

Kylvattenutsläpp: Hydrodynamisk modellering

Temperaturpåverkan av kylvattenutsläpp från
Heidelberg Materials fabrik i Slite



Sweco AB	RegNo 556542-9841
Uppdrag	Vattenrecipientbedömning
Uppdragsnummer	30052100-001
Kund	Heidelberg Materials Cement
Ver	2
Datum	2024-05-06
Upprättad av	Charlie van Houwelingen
Granskare	Emanuel Schmidt
Dokumentreferens	\\semmafs001\projekt\21228\30052100_cementa_ccs_mkb\001_ recipientbedömning\07_arbetsmaterial_dok\02_hydrodynamisk modellering\rapport\kylvatten_240506.docx

Innehållsförteckning

1.	Inledning och syfte.....	4
2.	Områdesbeskrivning.....	5
3.	Modell.....	8
3.1	Övergripande om modelleringen.....	8
3.2	Beräkningsnät.....	8
3.3	Batymetri.....	9
3.4	Vinddata.....	10
3.5	Randvillkor.....	13
3.5.1	Vattenstånd.....	14
3.5.2	Flöden.....	15
3.5.3	Temperatur och salinitet.....	15
3.6	Programvara.....	17
3.7	Begränsningar i metodik och dataunderlag.....	18
4.	Scenarier.....	19
4.1	Nuläge.....	20
4.2	70 MW.....	21
4.3	200 MW.....	21
5.	Resultat.....	22
5.1	Generella strömningsmönster.....	22
5.1.1	Strömpåverkan från diffusor.....	24
5.2	Kylvatten.....	26
5.2.1	Övertemperatur 70 MW.....	26
5.2.2	Övertemperatur 200 MW.....	28
5.2.3	Tidsserier och varaktigheter 70 MW.....	30
5.2.4	Tidsserier och varaktigheter 200 MW.....	35
6.	Slutsatser.....	39
	Referenser.....	40
	Bilaga 1.....	41

1. Inledning och syfte

Heidelberg Materials Cement Sverige AB (Heidelberg Materials) använder havsvatten för kylning i den befintliga fabriksverksamheten i Slite. Detta medför utsläpp av uppvärmt kylvatten till recipienten (havet). Kylvatten från havet planeras även att användas i Heidelberg Materials framtida verksamhet, för vilken bolaget söker ett nytt tillstånd enligt miljöbalken.

För att utreda påverkan på recipienten från kylvattenutsläpp har Sweco upprättat en tredimensionell hydrodynamisk modell, som använts för att simulera nuvarande och planerade kylvattenutsläpp. Syftet med modelleringen är att skapa ett underlag för bedömningen av konsekvenser i recipienten.

Sweco har undersökt vilka vattentemperaturer de nuvarande respektive planerade kylvattenutsläpp ger upphov till. Vidare har skillnaderna mellan nuvarande och planerade utsläpp undersökts med avseende på temperaturpåverkan.

I föreliggande rapport beskrivs modellens uppbyggnad, hydrodynamiska förhållanden i området, vilka förhållanden som har simulerats, samt generella resultat från modellen.

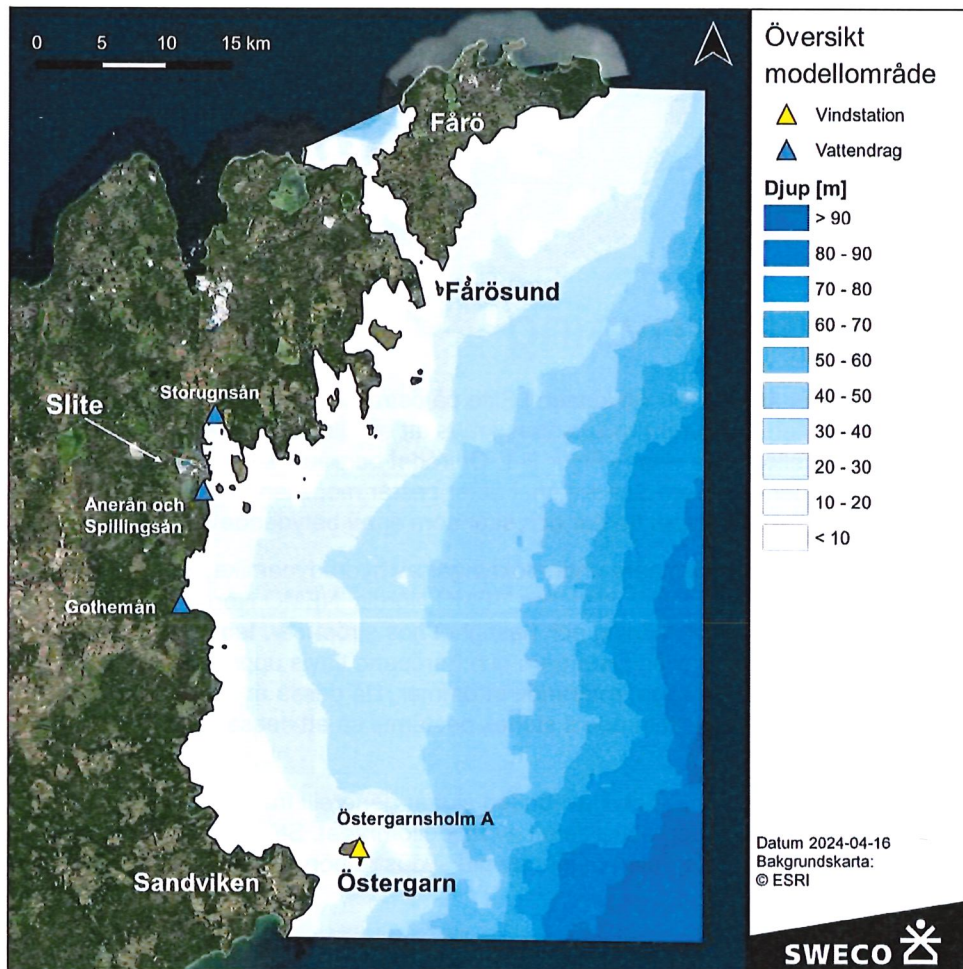
2. Områdesbeskrivning

Heidelberg Materials verksamhet är belägen vid kusten i Slite på östra Gotland. För att på ett korrekt vis beskriva påverkan på vattentemperaturer i recipienten, krävs att ett tillräckligt stort område omfattas av modellen. Valt modellområde visas i Figur 2-1. Området begränsas i norr av Fåröns östligaste spets och i syd av udden öster om Sandviken. I öster består modellen av öppna ränder mot havet. Även Fårösund har inkluderats, liksom de öar och skär som är av betydande storlek.

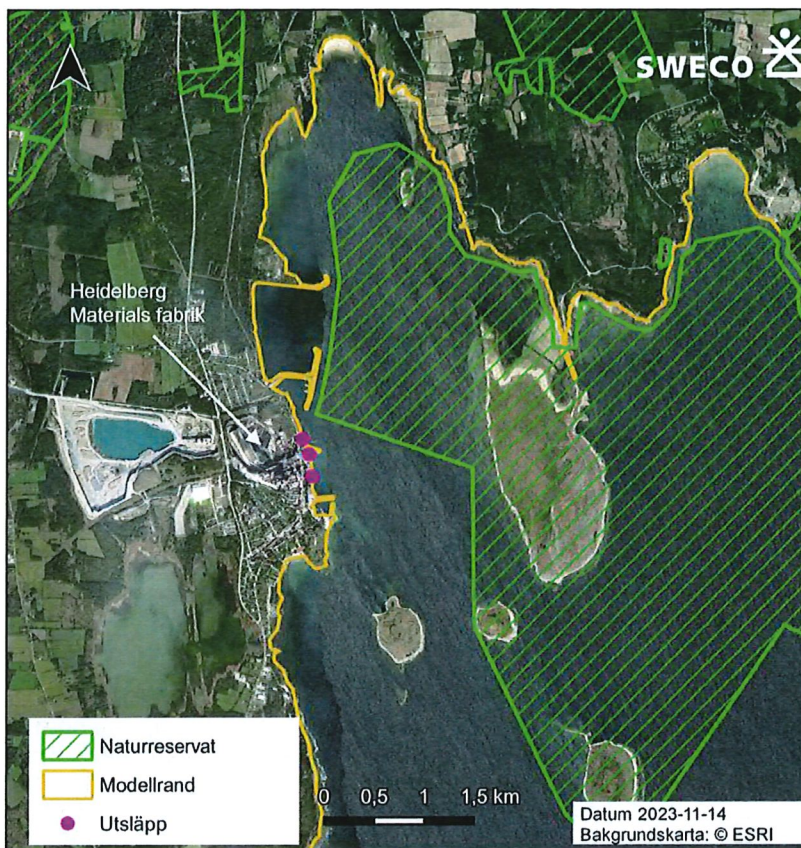
Inför uppbyggnaden av modellen har preliminära undersökningar av hydrodynamiken i området gjorts genom analys av data från den oceanografiska modellen NEMO Nordic. NEMO Nordic beskriver olika fysikaliska parametrar i havet, bland annat riktning och hastighet hos strömmar, temperatur och salinitet. Modellen visar att det i bukten mellan Östergarn och Fårösund tidvis uppstår strömvirvar, det vill säga tillfälligen med cirkulära, storskaliga, roterande strömmar. Då dessa är av vikt för vattenmassors rörelse i området har modellområdets storlek bestämts så att dessa strömvirvar kan fångas upp av modellen.

Figur 2-1 visar även djupförhållanden i området. Havsbotten sluttar generellt från de grundare områdena i väster till djupare områden i den östra delen av modellområdet. Större delen av området är 40 m djupt eller grundare. Den djupaste delen utgörs av det sydöstra hörnet där djupet uppgår till cirka 90 m.

I närheten av verksamhetsområdet finns även skyddad natur i form av naturreservat, Slite skärgårds naturreservatet. Reservatets närmaste punkt är belägen cirka 300 m nordost om verksamhetens nordligaste utsläppspunkt. Naturreservatets läge visas i Figur 2-2.



Figur 2-1 Område som omfattas av modellen samt djupförhållanden i modellområdet.



Figur 2-2 Naturreservat i närheten av verksamhetsområdet. Kartunderlag från Naturvårdsverket (skyddadnatur.naturvardsverket.se).

3. Modell

3.1 Övergripande om modelleringen

En hydrodynamisk modell beräknar strömmar, omblandning, temperatur och salinitet i vattenmassan. Grunden för beräkningarna är modellens beräkningsnät, som täcker det modellerade området och som kan varieras med avseende på upplösning för att uppnå en optimal balans mellan noggrannhet och nödvändig beräkningskapacitet. Modellen drivs med meteorologiska och hydrauliska data såsom vind, vattenstånd, flöde, temperatur och salinitet. Dessa parametrar utgör randvillkor för modellens beräkningar och ansätts i bestämda delar av modellen där vatten flödar in i eller ut ur modellområdet. Sådana delar av modellen benämns ränder.

Modellberäkningarna utgår ifrån ett fördefinierat initialtillstånd (av temperatur, salinitet och liknande) och därefter utförs beräkningarna stegvis under en förutbestämd tidsperiod. På så sätt kan en dynamisk variation av strömmar och transport av olika ämnen i ett område simuleras för en given period.

De parametrar som modellen drivs med uppvisar generellt en variation över året, med ändrade hydrodynamiska förhållanden och spridningsmönster som följd. I simuleringarna har därför ett sommar- och ett vinterscenario använts, med representativa meteorologiska förhållanden för respektive scenario. På så sätt skapas en bild av hur verksamhetens påverkan på recipienten varierar under året.

För att simulera påverkan av utsläpp från verksamheten har punktutsläpp inkluderats i modellen. Tre scenarier har simulerats – ett för nuvarande kylvattenutsläpp och två scenarier för planerade utsläpp. Såväl nuvarande som planerade utsläpp har undersökts med avseende på temperaturpåverkan. Samtliga scenarierna har simulerats för sommar- och vinterförhållanden.

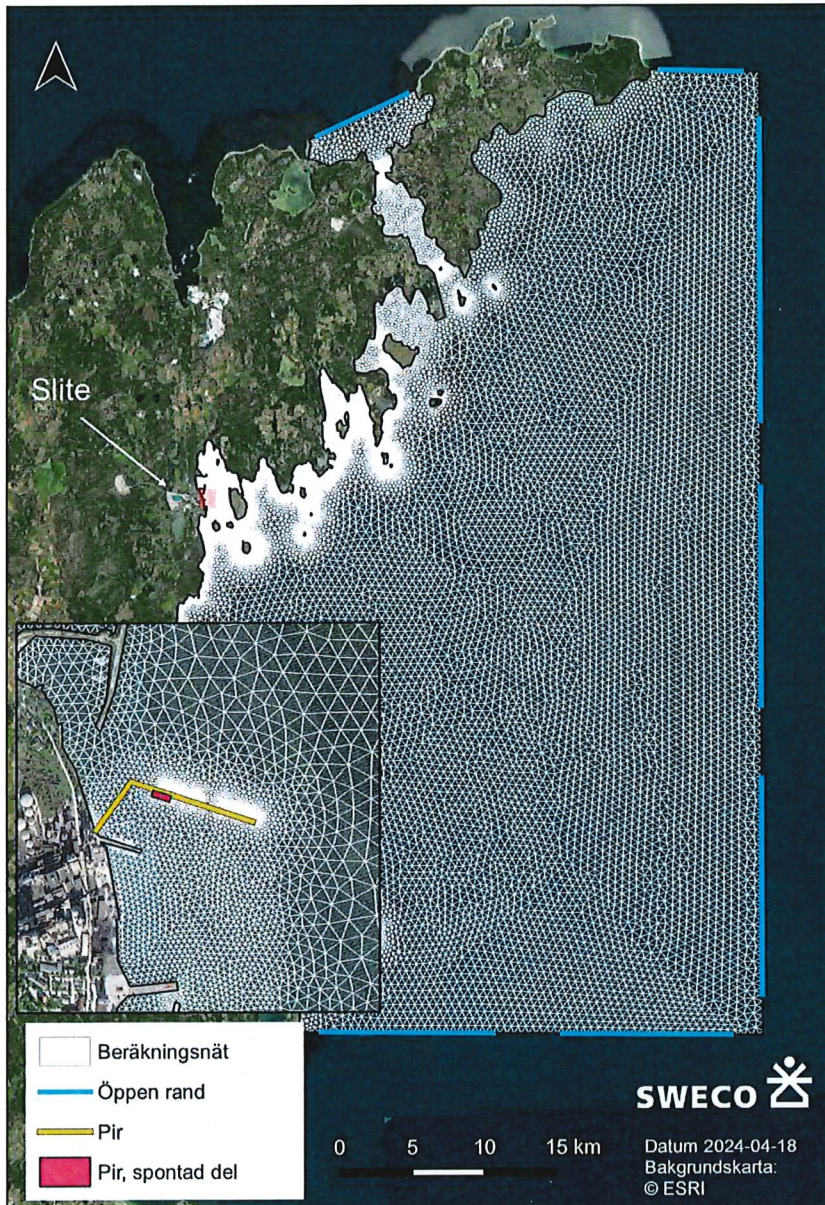
Följande avsnitt beskriver hur den hydrodynamiska modellen har upprättats, vilka data som använts som randvillkor samt utgående flöden från verksamheten som använts för att simulera olika utsläppsförhållanden.

3.2 Beräkningsnät

Inom modellens geografiska utbredning har ett triangulärt beräkningsnät upprättats. Nätet består av trianglar där beräkningar sker i varje nod (knytpunkter mellan trianglarna). Trianglars storlek kan varieras så att områden av extra intresse kan få högre beräkningsnoggrannhet. I modellområdet varierar den horisontella upplösningen mellan 10 – 500 m (Figur 3-1). De delar som har grövst upplösning (500 m) är de yttre delarna av modellen mot havet. Modellens finaste upplösning (10 m) återfinns i närheten av planerade utsläppspunkter. I övrigt varierar modellens upplösning genom området för att väl kunna avspegla områdets batymetri. I djupled har modellen 17 lager vilka är tätare vid ytan och genom sötvattenslagret för att upprätthålla en stabil skiktning.

