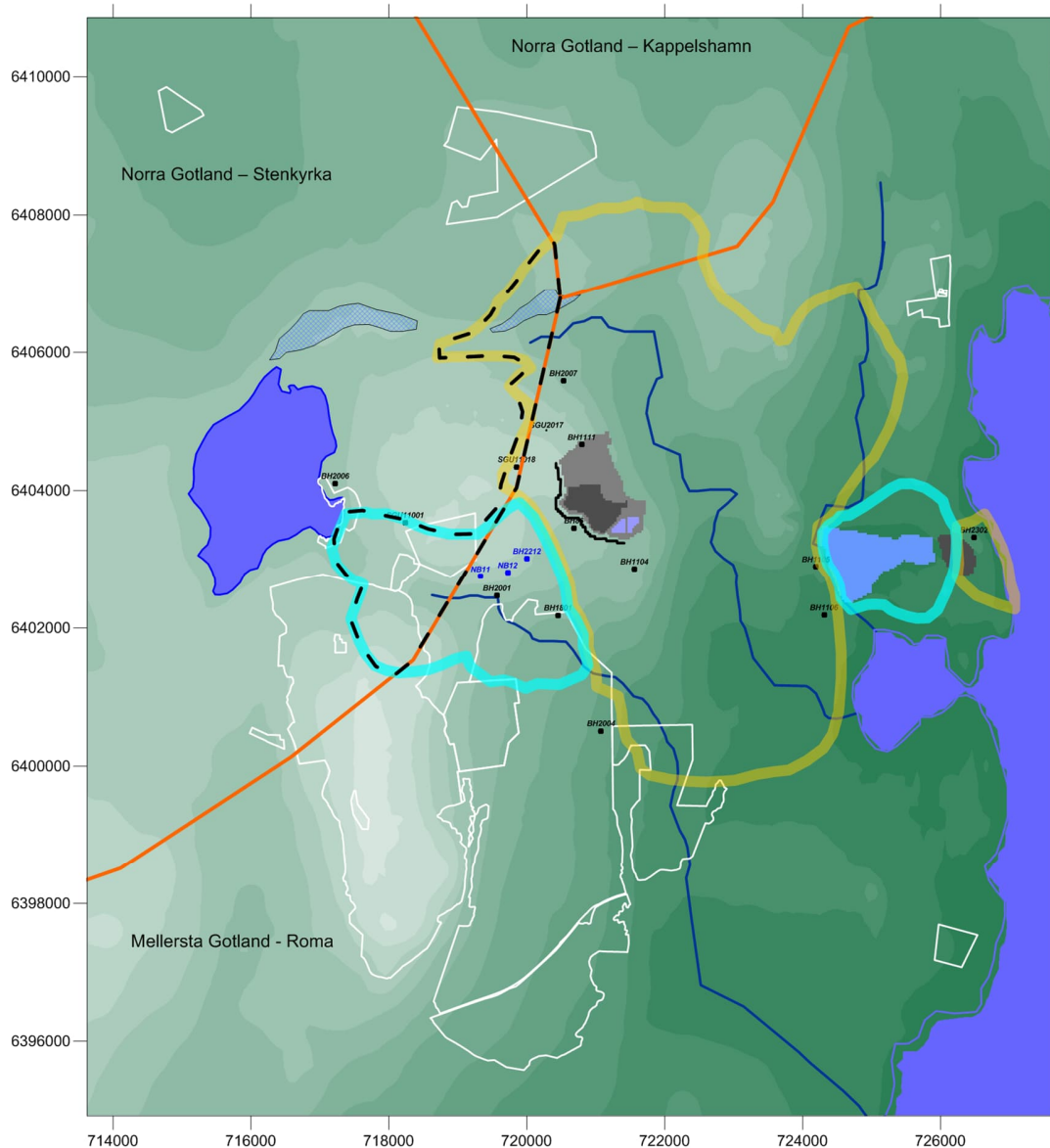


Figur 11-2 Det studerade området med dagbrotten etc. Gränserna för de olika grundvattenförekomsterna framgår i figuren med röda linjer.

Förändringen i utflöde från grundvattenförekomsten Stenkyrka har beräknats längs med den punktstreckade linjen.

För situationen år 8 med skyddsåtgärder: Det största sammanlagda negativa påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $-0.3$  m är markerat med fet gul linje. Det största sammanlagda positiva påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $+0.3$  m är markerat med en fet ljusblå linje.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 11-3 Det studerade området med dagbrotten etc. Gränserna för de olika grundvattenförekomsterna framgår i figuren med röda linjer.

Areasnittet mellan grundvattenförekomsten Stenkyrka och det största påverkansområdet markeras med den streckade linjen.

För situationen år 8 med skyddsåtgärder: Det största sammanlagda negativa påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $-0.3$  m är markerat med fet gul linje. Det största sammanlagda positiva påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $+0.3$  m är markerat med en fet ljusblå linje.

### 11.2.3 Norra Gotland – Kappelshamn - Grundvattenflöden år 8

En mycket liten del av grundvattenförekomsten Norra Gotland – Kappelshamn ligger innanför det största påverkansområdet. Se Figur 11-4. Figuren visar det studerade området med dagbrotten etc. Gränsen för grundvattenförekomsten Norra Gotland - Kappelshamn är markerat i figuren. Det största påverkansområdet är beräknat för gränsvärdet -0.3 m. och beräknas som: [Situationen år 30 med skyddsåtgärder] minus [Tillståndsgiven situation]. Detta område är markerat med gula linjer i figuren. Förändringen i grundvattenflöde från grundvattenförekomsten Kappelshamn har beräknats längs med svarta streckade linjen i Figur 11-4.

Areasnittet mellan grundvattenförekomsten Kappelshamn och det största påverkansområdet markeras med den svarta streckade linjen i Figur 11-5. Areasnittet har storleken 230 hektar. Nettonederbörden är lika med 222 mm/år. Volymen vatten som produceras av nettonederbörden över areasnittet är lika med 510 000 m<sup>3</sup>/år.

Den svarta streckade linjen i Figur 11-4 och Figur 11-5 är inte ett lokalt avrinningsområde. Den metod som har använts för att beräkna påverkan på grundvattenförekomsten är inte samma metod som har använts för de lokala avrinningsområdena (presenterade i de tidigare sektionerna). Vi tänker oss att grundvattenförekomsten begränsas av en vertikal yta från markytan och nedåt, längs med den gula linjen. Genom denna vertikala yta kan grundvattenflödet beräknas. Det är det totala utflödet av grundvatten från grundvattenförekomsten som har beräknats längs med den streckade linjen i Figur 11-4 ; från ett djup från markytan mindre än eller nära 5 m, och ned till nivån ca -75 m ö.h. Vi har inte beräknat utflödet av grundvatten på markytan, utan utflödet genom den vertikala yta som begränsar grundvattenförekomsten nere i berget.

Grundvattenflödet har beräknats för följande scenarier:

Referenssituation	Tillståndsgiven situation, LT2
Framtida situation	Situationen år 8 med skyddsåtgärder, Sc8G1R4K-VbG1Vam265-Sky5

Förändringen i utflöde av grundvatten när de olika scenarierna jämförs med varandra visar på hur den framtida situationen påverkar grundvattenförekomsten (Kappelshamn). Förändringen i utflödet är den påverkan som dagbrottets utvidgning kommer att orsaka.

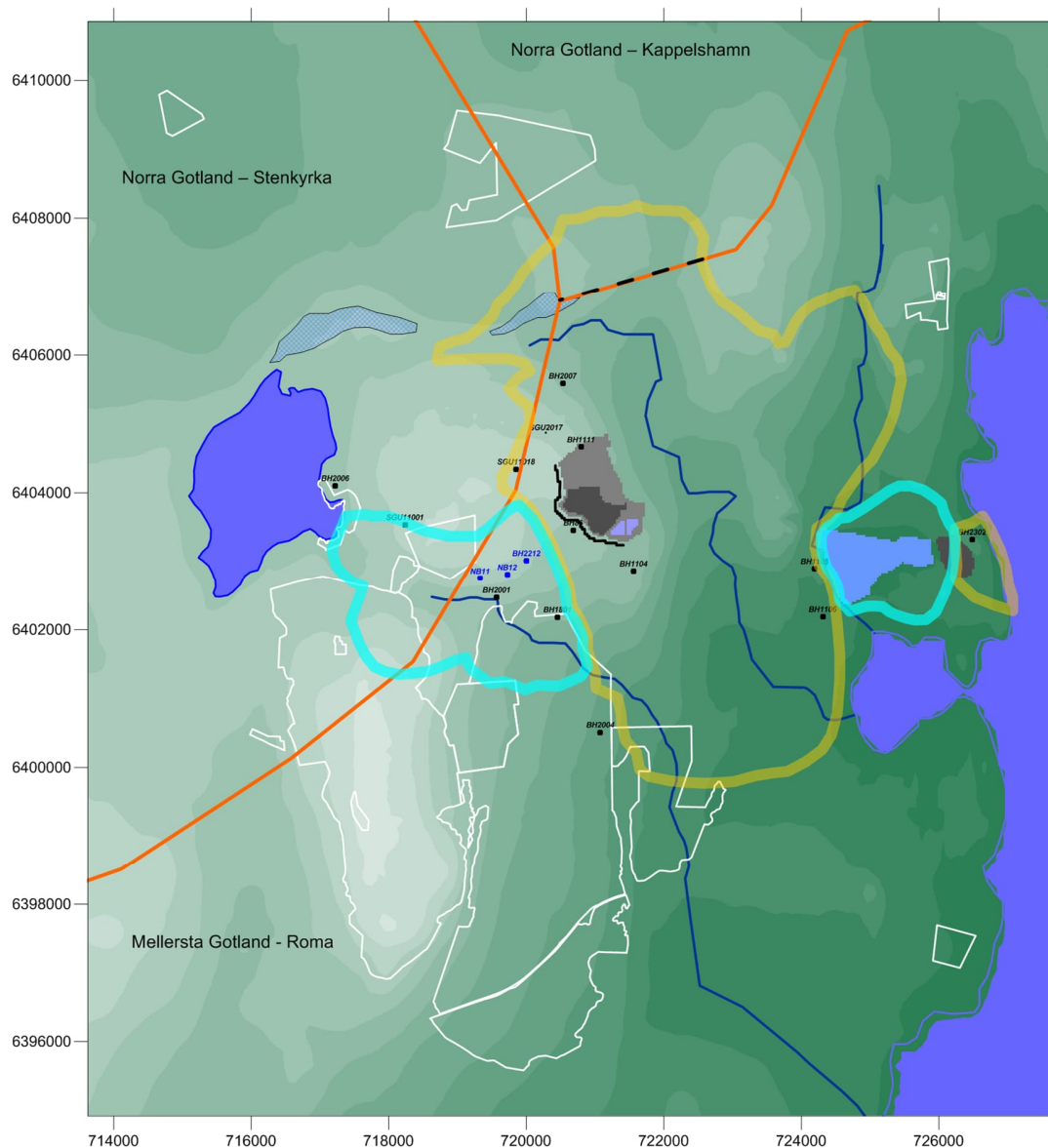
En jämförelse mellan:

[Tillståndsgiven situation, LT2] och

[Situationen år 8 med skyddsåtgärder, Sc8G1R4K-VbG1Vam265-Sky5]

Jämförelsen visar att utflödet ökar med cirka 20 000 m<sup>3</sup>/år (för ett normalår). Notera att det är förändringen i flöde, inte det totala flödet. Förändringen i flöde blir en förlust för grundvattenförekomsten Kappelshamn. Vilket kan jämföras med nettonederbörden över areasnittet som är lika med 510 000 m<sup>3</sup>/år. Ökningen i utflöde motsvarar således 4% av nettonederbörden över areasnittet. Förändringen i flöde blir en vinst för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



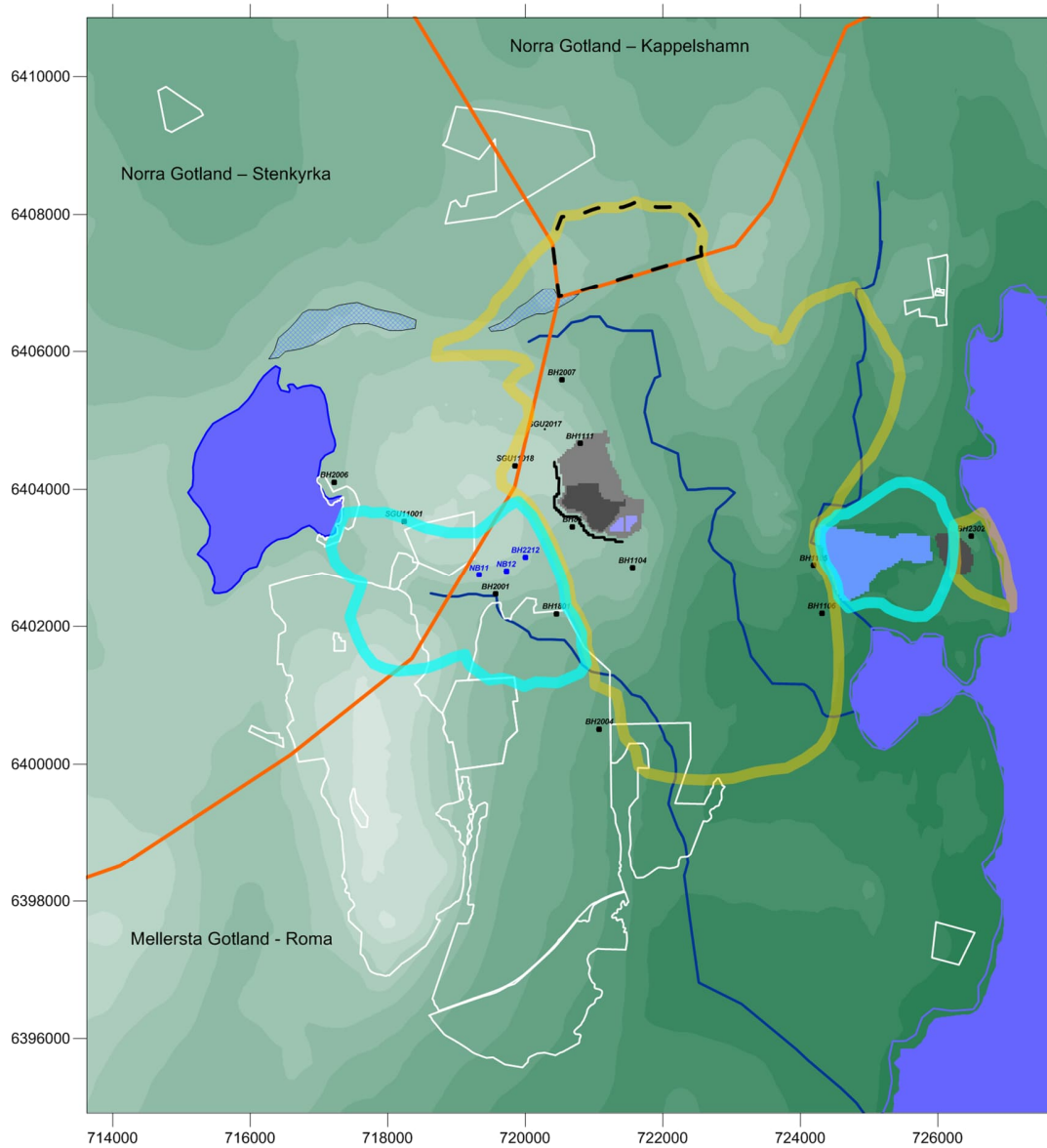
Figur 11-4 Det studerade området med dagbrotten etc. Gränserna för de olika grundvattenförekomsterna framgår i figuren med röda linjer. Förändringen i utflöde från grundvattenförekomsten Kappelshamn har beräknats längs med den punktstreckade linjen.

Förändringen i utflöde från grundvattenförekomsten Kappelshamn har beräknats längs med den punktstreckade linjen.

För situationen år 8 med skyddsåtgärder: Det största sammanlagda negativa påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $-0.3$  m är markerat med fet gul linje. Det största sammanlagda positiva påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $+0.3$  m är markerat med en fet ljusblå linje.



GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 11-5 Det studerade området med dagbrotten etc. Gränserna för de olika grundvattenförekomsterna framgår i figuren med röda linjer. Areasnittet mellan grundvattenförekomsten Kappelshamn och det största påverkansområdet markeras med den punktstreckade linjen.

Areasnittet mellan grundvattenförekomsten Kappelshamn och det största påverkansområdet markeras med den punktstreckade linjen.

För situationen år 8 med skyddsåtgärder: Det största sammanlagda negativa påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $-0.3$  m är markerat med fet gul linje. Det största sammanlagda positiva påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $+0.3$  m är markerat med en fet ljusblå linje.

linje.

### 11.2.4 Mellersta Gotland - Roma – Vattenavledning år 8

För den tillståndsgivna situationen har den totala vattenavledningen (nettonederbörd och grundvatteninflöde) från File hajdar dagbrott, Västra och Östra brotten beräknats till totalt 1.8 miljoner m<sup>3</sup>/år. Notera att den tillståndsgivna situationen inte är densamma som den kalibrerade situationen.

För alla beräkningar av vattenbalanser för Mellersta Gotland – Roma har den vattenvolym som beräknas komma till de tätade tunnlarna eller genom bergplinten mellan Östra och Västra brottet exkluderats. Detta för att de olika tidpunkter med olika vattenfyllnad av Västra brottet ska bli jämförbara, samt att vattenbalansen ska belysa hur mycket vatten som tillförs eller lämnar vattenförekomsten. Med ett vattenfyllt Västrabrottet kommer det ske ett läckage genom bergplinten. Men eftersom vattnet pumpas tillbaka till Västra brottet är det inte en vattenvolym som påverkar vattenbalansen. År 8 beräknas denna vattenvolym uppgå till ca 25 000 m<sup>3</sup>.

#### Total vattenavledning år 8

Den totala vattenavledningen är lika med volymen vatten som avleds från de olika dagbrotten, minus infiltrerade vattenvolymer. Det ingår i skyddsåtgärderna att bilda grundvatten genom att infiltrera stora mängder vatten i infiltrationsbrunnar. Volymen som infiltreras är nära 100 000 m<sup>3</sup>/år.

För situationen år 8 har den framtida totala vattenavledningen beräknats till:

Vattenavledning File hajdar dagbrott	-1 027 849 m <sup>3</sup> /år
Vattenavledning Östra brottet (utan tunnlarna)	-298 675 m <sup>3</sup> /år
Infiltration av grundvatten	+100 001 m <sup>3</sup> /år
Vattenavledning Västra brottet	-826 780 m <sup>3</sup> /år
Summa	-2 053 304 m <sup>3</sup> /år

För situationen år 8 har den framtida totala vattenavledningen beräknats till 2.05 miljoner m<sup>3</sup>/år. Denna volym utgör ungefär 21% av nettonederbörden över det sammanlagda största påverkansområdet för år 8.

Notera att för situationen år 8 pumpas fortfarande pall 2 i västra brottet och grundvatteninflödet till Västra brottet är därför inkluderat i den totala grundvattenavledningen. När pumpningen av Pall 2 avslutas (år 9) räknas inte längre inflödet till Västra brottet som en vattenavledning.

#### Förändring i vattenavledning år 8

För år 8 leder utökningen av dagbrottet på File hajdar till en ökad vattenavledning från detta dagbrott i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. En liten förändring av djupet på Östra brottet påverkar också vattenavledningen, samt en liten förändring i vattennivå i Pall 2. Grundvatteninfiltrationen är också en förändring i förhållande till den tillståndsgivna situationen.

Förändringen i vattenavledning (i jämförelse med den tillståndsgivna situationen) har beräknats till:

Förändring i vattenavledning File hajdar dagbrott	-356 913 m <sup>3</sup> /år
Förändring i vattenavledning Östra brottet (utan tunnlarna)	- 30 051 m <sup>3</sup> /år

## GRUNDVATTENMODELL SLITE

Infiltration av grundvatten	+100 001 m <sup>3</sup> /år
Förändring i vattenavledning Västra brottet	+43 048 m <sup>3</sup> /år
Summa	- 243 916 m <sup>3</sup> /år

Summan av förändringarna blir alltså en ökning av vattenbortledningen i jämförelse med den tillståndsgivna situationen på ca 240 000 m<sup>3</sup>/år. Denna volym utgör ungefär 2% av nettonederbörden över det sammanlagda största påverkansområdet.

### 11.2.5 Mellersta Gotland - Roma – Grundvattenflöden år 8

Täkterna ligger i grundvattenförekomsten Mellersta Gotland - Roma. Med avseende på grundvattenflöden kan påverkan på grundvattenförekomsten Mellersta Gotland - Roma uppskattats som förändringen i grundvattenavledningen från dagbrotten, plus förändringen i grundvattenflöden till och från de omgivande grundvattenförekomsterna. Grundvatten som ej avleds utan kvarhålls i det studerade grundvattenförekomsten betraktas i beräkningarna nedan som en vinst för grundvattenförekomsten. Det kan dock vara värt att påminna sig att allt grundvatten så småningom når fram till havet. Ett grundvatten som inströmmar till tex Västra och Östra brotten och sedan avleds till havet, hade även utan dagbrotten så småningom nått fram till havet, allt i enlighet med det hydrologiska kretsloppet.

Utökningen av dagbrotten leder till ett förändrat grundvattenflöde från grundvattenförekomsten Norra Gotland - Stenkyrka till grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma, och även ett förändrat grundvattenflöde från grundvattenförekomsten Norra Gotland - Kappelshamn till grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma. I de tidigare sektionerna har dessa flöden beräknats, resultaten visar att de förändrade flödena blir en vinst för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma.

#### Total grundvattenavledning år 8

För situationen år 8 har den framtida totala grundvattenavledningen (grundvatteninflöde) beräknats till:

Grundvatteninflöde i File hajdar dagbrott	-490 226 m <sup>3</sup> /år
Grundvatteninflöde i Östra brottet (utan tunnlar)	- 208 823 m <sup>3</sup> /år
Infiltration av grundvatten	+100 001 m <sup>3</sup> /år
Grundvatteninflöde till Västra brottet	-442 867 m <sup>3</sup> /år
Summa	- 1 041 916 m <sup>3</sup> /år

För situationen år 8 har den framtida totala grundvattenavledningen från grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma beräknats till 1.04 miljoner m<sup>3</sup>/år. Summan blir alltså en förlust för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma. Om man tar med grundvatteninflödena från de omgivande grundvattenförekomsterna, som vinster, blir den slutliga förändringen i grundvattenflöden för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma, en förlust på nära 920 000 m<sup>3</sup>/år. Denna volym utgör ungefär 10% av nettonederbörden över det sammanlagda största påverkansområdet. Notera att för situationen år 8 pumpas fortfarande pall 2 i västra brottet och grundvatteninflödet till Västra brottet är därför inkluderat i den totala grundvattenavledningen. När pumpningen av Pall 2 avslutas (år 9) räknas inte längre inflödet till Västra brottet som en vattenavledning.

Förändring i grundvattenavledning år 8

En jämförelse mellan:

[Tillståndsgiven situation, LT2] och

[Situationen år 8 med skyddsåtgärder, Sc8G1R4K-VbG1Vam265-Sky5]

Förändringen i grundvattenflöden (i jämförelse med den tillståndsgivna situationen) för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma blir:

Förändring i grundvatteninflöde i File hajdar dagbrott	-235 752 m <sup>3</sup> /år
Förändring i grundvatteninflöde i Östra brottet (utan tunnlar)	0 m <sup>3</sup> /år
Infiltration av grundvatten	+100 000 m <sup>3</sup> /år
Förändring i grundvattenavledning från Västra brottet	+40 000 m <sup>3</sup> /år
Förändring flöde från Norra Gotland – Stenkyrka	+95 823 m <sup>3</sup> /år
Förändring flöde från Norra Gotland – Kappelshamn	+ 21 506 m <sup>3</sup> /år
Summa	+21 577 m <sup>3</sup> /år

Summan av förändringarna blir alltså en förlust för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma på 100 000 m<sup>3</sup>/år om man exkluderar flöden från andra vattenförekomster. Om man dessutom tar med grundvatteninflödena från de omgivande grundvattenförekomsterna, blir den slutliga förändringen i grundvattenflöden för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma, en vinst för grundvattenförekomsten på ca 20 000 m<sup>3</sup>/år.

Nollalternativet

I Nollalternativet vattenfylls dagbrotten. Dagbrotten dräneras inte längre. Hela grundvattensituationen förändras kring dagbrotten. I nollalternativet erhålls ingen kvantitativ förlust för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland - Roma. Istället erhålls en kvantitativ vinst som motsvarar hela vattenbortledningen från dagbrotten (grundvatten plus nettonederbörd) som för den tillståndsgivna situationen är nära 1.8 miljoner m<sup>3</sup>/år. Dock bör man notera att nettonederbörden förändras när dagbrotten vattenfylls, nettonederbörden minskar betydligt i jämförelse med situationen då dagbrotten är dränerade (eftersom avdunstningen är mycket stor från en fri vattenyta i dagbrotten på sommaren).

Efter det att verksamheten har avslutats.

I det ansökta alternativet kommer dagbrotten också att vattenfyllas, efter det att verksamheten har avslutats. Samma kvantitativa vinst erhålls då som för Nollalternativet, men efter det att verksamheten har avslutats.

**11.2.6 Tillströmningsområde år 8**

Grundvattnet inom det indirekta påverkansområdet strömmar inte nödvändigtvis till dagbrotten, men grundvattennivåerna inom det indirekta påverkansområdet är påverkade av dagbrottens utökning. Det område från vilket en stor andel av grundvatten strömmar direkt till det studerade dagbrottet kan benämnas som dagbrottets tillströmningsområde. Tillströmningsområdet kan vara mycket större än det indirekta påverkansområdet, tex i stora slutna akvifärer i sedimentära

geologiska bassänger, men för svenska förhållanden och för den typ av system som vi analyserar i denna studie, är tillströmningsområdet normalt mindre än det indirekta påverkansområdet. Tillströmningsområdet behöver heller inte helt och hållet sammanfalla med det indirekta påverkansområdet.

Tillströmningsområdet svarar på frågan: Varifrån kommer grundvattnet som strömmar in i det studerade dagbrottet?

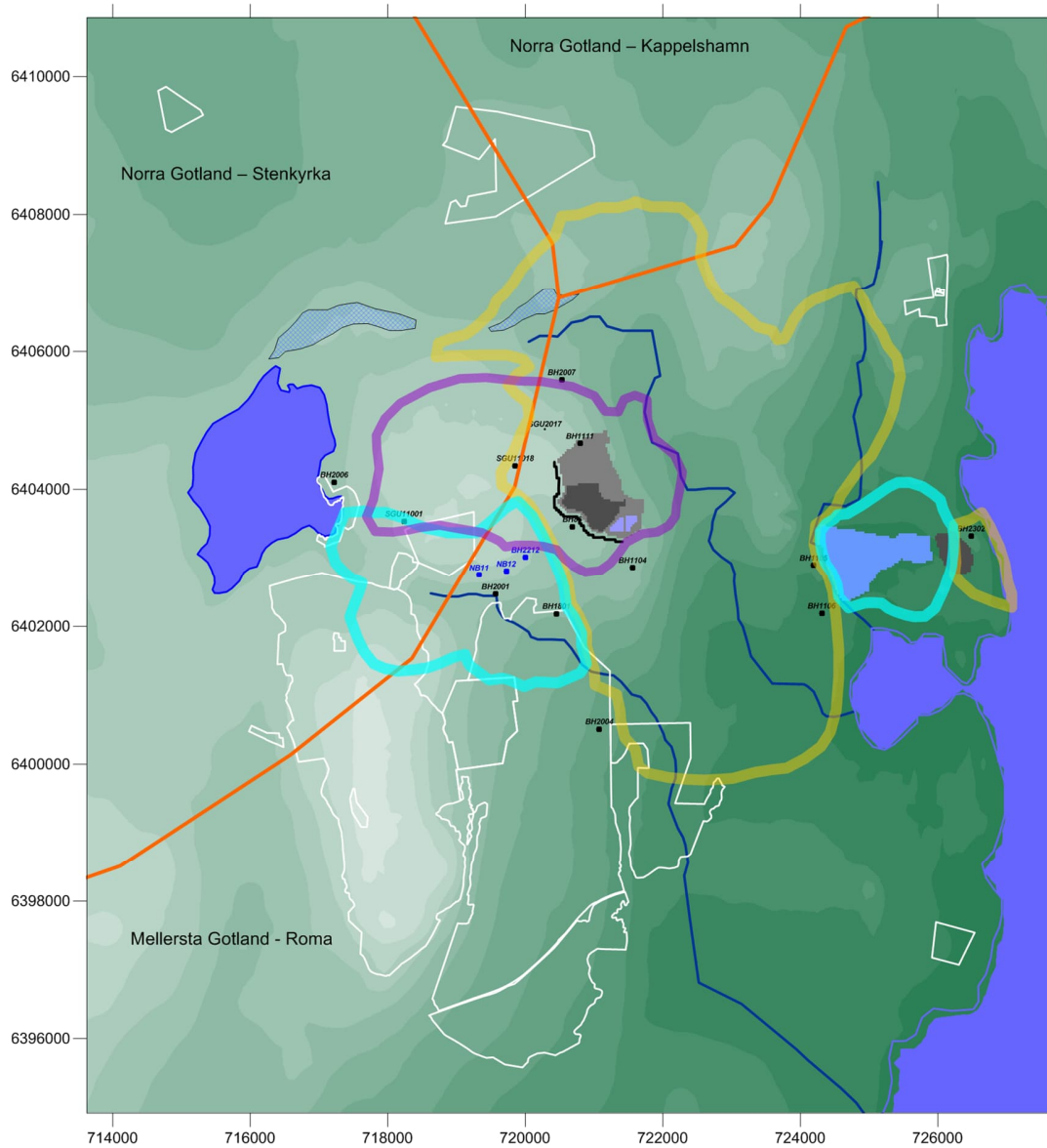
Eftersom nettonederbörden och grundvattennivåerna varierar mycket under året, och eftersom flödesmönstret är 3-dimensionellt, och eftersom flödesmedia (berget) är heterogent (både i verkligheten och i modellen), varierar storleken på tillströmningsområdet med årstid och studerat vattenförande lager. Detta gör tillströmningsområdet något svårpreparerat, och det gör också att endast en andel av nettonederbörden som faller inom tillströmningsområdet når fram till dagbrottet, tex avrinner en del av nettonederbörden på markytan vid högvattensituationen. Tillströmningsområde. Tillströmningsområdet beräknas via flödesvägsanalys, där flödesvägarna genereras i modellen av teoretiska partiklar som följer grundvattnets flödesmönster.

Vi har beräknat tillströmningsområdet för File hajdar dagbrott, för den ansökta situationen år 30, då File hajdar dagbrott är som störst, och utan skyddsåtgärder (Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5). Resultatet visas i Figur 11-12, nedan.

Gränsen som visas i figuren (lila linje) är inte en absolut gräns. Beroende på den stokastiska beskrivningen av det studerade systemets egenskaper, och beroende på den stora amplituden i grundvattennivåer under ett normalår, kan en ringa mängd vatten som når fram till dagbrottet ha sitt ursprung från områden bortom den lila linjen, men det är en ringa mängd i jämförelse med mängden vatten som kommer från området innanför den lila linjen.

Tillströmningsområdet som visas i figuren (lila linje) har storleken 9.6 km<sup>2</sup>. Det areaviktade värdet på nettonederbörden är 222 mm/år. Nettonederbörden producerar en total vattenvolym över det tillströmningsområdet som är lika med 2.1 miljoner m<sup>3</sup>/år. För den studerade situationen år 8 avleder dagbrottet totalt 1.0 miljoner m<sup>3</sup>/år (grundvatten och nettonederbörd). Det är alltså ungefär 47% av nettonederbörden inom tillströmningsområdet som når fram till dagbrottet.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 11-6 Påverkansområden med skyddsåtgärder. Indirekt påverkansområde och tillströmningsområde.

År 8: Scenario Sc8GIR4K-VbGIVam265-Sky5

Gränserna för de olika grundvattenförekomsterna framgår i figuren med röda linjer.

För situationen år 8 med skyddsåtgärder: Det största sammanlagda negativa påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $-0.3$  m är markerat med fet gul linje. Det största sammanlagda positiva påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $+0.3$  m är markerat med en fet ljusblå linje.

Tillströmningsområdet är markerat med en fet lila linje. Ungefär 47% av nettonederbörden inom tillströmningsområdet når fram till dagbrottet.

## 11.3 Beräkningar för situationen år 30 med skyddsåtgärder

### 11.3.1 Grundvattenförekomster och största påverkansområde år 30

I tidigare sektioner har vi presenterat påverkansområden, dessa områden är indirekta påverkansområden. Grundvattnet inom verksamhetens indirekta påverkansområde strömmar inte nödvändigtvis till dagbrotten, men grundvattennivåerna inom det indirekta påverkansområdet är påverkade av dagbrottets utökning. För den ansökta framtida situationen år 30 kommer grundvattennivåerna kring dagbrotten att förändras. Påverkansområdena för berggrundvatten visas i Sektion 7.2.7 för den framtida situationen år 30 med skyddsåtgärder.

Påverkansområdena har beräknats för en jämförelse mellan:

[Tillståndsgiven situation, LT2] och

[Situationen år 30 med skyddsåtgärder, Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5]

Ett största påverkansområde kan uppskattas genom att alla påverkansområdena, för olika årstider, vår-sommar-höst, från figurerna i Sektion 7.2.7 läggs ovanpå varandra och den yttersta linjen identifieras (längst bort från dagbrotten). En linje kan då ritas som följer de yttersta linjerna för påverkansområdet med gränsvärdet 0.3 m. Två sådana gemensamma linjer kan identifieras, en linje för gränsvärdet -0.3 m (avsänkning), en linje för gränsvärdet +0.3 m (höjning). Dessa två linjer representerar det största påverkansområdet för gränsvärdet +/-0.3 m, för situationen år 30, med skyddsåtgärder, för årstiderna vår-sommar-höst.

Påverkansområdena visas i Figur 11-7 nedan. Figuren visar också de olika vattenförekomsterna inom det studerade området. Tre vattenförekomster finns inom det största påverkansområdet:

- Norra Gotland – Stenkyrka
- Norra Gotland – Kappelshamn
- Mellersta Gotland – Roma

Arean för de sammanlagda påverkansområdena i Figur 11-7 (gul och blå linjer) är:

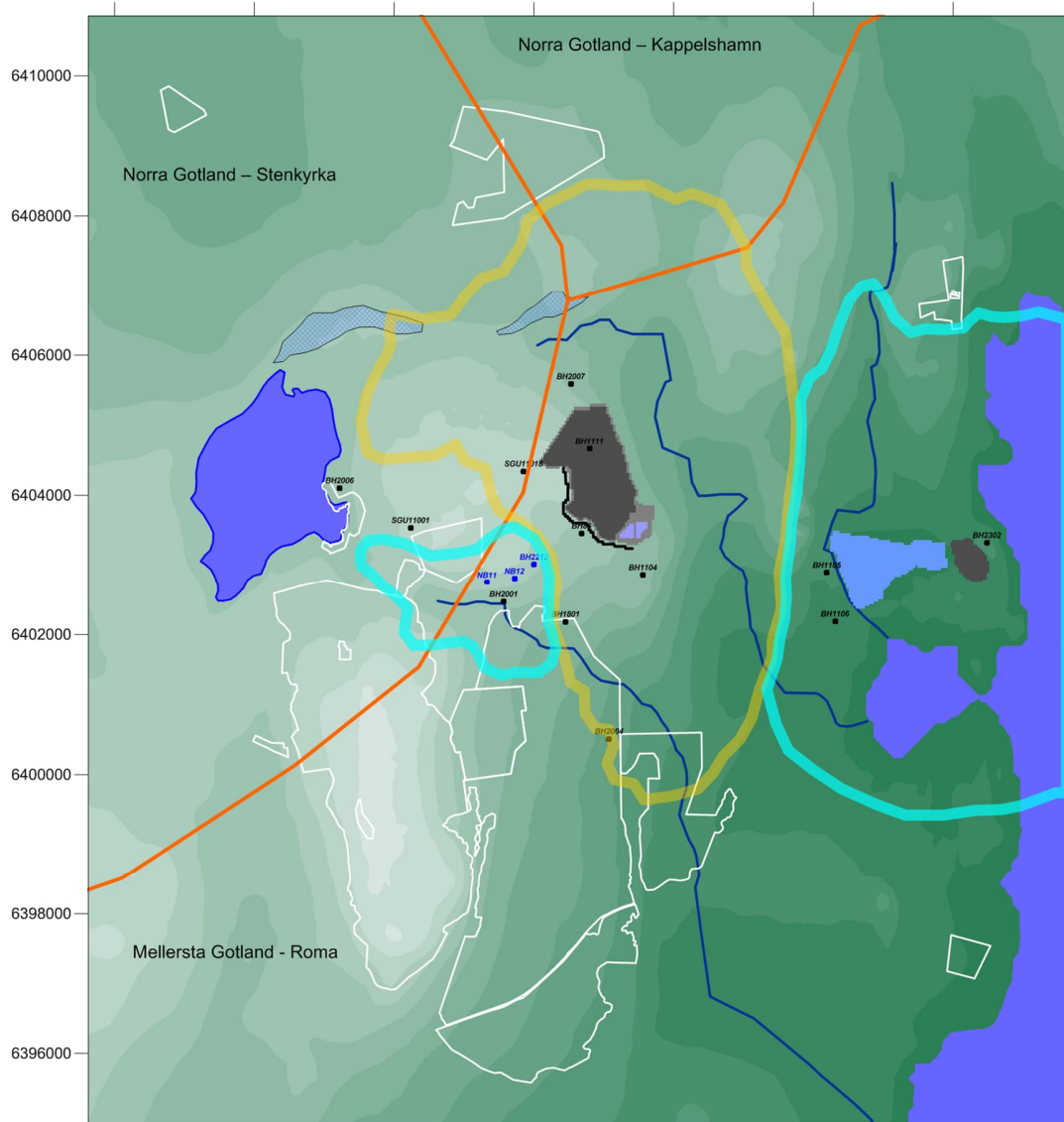
Påverkansområdet för gränsvärdet -0.3 m (avsänkning) = 3 300 hektar.

Påverkansområdet för gränsvärdet +0.3 m (höjning) = 3 200 hektar.

Totalt = 6 500 hektar

Den areaviktade nettonederbörden för ett normalår för den nuvarande situationen är 222 mm/år. Förändringen i nettonederbörd för det framtida klimatet är liten. De beräknade faktorerna i Tabell 2-4 visar att om man betraktar nettonederbörden för hela året blir skillnaden liten mellan nettonederbörden för den nuvarande situationen och nettonederbörden för de framtida situationerna. En nettonederbörd lika med 222 mm/år producerar en total volym av nettonederbörd för de två områdena i Figur 11-7 lika med 14.5 miljoner m<sup>3</sup>/år.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 11-7 Det studerade området med dagbrotten etc. Gränserna för de olika grundvattenförekomsterna framgår i figuren med röda linjer.

För situationen år 30 med skyddsåtgärder: Det största sammanlagda negativa påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $-0.3$  m är markerat med fet gul linje. Det största sammanlagda positiva påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $+0.3$  m är markerat med en fet ljusblå linje.



### 11.3.2 Norra Gotland – Stenkyrka – Grundvattenflöden år 30

En mycket liten del av grundvattenförekomsten ligger innanför det största påverkansområdet. Se Figur 11-8. Figuren visar det studerade området med dagbrotten etc. Gränsen för grundvattenförekomsten är markerat i figuren. Det största påverkansområdet är beräknat för gränsvärdet -0.3 m (avsänkning) eller +0.3 m (höjning). och beräknas som: [Situationen år 30 med skyddsåtgärder Sky 5] minus [Tillståndsgiven situation]. Detta område är markerat med gula och blå linjer i figuren. Förändringen i grundvattenflöde från grundvattenförekomsten har beräknats längs med den svarta streckade linjen i Figur 11-8.

Areasnittet mellan grundvattenförekomsten och det största påverkansområdet markeras med den svarta streckade linjen i Figur 11-9. Areasnittet har storleken 870 hektar. Nettonederbörden är lika med 222 mm/år. Volymen vatten som produceras av nettonederbörden över areasnittet är lika med 1.9 miljoner m<sup>3</sup>/år.

Den svarta streckade linjen i Figur 11-8 och Figur 11-9 är inte ett lokalt avrinningsområde. Den metod som har använts för att beräkna påverkan på grundvattenförekomsten är inte samma metod som har använts för de lokala avrinningsområdena (presenterade i de tidigare sektionerna). Vi tänker oss att grundvattenförekomsten begränsas av en vertikal yta från markytan och nedåt, längs med den streckade linjen i Figur 11-8. Genom denna vertikala yta kan grundvattenflödet beräknas. Det är det totala utflödet av grundvatten från grundvattenförekomsten Stenkyrka till grundvattenförekomsten Roma som har beräknats längs med den streckade linjen i Figur 11-8; från ett djup från markytan mindre än eller nära 5 m, och ned till nivån ca -75 m ö.h. Vi har inte beräknat utflödet av grundvatten på markytan, utan utflödet genom den vertikala yta som begränsar grundvattenförekomsten nere i berget.

Grundvattenflödet har beräknats för följande scenarier:

Referenssituation	Tillståndsgiven situation, LT2
Framtida situation	Situationen år 30 med skyddsåtgärder, Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5

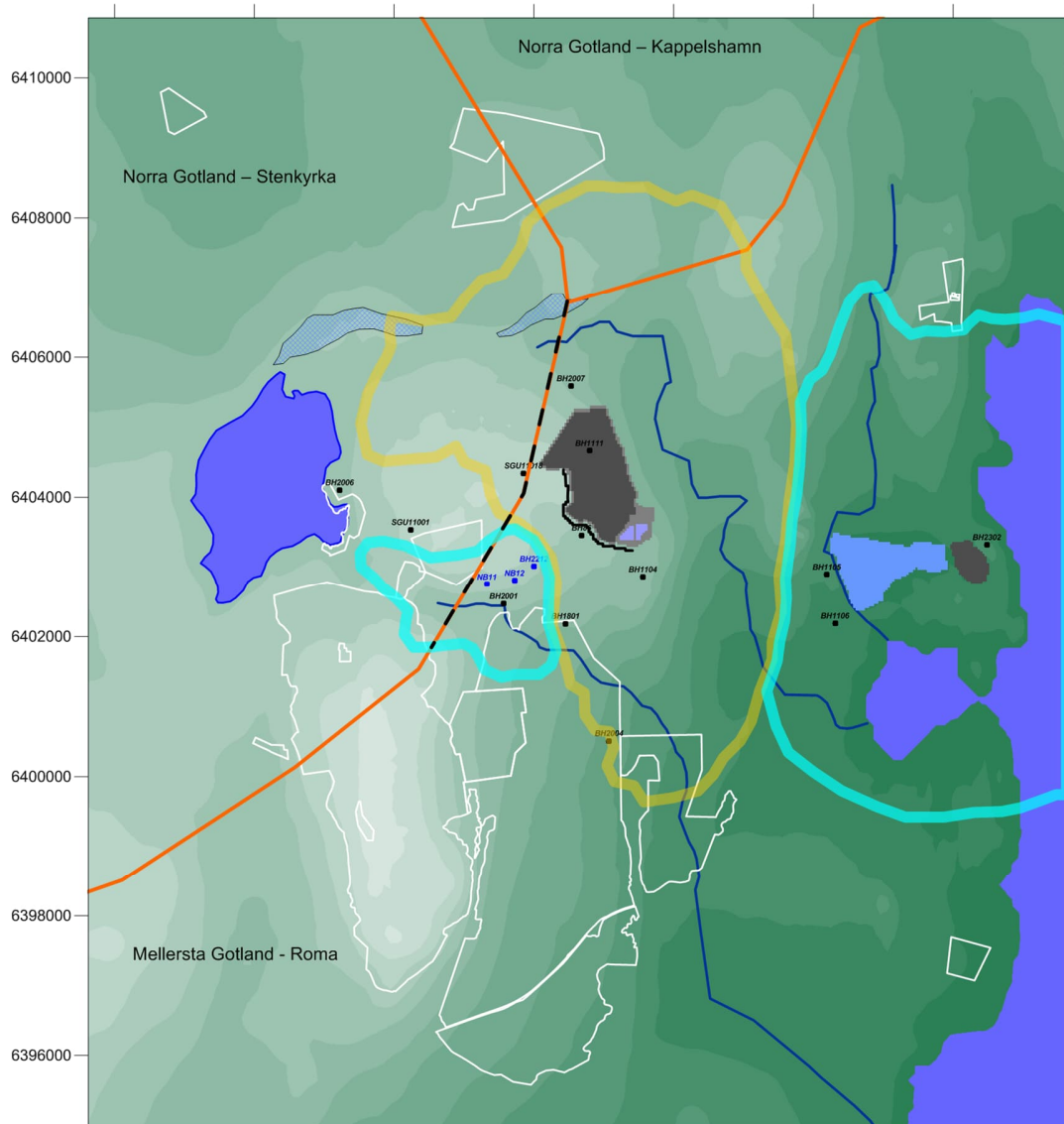
Förändringen i utflöde av grundvatten när de olika scenarierna jämförs med varandra visar på hur den framtida situationen påverkar grundvattenförekomsten (Stenkyrka). Förändringen i utflödet är den påverkan som dagbrottets utvidgning kommer att orsaka.

En jämförelse mellan:

[Tillståndsgiven situation, LT2] och  
[Situationen år 30 med skyddsåtgärder, Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5]

Visar att det är det totala utflödet av grundvatten från grundvattenförekomsten Stenkyrka till grundvattenförekomsten Roma ökar med nära 220 000 m<sup>3</sup>/år (för ett normalår). Notera att det är förändringen i flöde, inte det totala flödet. Förändringen i flöde blir en förlust för grundvattenförekomsten Stenkyrka. Vilket kan jämföras med nettonederbörden över areasnittet, som är lika med 1.9 miljoner m<sup>3</sup>/år. Ökningen i utflöde motsvarar således 11% av nettonederbörden över areasnittet. Förändringen i flöde blir en vinst för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma.

GRUNDVATTENMODELL SLITE

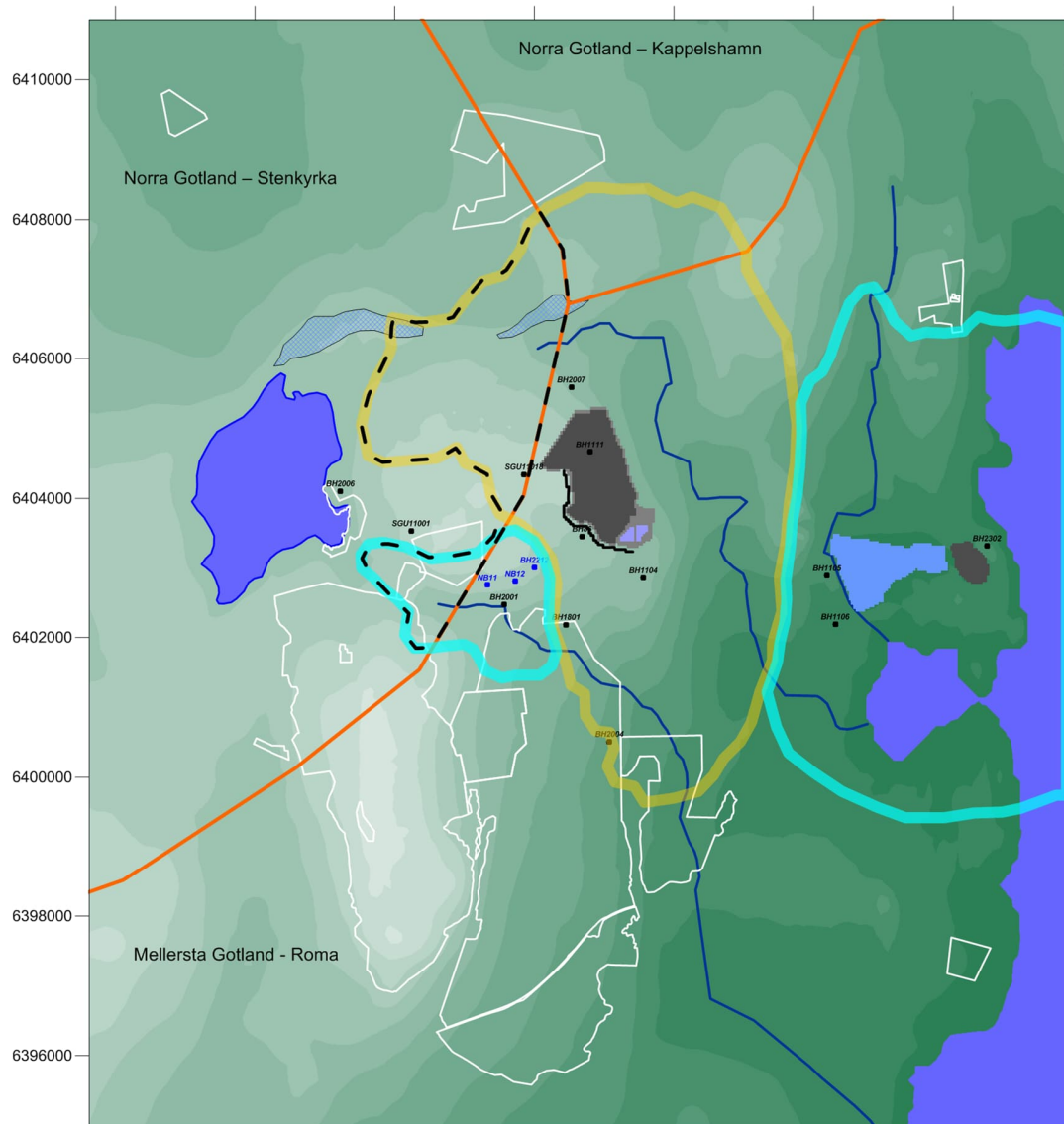


Figur 11-8 Det studerade området med dagbrotten etc. Gränserna för de olika grundvattenförekomsterna framgår i figuren med röda linjer.

Förändringen i utflöde från grundvattenförekomsten Stenkyrka har beräknats längs med den punktstreckade linjen.

För situationen år 30 med skyddsåtgärder: Det största sammanlagda negativa påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $-0.3$  m är markerat med fet gul linje. Det största sammanlagda positiva påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $+0.3$  m är markerat med en fet ljusblå linje.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 11-9 Det studerade området med dagbrotten etc. Gränserna för de olika grundvattenförekomsterna framgår i figuren med röda linjer.

Areasnittet mellan grundvattenförekomsten Stenkyrka och det största påverkansområdet markeras med den punktstreckade linjen.

För situationen år 30 med skyddsåtgärder: Det största sammanlagda negativa påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $-0.3$  m är markerat med fet gul linje. Det största sammanlagda positiva påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $+0.3$  m är markerat med en fet ljusblå linje.

### 11.3.3 Norra Gotland – Kappelshamn - Grundvattenflöden år 30

En mycket liten del av grundvattenförekomsten Norra Gotland – Kappelshamn ligger innanför det största påverkansområdet. Se Figur 11-10. Figuren visar det studerade området med dagbrotten etc. Gränsen för grundvattenförekomsten Norra Gotland - Kappelshamn är markerat i figuren. Det största påverkansområdet är beräknat för gränsvärdet -0.3 m. och beräknas som: [Situationen år 30 med skyddsåtgärder] minus [Tillståndsgiven situation]. Detta område är markerat med gula linjer i figuren. Förändringen i grundvattenflöde från grundvattenförekomsten Kappelshamn har beräknats längs med svarta streckade linjen i Figur 11-10

Areasnittet mellan grundvattenförekomsten Kappelshamn och det största påverkansområdet markeras med den svarta streckade linjen i Figur 11-11. Areasnittet har storleken 3.5 km<sup>2</sup>. Nettonederbörden är lika med 222 mm/år. Volymen vatten som produceras av nettonederbörden över areasnittet är lika med 770 000 m<sup>3</sup>/år.

Den svarta streckade linjen i Figur 11-10 och Figur 11-11 är inte ett lokalt avrinningsområde. Den metod som har använts för att beräkna påverkan på grundvattenförekomsten är inte samma metod som har använts för de lokala avrinningsområdena (presenterade i de tidigare sektionerna). Vi tänker oss att grundvattenförekomsten begränsas av en vertikal yta från markytan och nedåt, längs med den gula linjen. Genom denna vertikala yta kan grundvattenflödet beräknas. Det är det totala utflödet av grundvatten från grundvattenförekomsten som har beräknats längs med den streckade linjen i Figur 11-10; från ett djup från markytan mindre än eller nära 5 m, och ned till nivån ca -75 m ö.h. Vi har inte beräknat utflödet av grundvatten på markytan, utan utflödet genom den vertikala yta som begränsar grundvattenförekomsten nere i berget.

Grundvattenflödet har beräknats för följande scenarier:

Referenssituation	Tillståndsgiven situation, LT2
Framtida situation	Situationen år 30 med skyddsåtgärder, Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5

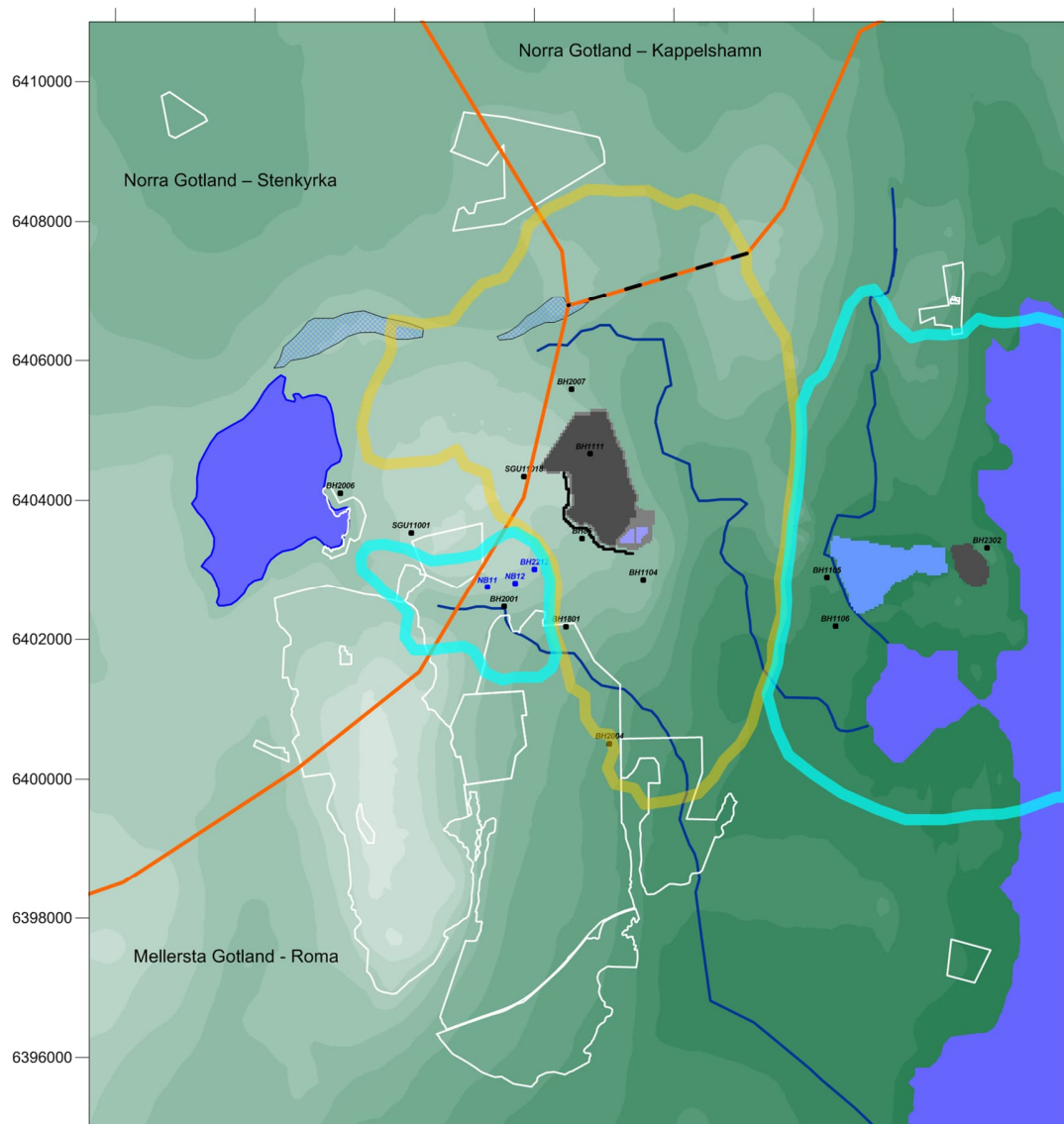
Förändringen i utflöde av grundvatten när de olika scenarierna jämförs med varandra visar på hur den framtida situationen påverkar grundvattenförekomsten (Kappelshamn). Förändringen i utflödet är den påverkan som dagbrottets utvidgning kommer att orsaka.