Modellen har sju öppna ränder mot Östersjön med havsvattenstånd, temperatur och salthalt. Tre flödesränder inkluderas i modellen för vattendragen Gothemån, Sturugnsån samt Anerån och Spillingsån. De två senare vattendragen representeras med en flödesrand då båda flödar ut i bukten vid Slite genom Sjuströmmar (se Figur 2-1).

I samband med planerad verksamhet planeras även en ny pir anläggas. Pirens läge visas i Figur 3-1 (gul polygon). Till stor del avses piren vara pålad, en mindre del av piren planeras utformas som en spontad pir (röd polygon). Denna spontade del bedöms vara av vikt för strömningen och har därför inkluderats i modellen. Pålade delar av modellen påverkar däremot inte nämnvärt strömningen och har därför exkluderats.



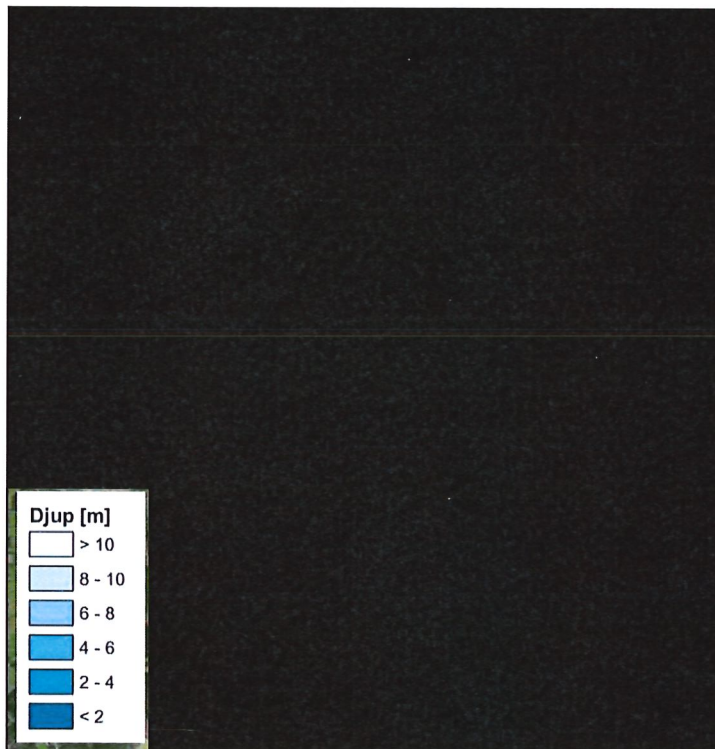
Figur 3-1 Modellområde med beräkningsnät och ränder mot havet. Även planerad pir visas i figuren. Den spontade delen av piren inkluderas i beräkningsnätet.

3.3 Batymetri

Batymetri är topografins motsvarighet under vattenytan och är således en beskrivning av djupförhållanden i ett område. Den är av stor vikt för hydrodynamiken och spridningsförhållanden. Modellområdets batymetri visas i Figur 2-1 och har övergripande beskrivits i kapitel 2. Batymetrin i närheten av Slite hamn visas i Figur 3-2.

Flera datakällor har använts för att skapa den batymetri som använts. För grunda områden längs stränder, öar och på djup under 20 m har sjökort från Navionics digitaliserats. För djupare områden har data hämtats från Baltic Sea Bathymetry Database (BSBD). Närmast Slite hamn och i muddringsområdet har data från en botten scanning använts som utfördes av Medins år 2023.

I samband med planerad utökning av verksamheten i Slite planeras även en muddring av hamnområdet och av farleden som leder in till Slite hamn. Den planerade muddringen avser att bredda farleden samt utöka djupen till 10 m djup. Batymetrin har korrigerats så att den överensstämmer med den planerade muddringen av hamnen och farleden.



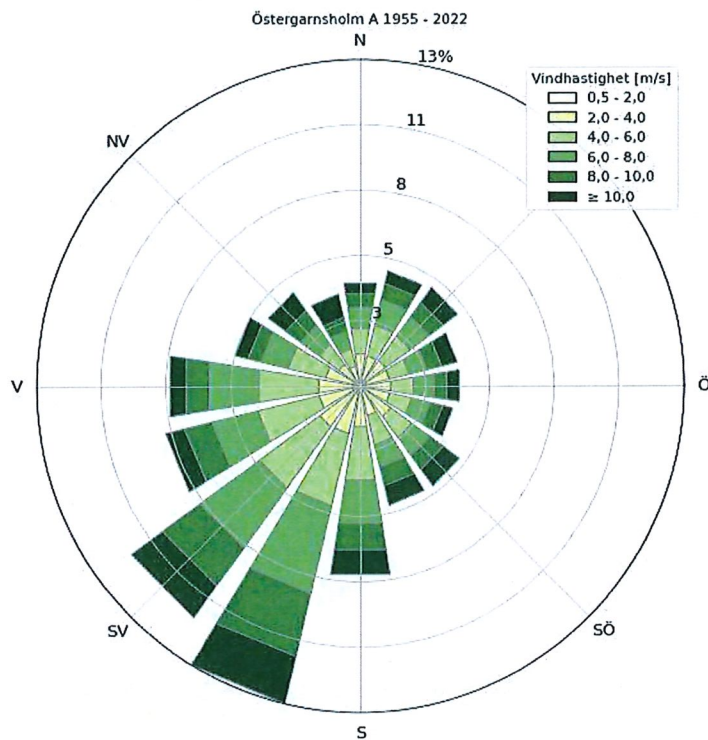
Figur 3-2 Batymetri kring Slite.

3.4 Vinddata

I det modellerade området bedöms vinden vara av stor betydelse för strömförhållanden och omblandning av vattenmassan. Av denna anledning har stor vikt lagts vid att välja dels en representativ datakälla, dels representativa meteorologiska perioder, för den atmosfäriska drivningen. I följande kapitel beskrivs hur urvalet av mätstation har gjorts samt vilka perioder som valts för simulering av sommar- och vinterförhållanden.

Val av station för vinddata

SMHI har flera vindstationer på östra Gotland som kan användas för modellering. Samtliga stationer har undersökts. För modellområdet har stationen Östergarnsholm A bedömts vara mest representativ. Vindros för denna station visas för åren 1955 – 2022 i Figur 3-3. Ur figuren går att utläsa att den förhärskande vindriktningen är sydvästlig, starka vindar kan dock förekomma i samtliga riktningar.

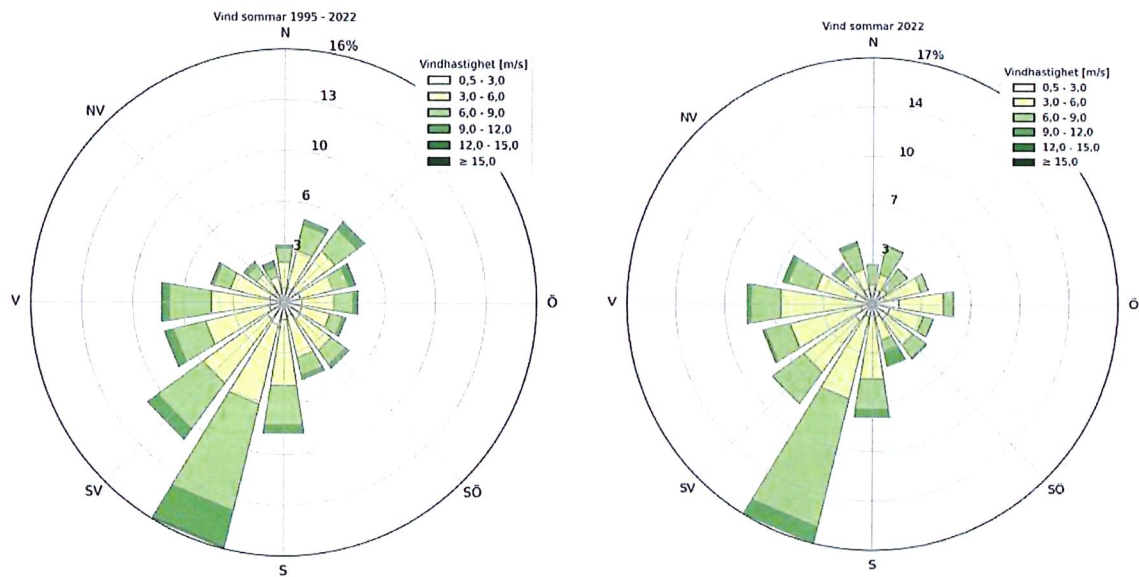


Figur 3-3 Vindros för Östergarnsholm A under perioden 1955–2022.

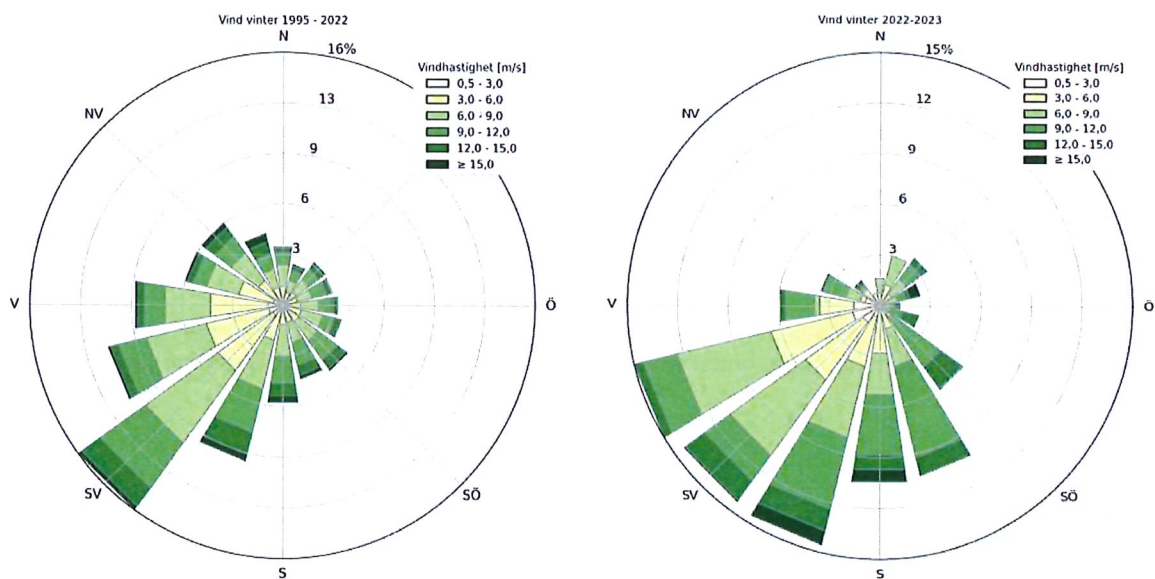
Val av år för vinddata

Vindförhållanden är av stor betydelse för vattenståndet i området, därför är det av vikt att vindperioden som används i simuleringarna överensstämmer med vald period för havsvattenstånd. Högupplösta tidsserier av modellerade havsvattenstånd finns tillgängliga från 2019 och framåt. En jämförelse av vindrosor under sommar- och vinterförhållanden i Östergarnsholm visar att de mest representativa sommar- och vinterperioderna sedan 2019 är sommaren 2022 och vintern 2022 – 2023.

Figur 3-4 visar vindros för vald sommarperiod, Figur 3-5 visar vindros för vald vinterperiod. I båda fall är sydvästliga vindar dominerande, under vintern är vindhastigheter dock betydligt högre än under sommaren.

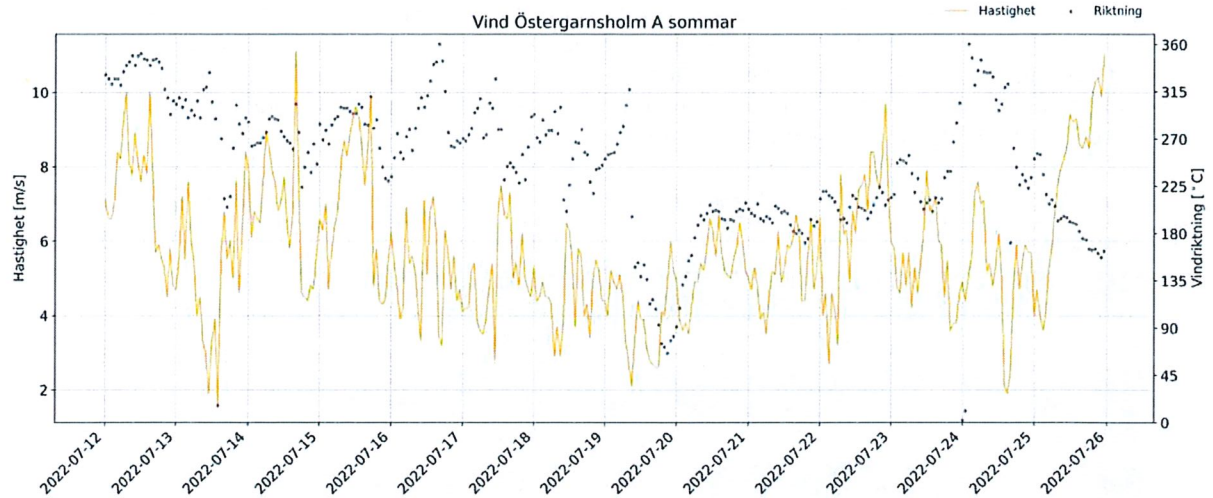


Figur 3-4 Vindros för sommarmånader år 1995 – 2022 (vänster) samt vindros för vald sommarperiod (höger) i Östergarnsholm A.

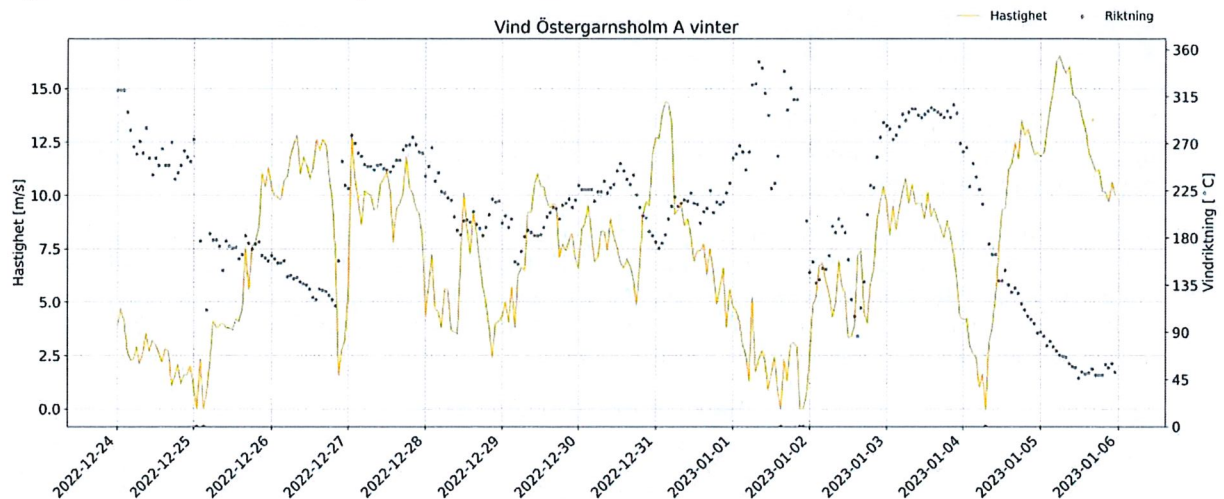


Figur 3-5 Vindrosor för vintermånader år 1995 – 2022 (vänster) samt vindros för vald vinterperiod (höger) i Östergarnsholm A.

Figur 3-6 och Figur 3-7 visar vindhastighet och vindriktning under den simulerade sommar- respektive vinterperioden. Sommaren uppvisar lägre vindhastigheter än vintern, med uppemot 11 m/s medan de högsta vindhastigheterna i vintersimuleringarna är uppemot 16 m/s.



Figur 3-6 Vindhastighet och vindriktning under sommaren 2022.



Figur 3-7 Vindhastighet och vindriktning under vintern 2022 – 2023.