En jämförelse mellan:

[Tillståndsgiven situation, LT2] och  
[Situationen år 30 med skyddsåtgärder, Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5]

Jämförelsen visar att utflödet ökar med nära 115 000 m<sup>3</sup>/år (för ett normalår). Notera att det är förändringen i flöde, inte det totala flödet. Förändringen i flöde blir en förlust för grundvattenförekomsten Kappelshamn. Vilket kan jämföras med nettonederbörden över areasnittet som är lika med 770 000 m<sup>3</sup>/år. Ökningen i utflöde motsvarar således 15% av nettonederbörden över areasnittet. Förändringen i flöde blir en vinst för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE

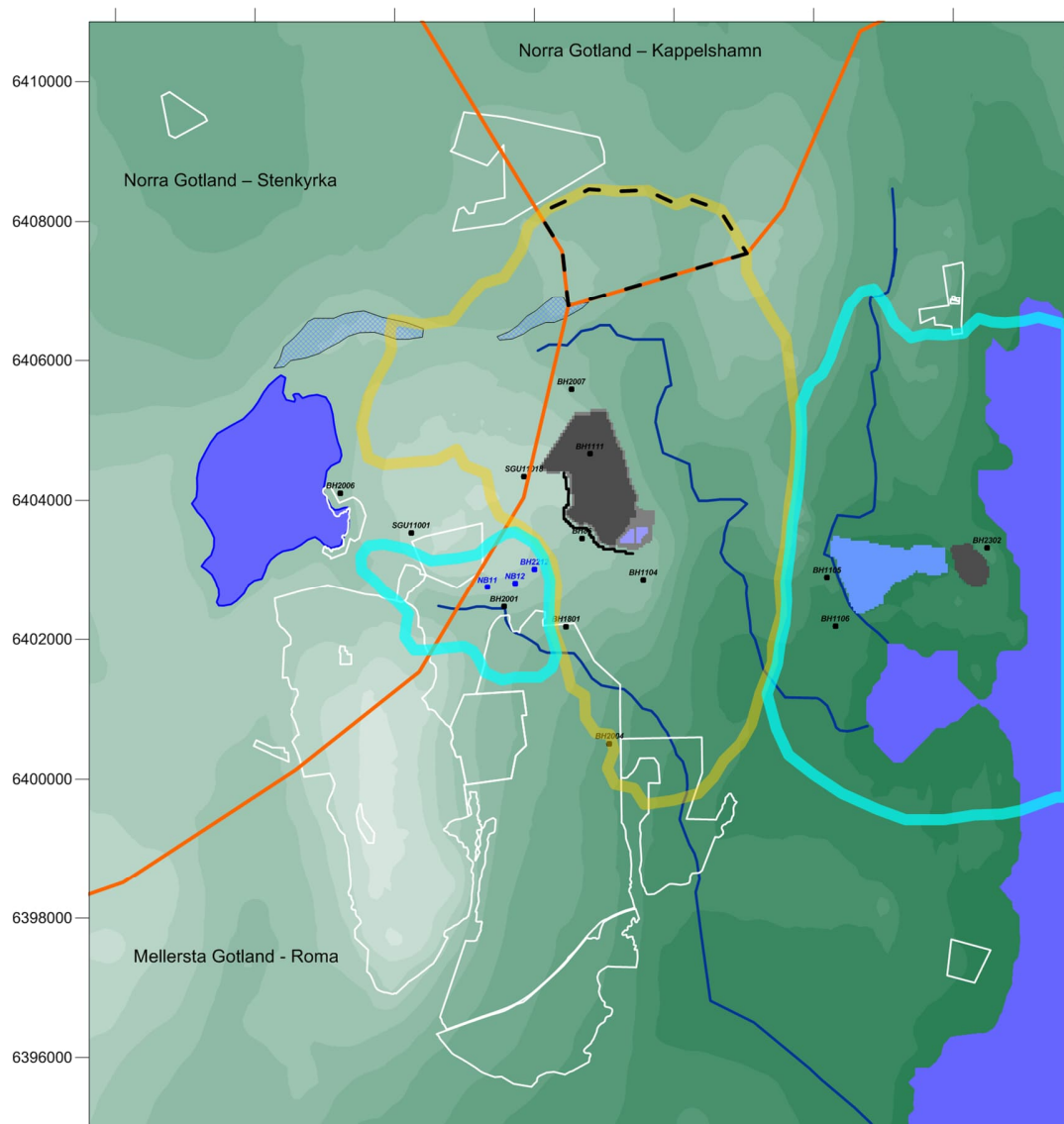


Figur 11-10 Det studerade området med dagbrotten etc. Gränserna för de olika grundvattenförekomsterna framgår i figuren med röda linjer. Förändringen i utflöde från grundvattenförekomsten Kappelshamn har beräknats längs med den punktstreckade linjen.

Förändringen i utflöde från grundvattenförekomsten Kappelshamn har beräknats längs med den punktstreckade linjen.

För situationen år 30 med skyddsåtgärder: Det största sammanlagda negativa påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $-0.3$  m är markerat med fet gul linje. Det största sammanlagda positiva påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $+0.3$  m är markerat med en fet ljusblå linje.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 11-11 Det studerade området med dagbrotten etc. Gränserna för de olika grundvattenförekomsterna framgår i figuren med röda linjer. Areasnittet mellan grundvattenförekomsten Kappelshamn och det största påverkansområdet markeras med den punktstreckade linjen.

Areasnittet mellan grundvattenförekomsten Kappelshamn och det största påverkansområdet markeras med den punktstreckade linjen.

För situationen år 30 med skyddsåtgärder: Det största sammanlagda negativa påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $-0.3$  m är markerat med fet gul linje. Det största sammanlagda positiva påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $+0.3$  m är markerat med en fet ljusblå linje.

### 11.3.4 Mellersta Gotland - Roma – Vattenavledning år 30

För den tillståndsgivna situationen har den totala vattenavledningen (nettonederbörd och grundvatteninflöde) från File hajdar dagbrott, Västra och Östra brotten beräknats till totalt 1.8 miljoner m<sup>3</sup>/år. Notera att den tillståndsgivna situationen inte är densamma som den kalibrerade situationen.

För alla beräkningar av vattenbalanser för Mellersta Gotland – Roma har den vattenvolym som beräknas komma till de tätade tunnlarna eller genom bergplinten mellan Östra och Västra brottet exkluderats. Detta för att de olika tidpunkter med olika vattenfyllnad av Västra brottet ska bli jämförbara, samt att vattenbalansen ska belysa hur mycket vatten som tillförs eller lämnar vattenförekomsten. Med ett vattenfyllt Västrabrottet kommer det ske ett läckage genom bergplinten. Men eftersom vattnet pumpas tillbaka till Västra brottet är det inte en vattenvolym som påverkar vattenbalansen. År 30 beräknas denna vattenvolym uppgå till ca 60 000 m<sup>3</sup>.

#### Total vattenavledning år 30

Den totala vattenavledningen från någon täkt är lika med volymen vatten som avleds från de olika dagbrotten, minus infiltrerade vattenvolymer. Det ingår i skyddsåtgärderna att bilda grundvatten genom att infiltrera stora mängder vatten i infiltrationsbrunnar. Volymen som infiltreras är nära 100 000 m<sup>3</sup>/år.

Det vatten som pumpas från Östra brottet leds till Västra brottet där det bidrar till att höja grundvattennivåerna i vattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma. Så länge vattenfyllnaden av Västra brottet pågår anses det rimligt att anse att detta flöde inte förändrar vattenbalansen för Mellersta Gotland – Roma.

Heidelberg ansöker om vattenuttag för processändamål till fabriken detta inkluderas som en uttagsvolym motsvarande maximalt tillåtet uttag om 300 000 m<sup>3</sup>/år. Sammantaget utgör vattnet från Östra brottet minus uttaget från fabriken ett tillskott om ca 50 000 m<sup>3</sup>/år till Västra brottet.

För situationen år 30 har den framtida totala vattenavledningen från vattenförekomsten beräknats till:

Vattenavledning File hajdar dagbrott	-1 450 530 m <sup>3</sup> /år
Pumpning från Östra brottet = Uttag till fabriken	- 300 000 m <sup>3</sup> /år
Infiltration av grundvatten	+100 001 m <sup>3</sup> /år
Vattenavledning Västra brottet	0 m <sup>3</sup> /år
Summa	- 1 650 530 m <sup>3</sup> /år /år

För situationen år 30 har den framtida totala vattenavledningen beräknats till 1.65 miljoner m<sup>3</sup>/år. Denna volym utgör ungefär 11% av nettonederbörden över det sammanlagda största påverkansområdet.

Notera att för situationen år 30 dräneras inte längre Västra brottet och inflödet till Västra brottet är därför inte inkluderat i den totala vattenavledningen. Östra brottet är inkluderat i i form av det vatten som används i fabriken. Resterande ca 50 000 m<sup>3</sup>/år är satt till noll då denna vattenvolym återpumpas till Västra brottet och därmed bidrar till dess vattenfyllnad och förstärkning av vattentillgången i grundvattenförekomsten.

Förändring i vattenavledning år 30

De stora förändringarna i vattenavledning för år 30 beror på utökningen av dagbrottet på File hajdar och på att Västra brottet ej längre dräneras. Nettonederbörd och grundvatten som ej avleds utan kvarhålls i det studerade grundvattenförekomsten betraktas i beräkningarna nedan som en vinst för grundvattenförekomsten (i jämförelse med den tillståndsgivna situationen).

Det vatten som pumpas från Östra brottet leds till Västra brottet där det bidrar till att höja grundvattennivåerna i vattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma. Så länge vattenfyllnaden av Västra brottet pågår anses det rimligt att anse att detta flöde inte förändrar vattenbalansen för Mellersta Gotland – Roma.

Heidelberg ansöker om vattenuttag för processändamål till fabriken detta inkluderas som en uttagsvolym motsvarande maximalt tillåtet uttag om 300 000 m<sup>3</sup>/år. Sammantaget utgör vattnet från Östra brottet (vid den tillståndsgivna situationen) minus uttaget från fabriken ett ökat vattenuttag om ca 30 000 m<sup>3</sup>/år.

Det ingår i skyddsåtgärderna att bilda grundvatten genom att infiltrera stora mängder vatten i infiltrationsbrunnar. Volymen som infiltreras är nära 100 000 m<sup>3</sup>/år.

Förändringen i vattenavledning (i jämförelse med den tillståndsgivna situationen) har beräknats till:

Förändring i vattenavledning File hajdar dagbrott	-779 594 m <sup>3</sup> /år
Förändring i vattenavledning Östra brottet (utan tunnlar)	+268 624 m <sup>3</sup> /år
Uttag till fabriken	- 300 000 m <sup>3</sup> /år
Infiltration av grundvatten	+100 001 m <sup>3</sup> /år
Förändring i vattenavledning Västra brottet	+869 828 m <sup>3</sup> /år
Summa	+ 239 175 m <sup>3</sup> /år

Summan av förändringarna blir alltså en minskning av vattenbortledningen i jämförelse med den tillståndsgivna situationen på ca 240 000 m<sup>3</sup>/år. Denna volym utgör ungefär 2% av nettonederbörden över det sammanlagda största påverkansområdet.

Förändringen i grundvatteninflöden från de omgivande grundvattenförekomsterna (som har beräknats i de tidigare sektionerna), är inflöden till grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma och därför vinst när den sammanlagda förändringen i vattenavledning beräknas. Om dessa flöden inkluderas i beräkningen av förändring i vattenavledning blir den slutliga förändringen i vattenavledning för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma, en vinst för grundvattenförekomsten på nära 570 000 m<sup>3</sup>/år.

Efter år 8 tillförs den framtida situationen en betydande mängd vatten, eftersom vattenbortledningen från Västra brottet upphör i framtiden. Därför blir det i framtiden ingen större förändring eller förlust av grundvatten i vattenförekomsten Mellersta Gotland Roma, eftersom ökningen i grundvatteninflöde till File hajdar dagbrott balanseras av att inflödet av grundvatten till Västra brottet inte längre avleds utan samlas i dagbrottet. Täkten förväntas inte hinna bli fullt inom de ansökta perioden.



### 11.3.5 Mellersta Gotland - Roma – Grundvattenflöden år 30

Dagbrotten ligger i grundvattenförekomsten Mellersta Gotland - Roma. Med avseende på grundvattenflöden kan påverkan på grundvattenförekomsten Mellersta Gotland - Roma uppskattats som förändringen i grundvattenavledningen från dagbrotten, plus förändringen i grundvattenflöden till och från de omgivande grundvattenförekomsterna. Grundvatten som ej avleds utan kvarhålls i det studerade grundvattenförekomsten betraktas i beräkningarna nedan som en vinst för grundvattenförekomsten. Det kan dock vara värt att påminna sig att allt grundvatten så småningom når fram till havet.

Utökningen av dagbrotten leder till ett förändrat grundvattenflöde från grundvattenförekomsten Norra Gotland - Stenkyrka till grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma, och även ett förändrat grundvattenflöde från grundvattenförekomsten Norra Gotland - Kappelshamn till grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma. I de tidigare sektionerna har dessa flöden beräknats, resultaten visar att de förändrade flödena blir en vinst för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma.

#### Total grundvattenavledning år 30

För situationen år 30 har den framtida totala grundvattenavledningen (grundvatteninflöde) beräknats till:

Grundvatteninflöde i File hajdar dagbrott	-617 987 m <sup>3</sup> /år
Uttag till fabriken	- 300 000 m <sup>3</sup> /år
Infiltration av grundvatten	+100 001 m <sup>3</sup> /år
Grundvatteninflöde till Västra brottet	0 m <sup>3</sup> /år
Summa	-817 987 m <sup>3</sup> /år

För situationen år 30 har den framtida totala grundvattenavledningen från grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma beräknats till ca 820 000 m<sup>3</sup>/år.

Om man tar med grundvatteninflödena från de omgivande grundvattenförekomsterna, som vinster, blir den slutliga avledningen av grundvatten från grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma, ca 480 000 m<sup>3</sup>/år. Denna volym utgör ungefär 3% av nettonederbörden över det sammanlagda största påverkansområdet.

Notera att för situationen år 30 dräneras inte längre Västra brottet och grundvatteninflödet till Västra brottet är därför ej inkluderat i den totala grundvattenavledningen.

#### Förändring i grundvattenavledning år 30

De stora förändringarna i vattenavledning för år 30 beror på utökningen av dagbrottet på File hajdar och på att Västra brottet ej längre dräneras. Grundvatten som ej avleds utan kvarhålls i det studerade grundvattenförekomsten betraktas i beräkningarna nedan som en vinst för grundvattenförekomsten (i jämförelse med den tillståndsgivna situationen). Utökningen av File hajdar-täkten medför dessutom en ökad inströmning från intilliggande vattenförekomster vilka kan ses som en vinst för Mellersta Gotland Roma

En jämförelse mellan:

[Tillståndsgiven situation, LT2] och

[Situationen år 8 med skyddsåtgärder, Sc8G1R4K-VbG1Vam265-Sky5]

Förändringen i grundvattenflöden (i jämförelse med den tillståndsgivna situationen) för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma blir:

Förändring i grundvatteninflöde i File hajdar dagbrott	-363 513 m <sup>3</sup> /år
Förändring i grundvatteninflöde Östra brottet (utan tunnlar)	+190 616 m <sup>3</sup> /år
Uttag till fabriken	- 300 000 m <sup>3</sup> /år
Infiltration av grundvatten	+100 001 m <sup>3</sup> /år
Förändring i grundvattenavledning från Västra brottet	+485 915 m <sup>3</sup> /år
Förändring flöde från Norra Gotland – Stenkyrka	+ 220000 m <sup>3</sup> /år
Förändring flöde från Norra Gotland – Kappelshamn	+ 115000 m <sup>3</sup> /år

Summa +448 018 m<sup>3</sup>/år

Summan av förändringarna blir alltså en vinst för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma på nära 450 000 m<sup>3</sup>/år.

Exkluderas inflödet från övriga vattenförekomster blir det fortfarande en vinst gentemot utgångsläget men endast med ca 110 000 m<sup>3</sup>/år

Det blir alltså ingen förlust för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma eftersom ökningen i grundvatteninflöde till File hajdar dagbrott och uttaget för fabriken balanseras av att inflödet av grundvatten till Västra brottet inte längre avleds utan samlas i dagbrottet (en vinst), vilket i sin tur kommer att leda till förhöjda grundvattennivåer kring Västra brottet. Dessutom ingår det i skyddsåtgärderna att bilda grundvatten genom att infiltrera stora mängder vatten i infiltrationsbrunnar, vilket också kommer höja grundvattennivåerna i jämförelse med en situation utan infiltration.

I Nollalternativet vattenfylls dagbrotten. Täkterna dräneras inte längre. Hela grundvattensituationen förändras kring dagbrotten. I nollalternativet erhålls ingen kvantitativ förlust för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland - Roma. Istället erhålls en kvantitativ vinst som motsvarar hela vattenbortledningen från dagbrotten (grundvatten plus nettonederbörd) som för den tillståndsgivna situationen är nära 1.8 miljoner m<sup>3</sup>/år. Dock bör man notera att nettonederbörden förändras när dagbrotten vattenfylls, nettonederbörden minskar betydligt i jämförelse med situationen då dagbrotten är dränerade (eftersom avdunstningen är mycket stor från en fri vattenyta i dagbrotten på sommaren). Ökningen i avdunstning från de vattenfyllda täkterna motsvarar mer än 0,5 miljoner m<sup>3</sup>/år

I det ansökta alternativet kommer dagbrotten också att vattenfyllas, efter det att verksamheten har avslutats. Samma kvantitativa vinst erhålls då som för Nollalternativet, men efter det att verksamheten har avslutats.

### 11.3.6 Tillströmningsområde år 30

Grundvattnet inom det indirekta påverkansområdet strömmar inte nödvändigtvis till dagbrotten, men grundvattennivåerna inom det indirekta påverkansområdet är påverkade av dagbrottens utökning. Det område från vilket en stor andel av grundvatten strömmar direkt till det studerade dagbrottet kan benämnas som dagbrottets tillströmningsområde. Tillströmningsområdet kan vara

mycket större än det indirekta påverkansområdet, tex i stora slutna akvifärer i sedimentära geologiska bassänger, men för svenska förhållanden och för den typ av system som vi analyserar i denna studie, är det tillströmningsområde normalt mindre än det indirekta påverkansområdet. Tillströmningsområdet behöver heller inte helt och hållet sammanfalla med det indirekta påverkansområdet.

Tillströmningsområdet svarar på frågan: Varifrån kommer grundvattnet som strömmar in i det studerade dagbrottet?

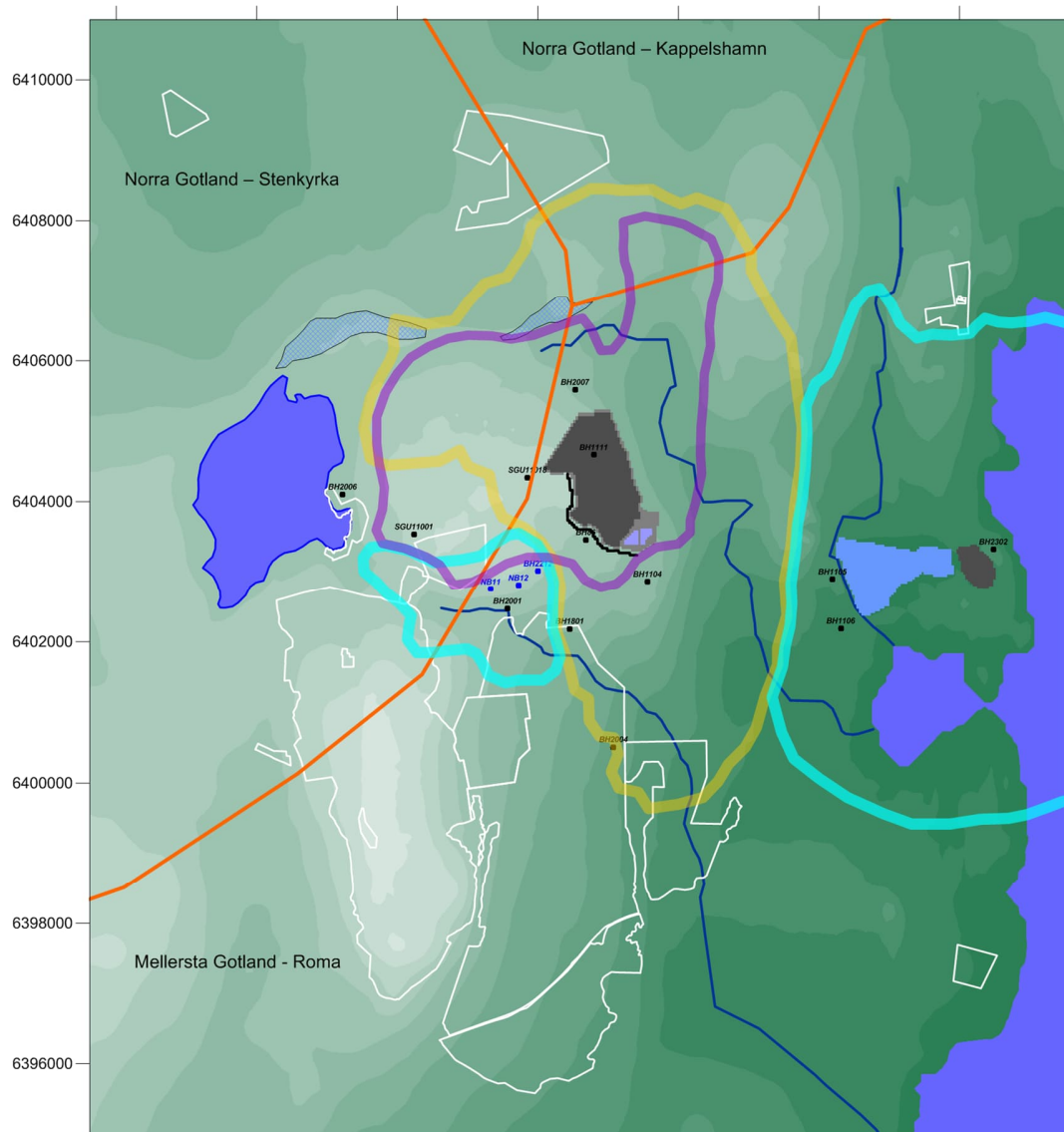
Eftersom nettonederbörden och grundvattennivåerna varierar mycket under året, och eftersom flödesmönstret är 3-dimensionellt, och eftersom flödesmedia (berget) är heterogent (både i verkligheten och i modellen), varierar storleken på det tillströmningsområdet med årstid och studerat vattenförande lager. Detta gör tillströmningsområde något svårpreparerat, och det gör också att endast en andel av nettonederbörden som faller inom tillströmningsområde når fram till dagbrottet, tex avrinner en del av nettonederbörden på markytan vid högvattensituationen. Tillströmningsområdet beräknas via flödesvägsanalys, där flödesvägarna genereras i modellen av teoretiska partiklar som följer grundvattnets flödesmönster.

Vi har beräknat tillströmningsområde för File hajdar dagbrott, för den ansökta situationen år 30, då File hajdar dagbrott är som störst, och utan skyddsåtgärder (Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5). Resultatet visas i Figur 11-12, nedan.

Gränsen som visas i figuren (lila linje) är inte en absolut gräns. Beroende på den stokastiska beskrivningen av det studerade systemets egenskaper, och beroende på den stora amplituden i grundvattennivåer under ett normalår, kan en ringa mängd vatten som når fram till dagbrottet ha sitt ursprung från områden bortom den lila linjen, men det är en ringa mängd i jämförelse med mängden vatten som kommer från området innanför den lila linjen.

Tillströmningsområde som visas i figuren (lila linje) har storleken 17 km<sup>2</sup>. Det areaviktade värdet på nettonederbörden är 222 mm/år. Nettonederbörden producerar en total vattenvolym över det tillströmningsområdet som är lika med 3.8 miljoner m<sup>3</sup>/år. För den studerade situationen år 30 avleder dagbrottet totalt 1.5 miljoner m<sup>3</sup>/år (grundvatten och nettonederbörd). Det är alltså ungefär 38% av nettonederbörden inom tillströmningsområdet som når fram till dagbrottet.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 11-12 Påverkansområden med skyddsåtgärder. Indirekt påverkansområde och tillströmningsområde.

År 30: Scenario Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5

Gränserna för de olika grundvattenförekomsterna framgår i figuren med röda linjer.

För situationen år 30 med skyddsåtgärder: Det största sammanlagda negativa påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $-0.3$  m är markerat med fet gul linje. Det största sammanlagda positiva påverkansområdet (vår-sommar-höst) med gränsvärde  $+0.3$  m är markerat med en fet ljusblå linje.

Tillströmningsområdet är markerat med en fet lila linje. Ungefär 35% av nettonederbörden inom tillströmningsområdet når fram till dagbrottet.

## 12. Beräkning av salthalter

### 12.1 Inledning

Salt grundvatten förekommer på Gotland på olika djup beroende på de hydrogeologiska förutsättningarna. Det salta grundvattnet har olika ursprung, vanligtvis kan man identifiera tre olika typer av saltvatten, och naturligtvis blandningar av dessa typer: (i) Vatten som har sitt ursprung i den nuvarande Östersjön (dvs. havsvatten), (ii) Gammalt havsvatten som har sitt ursprung i Östersjöns tidigare faser, normalt avses härmed det salta Littorinahavet (s.k. relik havsvatten), samt slutligen (iii) Ett mycket gammalt och mycket salt grundvatten, som delvis har sitt ursprung i kemiska processer under mycket lång tid mellan grundvattnet och omgivande berggrund.

Efter den senaste istiden har Östersjön haft en varierande utveckling med ömsom sötvatten och ömsom saltvatten. Östersjöns olika stadier brukar av geologer beskrivas som:

Baltiska issjön 11 500 – 8 300 f.Kr. (sötvatten)

Yoldiahavet 8 300 – 7 500 f.Kr. (bräckt sötvatten/saltvatten)

Ancylussjön 7 500 – 6 000 f.Kr. (sötvatten)

Littorinahavet 6 000 – 1 000 f.Kr. (saltvatten)

Limneahavet 1 000 f.Kr. – nutid (bräckt sötvatten/saltvatten)

Det som nu är Östersjön var under perioden ca 6000 år f.kr. till 1000 år f.kr. ett salt innanhav. Detta hav brukar benämnas som Littorinahavet. Saltvattnet i Littorinahavet var inte så salt som vattnet i världshaven, men det uppvisade de högsta salthalterna under Östersjöns utvecklingshistoria efter den senaste istiden. De högsta salthalterna i Littorinahavet (vid Gotland) kan antas ha varit ungefär 14 kg/m<sup>3</sup>.

Vågerosion längs med havens strandlinjer påverkar markytans lokala undulation vid strandlinjen, särskilt om strandlinjen ligger på en stadig nivå under en längre tidsperiod – en strandvall kan då bildas. Den vall som Littorinahavets högsta kustlinje lämnat efter sig kallas Littorinavallen. På grund av att landhöjningen efter istiden, och efter Littorinahavets period, har varierat i storlek längs med Östersjöbäckenet, påträffas Littorinavallen på olika nivåer, lägre nivåer i söder och högre nivåer i norr (vallen låg på samma nivå när den bildades). På södra Gotland kan Littorinavallen hittas på nivån +15 möh, och på norra Gotland på nivån +27 möh

Figur 12-1 (nedan) är en kopia på ett kartblad som visar Ancylussjön och Littorinahavets maximala utbredning på Gotland. Av kartan framgår att den s.k. Littorinavallen löper i nord-sydlig riktning mellan Tingstäde träsk och Slite på en bedömd nivå kring +25 möh (Karta enligt Munthe *et al.* 1933).

Som ett minne av Littorinahavet förekommer på Gotland ett saltare grundvatten än dagens Östersjövatten på lite större djup längs med Gotlands kuster. Detta saltvatten kan anses ha sitt ursprung i Littorinahavet, och förekommer företrädesvis nära/mellan Littorinavallen och dagens Östersjö.



## 12.2 Syfte

Saltvattensimuleringarna har två syften:

- Att simulera salthalterna i kommunens produktionsbrunnar, för Referenssituationen (den tillståndsgivna situationen) och för de framtida situationerna med utökade dagbrott och skyddsåtgärder enligt ansökan. Alltså en analys av hur utökningen av dagbrotten påverkar salthalterna i kommunens produktionsbrunnar. De framtida salthalterna beräknas även för Nollalternativet och För den framtida situationen efter avslutad brytning, med File hajdar och Västra brotten vattenfyllda.

- Att simulera hur salthalterna kring Västra och Östra brotten kommer att förändras när Västra brottet successivt vattenfylls. Alltså en analys av hur en vattenfyllning av Västra brottet påverkar salthalterna i grundvattnet kring Västra och Östra brotten. Den egenskap hos saltvattensystemet som är av störst praktisk betydelse för lokal användning av grundvatten är djupet till grundvatten med en salthalt så hög att grundvattnet inte är lämpligt som dricksvatten. Med andra ord, djupet till en viss given salthalt. Det är för denna egenskap som analysen av grundvattensystemet kring Västra och Östra brotten har fokuserats.

Beräkningarna som presenteras i detta kapitel är saltvattenberäkningar, och de är därför utförda med en modell som inkluderar transport av salt.

## 12.3 Gränsvärden

När vi talar om salthalten i grundvatten så menar vi i denna studie kloridhalten. När salthalterna blir för höga blir grundvattnet olämpligt som dricksvatten, vattnet blir korroderande och det smakar bräckt och salt. Vid 100 mg/l klorid (0.1 kg/m<sup>3</sup> eller 0.1 gram/liter) anses dricksvatten som anmärkningsvärt ur teknisk synpunkt pga saltets korroderande egenskaper. Överstiger kloridhalten 300 mg/l (0.3 kg/m<sup>3</sup> eller 0.3 gram/liter) anses vattnet med tvekan tjänligt (främst ur teknisk synpunkt) och vattnet börjar även smaka salt (se 08FS 2016:15).

## 12.4 Uppmätta salthalter runt Västra och Östra brotten

Höga salthalter i brunnar i Slite uppmättes redan på 50-talet, alltså före Västra brottets tillkomst. Exempelvis uppgick medelhalten klorid vid årliga provtagningar under 50-talet i den kommunala vattentäkten Klint 1 (belägen strax norr om Spillingsmagasinet, vid Västra brottet) till över 0.4 kg/m<sup>3</sup>, vilket är högre än smakgränsen.

Borrhål BH1107 – BH1109 ligger vid sydöstra delen av Västra brottet, vattnet i dessa borrhål uppvisar värden på elektrisk konduktivitet upptill mot 500 mS/m, vilket omräknat till en koncentration av NaCl motsvarar ca 1.2 kg/m<sup>3</sup> (som mest). Uppmätta salthalter i dessa hål ligger i samma storleksordning som uppmätta salthalter i inströmmande vatten i Västra brottet, på väggen till pall 2, innan pall 2 började vattenfyllas 2017. Alla borrhål, sydöst om Västra brottet uppvisar en ökande elektrisk konduktivitet mot botten av borrhålet, och därmed ökande koncentrationer av salt.

Borrhål BH1105, BH1106 och BH2202, är belägna i sydvästra kanten av Västra brottet. För vattnet i dessa borrhål har det uppmätts elektrisk konduktivitet från 125 mS/m till 225 mS/m, vilket omräknat till en koncentration av NaCl motsvarar ca 0.5 kg/m<sup>3</sup> (som mest). Högst elektrisk konduktivitet har uppmätts i BH2202 som är borrarat till nivån -52 möh. Vattnet i detta borrhål uppvisar en elektrisk konduktivitet som tydligt ökar vid nivån ca -40 möh, med högst uppmätt elektrisk konduktivitet på nivån -48 möh. Koncentration av NaCl motsvarar ca 0.5 kg/m<sup>3</sup> (som mest).

Norr om Västra brottet i BH2017 har det också genomförts loggning med avseende på elektrisk konduktivitet och temperatur. Den elektriska konduktiviteten ligger på en lägre nivå i jämförelse med de ovan diskuterade borrhålen, som mest på 70 mS/m högst upp i borrhålet och avtar mot botten av borrhålet, som är ca 20m djupt. Som mest motsvarar den elektriska konduktiviteten en salthalt på ca 0.17 kg/m<sup>3</sup>.

Sammanfattningsvis indikerar mätningarna det följande:

Salthalter över 0.4 kg/m<sup>3</sup>, uppmättes i brunnar i Slite redan på 50-talet, alltså före Västra brottets tillkomst.

Relativt höga salthalter >1 kg/m<sup>3</sup> förekommer vid pall 2 i Västra brottet på nivåer under ca -30 möh. Även sydöst om Västra brottet förekommer sådana salthalter i borrhål med liknande djup. En salthalt nära 1 kg/m<sup>3</sup> är tydligt över smakgränsen.

Sydväst om Västra brottet är salthalterna lägre och ungefär 0.5 kg/m<sup>3</sup>, även dessa koncentrationer är över smakgränsen. Mätningarna indikerar att en tydlig förändring i salthalter sker vid nivån ca -40 möh.

Norr om Västra brottet är salthalterna ytterligare lägre ca 0.17 kg/m<sup>3</sup>, men dessa mätningar representerar högre nivåer, eftersom det studerade borrhålet endast har ett djup på 20 m.

Från resultaten ovan kan man dra slutsatsen att en salthalt motsvarande smakgränsen kan förväntas förekomma på nivåer över ca -30 möh. sydöst om Västra brottet, på en nivå nära -30 möh sydväst om Västra brottet, och på nivåer under -20 möh norr om Västra brottet.

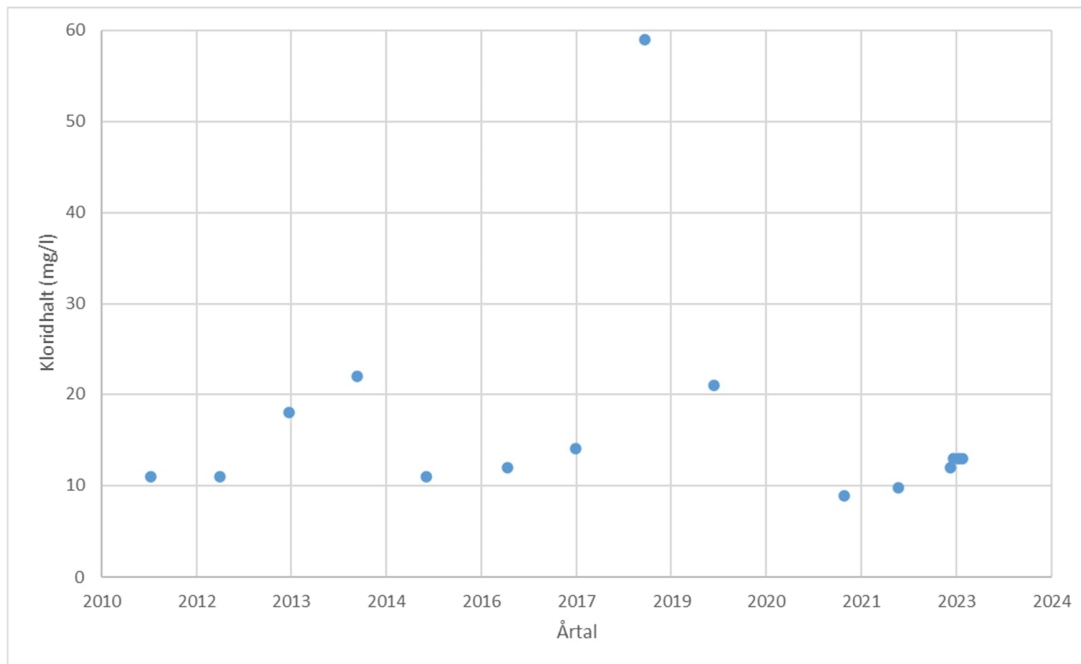
En uppskattning av förväntat djup till salthalten 0.3 kg/m<sup>3</sup> (smakgränsen), baserat på uppmätta salthalter, är för området kring Västra brottet ungefär 35 m.

## 12.5 Uppmätta salthalter i de kommunala produktionsbrunnarna

De kommunala produktionsbrunnarna producerar ett råvatten av god kvalitet. Vattnet provtas en gång per år med avseende på salthalt, dvs klorid. Provtagningen har tidigare utförts under sensommaren då grundvattennivån är som lägst och därmed kloridhalten som högst. Under övriga delar av året kan alltså kloridhalten förväntas vara lägre. Från år 2023 tas prover varje månad. Eftersom både tidpunkten för provtagning och lägsta grundvattennivå varierar inom ett spann på en dryg månad utan att vara synkroniserade finns det en viss osäkerhet för verkligt högsta halt varje år och man bör undvika att göra trender utifrån enstaka mätvärden. De uppmätta halterna visas i Figur 12-2. Troligen beror variationen i uppmätta salthalter huvudsakligen på



variationen i nettonederbörd mellan olika år. Produktionsbrunnarnas produktion har under en mycket lång tidsperiod legat nära vattendomen.



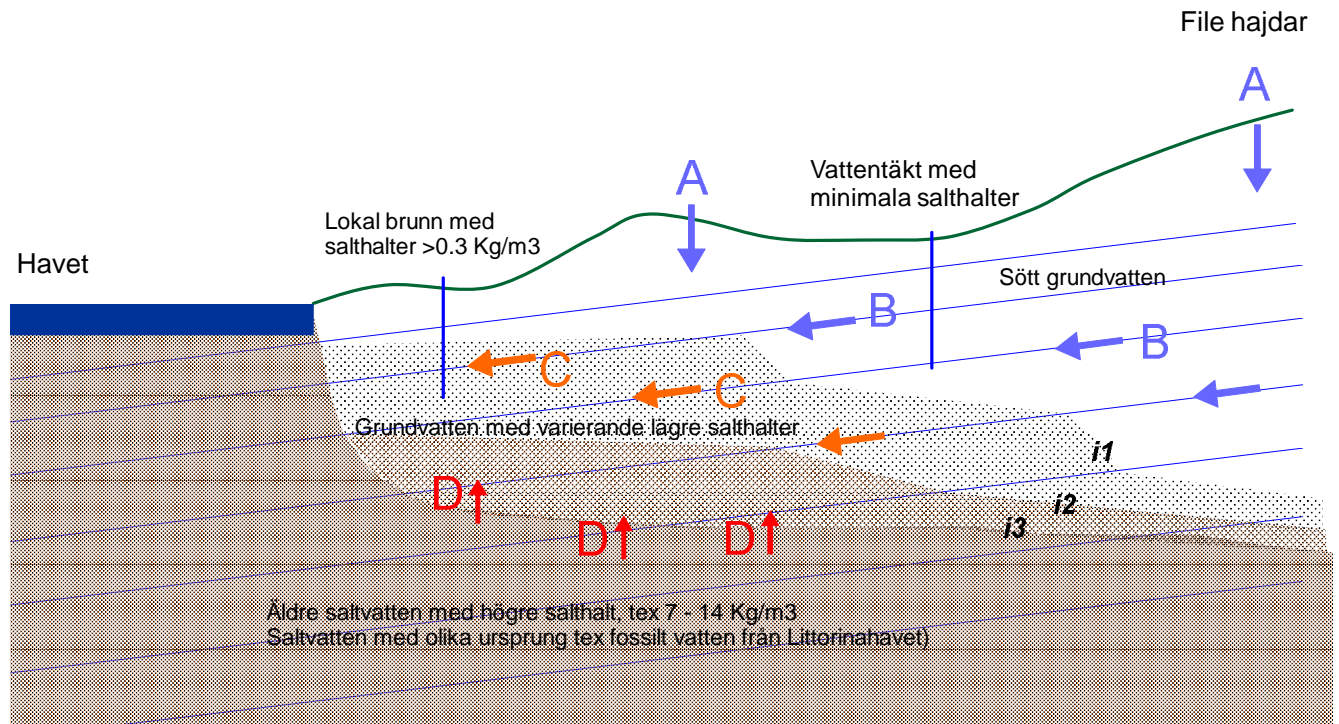
Figur 12-2 Årligen uppmätta kloridhalter sommartid i Dyhagens vattentäkt under perioden 2010–2022 i mg/liter. (1000 mg/liter = 1 kg/m<sup>3</sup>). För år 2023 visas månadsvisa uppmätta kloridhalter.

Om man exkluderar mätvärdet från extrem sommaren 2018 uppmäts stabila värden inom spannet 0.009 – 0.022 kg/m<sup>3</sup> (9–22 mg/l) med ett medelvärde på 0.015 kg/m<sup>3</sup> (15 mg/l) för perioden 2011–2021. År 2018 uppmättes de såväl lägsta uppmätta grundvattennivåerna på 2000-talet i flera brunnar som den klart högsta kloridhalten i produktionsbrunnarna. Kloridhalten uppgick då till 0.059 kg/m<sup>3</sup> (59 mg/l). Det var dock fortfarande med marginal under riktvärdena för grundvatten, vilka är satta till 0.1 kg/m<sup>3</sup> (100 mg/l) som teknisk anmärkning, och 0.3 kg/m<sup>3</sup> (300 mg/l) som brukar benämnas smakgränsen, dvs. den nivå då de flesta upplever att vattnet smakar salt (se 08FS 2016:15).

## 12.6 Konceptuell beskrivning

Den konceptuella beskrivningen av hur det salta grundvattnet har implementerats i modellen framgår av Figur 12-3. Figuren visar hur grundvatten med högre salthalter förekommer på större djup. Ovanför detta salta grundvatten förekommer grundvatten med lägre salthalter, och överst förekommer sött grundvatten. Nettonederbörden (som är sötvatten) infiltrerar i modellen (A). Det söta grundvattnet strömmar nedåt till de subhorisontella vattenförande zonerna, och längs de vattenförande zonerna mot havet (B). När detta vatten närmar sig havet blandas det med saltvatten (C) och tillförs även salt via diffusion/dispersion (D) från djupare lager. Nära havet finns det också ett svagt uppåtriktat flöde av salt grundvatten (D) som blandas med det söta grundvattnet. Eftersom salthalterna generellt är låga (tex i jämförelse med världshavens salthalter) blir densitetseffekterna av liten betydelse, förutom för det allra djupaste salta

grundvattnet. Modellberäkningarna inkluderar densitetseffekter, de är dock inte av avgörande betydelse för beräkningarnas resultat.



Figur 12-3 Principskiss som visar den konceptuella beskrivningen av hur det salta grundvattnet har implementerats i modellen.

## 12.7 Saltvattenmodellen 2023

Saltvattenmodellen som har använts för de simuleringar som diskuteras i detta kapitel är samma modell som har presenterats och diskuterats i de tidigare kapitlen. Det är samma upplösning och samma egenskaper. Skillnaden mellan sötvattenmodellen och saltvattenmodellen består endast i att klorid (saltvatten) har inkluderats i beräkningarna, och att de definitioner som behövs för att beräkna saltvatten har adderats till den redan etablerade sötvattenmodellen. Det som behöver läggas till är randvillkor för saltvattnet och dessutom måste transportekvationen (Ekvation 3-3) adderas till kedjan av beräkningsalgoritmer.

### 12.7.1 Randvillkor

Salthalten beräknas med hjälp av en transportekvation, den sk. advektions-dispersion-ekvationen (eller advektions-diffusion-ekvationen), se Ekvation 3-3. Transportekvationen måste definieras med randvillkor, som beskriver hur salthalter och saltransport förekommer längs med modellens sidor. Specificerade koncentrationer har använts som randvillkor på tre olika delar av modellen: (A) längs med modellens bas, (B) längs med nuvarande havsbotten och (C) överst i modellen längs med topografien. Vattnet som infiltreras i infiltrationsbrunnarna definieras också som sötvatten.

Som nämnts ovan så har Östersjön haft en varierande utveckling med ömsom sötvatten och ömsom saltvatten. Därför förekommer ibland ett saltare grundvatten än havsvattnet på större djup längs med Gotlands kuster, detta saltvatten kan anses ha sitt ursprung i Littorinahavet. Vid Slite nådde Littorinahavet upp till en nivå som i dagens höjdsystem ungefär motsvarar en nivå på +25 möh, och hade en högsta salthalt som vid Gotland kan antas ha varit ungefär  $14 \text{ kg/m}^3$ .

**A:** Längs med modellens bas (-200 möh) har specificerade salthalter använts som randvillkor. Under den topografiska nivån för Littorinahavet, som för denna analys sattes till +25 möh, och utåt mot modellens yttre begränsningar, har ett saltvatten definierats längs med modellens botten, med en initial salthalt på  $10\text{-}14 \text{ kg/m}^3$ . Någon kilometer innanför den topografiska nivån +25 möh (mot mitten av modellen) har salthalten längs med modellens botten satts till  $0.1 \text{ kg/m}^3$ . Mellan dessa två områden (Littorinavallen och modellens inre) interpolerades sedan koncentrationerna mjukt från  $14 \text{ kg/m}^3$  till  $0.1 \text{ kg/m}^3$  (längs med modellens botten). Därefter låstes dessa koncentrationer och användes som randvillkor längs med modellens bas. Se Figur 12-4. Under de kommunala vattentäkterna, vid modellens bas, är den specificerade koncentrationen nära  $1 \text{ kg/m}^3$ . Under Västra brottet är koncentrationen nära  $13 \text{ kg/m}^3$ . På modellens västra sida, vid havet på Gotlands västra sida, har en förenklad metod använts för att definiera salthalten vid modellens bas. Saltvattenberäkningarna är fokuserade på modellens östra sida, på områdena vid File hajdar och Slite.

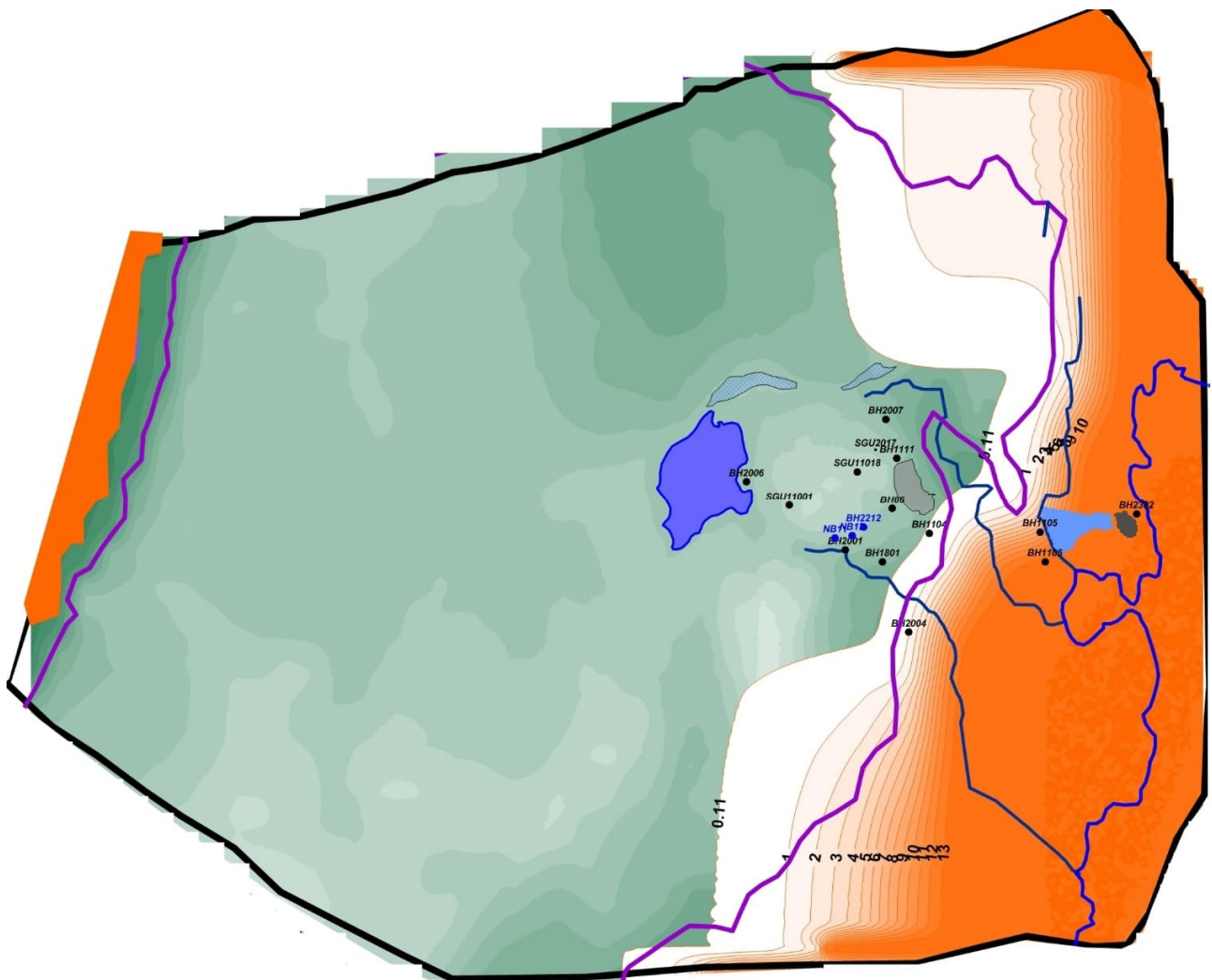
**B:** De översta cellerna i modellen som har en topografisk nivå som är mindre än 0 möh, definieras med en konstant specificerad koncentration som är lika med havets (Östersjön) nuvarande salthalt, som sätts till  $7 \text{ kg/m}^3$ . Dessa celler befinner sig under havets nuvarande nivå längs med havsbotten.

**C:** Övriga celler längs med modellens topografi definieras med en koncentration som är lika med noll (sötvatten). Tingstäde träsk är definierat med sötvatten. Vattnet som infiltreras i infiltrationsbrunnarna definieras också som sötvatten.

Nettonederbörden som infiltrerar längs med modellens ovanyta är alltid sötvatten.

Modellens laterala gränser har definierats som täta.

Östersjöns vatten har i modellen definierats med salthalten  $7 \text{ kg/m}^3$ . Fossilt/relikt vatten (Littorina) har i modellen definierats med salthalten ca  $14 \text{ kg/m}^3$ . Detta är höga koncentrationer i den upprättade modellen, eftersom inga högre koncentrationer förekommer i modellen, och vi kommer därför att beskriva dem som höga koncentrationer. Det är dock inte höga koncentrationer i ett större perspektiv. Världshaven har koncentrationer kring  $35\text{-}40 \text{ kg/m}^3$ , och ett mycket salt grundvatten, så kallat saltlake, förekommer ofta på mycket stort djup i berg (tex på 500m djup), detta vatten kan ha koncentrationer större än  $150 \text{ kg/m}^3$ . Saltlake är inte inkluderat i den upprättade saltvattenmodellen. I sedimentära lagerföljder (i tex Frankrike), kan det förekomma en bergart som kallas för Evaporite, och som i praktiken består av olika typer av salt i kristallform. I anslutning till denna bergart kan det förekomma grundvatten med salthalter som närmar sig  $350 \text{ kg/m}^3$  (nära maximal löslighet).



Figur 12-4 Specifierade koncentrationer längs med modellens bas visas med brandgul färg. Enhet=  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ . Min=0, Max=  $14 \text{ kg}/\text{m}^3$ . I det inre av modellen är koncentrationen längs med modellens bas lika med  $0.1 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Den lila linjen representerar ungefär nivån +25 möh. Linjen har använts vid definition (interpolationen) av koncentrationerna längs med modellens bas. Havet är definierat med en salthalt=  $7 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Under havet längs med modellens bas är salthalten =  $14 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

### 12.7.2 Beräkningsmetodik

Transportekvationen (se Ekvation 3-3) är betydligt mer komplicerad att lösa numeriskt än ekvationerna som beskriver grundvattenflödet i den mättade zonen, och även i vissa avseenden svårare att numeriskt lösa än ekvationerna som beskriver flödet i den omättade zonen (Ekvation 3-1 och Ekvation 3-2). Beräkningskoden som har använts i denna studie (Geoan) inkluderar ett antal robusta lösningsmetoder som kan lösa transportekvationen med god noggrannhet även för mycket komplicerade system, t.ex. Crank-Nicolsons metod och Split-operator-metoder, och kombinationer av dessa metoder.

Beräkningsproceduren består av att varje månad indelas i ett antal tidsteg, för varje tidsteg löses först flödesekvationerna (med densitetseffekter) med avseende på tryck, sedan löses transportekvationen med avseende på koncentration. Denna procedur upprepas många gånger för

varje månad. Densitetseffekterna är dock av mycket liten betydelse för grundvattnet i de vattenförande lagren vilka förser dagbrotten och produktionsbrunnarna med grundvatten. På större djup i berget förekommer saltvatten med högre halter, men eftersom salthalterna på djupet i modellen aldrig når över de salthalter som förekom i Littorinahavet (ca 14 kg/m<sup>3</sup>) så blir densitetseffekterna inte av avgörande betydelse.

### 12.7.3 Initialvillkor

Med avseende på salthalter har en approximativ stationär situation använts som initialvillkor. Av matematiska orsaker är simuleringar med transportekvationen alltid tidsberoende simuleringar (transienta simuleringar). Detta betyder att det applicerade initialvillkoret har uppnåtts efter en lång tidsberoende (icke stationär, transient) simulering av flöden och salthalter, som avslutades när salthalterna approximativt stabiliserats och ej länge förändrades nämnvärt. Den initiala situationen representerar en medelsituation.

### 12.7.4 Beräkningsfall

Som tidigare nämnts är saltvattenmodellen samma modell som den sötvattenmodell som har presenterats och diskuterats i de tidigare kapitlen, skillnaden mellan sötvattenmodellen och saltvattenmodellen består endast i att klorid (saltvatten) har inkluderats i beräkningarna. Beräkningsfallen är desamma som för sötvattenmodellen. För varje beräkningsfall simuleras ett normalår. I de utförda simuleringarna har den tidigare diskuterade årstidsbundna variationen i nettonederbörd inkluderats i simuleringarna. Produktionsbrunnarna är inkluderade på samma vis som i den tidigare presenterade sötvattenmodellen etc, etc.

## 12.8 Kalibrering, diskussion och visualisering av referenssituationen

Saltvattenmodellen är kalibrerad mot: (i) de uppmätta salthalterna i de kommunala produktionsbrunnarna, och (ii) mot mediandjup till salthalten  $0.3 \text{ kg/m}^3$  (smakgränsen) i området kring Västra och Östra brotten. Kalibreringen utfördes för Situationen år 2021. Med avseende på salthalter är skillnaden mellan Situationen år 2021 och Referenssituationen (den tillståndsgivna situationen) obetydlig.

### 12.8.1 Kalibrering mot salthalterna i de kommunala produktionsbrunnarna

Salthalter har uppmätts i de kommunala produktionsbrunnarna, se Sektion 12.5. Om man exkluderar mätvärdet från extrensommaren 2018 uppmäts stabila värden på salthalter inom spannet  $0.009 - 0.022 \text{ kg/m}^3$  (9–22 mg/l) med ett medelvärde nära  $0.015 \text{ kg/m}^3$  (15 mg/l) för perioden 2011-2021. Salthalterna i modellen har kalibrerats så att de initiala koncentrationerna i de kommunala produktionsbrunnarna i modellen, stämmer väl med de uppmätta värdena (dock ej för år 2018). Kalibreringens mål har varit att producera salthalter (i modellen) som stämmer väl med de högsta värden av uppmätta salthalter, dock ej för extremåret 2018.

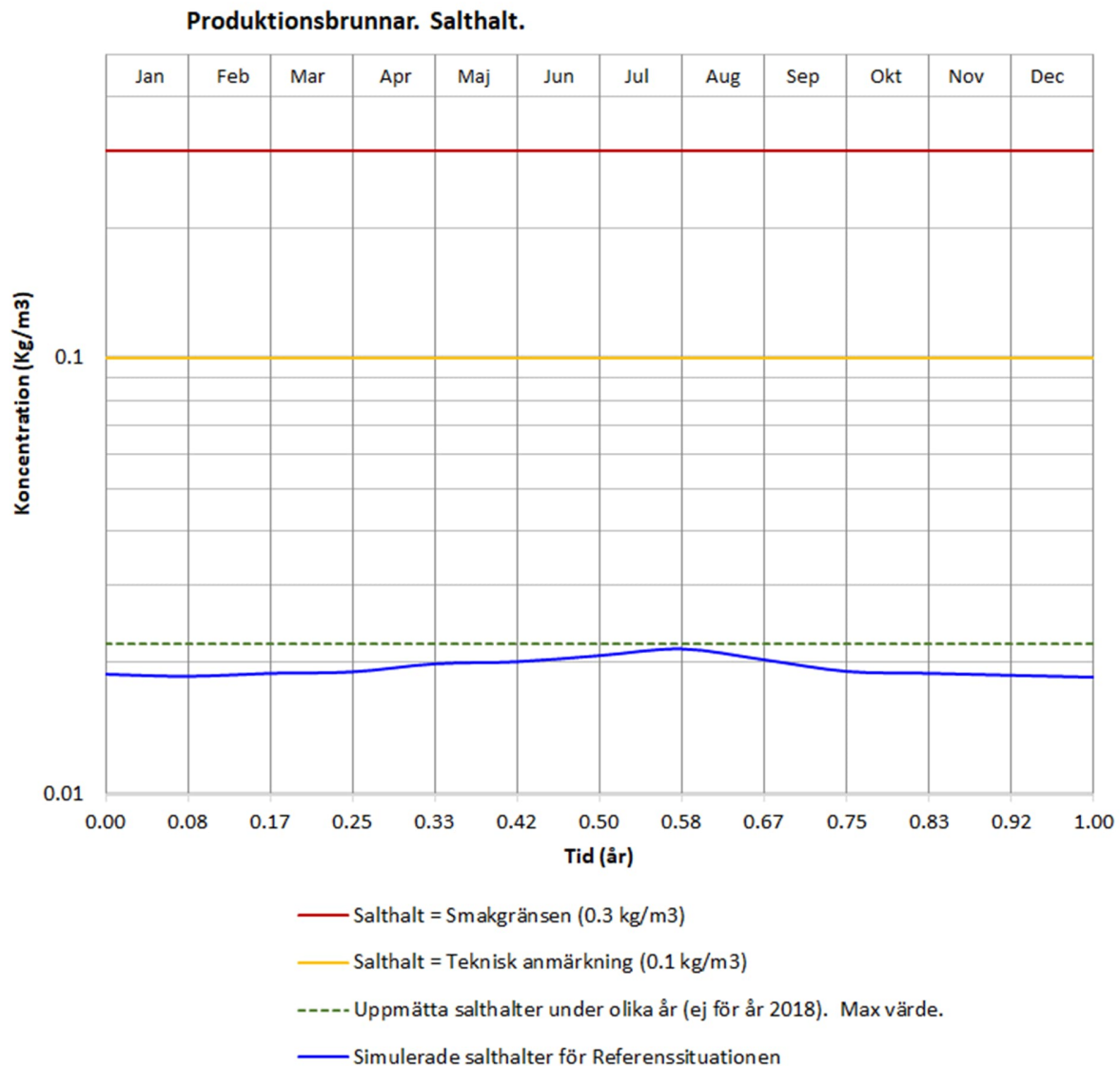
Kalibreringen av salthalterna baserades på justeringar av randvillkoret för salthalt längs med modellens bas (se Figur 12-4). Ju högre koncentrationer längs med modellens bas desto högre koncentrationer i grundvattnet på alla nivåer. Dessutom kan vi generellt konstatera att ju större genomsläpplighet i modellens övre del desto lägre koncentrationer i modellens övre del. Detta följer av att stor genomsläpplighet ger en stor inströmning av sötvatten via markytan. Ett större djup till modellens bas ger också lägre koncentration i de övre lagren, eftersom avståndet till de höga värdena på den specificerade koncentrationen längs med modellens bas ökar då modellen görs djupare. Modellens genomsläpplighet och djup har dock inte ändrats då saltmodellen kalibrerades.

Modellen beräknar ett flödesviktat medelvärde för koncentrationer i vattnet som pumpas ur produktionsbrunnarna, detta värde motsvarar salthalten i ett vattenprov taget i en position där vattnet från de olika brunnarna har blandats. För referenssituationen visas de simulerade salthalterna i Figur 12-5 för det studerade normalåret. Notera att Y-axeln har logaritmisk skala. Salthalten i brunnarna är drygt en storleksordning lägre än smakgränsen.

För lågvattensituationen i slutet på juli och början på augusti månad producerar den kalibrerade modellen en (blandad) salthalt i produktionsbrunnarna som ligger nära  $0.022 \text{ kg/m}^3$ . Vilket stämmer bra med de uppmätta salthalterna, som representerar lågvattensituationen.

För högvattensituationerna under vintern (Nov-Feb) simulerar den kalibrerade modellen en (blandad) salthalt i produktionsbrunnarna kring  $0.018$  och  $0.019 \text{ kg/m}^3$ . Vilket är lägre än de simulerade salthalterna under lågvattenperioden, även om skillnaderna är små. Den transienta (tidsberoende) kalibreringen av salthalterna i brunnarna får därmed anses vara god.

Vattennivå och vattenproduktionen i brunnarna är nära identiska med resultaten från sötvattenmodellen.

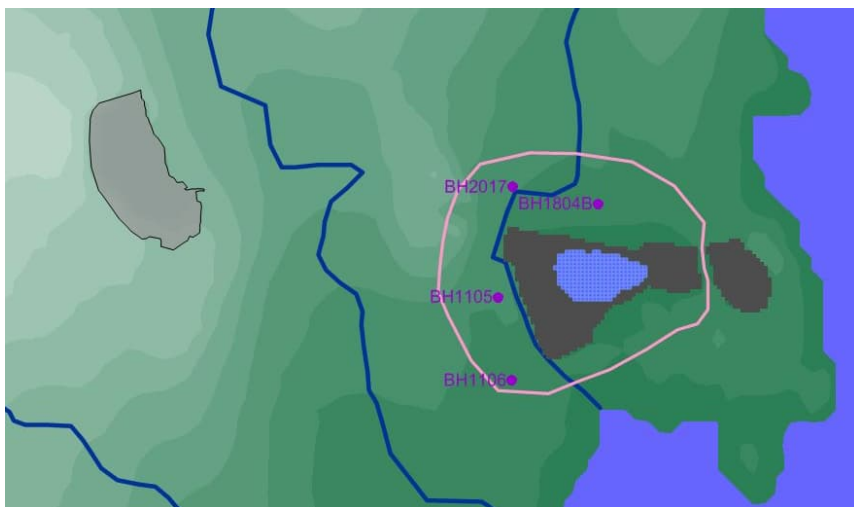


Figur 12-5 Simulerade och uppmätta salthalter i produktionsbrunnarna för Referenssituationen. Notera att Y-axeln har logaritmisk skala. Salthalten i brunnarna är drygt en storleksordning lägre än smakgränsen. Modellen beräknar ett flödesviktat medelvärde för koncentrationer i vattnet som pumpas ur produktionsbrunnarna, detta värde motsvara salthalten i ett vattenprov taget i en position där vattnet från de olika brunnarna har blandats.

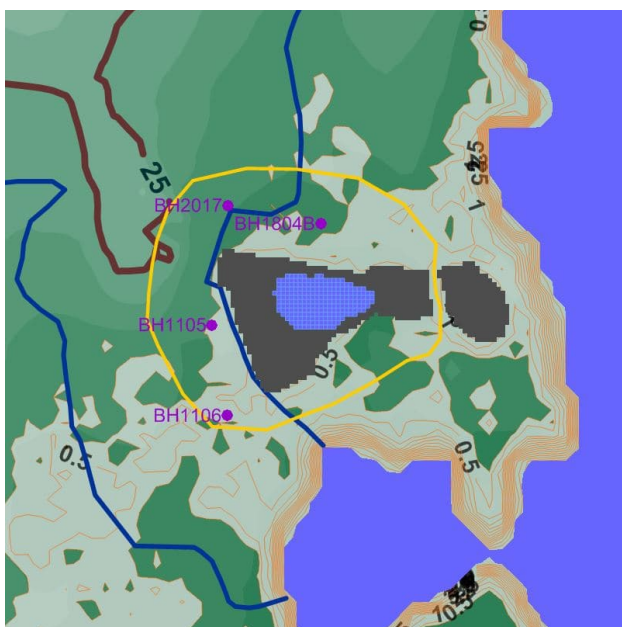
### 12.8.2 Kalibrering mot salthalter runt Västra brottet

En uppskattning av förväntat djup till salthalten 0.3 kg/m<sup>3</sup> (smakgränsen) baserat på uppmätta salthalter är för området kring Västra brottet ungefär 35 m. Detta diskuteras i Sektion 12.4.

Med hjälp av saltvattenmodellen har vi beräknat djupet till en viss given salthalt vid varje beräkningscell längs med markytan. För varje beräkningscell längs med markytan erhålls ett värde på djupet till en viss given koncentration. Fördelningsfunktioner tas sedan fram för dessa värden och från fördelningsfunktionerna kan medianvärden och percentiler beräknas. Analyser av denna typ har utförts för ett område kring Västra brottet. Området framgår av Figur 12-6.



Figur 12-6 Område för vilket djupet till en viss given koncentration har beräknats (skär linje).



Figur 12-7 Saltvattensimulering. Referenssituation (tillståndsgiven situation). Lågvattensituationen (juli). Den grå ytan i figuren representerar den beräknade salthalten på djupet 35 m. Det minsta värdet för den grå ytan, som är kanten på den grå ytan, representerar ett saltvatten med salthalten  $0.3 \text{ kg/m}^3$  (smakgränsen). På större djup är salthalterna högre.

För Referenssituationen (den tillståndsgivna situationen) och för det studerade området som sträcker sig ca 500 m från Västra brottet, beräknas följande värde på mediandjupet, avseende djupet till koncentrationen  $0.3 \text{ kg/m}^3$ . Mediandjupet blir 34.7 m för lågvattensituationen (juli). Samma mediandjup erhålls för den kalibrerade situationen (2021). Således stämmer modellens beräknade mediandjup till koncentrationen  $0.3 \text{ kg/m}^3$  med det uppmätta och bedömda djupet. Modellen kan därför sägas vara kalibrerad med avseende på salthalter runt Västra brottet.

Figur 12-7 visar salthalterna kring Västra brottet på djupet 35 m, med avseende på halter större än eller lika med  $0.3 \text{ kg/m}^3$  (smakgränsen). Om halten är lägre än  $0.3 \text{ kg/m}^3$  plottas ingen grå yta i



figuren. Figuren visar också område för vilket djupet till en viss given koncentration har beräknats (gul linje). Figuren visar att ett salt grundvatten med halten  $0.3 \text{ kg/m}^3$  (smakgränsen) förekommer inom ungefär hälften av området innanför den gula linjen, vilket stämmer med beräkningen av medianvärdet för djupet till salthalten  $0.3 \text{ kg/m}^3$  inom det studerade området. Grundvattnet i områden som inte är markerade med grå färg i Figur 12-7 kan också ha en viss salthalt, det är dock så att salthalterna i dessa områden på djupet 35 m är mindre än  $0.3 \text{ kg/m}^3$ .

### 12.8.3 Visualisering och diskussion av salthalter för referenssituationen

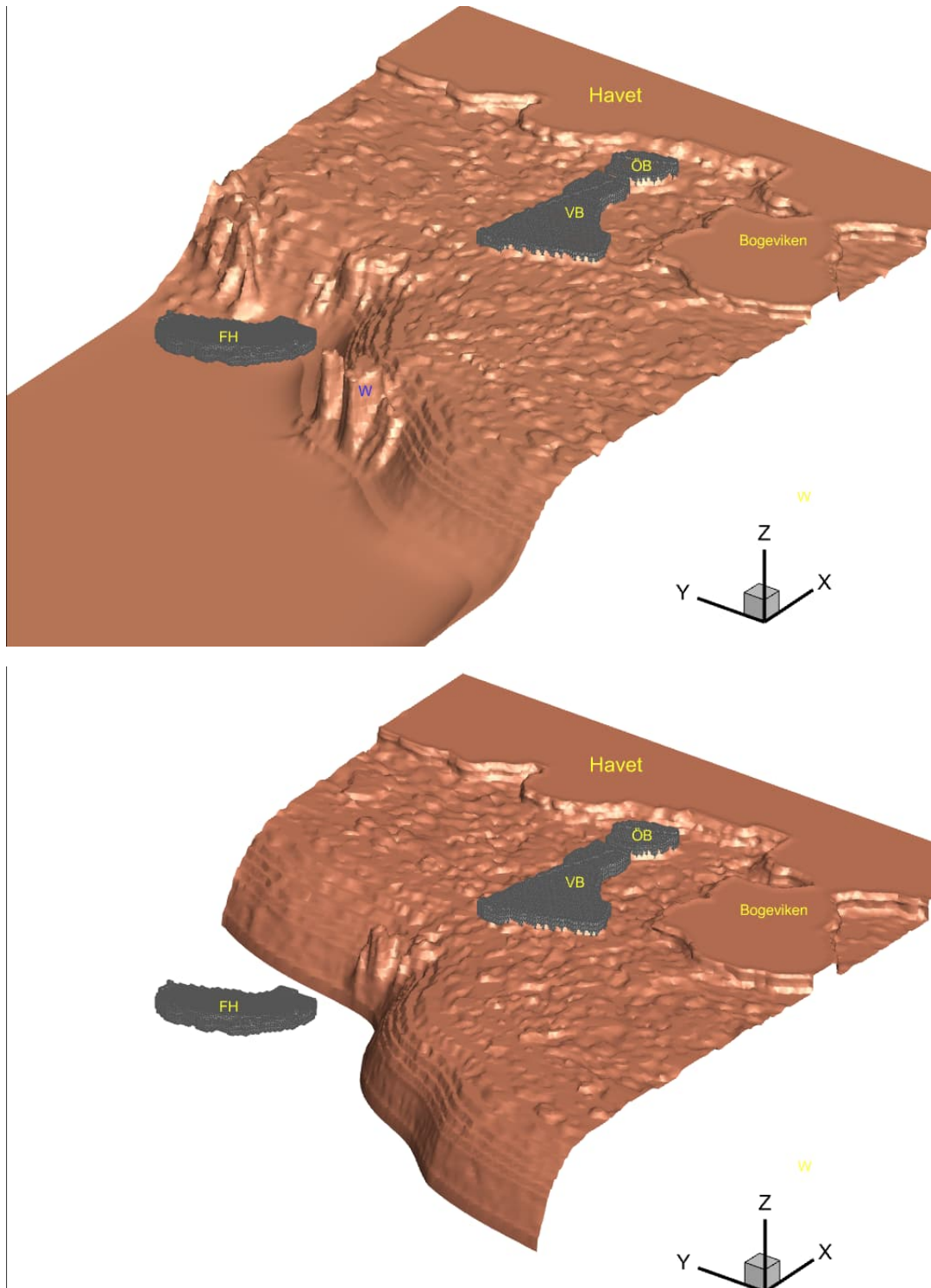
En principskiss som visar den konceptuella beskrivningen av hur det salta grundvattnet har implementerats i modellen visas som Figur 12-3. I figuren finns tre markeringar i svart: *i1*, *i2* och *i3*. Dessa markeringar visar på isolinjer som representerar ett värde på salthalten, markering *i1* kan tex representera koncentrationen  $0.3 \text{ kg/m}^3$ , som motsvarar smakgränsen. Markeringen *i2* kan tex representera koncentrationen  $5 \text{ kg/m}^3$ , och markeringen *i3* representerar då högre koncentrationer. Figur 12-3 är ett vertikalt tvådimensionellt snitt, isolinjerna i Figur 12-3 motsvaras i en tredimensionell beskrivning av isoytor. En isoyta representerar alltså en viss koncentration, under isoytan är koncentrationerna högre (i det studerade fallet) och ovanför isoytan är koncentrationerna lägre. Den upprättade modellen är tredimensionell, diskussionen nedan fokuseras därför på isoytor.

Resultaten av saltvattenmodelleringen är fokuserade på ett rektangulärt område kring dagbrotten. Saltvattenmodellen är lika stor som den tidigare presenterade sötvattenmodellen, men simulerade salthalter långt bortom File hajdar och Slite är inte av intresse i denna studie.

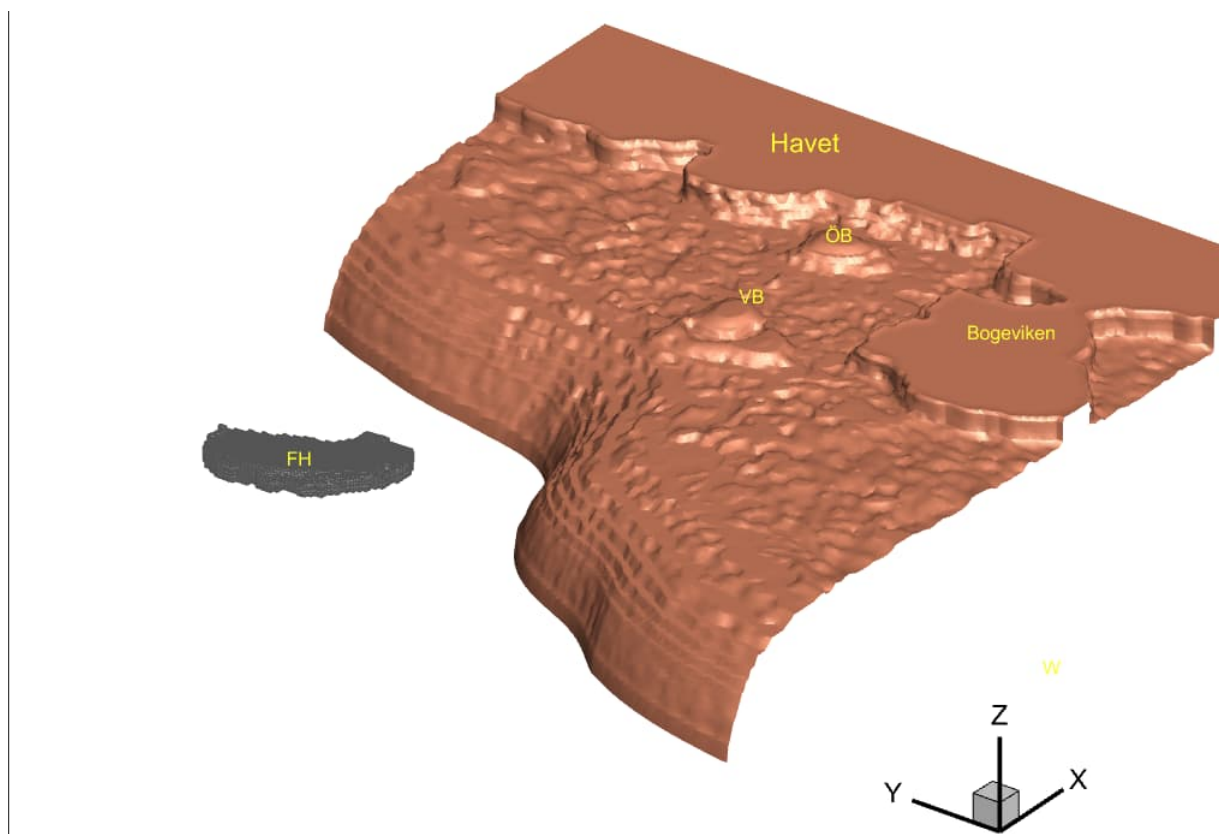
En visualisering i perspektiv av det simulerade saltvattnet visas i Figur 12-8. Figuren representerar referenssituation (tillståndsgiven situation) för lågvattensituationen (juli). Den brun-röda ytan i figuren är en isoyta som i den övre figuren representerar en salthalt lika med  $0.1 \text{ kg/m}^3$  (tekniskt gränsvärde), och i den undre figuren representerar en salthalt lika med  $0.3 \text{ kg/m}^3$  (smakgränsen) Under isoytan är koncentrationerna högre och ovanför isoytan är koncentrationerna lägre. Bokstaven W (i figuren) indikerar ett område där vatten med låga salthalter stiger uppåt (uppkoning), i anslutning till produktionsbrunnarna. Produktionsbrunnarna får dock huvudsakligen sitt vatten från väster, där grundvattnet, även på stora djup tenderar att ha låga salthalter, och är därför mindre påverkade av de högra salthalterna öster och om och under produktionsbrunnarna, vilket också har indikerats av spårämnesförsök. De små lokala variationerna i isoyternas nivåer väster om havet följer av modellens heterogena egenskaper, och representerar en naturlig variation i koncentration. Densitetseffekterna är mycket små och obetydliga för salthalterna som i figurerna representeras av isoytor, och därför inte av avgörande betydelse, och utjämnar därför inte lokalt de olika salthalterna.

Figur 12-9 representerar också Referenssituation för lågvattensituationen (juli). Den brun-röda ytan är en isoyta som representerar en salthalt lika med  $1.0 \text{ kg/m}^3$  (långt över smakgränsen). Figuren visar hur salt grundvatten med lite högre salthalter (tex  $1.0 \text{ kg/m}^3$ ) stiger uppåt (uppkoning) under Västra (VB) och Östra brotten (ÖB).

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 12-8 Saltvattensimulering. Referenssituation (tillståndsgiven situation). Lågvattensituationen (juli). Den brun-röda ytan är en isoyta som i den övre figuren representerar en salthalt lika med  $0.1 \text{ kg/m}^3$  (tekniskt gränsvärde), och i den undre figuren representerar en salthalt lika med  $0.3 \text{ kg/m}^3$  (smakgränsen). Under isoytan är koncentrationerna högre och ovanför isoytan är koncentrationerna lägre. De små variationerna i isoytans nivå väster om havet följer av modellens heterogena egenskaper, och representerar en naturlig variation i koncentration. Den vertikala skalan är 5 gånger större än den horisontala skalan. Figurens Y-axel pekar mot norr, X-axeln pekar mot öster.



Figur 12-9 Saltvattensimulering. Referenssituation (tillståndsgiven situation). Lågvattensituationen (juli). Den brun-röda ytan är en isoyta som representerar en salthalt lika med  $1.0 \text{ kg/m}^3$  (långt över smakgränsen). Under isoytan är koncentrationerna högre och ovanför isoytan är koncentrationerna lägre.

Figuren visar hur salt grundvatten med lite högre salthalter ( $1.0 \text{ kg/m}^3$ ) stiger uppåt (uppkonung) under Västra (VB) och Östra botten (ÖB). De små variationerna i isoytans nivå väster om havet följer av modellens heterogena egenskaper, och representerar en naturlig variation i koncentration.

Den vertikala skalan är 5 gånger större än den horisontala skalan. Figurens Y-axel pekar mot norr, X-axeln pekar mot öster.

Figur 12-10 visar den beräknade salthalten på djupet 45 m. Figuren representerar referenssituation (tillståndsgiven situation) för lågvattensituationen (juli). Den grå ytan i figuren representerar den beräknade salthalten på djupet 45 m. Detta djup är ungefär mediandjupet för brunnar inom det studerade området. Det minsta värdet för den grå ytan, som alltså är den västra kanten på den grå ytan, representerar ett saltvatten med salthalten  $0.3 \text{ kg/m}^3$  (smakgränsen), om halten är lägre än  $0.3 \text{ kg/m}^3$  plottas ingen grå yta i figuren. Figuren illustrerar att brunnar inom det grå området, borrade till ett djup som är lika med ungefär 45 m, och som pumpas, riskerar att få en noterbar salthalt i brunnsvattnet. Ovan för 45 m är vattnet mindre salt, och nära markytan är det sött. Så brunnen måste pumpas för att få en betydande salthalt. Det bör noteras att innanför det grå området är grundvattnet inte en god sötvattenresurs.

Under lågvattenperioden, när grundvattennivåerna är låga, är salthalterna de högsta. Under högvattenperioden när grundvattennivåerna är höga är salthalterna de lägsta. Detta är ett naturligt

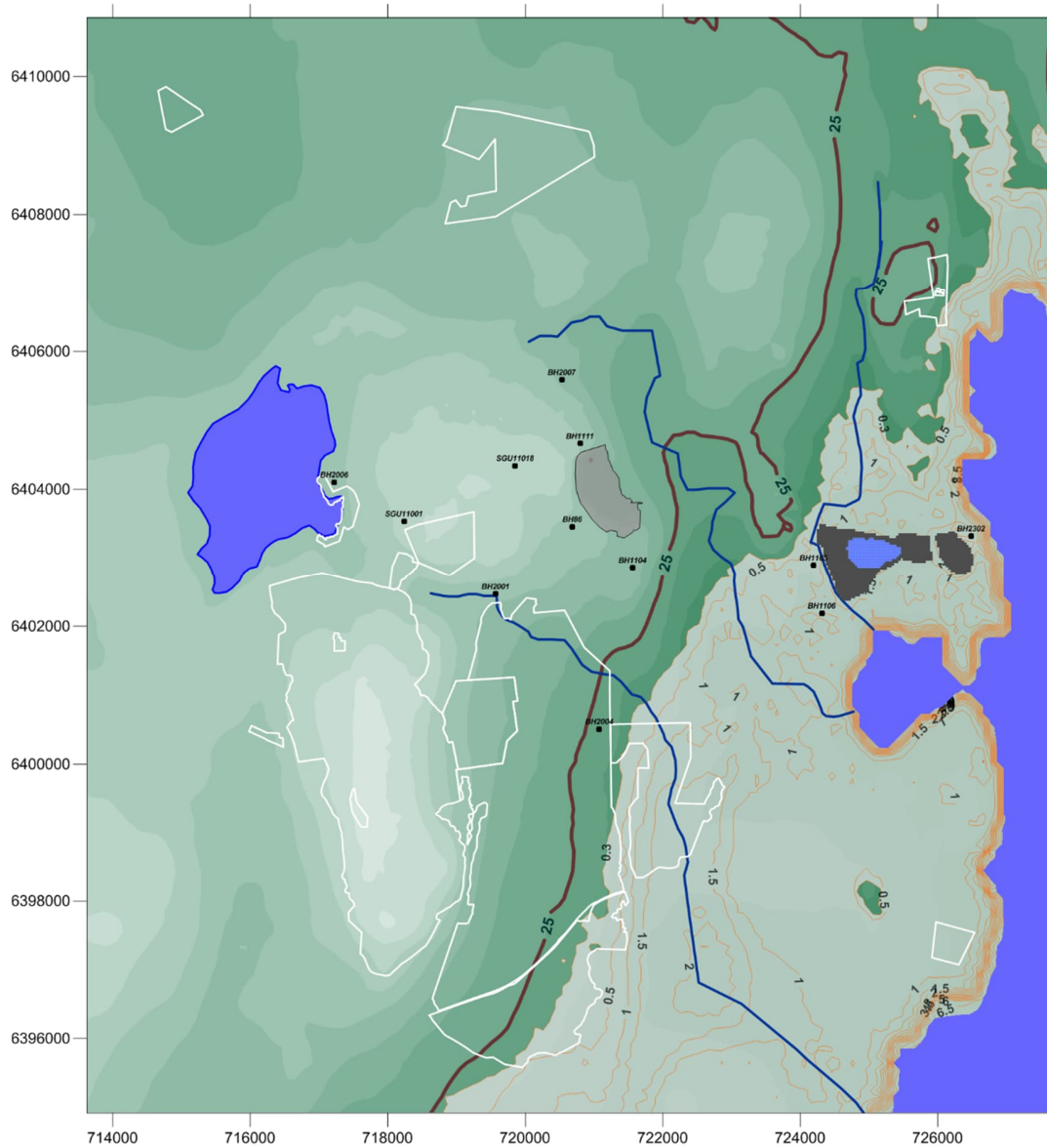
samband, som följer av att när vattennivåerna i brunnarna är låga, så är andelen större av det vatten som kommer från större djup, och vattnet från större djup tenderar att innehålla mer salt. Det förekommer alltså en variation av salthalter under året, mellan högvatten- och lågvattensituationerna, men om man analyserar de simulerade koncentrationerna med djupet, så framgår det att det inte förekommer några större förändringar i salthalterna på större djup under ett år. Det är egentligen bara i zonen mellan sött grundvatten med minimala salthalter och salt grundvatten med låga salthalter som man kan se några tydliga förändringar i koncentrationer under ett normalår.

Som diskuterats ovan kan Littorinavallen hittas på en ungefärlig topografisk nivå lika med +25 möh vid Slite. De kommunala produktionsbrunnarna är placerade nära Littorinavallen. Ett av skälen till att brunnarna placerades nära Littorinavallen var att man inte ville att brunnarna skulle placeras nära kustlinjen nedanför Littorinavallen. Littorinavallen motsvarar ungefär det forntida Littorinahavets högsta nivå. Mellan Littorinavallen och det nutida havet är det sannolikt att äldre grundvatten rikt på salt kan påträffas på ringa djup, detta salt har sitt ursprung i det gamla Littorinahavet. Genom att placera brunnarna nedanför höjdområdet File hajdar och nära Littorinavallen hoppades man kunna undvika att få salt grundvatten i produktionsbrunnarna. Detta var ett klokt beslut och brunnarna har fungerat väl i många år. Grundvattnet som strömmar mot brunnarna innehåller mycket lite salt (som medelvärde); mycket av vattnet som når fram till brunnarna kommer från väster där det inte förekommer salt grundvatten på ringa djup.

Saltvattenmodellen baseras en konceptuell beskrivning, denna beskrivning bygger också på antagandet att det finns salt grundvatten på ringa djup strax öster om produktionsbrunnarna mellan Littorinavallen och det nutida havet. Från detta följer att i modellen står de kommunala produktionsbrunnarna precis väster om området där salt grundvatten förekommer på ringa djup. I modellens visualisering av salthalten  $0.3 \text{ kg/m}^3$  framgår detta som att det finns ett område med salt grundvatten på ringa djup strax öster om produktionsbrunnarna, se Figur 12-8.

Området med salt grundvatten på ringa djup öster om produktionsbrunnarna, och den lutande vägg av grundvatten med salthalten  $0.3 \text{ kg/m}^3$  (se Figur 12-8) öster om brunnarna, har inte skapats av dagbrotten eller av produktionsbrunnarna. Detta är en naturlig förekomst av salt grundvatten på ringa djup. Enligt vår konceptuella beskrivning har detta saltvatten funnits där i minst 3 000 år, sedan Littorinahavet drog sig tillbaka. Produktionsbrunnarna placerades medvetet väster om detta område, för att undvika det salta grundvattnet.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 12-10 Saltvattensimulering. Referenssituation (tillståndsgiven situation). Lågvattnesituationen (juli).

Den grå ytan i figuren representerar den beräknade salthalten på djupet 45 m. Detta djup är ungefär mediandjupet för brunnar inom det studerade området. Det minsta värdet för den grå ytan, som alltså är den västra kanten på den grå ytan, representerar ett saltvatten med salthalten  $0.3 \text{ kg/m}^3$  (smakgränsen).

Figuren illustrerar att brunnar inom det grå området, borrade till ett djup som är lika med ungefär 45 m, och som pumpas, riskerar att få en noterbar salthalt i brunnsvattnet. Ovan för 45 m är vattnet mindre salt, och nära markytan är det sött. Så brunnen måste pumpas för att få en betydande salthalt. Det bör noteras att innan för det grå området är grundvattnet inte en god sötvattenresurs.

Den bruna linjen indikerar nivån +25 möh som ungefär representerar Littorinahavets högsta nivå inom det studerade området.

## 12.9 Framtida salthalter i de kommunala produktionsbrunnarna

Modellen beräknar ett flödesviktat medelvärde för koncentrationer i vattnet som pumpas ur produktionsbrunnarna, detta värde motsvarar salthalten i ett vattenprov taget i en position där vattnet från de olika brunnarna har blandats.

För referenssituationen och för de olika framtida situationerna, för år 8, år 20 och år 30 med skyddsåtgärder, visas de beräknade salthalterna i Figur 12-11, för det studerade normalåret. Notera att Y-axeln har logaritmisk skala. De simulerade lägsta salthalten i brunnarna är drygt en storleksordning lägre än smakgränsen för alla de studerade framtida situationerna.

Referenssituationen och alla de studerade framtida situationerna producerar de högsta salthalterna i produktionsbrunnarna för lågvattensituationen i slutet på juli.

Orsaken till att salthalterna är som högst i slutet på juli är att vattennivåerna i brunnarna då är som lägst. Salthalten i det vatten som brunnarna producerar är tydligt korrelerat mot vattennivån i brunnarna. Ju lägre vattennivåer i brunnarna ju högre salthalter, eftersom andelen vatten från större djup tenderar att öka när vattennivåerna i brunnarna sjunker och vatten från större djup har ofta en större salthalt.

Orsaken till att de olika framtida situationerna, med olika stora dagbrott, alla producerar ungefär samma högsta salthalt i produktionsbrunnarna under lågvattensituationen (juli) är att vattennivån i brunnarna är ungefär densamma i slutet på juli, för de olika framtida situationerna.

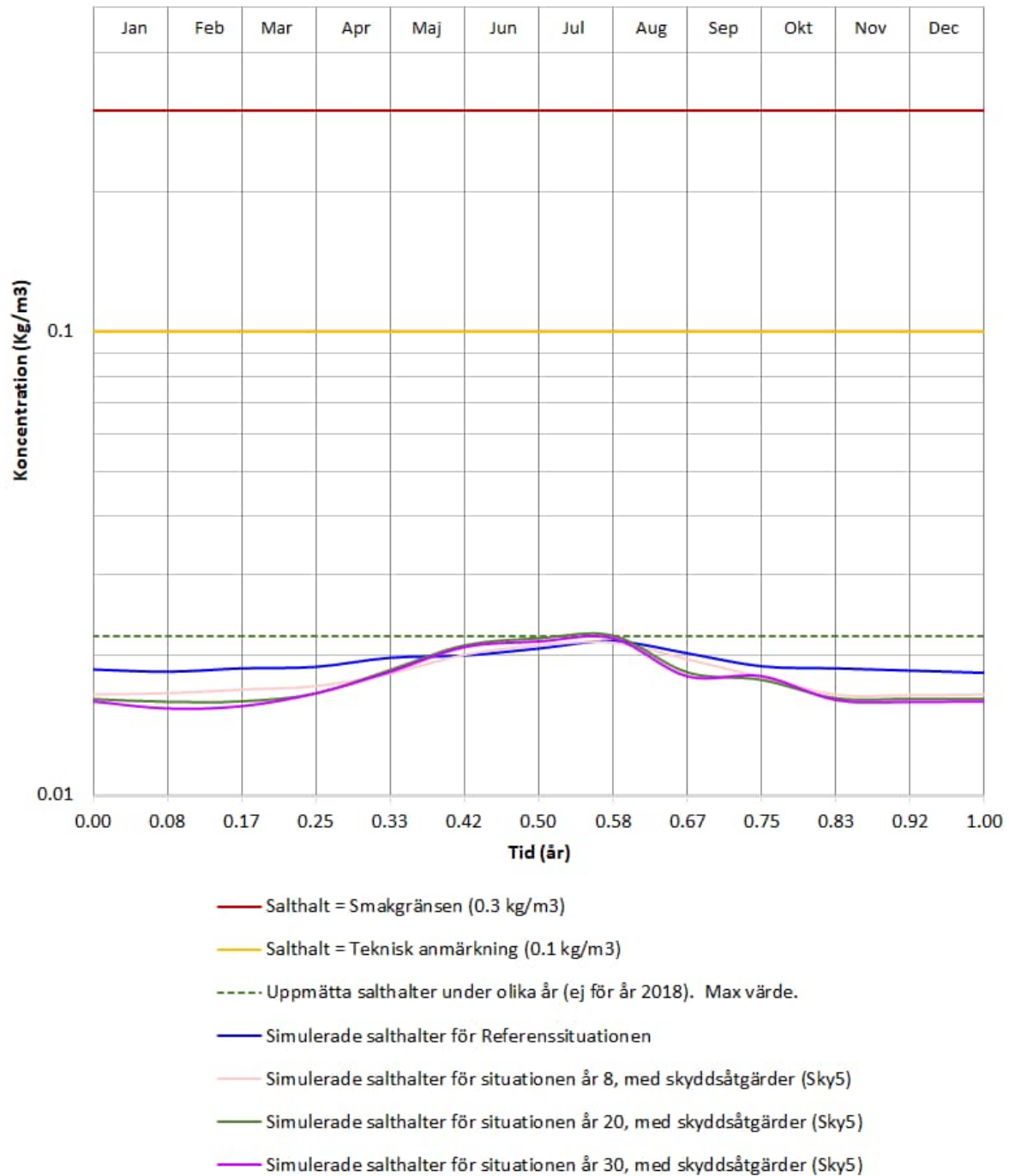
Orsaken till att de olika framtida situationerna alla har ungefär samma vattennivå i brunnarna i slutet på juli är att avsänkningen i brunnarna har begränsats i modellen, som en del av definitionen av de framtida situationerna (vilket har diskuterats i tidigare kapitel). Begränsningen i avsänkning i produktionsbrunnarna ger en något minskad produktion under sommaren, men minskningen i produktion är inte särskilt stor i jämförelse med brunnarnas årsproduktion. Detta diskuteras i tidigare sektioner, se tex resultaten som presenteras i Sektion 7.

För lågvattensituationen i slutet på juli och början på augusti simulerar den kalibrerade modellen en salthalt i produktionsbrunnarna som ligger nära  $0.022 \text{ kg/m}^3$ . Vilket stämmer bra med de uppmätta salthalterna, som representerar lågvattensituationen.

För högvattensituationen under höst och vinter, och för de framtida situationerna (år 8, år 20 och år 30) simulerar modellen en salthalt i produktionsbrunnarna nära  $0.017 \text{ kg/m}^3$ . Vilket är en aning lägre än de beräknade salthalterna för referenssituationen (tillståndsgiven verksamhet), som ligger strax under  $0.019 \text{ kg/m}^3$ . Det skall påpekas att detta är mycket små skillnader i jämförelse med referenssituationen. Det finns flera orsaker till de aningen lägre salthalterna i produktionsbrunnarna under höst och vinter i de framtida situationerna:

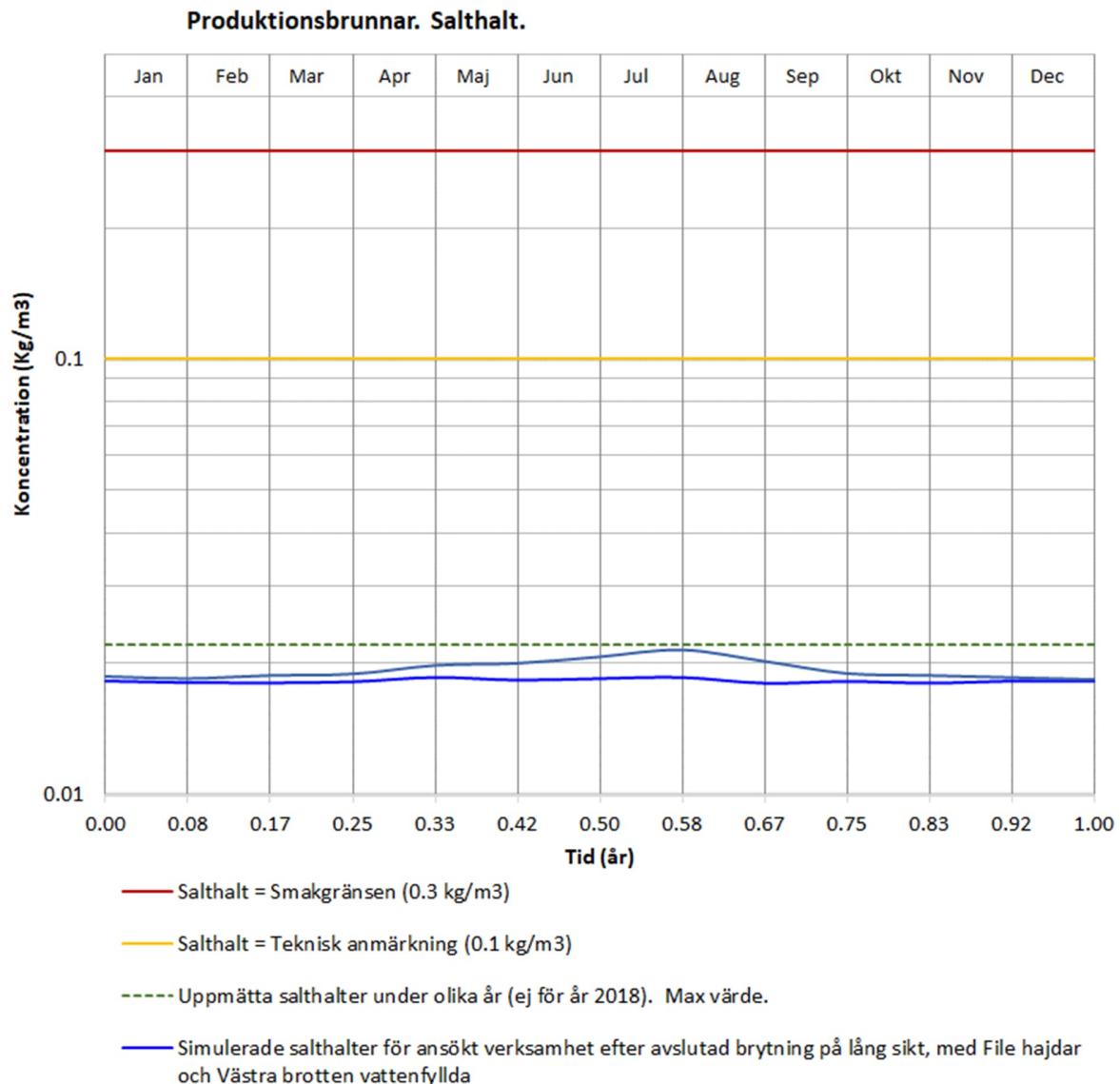
- Skyddsåtgärder, och då främst infiltrationen av sötvatten i infiltrationsbrunnarna, som till stor del strömmar till produktionsbrunnarna, Detta demonstrerades av spårämnestesten.
- Den succesivt höjda vattennivån i Västra brottet.
- Grundvattnets flödesmönster förändras när File hajdar dagbrott görs större. Detta påverkar salthalterna på vatten som strömmar till dagbrotten under högvattensituationen (höst och vinter).

## Produktionsbrunnar. Salthalt.



Figur 12-11 Simulerade och uppmätta salthalter i produktionsbrunnarna för referenssituationen och för de olika framtida situationerna, för år 8, år 20 och år 30 med skyddsåtgärder. Notera att Y-axeln har logaritmisk skala. Salthalten i brunnarna är drygt en storleksordning lägre än smakgränsen. Modellen beräknar ett flödesviktat medelvärde för koncentrationer i vattnet som pumpas ur produktionsbrunnarna, detta värde motsvara salthalten i ett vattenprov taget i en position där vattnet från de olika brunnarna har blandats.

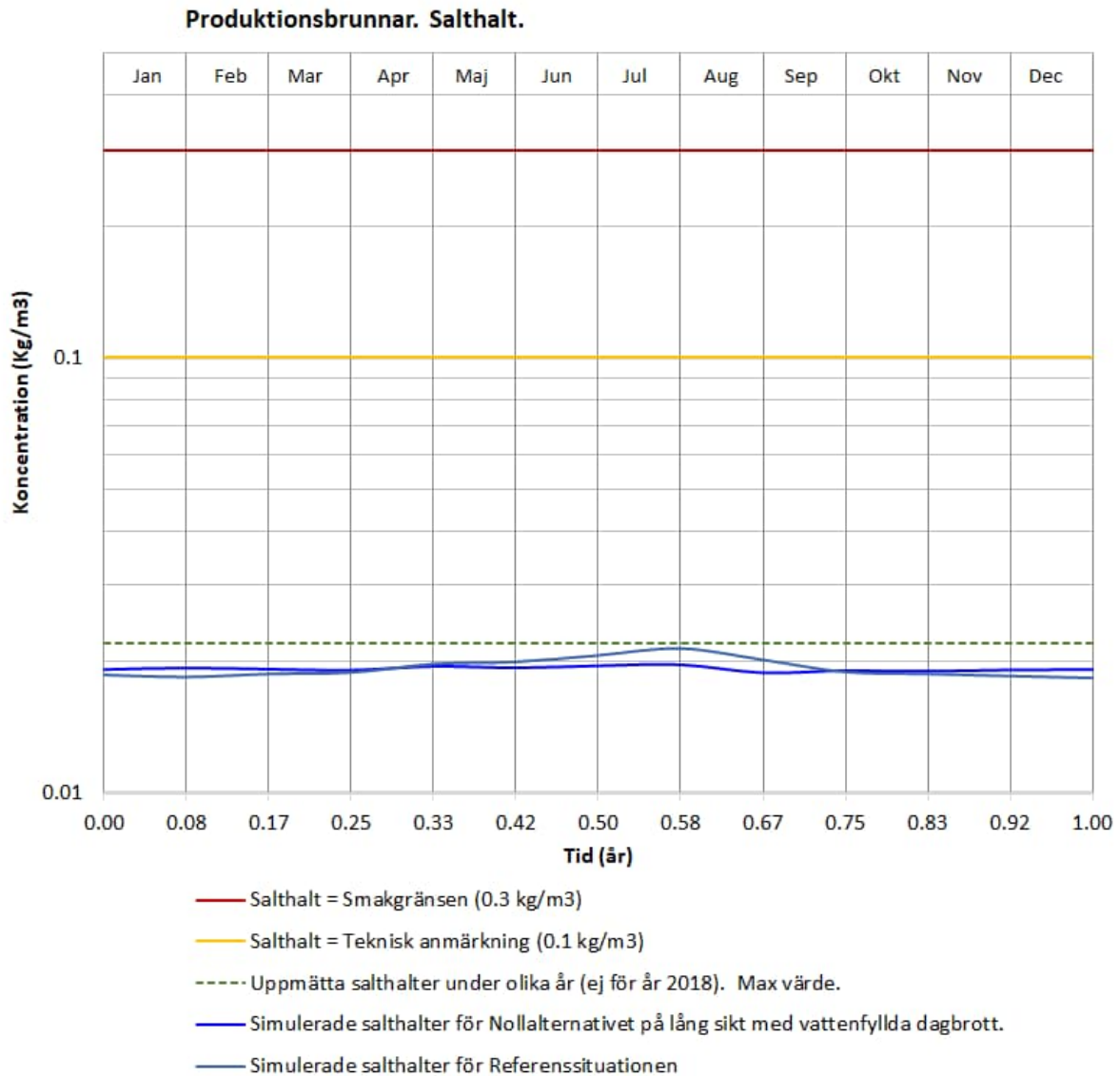
För den framtida situationen efter avslutad brytning, med File hajdar och Västra brotten vattenfyllda, och för Referenssituationen, visas de simulerade salthalterna i Figur 12-12. De simulerade salthalterna för de två studerade situationerna är ungefär desamma för högvattensituationen, men inte för lågvattensituationen. För den framtida situationen efter avslutad brytning, med File hajdar och Västra brotten vattenfyllda, förekommer inga förhöjda salthalter under lågvattensituationen (juli). För den framtida situationen efter avslutad brytning, med File hajdar och Västra brotten vattenfyllda, erhålls de lägsta simulerade salthalterna av alla de studerade framtida situationerna.



Figur 12-12 Simulerade och uppmätta salthalter i produktionsbrunnarna för den framtida situationen efter avslutad brytning, med File hajdar och Västra brotten vattenfyllda, och för Referenssituationen. Notera att Y-axeln har logaritmisk skala. Salthalten i brunnarna är drygt en storleksordning lägre än smakgränsen. Modellen beräknar ett flödesviktat medelvärde för koncentrationer i vattnet som pumpas ur produktionsbrunnarna, detta värde motsvara salthalten i ett vattenprov taget i en position där vattnet från de olika brunnarna har blandats.



För Nollalternativet och för Referenssituationen visas de simulerade salthalterna i Figur 12-13. De simulerade salthalterna för Nollalternativet och för Referenssituationen är ungefär desamma för högvattensituationen men inte för lågvattensituationen. För lågvattensituationen och för Nollalternativet förekommer inga tydligt förhöjda salthalter under lågvattensituationen (juli).



Figur 12-13 Simulerade och uppmätta salthalter i produktionsbrunnarna för Nollalternativet och för Referenssituationen. Notera att Y-axeln har logaritmisk skala. Salthalten i brunnarna är drygt en storleksordning lägre än smakgränsen. Modellen beräknar ett flödesviktat medelvärde för koncentrationer i vattnet som pumpas ur produktionsbrunnarna, detta värde motsvara salthalten i ett vattenprov taget i en position där vattnet från de olika brunnarna har blandats.

## 12.10 Framtida salthalter vid Västra brottet

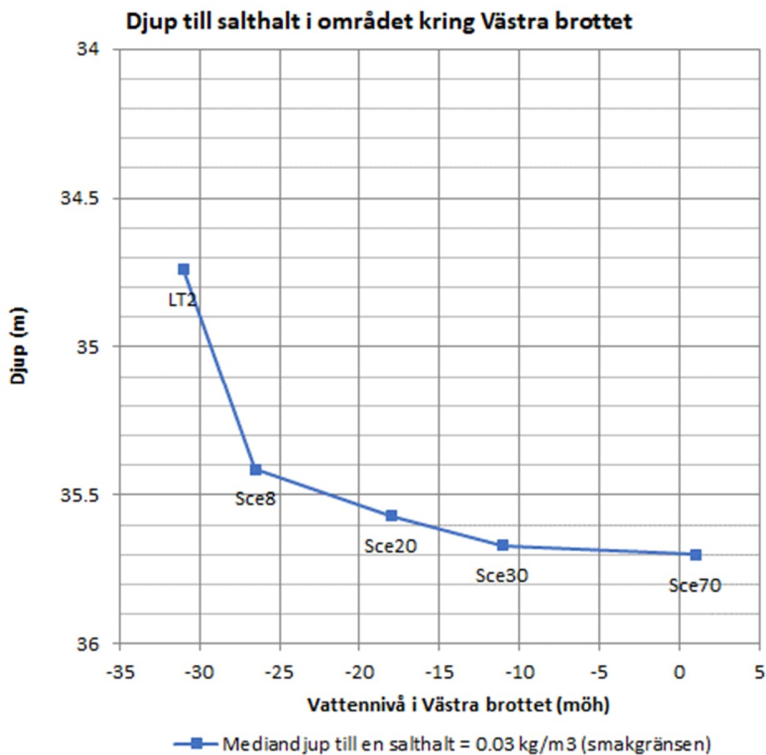
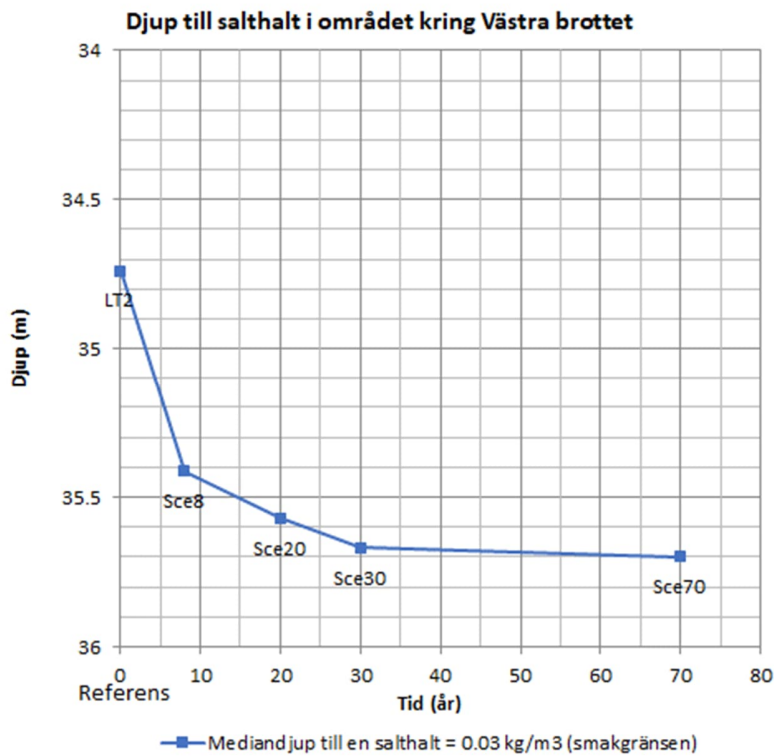
Som tidigare förklarats har vi med hjälp av saltvattenmodellen beräknat djupet till en viss given salthalt för ett område kring Västra brottet. För varje beräkningscell längs med markytan erhålls ett värde på djupet till en viss given koncentration. Fördelningsfunktioner tas sedan fram för dessa värden och från fördelningsfunktionerna kan medianvärden och percentiler beräknas. Området framgår av Figur 12-6, området sträcker sig ca 500 m från Västra brottet. För Referenssituationen (den tillståndsgivna situationen) och för det studerade området beräknas följande värde på mediandjupet, avseende djupet till koncentrationen  $0.3 \text{ kg/m}^3$ . Mediandjupet blir 34.7 m för lågvattensituationen (juli). Detta värde stämmer väl med de uppmätta värdena.