3.5 Randvillkor

Det viktigaste randvillkoret som påverkar strömmar i det modellerade området är skillnader i havsvattenstånd längs modellens öppna ränder. Dessa beror i sin tur bland annat på vindförhållanden. Därmed har även vinden betydelse för strömningsmönstren, speciellt vid höga vindhastigheter (se avsnitt 3.4). I modellens öppna ränder samt i vattendragen definieras även temperatur och salinitet så att skiktningen återges på ett korrekt sätt. Likaså definieras initiala värden på temperatur och salinitet i modellområdet som modellen utgår från vid uppstart. Följande kapitel beskriver randvillkoren samt dataunderlaget som använts för att upprätta dem.

För samtliga randvillkor har ett sommar- och vinterscenario upprättats för att fånga säsongsmässiga variationer i de parametrar som modellen drivs med.

Innan spridningsberäkningar utförs genomgår modellen en initieringsfas där salt, temperatur och strömmar tillåts stabiliseras innan verksamhetens utsläpp till recipienten modelleras.

3.5.1 Vattenstånd

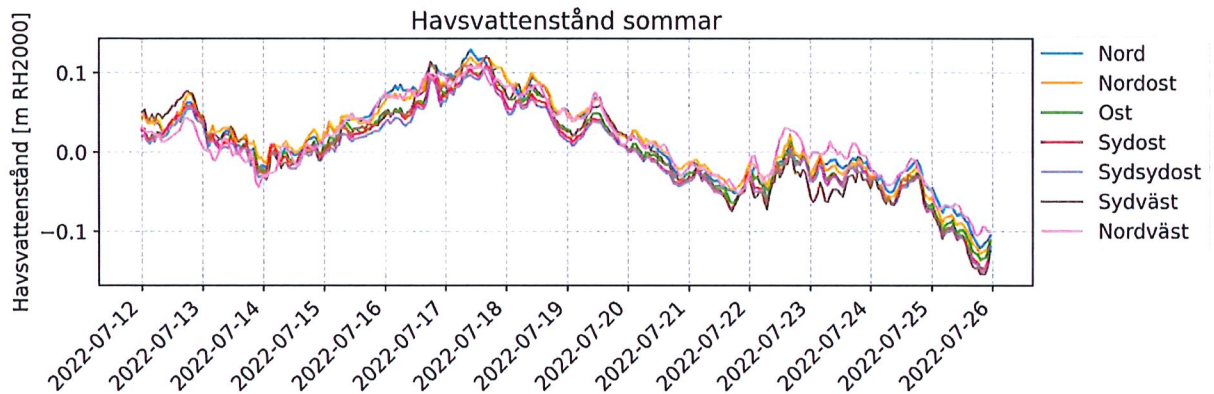
Vattenståndet i Östersjön har hämtats från den oceanografiska modellen NEMO-Nordic (se SMHI (2021)). Modellen beskriver olika fysikaliska parametrar, bland annat havsvattenstånd, salinitet och temperatur. Tidsserier över havsvattenstånd har hämtats från sju punkter i modellen, där avståndet mellan punkterna är cirka 20 km. De öppna ränder mot havet där punkterna utgör randvillkor visas i Tabell 1 sammanfattar punkternas koordinater.

Tabell 1 Koordinater av punkter där modellerade data har hämtats från NEMO-Nordic. Referenssystem är SWEREF99 TM.

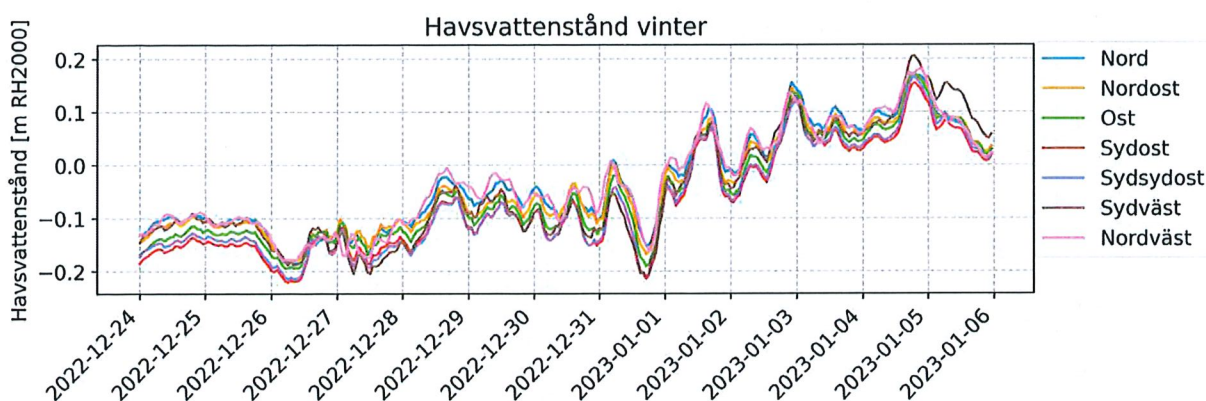
Datapunkt	N	E
Nord	6432816	762280
Nordost	6415380	765155
Ost	6395383	765483
Ostsydost	6375386	765811
Sydost	6366704	759598
Sydväst	6366587	739598
Nordväst	6429504	737443

Timvisa data finns tillgängliga från 2019 och framåt. För tidigare år finns data med 6 timmars upplösning. Timvisa data bedöms dock förbättra modellens noggrannhet och därför har ett år från perioden med timvisa data valts.

Två meteorologiska scenarier har använts i modellen: ett sommarscenario och ett vinterscenario. Som drivdata för sommarscenariot har sommaren 2022 valts medan vintern 2022 – 2023 valts för vinterscenariot. Dessa år har valts ut dels på grund av att vindförhållanden för dessa perioder bedömts vara representativa för området (se avsnitt 3.4), dels eftersom dataunderlaget är av tillfredsställande kvalitet avseende tidsupplösningen.



Figur 3-8 Vattenstånd i ränderna under simulerad sommarperiod. Dataunderlag har hämtats från NEMO-Nordic.



Figur 3-9 Vattenstånd i ränderna under simulerad vinterperiod. Dataunderlag har hämtats från NEMO-Nordic.

3.5.2 Flöden

Fyra vattendrag har inkluderats i modellen: Gothemån, Anerån, Spillingsån och Storugnsån (se Figur 2-1). Anerån och Spillingsån har ett gemensamt utlopp till Östersjön vid Sjuströmmar och har därför slagits ihop till en flödeskälla.

För samtliga vattendrag har modellerade flödesdata hämtats från SMHI:s hydrologiska modell S-Hype via webbtjänsten vattenweb (SMHI, 2022). Flödesdata har använts för att sammanställa medelflöden under vinter- och sommarförhållanden. Flödena antas därmed vara konstanta under respektive meteorologiskt scenario. De flöden som använts i modellen redovisas i Tabell 3-2.

Tabell 3-2 Medelflöde under vintern och sommaren för vattendragen som inkluderats i modellen.

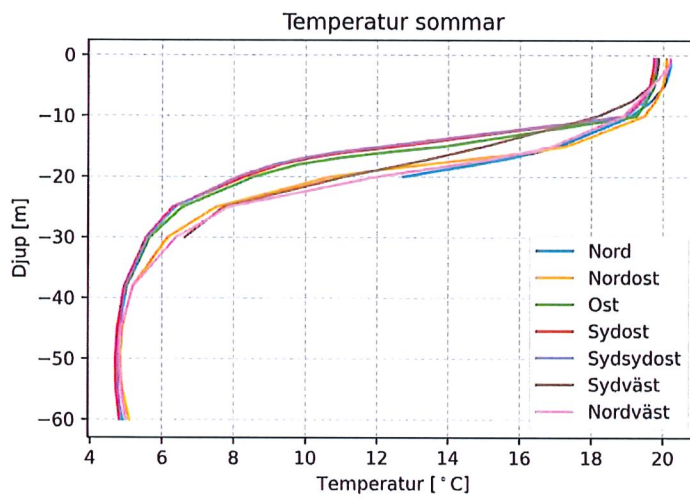
Vattendrag	Sommar	Vinter
Gothemån	0,39 m ³ /s	6,66 m ³ /s
Sjuströmmar	0,06 m ³ /s	0,50 m ³ /s
Storugnsån	0,06 m ³ /s	0,48 m ³ /s

3.5.3 Temperatur och salinitet

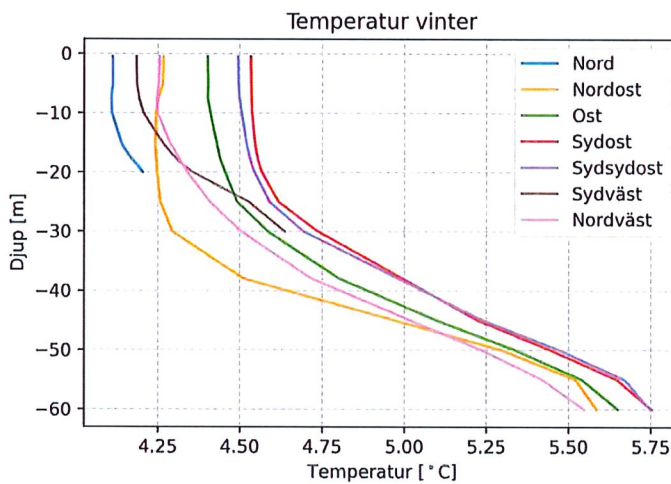
För temperatur och saltskiktning har data hämtats från NEMO-Nordic. Samma punkter har använts som för havsvattenståndet (se kapitel 3.5.1).

Varje rand har en temperatur- och saltprofil som har skapats genom att på varje djup ta ett medelvärde av temperatur respektive salinitet över aktuell tidsperiod. Som initialvärde har ett medelvärde av samtliga ränders temperatur och salinitet under första tidssteget använts.

Figur 3-10 och Figur 3-11 visar temperaturprofiler i varje rand under sommar- respektive vinterperioden. Under sommaren syns en tydlig termoklin som ligger på cirka 15 – 25 m djup. Vintertid är skiktningen dels svagare, dels förskjuten till ett större djup, på cirka 30 – 50 m. Figur 3-11 visar att temperaturen är cirka 1,5 grader högre vid ytan än vid botten under vintern. Detta faktum kan härledas till att omblandningen generellt är låg och det saltare bottenvattnet får en högre densitet trots något högre temperatur.

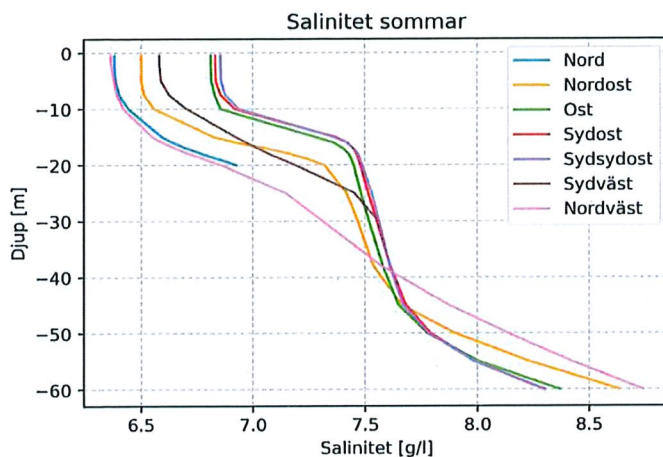


Figur 3-10 Temperaturprofiler i havsränderna under sommaren.

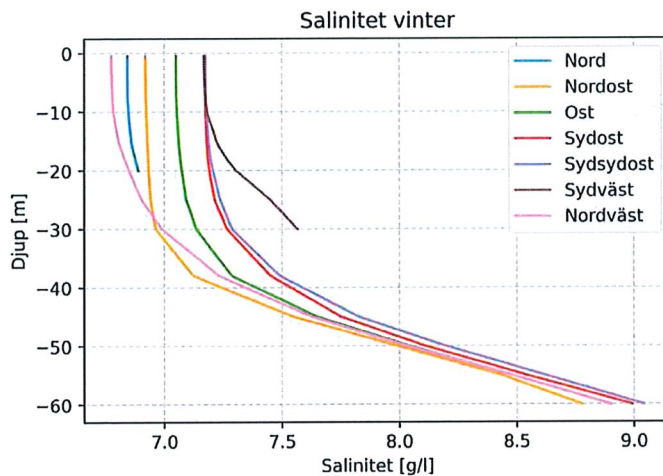


Figur 3-11 Temperaturprofiler i havsränderna under vintern.

Figur 3-12 och Figur 3-13 visar på samma sätt salinitetsprofiler i ränderna. Precis som för temperaturprofilerna syns en tydligare och grundare skiktning på sommaren jämfört med vintern. Saliniteten uppvisar dessutom en dubbel skiktning på sommaren, med en grundare haloklin vid 15 – 25 m som sammanfaller med termoklinen, samt en djupare haloklin vid ett djup på cirka 50 – 70 m.



Figur 3-12 Salinitetsprofiler i havsränderna under sommaren.



Figur 3-13 Salinitetsprofiler i havsränderna under vintern.

3.6 Programvara

Modellering av hydrodynamiken har skett med mjukvaran TELEMAC 3D, som bland annat beräknar strömmar, temperatur, spridning och sedimentation grundat på Navier-Stokes ekvationer. Ekvationerna beräknar vattnets rörelse som en funktion av gravitations-, friktions-, och tryckkrafter.

Kemiska ämnen representeras i modellen av ett kemiskt inert och vattenlösligt spårämne. Temperaturpåverkan modelleras genom att ett utsläpp med givet flöde och temperatur släpps ut i recipienten. Kylvattenutsläppets temperatur har uppskattats från data som erhållits av Heidelberg Materials.

För att undvika att introducera osäkerheter i modellen har värmeutbytet med atmosfären inte inkluderats i modellen. Det är ett konservativt antagande med avseende på temperaturpåverkan från kylvattenutsläpp då en del av värmen från kylvattnet i själva verket kommer att avgå till atmosfären.

3.7 Begränsningar i metodik och dataunderlag

I området har inga mätningar av strömhastigheter, vattenstånd eller liknande funnits tillgängliga, vilket innebär att ingen kalibrering av modellen har kunnat göras.

Modellen drivs till stor del med vattenstånd, temperatur och salinitet från den oceanografiska modellen NEMO-Nordic.

En begränsning i metodiken är att ingen hänsyn har tagits till värmeutbyte med atmosfären. Detta är en förenkling som innebär att modellerade ytvattentemperaturer möjligen är något underskattade under sommaren och överskattade under vintern, eftersom lufttemperaturen ofta är varmare än vattnet under sommaren och kallare på vintern. Det bedöms däremot inte påverka tillförlitligheten av beräknad övertemperaturen eftersom övertemperaturen visar skillnaden mellan två scenarier. Vidare utgör det även en konservativ bedömning av temperaturpåverkan från kylvattenutsläppet då en del värme från kylvattnet i verkligheten avgår till atmosfären.

4. Scenarier

I dagsläget släpps kylvatten ut till recipienten från Heidelberg Materials verksamhet. Kylvattnet kommer dels från tillverkningsprocessen av cementklinker och cement, dels från den ångturbin som producerar el från restvärme. Planerad verksamhet kommer att innebära ett ökat kylvattenutsläpp, vilket leder till en förändrad temperaturpåverkan på recipienten. Det ökade kylvattenutsläppet består av en mindre ökning från tillverkningsprocessen av cement. Därutöver medför den planerade CCS-anläggningen ett utsläpp av kylvatten. För den planerade verksamheten har simulering utförts för två olika kyleffekter med havsvattenkyllning för CCS-anläggningen, dels för 200 MW, dels för 70 MW. Den högre effekten, 200 MW, representerar en situation när CCS-anläggningens totala kylbehov försörjs med enbart havsvattenkyllning. Den lägre effekten, 70 MW, representerar en situation då CCS-anläggningens kylbehov försörjs med både havsvattenkyllning och luftkyllning.