För referenssituationen och för de olika framtida situationerna, för år 8, år 20 och år 30 med skyddsåtgärder, samt år 70, visas i Figur 12-14 hur det beräknade mediandjupet till koncentrationen  $0.3 \text{ kg/m}^3$  varierar med tid (övre figuren) och vattennivå (nedre figuren). Figurerna indikerar att vattenfyllning av Västra brottet leder till att saltvattnet kring dagbrottet pressas nedåt, i jämförelse med referenssituationen. Det finns dock två processer: (i) att det stigande grundvattnet lyfter grundvattnet med låga salthalter på ringa djup, till högre nivåer; vilket ger aningen högre salthalter på ringa djup, och (ii) att de stigande grundvattennivåerna gör att grundvattnet med låga salthalter på ringa djup ersätts med sötvatten. I det längre perspektivet kan vi förvänta oss att den andra processen blir den dominerande.

Det som diskuteras ovan, att vattenfyllning av Västra brottet leder till att saltvattnet kring dagbrottet pressas nedåt, i jämförelse med referenssituationen, denna effekt är inte särskilt stor. Mediandjupet till koncentrationen  $0.3 \text{ kg/m}^3$  ökar med ca 1 m, när Västra brottet vattenfylls. En orsak till den inte alltför stora effekten är att Östra brottet bibehålls som dränerat. Det dränerade Östra brottet är dock inte den viktigaste orsaken till den ringa effekten, den viktigaste orsaken är närheten till havet.

Att vattenfylla Västra brottet kommer inte förändra de historiska naturliga förutsättningarna för grundvattenuttag i området kring Västra och Östra brotten. Höga salthalter i grundvattnet i och omkring Västra och Östra brotten beror huvudsakligen på dagbrottens närhet till havet. Salt grundvatten på några tiotals meters djup har förekommit i det studerade området sedan området vid Slite låg under det salta Littorinahavets vattenyta (ca 3000 år sedan). Risker för saltvatteninträngning i en lokal brunn nära havet kommer att vara betydande även då Västra brottet är vattenfyllt (och även då både Västra och Östra brotten är vattenfyllda). En lokal brunn placerad nära det vattenfyllda Västra brottet, och som huvudsakligen får sitt vatten från det vattenfyllda dagbrottet, kan naturligtvis (teoretiskt sett) producera en större mängd vatten med låg salthalt, men då är det vatten från dagbrotten som når fram till brunnen.

För Nollalternativet (alla dagbrott vattenfyllda) och för situationen efter avslutad verksamhet med File hajdar dagbrott vattenfyllt och Västra brottet vattenfyllt (år 70), kommer saltvattenuppkoningen under dagbrotten (se Figur 12-9) att minska och sjunka tillbaka, men förändringen går långsamt, eftersom de hydrauliska gradienterna under dagbrotten är mycket mindre med vattenfyllda dagbrott, än då dagbrotten var dränerade. När dagbrotten var dränerade förekom stora hydrauliska gradienter riktade mot dagbrotten, när dagbrotten är vattenfyllda reverseras inte dessa gradienter till motsatsen, utan istället blir gradienterna mycket mindre. Vid vattenfyllda dagbrott förekommer både inflöden och utflöden av grundvatten till och från dagbrotten.



Figur 12-14 För referenssituationen och för de olika framtida situationerna, för år 8, år 20 och år 30 med skyddsåtgärder (Sky 5), visar figurerna hur det beräknade mediandjupen till koncentrationen 0.3 kg/m<sup>3</sup> varierar med tid (övre figuren) och vattennivå (nedre figuren). Figuren indikerar att vattenfyllning av Västra brottet leder till att saltvattnet kring dagbrottet pressas nedåt, i jämförelse med referenssituationen. Denna effekt är dock inte särskilt stor. Mediandjupet till koncentrationen 0.3 kg/m<sup>3</sup> ökar med c:a 1 m, när Västra brottet vattenfylls.

## 12.11 Framtida salthalter vid File hajdar dagbrott

Kring File hajdar dagbrott är salthalterna i grundvattnet mycket låga, vilket demonstreras av att salthalterna i de kommunala produktionsbrunnarna är mycket låga för nuvarande situation. En framtida vattenfyllning av File hajdar dagbrott är därför av mindre betydelse för salthalterna i observationsbrunnarna kring dagbrottet. För de kommunala produktionsbrunnarna öster om dagbrottet är vattenfyllning av File hajdar dagbrott däremot av större intresse, eftersom det möjliggör en ökad produktion i brunnarna (vilket diskuteras i tidigare kapitel). Vattenfyllning av File hajdar dagbrott är också av intresse med avseende på salthalterna i produktionsbrunnarna, eftersom det minskar risken för saltvatteninträngning i produktionsbrunnarna om produktionen skulle ökas.

## 13. Sammanfattning och slutsatser

De observerade grundvattennivåerna i bergets spricksystem visar på mycket stora variationer under året. Grundvattennivåerna i tex borrhål BH2001 uppvisar en amplitud som är hela 31 meter. De stora årstidsbundna variationerna i grundvattennivå i bergets spricksystem – som har observerats i ett stort antal borrhål – är en naturlig variation i grundvattennivå; orsakad av nettonederbördens variation under året, bergets hydrogeologiska egenskaper (bla en liten porositet) och områdets topografi. De låga nivåerna under sommaren är också orsakade av den kommunala dricksvattentäkten vid Dyhagen som avsänker grundvattennivåerna, i synnerhet under sommaren. Nivåerna påverkas också av dagbrotten som avleder inströmmande nederbörd och grundvatten.

De stora variationerna i grundvattennivå i berget är något som karakteriserar hela det studerade området vid Slite och File hajdar, förutom i det berg som består av revkalksten.

Undersökningsborrhål som bedöms ligga i revkalksten, och som inte når ned till det underliggande lagrade berget, indikerar att nivåvariationen är betydligt mindre i revkalkstenen.

De observerade grundvattennivåerna i jordlagren visar på betydligt mindre variationer under året. Grundvattennivåerna i tex BH1905J uppvisar en amplitud som är 1 meter, att jämföra med 31 meter i berggrundvattnet vid BH2001. Båda borrhålen är placerade sydväst om File hajdar vid kanten av Hejnum Kallgate Natura 2000-område.

Syftet med denna studie är att utvärdera hur grundvattensituationen i området påverkas av en ansökt utökning av File hajdar dagbrott och en stigande vattennivå i Västra brottet. Dessutom analyseras hur grundvattensituationen påverkas av att också File hajdar dagbrott i framtiden vattenfylls.

Följande huvudscenarier har studerats:

### Kalibrering och referenssituation

- Kalibrering Situationen år 2021 Scen. LT1
- Referenssituationen: Tillståndsgiven situation, utbrutet och dränerat Scen. LT2F

### Framtida situationer ansökt utökning, med och utan skyddsåtgärder, olika alternativ

- Framtida situation år 8. Pågående brytning. Scen. Sc8
- Framtida situation år 20. Pågående brytning. Scen. Sc20
- Framtida situation år 30. Utbrutet enligt ansökan Scen. Sc30

### Framtida situationer ansökt utökning, efter avslutad verksamhet

- Framtida situation ca 10 år efter avslutad verksamhet. Delvis vattenfyllt Scen. Sc70 (10a)
- Framtida situation ca 80 år efter avslutad verksamhet. Vattenfyllt Scen. Sc70 (80a)

### Framtida situationer, Nollalternativet.

- Framtida situation Nollalternativet år 8. Succesivt vattenfyllda dagbrott. Scen. LT2F-Noll8a
- Framtida situation Nollalternativet år 20. Succesivt vattenfyllda dagbrott. Scen. LT2F-Noll20a
- Framtida situation Nollalternativet år 30. Succesivt vattenfyllda dagbrott. Scen. LT2F-Noll30a
- Framtida situation Nollalternativet år 70. Succesivt vattenfyllda dagbrott. Scen. LT2F-Noll70a

Saltvattenmodellen

- Saltvattenmodellen. Tillståndsgiven situation. Utbrudet och dränerat.
- Saltvattenmodellen. Framtida situationer med skyddsåtgärder, inkluderande den ansökta utökning, utbrudet och dränerat.
- Saltvattenmodellen. Framtida situation efter avslutas verksamhet med Filehajdar dagbrott och Västra brottet vattefyllda. Östra brottet dränerat
- Saltvattenmodellen. Nollalternativ. Vattenfyllda dagbrott.

De dränerade dagbrotten fungerar som stora hydrauliska sänkor för grundvattensystemet, dessutom utgör den kommunala grundvattentäkten öster om File hajdar ytterligare en betydande hydraulisk sänka för grundvattnet inom det studerade området. Tillsammans har dessa avledningar av vatten lett till att grundvattennivåerna kring Slite och File hajdar har avsänkts. När File hajdar dagbrott görs större leder detta till ett större vatteninflöde till dagbrotten och att grundvattennivåerna kommer att avsänkas ytterligare kring dagbrotten. Det är den kombinerade effekten av dagbrotten och vattentäkten som orsakar grundvattenavsänkningen.

**Kalibrering**

Kalibreringen har utförts för en situation som motsvarar förhållanden under 2021, Scenario LT1-2021. Det är kalibreringens syfte att reproducera uppmätta data. Kalibreringen inkluderar dessa kalibreringsmål samtidigt och tillsammans:

- Transient inflöde till File hajdar dagbrott.
- Transient inflöde till Västra/Östra dagbrotten.
- Uppmätta volymer som pumpats från produktionsbrunnarna.
- Observerade transienta grundvattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna.
- Transienta grundvattennivåer i ett flertal utvalda borrhål.
- Salthalt i produktionsbrunnarna och i området kring Västra brottet.

Kalibreringen är tidsberoende (transient) och redovisar det studerade systemets variation under ett medelår/normalår. Syftet med att utföra en transient kalibrering, som är komplicerad och tidsödande, är att upprätta en modell som kan simulera hur de framtida grundvattennivåerna kommer att variera under ett teoretiskt medelår/normalår. Detta möjliggör en analys av både högvattensituationen (vinter) och lågvattensituationen (sommar).

Om man ändrar på någon betydelsefull egenskap i den kalibrerade modellen så kommer modellens egenskaper att förändras och modellen kommer ej längre att vara kalibrerad, de simulerade flödena till dagbrotten kommer ej längre att stämma med uppmätta flöden, vattennivåerna i observationsbrunnar och i produktionsbrunnarna kommer ej längre att stämma med uppmätta nivåer, osv.

Sensitivitetsanalys av kalibrering

Kalibreringen diskuteras också i en sensitivitetsanalys. Sensitivitetsanalysen visar att kalibreringen får en god bestämmande kraft när alla de olika kalibreringsmålen utvärderas tillsammans och samtidigt. Det är viktigt att modellen tidsberoende kalibreras mot både vattennivå och vattenflöde samtidigt. Detta är en svårare och mer bestämmande kalibrering än vattennivåer i borrhål, som bara avser vattennivå och inte grundvattenflöde; också mer bestämmande än inflöde av grundvatten till dagbrotten, som bara avser flöde och inte vattennivå.

Validering av modellens kalibrering och spårämnestest i BH2212

Under våren 2023, innan spårämnestesten utfördes i BH2212, användes den etablerade grundvattenmodellen för att simulera en spårämnestest i BH2212 och för att prediktera genombrottstider (ankomsttider) för spårämnet i de kommunala produktionsbrunnarna. I modellen simulerades flödesvägar från BH2212 till produktionsbrunnarna. Modellens effektiva porositet definierades i enlighet med de värden som normalt används för att representera ett sprickigt berg med mycket låg porositet. Modellen predikterad att ett första genombrott i produktionsbrunnarna kunde förväntas inom tidsperioden en till fyra veckor efter injicering av spårämnet i BH2212. Provtagningarna i produktionsbrunnarna (verkliga mätningar) visade ett första mindre genombrott av spårämnet efter 9 dagar, och ett tydligare genombrott efter 14 dagar, och ett genombrott i nästan alla produktionsbrunnarna (P2, P3a, P4, P5 och P6) efter 23 dagar. Modellens prediktion av det första genombrottstiderna visade sig alltså stämma mycket väl. Modellens *blinda* prediktion av de första genombrottstiderna är en validering av den etablerade grundvattenmodellen hydrogeologiska egenskaper. En väl genomförd validering mot det storskaliga spårämnestestet tvärs över File hajdar från BH2212 till produktionsbrunnarna är ett bra bevis på att modellen väl representerar det studerade systemet och att modellen väl kan prediktera framtida förhållanden.

Validering av modellens kalibrering och spårämnestest i SGU2017

Spårämnestestet i SGU2017 är ett sätt att validera vår konceptuella modell av revkalkstenen, som ett berg utan större kontinuerliga vattenförande lager. Ett berg som inte effektivt leder grundvatten, även om mindre vattenförande strukturer kan förekomma. Provtagningen har bekräftat den konceptuella modellen, eftersom inget spårämne har hittats i de omgivande observationsborrhålen. Simuleringen av spårämnestestet i SGU2017 i grundvattenmodellen är ett sätt att validera att den etablerade modellen simulerar revkalkstenen och dess omgivning i enlighet med den konceptuella modellen. Simuleringen av spårämnen från SGU2017 visar att så är fallet, eftersom modellen visar korta flödesvägar då transporttiden begränsas till ett halvt år. Även då transporttiden begränsas till ett år är de allra flesta av de simulerade flödesvägarna korta, 90% av flödesvägarna är kortare än 70m, även om det då också kan förekomma ett mycket ringa antal långa flödesvägar, med längder över 3 km. Det kan tyckas egendomligt att utföra ett experiment (ett spårämnestest) där det förväntade resultatet är att vi inte upptäcker spårämnet inom en kort tidsperiod. Ett negativt resultat, alltså att vi inte upptäcker något spårämne inom en rimlig tidsperiod, kan också vara av stort intresse, särskilt i detta fall, eftersom ett negativt resultat i detta fall bekräftar vår konceptuella modell.

**Studerade skyddsåtgärder**

Syftet med skyddsåtgärderna att inte kompensera för naturliga variationer i tex temperatur, nederbörd och nettonederbörd. Den inverkan som torra år och blöta år har på grundvattensystemet skall inte förändras eller förhindras av skyddsåtgärderna. Det är heller inte syftet med skyddsåtgärderna att förhindra klimatförändringarna från att påverka grundvattensystemet. Syftet med skyddsåtgärderna är att till stor del kompensera för den påverkan som utvidgningen av dagbrottet på File hajdar kan ha på det omgivande grundvattensystemet, särskilt med avseende på Natura 2000-områdena söder om dagbrottet.

För att minimera det utökade File hajdar dagbrotts påverkan på omgivande grundvattenförhållandena, särskilt med avseende på grundvattenförhållandena i berget under

Natura 2000-områdena söder om dagbrottet, kan olika skyddsåtgärder påföras grundvattensystemet kring dagbrottet. Följande skyddsåtgärder har studerats i denna studie:

- Injektering av berget runt File hajdar dagbrotts södra och västra delar.
- Infiltration av vatten i borrhål i berget söder och sydväst om File hajdar dagbrott.
- Höjning av vattennivån i Västra brottet.

Den bästa effekten av skyddsåtgärder erhålls då olika åtgärder kombineras, tex injektering av berget och infiltration i berget bortanför injekteringen.

### **Vatteninflödet till dagbrotten**

Inflödet till dagbrotten består av nettonederbörd och grundvatteninflöde. Det framtida inflödet till File hajdar dagbrott ökar när dagbrottet görs större.

Framtida situation år 8. Resultat i jämförelse med den tillståndsgivna situationen:

Utan skyddsåtgärder ökar inflödet i File hajdar dagbrott med ca 60%

Med skyddsåtgärder ökar inflödet i File hajdar dagbrott med ca 50%

Framtida situation år 20. Resultat i jämförelse med den tillståndsgivna situationen:

Utan skyddsåtgärder ökar inflödet i File hajdar dagbrott med ca 90%

Med skyddsåtgärder ökar inflödet i File hajdar dagbrott med ca 80%

Framtida situation år 30. Resultat i jämförelse med den tillståndsgivna situationen:

Utan skyddsåtgärder ökar inflödet i File hajdar dagbrott med ca 130%

Med skyddsåtgärder ökar inflödet i File hajdar dagbrott med ca 115%

Den succesiva utvecklingen av inflödet till File hajdar dagbrott diskuteras i Sektion 8, och särskilt i Sektion 8.1. Den succesiva utvecklingen av inflödet och vattennivåerna i de olika dagbrotten visas också i Sektion 8. Tabeller med beräknade flöden visas i Appendix G Sektion 22.

### **Grundvattennivåer och påverkansområden**

#### Jämförelse mellan framtida situationer med ansökt utökning och den tillståndsgivna situationen

Dagbrottens indirekta påverkan på de omgivande grundvattennivåerna beräknas genom att grundvattennivåerna för olika situationer subtraheras från varandra och skillnaderna analyseras. Storleken på påverkansområdet varierar med storleken på ett gränsvärde som definierar påverkansområdets gräns. Ett gränsvärde lika med 1.0 m är huvudalternativet i denna studie.

De framtida grundvattennivåerna kring File hajdar dagbrott kommer i framtiden att avsänkas då File hajdar dagbrott görs större och då dagbrottet fortsätter att vara dränerat. De framtida grundvattennivåerna kring Västra brottet kommer i framtiden att höjas då vattennivån i Västra brottet i framtiden kommer att stiga och så småningom helt vattenfylla Västra brottet.

För de olika scenarierna har det indirekta påverkansområdet för grundvattennivåer i berg beräknats för fyra olika situationer: Vårsituationen (april). Sommarsituationen (juli) som också är lågvattensituationen. Höstsituationen (september). Och Vintersituationen (december) som också är högvattensituationen. Jämförelse har gjorts mellan den tillståndsgivna situationen och de olika



framtida situationerna. Dessa resultat visas i ett stort antal figurer i olika sektioner i denna rapport.

Den succesiva utvecklingen av påverkansområdena diskuteras i Sektion 8, och visas i ett antal figurer i Sektion 8.8. Påverkansområdenas utbredning söder och sydväst om File hajdar dagbrott begränsas tydligt av de studerade skyddsåtgärderna. Den framtida påverkan på berggrundvattennivåerna vid Natura 2000-områden sydväst och söder om File hajdar dagbrott kan i framtiden göras mycket liten genom de studerade skyddsåtgärderna, särskilt under växtperioden

#### Jämförelse mellan framtida situationer med vattenfyllda dagbrott och den tillståndsgivna situationen

Det kommer att ta många år att vattenfylla det framtida File hajdar dagbrott (utbrutet enligt ansökan) av följande orsaker:

- Det framtida dagbrottet är betydligt större och djupare än det nuvarande dagbrottet.
- Dagbrottet ligger högt upp i landskapet, ytvattentillströmning till dagbrottet är mycket liten.
- Grundvatteninflödet är relativt litet när vattennivån är hög i dagbrottet.
- Avdunstningen från dagbrottet blir stor när det blir en fri vattenyta i dagbrottet.

Grundvattennivåerna kommer att höjas då dagbroten vattenfylls. Indirekt påverkansområde för grundvattennivåer i berg har beräknats för olika situationer med delvis eller helt vattenfyllda dagbrott. I Nollalternativet kommer dagbroten att vattenfyllas. För situationen efter avslutad verksamhet kommer File hajdar dagbrott och Västra brottet att vattenfyllas. Påverkansområden för dessa situationer visas i ett stort antal figurer i olika sektioner i denna rapport.

Beräknade tider för vattenfyllnad av dagbroten visas i ett antal figurer:

Tid för vattenfyllnad av Västra brottet visas i Figur 8-2.

Tid för vattenfyllnad av File hajdar dagbrott efter avslutad verksamhet visas i Figur 9-1.

För nollalternativet och för File hajdar dagbrott visas den beräknade tiden för vattenfyllnad av dagbrottet i Figur 10-1.

#### Påverkansområde för grävda brunnar

Som nämnts ovan avser de beräknade påverkansområdena en representativ grundvattennivå i en bergborrad brunn, påverkansområdet med avseende på en brunn grävd i jordlagren kan förväntas vara betydligt mindre. Det är troligt att dagbroten bara påverkar grävda brunnar (i jordlagren) om dessa brunnar är placerade i direkt anslutning till dagbroten. Som en konservativ uppskattning kan man säga att det beräknade påverkansområdet för bergborrade brunnar också kan tillämpas för grävda brunnar.

#### Diskussion av framtida situation med vattenfyllda dagbrott

När dagbroten vattenfylls blir förändringarna i grundvattennivå stora, särskilt för lågvattensituationen. När dagbroten är helt eller delvis vattenfyllda kommer dagbroten inte att avsänka grundvattennivåerna på det sätt som de gör för den nuvarande situationen. För File hajdar dagbrott blir förändringen under lågvattensituationen stor, eftersom det dränerade File hajdar dagbrott till stor del ligger ovanför grundvattenytan under sommaren. För situationen med en vattenyta i File hajdar dagbrott, kommer det att finnas vatten i dagbrott under hela sommaren, vatten som kan infiltrera till grundvattensystemet. Då kommer inte grundvattennivåerna i

omgivningarna att sjunka på sommaren (lågvattnesituationen), på det vis som de gör under nuvarande förhållanden (då File hajdar dagbrott är dränerat).

Naturlig infiltration av vatten från en vattensamling (sjö) i File hajdar dagbrott till omgivningarna förutsätter att det finns en god hydraulisk kontakt mellan sjön i File hajdar dagbrott och det omgivande grundvattensystemet, det är ett rimligt antagande baserat på hur förhållandena ser ut idag. I ett längre perspektiv, många år in i framtiden, är det troligt att sediment kommer att ansamlas i sjön, vilket på lång sikt kommer att förminska den hydrauliska kontakten mellan sjön och det omgivande grundvattensystemet. Därmed kommer också infiltrationen av vatten från sjön till omgivningarna att minska med tiden.

Grundvattensituationerna som erhålls då dagbrotten vattenfylls är situationer som aldrig tidigare har förekommit. Det är alltså inte en återgång till en tidigare situation eller en jämförelse med förhållandena innan Heidelberg Materials verksamhet i Slite startade i början av 1900-talet. Dagbrotten har omvandlats till sjöar av en betydande storlek och volym. Dessa sjöar har aldrig tidigare existerat.

Modellen predikterar att då dagbrotten vattenfylls kommer grundvattennivåerna att höjas tydligt inom ett mycket stort område, även nivåerna på större djup kommer att påverkas tydligt. Särskilt lågvattensituationen påverkas av att dagbrotten omvandlas till sjöar. Regionens vattentäkt påverkas kraftigt på ett positivt vis med tydligt förhöjda vattennivåer.

### **Den kommunala vattentäkten öster om File hajdar (de kommunala produktionsbrunnarna)**

I modellen pumpas produktionsbrunnarna med 220 000 m<sup>3</sup>/år, enligt befintlig vattendom. Utökningen av File hajdar dagbrott kommer att påverka produktionsbrunnarna. Det är för lågvattensituationen under sommaren som produktionen kommer att påverkas mest. I simuleringarna har vi definierat en miniminivå (medel) för produktionsbrunnarna lika med +0.5 m. I simuleringarna kommer vattennivån i brunnarna att inte kunna sjunka lägre än så. Istället kommer produktionen att minska. Simuleringarna visar att för situationen år 30 med skyddsåtgärder, kommer produktionen under sommaren att minska med ca 7 000 m<sup>3</sup>. Vilket är mycket litet i jämförelse med den totala årsproduktionen som är lika med 220 000 m<sup>3</sup>. Skillnaden mot situationen utan skyddsåtgärder är liten. En framtida vattenfyllning av File hajdar dagbrott är gynnsam för produktionsbrunnarna, som då kommer att kunna öka produktionen.

### **Grundvattenflöden i berget i de lokala avrinningsområdena nära File hajdar**

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottens utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Men hjälp av den upprättade modellen har vi beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal lokala avrinningsområden runt dagbrotten. Dessa områdens utbredning är anpassade till topografin och ytvattensystemet eftersom områdena är lokala avrinningsområden. Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet beräknats längs med en yta på djupet ca 7.5 m. Det finns både uppåtriktade och nedåtriktade grundvattenflöden inom varje område. Ett nettoflöde kan beräknas som skillnaden mellan de uppåtriktade och nedåtriktade grundvattenflöden. Det ovan diskuterade nettoflödet är i områdena kring dagbrotten nedåtriktade. Metodiken diskuteras i Sektion 19.

Nettoflödet har beräknats för den tillståndsgivna situationen (för varje studerat område), nettoflödet har också beräknats för de olika framtida situationerna (för varje studerat område),

sedan jämförs de beräknade flödena för de framtida situationerna med de beräknade flödena för den tillståndsgivna situationen. Skillnaden är förändring som orsakas av File hajdar dagbrotts utvidgning eller av att dagbrotten vattenfylls. När File hajdar dagbrott utvidgas och görs djupare blir det en förlust av ytligt berggrundvatten, och när dagbrotten vattenfylls blir det en vinst av ytligt berggrundvatten, för de lokala avrinningsområdena.

De beräknade flödena visas i tabeller i Sektion 20. Den successiva utvecklingen av den beräknade förändringarna i nettoflöden diskuteras i Sektion 8.6 och 8.7. De beräknade förändringarna i nettoflöden är små i jämförelse med nettonederbörden och ytvattenflödena. Förlusten eller vinsten av grundvatten i de lokala avrinningsområdena äger huvudsakligen rum under höst och vinter, eftersom det är då som grundvattenflödena är stora. (Under vinterhalvåret produceras mer än 90% av nettonederbörden, se Tabell 2-1.)

Med avseende på ytligt berggrundvatten plottas i Figur 8-6 förändring i nettoflöde i det lokala avrinningsområdet No.3 (som inkluderar Natura 2000-områdena söder om File hajdar dagbrott) mot tid, för de olika studerade situationerna (år 0, år 8, år 20, år 30) för situationer utan skyddsåtgärder. Av figuren framgår det att mycket av förändringen (förlusten) av ytligt berggrundvatten i det studerade området sker före år 8. Efter år 8 så förändras förlusten av ytligt berggrundvatten under växtperioden mycket litet. Förändringen (förlusten) sker när den djupa Pall 2 etableras i File hajdar dagbrott. Med avseende på ytligt berggrundvatten plottas i Figur 8-7 förändring i nettoflöde i det lokala avrinningsområdet No.3 mot tid, för de olika studerade situationerna (år 0, år 8, år 20, år 30) för situationer med skyddsåtgärder. Av figuren framgår det att skyddsåtgärderna fungerar väl, det blir ingen förlust av ytligt berggrundvatten i det studerade området under växtperioden. Istället blir det en liten vinst av ytligt berggrundvatten under växtperioden. För vinterperioden blir det en vinst vid år 8, men en förlust vid år 20 och år 30.

Med avseende på det ytliga berggrundvattnet visas nedan förändringen av nettoflöde (för hela året) i det lokala avrinningsområdet No.3 (som inkluderar Natura 2000-områdena söder om File hajdar dagbrott) i tabellform för olika beräkningsfall i m<sup>3</sup> per år och i procent av nettonederbörden över det studerade avrinningsområdet (222 mm/år). Skyddsåtgärderna är de som tidigare diskuterats (injektering och infiltration i tre brunnar). Vad tabellen främst visar är att i jämförelse med nettonederbörden är de beräknade förändringarna av nettoflöde för det ytliga berggrundvattnet i det studerade avrinningsområdet mycket små, även utan skyddsåtgärder

Tabell 13-1 Förändring av nettoflöde av ytligt berggrundvatten i det lokala avrinningsområdet No.3 för olika situationer. Förändringen i nettoflöde avser hela året, och inte bara växtsäsongen.

Scenario	Förändring	
	m <sup>3</sup> /år	% av nettonederbörden
Framtida situation år 8, inga skyddsåtgärder:	-108 000	-2.2
Framtida situation år 20, inga skyddsåtgärder:	-128 000	-2.6
Framtida situation år 30, inga skyddsåtgärder:	-135 000	-2.8
Framtida situation år 8, med skyddsåtgärder (Sky5):	+11 000	+0.22
Framtida situation år 20, med skyddsåtgärder (Sky5):	-3 500	-0.07
Framtida situation år 30, med skyddsåtgärder (Sky5):	-6 500	-0.13
Framtida situation 10 år efter avslutad verksamhet, utan skyddsåtgärder:	+1 000	+0.02
Framtida situation 80 år efter avslutad verksamhet, utan skyddsåtgärder:	+98 000	+2.0

## Tingstäde träsk

Genom botten på Tingstäde träsk sker ett mindre nettoutflöde av grundvatten (inflöde-utflöde), flödets storlek varierar under året, med störst utflöde under sommaren. För referenssituationen (den tillståndsgivna situationen) beräknas detta nettoutflöde till nära 5 000 m<sup>3</sup>/år. Tingstäde träsk läcker alltså en ringa mängd grundvatten (nettoflöde) till omgivningarna. För de studerade situationerna, år 8, år 20 och år 30, med och utan skyddsåtgärder (injektering och tre infiltrationsbrunnar) beräknas detta nettoutflöde öka med mycket små volymer. I jämförelse med den tillståndsgivna situationen och för situationen utan skyddsåtgärder blir ökningen mindre än 2 000 m<sup>3</sup>/år, med skyddsåtgärder blir förändringen ännu mindre (även positiv vid år 8). Förändringen är försumbar i jämförelse med andra flöden i sjöns vattenbalans, tex uppskattas tillrinningen till sjön vara större än två miljoner m<sup>3</sup>/år. För Tingstäde träsk och för situationerna med och utan skyddsåtgärder visas den beräknade succesiva utvecklingen av grundvattnets nettoflöde i Figur 8-4.

## Salthalter i grundvattnet kring Västra och Östra brotten vid vattenfyllning av dagbrotten

När Västra och Östra brotten är dränerade inströmmar grundvatten till dagbrotten, en del av detta grundvatten kommer från djupare delar av det omgivande berget och innehåller relativt höga koncentrationer av salt (klorid). Höga salthalter i grundvattnet i och omkring Västra och Östra brotten beror huvudsakligen på dagbrottens närhet till havet. Salt grundvatten på några tiotals meters djup har förekommit i det studerade området sedan området vid Slite låg under det salta Littorinahavets vattenyta (ca 3000 år sedan). Brytningen av kalksten påbörjades i slutet av 1960-talet i Västra brottet och runt 1983 i File hajdar dagbrott. Höga salthalter i brunnar i Slite uppmättes redan på 50-talet, alltså före Västra brottets tillkomst. Exempelvis uppgick medelhalten klorid vid årliga provtagningar under 50-talet i den kommunala vattentäkten Klint 1 (belägen strax norr om Spillingsmagasinet, vid Västra brottet) till över 0.4 kg/m<sup>3</sup>, vilket är högre än smakgränsen. Tydliga parametrar som påverkar salthalterna i en kustnära brunn är brunnens djup och uttaget i brunnen – djupa brunnar har höga salthalter, och stora uttag ger höga salthalter. Dessa förhållanden gäller kustnära brunnar oavsett dagbrottens påverkan.

För närvarande är File hajdar dagbrott och Östra brottet helt dränerade, i Västra brottet är pall 1 helt dränerat, men i pall 2 ansamlas vatten och där finns en fri vattenyta som sakta stiger. När Västra brottet vattenfylls kommer grundvatteninflödet till dagbrottet att minska tydligt. Grundvatten från stort djup kommer inte längre att på samma sätt strömma mot Västra brottet. Därmed kommer grundvatten från stort djup, som innehåller salt, inte längre att strömma mot Västra brottet – detta är en positiv effekt av att vattenfylla Västra brottet med avseende på salthalter i det omgivande grundvattnet. Så småningom kommer även grundvattennivåerna i ett större område kring Västra brottet att stiga betydligt. Detta betyder att mängden sött grundvatten i dagbrottens omgivning kommer att öka. Detta är positivt med avseende på vattenuttag i brunnar i omgivningarna, bland annat därför att det gör det möjligt att göra uttag i brunnarna med mindre risk för att ett djupare salthaltigt grundvatten kan tränga fram till brunnarna. Dessa förändringar kommer dock att inträffa långsamt, inga tydliga förändringar kan förväntas inträffa på många år, bland annat eftersom det bedöms ta ca 40 år att vattenfylla Västra brottet.

En uppskattning av förväntat djup till salthalten 0.3 kg/m<sup>3</sup> (smakgränsen), baserat på uppmätta salthalter, är för området kring Västra brottet ungefär 35 m (se Sektion 12.4). Simuleringar av framtida situationer kring västra brottet visar att djupet till ett saltvatten med en koncentration

lika med smakgränsen ( $0.3 \text{ kg/m}^3$ ) kommer att öka (se Sektion 12.10). Det finns dock två processer: (i) att det stigande grundvattnet lyfter grundvattnet med låga salthalter på ringa djup, till högre nivåer; vilket ger aningen högre salthalter på ringa djup, och (ii) att de stigande grundvattennivåerna gör att grundvattnet med låga salthalter på djupa ringa ersätts med sötvatten. I det längre perspektivet kan vi förvänta oss att den andra processen blir den dominerande.

Det som diskuteras ovan, att vattenfyllning av Västra brottet leder till att saltvattnet kring dagbrottet pressas nedåt, i jämförelse med referenssituationen, denna effekt är inte särskilt stor. Mediandjupet till koncentrationen  $0.3 \text{ kg/m}^3$  ökar med c:a 1 m, när Västra brottet vattenfylls. En orsak till den inte alltför stora effekten är att Östra brottet bibehålls som dränerat. Det dränerade Östra brottet är dock inte den viktigaste orsaken till den ringa effekten, den viktigaste orsaken är närheten till havet.

Att vattenfylla Västra brottet kommer inte förändra de historiska naturliga förutsättningarna för grundvattenuttag i området kring dagbrotten. Höga salthalter i grundvattnet i och omkring Västra och Östra brotten beror huvudsakligen på dagbrottens närhet till havet. Salt grundvatten på några tiotals meters djup har förekommit i det studerade området sedan området vid Slite låg under det salta Littorinahavets vattenyta (ca 3000 år sedan). Risken för saltvatteninträngning i en lokal brunn nära havet kommer att vara betydande även då Västra brottet är vattenfyllt. En lokal brunn placerad nära det vattenfyllda Västra brottet, och som huvudsakligen får sitt vatten från det vattenfyllda dagbrottet, kan naturligtvis (teoretiskt sett) producera en större mängd vatten med låg salthalt, men då är det vatten från dagbrotten som når fram till brunnen.

För Nollalternativet (alla dagbrott vattenfyllda) och för situationen efter avslutad verksamhet med File hajdar dagbrott vattenfyllt och Västra brottet vattenfyllt (år 70), kommer saltvattenuppkoningen under dagbrotten att minska och sjunka tillbaka, men förändringen går långsamt, eftersom de hydrauliska gradienterna under dagbrotten är mycket mindre med vattenfyllda dagbrott, än då dagbrotten var dränerade. När dagbrotten var dränerade förekom stora hydrauliska gradienter riktade mot dagbrotten, när dagbrotten är vattenfyllda reverseras inte dessa gradienter till motsatsen, utan istället blir gradienterna mycket mindre. Vid vattenfyllda dagbrott förekommer både inflöden och utflöden av grundvatten till och från dagbrotten.

### **Framtida salthalter vid File hajdar dagbrott**

Kring File hajdar dagbrott är salthalterna i grundvattnet mycket låga, vilket demonstreras av att salthalterna i de kommunala produktionsbrunnarna är mycket låga för nuvarande situation. En framtida vattenfyllning av File hajdar dagbrott är därför av mindre betydelse för salthalterna i observationsbrunnarna kring dagbrottet. För de kommunala produktionsbrunnarna öster om dagbrottet är vattenfyllning av File hajdar dagbrott av större intresse, eftersom det möjliggör en ökad produktion i brunnarna. Vattenfyllning av File hajdar dagbrott är också av intresse med avseende på salthalterna i produktionsbrunnarna, eftersom det minskar risken för saltvatteninträngning i produktionsbrunnarna när om produktionen skulle ökas.

### **Salthalter i den kommunala vattentäkten öster om File hajdar**

Simuleringar av salthalter i produktionsbrunnarna, se Sektion 12.9 visar att den ansökta utökningen av dagbrotten, med skyddsåtgärder, inte påverkar salthalterna i de kommunala produktionsbrunnarna.

**Påverkan på grundvattenflödena i vattenförekomsten Mellersta Gotland - Stenkyrka**

En mycket liten del av vattenförekomsten Stenkyrka påverkas av utvidgningen av File hajdar dagbrott. Påverkan på grundvattenflödena har beräknats och är en förlust för grundvattenförekomsten Stenkyrka,

För År 8:

Förlusten för vattenförekomsten Stenkyrka beräknas till nära 100 000 m<sup>3</sup>/år (för ett normalår). Notera att det är förändringen i flöde, inte det totala flödet. Förändringen i flöde kan jämföras med nettonederbörden över det påverkade området inom vattenförekomsten Stenkyrka, ökningen i utflöde motsvarar 8% av nettonederbörden inom det påverkade området (inom vattenförekomsten Stenkyrka).

För År 30:

Förlusten för vattenförekomsten Stenkyrka beräknas till nära 220 000 m<sup>3</sup>/år (för ett normalår). Notera att det är förändringen i flöde, inte det totala flödet. Förändringen i flöde kan jämföras med nettonederbörden över det påverkade området inom vattenförekomsten Stenkyrka, ökningen i utflöde motsvarar 11% av nettonederbörden inom det påverkade området (inom vattenförekomsten Stenkyrka).

**Påverkan på grundvattenflödena i vattenförekomsten Mellersta Gotland - Kappelshamn**

En mycket liten del av vattenförekomsten Kappelshamn påverkas av utvidgningen av File hajdar dagbrott. Påverkan på grundvattenflödena har beräknats och är en förlust för grundvattenförekomsten Kappelshamn.

För År 8:

Förlusten för vattenförekomsten Kappelshamn beräknas till nära 510 000 m<sup>3</sup>/år (för ett normalår). Notera att det är förändringen i flöde, inte det totala flödet. Förändringen i flöde kan jämföras med nettonederbörden över det påverkade området inom vattenförekomsten Kappelshamn, ökningen i utflöde motsvarar 4% av nettonederbörden inom det påverkade området (inom vattenförekomsten Kappelshamn).

För År 30:

Förlusten för vattenförekomsten Kappelshamn beräknas till nära 770 000 m<sup>3</sup>/år (för ett normalår). Notera att det är förändringen i flöde, inte det totala flödet. Förändringen i flöde kan jämföras med nettonederbörden över det påverkade området inom vattenförekomsten Kappelshamn, ökningen i utflöde motsvarar 15% av nettonederbörden inom det påverkade området (inom vattenförekomsten Kappelshamn).

**Vattenförekomsten Mellersta Gotland - Roma – Vattenavledning år 8**

För den tillståndsgivna situationen har den totala vattenavledningen (nettonederbörd och grundvatteninflöde) från File hajdar dagbrott, Västra och Östra brotten beräknats till totalt 1.8 miljoner m<sup>3</sup>/år.

Total vattenavledning år 8

Den totala vattenavledningen är lika med volymen vatten som avleds från de olika dagbrotten, minus infiltrerade vattenvolymer. Det ingår i skyddsåtgärderna att bilda grundvatten genom att infiltrera stora mängder vatten i infiltrationsbrunnar.

För situationen år 8 har den framtida totala vattenavledningen beräknats till 2.05 miljoner m<sup>3</sup>/år. Denna volym utgör ungefär 21% av nettonederbörden över det sammanlagda största påverkansområdet för år 8.

Notera att för situationen år 8 pumpas fortfarande pall 2 i västra brottet och grundvatteninflödet till Västra brottet är därför inkluderat i den totala vattenavledningen. När pumpningen av Pall 2 avslutas (år 9) räknas inte längre inflödet till Västra brottet som en vattenavledning.

#### Förändring i vattenavledning år 8

För år 8 leder utökningen av dagbrottet på File hajdar till en ökad vattenavledning från detta dagbrott i jämförelse med den tillståndsgivna situationen. En liten förändring av djupet på Östra brottet påverkar också vattenavledningen, samt en liten förändring i vattennivå i Pall 2. Grundvatteninfiltrationen är också en förändring i förhållande till den tillståndsgivna situationen.

Förändringen i vattenavledning (i jämförelse med den tillståndsgivna situationen) har beräknats till ökning med 240 000 m<sup>3</sup>/år. Denna volym utgör ungefär 2% av nettonederbörden över det sammanlagda största påverkansområdet.

#### **Vattenförekomsten Mellersta Gotland - Roma – Grundvattenflöden år 8**

Utökningen av dagbrotten leder till ett förändrat grundvattenflöde från grundvattenförekomsten Norra Gotland - Stenkyrka till grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma, och även ett förändrat grundvattenflöde från grundvattenförekomsten Norra Gotland - Kappelshamn till grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma. Dessa flöden har beräknats, resultaten visar att de förändrade flödena blir en vinst för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma.

#### Total grundvattenavledning år 8

För situationen år 8 har den framtida totala grundvattenavledningen från grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma beräknats till 1.04 miljoner m<sup>3</sup>/år. Summan blir alltså en förlust för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma. Om man tar med grundvatteninflödena från de omgivande grundvattenförekomsterna, som vinster, blir den slutliga förändringen i grundvattenflöden för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma, en förlust på nära 920 000 m<sup>3</sup>/år. Denna volym utgör ungefär 10% av nettonederbörden över det sammanlagda största påverkansområdet. Notera att för situationen år 8 pumpas fortfarande pall 2 i västra brottet och grundvatteninflödet till Västra brottet är därför inkluderat i den totala grundvattenavledningen. När pumpningen av Pall 2 avslutas (år 9) räknas inte längre inflödet till Västra brottet som en vattenavledning.

#### Förändring i grundvattenavledning år 8

Förändringen i grundvattenflöden (i jämförelse med den tillståndsgivna situationen) för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma blir en förlust för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma på nära 100 000 m<sup>3</sup>/år, om man exkluderar flöden från andra

vattenförekomster. Om man dessutom tar med grundvatteninflödena från de omgivande grundvattenförekomsterna, blir den slutliga förändringen i grundvattenflöden för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma, en vinst för grundvattenförekomsten på ca 20 000 m<sup>3</sup>/år.

### **Vattenförekomsten Mellersta Gotland - Roma – Vattenavledning år 30**

#### Total vattenavledning år 30

Den totala vattenavledningen från någon täkt är lika med volymen vatten som avleds från de olika dagbrotten, minus infiltrerade vattenvolymer. Det ingår i skyddsåtgärderna att bilda grundvatten genom att infiltrera stora mängder vatten i infiltrationsbrunnar.

Det vatten som pumpas från Östra brottet leds till Västra brottet där det bidrar till att höja grundvattennivåerna i vattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma. Så länge vattenfyllnaden av Västra brottet pågår anses det rimligt att anse att detta flöde inte förändrar vattenbalansen för Mellersta Gotland – Roma.

Heidelberg ansöker om vattenuttag för processändamål till fabriken detta inkluderas som en uttagsvolym motsvarande maximalt tillåtet uttag om 300 000 m<sup>3</sup>/år. Sammantaget utgör vattnet från Östra brottet minus uttaget från fabriken ett tillskott om ca 50 000 m<sup>3</sup>/år till Västra brottet.

För situationen år 30 har den framtida totala vattenavledningen beräknats till 1.65 miljoner m<sup>3</sup>/år. Denna volym utgör ungefär 11% av nettonederbörden över det sammanlagda största påverkansområdet.

Notera att för situationen år 30 dräneras inte längre Västra brottet och inflödet till Västra brottet är därför inte inkluderat i den totala vattenavledningen.

#### Förändring i vattenavledning år 30

Förändringen i vattenavledning (i jämförelse med den tillståndsgivna situationen) har beräknats till en minskning av vattenavledningen på ca 240 000 m<sup>3</sup>/år. Denna volym utgör ungefär 2% av nettonederbörden över det sammanlagda största påverkansområdet.

Förändringen i grundvatteninflöden från de omgivande grundvattenförekomsterna (som har beräknats i de tidigare sektionerna), är inflöden till grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma och därför vinster när den sammanlagda förändringen i vattenavledning beräknas. Om dessa flöden inkluderas i beräkningen av förändring i vattenavledning blir den slutliga förändringen i vattenavledning för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma, en vinst för grundvattenförekomsten på nära 570 000 m<sup>3</sup>/år.

Efter år 8 tillförs den framtida situationen en betydande mängd vatten, eftersom vattenbortledningen från Västra brottet upphör i framtiden. Därför blir det i framtiden ingen större förändring eller förlust av grundvatten i vattenförekomsten Mellersta Gotland Roma, eftersom ökningen i grundvatteninflöde till File hajdar dagbrott balanseras av att inflödet av grundvatten till Västra brottet inte längre avleds utan samlas i dagbrottet. Täkten förväntas inte hinna bli fullt inom de ansökta perioden.



## Vattenförekomsten Mellersta Gotland - Roma – Grundvattenflöden år 30

Utökningen av dagbrotten leder till ett förändrat grundvattenflöde från grundvattenförekomsten Norra Gotland - Stenkyrka till grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma, och även ett förändrat grundvattenflöde från grundvattenförekomsten Norra Gotland - Kappelshamn till grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma. I de tidigare sektionerna har dessa flöden beräknats, resultaten visar att de förändrade flödena blir en vinst för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma.

### Total grundvattenavledning år 30

För situationen år 30 har den framtida totala grundvattenavledningen från grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma beräknats till ca 820 000 m<sup>3</sup>/år. Om man tar med grundvatteninflödena från de omgivande grundvattenförekomsterna, som vinster, blir den slutliga avledningen av grundvatten från grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma, ca 480 000 m<sup>3</sup>/år. Denna volym utgör ungefär 3% av nettonederbörden över det sammanlagda största påverkansområdet. (Notera att för situationen år 30 dräneras inte längre Västra brottet och grundvatteninflödet till Västra brottet är därför ej inkluderat i den totala grundvattenavledningen.)

### Förändring i grundvattenavledning år 30

Förändringen i grundvattenflöden (i jämförelse med den tillståndsgivna situationen) för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma blir en vinst för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma på nära 450 000 m<sup>3</sup>/år. Exkluderas inflödet från övriga vattenförekomster blir det fortfarande en vinst gentemot utgångsläget men endast med ca 110 000 m<sup>3</sup>/år

Det blir alltså ingen förlust för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland – Roma eftersom ökningen i grundvatteninflöde till File hajdar dagbrott och uttaget för fabriken balanseras av att inflödet av grundvatten till Västra brottet inte längre avleds utan samlas i dagbrottet (en vinst), vilket i sin tur kommer att leda till förhöjda grundvattennivåer kring Västra brottet. Dessutom ingår det i skyddsåtgärderna att bilda grundvatten genom att infiltrera stora mängder vatten i infiltrationsbrunnar, vilket också kommer höja grundvattennivåerna i jämförelse med en situation utan infiltration.

### **Nollalternativet**

I Nollalternativet vattenfylls dagbrotten. Dagbrotten dräneras inte längre. Hela grundvattensituationen förändras kring dagbrotten. I nollalternativet erhålls ingen kvantitativ förlust för grundvattenförekomsten Mellersta Gotland - Roma. Istället erhålls en kvantitativ vinst som motsvarar hela vattenbortledningen från dagbrotten (grundvatten plus nettonederbörd) som för den tillståndsgivna situationen är nära 1.8 miljoner m<sup>3</sup>/år. Dock bör man notera att nettonederbörden förändras när dagbrotten vattenfylls, nettonederbörden minskar betydligt i jämförelse med situationen då dagbrotten är dränerade (eftersom avdunstningen är mycket stor från en fri vattenyta i dagbrotten på sommaren).

**Efter det att verksamheten har avslutats.**

#### GRUNDVATTENMODELL SLITE

I det ansökta alternativet kommer dagbrotten också att vattenfyllas, efter det att verksamheten har avslutats. Samma kvantitativa vinst erhålls då som för Nollalternativet, men efter det att verksamheten har avslutats.

## 14. Referenser

Bear and Verruit (1987) "Modelling of groundwater flow and pollution". ISBN1-55608-014-X

Grip och Rodhe (1985) "Vattnets väg från regn till bäck." ISBN 91 73826707

Golder (1991). Konsultrapport till Cementa.

Golder (2017). Konsultrapport till Cementa.

Holmén, Johan (2020-2023) Geon Users Guide. Version 2023.

Mualem (1976) "A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media." *Water Resour. Res.*, 12:513-522, 1976

Munthe et al. (1933), Kartblad. Sveriges Geologiska Undersökning. Ser. C. No 331.

Pollock, D.W. (1989): Documentation of computer programs to compute and display pathlines. 1989 and 1994, Geological Survey Open-File Report 94-464, 6.

Rodhe, Allan (1987) "The origin of streamwater traced by oxygen-18". Ph.D. Thesis. Uppsala : s.n., 1987. Uppsala university. Department of physical geography. Hydrological division. Report series A 41

SGI, 1991, Termiska egenskaper i jord och berg, Jan Sundberg

SGU(2017) SGU: Rapporter och meddelanden 140 SkyTEM-undersökningar på Gotland, del 2 Peter Dahlqvist, Carl-Axel Triumf, Lena Persson, Mehrdad Bastani, Mikael Erlström & Kristian Schonning

Van Genuchten (1980) "A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils." *Soil Science Society of America Journal*. 44 (5): 892–898.

Viak 1974 och 1981. Konsultrapport. Provpumpningsrapporter.

08FS 2016:15 Riktvärden

## 15. Simulation ID

Nedan anges de filnamn som definierar de olika beräkningsfallen. Det finns en systematik i namngivningen av de olika studerade situationerna och filerna som definierar dessa situationer, och resultaten från dessa situationer.

Alla de primära indatafilerna som definierar de studerade situationerna börjar med:

M2023SweRef

Och har extension

.dat

I filnamnen ingår ett stort antal kombinationer av bokstäver och siffror med olika betydelse. Exempel:

M2023SweRef--M80--LT1.dat

M2023SweRef--M81--LT2F.dat

M2023SweRef--M81--LT2F-Noll-VOp1-FH26m-70a.dat

M2023SweRef--M81--Sc8R4K-VbG1Vam265.dat

M2023SweRef--M81--Sc8G1R4K-VbG1Vam265-Sky2.dat

M2023SweRef--M81--Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5.dat

M2023SweRef--M81--Sc70G1R4K-VbG1Vap1-FH10-wp1.dat

M2023 = Modell 2023

Sweref= Koordinatsystem Sweref99TM, nivåer I höjdsystem RH2000

M81= Kalibrerad modell version M81 realisering 1.

LT1 = Kalibrerad modell som representerar situationen år 2021

LT2 och LT2F = Referenssituation. Nuvarande tillstånd utbrutet och dränerat.

LT2F-Noll = Nollalternativet.

Sc8 = Framtida situation år 8

Sc20 = Framtida situation år 20

Sc30 = Framtida situation år 30

Sc70 = Framtida situation efter avslutad verksamhet

G1 = Injektering (grouting) vid File hajdar dagbrotts västra vägg, med linje 1 och metod 1.

R4 = Vattenmagasin inkluderade (reservoir) med storlek 400 000 m<sup>3</sup>

K = Krossen i File hajdar dagbrott inkluderad

VbG1 = Injektering (grouting) vid Västra brottets västra vägg, med metod 1.

Vap1 = Västra brottets vattennivå är +1 möh (Östra brottet är dränerat),

Vam8= Västra brottets vattennivå: -8 möh, -11 möh (Östra brottet är dränerat)

Vam11 = Västra brottets vattennivå: -11 möh (Östra brottet är dränerat), etc.

Vom8 = Västra och Östra brotten vattenfyllda till -8 möh

VOp1 = Västra och Östra brotten vattenfyllda till +1 möh, etc

## GRUNDVATTENMODELL SLITE

FH75 = File hajdar dagbrott, vattennivå är +7.5 möh

FH10 = File hajdar dagbrott, vattennivå är +10 möh

FH26 = File hajdar dagbrott, vattennivå är +26 möh

Wp1 = Kommunens brunnar pumpar 220 000 m<sup>3</sup>/år (enligt nuvarande vattendom).

Wp1 är standard alternativ. Det betyder att om denna text (Wp1) inte är med i filnamnet så pumpar kommunens brunnar ändå 220 000 m<sup>3</sup>/a.

### Skyddsåtgärder

Sky2 = Skyddsåtgärder. Injektering och infiltration i BH2212, nära 40 000 m<sup>3</sup>/år

Sky5 = Skyddsåtgärder. Injektering och infiltration i tre brunnar, totalt nära 100 000 m<sup>3</sup>/år

### Saltvattensimuleringar

Saltvattensimuleringarna identifieras av texten – Salt21, som läggs sist i filnamnet, exempel:

[M2023SweRef--M81--Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5-Salt21.dat](#)

## 16. APPENDIX A: Sensitivitetsanalys av modellens kalibrering

### 16.1 Syfte

Vad som är av störst betydelse för den etablerade modellen är den grundläggande hydrogeologiska beskrivningen av grundvattensystemet på File hajdar och des omgivning, tex, geometri, typ av bergart, lagerföljder, sprickzoner, samt systemets dynamiska beteende som det har observerats i borrhål etc (detta kallas ofta för en konceptuell modell). Den övergripande hydrogeologiska beskrivningen är inte en del av sensitivitetsanalysen. Syftet med studien som presenteras nedan är att utföra en begränsad sensitivitetsanalys av den etablerade modellens kalibrering med avseende på den viktigaste parametern för modellens kalibrering, nämligen bergets genomsläpplighet. Det är denna parameter som har störst betydelse för modellens beteende. Den upprättade modellen är kalibrerad, det betyder att modellen förmår att reproducera ett antal olika observationer av det studerade systemets beteende. Detta gör att osäkerheten i de viktiga parametervärdena blir betydligt mindre än om parametervärden inte baserades på en kalibrering.

### 16.2 Den kalibrerade modellen

Den upprättade modellen är kalibrerad. Det går att spekulera kring alternativa beskrivningar av det studerade hydrogeologiska systemet, men den etablerade och kalibrerade modellen är den beskrivning som bedöms vara mest trolig. Det är inte så att modellen kan kalibreras för vilken hydrogeologisk beskrivning som helst, eller för vilka parametervärden som helst. Endast beskrivningar som ligger mycket nära den etablerade modellen kan kalibreras mot uppmätta data. Om vi utgår från den kalibrerade modellen, så är det endast för mindre förändringar av de betydelsefulla parametrarna som det är möjligt att erhålla en kalibrerad modell, genom att olika betydelsefulla egenskaper noggrant balanseras mot varandra. Detta gör den etablerade modellen trovärdig.

Kalibreringen har utförts för en situation som motsvarar förhållanden under 2021, Scenario LT1. Modellen är kalibrerad mot uppmätta data enligt nedan. Det är kalibreringens syfte att reproducera dessa uppmätta data. Kalibreringen inkluderar dessa kalibreringsmål samtidigt och tillsammans:

- Transient inflöde till File hajdar-dagbrott.
- Transient inflöde till Västra/östra brotten.
- Uppmätta volymer som pumpats från produktionsbrunnarna
- Observerade transienta grundvattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna.
- Transienta grundvattennivåer i ett flertal utvalda borrhål

Om man ändrar på någon betydelsefull egenskap i den kalibrerade modellen så kommer modellens egenskaper att förändras och modellen kommer ej längre att vara kalibrerad, de

simulerade flödena till dagbrotten kommer ej längre att stämma med uppmätta flöden, vattennivåerna i observationsbrunnar och i produktionsbrunnarna kommer ej längre att stämma med uppmätta nivåer, osv.