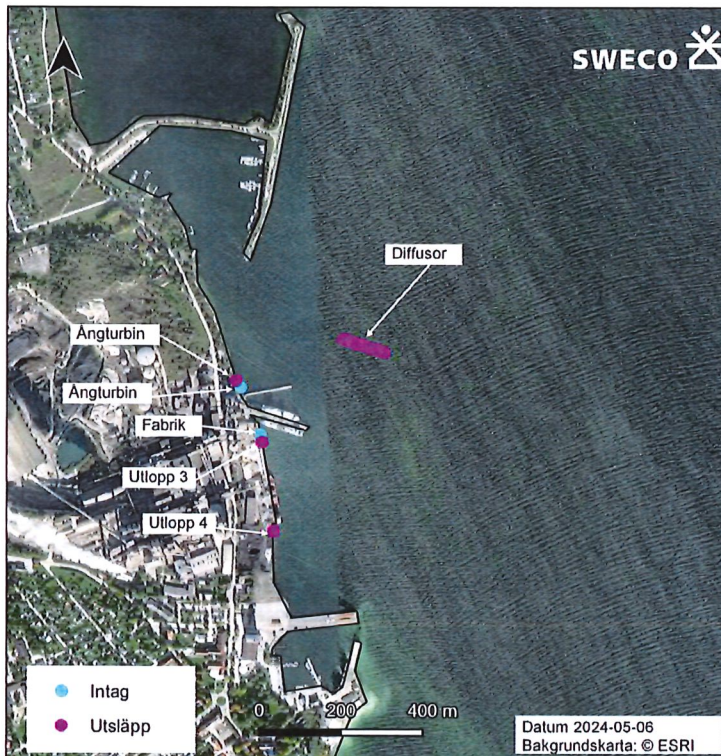
Avsnitten nedan beskriver de scenarier som har undersökts med avseende på temperaturpåverkan av kylvattenutsläpp. Scenarierna utgörs således av:

- Nuvarande utsläpp, det s.k. nuläget
- Utsläpp för planerad verksamhet
 - CCS-anläggning, kyleffekt havsvatten 200 MW
 - CCS-anläggning, kyleffekt havsvatten 70 MW

I nuläget sker intaget av kylvatten på två platser, markerade *Ångturbin* och *Fabrik* i Figur 4-1. Detta planeras även gälla för planerad verksamhet oavsett vilken kyleffekt av havsvatten som tillämpas för CCS-anläggningen. Utsläpp av kylvatten sker i nuläget på tre platser (*Ångturbin*, *Utlopp 3* och *Utlopp 4*). Vattnet som tas in vid intaget *Fabrik* släpps ut från två punkter, nämligen *Utlopp 3* och *Utlopp 4*. För planerad verksamhet antas att intaget *Fabrik* även fortsättningsvis släpps till de två punkterna, *Utlopp 3* och *Utlopp 4*.

För planerad verksamhet nyttjas befintlig utsläppspunkt (*Ångturbin*) i simuleringarna vid en effekt av 70 MW för CCS-anläggningens havsvattenkyllning. För simuleringarna av 200 MW används en utsläppsposition i mitten av den nya piren där utsläppet sker genom en *Diffusor* (anpassad rörsektion med flertalet mindre utsläppspunkter), se Figur 4-1. För utsläppspunkterna gäller i efterföljande simuleringar att kyleffekten 70 MW med tillhörande flöde utgör den maximala effekten vid utsläppspunkt *Ångturbin*, och 200 MW med tillhörande flöden utgör den maximala effekten vid utsläppspunkt *Diffusor*. Efterföljande simuleringar kan således ses utgöra ett konservativt resultat för en situation där en lägre kyleffekt skulle förekomma från respektive utsläppspunkt, *Ångturbin* eller *Diffusor*.

Både nuläget och planerad verksamhet har simulerats för sommar- och vinterförhållanden. För samtliga scenarier beskrivs i följande avsnitt utsläppen med avseende på flöde, temperatur och intags- och utloppspunkt.



Figur 4-1 Placering av intags- och utsläppspunkter för kylvatten.

4.1 Nuläge

Tabell 3 sammanfattar utsläppen av kylvatten i nuläget från punkterna som visas i Figur 4-1. Utsläppet från ångturbinen uppgår till 1 250 m³/h och släpps från punkten *Ångturbin*. Utsläpp från fabriken uppgår till 530 m³/h och fördelas på utsläppspunkterna *Utlopp 3* och *Utlopp 4*, där huvuddelen släpps från *Utlopp 3*.

Kylvattnet som släpps från ångturbinen är, enligt uppgifter från Heidelberg Materials, 8 °C varmare än intagsvattnet. För utsläpp från fabriken finns inga uppgifter om temperaturökning jämfört med intaget, däremot finns mätningar av temperaturen vid utloppen tillgängliga. De mätvärden som visas i Tabell 3 utgörs av medelvärden av mätningar av vattentemperaturen som utförts under sommar- och vintermånader år 2015 – 2023.

Tabell 3 Sammanfattning av kylvattenutsläpp i nuläget.

Intag / utsläpp	Namn	Flöde (m ³ /h)	Temperatur
Intag	Ångturbin	1 250	-
	Fabrik	530	-
Utsläpp	Ångturbin	1 250	8 °C + temperatur vid intaget
	Utlopp 3	430	24,4°C (sommar) 10,7°C (vinter)
	Utlopp 4	100	23,2°C

4.2 70 MW

Tabell 4 sammanfattar kylvattenutsläppen vid planerad verksamhet vid en kyleffekt på 70 MW. Från ångturbinen kan utsläppet komma att öka upp till 7 650 m³/h. Från fabriken kan det också komma att ske en viss mindre ökning av utsläppet till 620 m³/h.

Utsläppet från ångturbinen har samma temperaturökning jämfört med intaget som under nuläget, det vill säga 8°C. Temperaturer vid *Utlopp 3* och *Utlopp 4* är samma som i nuläget.

Tabell 4 Sammanfattning av kylvattenutsläpp vid planerad verksamhet vid en kyleffekt på 70 MW.

Intag / utsläpp	Namn	Flöde (m ³ /h)	Temperatur
Intag	Ångturbin	7 650	-
	Fabrik	620	-
Utsläpp	Ångturbin	7 650	8°C + temperatur vid intaget
	Utlopp 3	520	24,4°C (sommar) 10,7°C (vinter)
	Utlopp 4	100	23,2°C

4.3 200 MW

Tabell 4 sammanfattar kylvattenutsläppen för planerad verksamhet med en kyleffekt av 200 MW. Utsläppet som i nuläget sker vid ångturbinen förläggs då istället till en diffusor, flödet kan i detta fall komma att uppgå till 22 400 m³/h. Från fabriken kan det komma att ske en mindre ökning av utsläppet till 620 m³/h.

En diffusor består i princip av ett rör med ett antal mindre utsläppsportar längs sidorna. Utsläppshastigheten utformas ofta för att bli hög, vilket medför en hög initial omblandning och därmed en snabb avkylning. Föreliggande simulering baseras på en diffusor som är cirka 100 m lång med 10 utlopp. Utsläppsflödet fördelas jämnt mellan de 10 utloppen, det vill säga cirka 2 240 m³/h per utlopp. Utloppen är placerade med cirka 10 m avstånd mellan varandra. Utsläppshastigheten uppgår till cirka 4 m/s vid varje utlopp och släpps i nordostlig riktning. Uppgifterna om diffusorns utformning har inhämtats från Heidelberg Materials.

Utsläppet från diffusorn har samma temperaturökning jämfört med intaget som under nuläget, det vill säga 8°C. Temperaturer vid *Utlopp 3* och *Utlopp 4* är samma som i nuläget.

Tabell 5 Sammanfattning av kylvattenutsläpp vid planerad verksamhet vid en kyleffekt på 200 MW.

Intag / utsläpp	Namn	Flöde (m ³ /h)	Temperatur
Intag	Ångturbin	22 400	-
	Fabrik	620	-
Utsläpp	Diffusor	22 400	8°C + temperatur vid intaget
	Utlopp 3	520	24,4°C (sommar) 10,7°C (vinter)
	Utlopp 4	100	23,2°C

5. Resultat

I detta kapitel redovisas resultaten från modellen. Avsnitt 5.1 behandlar hydrodynamik och generella mönster av strömmar i området, med fokus på strömmar i Slitebukten. Avsnitt 5.1.1 redovisar resultaten från simuleringar av kylvattenutsläpp.

5.1 Generella strömningsmönster

Generellt varierar strömförhållanden i havet vid östra Gotland med våder och vind utan några fasta strömmar. Modellresultaten visar dock att strömmarna generellt är nordgående under vintersimuleringarna och sydgående under sommarsimuleringarna. Modellen indikerar att strömvirvlar tidvis uppstår i bukter i både liten och stor skala.

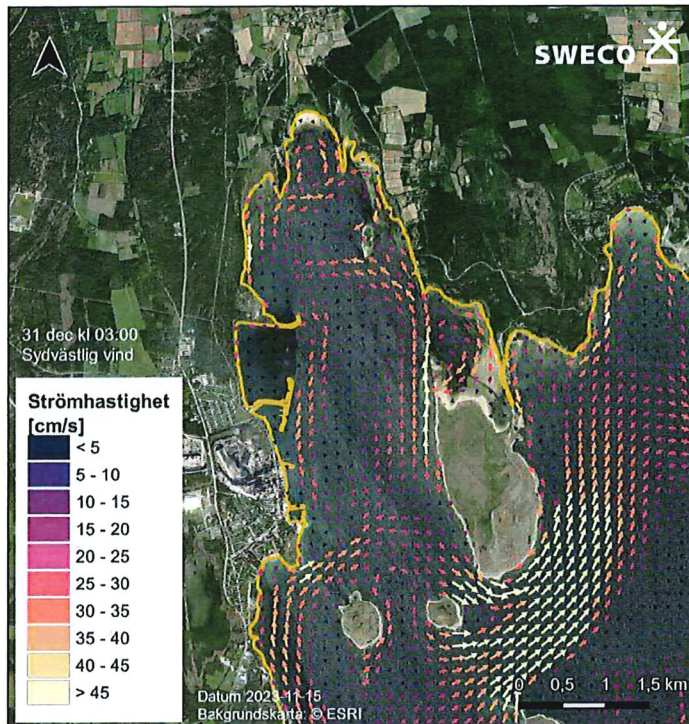
Under simulerade vinterförhållanden uppstår starkare strömmar jämfört med sommarsimuleringarna, vilket kan förklaras med starkare vindar och större vattenståndsvariationer under vintern. Högst strömhastigheter uppstår i modellen runt öar och vid sund, särskilt vid Fårösund.

I Slitebukten varierar medelhastigheterna i beräknade ytströmmar mellan cirka 5 – 15 cm/s på vintern och 0 – 10 cm/s på sommaren.

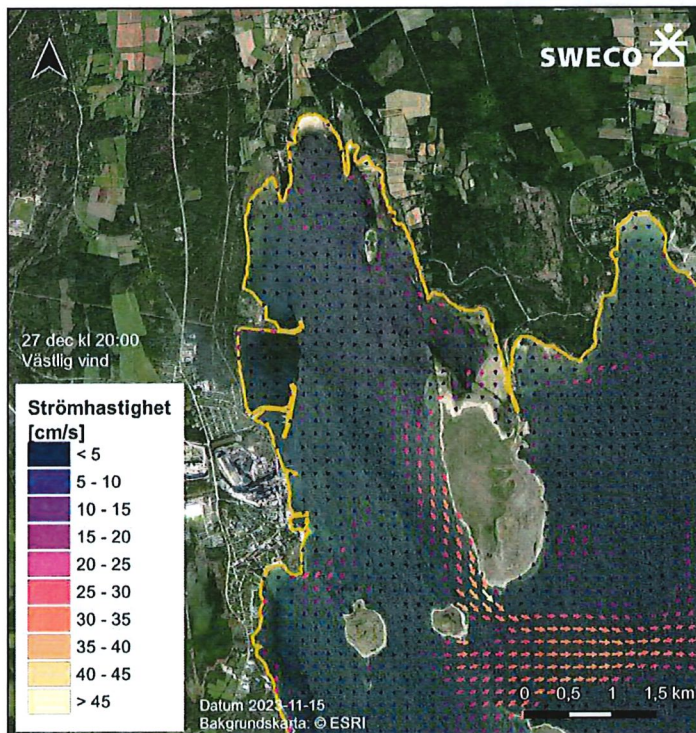
Av betydelse för spridning av kylvatten är att modellen indikerar att det tidvis uppstår strömvirvlar i Slitebukten. Beroende på vindens hastighet och riktning kan det innebära att vatten söderifrån förs norrut in mot Slitebukten som sedan stannar där med relativt långa uppehållstider. Det sker vid strömvirvlar som går moturs, vilket i simuleringarna uppstår vid sydvästliga eller sydostliga vindar och är tydligast när vindhastigheten överstiger cirka 10 cm/s. Ett exempel visas i Figur 5-1. Vindriktningen är sydvästlig och uppgår till cirka 12 m/s. Resulterande beräknade strömhastigheter är i storleksordningen 15 – 45 cm/s.

Ibland påvisar modellen att strömförhållanden istället för med sig vatten från Slitebukten ut till havet, med lägre retentionstid i bukten som följd. Figur 5-2 visar en sådan situation vid västlig vind. Det uppstår även vid nordvästliga vindar. Beräknade strömhastigheter i dessa situationer tenderar att vara lägre än vad som beräknats för strömmar som går moturs, i Figur 5-2 uppgår de till ungefär 5 – 25 cm/s.

Figurerna visar simulerade strömmar under vintern, där dessa strömmar är starkare på grund av högre vindhastigheter. Liknande situationer uppträder däremot även för sommarsimuleringarna vid liknande vindriktningar, dock generellt med lägre strömhastigheter.



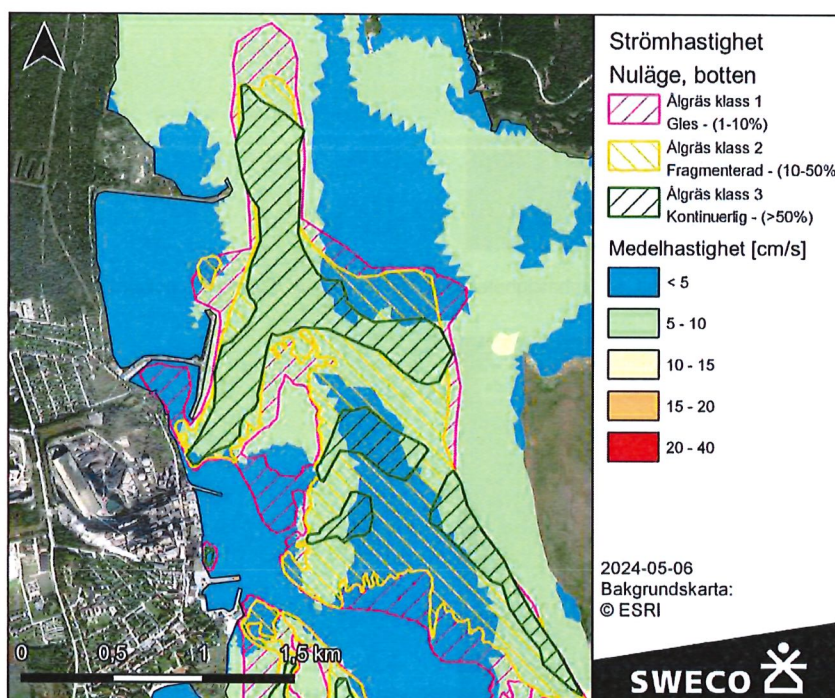
Figur 5-1 Strömvirvel moturs i Slitebukten. Sydvästlig vind. Strömhastigheter är medelvärde över djupet. Ögonblicksbild från vintersimuleringen.