En sensitivitetsanalys av hur betydelsefulla parametrar påverkar vattennivåer i observationsbrunnar och produktionsbrunnar, samt grundvatteninflöden till dagbrotten är en intressant analys, men det är viktigt att komma ihåg att när viktiga parametervärden förändras så erhålls en modell som inte är kalibrerad.

Den studerade modellen är en stor och komplex tredimensionell modell som både inkluderar grundvattenflöden och ytvattenflöden. Modellen är dessutom kalibrerad för transienta (tidsberoende) förhållanden där grundvattennivåerna varierar med mycket stor amplitud under ett år. Detta gör att de resultat som produceras av modellen (tex grundvatteninflöden till dagbrotten) varierar med modellens egenskaper (tex genomsläpplighet) via icke linjära förhållande. Vilket i sin tur gör både kalibreringen och sensitivitetsanalysen till komplicerade och intressanta processer.

### 16.3 Sensitivitet med avseende på bergets genomsläpplighet

En sensitivitetsanalys har utförts som visar hur vattennivåer i observationsbrunnar och produktionsbrunnarna förändras, och hur inflöden till dagbrotten förändras, då genomsläppligheten för berget varierar.

Genomsläppligheten (K-värdena) i modellen varierar från lager till lager, med vattenförande lager och tätare berg däremellan, dessutom är genomsläppligheten definierad som heterogen, dvs K-värdena varierar från beräkningscell till beräkningscell, detta diskuteras mer i detalj i Kapitel 4.11. De vattenförande lagrens genomsläpplighet efter kalibrering (korrigering) framgår av fördelningsfunktionerna som visas i Figur 4-12. De icke vattenförande lagrens genomsläpplighet efter kalibrering (korrigering) framgår av fördelningsfunktionerna som visas i Figur 4-13.

I sensitivitetsanalysen har bergets genomsläpplighet varierats. Genomsläppligheten för de vattenförande lagren och för berget mellan dessa lager har förändrats genom att alla de heterogena K-värdena i de studerade lagren multipliceras med en K-faktor, tex 10.0 (eller 0.1). Genomsläppligheten på stort djup har inte förändrats.

I sensitivitetsanalysen är alltså bergets genomsläpplighet definierad som en K-faktor. Med detta menas att olika simuleringar med olika K-värden anges i relation till K-värdet för den kalibrerade modellen. Den kalibrerade modellen får då det relativa värdet 1.0, och en simulering (sensitivitetfall) med K-värden som är dubbelt så stora som i den kalibrerade modellen får det relativa värdet 2.0, osv.

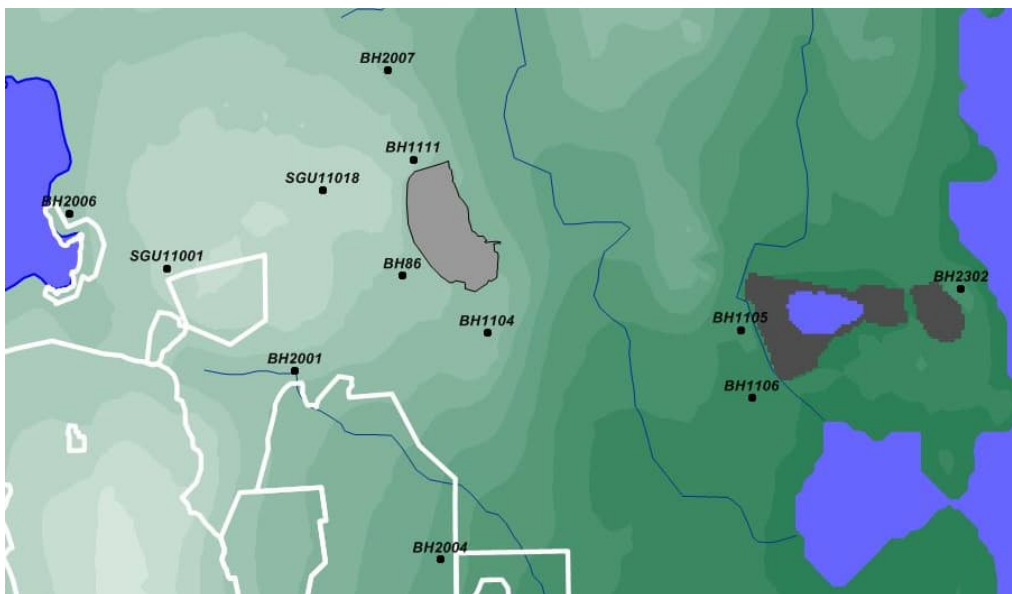
Simuleringarna utfördes med en modell som representerar situationen år 2021 (Scenario LT1-2021). Simuleringarna utfördes för transienta förhållanden, där nettonederbördens variation under ett år representerar ett normalår. Nettonederbörden förändrades inte för de olika studerade fallen, däremot förändras grundvattenbildningen och det vertikala grundvattenflödet i modellen, eftersom dessa egenskaper är storheter som modellen beräknar, utifrån bland annat bergets genomsläpplighet.

Modellens särskilda magasinsegenskaper (tex magasinskoefficient) förändrades inte under sensitivitetsanalysen.

### 16.3.1 Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och vattennivåerna i observationsbrunnarna

Modellen har kalibrerats mot vattennivåerna i ett antal observationsbrunnar runt dagbrotten, se Figur 16-1, med avseende på lågvattensituationen och amplituden på den årliga variationen i vattennivå. Vattennivåerna i borrhålen varierar inte bara under året utan också från plats till plats. Låga nivåer (mindre än noll under sommaren) nära Västra brottet, till höga nivåer uppe på File hajdar.

För varje borrhål jämförs simulerad nivå (slutet på juli) mot uppmätt nivå i slutet på sommaren. Skillnaden kallas residual. Syftet med kalibreringen är att för varje borrhål minimera residualerna.



Figur 16-1 Borrhål som inkluderats i kalibreringen

Medelvärden för de olika residualerna i borrhålen kallas för modellens residual. För den kalibrerade modellen är medelvärdet för residualerna lika med -0.3 m. Hur modellens residual förändras med bergets genomsläpplighet visas i Figur 16-2. Punkten i mitten av figuren (A) representerar den kalibrerade modellen.

Y-axeln representerar medelvärdet för residualerna (linjär skala), X-axeln representerar bergets genomsläpplighet via en faktor (logaritmisk skala). Om tex faktorn är lika med 10 har bergets genomsläpplighet ökat 10 gånger. Eftersom resultaten presenteras i relation till den kalibrerade modellen så är K-faktorn för den kalibrerade modellen lika med 1.0



Figuren visar ett samband i lin-log-skala som är icke linjärt. Sambandet som visas i Figur 16-2/figur 16-1 är inte ett komplext samband med flera nollställen utan ett relativt simpelt samband.

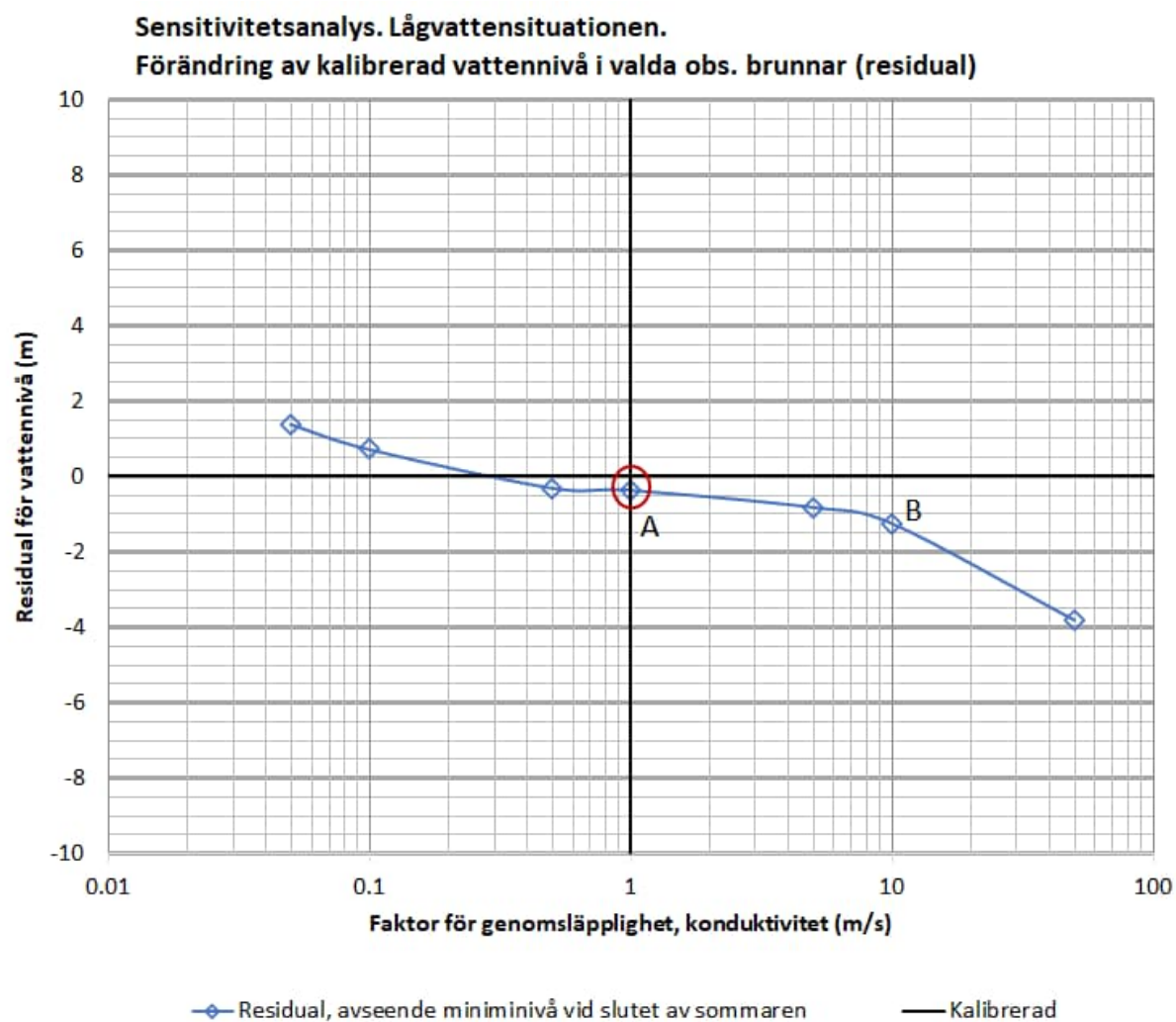
Olika borrhål svarar olika på en förändring av K-värdena. Vid en ökning av K-värden kan vissa borrhål svara med att grundvattennivåerna stiger, medan andra borrhål svarar med att grundvattennivåerna sjunker, beroende på var och hur borrhålen är placerade, och motsatta svar kan erhållas då K-värdena istället minskas. Detta gör att modellens residual och förändringen i modellens residual beror på vilka borrhål som inkluderas i analysen. Detta blir särskilt tydligt eftersom den årliga amplituden i vattennivå i borrhålen är mycket stor, och den studerade situationen är lågvattenssituationen under det studerade normalåret med stora variationer i nettonederbörd och vattennivåer.

Av Figur 16-2 framgår det att när genomsläppligheten ökar, tenderar vattennivåerna att sjunka. Detta indikeras av att värdet på modellens residual minskar (värden mindre än noll). Om residualen förändras från att ha varit positiv till att bli negativ sjunker vattennivåerna i observationsbrunnarna. Om genomsläppligheten ökar med en faktor lika med 10 minskar residualen med nära 0.9 m. Vilket motsvarar att medelvärdet för vattennivåerna i de studerade (valda) observationsbrunnarna minskar med nära 0.9 m.

Av Figur 16-2 framgår det att när genomsläppligheten minskar, då ökar värdet på residualen. När residualen ökar i värde, då stiger vattennivåerna i observationsbrunnarna. Om genomsläppligheten minskar med en faktor lika med 0.1 ökar värdet på residualen med nära 0.6 m. Vilket motsvarar att medelvärdet för vattennivåerna i de studerade (valda) observationsbrunnarna stiger med nära 0.6 m.

Förändringarna i modellens residual då K-värdena förändrades med faktorerna 10 och 0.1 är ganska liten, orsaken till detta förklarades ovan, olika borrhål svarar olika på en förändring av K-värdena. Men, om förändringen av K-värdena är tillräckligt stor då tenderar alla borrhål att svara på ett likartat vis. Därför blir förändringen i residual tydligare då K-värdena förändras med faktorerna 50 och 0.05

Analysen visar att kalibrering via bergets K-värden har en bestämmande kraft på vattennivån i observationsbrunnarna, särskilt i ljuset av att de studerade borrhålen är utspridda över ett stort område, och demonstrerar en stor rumslig variation i vattennivå, och dessutom en stor dynamisk (tidsberoende) variation i vattennivå.



Figur 16-2 Sensitivitetsanalys av vattennivån i observationsbrunnar. Förändring av modellens residual då bergets genomsläpplighet varierar ( $K$ -faktor). Bokstaven A markerar modellens kalibrering och modellens residual vid kalibrering, Bokstaven B markerar modellens residual då bergets  $K$ -värden har multiplicerats med faktorn 10.

### 16.3.2 Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och vattennivåerna i produktionsbrunnarna

Modellen inkluderar de sju kommunala produktionsbrunnarna öster om File hajdar. I alla simuleringar är produktionsbrunnarna inkluderade med en total produktion som är lika med 220 000 m<sup>3</sup>/år. Vattennivåerna i de enskilda brunnarna varierar under året. I denna rapport när vi redovisar och diskuterar vattennivån i de kommunala produktionsbrunnarna så är det medelnivån i brunnarna som presenteras.

Brunnarna skär igenom flera av de vattenförande lagren. Därför definieras brunnarna i flera olika lager i modellen. Grundvattennivån (potentialen) i en brunn definieras så att den är densamma i alla lager som genomskärs av brunnen. Randvillkoret för brunnen är en specificerad grundvattennivå (potential). Brunnens produktion (uttaget i brunnen) är också specificerat i modellen. Under modellsimuleringen så justerar en algoritm i modellen (automatiskt) vattennivån i varje brunn så att uttaget i brunnarna stämmer med uttaget (produktionen). Algoritmen justerar vattennivåerna i varje brunn individuellt, för varje tidsteg i den transienta simuleringen.

Med avseende på produktionsbrunnarna så kalibreras både vattennivå och vattenflöde samtidigt för brunnarna. Detta är en svårare och mer bestämmande kalibrering än vattennivåer i borrhål, som bara avser vattennivå och inte grundvattenflöde; också mer bestämmande än inflöde av grundvatten till dagbrotten, som bara avser flöde och inte vattennivå.

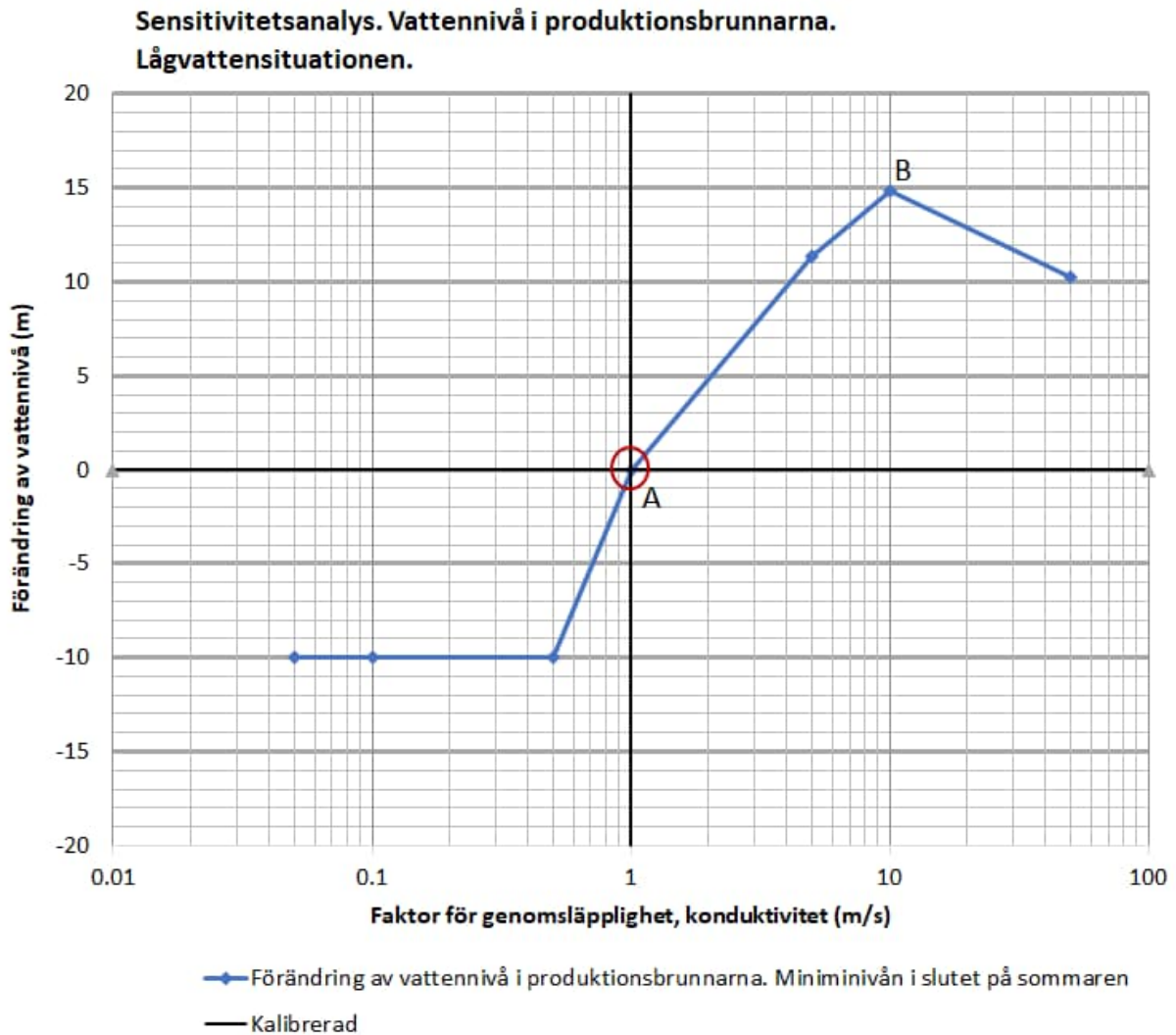
Lågvattensituationen representeras i modellen av vattennivåerna i slutet på juli. Hur dessa miniminivåer i produktionsbrunnarna (medelvärde) varierar med genomsläppligheten i berget visas i Figur 16-3. Figuren visar i en lin-log-skala förändring av vattennivån i brunnarna för lågvattensituationen då bergets genomsläpplighet varierar (K-faktor). Figuren visar ett icke linjärt samband.

Punkten i mitten av figuren (A) representerar den kalibrerade modellen. Eftersom resultaten presenteras i relation till den kalibrerade modellen så är K-faktorn för den kalibrerade modellen lika med 1.0 och förändring i vattennivå lika med noll.

Av figuren framgår det att när genomsläppligheten ökar, då stiger vattennivåerna i produktionsbrunnarna (för lågvattensituationen) så länge genomsläppligheten inte ökas med mer än en faktor ca 10. Om genomsläppligheten ökas med en faktor lika med ca 10 stiger vattennivån med nära 15 m. Om ökningen i genomsläpplighet blir större än ca 10 då börjar nivåerna sjunka i produktionsbrunnarna. Detta beror på att förutsättningarna för produktionen förändras kraftigt när bergets genomsläpplighet blir stor och att alla grundvattennivåer sjunker då K-faktorn blir större än ca 10.

Av figuren framgår det att när genomsläppligheten minskar, då sjunker vattennivåerna i produktionsbrunnarna (för lågvattensituationen) mycket tydligt. Om genomsläppligheten minskas med en faktor lika med 0.5 då sjunker vattennivån med 10 m. Detta är också den minsta tillåtna vattennivån i produktionsbrunnarna i dessa sensitivitetsanalyser. Om K-faktorn görs ännu mindre förändras därför inte vattennivån i brunnarna för lågvattensituationen, istället minskar produktionen. Om genomsläppligheten minskar mycket, då går det inte att producera 220 000 m<sup>3</sup>/år i produktionsbrunnarna. Särskilt under sommaren kommer då vattennivåerna att sjunka dramatiskt i produktionsbrunnarna.

Analysen visar att kalibrering via bergets K-värden har en god bestämmande kraft på kombinationen av rätt produktion i brunnarna, och samtidigt rätt vattennivå under lågvattensperioden (sommaren). Det studerade sambandet som visas i Figur 16-3 är inte ett komplext samband med flera nollställen utan ett relativt simpelt samband vilket underlättar modellens kalibrering, och ger god bestämmande kraft till kalibreringen.



Figur 16-3 Sensitivitetsanalys av vattennivån i produktionsbrunnarna. Figuren visar förändring av vattennivån i brunnarna för lågvattensituationen då bergets genomsläpplighet varierar (K-faktor). Bokstaven A markerar modellens kalibrering, Bokstaven B markerar modellens resultat då bergets K-värden har multiplicerats med faktorn 10.

### 16.3.3 Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och grundvatteninflöde till File hajdar dagbrott

Hur inflödet till File hajdar dagbrott förändras då bergets genomsläpplighet varierar (K-faktor) visas i Figur 16-4 och Figur 16-5. Figuren avser det totala årliga inflödet av grundvatten till File hajdar dagbrott för ett normalår beräknat med de under året varierande grundvattennivåerna.

Figur 16-4 och Figur 16-5 visar i lin-log-skala och log-log skala ett komplext icke linjärt samband. Förändringen i grundvatteninflöden till dagbrottet varierar med bergets genomsläpplighet i ett icke linjärt förhållande, som följer en andragsgradsfunktion, med två nollställena (A och B). Nollställena representerar situationer då inflödet till dagbrottet är lika med det kalibrerade inflödet (uppmätta representativa inflödet). Det finns alltså två olika faktorer för bergets genomsläpplighet som båda producerar samma inflöde till dagbrottet.

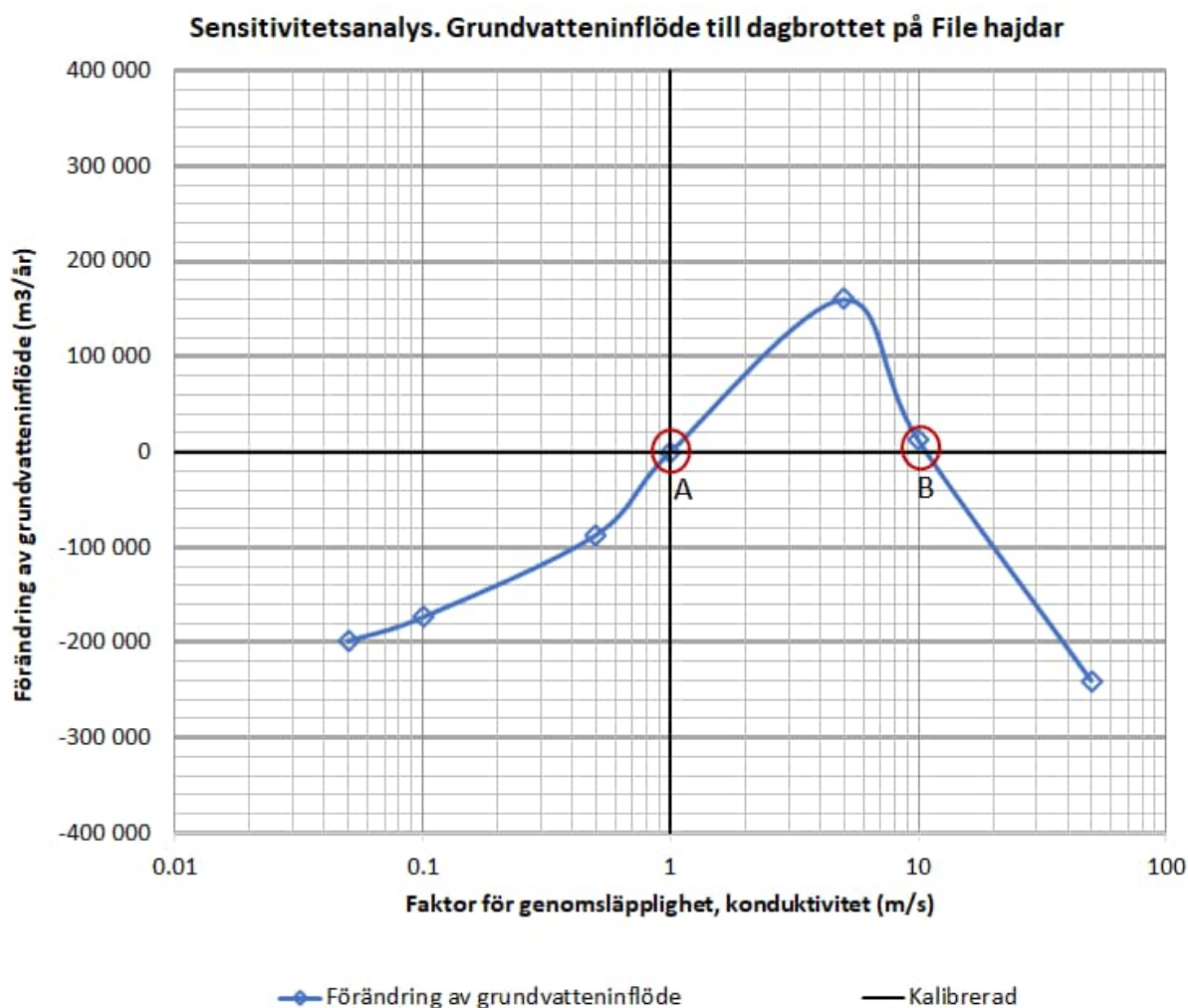
De två nollställena följer av (i) de stora årstidsbundna variationerna i grundvattennivå, av att (ii) File hajdar dagbrott till stora delar ligger ovanför grundvattenytan under sommaren, och av att (iii) bergets egenskaper är definierat som heterogent med bland annat flera vattenförande lager under dagbrottet. Diskussionen nedan avser den blå linjen i Figur 16-4 och de två nollställena markerade som A och B.

A är den kalibrerade situationen. Om vi i jämförelse med den kalibrerade situationen gör berget mer genomsläppligt, ökar grundvatteninflödet till dagbrottet och blir större än det kalibrerade grundvatteninflödet. Ökningen i inflöde sker då främst under vintern när grundvattennivåerna är höga. Gör vi berget ytterligare mera genomsläppligt börjar inflödet minska, eftersom grundvattennivåerna sjunker tydligt (även under vintern) och inflödet till dagbrottet minskar, inte bara på sommaren utan också under övriga årstider, och vi når fram till nollställe B. Om vi gör berget ännu mera genomsläppligt än vid nollställe B minskar grundvatteninflödet stadigt, och inflödet blir så småningom lika med noll, detta inträffar när grundvattennivåerna har sjunkit så långt att hela dagbrottet ligger ovanför grundvattenytan under hela året.

Om vi i jämförelse med den kalibrerade situationen gör berget tätare minskar grundvatteninflödet till dagbrottet och blir mindre än det kalibrerade grundvatteninflödet.

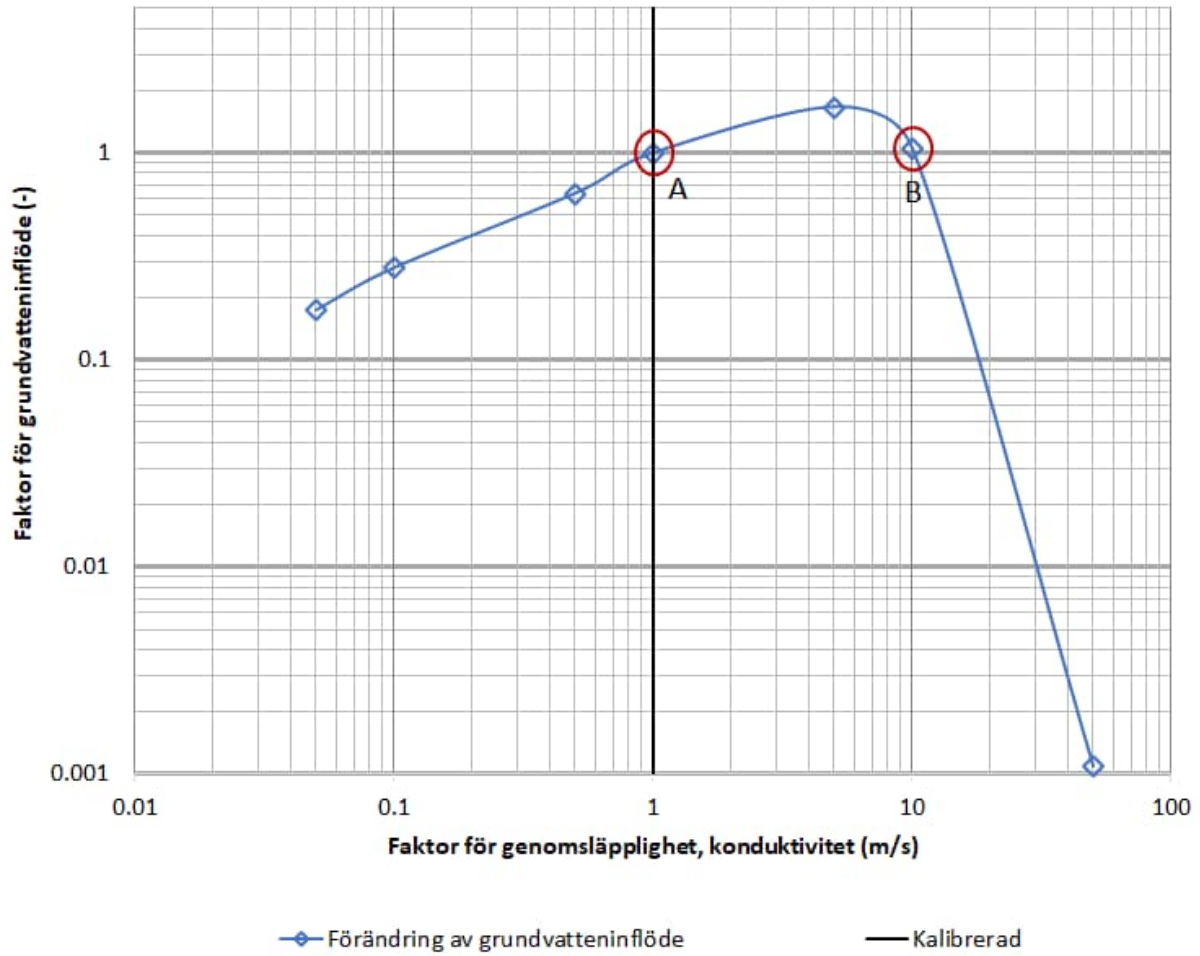
Analysen av Figur 16-4 (och Figur 16-5) visar att kalibrering via bergets K-värden inte nödvändigtvis har en god bestämmande kraft med avseende på grundvatteninflödet till File hajdar dagbrott, eftersom det finns två nollställena. Modellens kalibrering består dock av flera olika parametrar inte bara inflödet till File hajdar dagbrott, och om Figur 16-4 kombineras med övriga figurer i detta appendix, tex Figur 16-2 och Figur 16-3 framgår det tydligt att nollställe A är det korrekta nollstället för modellens kalibrering. För nollställe B blir grundvattennivåerna för låga i observationsbrunnarna och för höga i produktionsbrunnarna, och stämmer inte med uppmätta värden.

När man diskuterar kalibrering (regularisering eller systemoptimering) kallas kurvan i Figur 16-4 för en objektsfunktion. Det är ovanligt att objektsfunktionen för en kalibreringsparameter i ett naturligt grundvattensystem är en andragsgradsfunktion, med två tydliga nollställena, orsaken till detta är den mycket stora årliga variationen i grundvattennivå på File hajdar.



Figur 16-4 Sensitivitetsanalys av det totala årliga inflödet av grundvatten till File hajdar dagbrott för ett normalår med varierande grundvattennivåer. Figuren visar förändring av grundvatteninflöde då bergets genomsläpplighet varierar ( $K$ -faktor i log-skala). Bokstaven A markerar modellens kalibrering, Bokstaven B markerar modellens resultat då bergets  $K$ -värden har multiplicerats med faktorn 10.

## Sensitivitetsanalys. Grundvatteninflöde till dagbrottet på File hajdar



Figur 16-5 Sensitivitetsanalys av det totala årliga inflödet av grundvatten till File hajdar dagbrott för ett normalår med varierande grundvattennivåer. Figuren visar förändring av grundvatteninflöde då bergets genomsläpplighet varieras (K-faktor i log-skala). Förändring av grundvatteninflöde representeras av en faktor  $F = \text{beräknat inflöde} / \text{kalibrerat inflöde}$  (faktor i log-skala). Bokstaven A markerar modellens kalibrering, Bokstaven B markerar modellens resultat då bergets K-värden har multiplicerats med faktorn 10.

#### **16.3.4 Sensitivitetsanalys – Bergets genomsläpplighet och grundvatteninflöde till Västra och Östra brotten**

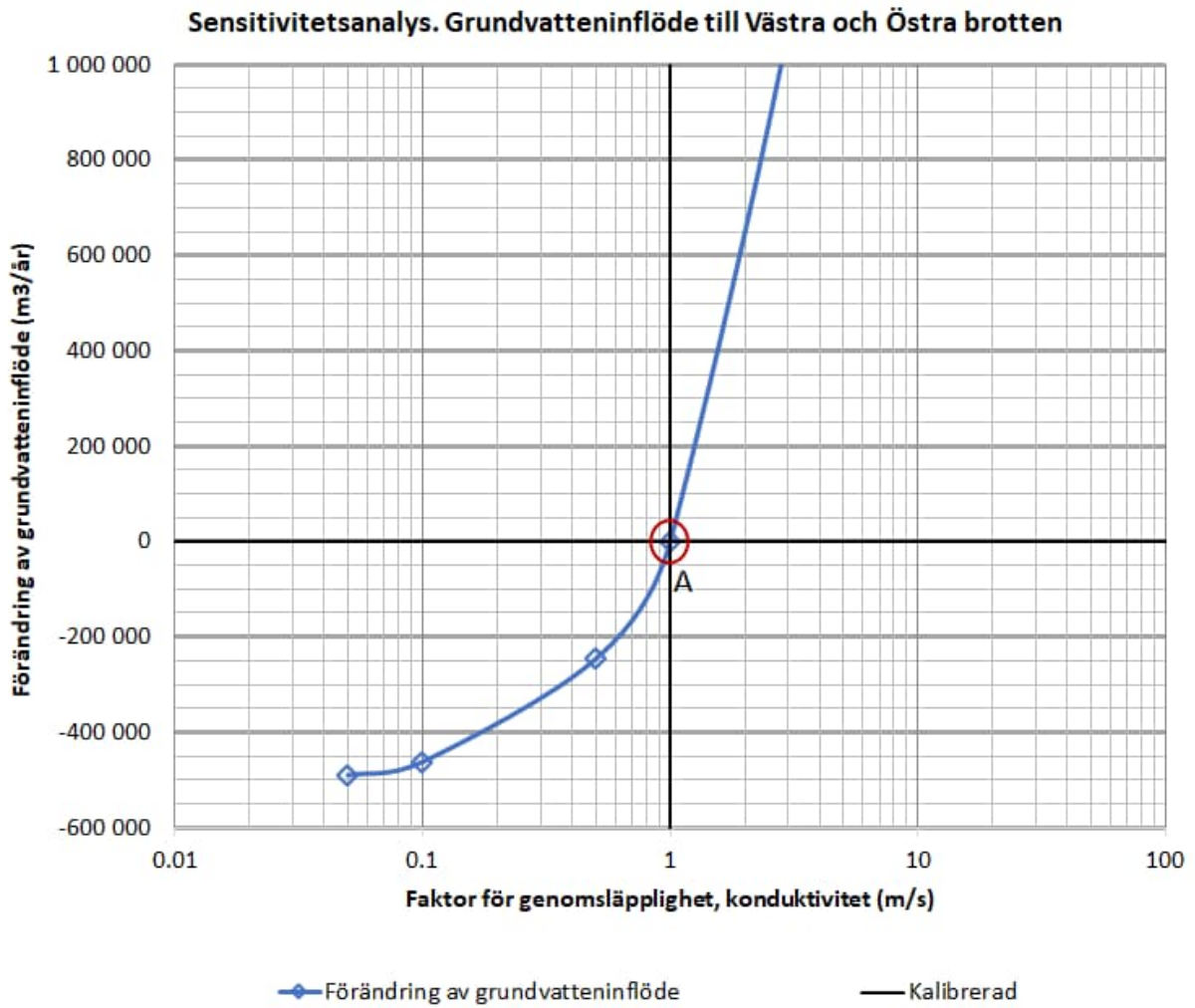
Hur inflödet till Västra och Östra brotten förändras då bergets genomsläpplighet varierar (K-faktor) visas i Figur 16-6 och Figur 16-7. Figurerna visar det totala årliga inflödet av grundvatten till de två dagbrotten för ett normalår beräknat med de under året varierande grundvattennivåerna.

Figur 16-6 och Figur 16-7 visar i icke linjära samband. A är den kalibrerade situationen. Om vi i jämförelse med den kalibrerade situationen gör berget genomsläppligare ökar grundvatteninflödet till dagbrottet och blir större än den kalibrerade grundvatteninflödet. Om vi i jämförelse med den kalibrerade situationen gör berget tätare minskar grundvatteninflödet till dagbrottet och blir mindre än det kalibrerade grundvatteninflödet.

Betydelsen av havet, som ligger nära Västra och Östra brotten, framgår genom att inflödet ökar tydligt och direkt när berget görs mer genomsläpplig. Grundvatteninflödet blir redan vid relativt små ökningar av bergets K-värden mycket större än det kalibrerade (uppmätta) inflödet. Detta beror främst på att havet ligger nära de två dagbrotten och att havsnivån alltid är densamma (i modellen) och påverkas inte av bergets genomsläpplighet eller nettonederbördens variation under året, vilket betyder att om berget görs mer genomsläppligt strömmar mer vatten in i dagbrotten från havet, mängden vatten i havet är oändligt och minskar inte på grund av flödet till dagbrotten.

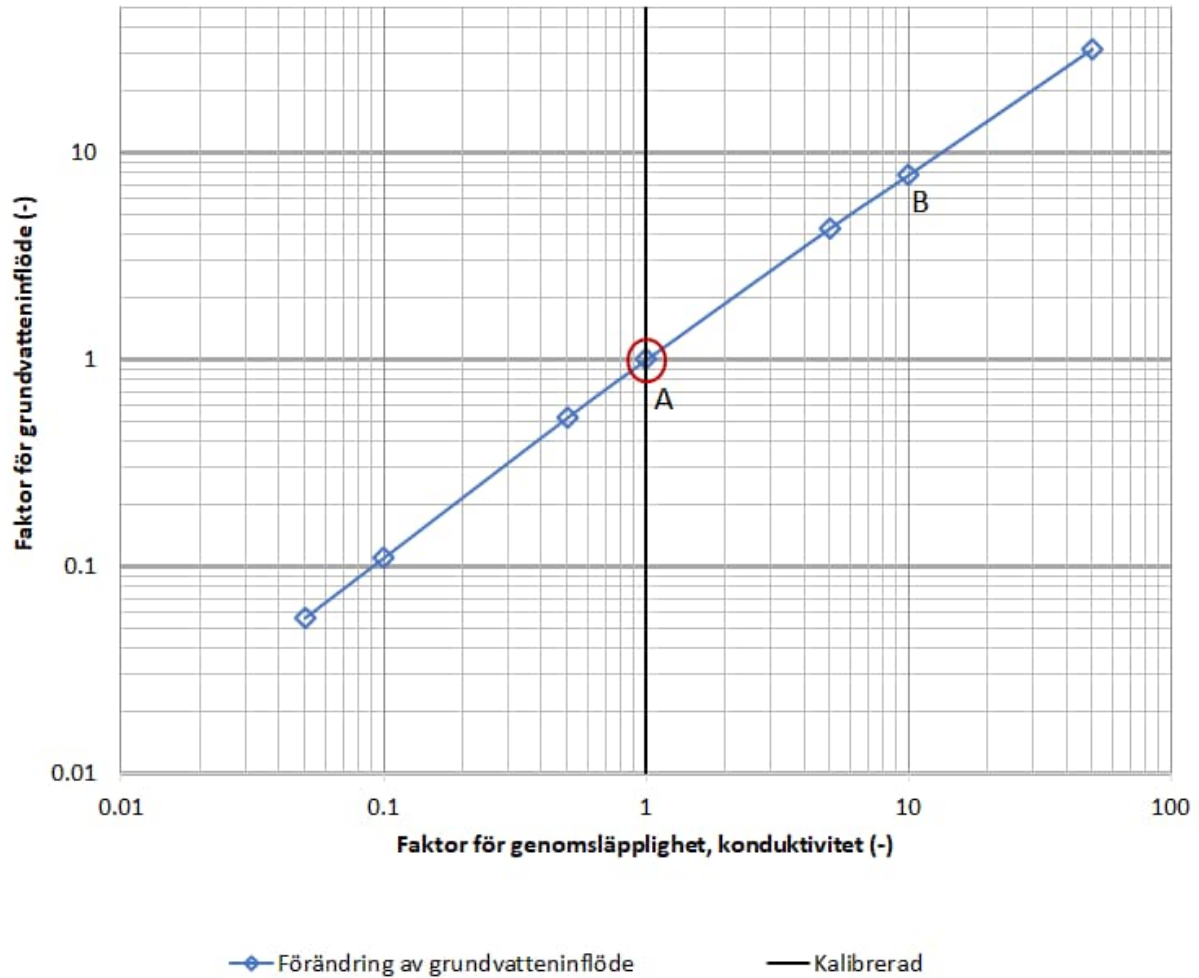
Analysen visar att kalibrering via bergets K-värden har en god bestämmande kraft med avseende på inflödet till Västra och Östra brotten. Det studerade sambandet som visas i Figur 16-6 och Figur 16-7 är inte ett komplext samband med flera nollställen utan ett relativt simpelt samband vilket underlättar modellens kalibrering, och ger god bestämmande kraft till kalibreringen.





Figur 16-6 Sensitivitetsanalys av det totala årliga inflödet av grundvatten till Västra och Östra dagbrotten för ett normalår med varierande grundvattennivåer. Figuren visar förändring av grundvatteninflöde då bergets genomsläpplighet varierar ( $K$ -faktor i log-skala). Bokstaven A markerar modellens kalibrering, Bokstaven B markerar modellens resultat då bergets  $K$ -värden har multiplicerats med faktorn 10.

## Sensitivitetsanalys. Grundvatteninflöde till Västra och Östra brotten



Figur 16-7 Sensitivitetsanalys av det totala årliga inflödet av grundvatten till Västra och Östra dagbrotten för ett normalår med varierande grundvattennivåer. Figuren visar förändring av grundvatteninflöde då bergets genomsläpplighet varierar (K-faktor i log-skala). Förändring av grundvatteninflöde representeras av en faktor  $F = \text{beräknat inflöde} / \text{kalibrerat inflöde}$  (faktor i log-skala). Bokstaven A markerar modellens kalibrering, Bokstaven B markerar modellens resultat då bergets K-värden har multiplicerats med faktorn 10.

## 16.4 Diskussion

Som tidigare nämnts är modellen kalibrerad mot olika kalibreringsmål:

- Transient inflöde till File hajdar-dagbrott.
- Transient inflöde till Västra/östra brotten.
- Uppmätta volymer som pumpats från produktionsbrunnarna
- Observerade transienta grundvattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna.
- Transienta grundvattennivåer i ett flertal utvalda borrhål

Sensitivitetsanalysen visar att kalibreringen får en god bestämmande kraft när alla de olika kalibreringsmålen utvärderas tillsammans och samtidigt. Det är viktigt att modellen tidsberoende kalibreras mot både vattennivå och vattenflöde samtidigt. Detta är en svårare och mer bestämmande kalibrering än vattennivåer i borrhål, som bara avser vattennivå och inte grundvattenflöde; också mer bestämmande än inflöde av grundvatten till dagbrotten, som bara avser flöde och inte vattennivå.

## 17. APPENDIX B – Särskild jämförelse av två framtida situationer

En särskild jämförelse av två framtida situationer har efterfrågats. Den jämförelsen redovisas nedan.

### Jämförelse B3

Nollalternativet när täkterna är maximalt vattenfyllda jämförs med grundvattensituationen vid ansökt alternativ 30 år efter att tillståndet tagits i anspråk med skyddsåtgärder.

Den studerade jämförelsen följer inte en ansökt eller naturlig tidslinje. Det är alltså inte en jämförelse av två möjliga situationer som följer på varandra. De påverkansområden som produceras av jämförelsen kan inte uppkomma i verkligheten, om man följer en ansökt eller naturlig tidslinje. Jämförelsen förutsätter en tidslinje där både nollalternativet på lång sikt äger rum och den ansökta brytningen genomförs fullständigt. De producerade påverkansområdena blir stora eftersom jämförelsen avser två ytterhetssituationer. De producerade påverkansområdena är inte relevanta med avseende på den ansökta eller naturliga tidslinjen, de producerade påverkansområdena är därför endast av teoretiskt intresse.

De studerade framtida situationerna är definierat med ett framtida klimat. Framtida klimat enligt RCP 4.5 Period 2071-2100 (faktorer).

*Skillnad i grundvattennivå =*

*[Nollalternativ. Dagbrotten enligt nuvarande tillstånd helt utbrutet, och vattenfyllda.  
Scen. LT2F-Noll-70a]*

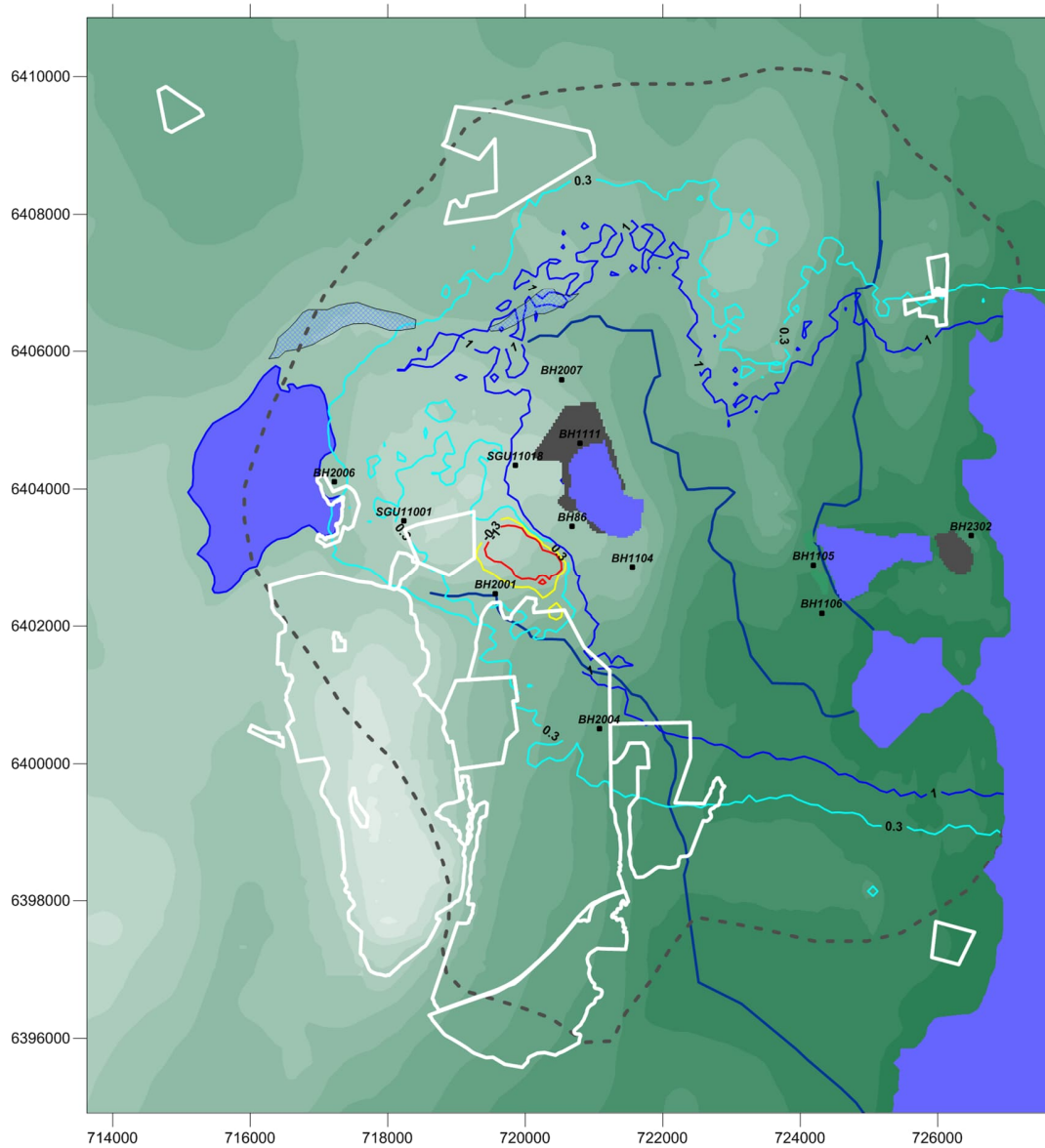
*Minus*

*[Ansökt utökning helt utbrutet och dränerat, efter 30 år med skyddsåtgärder.  
Scen. Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky2]*

### 17.1.1 Beräknade påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



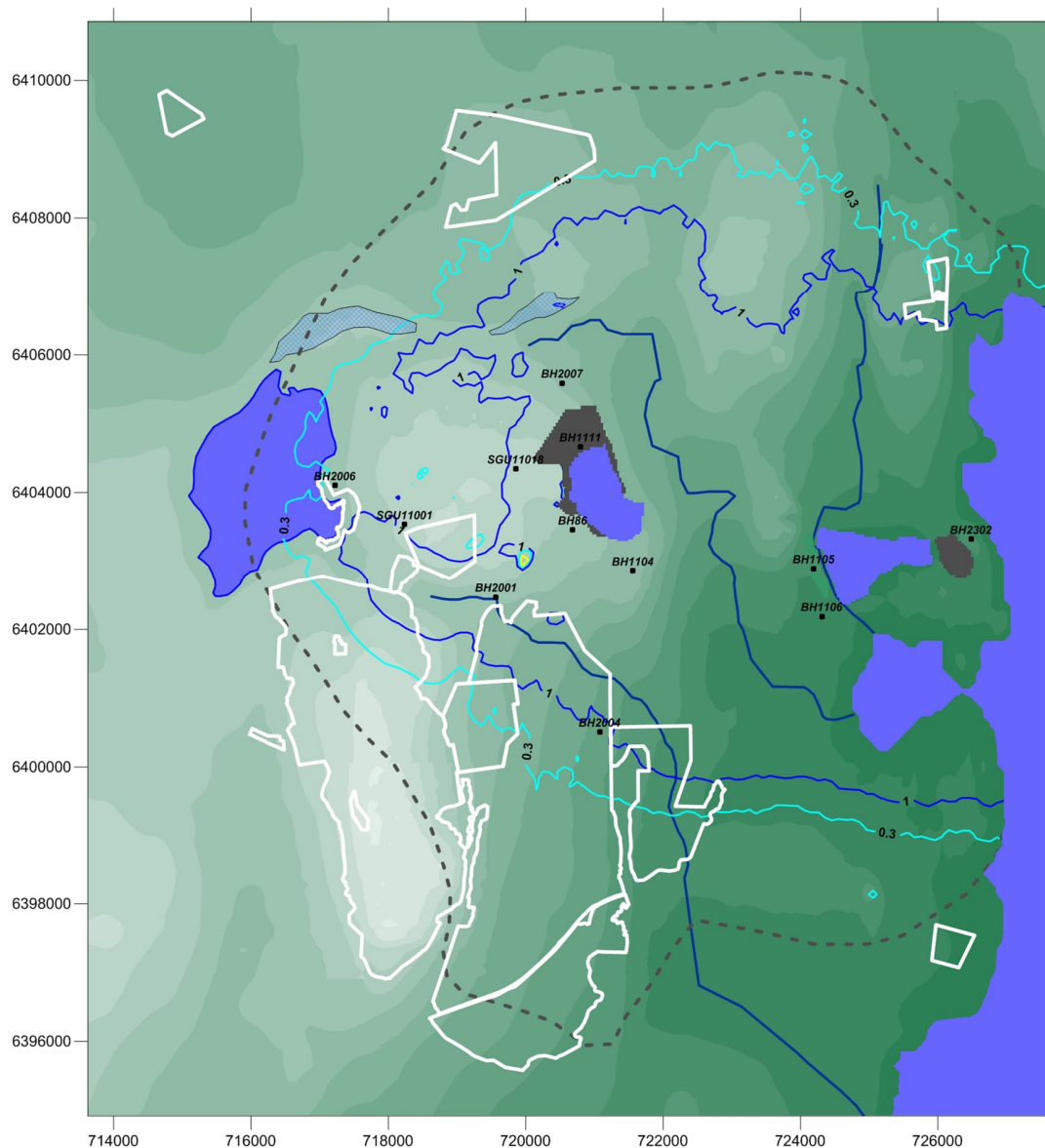
Figur 17-1 Jämförelse B3: Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

Vår, April månad.

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.  
Glaciöfluvium markerat med blå rastrering

GRUNDVATTENMODELL SLITE



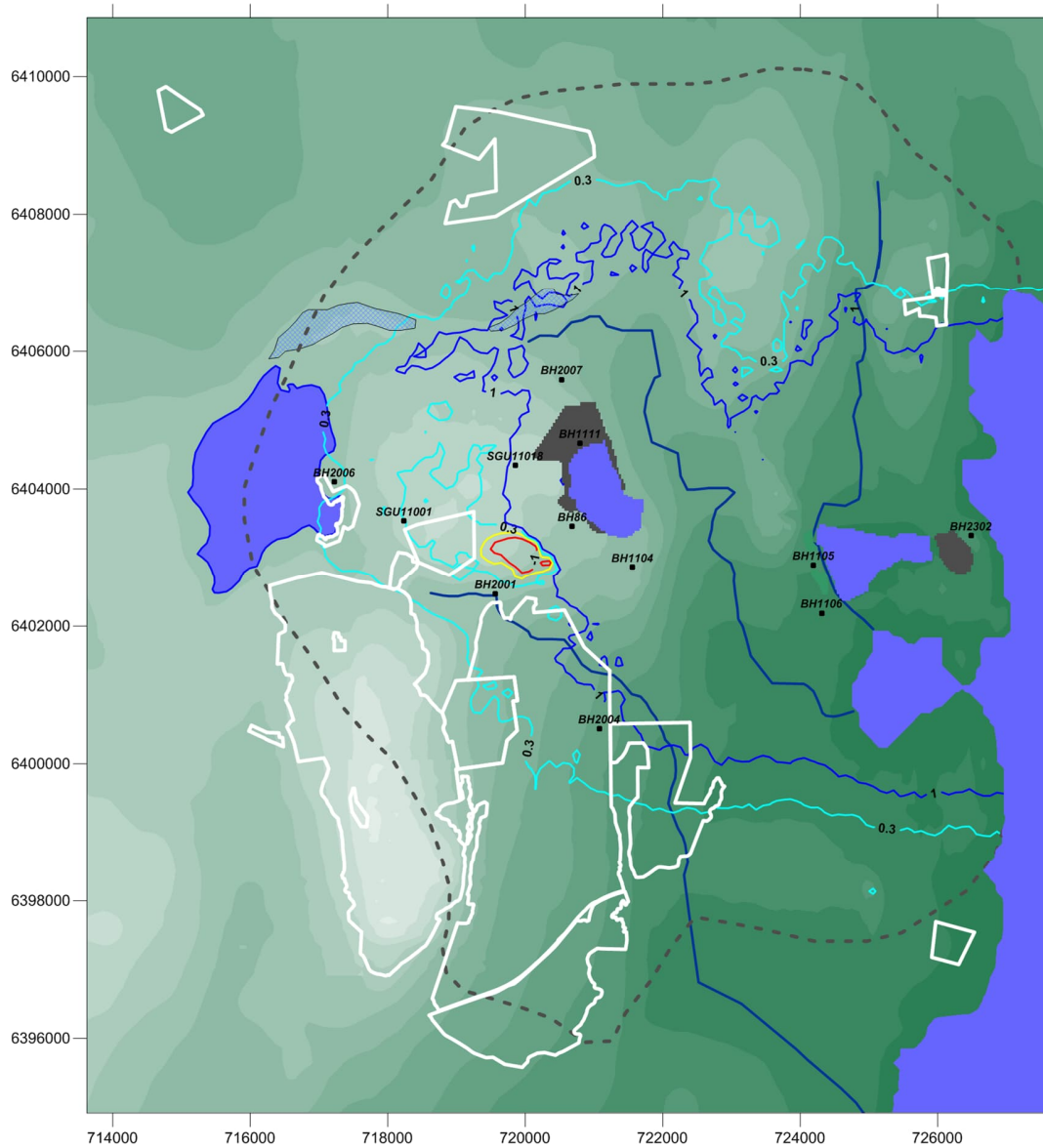
Figur 17-2 Jämförelse B3: Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

Sommar, Juli månad.

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastrering

GRUNDVATTENMODELL SLITE



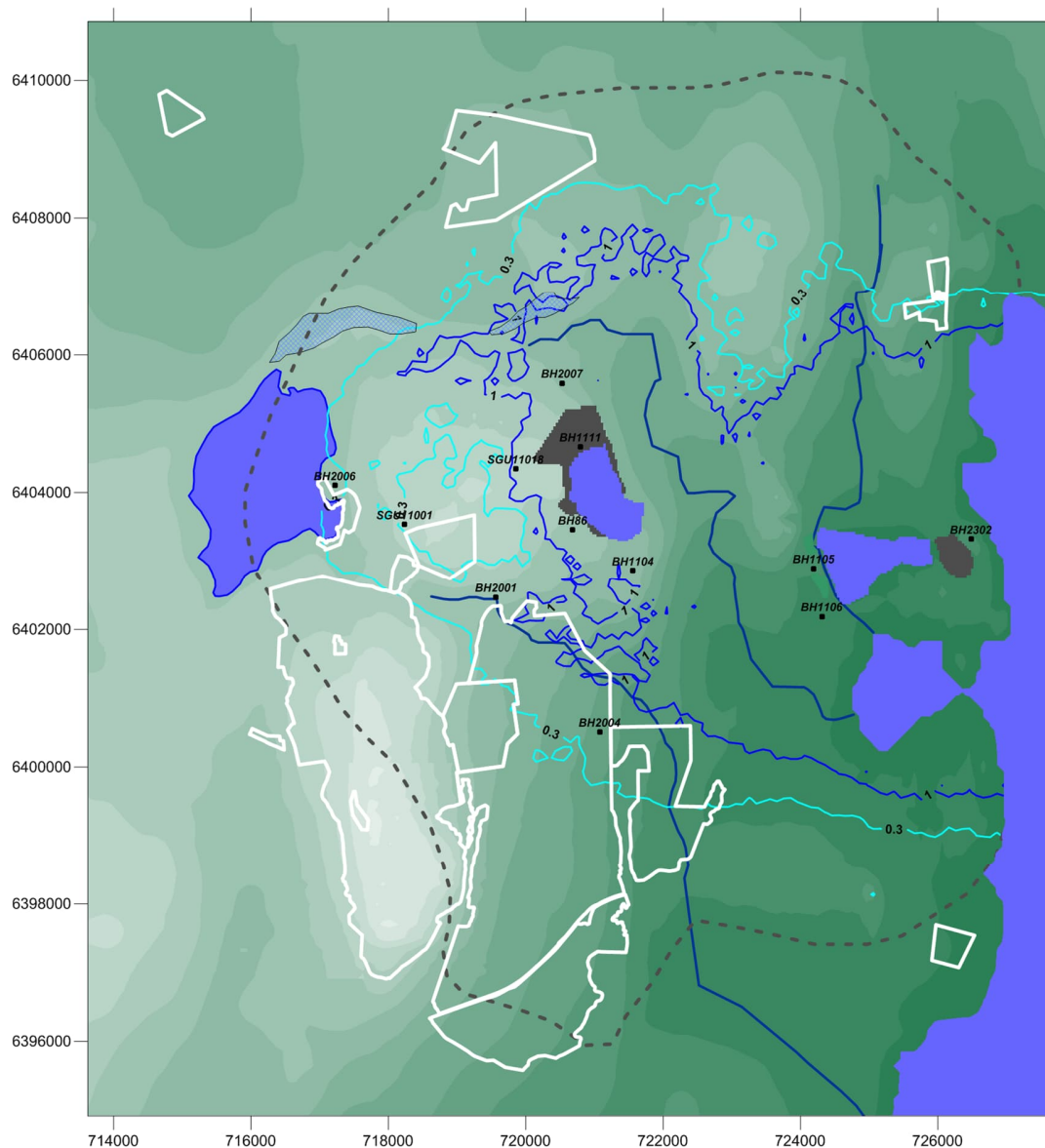
Figur 17-3 Jämförelse B3: Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

Höst, September månad.

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.  
Glaciöfluvium markerat med blå rastrering

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 17-4 Jämförelse B3: Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

Vinter, December månad.

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.  
Glaciöfluvium markerat med blå rastrering



## 18. Appendix C - Nollalternativet - Variant 2.

### 18.1 Inledning

I detta appendix presenteras beräknade påverkansområden för nollalternativet då vattennivån (dränagenivån) i File hajdar dagbrott har satts till +22.5 möh. Vattennivån i File hajdar dagbrott tillåts alltså inte att stiga till högre nivåer än +22.5 möh.

Vattennivåerna i Västra och Östra brotten baseras på en beräkning av hur vattennivån i dessa dagbrott sannolikt skulle förändras med tiden då dränagepumpningen upphör.

Följande vattennivåer (dränagenivåer) har antagits för dessa beräkningar:

Nollalternativet år 8.

File hajdar dagbrott:	Vattenfyllt till nivå: +22.5 möh
Västra brottet:	Vattenfyllt till nivå: -21 möh
Östra brottet:	Vattenfyllt till nivå: -21 möh

Nollalternativet år 20.

File hajdar dagbrott:	Vattenfyllt till nivå: +22.5 möh
Västra brottet:	Vattenfyllt till nivå: -14 möh
Östra brottet:	Vattenfyllt till nivå: -14 möh

Nollalternativet år 30.

File hajdar dagbrott:	Vattenfyllt till nivå: +22.5 möh
Västra brottet:	Vattenfyllt till nivå: -8 möh
Östra brottet:	Vattenfyllt till nivå: -8 möh

Nollalternativet år 70.

File hajdar dagbrott:	Vattenfyllt till nivå: +22.5 möh
Västra brottet:	Vattenfyllt till nivå: +1 möh
Östra brottet:	Vattenfyllt till nivå: +1 möh

## 18.2 Nollalternativet år 8

### 18.2.1 Studerad situation

För den studerade situation, som är nollalternativet år 8, antas det att dagbrotten kommer vara fullt utbrutna enligt Heidelbergs nuvarande tillstånd. Dagbrottens storlek framgår av Figur 5-1. De antagna vattennivåerna i dagbrotten diskuteras i Sektion 10.1.

Jämförelsen avser:

Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.

Scenario: LT2F.

och

Nollalternativet år 8.

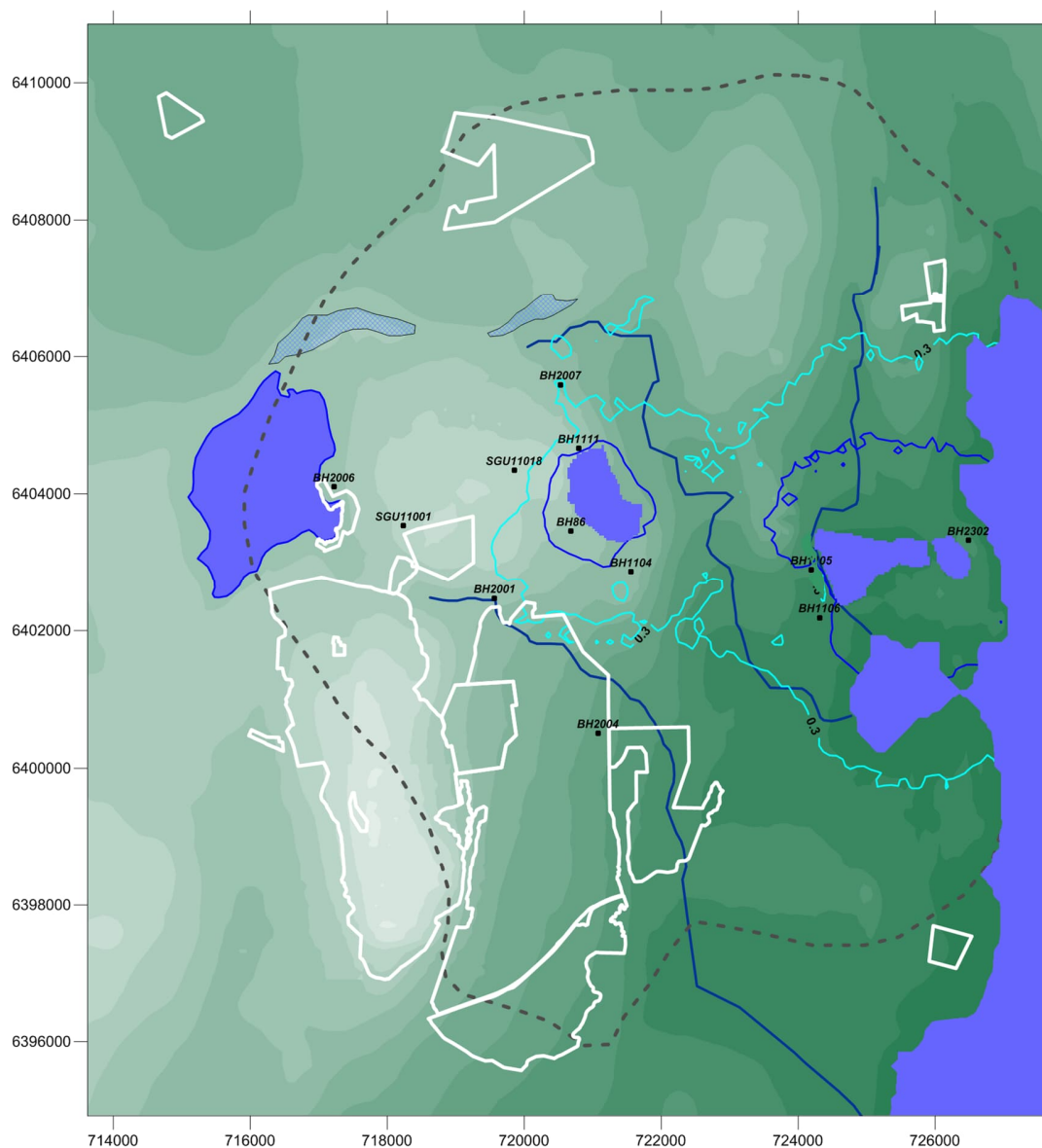
Scenario: M81--LT2F-Noll-8a

Samma klimat (nettonederbörd) används för båda situationerna.

### 18.2.2 Beräknade påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-1 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

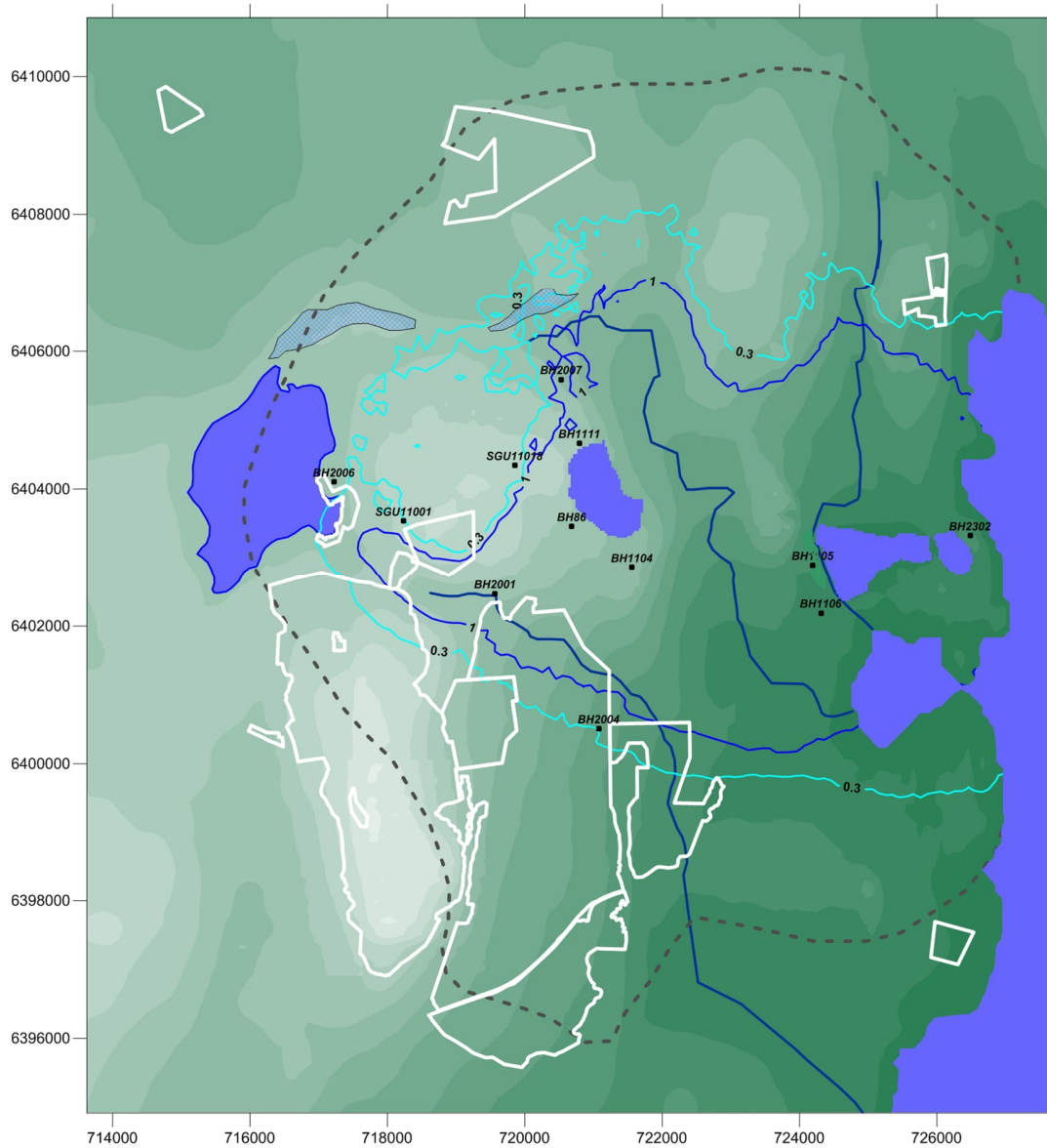
År 8: Vår, April månad. Scenario *LT2F-Noll-8a*

Vattennivån i File hajdar dagbrott = +22.5m ö.h.  
 Vattennivån i Västra och Östra brotten -21 möh

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.  
 Glacifluvium markerat med blå rastrering

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-2 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 8: Sommar, Juli månad. Scenario *LT2F-Noll-8a*

Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.

Vattennivån i Västra och Östra brotten= -21 möh

Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m

Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m

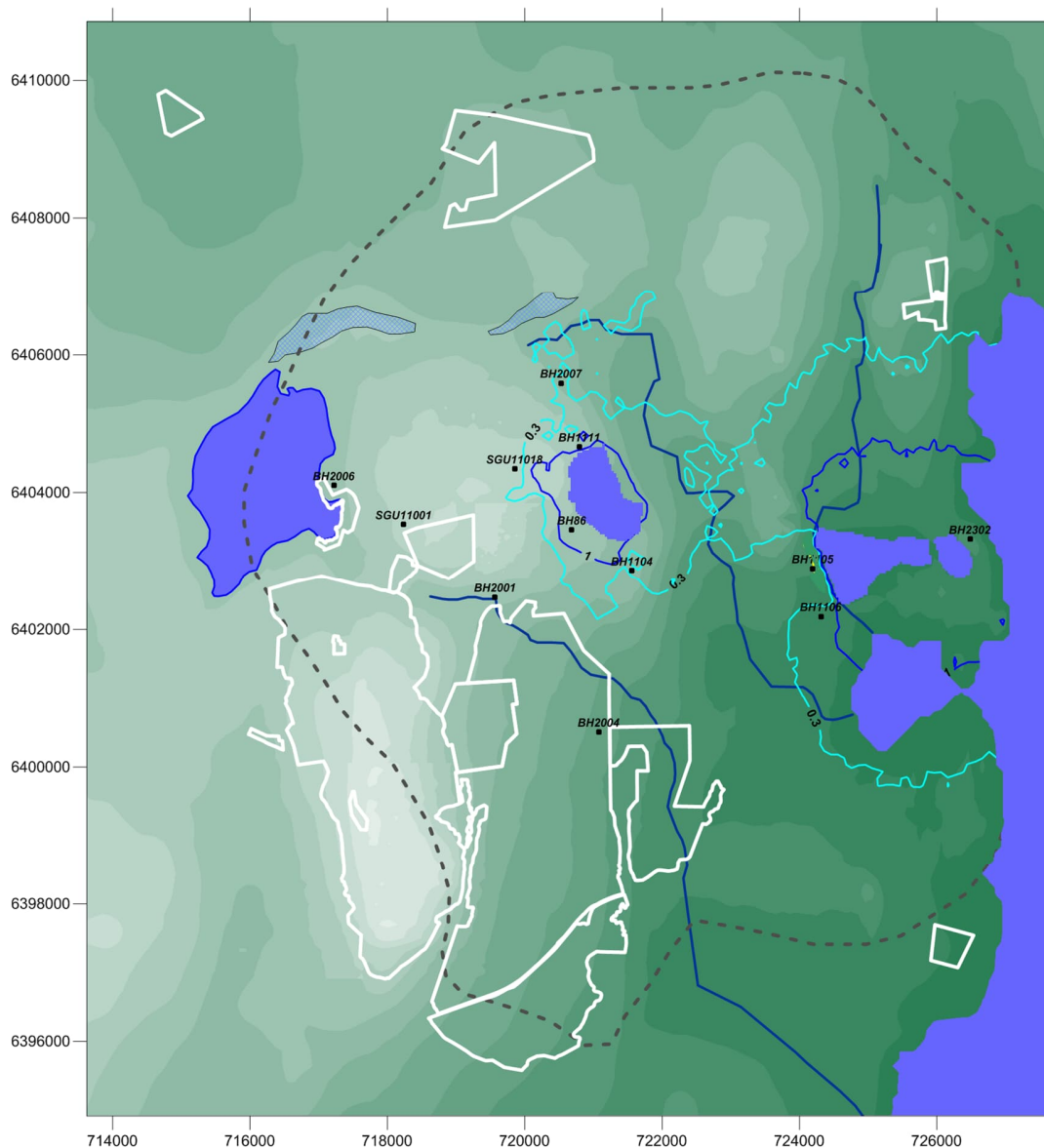
Blå linje (höjning) = +1.0 m

Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-3 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 8: Höst, September månad. Scenario *LT2F-Noll-8a*

Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.

Vattennivån i Västra och Östra brotten= -21 möh

Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m

Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m

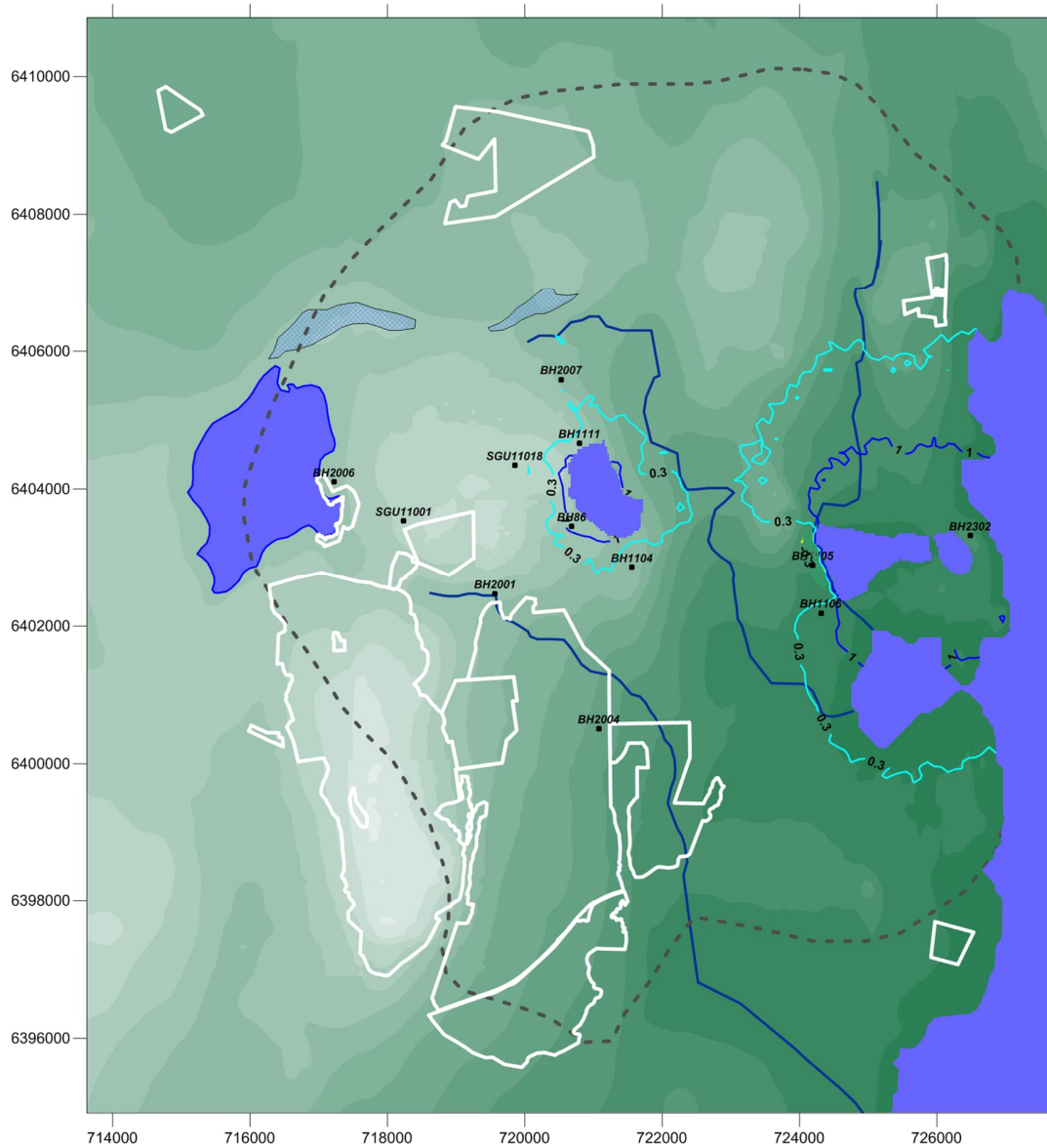
Blå linje (höjning) = +1.0 m

Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-4 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 8: Höst, December månad. Scenario *LT2F-Noll-8a*

Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.

Vattennivån i Västra och Östra brotten= -21 möh

Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m

Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m

Blå linje (höjning) = +1.0 m

Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

Glacifluvium markerat med blå rastrering

## 18.3 Nollalternativet år 20

### 18.3.1 Studerad situation

För den studerade situation, som är nollalternativet år 20, antas det att dagbrotten kommer vara fullt utbrutna enligt Heidelbergs nuvarande tillstånd. Dagbrottens storlek framgår av Figur 5-1. De antagna vattennivåerna i dagbrotten diskuteras i Sektion 10.1.

Jämförelsen avser:

Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.

Scenario: LT2F.

och

Nollalternativet år 20.

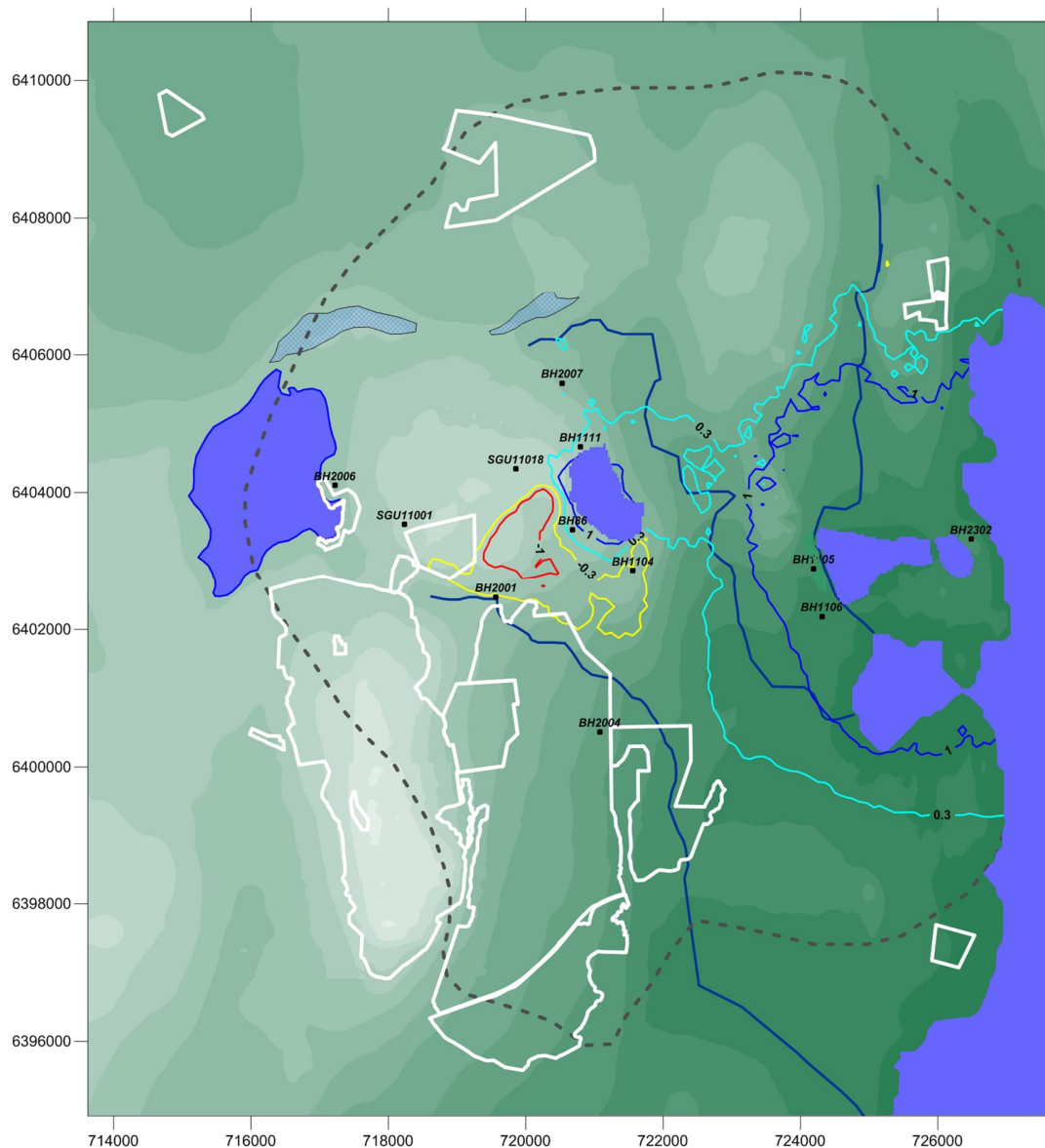
Scenario: M81--LT2F-Noll-20a

Referenssituationen (LT2F) är definierat med det nuvarande klimatet. Den framtida situationen år 20 är definierat med ett framtida klimat. Framtida klimat enligt RCP 4.5 Period 2021-2050 (faktorer). Det betyder att de beräknade påverkansområdena inkluderar inte bara effekten av att dagbrotten vattenfylls utan också effekten av det framtida klimatet. Nettonederbörden definierar klimatet i modellen. Förändringen i nettonederbörd som följer av det framtida klimatet (klimatpåverkan) är ringa för alla månader utom april. Därför visas för april månad påverkansområden med klimateffekter, och påverkansområden där klimateffekterna har subtraherats bort.

### 18.3.2 Beräknade påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-5 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 20: Vår, April månad. Scenario *LT2F-Noll-20a*

Påverkansområden med klimateffekter.

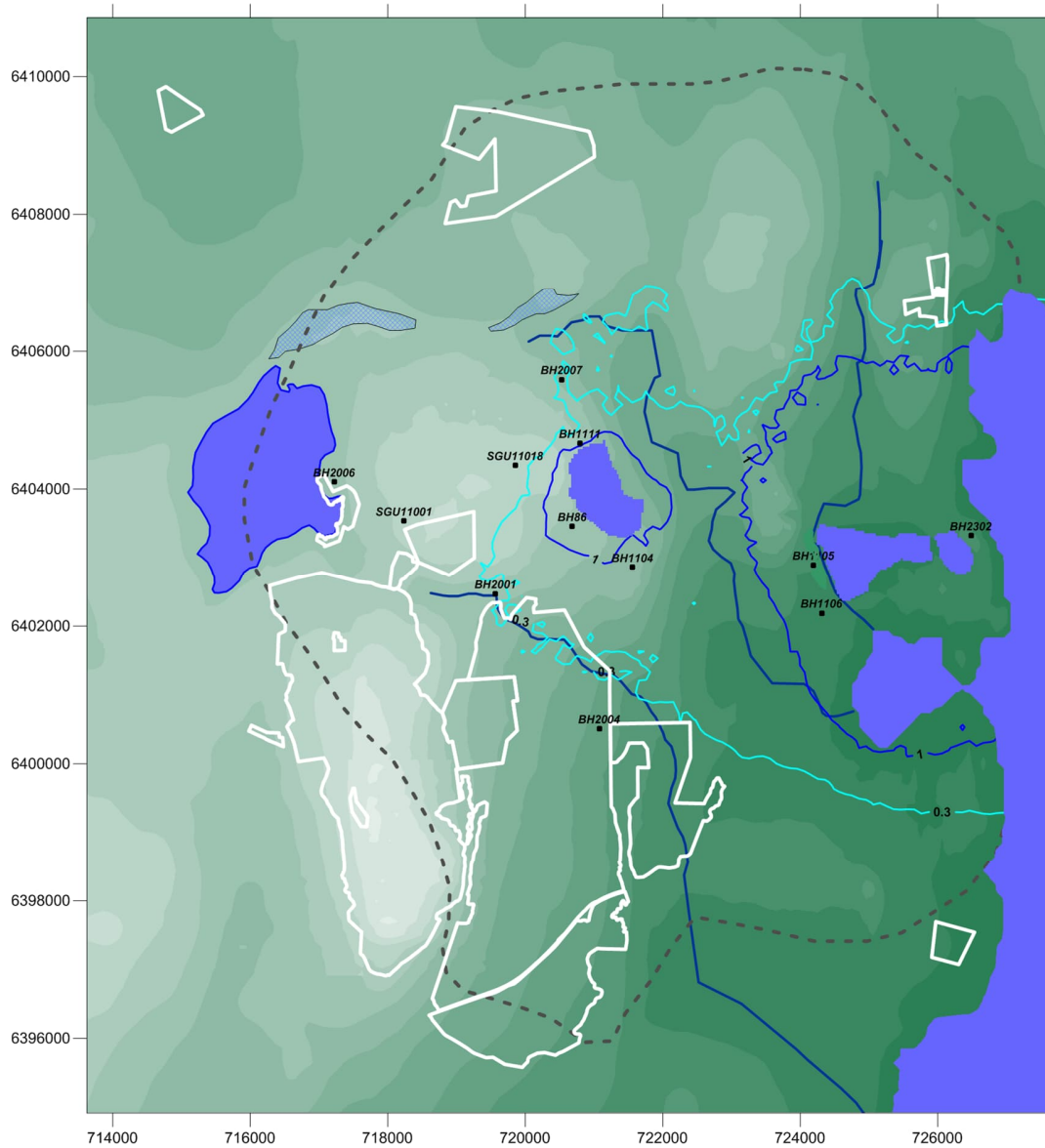
Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.  
Vattennivån i Västra och Östra brotten= -14 möh

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastrering



GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-6 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 20: Vår, April månad. Scenario *LT2F-Noll-20a*

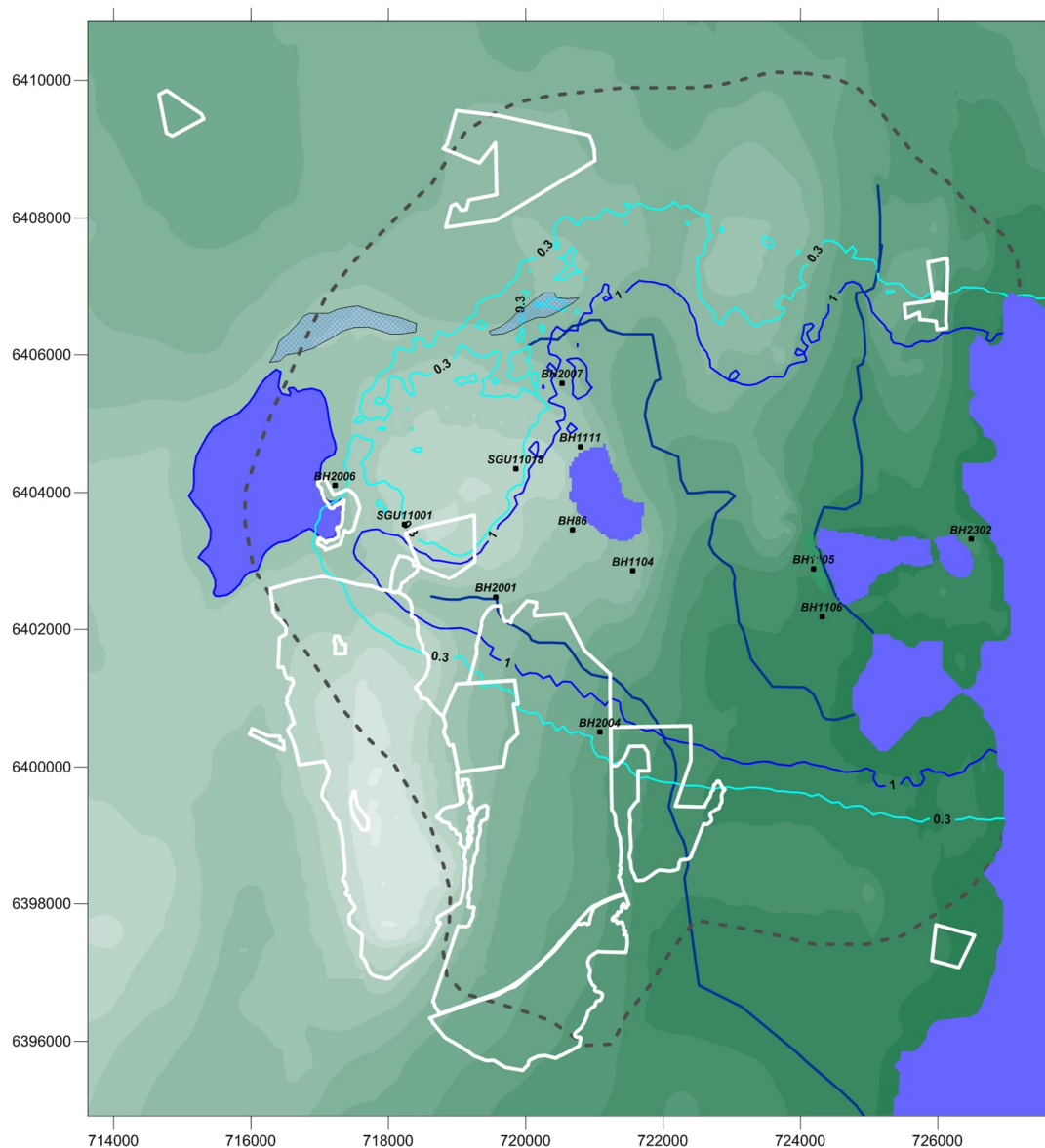
Påverkansområden **utan** climateffekter.

Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.  
Vattennivån i Västra och Östra botten= -14 möh

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastrering

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-7 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 20: Sommar, Juli månad. Scenario *LT2F-Noll-20a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= -14 möh*

*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m*

*Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m*

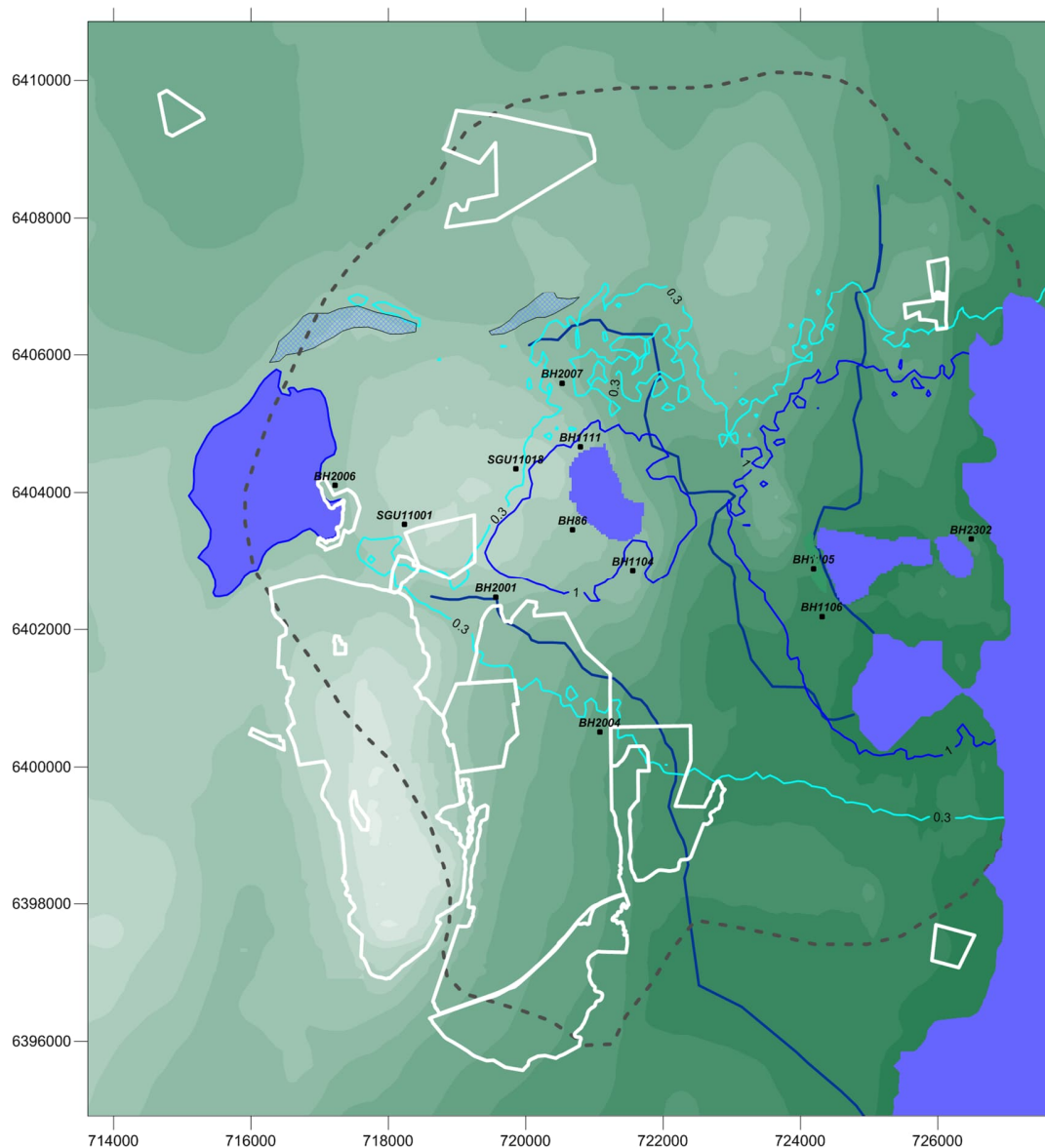
*Blå linje (höjning) = +1.0 m*

*Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m*

*Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-8 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 20: Höst, September månad. Scenario *LT2F-Noll-20a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= -14 möh*

*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m*

*Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m*

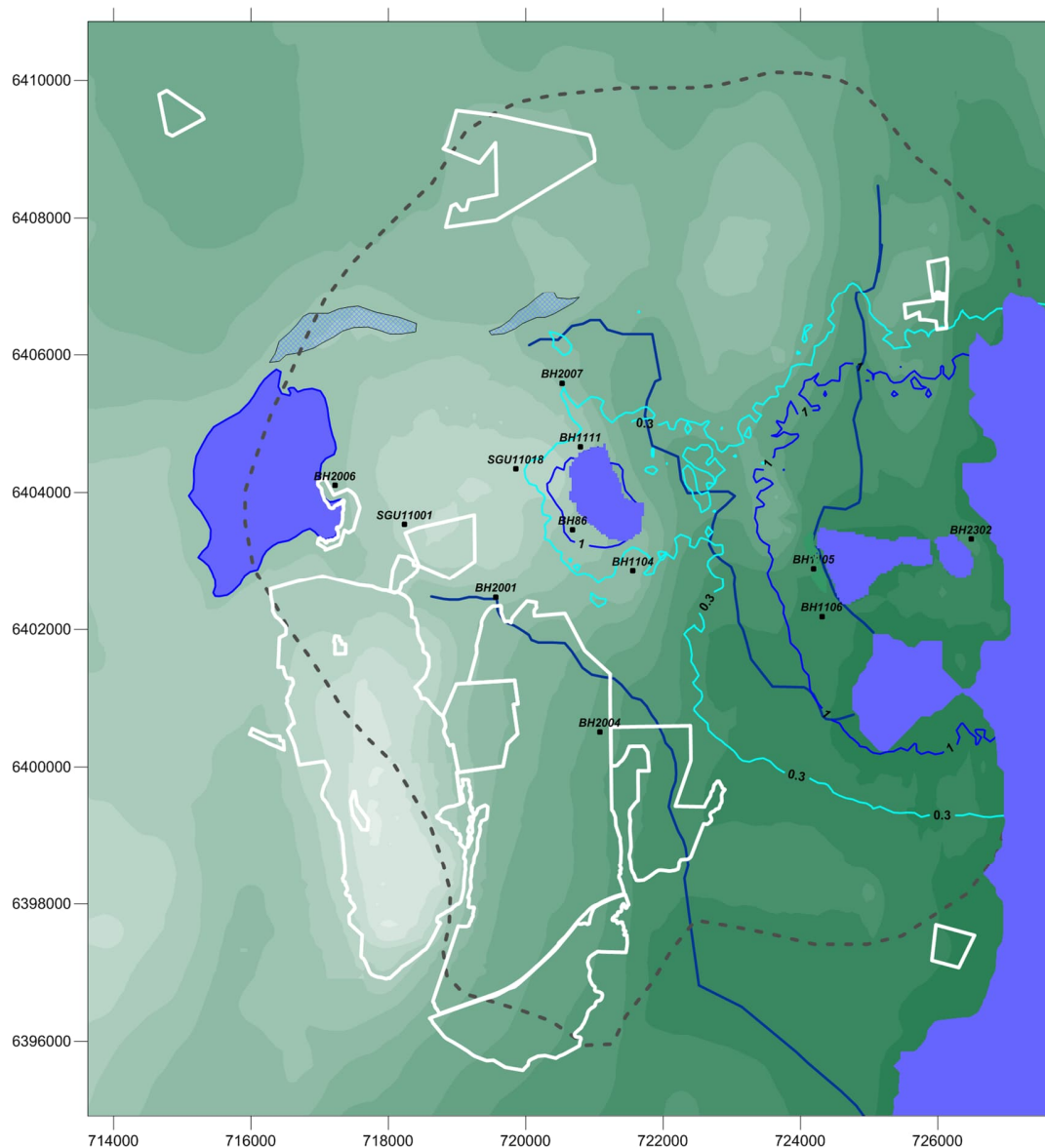
*Blå linje (höjning) = +1.0 m*

*Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m*

*Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-9 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 20: Vinter, December månad. Scenario *LT2F-Noll-20a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= -14 möh*

*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m*

*Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m*

*Blå linje (höjning) = +1.0 m*

*Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m*

*Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

## 18.4 Nollalternativet år 30

### 18.4.1 Studerad situation

För den studerade situation, som är nollalternativet år 30, antas det att dagbrotten kommer vara fullt utbrutna enligt Heidelbergs nuvarande tillstånd. Dagbrottens storlek framgår av Figur 5-1. De antagna vattennivåerna i dagbrotten diskuteras i Sektion 10.1.

Jämförelsen avser:

Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.

Scenario: LT2F.

och

Nollalternativet år 30.

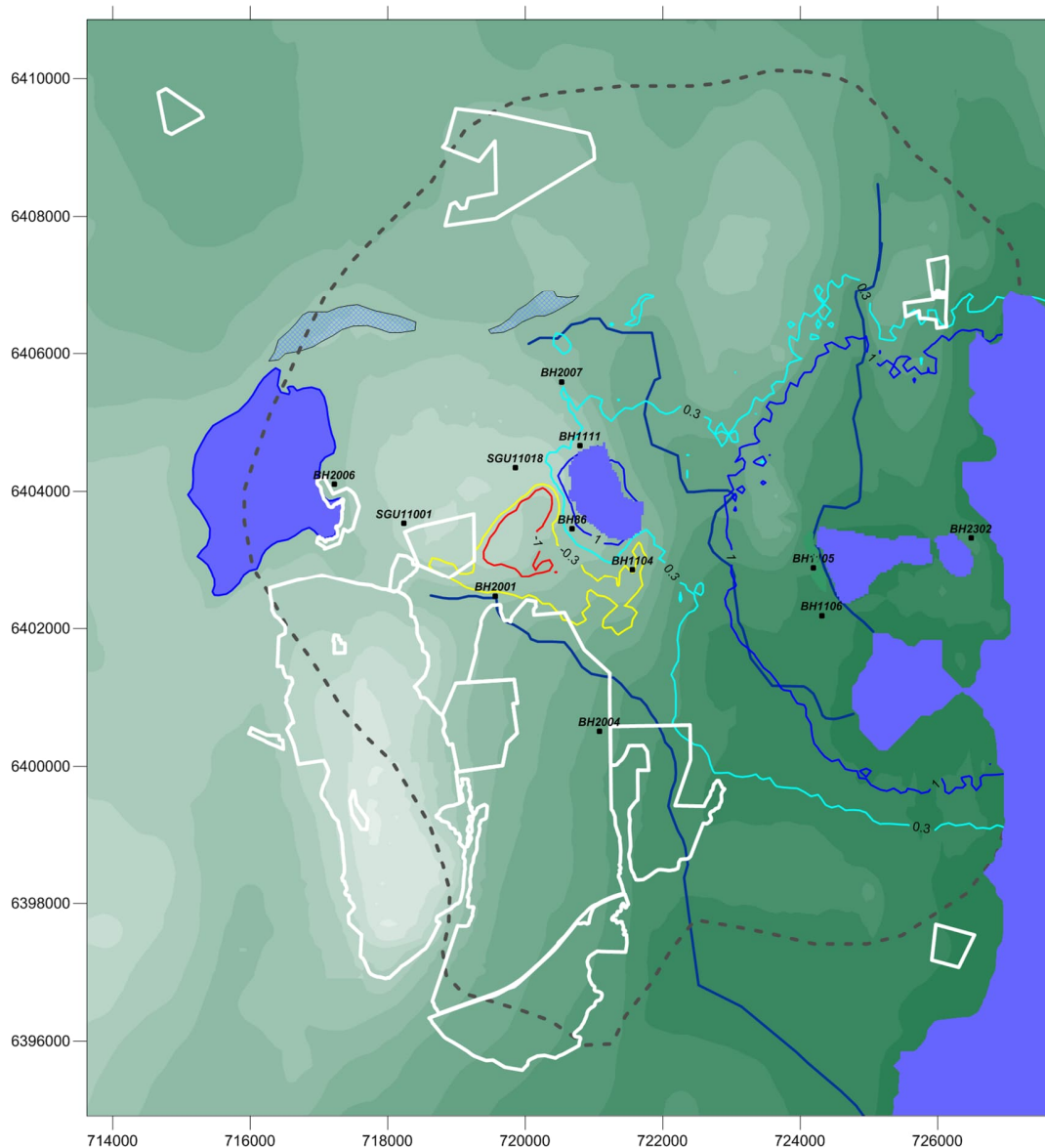
Scenario: M81--LT2F-Noll-30a

Referenssituationen (LT2F) är definierat med det nuvarande klimatet. Den framtida situationen år 30 är definierat med ett framtida klimat. Framtida klimat enligt RCP 4.5 Period 2071-2100 (faktorer). Det betyder att de beräknade påverkansområdena inkluderar inte bara effekten av att dagbrotten vattenfylls utan också effekten av det framtida klimatet. Nettonederbörden definierar klimatet i modellen. Förändringen i nettonederbörd som följer av det framtida klimatet (klimatpåverkan) är ringa för alla månader utom april. Därför visas för april månad påverkansområden med klimateffekter, och påverkansområden där klimateffekterna har subtraherats bort.

### 18.4.2 Beräknade påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-10 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 30: Vår, April månad. Scenario *LT2F-Noll-30a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= -8 möh*

*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m*

*Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m*

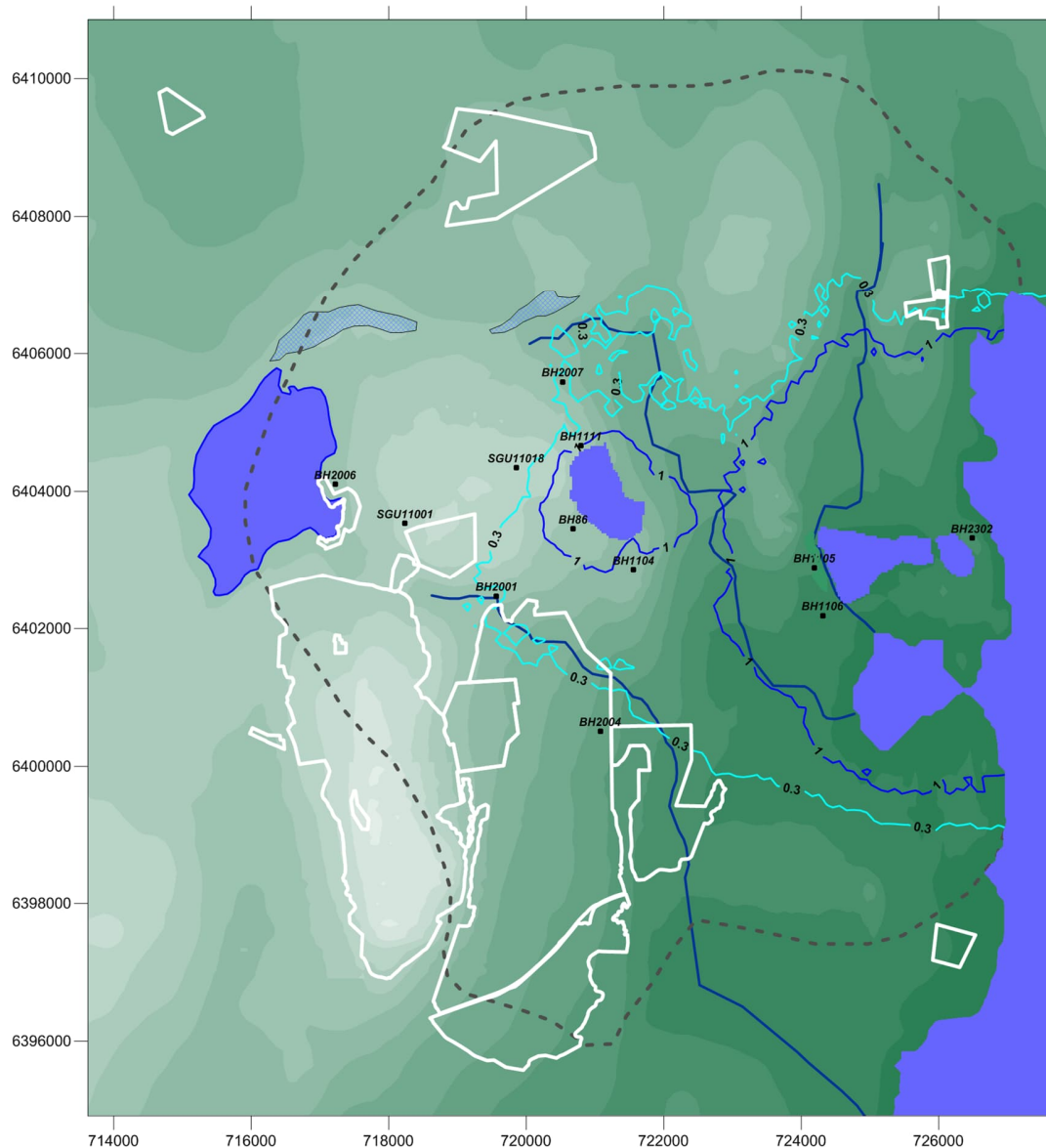
*Blå linje (höjning) = +1.0 m*

*Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m*

*Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-11 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 30: Vår, April månad. Scenario *LT2F-Noll-30a*

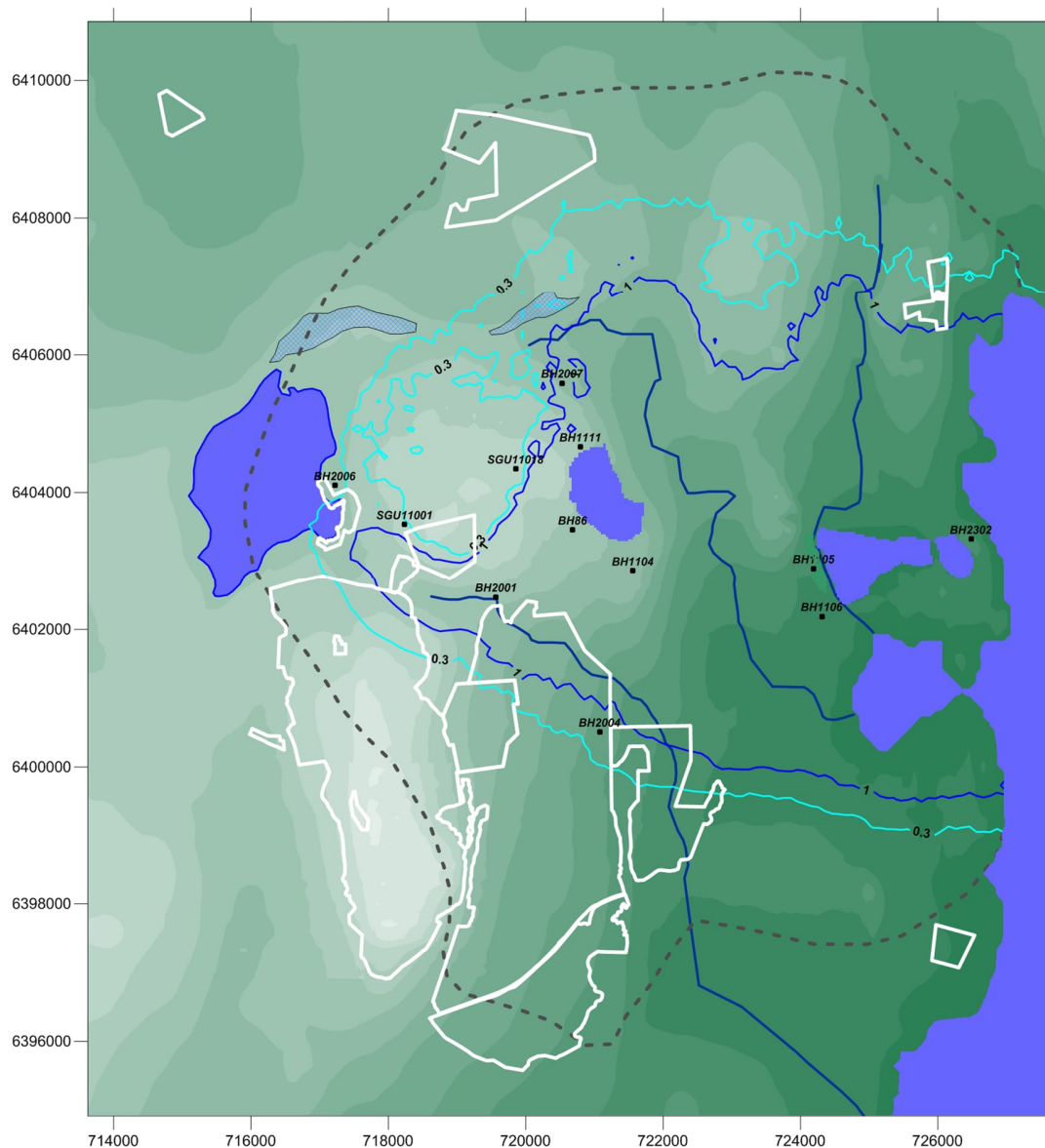
Påverkansområden **utan** klimateffekter.

Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.  
Vattennivån i Västra och Östra brotten= -8 möh

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastrering

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-12 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 30: Sommar, Juli månad. Scenario *LT2F-Noll-30a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= -8 möh*

*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m*

*Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m*

*Blå linje (höjning) = +1.0 m*

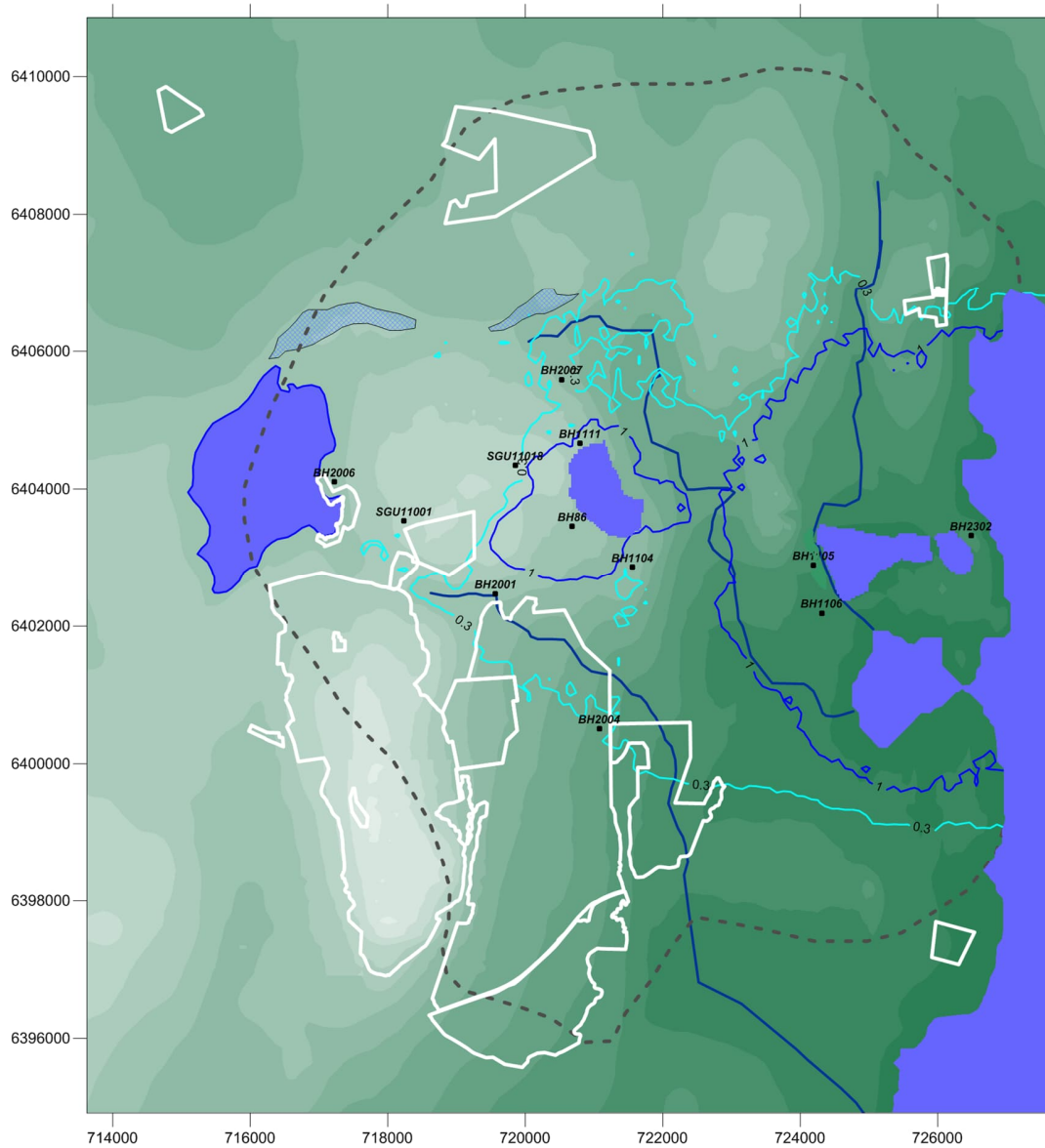
*Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m*

*Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*



GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-13 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 30: Höst, September månad. Scenario *LT2F-Noll-30a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.*

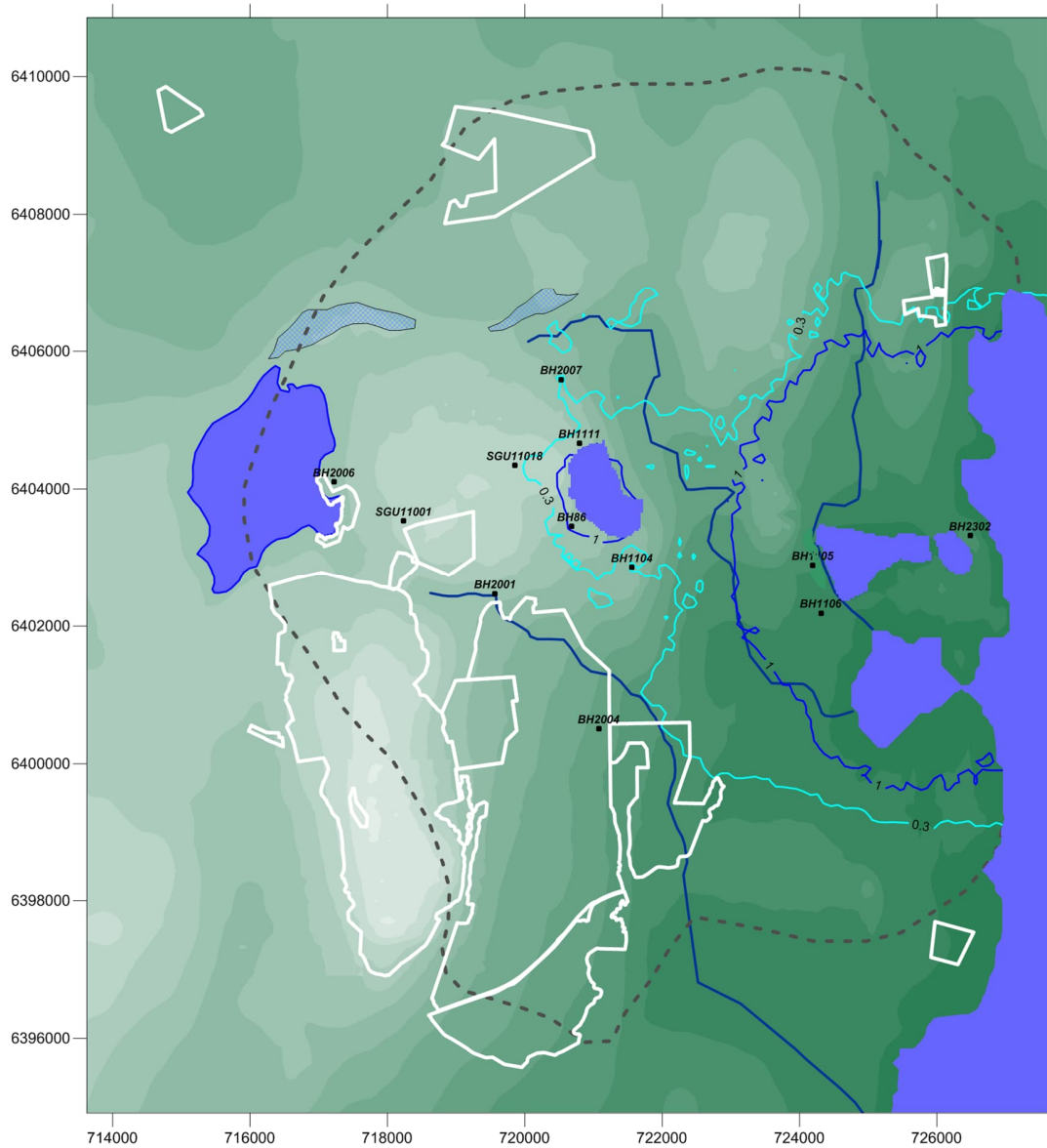
*Vattennivån i Västra och Östra botten= -8 möh*

<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

*Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-14 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m. Nollalternativet.

År 30: Vinter, December månad. Scenario *LT2F-Noll-30a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= -8 möh*

*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m*

*Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m*

*Blå linje (höjning) = +1.0 m*

*Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m*

*Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

## 18.5 Nollalternativet år 70

### 18.5.1 Studerad situation

För den studerade situation, som är nollalternativet år 70, antas det att dagbrotten kommer vara fullt utbrutna enligt Heidelbergs nuvarande tillstånd. Dagbrottens storlek framgår av Figur 5-1. De antagna vattennivåerna i dagbrotten diskuteras i Sektion 10.1.

Jämförelsen avser:

Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat.

Scenario: LT2F.

och

Nollalternativet år 70.

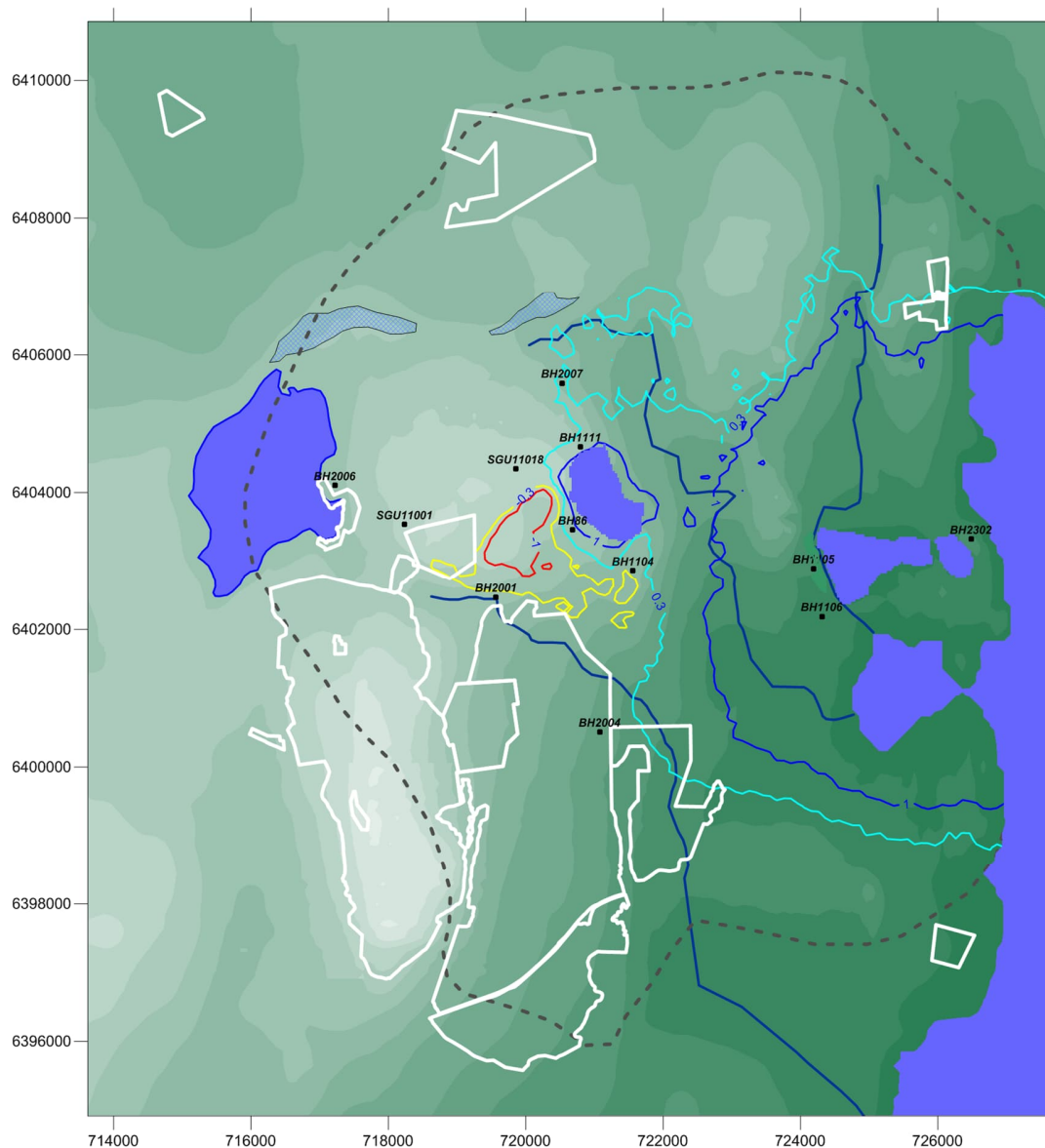
Scenario: M81--LT2F-Noll-70a

Referenssituationen (LT2F) är definierat med det nuvarande klimatet. Den framtida situationen år 30 är definierat med ett framtida klimat. Framtida klimat enligt RCP 4.5 Period 2071-2100 (faktorer). Det betyder att de beräknade påverkansområdena inkluderar inte bara effekten av att dagbrotten vattenfylls utan också effekten av det framtida klimatet. Nettonederbörden definierar klimatet i modellen. Förändringen i nettonederbörd som följer av det framtida klimatet (klimatpåverkan) är ringa för alla månader utom april. Därför visas för april månad påverkansområden med klimateffekter, och påverkansområden där klimateffekterna har subtraherats bort.

### 18.5.2 Beräknade påverkansområden

Beräkningarna av påverkansområden avser berggrundvatten. Berggrundvattnets nivå är beräknat som ett viktat medelvärde för grundvattennivåerna mellan djupen 5 m till 47 m.

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-15 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 70: Vår, April månad. Scenario *LT2F-Noll-70a*

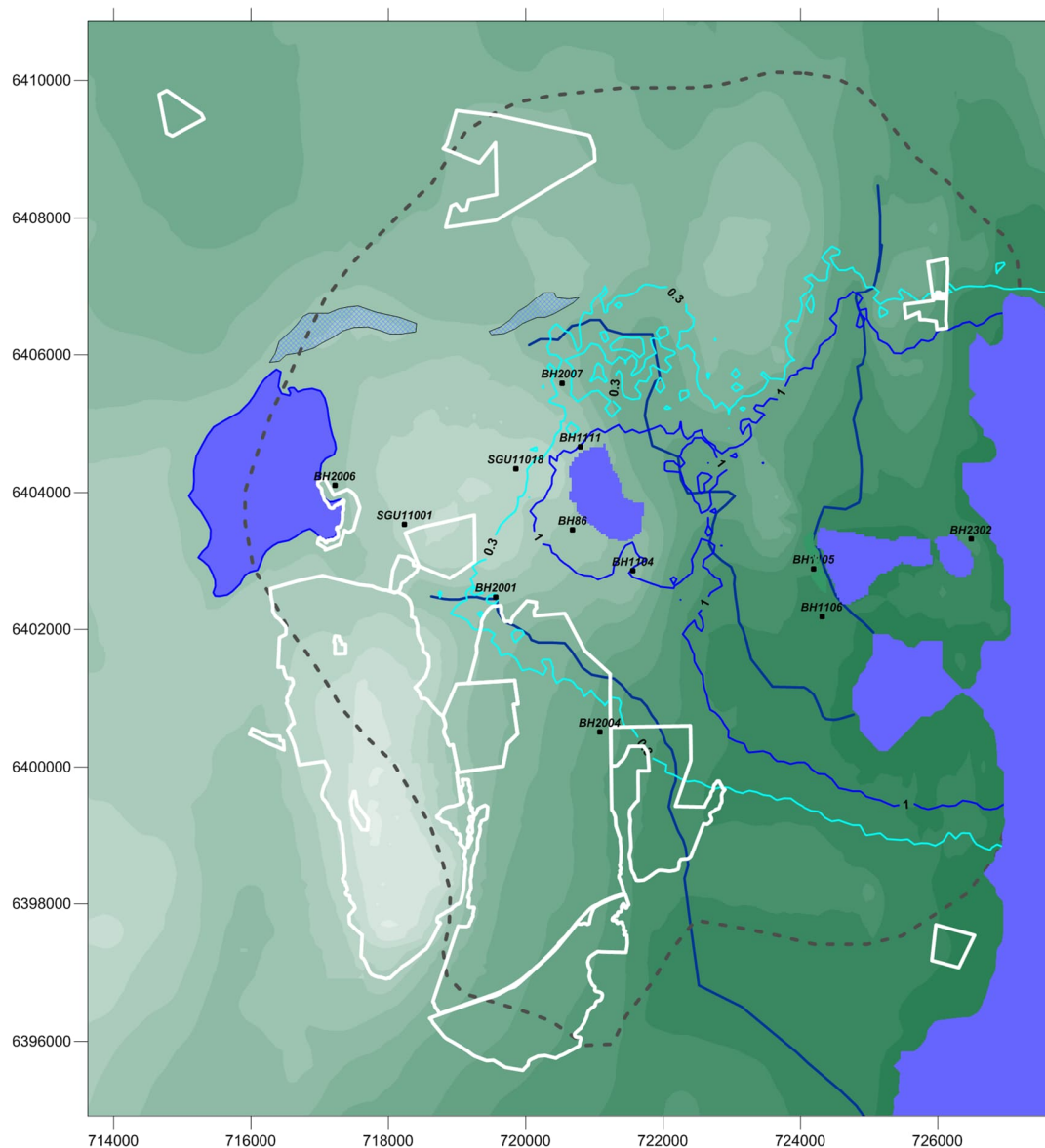
*Påverkansområden med klimateffekter.*

Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.  
 Vattennivån i Västra och Östra botten= +1 möh

<i>Röd linje (avsänkning)</i>	= - 1.0 m
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	= - 0.3 m
<i>Blå linje (höjning)</i>	= +1.0 m
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	= +0.3 m

*Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.*  
*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-16 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 70: Vår, April månad. Scenario *LT2F-Noll-70a*

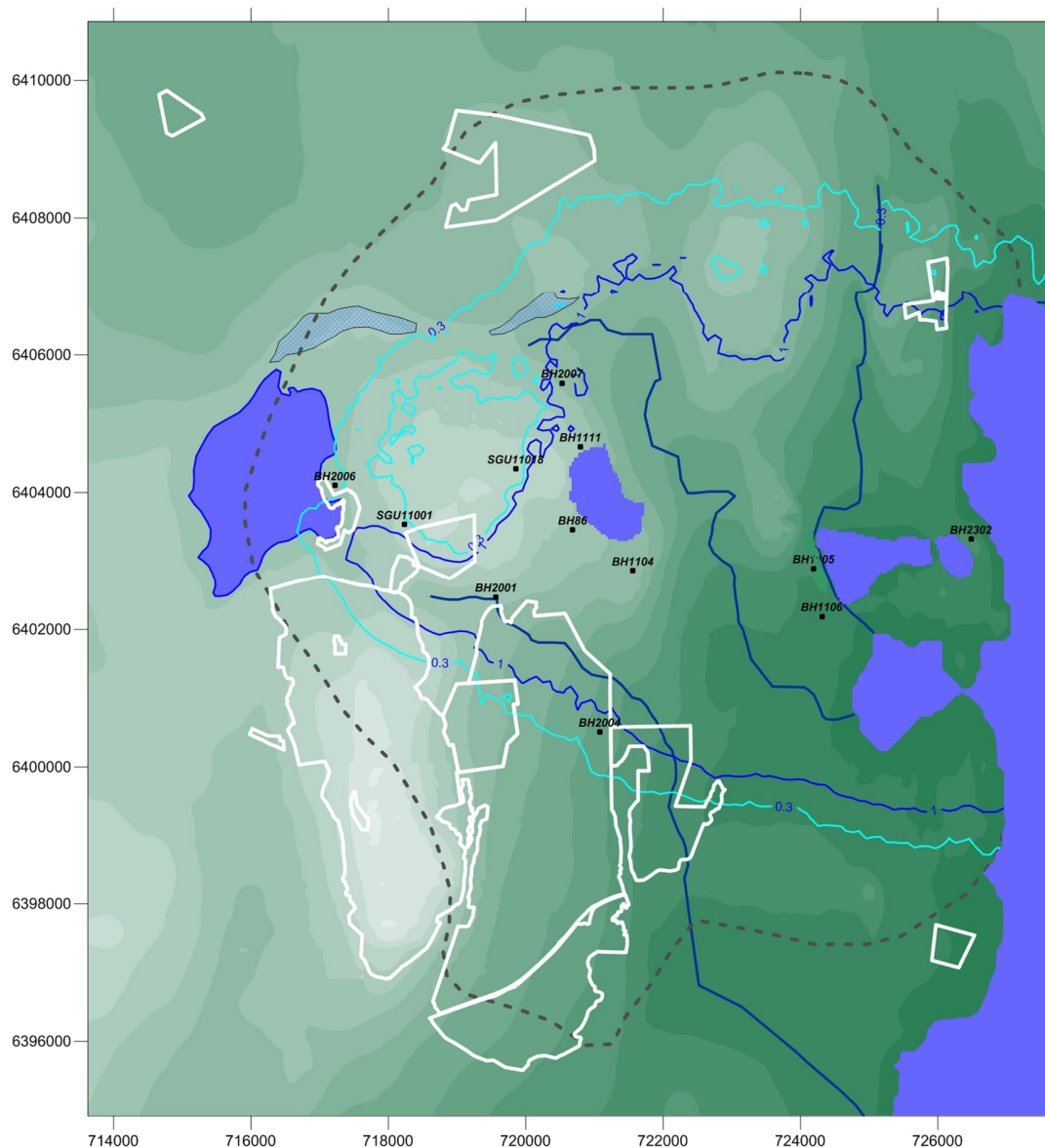
Påverkansområden **utan** klimateffekter.

Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.  
Vattennivån i Västra och Östra botten= +1 möh

Röd linje (avsänkning)	= - 1.0 m
Gul linje (avsänkning)	= - 0.3 m
Blå linje (höjning)	= +1.0 m
Ljusblå linje (höjning)	= +0.3 m

Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastrering

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-17 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 70: Sommar, Juli månad. Scenario *LT2F-Noll-70a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.*

*Vattennivån i Västra och Östra botten= +1 möh*

*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m*

*Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m*

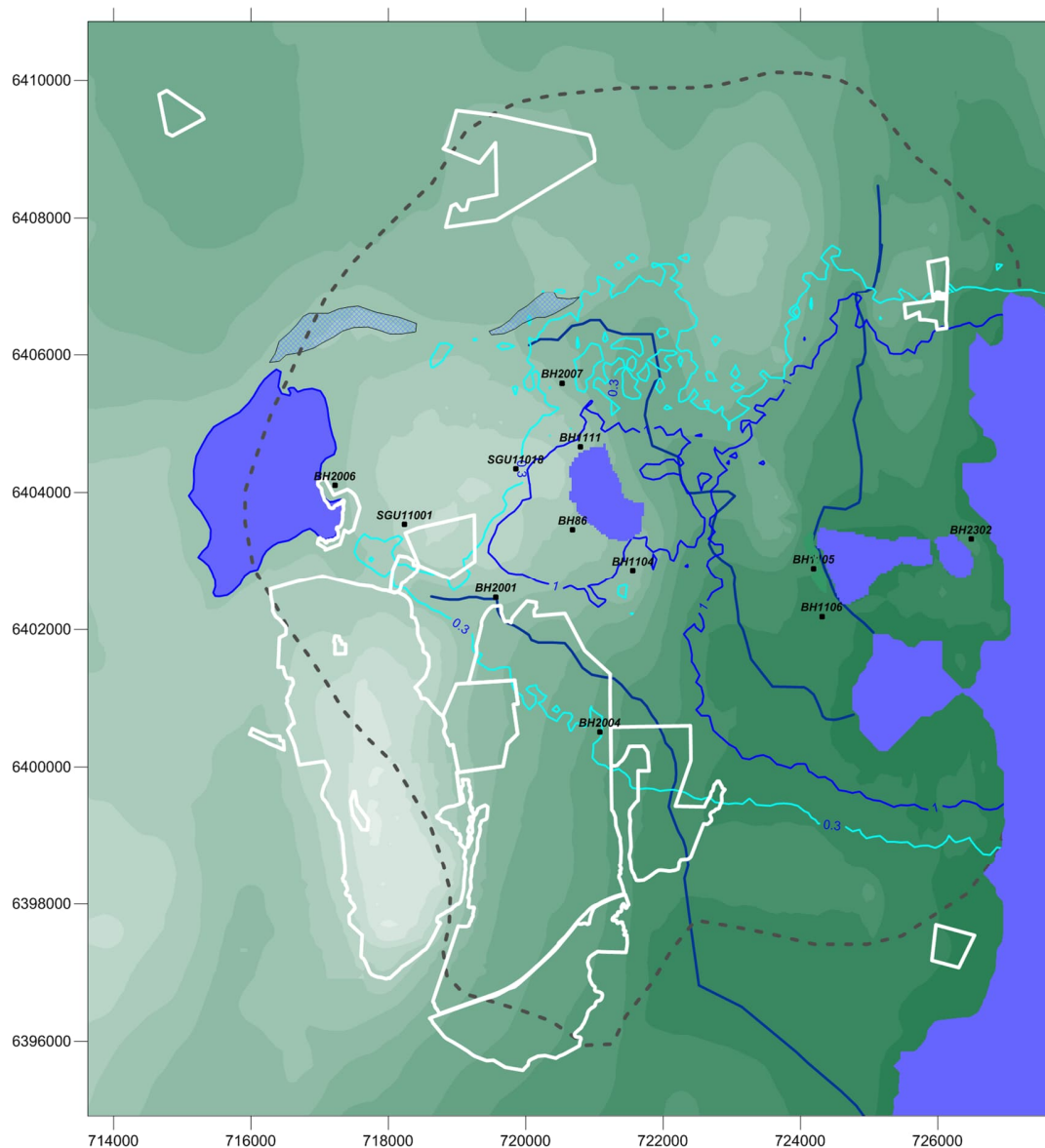
*Blå linje (höjning) = +1.0 m*

*Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m*

*Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.*

*Glacifluvium markerat med blå rastrering*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-18 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 70: Höst, September månad. Scenario *LT2F-Noll-70a*

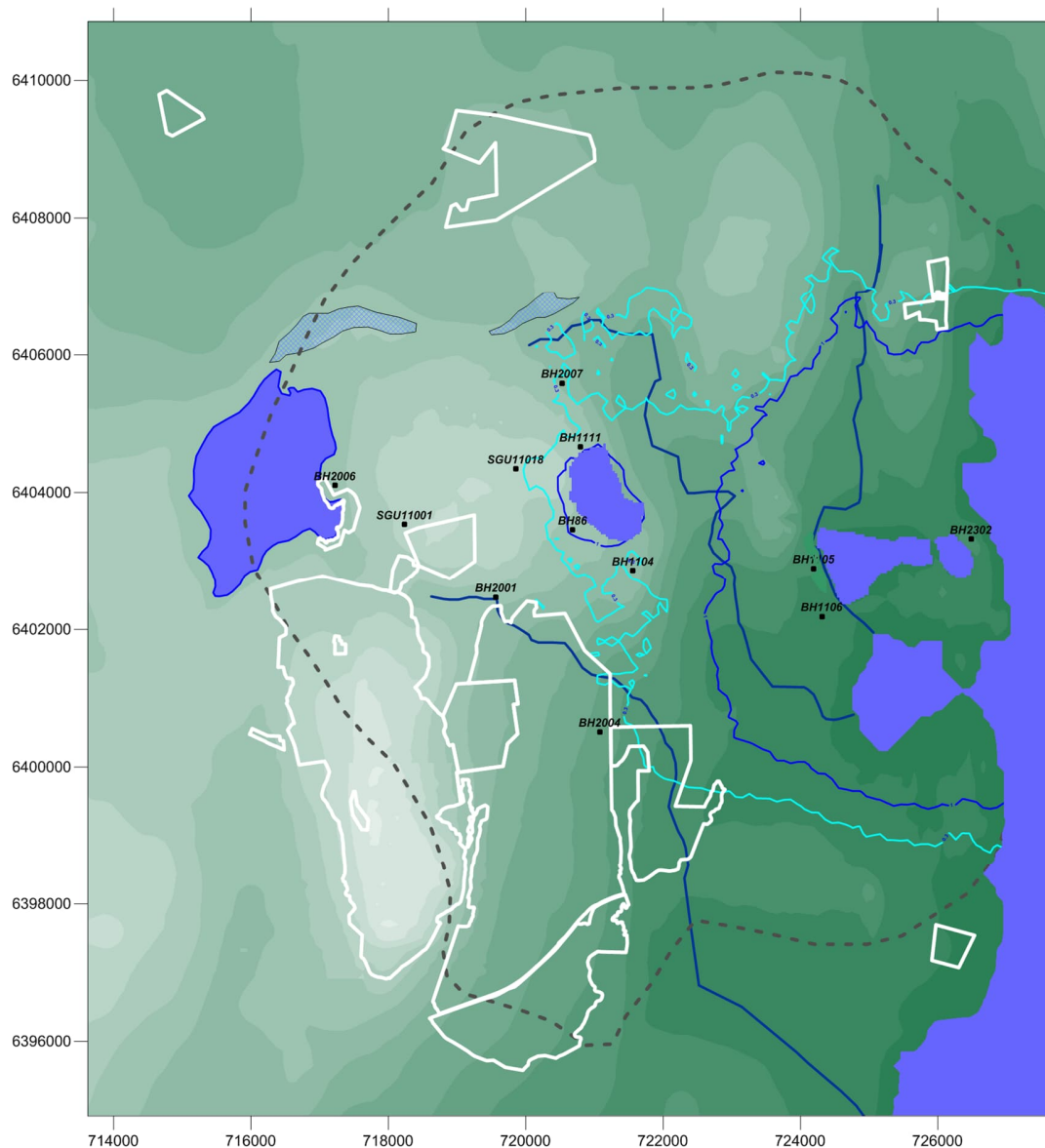
*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.  
Vattennivån i Västra och Östra botten= +1 möh*

*Röd linje (avsänkning) = - 1.0 m  
Gul linje (avsänkning) = - 0.3 m  
Blå linje (höjning) = +1.0 m  
Ljusblå linje (höjning) = +0.3 m*

*Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastrering*

GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 18-19 Påverkansområden för berggrundvatten, djup 5m-47m.

År 70: Vinter, December månad. Scenario *LT2F-Noll-70a*

*Påverkansområden med klimateffekter.*

*Vattennivån i File hajdar dagbrott= +22.5m ö.h.  
Vattennivån i Västra och Östra botten= +1 möh*

<i>Röd linje (avsänkning)</i>	<i>= - 1.0 m</i>
<i>Gul linje (avsänkning)</i>	<i>= - 0.3 m</i>
<i>Blå linje (höjning)</i>	<i>= +1.0 m</i>
<i>Ljusblå linje (höjning)</i>	<i>= +0.3 m</i>

*Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.  
Glacifluvium markerat med blå rastrering*

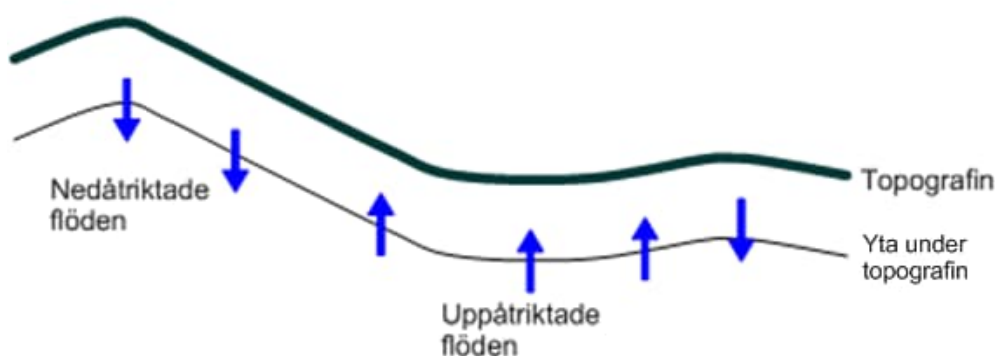


## 19. APPENDIX D: Förändring av grundvattenflöden i lokala områden. Beräkningsmetodik

### 19.1.1 Metodik

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottens utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Vi har beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal områden runt dagbrotten. Dessa områdens utbredning är anpassade till topografin och ytvattensystemet – områdena är lokala avrinningsområden. De beräknade flödena som presenteras nedan används bla i hydrologiska analyser av dessa områden.

Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet beräknats för varje beräkningscell längs med en yta på djupet 7.5 m. Det finns både uppåtriktade och nedåtriktade grundvattenflöden inom varje område. Detta visas principiellt i Figur 19-1.



Figur 19-1 Principskiss som visar uppåtriktade och nedåtriktade grundvattenflöden längs med en yta på ett visst djup, tex 7.5 m

För ett visst djup kan ett nettoflöde beräknas som skillnaden mellan de uppåtriktade och nedåtriktade grundvattenflödena.

Ekvation 19-1

$$F = U - N$$

$F$  = Nettoflöde

$U$  = Uppåtriktat flöde

$N$  = Nedåtriktat flöde

Det ovan diskuterade nettoflödet är i områdena kring File hajdar och dagbrotten nedåtriktade. Detta beror främst på följande orsaker: (i) Grundvattnets naturliga flödesmönster är nedåtriktat från högre topografiska nivåer till lägre topografiska nivåer. (ii) De kommunala produktionsbrunnarna tar vatten från de djupt liggande vattenförande lagren och (iii) Västra brottet avleder grundvatten från de djupt liggande vattenförande lagren.

De vattenvolymer som tex de kommunala produktionsbrunnarna tar från de djupt liggande vattenförande lagren måste komma från någonstans, och svaret är naturligtvis att dessa vattenvolymer kommer ovanifrån, från grundvattensystemets översta del via vertikala sprickor. Från detta följer att det vertikala nettoflödet i berget kring dagbrotten på djupet 7.5 m, blir nedåtriktat.

Nettoflödet har beräknats för varje studerat område för följande scenarier:

Referenssituation: Scenario LT2F. Dagbrotten fullt utbrutna enligt tillstånd och dränerade.

Framtida situation: Den analyserade framtida situationen.

Nettoflödena för de framtida situationerna har jämförts med referenssituationen.

Referenssituationen är situationen då det befintliga tillståndet löper ut; dagbrotten är fullt utbrutna enligt tillstånd och dränerade. Förändringen i nettoflödet är den påverkan som dagbrottens utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten kommer att orsaka.

Om dagbrotten utvidgas kommer ett nedåtriktat nettoflöde bli större, eftersom dagbrotten kommer att avleda mer grundvatten, och grundvattennivåerna kommer att sjunka. Samtidigt kommer kommunens produktionsbrunnar att fortsätta att pumpa samma volymer som tidigare. Med avseende på Ekvation 19-1 minskar  $U$  i storlek och  $N$  ökar i storlek.

Om dagbrotten vattenfylls kommer ett nedåtriktat nettoflöde att bli mindre, eftersom dagbrotten kommer att avleda mindre grundvatten, och grundvattennivåerna kommer att stiga. Samtidigt kommer kommunens produktionsbrunnar att fortsätta att pumpa samma volymer som tidigare. Med avseende på Ekvation 19-1 ökar  $U$  i storlek och  $N$  minskar i storlek. Hur stor förändringen blir beror på dagbrottens storlek och djup, och på en eventuell vattennivå i dagbrotten, och även på kommunens uttag i produktionsbrunnarna, klimatförändringar, skyddsåtgärder vattennivån i Västra och Östra brotten mm.

När vi beräknar förändringen i nettoflöde för två situationer beräknar vi alltså nettoflödet för den första situationen ( $F1$ ) med Ekvation 19-1, och sedan nettoflödet för den andra situationen ( $F2$ ) med Ekvation 19-1, därefter subtraherar vi dess två nettoflöden, och får då förändringen i nettoflöde:

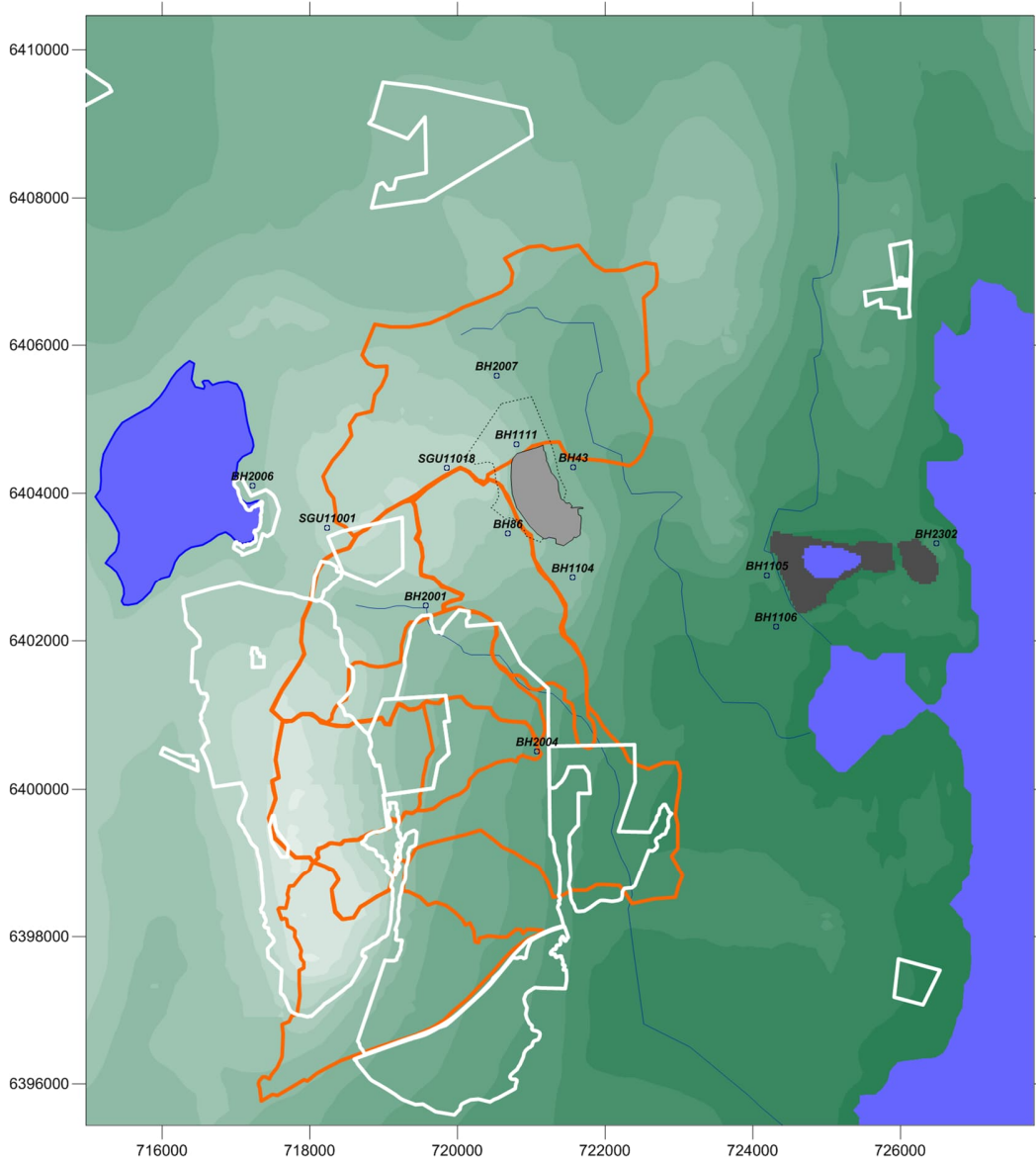
*Ekvation 19-2*

$$F_{diff} = F2 - F1.$$

Det studerade grundvattensystemet är tredimensionellt, och inkluderar ytvattenflöden, produktionsbrunnar och dagbrotten. Analysen utförs för en tvådimensionell yta på djupet 7.5 m. Grundvattenflödena är inte heller nödvändigtvis begränsade av lokala ytvattendelare. Det betyder att summan av flöden från olika områden, som tillsammans täcker ett större område, inte nödvändigtvis blir lika med flödet från det stora området om det stora området analyseras som en enhet.

Om området som studeras (tex ett lokalt avrinningsområde) är mindre än det totala påverkansområdet blir även områdena utanför det studerade området påverkade. En avsänkning av grundvattennivåerna inom det studerade området kan leda till att mängden vatten från omgivningen som strömmar mot det studerade området ökar, vilket i sin tur kan leda till att det uppåtriktade flödet ökar i storlek, samtidigt som det nedåtriktade flödet också ökar i storlek, nettoflödet kan då tex öka mindre än det nedåtriktade flödet.

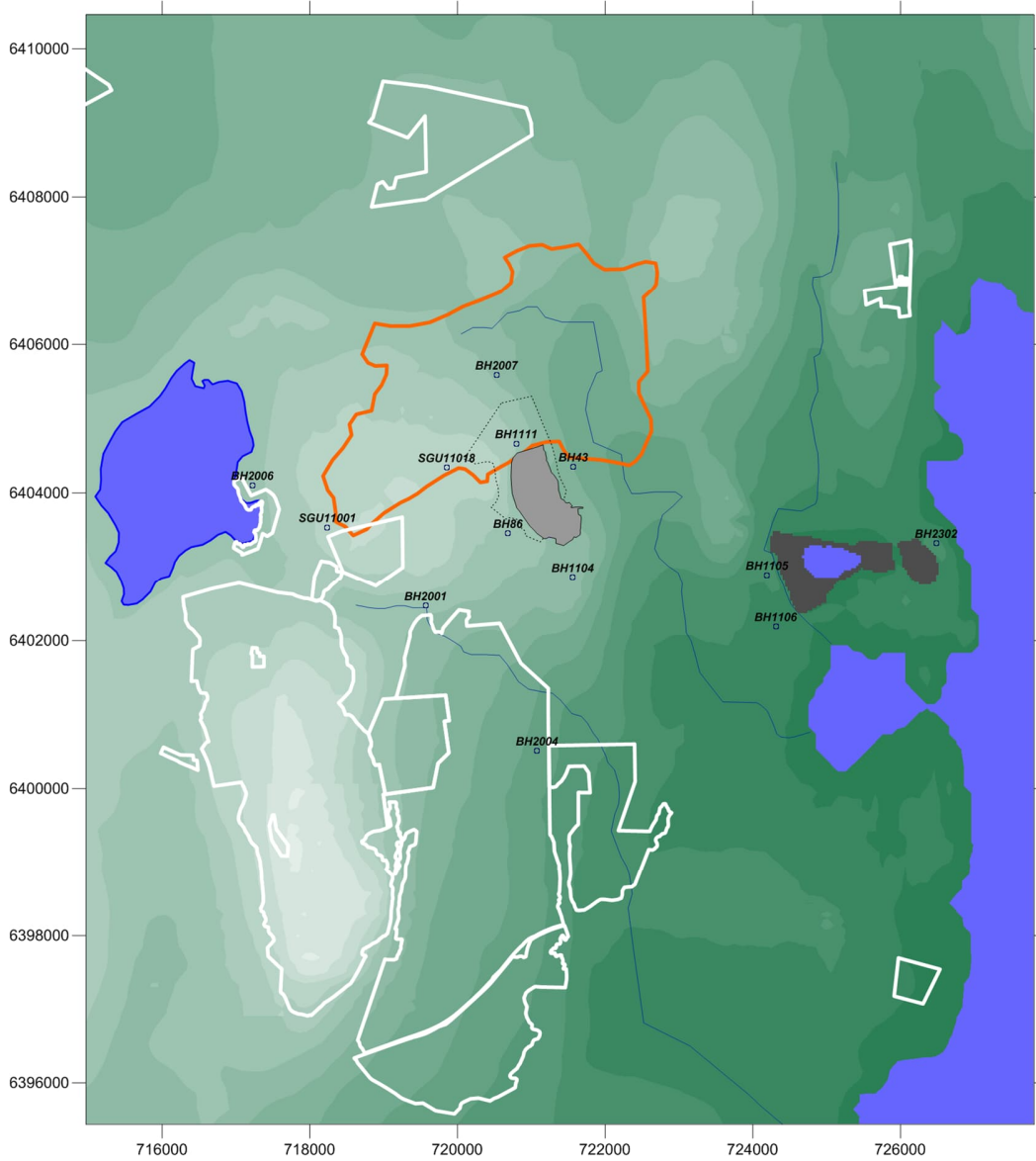
GRUNDVATTENMODELL SLITE



Figur 19-2 Lokala avrinningsområden för vilka förändringar i grundvattenflödena har beräknats. Markerade med brandgul linje. Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

### 19.1.2 Område 1

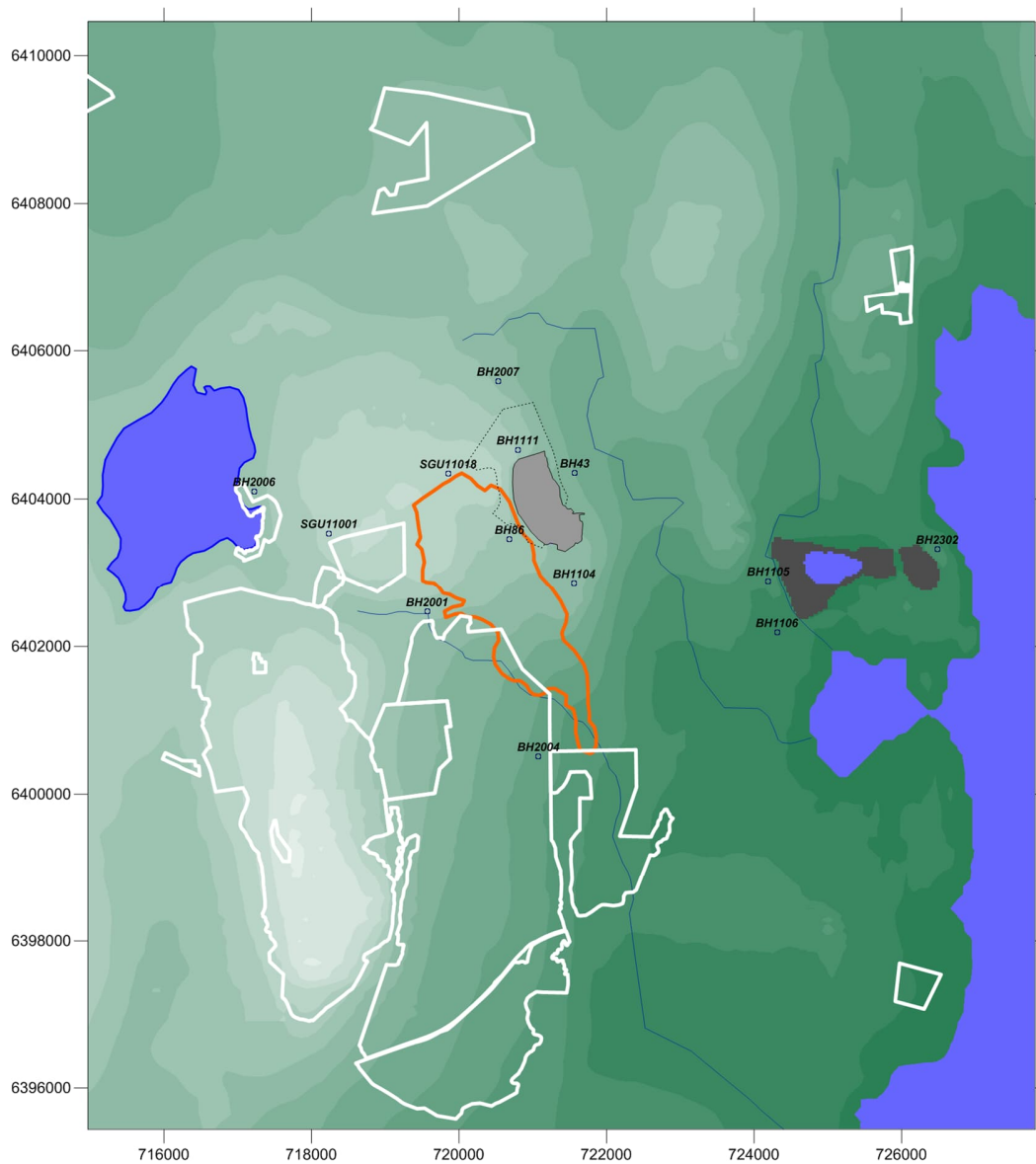
Det studerade området visas i figuren nedan. Arean är 10.7 km<sup>2</sup>.



Figur 19-3 Område 1. Markerat med brandgul linje. Natura 2000 områdena markerade med vita linjer. Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

### 19.1.3 Område 2

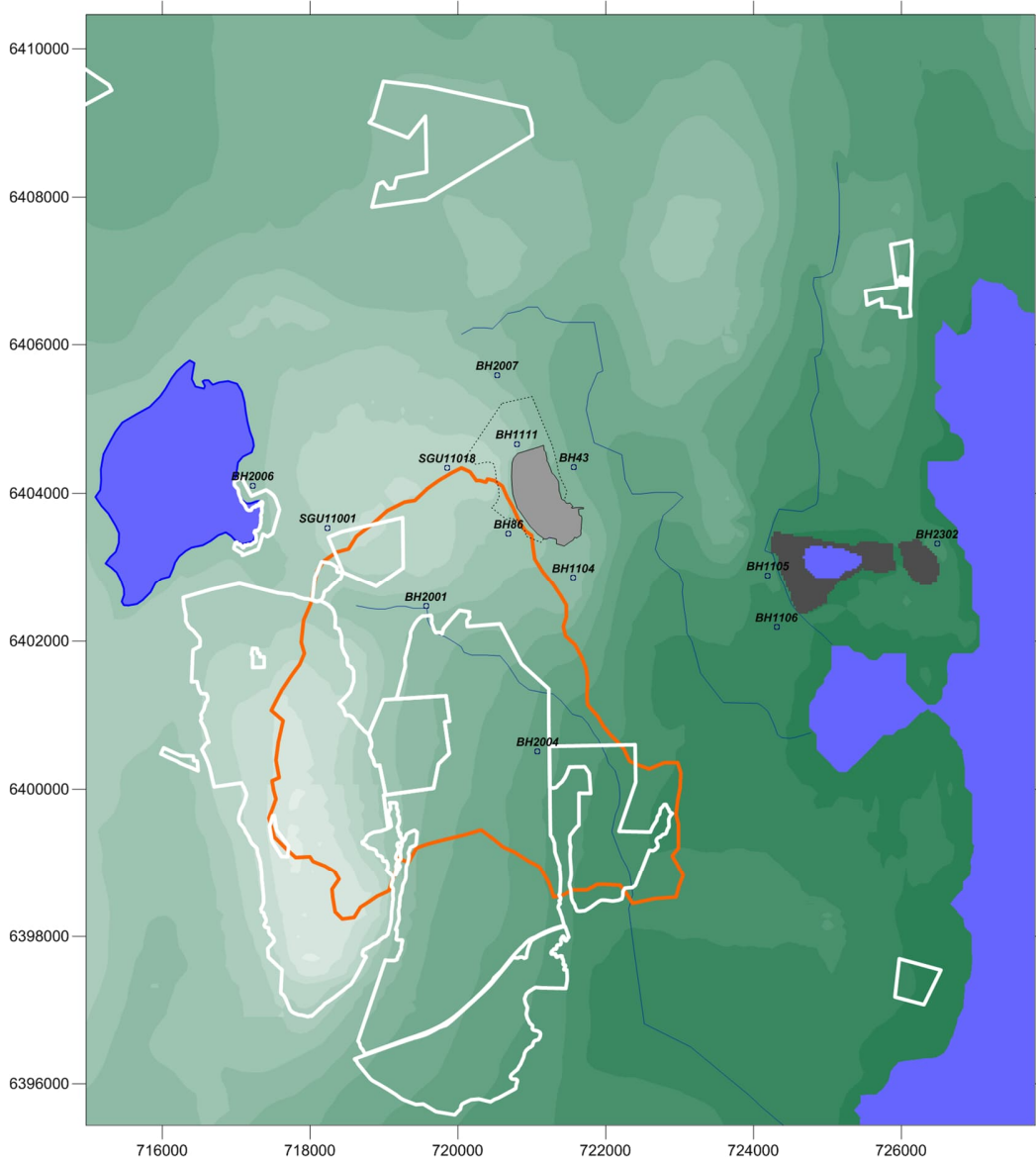
Det studerade området visas i figuren nedan. Arean är 4.1 km<sup>2</sup>.