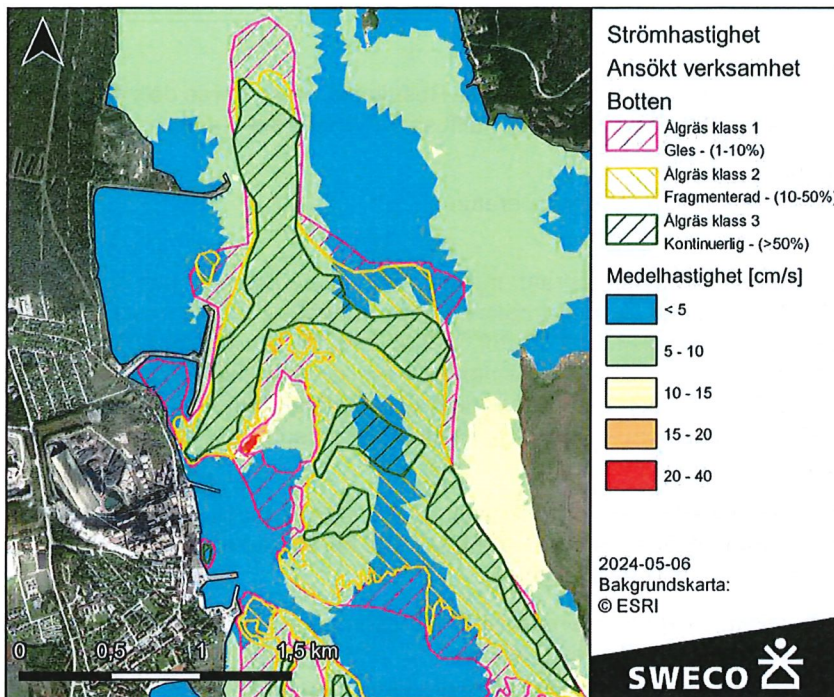
Figur 5-2 Svag strömvirvel medurs i Slitebukten. Västlig vind. Strömhastigheter är medelvärde över djupet. Ögonblicksbild från vintersimuleringen.

5.1.1 Strömpåverkan från diffusor

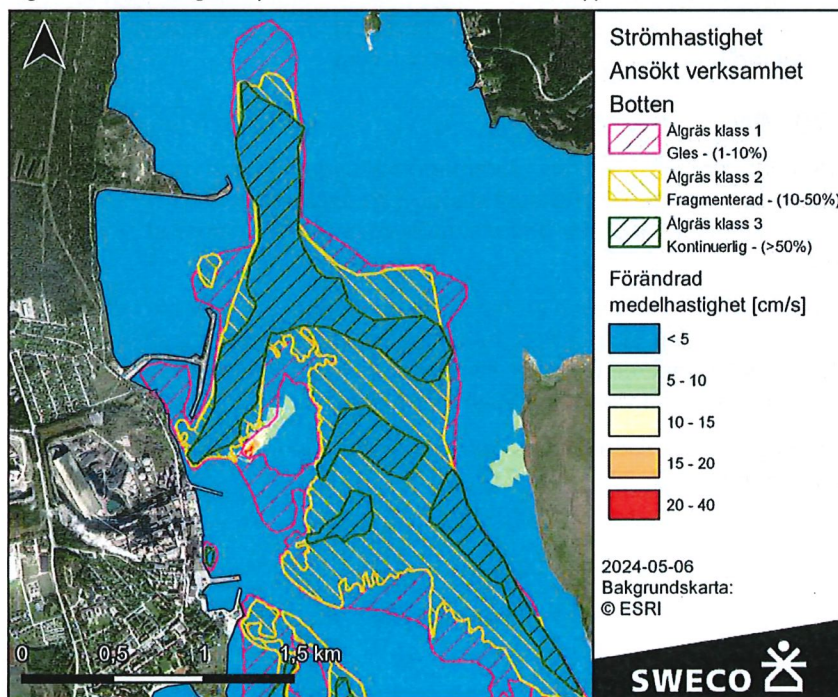
Vid utsläpp från en diffusor föreligger en risk att de strömmönster som beskrivits i föregående avsnitt påverkas, vilket kan ha betydelse för närliggande ålgräsängar under växtsäsongen. Följande avsnitt syftar därmed till att beskriva hur strömhastigheter på botten under sommarperioden påverkas av utsläpp från en diffusor. Figur 5-3 visar medelströmhastigheter på botten under sommaren i nuläget, Figur 5-4 visar motsvarande för planerad verksamhet vid utsläpp från en diffusor med ett totalt flöde av 22 400 m³/h. Figur 5-5 visar skillnaden i medelströmhastigheter mellan nuläget och vid planerad verksamhet. I figurerna visas även resultat från inventering av ålgräs och dess täckningsgrad. Figuren visar att störst påverkan på strömhastigheter uppstår närmast diffusorn. Cirka 5 m från utloppen uppgår medelströmhastigheterna till cirka 40 cm/s. Detta innebär en markant minskning av utsläppshastigheten, som uppgår till cirka 4 m/s. Cirka 200 m ut avtar strömhastigheten till cirka 10 – 20 cm/s, vilket innebär en ökning mot nuläget på cirka 5 – 15 cm/s. Detta sker huvudsakligen i områden där ålgräsets täckningsgrad är lägre än 10 %.



Figur 5-3 Strömshastigheter på botten under sommaren i nuläget.



Figur 5-4 Strömshastigheter på botten under sommaren vid utsläpp från diffusorn.



Figur 5-5 Skillnaden i strömshastigheter mellan scenariot med utsläpp vid diffusorn och nuläget. Figuren avser strömshastigheter på botten under simulerad sommarperiod.

5.2 Kylvatten

I detta avsnitt redovisas resultaten av kylvattensimuleringarna. Resultaten presenteras dels för 70 MW utsläpp från ångturbinen, dels för 200 MW utsläpp från diffusorn. Resultaten redovisas i form av:

- Kartor av övertemperatur
- Tidsserier och varaktighetsdiagram av övertemperatur

Med övertemperatur menas skillnaden i vattentemperatur mellan planerad verksamhet och nuläget. Övertemperaturen ska alltså förstås som den temperaturökning som i medel beräknats uppstå i recipienten på grund av det ökade kylvattenutsläppet. Kartor över övertemperatur presenteras i form av medelvärde för den simulerade perioden. Notera att jämförelser mellan två simuleringar tidvis kan ge upphov till mycket små temperaturskillnader, exempelvis till följd av små skillnader i strömmönster. En övertemperatur på +/- 0,5°C ska tolkas som en försumbar skillnad och bedöms ligga inom ramen för simuleringarnas felmarginaler.

De faktiska vattentemperaturer som uppstår i de olika scenarierna och som ligger till grund för beräkning av övertemperaturen sammanfattas i Bilaga 1. De visas inte här då det är övertemperaturen som är av relevans för miljöbedömningen.

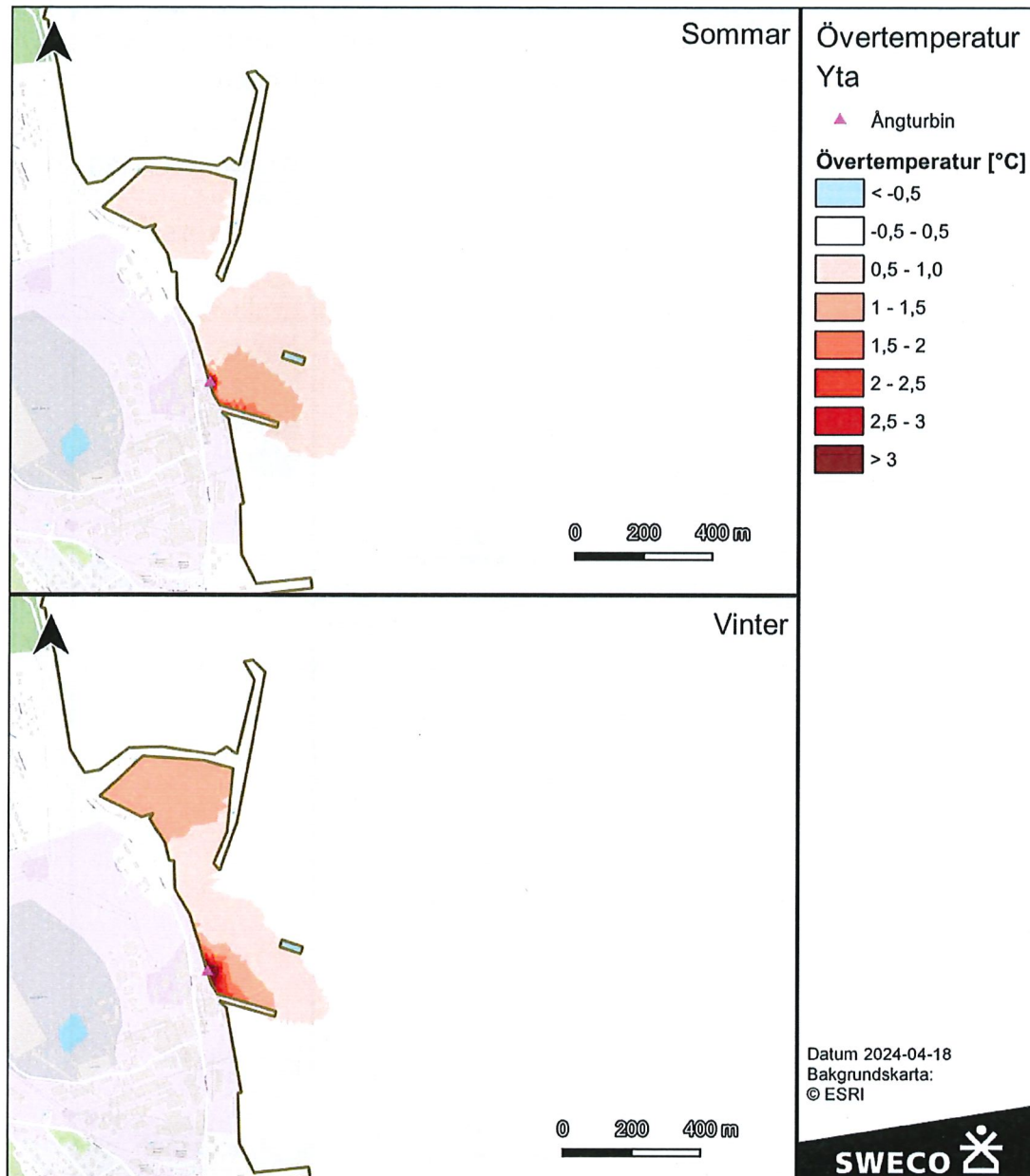
Eftersom simuleringarna är dynamiska så varierar temperaturpåverkan över tid. Medelvärdet över en period riskerar därmed att missa viktiga avvikelser av påverkan. För att få en mer komplett bild av hur påverkan varierar i tid och rum har därför tidsserier och varaktighetsdiagram av övertemperaturen i några utvalda punkter i recipienten tagits fram. Tidsserierna ger en överblick av hur övertemperaturen förändras över tid i en viss punkt medan varaktighetsdiagrammen visar hur stor andel av tiden en viss övertemperatur överskrids. I båda fall visas modellresultaten för flera djup, vilket ger en mer komplett förståelse för hur temperaturpåverkan från utsläppet varierar i tid och rum.

5.2.1 Övertemperatur 70 MW

Figur 5-6 visar beräknad övertemperatur i ytlagret under sommarförhållanden (överst) och vinterförhållanden (nederst) vid en kyleffekt på 70 MW som släpps från ångturbinen. Övertemperaturen visar skillnaden i medeltemperatur under simulerad period vid planerad verksamhet jämfört med nuläget.

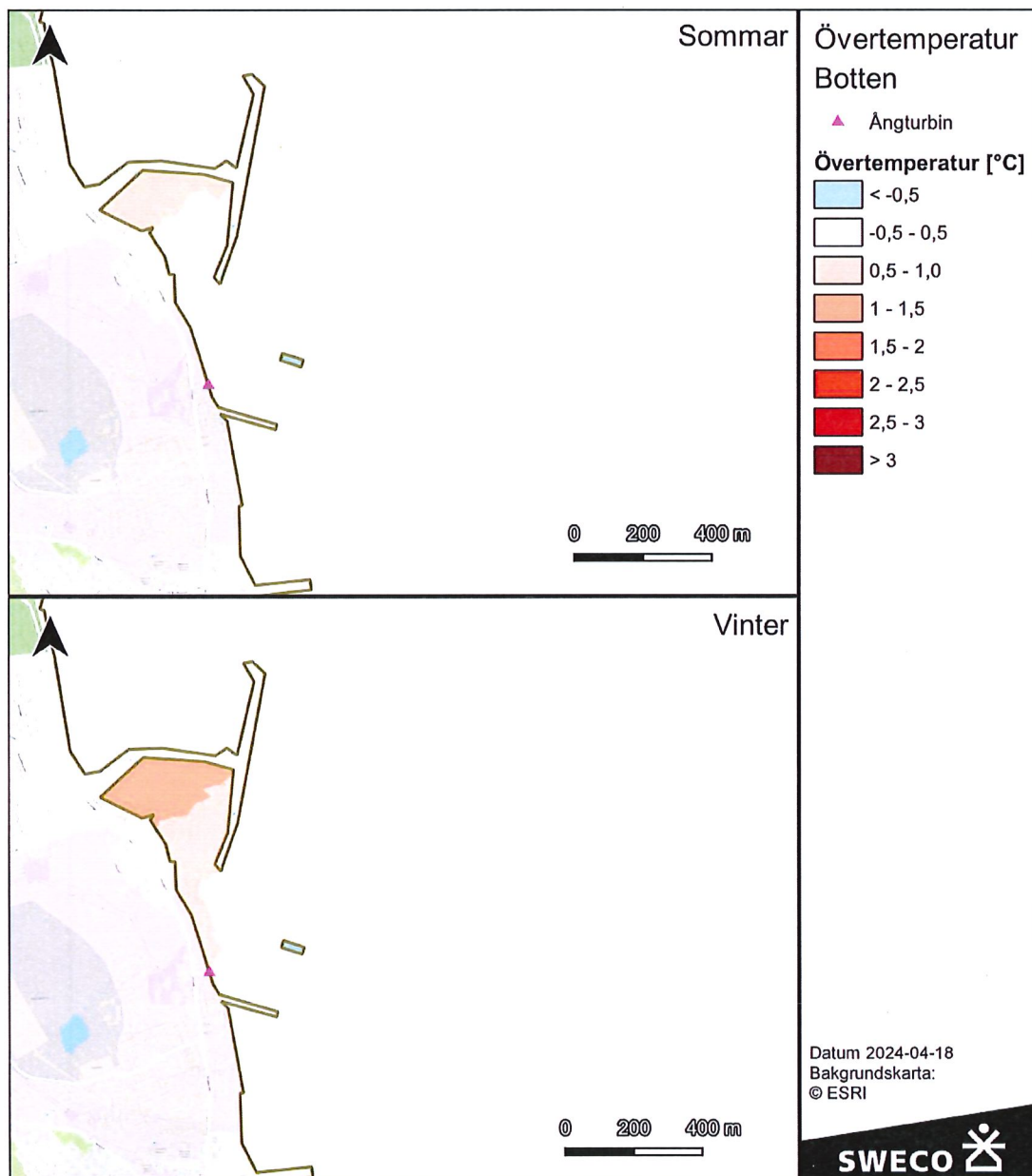
Både under vintern och sommaren indikerar modellen att temperaturpåverkan sträcker sig i västlig-östlig riktning. Förhöjda temperaturer uppstår även norrut mot småbåtshamnen, framför allt under vintern. Detta beror på att kylvatten följer med de cirkulära strömmar som ibland uppstår som för med sig vatten ut från land innan de viker av norrut vidare in i Slitebukten.

Beräknade övertemperaturer är högre under vintern än under sommaren, med upp till 8°C på vintern jämfört med cirka 5 – 6°C på sommaren.



Figur 5-6 Övertemperatur i ytan under sommaren (överst) och vintern (nederst). Figuren visar skillnaden i medeltemperatur mellan planerad verksamhet (70 MW) och nuläget.

Figur 5-7 visar beräknade övertemperaturer i botten under sommaren (överst) och vintern (nederst). Under vintern visar modellen en större temperaturpåverkan inne i småbåtshamnen än under sommaren. Notera att bottendjupet varierar mellan 0 och cirka 10 m i området i figuren. Inne i småbåtshamnen är djupet strax över 2 m. Resultaten i Figur 5-6 och Figur 5-7 visar att hela vattenkolumnen i småbåtshamnen under vintern har förhöjd temperatur jämfört med nuläget.



Figur 5-7 Övertemperatur i botten under sommaren (överst) och vintern (nederst). Figuren visar skillnaden i medeltemperatur mellan planerad verksamhet (70 MW) och nuläget.

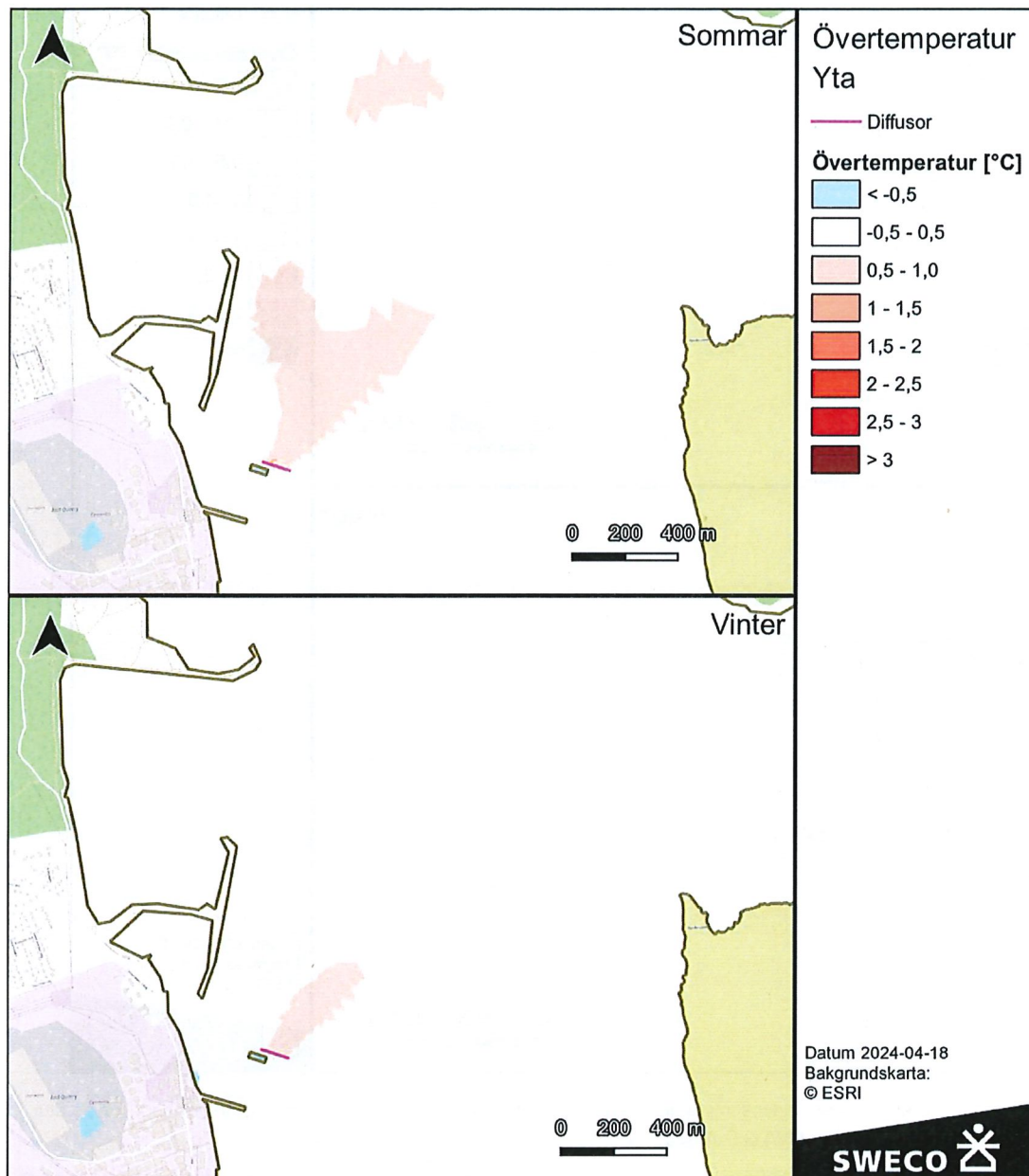
5.2.2 Övertemperatur 200 MW

Figur 5-8 visar beräknad övertemperatur i ytlagret under sommarförhållanden (överst) och vinterförhållanden (nederst) vid 200 MW kyleffekt som släpps från en diffusor. Övertemperaturen visar skillnaden i medeltemperatur under simulerad period vid planerad verksamhet jämfört med nuläget.

Både under vintern och sommaren indikerar modellen att temperaturpåverkan sträcker sig i nordostlig riktning, vilket beror på att diffusorns utlopp pekar i nordostlig riktning. Beräknade övertemperaturer är jämförbara under sommar och vinter, i storleksordningen 0,5 - 1°C. På sommaren är utbredningsområdet dock större.

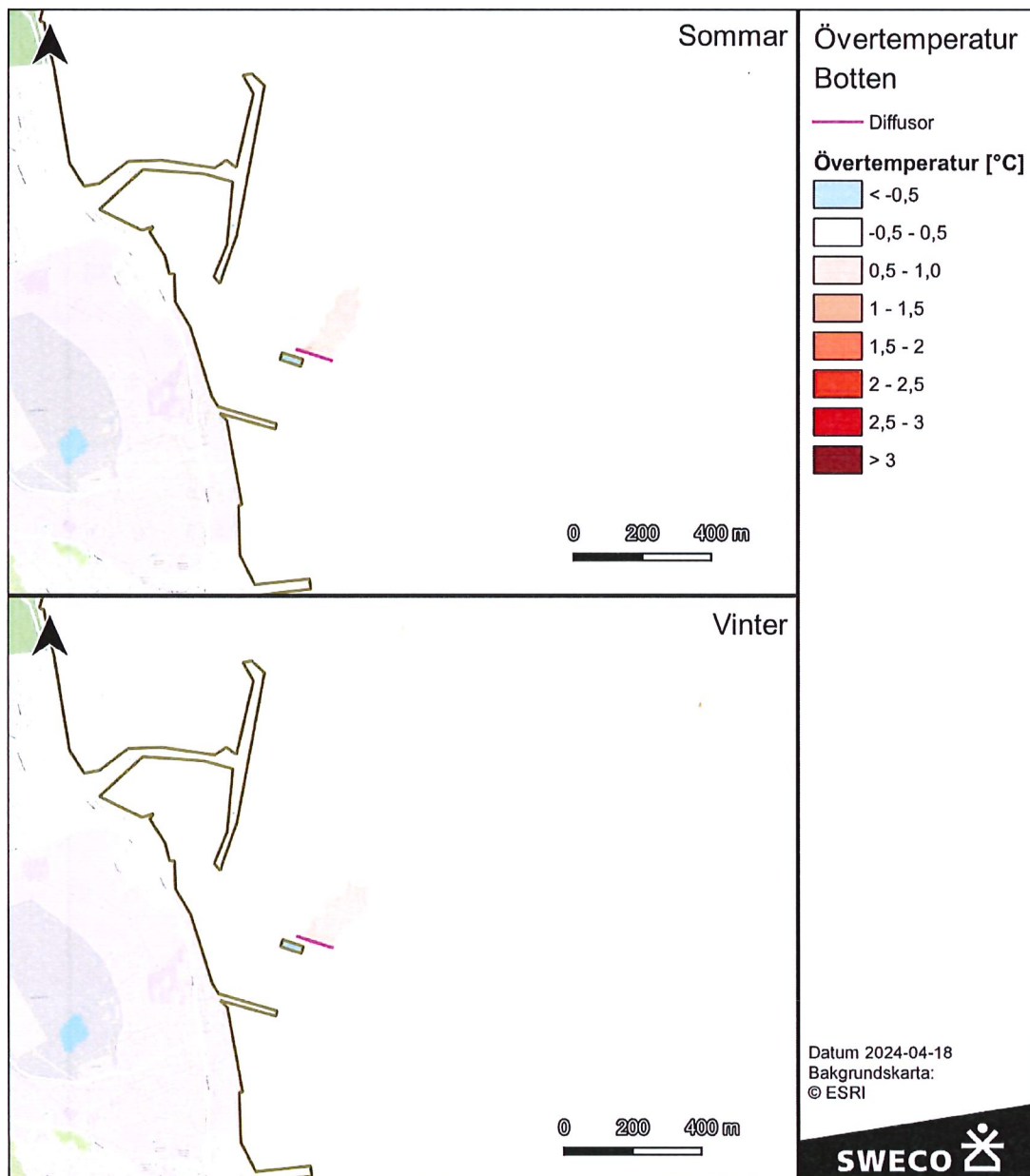
Det framgår av modellresultaten att avkylningen är mycket effektiv när utsläppen sker från en diffusor. Detta förklaras dels av att utsläppet fördelas på 10 separata utsläppspunkter, dels av att

utsläppshastigheten initialt är mycket hög. Båda dessa faktorer sörjer för en mycket effektiv ombländning av utsläppet i vattenkolumnen.



Figur 5-8 Övertemperatur i ytan under sommaren (överst) och vintern (nederst). Figuren visar skillnaden i medeltemperatur mellan planerad verksamhet (200 MW) och nuläget.

Figur 5-9 visar beräknade övertemperaturer i botten under sommaren (överst) och vintern (nederst) vid kylvattenutsläpp från en diffusor. Beräknad övertemperatur är i storleksordningen 0,5 – 1°C under både vinter och sommar, utbredningsområdena är också mycket snarlika och relativt begränsade.

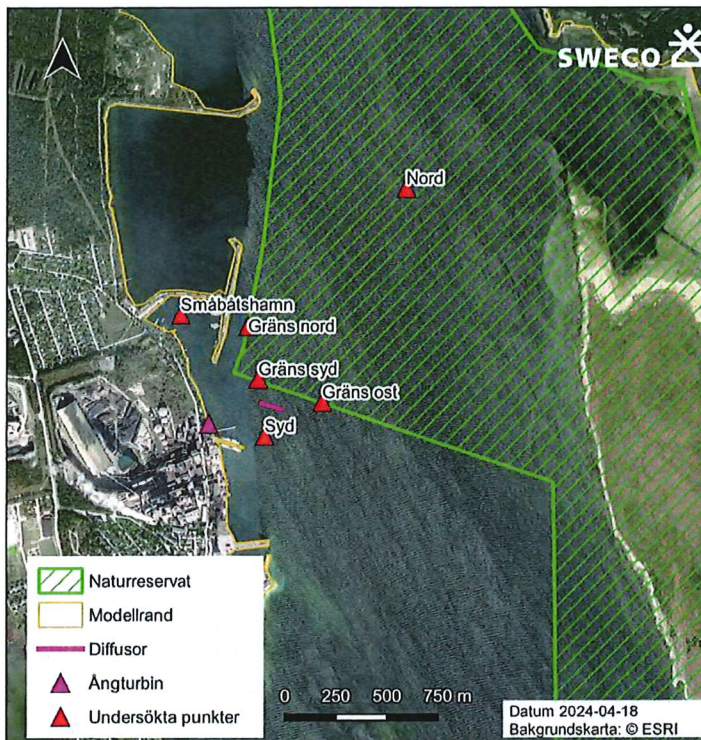


Figur 5-9 Övertemperatur i botten under sommaren (överst) och vintern (nederst). Figuren visar skillnaden i medeltemperatur mellan planerad verksamhet (200 MW) och nuläget.

5.2.3 Tidsserier och varaktigheter 70 MW

Tidsserier och varaktighetsdiagram har tagits fram för sex punkter i recipienten (Figur 5-10). Tre av punkterna ligger på naturreservatets gräns, en av punkterna ligger inne i naturreservatet, en ligger i småbåtshamnen och en är belägen öster om Slite. Punkterna har valts för att få en överblick av temperaturpåverkan på naturreservatet men även hur påverkan utanför reservatet ser ut.

Samtliga tidsserier visar beräknad övertemperatur över tid på olika djup. Samtliga varaktighetsdiagram visar andelen av tiden som en viss övertemperatur överskrids, även dessa visas för olika djup i modellen.



Figur 5-10 Undersökta punkter i närheten av verksamhetsområdet för vilka tidsserier och varaktighetsdiagram har producerats.

Sommar

Figur 5-11 visar tidsserier och varaktighetsdiagram för beräknad övertemperatur i undersökta punkter under sommarförhållanden vid ett kylvattenutsläpp på 70 MW från ångturbinen. I samtliga figurer visas modellresultaten över flera djup. I flera fall syns en tydlig skillnad där ytvattnet har större påverkan än djupare vatten, vilket indikerar att kylvattenutsläppet stannar vid ytan med begränsad vertikal omblandning.

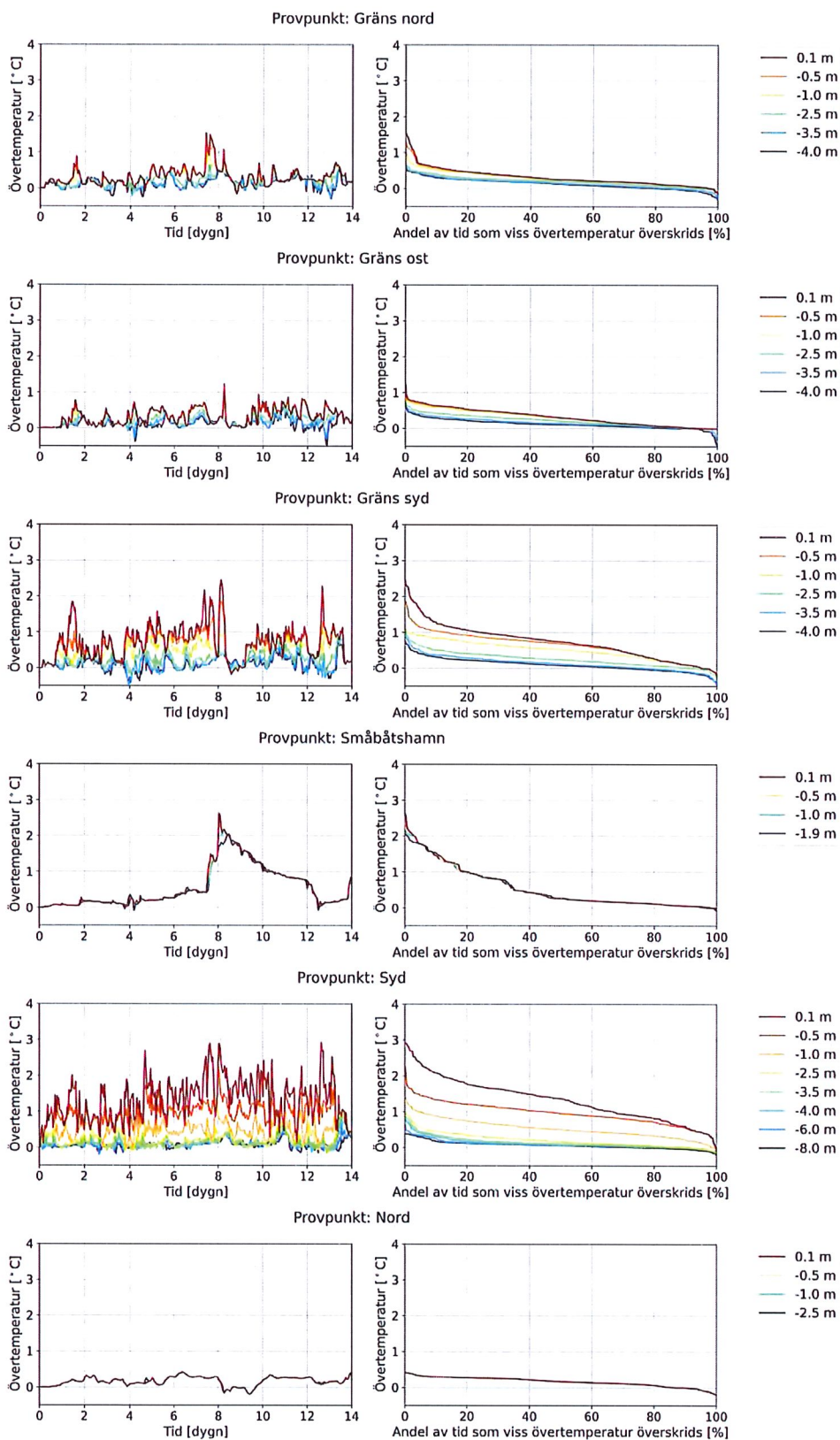
Längs gränsen till naturreservatet är övertemperaturen som störst vid punkten *Gräns syd*. Här är övertemperaturen generellt runt 1 °C eller lägre och som mest uppemot 2 – 2,5 °C. Enligt varaktighetsdiagrammet för denna punkt överstiger övertemperaturen 1 °C ungefär 30 % av tiden i ytan. I punkterna *Gräns nord* och *Gräns syd* är övertemperaturen lägre och överstiger 1 °C cirka 5 % av tiden för *Gräns nord*, och mindre än 5 % av tiden vid *Gräns ost*.