Figur 19-4 Område 2. Markerat med brandgul linje. Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

### 19.1.4 Område 3

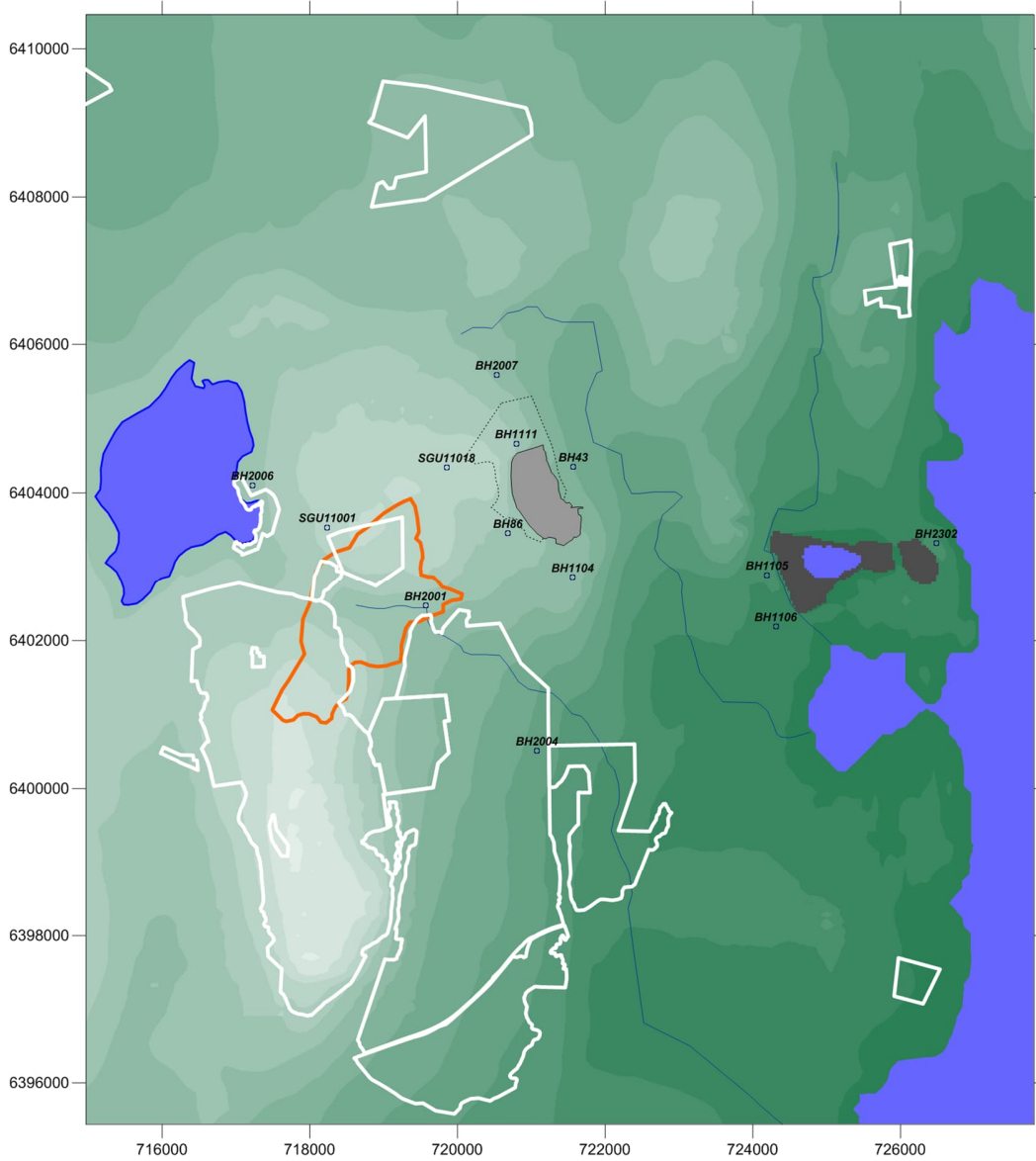
Det studerade området visas i figuren nedan. Arean är 22 km<sup>2</sup>.



Figur 19-5 Område 3. Markerat med brandgul linje. Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

### 19.1.5 Område 4

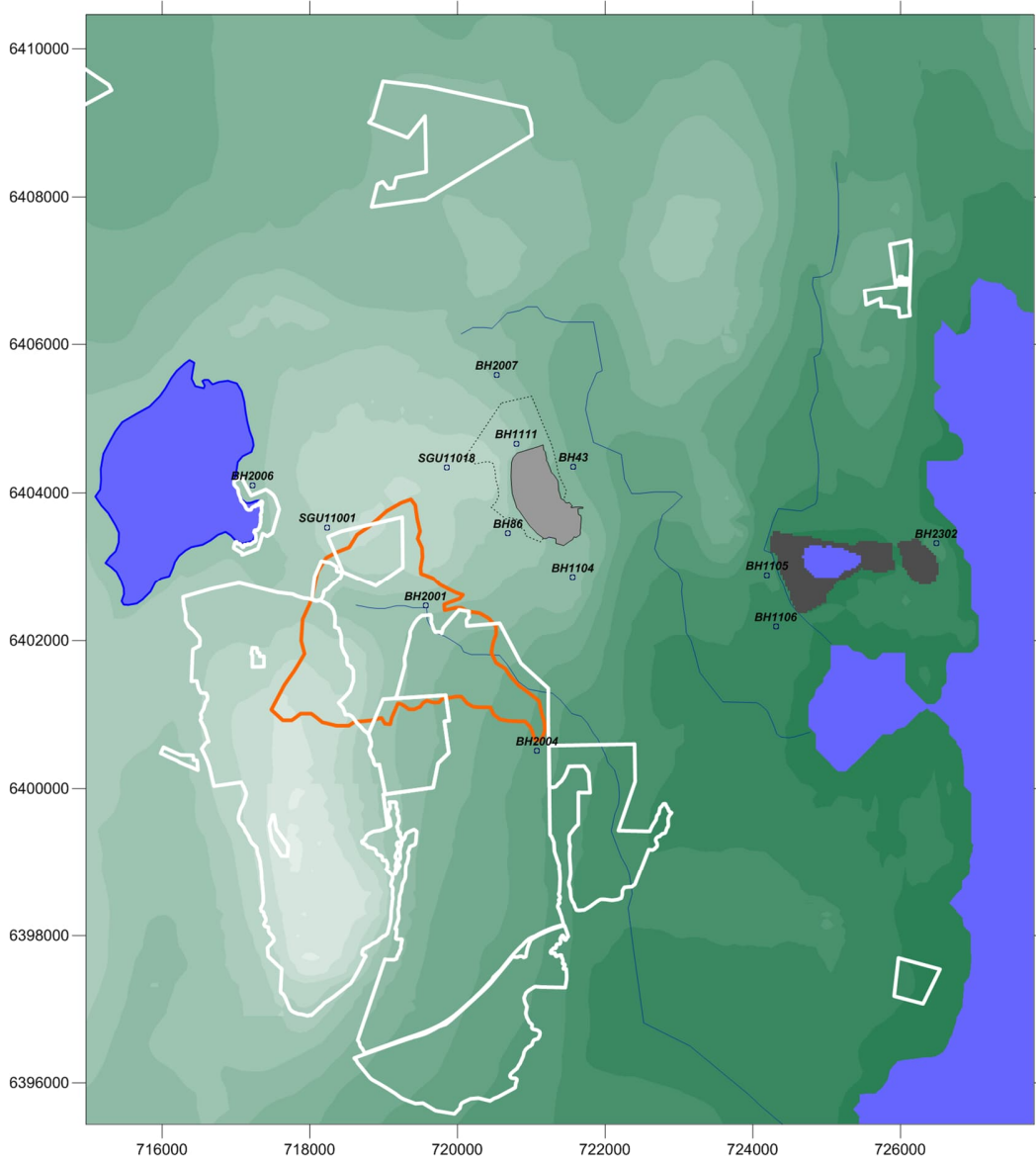
Det studerade området visas i figuren nedan. Arean är 3.7 km<sup>2</sup>.



Figur 19-6 Område 4. Markerat med brandgul linje. Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

**19.1.6 Område 5**

Det studerade området visas i figuren nedan. Arean är 6.3 km<sup>2</sup>.

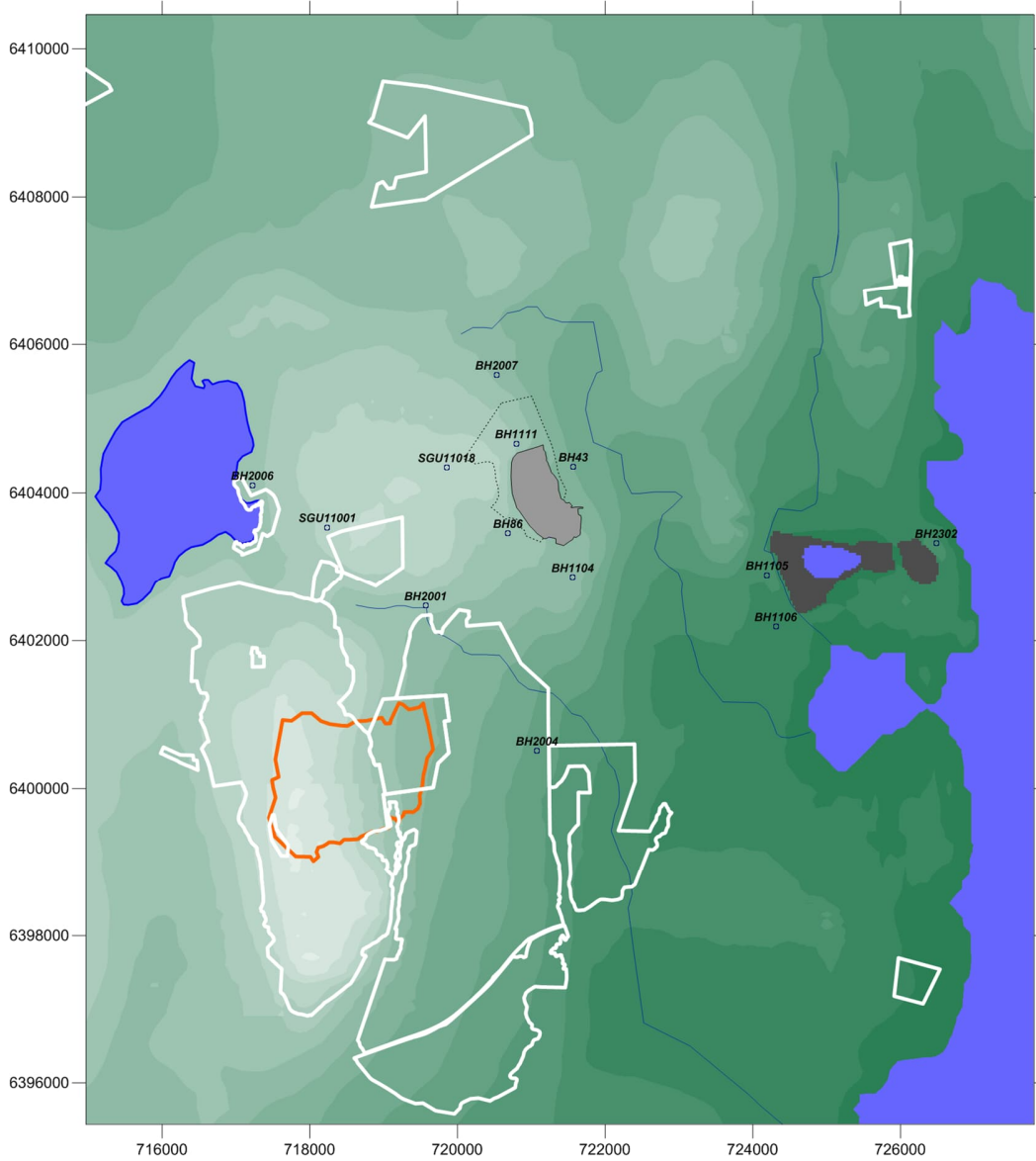


Figur 19-7 Område 5. Markerat med brandgul linje. Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.



**19.1.7 Område 6**

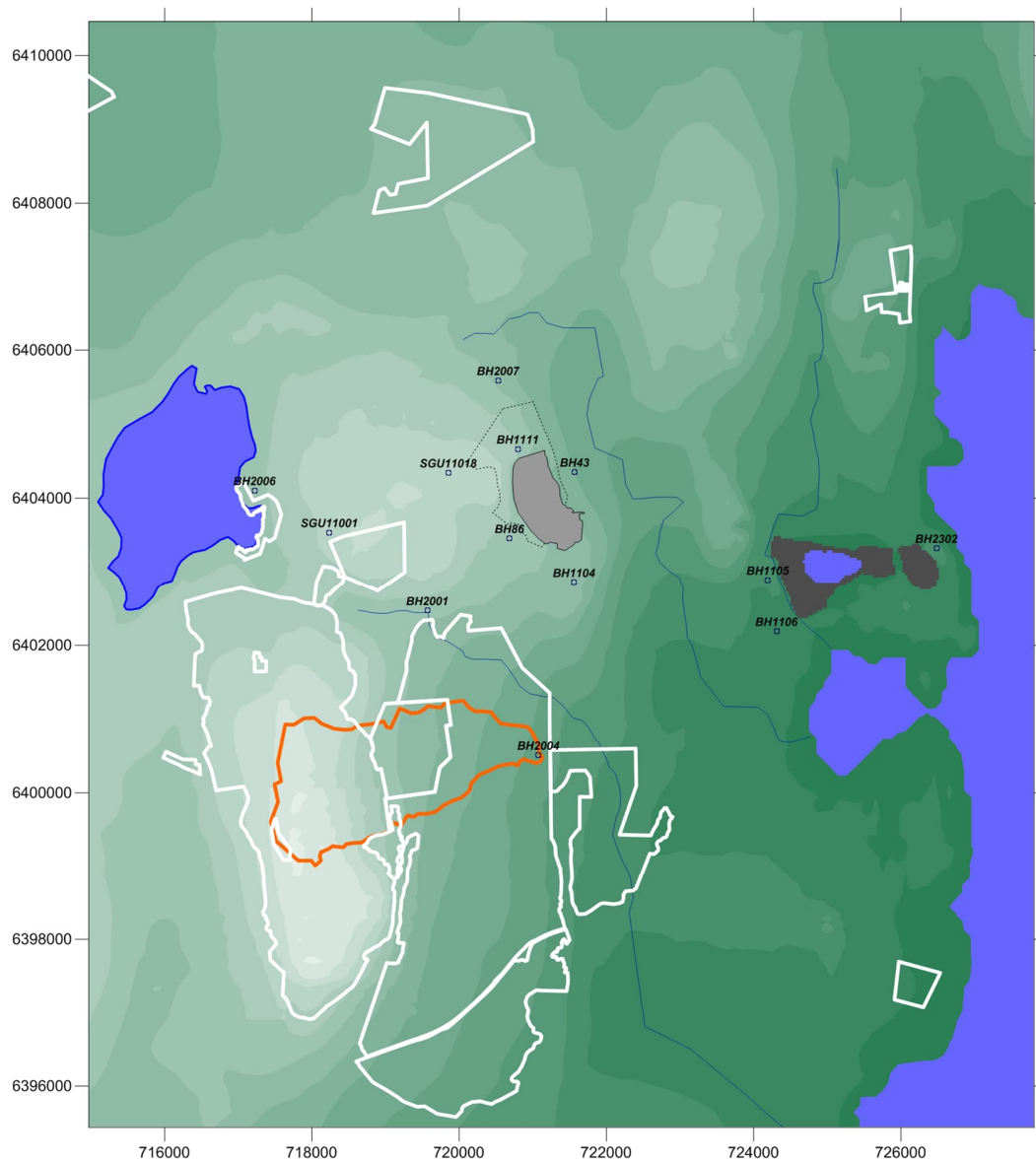
Det studerade området visas i figuren nedan. Arean är 3.6 km<sup>2</sup>.



Figur 19-8 Område 6. Markerat med brandgul linje. Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

### 19.1.8 Område 7

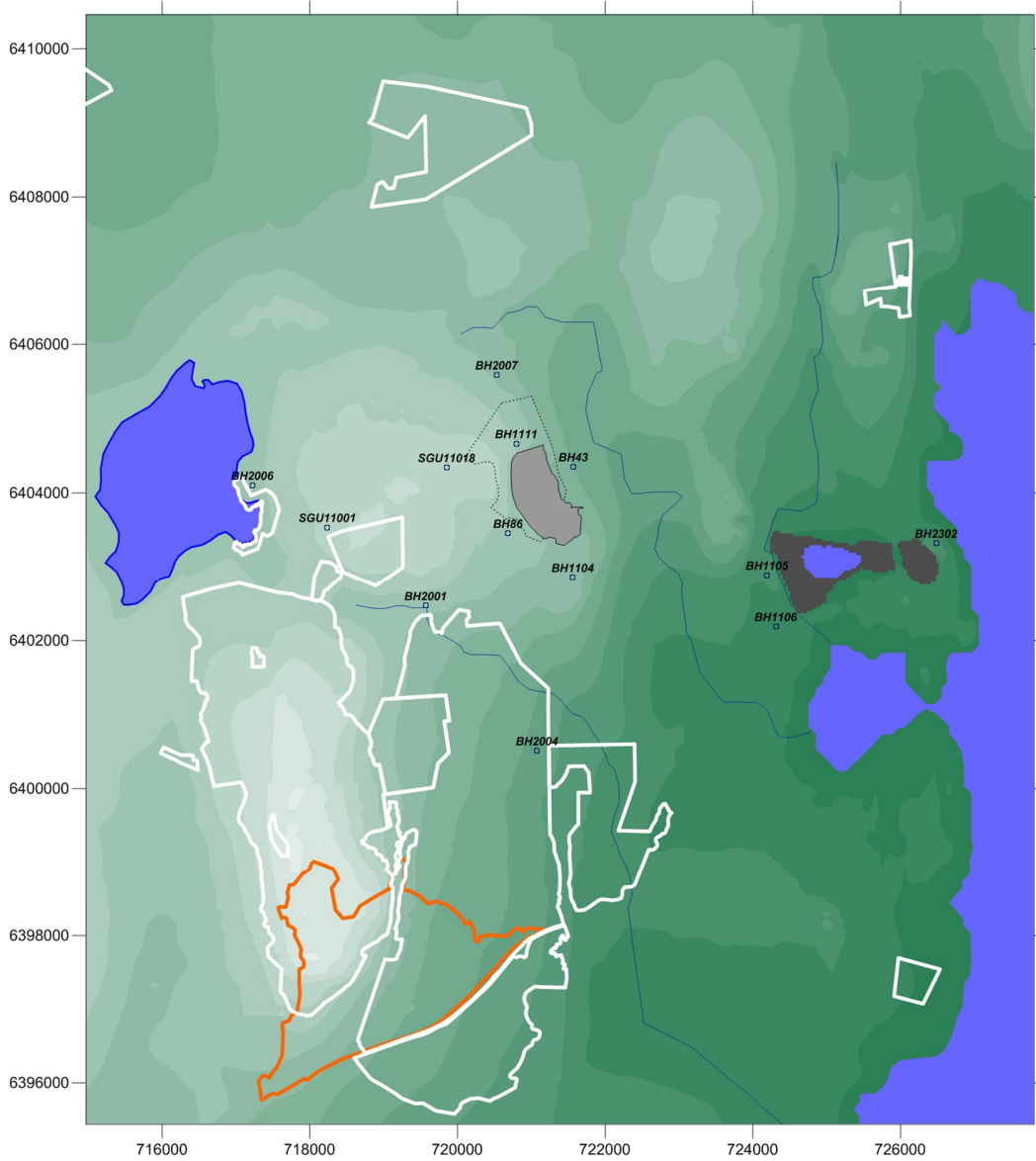
Det studerade området visas i figuren nedan. Arean är 5.1 km<sup>2</sup>.



Figur 19-9 Område 7. Markerat med brandgul linje. Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

**19.1.9 Område 8**

Det studerade området visas i figuren nedan. Området ligger långt från dagbrotten.



Figur 19-10 Område 8. Markerat med brandgul linje. Natura 2000 områdena markerade med vita linjer.

## 20. APPENDIX E - Beräknad förändring av flödet av ytligt berggrundvatten i lokala avrinningsområden

### Grundvattenflöden i berget i de lokala avrinningsområdena nära File hajdar

Grundvattenflödena i berget påverkas av dagbrottens utvidgning och en framtida vattenfyllning av dagbrotten. Men hjälp av den upprättade modellen har vi beräknat hur grundvattenflödena förändras i ett antal lokala avrinningsområden runt dagbrotten. Dessa områdens utbredning är anpassade till topografin och ytvattensystemet eftersom områdena är lokala avrinningsområden. Inom varje område har det vertikala grundvattenflödet beräknats längs med en yta på djupet ca 7.5 m. Det finns både uppåtriktade och nedåtriktade grundvattenflöden inom varje område. Ett nettoflöde kan beräknas som skillnaden mellan de uppåtriktade och nedåtriktade grundvattenflöden. Det ovan diskuterade nettoflödet är i områdena kring dagbrotten nedåtriktade. Metoden diskuteras i Appendix D, Sektion 19.

Nettoflödet har beräknats för den tillståndsgivna situationen (för varje studerat område), nettoflödet har också beräknats för de olika framtida situationerna (för varje studerat område), sedan jämförs de beräknade flödena för de framtida situationerna med de beräknade flödena för den tillståndsgivna situationen. Skillnaden är förändringen i ytligt berggrundvatten i de studerade lokala avrinningsområdena. När File hajdar dagbrott utvidgas och görs djupare blir det en förlust av ytligt berggrundvatten, och när dagbrotten vattenfylls blir det en vinst av ytligt berggrundvatten, för de lokala avrinningsområdena.

De beräknade flödena visas i tabeller nedan.

## GRUNDVATTENMODELL SLITE

Tabellen nedan visar beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, en förändring i förhållande till den tillståndsgivna situationen. Metoden diskuteras i Sektion 19. De negativa talen i tabellen indikerar en förlust av berggrundvatten från de lokala avrinningsområdena. Förlusten orsakas av utökningen av File hajdar dagbrott.

Tabell 20-1 Beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, för varje månad under ett normalår. Ansökt situation år 8, inga skyddsåtgärder.

[Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat. Scenario LT2F.]  
och

[Ansökt situation år 8. Inga skyddsåtgärder. Scenario Sc8R4K-VbG1Vam265.]

Sc8R4K-VbG1Vam265.dat

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8
	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F
Månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad
1	-3 907	-11 689	-13 830	-979	-1 912	-64	-215	Nära noll
2	-3 199	-11 457	-13 624	-980	-1 929	-66	-221	Nära noll
3	-2 009	-11 212	-13 515	-1 002	-1 964	-67	-220	Nära noll
4	-2 903	-1 696	-5 098	-1 636	-2 739	-80	-277	Nära noll
5	-969	-1 205	-4 005	-373	-1 936	-92	-354	Nära noll
6	-179	0	-2 856	-220	-1 717	-116	-400	Nära noll
7	0	0	-1 894	-92	-1 190	-113	-359	Nära noll
8	-4 938	-1 778	-7 355	-2 957	-4 560	-133	-434	Nära noll
9	-3 258	-858	-6 342	-2 719	-4 449	-120	-403	Nära noll
10	-2 935	-6 371	-11 401	-1 380	-2 869	-112	-364	Nära noll
11	-4 388	-11 883	-14 425	-1 095	-2 162	-98	-303	Nära noll
12	-4 854	-12 029	-14 503	-1 024	-1 994	-84	-264	Nära noll
Summa	-33 539	-70 179	-108 847	-14 456	-29 422	-1 147	-3 813	0

## GRUNDVATTENMODELL SLITE

Tabellen nedan visar beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, en förändring i förhållande till den tillståndsgivna situationen. Metoden diskuteras i Sektion 19. De negativa talen i tabellen indikerar en förlust av berggrundvatten från de lokala avrinningsområdena. Förlusten orsakas av utökningen av File hajdar dagbrott.

Tabell 20-2 Beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, för varje månad under ett normalår. Ansökt situation år 20, inga skyddsåtgärder.

[Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat. Scenario LT2F.]

och

[Ansökt situation år 20. Inga skyddsåtgärder. Scenario Sc20R4K-VbG1Vam18-work.]

Sc20R4K-VbG1Vam18-work.dat

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8
	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F
Månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad
1	-4 443	-15 218	-18 243	-1 361	-2 608	-95	-304	Nära noll
2	-3 792	-13 841	-16 811	-1 344	-2 609	-89	-292	Nära noll
3	-2 930	-14 140	-17 214	-1 384	-2 667	-93	-304	Nära noll
4	-3 950	0	-840	-1 886	-3 420	-76	-359	Nära noll
5	-979	-937	-4 340	-410	-2 325	-132	-465	Nära noll
6	0	0	-3 139	-241	-1 920	-144	-477	Nära noll
7	0	0	-2 099	-92	-1 320	-137	-421	Nära noll
8	-4 575	-18	-5 244	-1 941	-4 006	-173	-537	Nära noll
9	-4 302	-1 389	-7 874	-3 179	-5 220	-153	-493	Nära noll
10	-3 278	-8 440	-14 353	-1 901	-3 737	-138	-443	Nära noll
11	-4 661	-15 490	-18 923	-1 460	-2 848	-125	-391	Nära noll
12	-5 009	-15 518	-18 876	-1 384	-2 673	-113	-352	Nära noll
Summa	-37 918	-84 991	-127 956	-16 583	-35 353	-1 468	-4 836	0

## GRUNDVATTENMODELL SLITE

Tabellen nedan visar beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, en förändring i förhållande till den tillståndsgivna situationen. Metoden diskuteras i Sektion 19. De negativa talen i tabellen indikerar en förlust av berggrundvatten från de lokala avrinningsområdena. Förlusten orsakas av utökningen av File hajdar dagbrott.

Tabell 20-3 Beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, för varje månad under ett normalår. Ansökt situation år 30, inga skyddsåtgärder.

[Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat. Scenario LT2F.]

och

[Ansökt situation år 30. Inga skyddsåtgärder. Scenario Sc30R4K-VbG1Vam11]

Sc30R4K-VbG1Vam11.dat

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8
	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F
Månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad
1	-5 269	-17 091	-20 516	-1 584	-3 009	-106	-344	Nära noll
2	-4 539	-16 177	-19 602	-1 568	-3 013	-106	-345	Nära noll
3	-3 165	-12 759	-16 602	-1 681	-3 227	-98	-343	Nära noll
4	-4 196	0	-1 325	-2 138	-3 862	-96	-414	Nära noll
5	-832	-829	-4 433	-438	-2 485	-144	-506	Nära noll
6	0	0	-3 157	-251	-1 989	-159	-509	Nära noll
7	0	0	-2 071	-97	-1 354	-145	-439	Nära noll
8	-4 789	-2 077	-8 413	-3 359	-5 198	-177	-529	Nära noll
9	-4 267	0	-5 854	-3 253	-5 276	-148	-502	Nära noll
10	-3 685	-8 034	-13 716	-2 025	-4 034	-155	-487	Nära noll
11	-4 949	-16 069	-19 826	-1 689	-3 254	-134	-417	Nära noll
12	-5 646	-15 988	-19 622	-1 620	-3 091	-122	-379	Nära noll
Summa	-41 335	-89 023	-135 138	-19 704	-39 792	-1 591	-5 214	0

## GRUNDVATTENMODELL SLITE

Tabellen nedan visar beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, en förändring i förhållande till den tillståndsgivna situationen. Metoden diskuteras i Sektion 19. Negativa tal i tabellen indikerar en förlust av berggrundvatten från de lokala avrinningsområdena. Positiva tal i tabellen indikerar en vinst av berggrundvatten för de lokala avrinningsområdena.

Tabell 20-4 Beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, för varje månad under ett normalår. Framtida situation efter avslutad verksamhet, ca 10 år efter avslutad verksamhet.

Enligt tillstånd. Scenario LT2F.

Och

Ansökt situation ca år 70. Scenario Sc70G1R4K-VbG1Vam5-FH10-wp1

M2023SweRef--M81--Sc70G1R4K-VbG1Vam5-FH10-wp1-work.dat

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8
	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F
Månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad
1	-3 529	551	-90	-373	-673	-33	-94	Nära noll
2	-3 009	627	-18	-374	-669	-26	-88	Nära noll
3	-1 792	383	-440	-375	-710	-18	-78	Nära noll
4	-2 699	4 841	3 391	-633	-1 124	-10	-116	Nära noll
5	-371	-103	-1 323	-140	-844	-50	-175	Nära noll
6	249	720	-705	-66	-615	-57	-170	Nära noll
7	456	457	206	36	-133	-48	-115	Nära noll
8	-2 062	-920	-2 112	-624	-985	-44	-118	Nära noll
9	-2 292	1 414	-423	-805	-1 454	-35	-129	Nära noll
10	-2 271	1 404	167	-373	-757	-38	-116	Nära noll
11	-3 318	1 395	757	-369	-686	-34	-104	Nära noll
12	-3 465	2 302	1 733	-374	-683	-25	-86	Nära noll
Summa	-24 104	13 070	1 143	-4 469	-9 333	-417	-1 389	0



## GRUNDVATTENMODELL SLITE

Tabellen nedan visar beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, en förändring i förhållande till den tillståndsgivna situationen. Metoden diskuteras i Sektion 19. Negativa tal i tabellen indikerar en förlust av berggrundvatten från de lokala avrinningsområdena. Positiva tal i tabellen indikerar en vinst av berggrundvatten för de lokala avrinningsområdena.

Tabell 20-5 Beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, för varje månad under ett normalår. Framtida situation efter avslutad verksamhet på lång sikt, ca 80 år efter avslutad verksamhet, File hajdar dagbrott och Västra brottet vattenfyllda.

Enligt tillstånd. Scenario LT2F.

Och

Ansökt situation ca år 70. Scenario Sc70R4K-VbG1Vap1-FH26-wp1

M2023SweRef--M81--Sc70G1R4K-VbG1Vap1-FH26-wp1-work.dat

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8
	Sce - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F	SCE - LT2F
Månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad
1	4 777	9 119	10 564	408	823	21	86	Nära noll
2	4 642	9 013	10 472	413	855	28	97	Nära noll
3	4 600	8 142	9 484	503	1 002	37	118	Nära noll
4	2 946	7 017	8 714	752	1 297	63	149	Nära noll
5	1 248	1 717	3 585	327	1 263	42	196	Nära noll
6	1 259	2 361	4 632	365	1 867	63	305	Nära noll
7	1 113	1 826	5 650	416	2 526	99	442	Nära noll
8	4 451	1 064	5 546	1 978	3 229	127	434	Nära noll
9	3 964	2 597	6 114	1 706	2 814	102	319	Nära noll
10	5 183	6 291	8 927	575	1 183	73	218	Nära noll
11	5 160	9 985	11 739	471	943	59	168	Nära noll
12	5 132	10 938	12 520	422	864	53	154	Nära noll
Summa	44 476	70 069	97 947	8 336	18 666	767	2 686	0

## GRUNDVATTENMODELL SLITE

Tabellen nedan visar beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, en förändring i förhållande till den tillståndsgivna situationen. Metoden diskuteras i Sektion 19. Negativa tal i tabellen indikerar en förlust av berggrundvatten från de lokala avrinningsområdena. Positiva tal i tabellen indikerar en vinst av berggrundvatten för de lokala avrinningsområdena.

Tabell 20-6 Beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, för varje månad under ett normalår. Nollalternativet på lång sikt. File hajdar dagbrott och Västra brottet vattenfyllda.

Enligt tillstånd. Scenario LT2F.

Och

Nollalternativet på lång sikt. Scenario LT2F-Noll-VOp1-FH26m-70a

M2023SweRef--M81--LT2F-Noll-VOp1-FH26m-70a-work.dat

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8
	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F
Månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad
1	2 703	3 092	4 059	286	596	20	74	Nära noll
2	2 544	3 595	4 505	283	605	20	78	Nära noll
3	2 696	4 224	5 143	344	689	30	94	Nära noll
4	2 104	5 938	7 172	510	903	57	123	Nära noll
5	713	1 362	2 864	246	975	26	149	Nära noll
6	789	2 120	3 977	313	1 553	53	254	Nära noll
7	713	1 640	4 969	362	2 172	79	370	Nära noll
8	2 809	226	3 956	1 648	2 653	103	368	Nära noll
9	2 616	1 703	4 436	1 306	2 147	84	266	Nära noll
10	2 653	2 866	4 833	401	856	58	177	Nära noll
11	2 700	4 029	5 229	334	680	50	140	Nära noll
12	3 141	4 656	5 690	300	628	44	126	Nära noll
Summa	26 180	35 449	56 830	6 333	14 456	623	2 219	0

## GRUNDVATTENMODELL SLITE

Tabellen nedan visar beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, en förändring i förhållande till den tillståndsgivna situationen. Metoden diskuteras i Sektion 19. Negativa tal i tabellen indikerar en förlust av berggrundvatten från de lokala avrinningsområdena. Positiva tal i tabellen indikerar en vinst av berggrundvatten för de lokala avrinningsområdena.

Tabell 20-7 Beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, för varje månad under ett normalår. Ansökt situation år 8, med skyddsåtgärder.

[Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat. Scenario LT2F.]

och

[Ansökt situation år 8. Med skyddsåtgärder. Scenario Sc8G1R4K-VbG1Vam265-Sky5]

M2023SweRef--M81--Sc8G1R4K-VbG1Vam265-Sky5-work.dat

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8
	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F
Månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad
1	-4 063	1 589	810	-282	-533	-68	-171	Nära noll
2	-3 460	1 193	461	-265	-508	-61	-153	Nära noll
3	-2 207	11 670	18 214	6 569	7 623	-41	-66	Nära noll
4	-2 666	5 807	12 891	6 695	7 928	-11	9	Nära noll
5	-710	497	3 621	2 092	3 801	24	113	Nära noll
6	-223	-54	-955	-37	-50	8	-18	Nära noll
7	78	127	8	70	188	-4	-44	Nära noll
8	-3 383	-1 223	-919	772	604	-13	-69	Nära noll
9	-2 567	3 281	10 689	7 226	8 388	4	15	Nära noll
10	-2 998	-6 651	-5 050	-163	-315	3	-12	Nära noll
11	-4 189	1 652	1 294	-209	-385	-14	-57	Nära noll
12	-4 373	2 288	1 904	-229	-412	-13	-57	Nära noll
Summa	-30 761	20 172	42 966	22 238	26 331	-186	-509	0

## GRUNDVATTENMODELL SLITE

Tabellen nedan visar beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, en förändring i förhållande till den tillståndsgivna situationen. Metoden diskuteras i Sektion 19. Negativa tal i tabellen indikerar en förlust av berggrundvatten från de lokala avrinningsområdena. Positiva tal i tabellen indikerar en vinst av berggrundvatten för de lokala avrinningsområdena.

Tabell 20-8 Beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, för varje månad under ett normalår. Ansökt situation år 20, med skyddsåtgärder.

[Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat. Scenario LT2F.]

och

[Ansökt situation år 20. Med skyddsåtgärder. Scenario Sc20G1R4K-VbG1Vam18-Sky5]

M2023SweRef--M81--Sc20G1R4K-VbG1Vam18-Sky5-work.dat

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8
	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F
Månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad
1	-4 501	-984	-2 433	-572	-1 048	-93	-240	Nära noll
2	-3 967	-513	-1 875	-546	-1 019	-85	-221	Nära noll
3	-3 132	9 473	15 436	6 280	7 087	-63	-132	Nära noll
4	-3 690	7 752	13 827	6 254	6 931	-2	-44	Nära noll
5	-811	635	2 846	1 920	3 061	-6	15	Nära noll
6	-53	-33	-1 279	-53	-262	-22	-95	Nära noll
7	248	132	-216	62	51	-28	-100	Nära noll
8	-3 637	697	-118	381	-216	-45	-168	Nära noll
9	-3 817	2 433	8 941	6 806	7 630	-26	-70	Nära noll
10	-3 394	-8 252	-7 389	-459	-859	-16	-79	Nära noll
11	-4 467	-903	-1 930	-478	-890	-38	-131	Nära noll
12	-4 389	-262	-1 356	-519	-942	-34	-127	Nära noll
Summa	-35 610	10 175	24 454	19 076	19 522	-457	-1 392	0

## GRUNDVATTENMODELL SLITE

Tabellen nedan visar beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, en förändring i förhållande till den tillståndsgivna situationen. Metoden diskuteras i Sektion 19. Negativa tal i tabellen indikerar en förlust av berggrundvatten från de lokala avrinningsområdena. Positiva tal i tabellen indikerar en vinst av berggrundvatten för de lokala avrinningsområdena.

Tabell 20-9 Beräknad förändring av det vertikala nettoflödet av berggrundvatten på djupet 7.5 m, för varje månad under ett normalår. Ansökt situation år 30, med skyddsåtgärder.

[Enligt tillstånd. Fullt utbrutet och dränerat. Scenario LT2F]  
och

[Ansökt situation år 30. Med skyddsåtgärder. Scenario Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5]

M2023SweRef--M81--Sc30G1R4K-VbG1Vam11-Sky5-work.dat

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8
	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F	S8A - LT2F
Månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad	m3/månad
1	-5 265	-1 673	-3 339	-668	-1 258	-102	-263	Nära noll
2	-4 675	-1 522	-3 135	-654	-1 252	-93	-245	Nära noll
3	-3 292	9 668	15 216	6 147	6 790	-60	-146	Nära noll
4	-3 984	7 499	13 248	6 102	6 631	-10	-69	Nära noll
5	-707	766	2 759	1 930	2 921	-14	-10	Nära noll
6	122	15	-1 279	-70	-331	-30	-114	Nära noll
7	379	183	-150	51	25	-34	-113	Nära noll
8	-4 248	-1 475	-2 024	393	-106	-47	-155	Nära noll
9	-3 876	3 669	9 801	6 697	7 253	-19	-70	Nära noll
10	-3 787	-9 746	-8 989	-570	-1 091	-26	-106	Nära noll
11	-5 002	-707	-1 970	-590	-1 111	-41	-141	Nära noll
12	-5 305	159	-1 108	-613	-1 134	-41	-140	Nära noll
Summa	-39 641	6 837	19 029	18 155	17 337	-516	-1 571	0

## 21. Appendix F – Hur effekten av injektering av berget är inkluderad i modellen

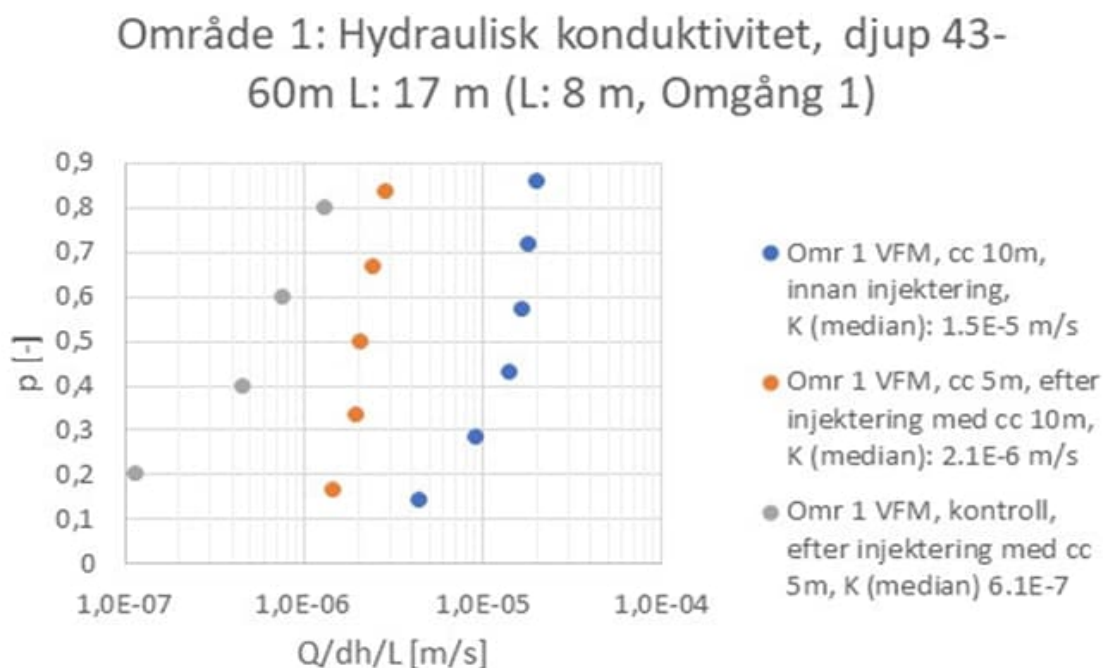
En skyddsåtgärd som är inkluderad i den upprättade modellen är injektering. Skyddsåtgärden injektering av berget är inkluderad i modellen längs med File hajdar dagbrotts södra och västra delar, mellan revkalkskropparna söder och norr om dagbrottet (se Figur 7-3 och Figur 7-4). Dessutom är injektering inkluderad längst Västra brottets västra vägg. Injekteringslinjen vid Västra brottet finns i verkligheten.

Skyddsåtgärden injektering förväntas utföras med den metod som tidigare har använts för att:

- Injektera berget vid Västra brottets västra vägg.
- Injektera berget vid två kortare testsektioner söder om File hajdar dagbrott.

Syftet med injektering är att minska bergets vattenförande förmåga genom att via ett stort antal borrhål pumpa in cementbruk i bergssprickor. Därmed minskas grundvattenflödet mot det dränerade dagbrottet, vilket är positivt för det omgivande grundvattensystemet. Injekterings effektivitet mäts genom hydrauliska tester före och efter själva injekteringen. Injekterings effektivitet vid den långa sektionen vid Västra brottet och vid de två testsektionerna söder File hajdar dagbrott har utvärderats och implementerats i den upprättade modellen. Metoden diskuteras nedan.

Som nämnts ovan mäts injekterings effektivitet genom hydrauliska tester före och efter själva injekteringen. Resultatet av testerna kan plottas i figurer, Figur 21-1 nedan är ett exempel på en sådan figur.



Figur 21-1 Resultat av hydrauliska tester före och efter injektering vid Västra brottet.

I figuren representerar blå punkter hydraulisk konduktivitet (K-värden) före injektering med sektionlängd 10 m och brandgula punkter representerar hydraulisk konduktivitet efter injektering med sektionlängd 10 m. Grå punkter representerar hydraulisk konduktivitet efter injektering med sektionlängd 5 m. Med sektionlängd menas avståndet (cc) mellan olika injekteringsborrhål. Relationen mellan de olika K-värdena, före och efter injektering, kan uttryckas som en kvot, enligt nedan:

*Ekvation 21-1*

$$F = K_{\text{Efter}} / K_{\text{Före}}$$

F = Effektivitetsfaktor, som beskriver injekterings effektivitet vid en viss sektionlängd, tex 10m

$K_{\text{Efter}}$  = Hydraulisk konduktivitet (K-värde) efter injektering vid en viss sektionlängd, tex 10m

$K_{\text{Före}}$  = Hydraulisk konduktivitet (K-värde) före injektering vid en viss sektionlängd, tex 10m

Effektivitetsfaktorn som definieras av ekvationen ovan är ett mått på injekterings effektivitet. Där små värden på effektivitetsfaktorn indikerar en effektiv och väl fungerande injektering. Som framgår av Figur 21-1 och definitionen av effektivitetsfaktorn ovan, kommer storleken på effektivitetsfaktorn att variera med K-värdet före injektering, små värden på effektivitetsfaktorn (mycket mindre än 1.0) erhålls då K-värdet före injektering är relativt stort. När K-värdet före injektering är litet blir effektivitetsfaktorn större, dock alltid mindre än 1.0. Detta är ett förväntat resultat. Injektering fungerar mindre bra om berget redan har låga K-värden. Det är vid större K-värden som injekteringen fungerar bra. Dock minskar injekterings effektivitet vid riktigt stora K-värden.

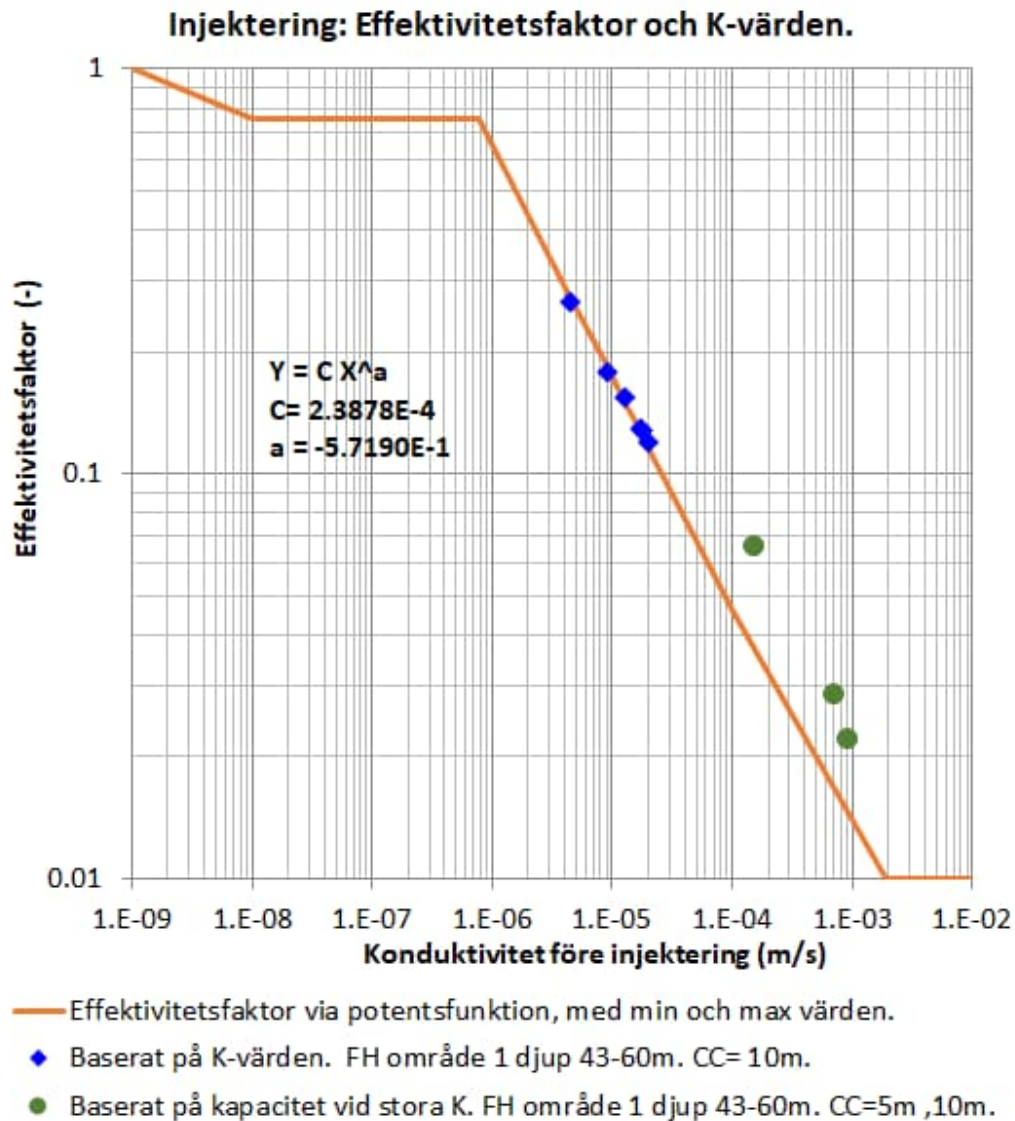
Effektivitetsfaktorn kan alltså uppskattas via figurer av den typ som visas i Figur 21-1 och Ekvation 21-1. Effektivitetsfaktorn kan sedan plottas mot K-värdet före injektering, och då erhålls Figur 21-2. Figuren har log-skalar på båda axlarna. Figuren visar effektivitetsfaktorn som en funktion av konduktiviteten före injektering. En rät linje i log-log diagrammet har anpassats till punkter som representerar resultat från hydrauliska tester (från tex Figur 21-1). Linjens ekvation framgår i figuren, ekvationen är en potensfunktion. Som framgår av figuren har injekterings effektivitet, alltså effektivitetsfaktorn, begränsats till 0.75 då K-värdena före injektering är mindre än  $7.65E-7$  m/s, och effektivitetsfaktorn är satt till 1.0 då K-värdena före injektering är mindre än  $1E-9$  m/s. Om K-värdena före injektering är större än  $1.9E-3$  m/s, har effektivitetsfaktorn begränsats till 0.01.

Med hjälp av ekvationen i Figur 21-2 (potensfunktionen) och de givna begränsningarna av effektivitetsfaktorns storlek kan vi nu beräkna teoretiska K-värden efter injektering, som en funktion av K-värden före injektering, ett sådant samband visas i Figur 21-3. Figuren visar alltså konduktivitet efter injektering som en funktion av konduktivitet före injektering. Relationen baseras på en potensfunktion, som i sin tur baseras på effektivitetsfaktorn som är ett resultat av hydraultester före och efter injektering.

Injektering har implementerats i modellen på följande vis: Bergets K-värden i modellen är definierade som heterogena och stokastiska, se Sektion 4.11. Det betyder att alla beräkningsceller i modellen har olika K-värden, detta är ett sätt att efterlikna det verkliga bergets heterogena egenskaper. När injektering inkluderas i modellen längs en vald injekteringslinje identifieras (väljs) alla beräkningsceller längs denna linje. Varje cell behandlas separat. Det initiala K-värdet i en identifierad cell representerar K-värdet före injektering. Via det ovan diskuterade potenssambandet och K-värdet före injektering kan en effektivitetsfaktor beräknas. Med hjälp av

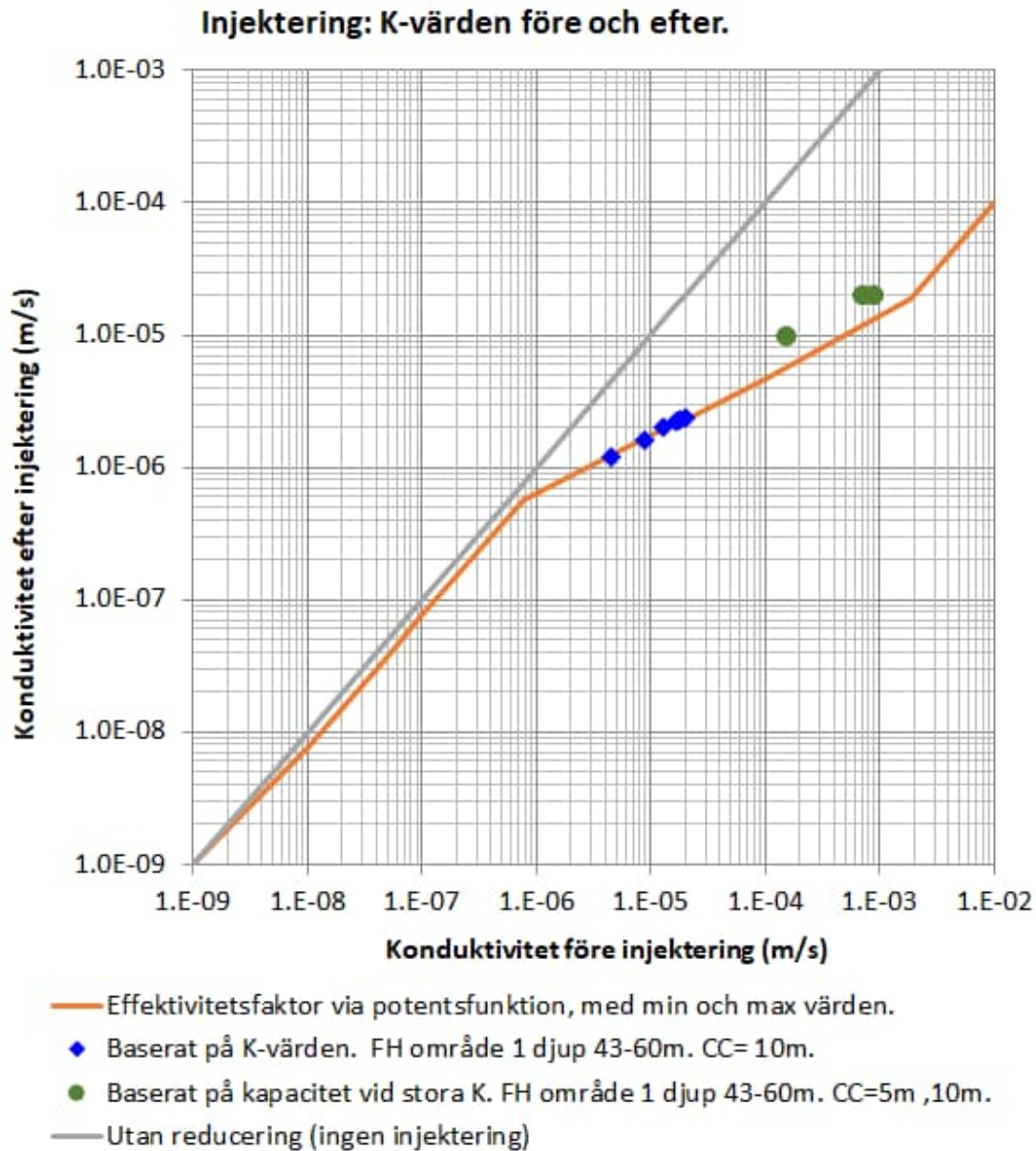
effektivitetsfaktorn och Ekvation 21-1 kan K-värdet efter injektering beräknas. Detta K-värde tilldelas cellen som valts (identifierats) för injektering.

Genom metoden som presenterats ovan kommer injekterings effektivitet i modellen att bero på K-värdet före injektering, enligt ett samband som baseras på den verkliga injekterings uppmätta effektivitet. Injekteringen i modellen blir därför realistisk.



Figur 21-2 Injektering, Effektivitetsfaktorn som funktion av konduktivitet före injektering. En rät linje i log-log diagrammet har anpassats till punkterna som representerar resultat från hydrauliska tester. Linjen ekvation framgår i figuren.





Figur 21-3 Injektion: Konduktivitet efter injektion som en funktion av konduktivitet före injektion. Relationen baseras på en potensfunktion, som i sin tur baseras på resultat av hydraultester före och efter injektion.

## 22. APPENDIX G – Tabell över olika beräknade flöden – Situationen med skyddsåtgärder

### Tabell G1

#### Västra och Östra brotten

Alla flöden i m<sup>3</sup>/år

Referenssituationen år 0

	Nettonederbörd	Grundvatteninflöde	Båda
Västra brottet	383 913	485 915	869 828
Östra brottet	78 008	190 616	268 624
Tunnlar vid Östra brottet	0	0	0
Summa	461 921	676 531	1 138 452

Situationen år 8 (med skyddsåtgärder SKY5)

	Nettonederbörd	Grundvatteninflöde	Båda
Västra brottet	383 913	442 867	826 780
Östra brottet	89 852	208 823	298 675
Tunnlar vid Östra brottet	0	26 527	26 527
Summa	473 765	678 217	1 151 982

Situationen år 30 (med skyddsåtgärder SKY5)

	Nettonederbörd	Grundvatteninflöde	Båda
Västra brottet	51 285 (potentiell)	282 888	334 173
Östra brottet	89 852	259 089	348 941
Tunnlar vid Östra brottet	0	57 834	57 834
Summa	141 137	599 811	740 948

**Tabell G2****File hajdar dagbrott**Alla flöden i m<sup>3</sup>/år

	Nettonederbörd	Grundvatteninflöde	Båda
Referenssituationen år 0			
File hajdar dagbrott	425 463	254 474	670 936
Situationen år 8 (med skyddsåtgärder SKY5)			
File hajdar dagbrott	537 623	490 226	1 027 849
Situationen år 30 (med skyddsåtgärder SKY5)			
File hajdar dagbrott	832 542	617 987	1 450 530

**Tabell G3****Vattenförekomstområden**

Förändring i flöde från ett visst område till området Mellersta Gotland Roma

För situationen år 8 med skyddsåtgärder Sky5:

Ökat flöde från Stenkyrka till Roma 95 823 m<sup>3</sup>/årÖkat flöde från Kappelshamn till Roma 21 506 m<sup>3</sup>/år

För situationen år 30 med skyddsåtgärder Sky5:

Ökat flöde från Stenkyrka till Roma 220 000 m<sup>3</sup>/årÖkat flöde från Kappelshamn till Roma 115 000 m<sup>3</sup>/år**Tabell G4****Grundvattennfiltration**Grundvattennfiltration I tre brunnar, summa 101 000 m<sup>3</sup>/år