Störst övertemperatur syns i den sydligaste punkten, *Syd*, där övertemperaturen som mest uppgår till strax under 3 °C. Tidsserien för denna punkt visar även en tydlig vertikal variation, där övertemperaturen är som högst nära ytan och lägre längre ner i vattenkolumnen. Detta syns även tydligt i varaktighetsdiagrammet som visar att övertemperaturen i ytan under sommaren överstiger 1 °C cirka 60 % av tiden medan den temperaturen aldrig överskrider på djup större än 2,5 m.

I småbåtshamnen syns stegvisa förändringar i övertemperaturen. Detta är på grund av att vatten tidvis trycks in i småbåtshamnen och stannar kvar där eftersom hamnens utformning förhindrar genomströmning av vatten. När strömförhållanden ute i bukten ändras så kan nytt vatten komma in i hamnen vilket minskar eller ökar övertemperaturen beroende på vind- och strömförhållanden.

I punkten *Nord* som ligger inuti naturreservatet är övertemperaturen försumbar jämfört med övriga punkter och överstiger aldrig 0,5 °C under den modellerade tidsperioden.

Tidsserier och varaktigheter. 70 MW, Ångturbin, sommar.



Figur 5-11 Tidsserier (vänster) och varaktighetsdiagram (höger) av övertemperaturen i provpunkterna. Sommarförhållanden.

Vinter

Figur 5-12 visar tidsserier och varaktighetsdiagram för övertemperaturen för undersökta punkter under vinterförhållanden. Även här visas resultaten för flera djup. Notera att modellens djuplagerindelning för vintersimuleringarna skiljer sig från sommarsimuleringarna, varför andra djupintervall visas jämfört med sommaren.

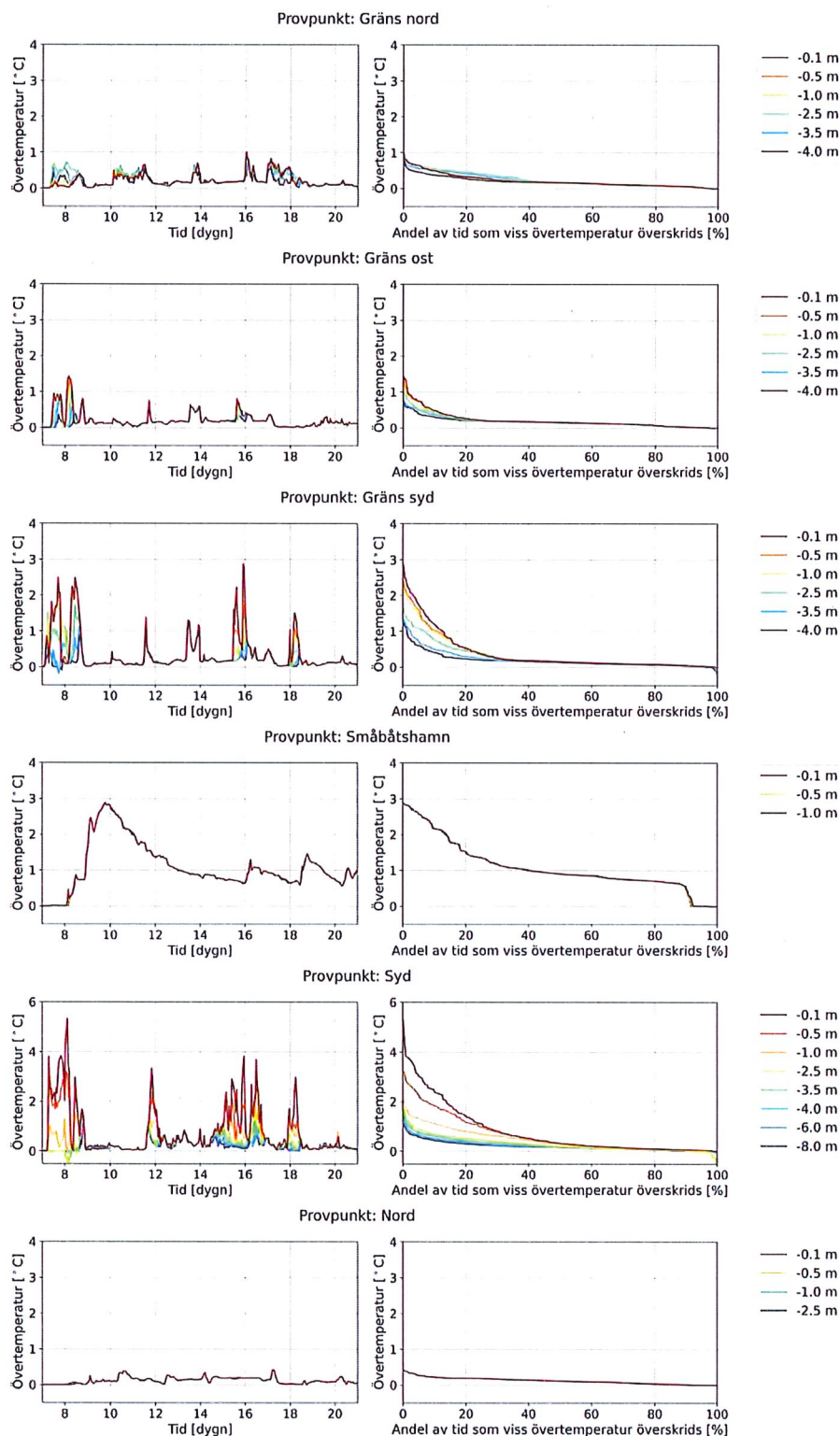
Generellt syns snarlika mönster som under sommaren. Längs gränsen till naturreservatet är beräknad övertemperatur vid punkten *Gräns syd* generellt lägre än 2 °C och som mest uppemot cirka 3 °C. Enligt varaktighetsdiagrammet för denna punkt överstiger övertemperaturen 1 °C ungefär 15 % av tiden i ytan under simulerad period. 2 °C överstigs cirka 5 % av tiden i ytan. I punkterna *Gräns nord* och *Gräns syd* är övertemperaturen lägre och överstiger 1 °C cirka 5 % av tiden för *Gräns nord*, vid *Gräns ost* är överstiger övertemperaturen aldrig 1 °C under simulerad period.

Störst övertemperatur uppstår enligt modellresultaten i punkten *Syd*. Övertemperaturen här uppgår som mest till cirka 5,5 °C. Varaktighetsdiagrammet visar att övertemperaturen i ytan under simulerad period överstiger 1 °C cirka 35 % av tiden medan 2 °C överstigs cirka 15 % av tiden. Längre ner är varaktigheten kortare.

I småbåtshamnen syns, liksom för sommarsimuleringen, stegvisa förändringar i övertemperaturen. Mellan pulserna syns även att temperaturen långsamt sjunker, vilket beror på att kylvattnet omblandas i småbåtshamnen även om inga nya tillflöden sker från omgivande vatten.

I punkten *Nord* som ligger inuti naturreservatet är övertemperaturen försumbar jämfört med övriga punkter. En övertemperatur på 0,5 °C överskrids under enstaka procent av simulerad tidsperiod men blir aldrig högre än cirka 0,6 °C.

Tidsserier och varaktigheter. 70 MW, Ångturbin, vinter.



Figur 5-12 Tidsserier (vänster) och varaktighetsdiagram (höger) av övertemperaturen i provpunkterna. Vinterförhållanden. Notera att vertikal axel för punkten *Syd* skiljer sig från övriga grafer.

Sammanfattning

Sammanfattningsvis indikerar modellresultaten att högst övertemperaturer uppstår i de punkter som är närmast utsläppet. Övertemperaturen varierar beroende på rådande vindar och strömmar och är generellt högre i ytan än längre ner i vattenkolumnen. Längs gränsen till naturreservatet uppvisar undersökta punkter en övertemperatur på som mest cirka 2 – 2,5 °C under sommaren och 3 – 3,5 °C under vintern. Vid punkten *Gräns syd* uppstår i ytlagret övertemperaturer på mer än 1 °C som mest cirka 10 % av tiden under sommarsimuleringen och 20 % av tiden under vintersimuleringen. Längre ner i vattenkolumnen är varaktigheten lägre. Inuti naturreservatet indikerar simuleringarna att övertemperaturen är försumbar under både sommar och vinter.

5.2.4 Tidsserier och varaktigheter 200 MW

Detta avsnitt visar tidsserier och varaktighetsdiagram för övertemperaturen vid utsläpp från en diffusor. Samma sex punkter har använts som för alternativet med utsläpp från ångturbinen (Figur 5-10).

Sommar

Figur 5-13 visar tidsserier och varaktighetsdiagram för beräknad övertemperatur i undersökta punkter under sommarförhållanden vid 200 MW kylvattenutsläpp från en diffusor.

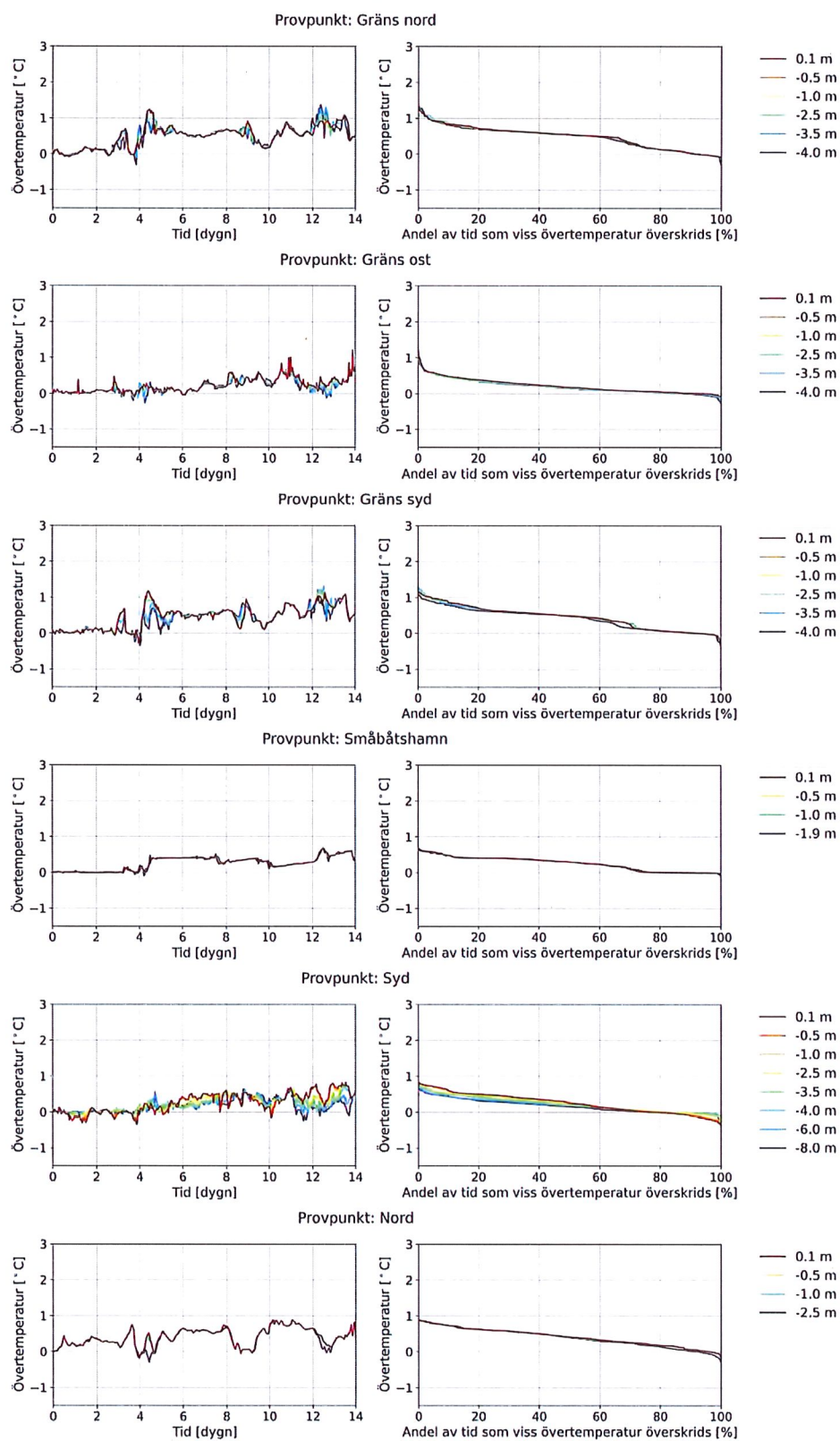
I samtliga figurer visas modellresultaten över flera djup. I motsats till utsläpp från ångturbinen syns inga större skillnader i övertemperatur på olika djup, vilket indikerar att den vertikala omblandningen är hög. Vidare är övertemperaturen generellt låg (i storleksordningen 0,5 - 1 °C) och inga större skillnader syns mellan de olika provpunkterna.

Generellt visar både tidsserier och varaktighetsdiagram att övertemperaturen är låg. Endast i punkterna närmast diffusorn och direkt norr om den (*Gräns nord*, *Gräns syd* och *Gräns ost*) överstiger övertemperaturen 1 °C. Detta sker endast vid enstaka tillfällen, övertemperaturer över 1 °C uppstår mindre än 5 % av tiden.

I småbåtshamnen är övertemperaturen generellt under 0,5 °C.

I punkten *Nord* som ligger inuti naturreservatet är övertemperaturen jämförbar med övriga punkter, om än lägre än i de punkter som ligger närmast diffusorn. Det tyder på en nordgående plym, vilket även syns i de kartor över övertemperatur som redovisats i avsnitt 5.2.2. Övertemperaturen överstiger i punkten *Nord* överstiger aldrig 1 °C under simuleringssperioden.

Tidsserier och varaktigheter. 200 MW, Diffusor, sommar.



Figur 5-13 Tidsserier (vänster) och varaktighetsdiagram (höger) av övertemperaturen i provpunkterna. Sommarförhållanden.

Vinter

Figur 5-14 visar tidsserier och varaktighetsdiagram för beräknad övertemperatur i undersökta punkter under vinterförhållanden vid 200 MW kylvattenutsläpp från diffusorn. Även här visas resultaten för flera djup. Notera att modellens djuplagerindelning för vintersimuleringarna skiljer sig från sommarsimuleringarna, varför andra djupintervall visas jämfört med sommaren.

Generellt syns mycket snarlika mönster som under sommaren, med hög vertikal omblandning och generellt låga övertemperaturer. Endast i punkten *Syd* syns en tydlig skillnad där den vertikala omblandningen tycks vara högre under vintern än under sommaren. Övertemperaturerna är dock jämförbara även i denna punkt.

I småbåtshamnen är övertemperaturen något lägre än för sommarsimuleringen, och överskrider aldrig 0,5 °C, vilket ska ses som en försumbar temperaturpåverkan.

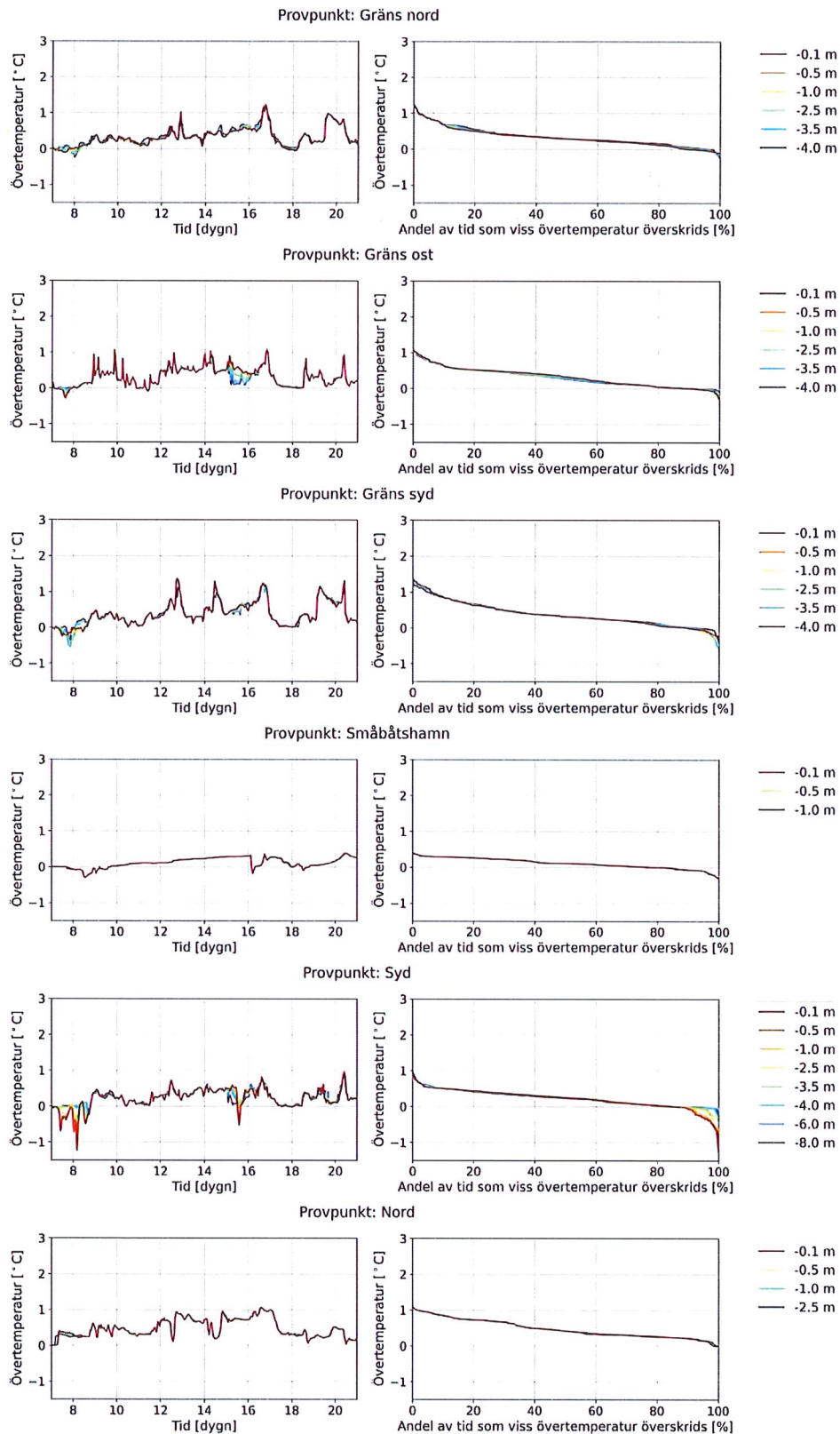
Ingen av punkterna visar en övertemperatur som överskrider 1,5 °C.

Sammanfattning

Sammanfattningsvis indikerar modellresultaten att utsläpp från en diffusor ger upphov till en hög vertikal omblandning med låga övertemperaturer som följd. Övertemperatur som överskrider 1 °C uppstår cirka 5 – 10 % av tiden i de undersökta punkter som ligger närmast diffusorn.

Övertemperaturer över 1,5 °C sker inte i någon av punkterna under simulerade sommar- och vinterperioder. Övertemperaturen i småbåtshamnen är försumbar medan påverkan i naturreservatet generellt är lägre än 1 °C.

Tidsserier och varaktigheter. 200 MW, Diffusor, vinter.



Figur 5-14 Tidsserier (vänster) och varaktighetsdiagram (höger) av övertemperaturen i provpunkterna. Vinterförhållanden.

6. Slutsatser

Resultaten som redovisats i kapitel 5 ger att temperaturpåverkan generellt är högre vid en kyleffekt på 70 MW som släpps från ångturbinen än vid en kyleffekt på 200 MW som släpps från en diffusor. Detta beror på att utsläppet fördelas på 10 utlopp med en mycket hög utsläppshastighet, vilket leder till en hög vertikal omblandning och en mycket effektiv avkylning av utsläppt kylvatten. Påverkan från utsläpp från diffusorn uppstår huvudsakligen i Slitebukten medan påverkan från utsläpp från ångturbinen huvudsakligen begränsas till området närmast land. Nedan beskrivs slutsatser för vardera scenario separat.

Kyleffekt 70 MW

För utsläpp från ångturbinen är den vertikala omblandningen betydligt lägre än vid utsläpp från en diffusor, vilket visar sig i att övertemperaturen vid ytan i undersökta punkter oftast är högre än längre ner i vattenkolumnen. Simuleringarna av kylvattenutsläpp från ångturbinen visar att övertemperaturer större än 0,5 °C generellt uppstår i ett område som sträcker sig cirka 400 m österut från utloppet. Under vinterförhållanden är övertemperaturen högre i detta område än under sommaren. I de undersökta provpunkterna är övertemperaturen dock jämförbar under vintern och sommaren. Även i småbåtshamnen uppstår förhöjda temperaturer på uppemot 0,5 °C i medel under sommaren och uppemot 1 °C i medel under vintern. I gränsen till naturreservatet överstiger övertemperaturen 1 °C under cirka 30 % av tiden i ytan under sommaren och ca 15 % av tiden under vintern. Längre in i naturreservatet tyder tidsserier, varaktighetsdiagram och kartor på att övertemperaturen är i storleksordningen 0 – 0,5 °C. Detta bör tolkas som en försumbar övertemperatur.

De huvudsakliga slutsatserna från simulering av en kyleffekt på 70 MW är:

- Temperaturpåverkan uppstår huvudsakligen mellan utsläppspunkten och småbåtshamnen, samt i hamnbassängen ca 400 m ut från Heidelberg Materials kaj.
- Låg vertikal omblandning ger högre temperaturpåverkan i ytan än längre ner i vattenkolumnen.
- Vid gränsen till naturreservatet överskrider övertemperaturer på 1 °C grader i ytan cirka 10 – 15 % av tiden på vinter och cirka 30 % av tiden på sommaren.

Kyleffekt 200 MW

För utsläpp från diffusorn är den vertikala omblandningen hög och övertemperaturen är generellt under 1 °C. Simuleringarna av kylvattenutsläpp från diffusorn visar att förhöjda temperaturer generellt uppstår i ett område som sträcker sig i nordostlig riktning från diffusorn. Övertemperaturen är snarlik under vinter- och sommarförhållanden. I de provpunkter som ligger närmast diffusorn (*Gräns syd*, *gräns ost*, och *gräns nord*) överstiger övertemperaturen 1°C under cirka 5 – 10 % av tiden.

Utsläppshastigheten vid diffusorn är mycket hög men avtar redan efter 5 meter till cirka 30 – 40 cm/s på botten under sommarsimuleringen. På ett avstånd av cirka 200 m är bottenhastigheterna cirka 5 – 15 cm/s högre vid utsläpp från diffusorn än i nuläget. Detta sker huvudsakligen i ett område där ålgräsets täckningsgrad är lägre än 10 %.

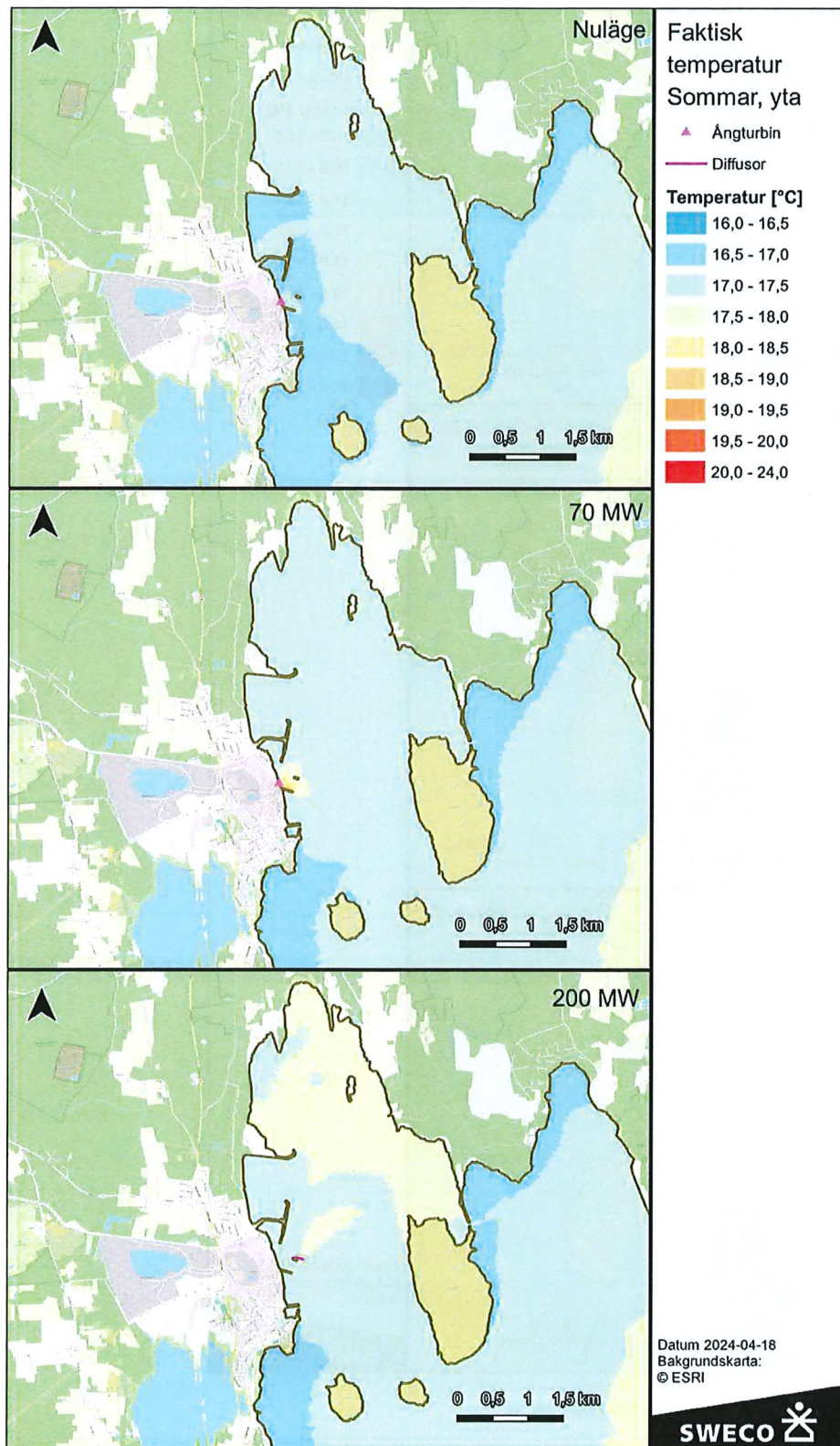
De huvudsakliga slutsatserna från simulering av en kyleffekt på 200 MW är:

- Utsläpp genom en diffusor medför hög vertikal omblandning och låga övertemperaturer, generellt under 1 °C.
- Påverkansområdet med förhöjda temperaturer uppstår huvudsakligen i nordostlig riktning från diffusorn.
- Förhöjda bottenströmshastigheter på cirka 5 – 15 cm/s är begränsade till ett område inom cirka 200 m nedströms diffusorn.

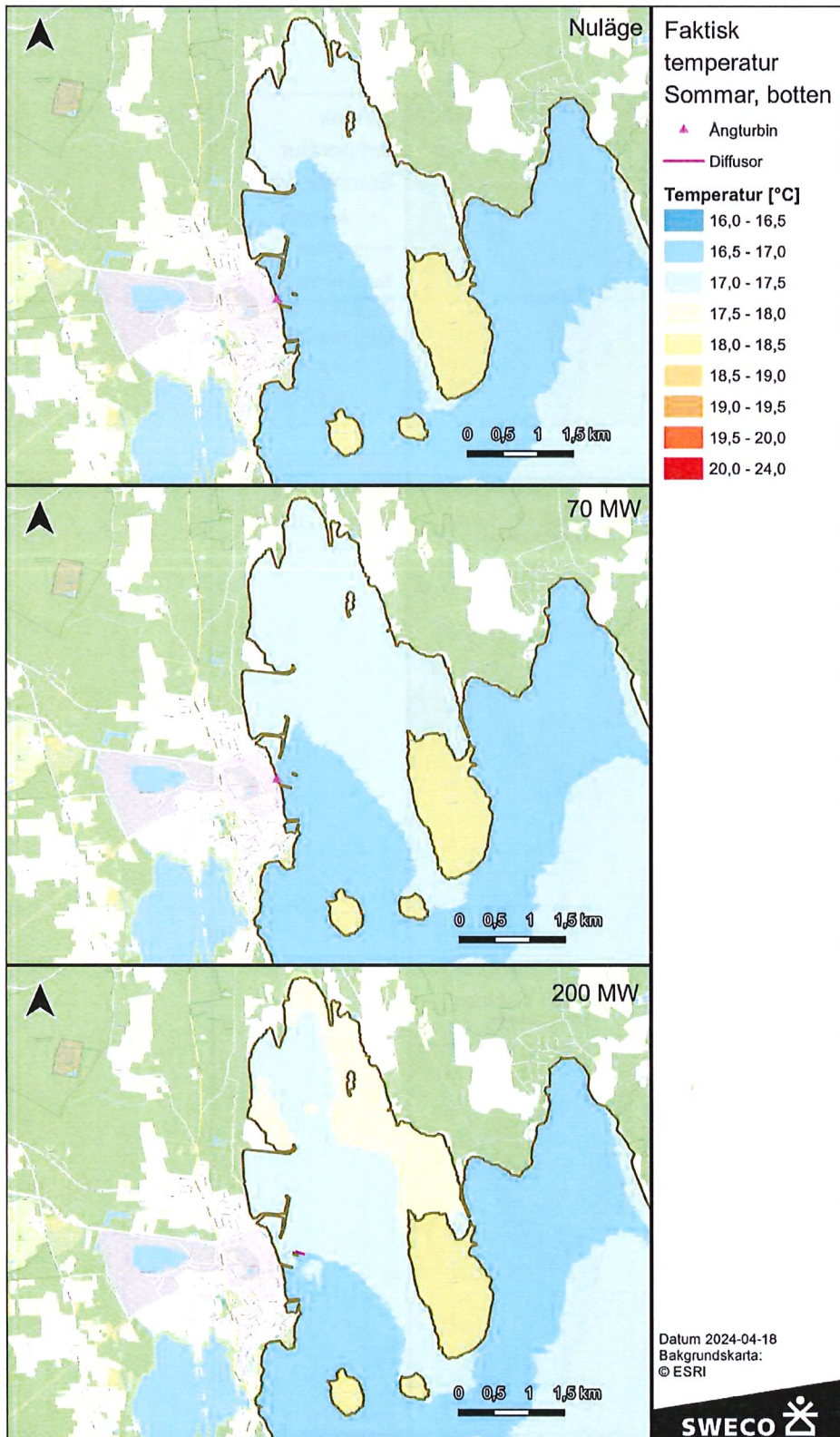
Referenser

- Navionics. (2022). *Acknowledgements*. Hämtat från <https://www.navionics.com/fin/legal/acknowledgements>
- Sjöfartsverket. (2023). *Sjöfartsverket*. Hämtat från The Baltic Sea Bathymetry Database: <https://www.sjofartsverket.se/sv/tjanster/sjokortsprodukter/projekt-och-samarbeten/the-baltic-sea-bathymetry-database/>
- SMHI. (den 1 Maj 2020). *Ladda ner oceanografiska observationer*. Hämtat från <https://www.smhi.se/data/oceanografi/ladda-ner-oceanografiska-observationer#param=seatemperature,stations=all,stationid=35183>
- SMHI. (2021). Hämtat från Oceanografiska modellen NEMO-Nordic: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/oceanografiska-modeller/oceanografiska-modellen-nemo-nordic-1.169170>
- SMHI. (den 29 Juni 2022). *Ladda ner meteorologiska observationer*. Hämtat från <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer#param=airtemperatureInstant,stations=all>
- SMHI. (den 25 Juli 2022). *Ladda ner oceanografiska observationer*. Hämtat från <https://www.smhi.se/data/oceanografi/ladda-ner-oceanografiska-observationer#param=seatemperature,stations=core>
- SMHI. (den 20 06 2022). *Vattenwebb: modelldata per område*. Hämtat från <https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>

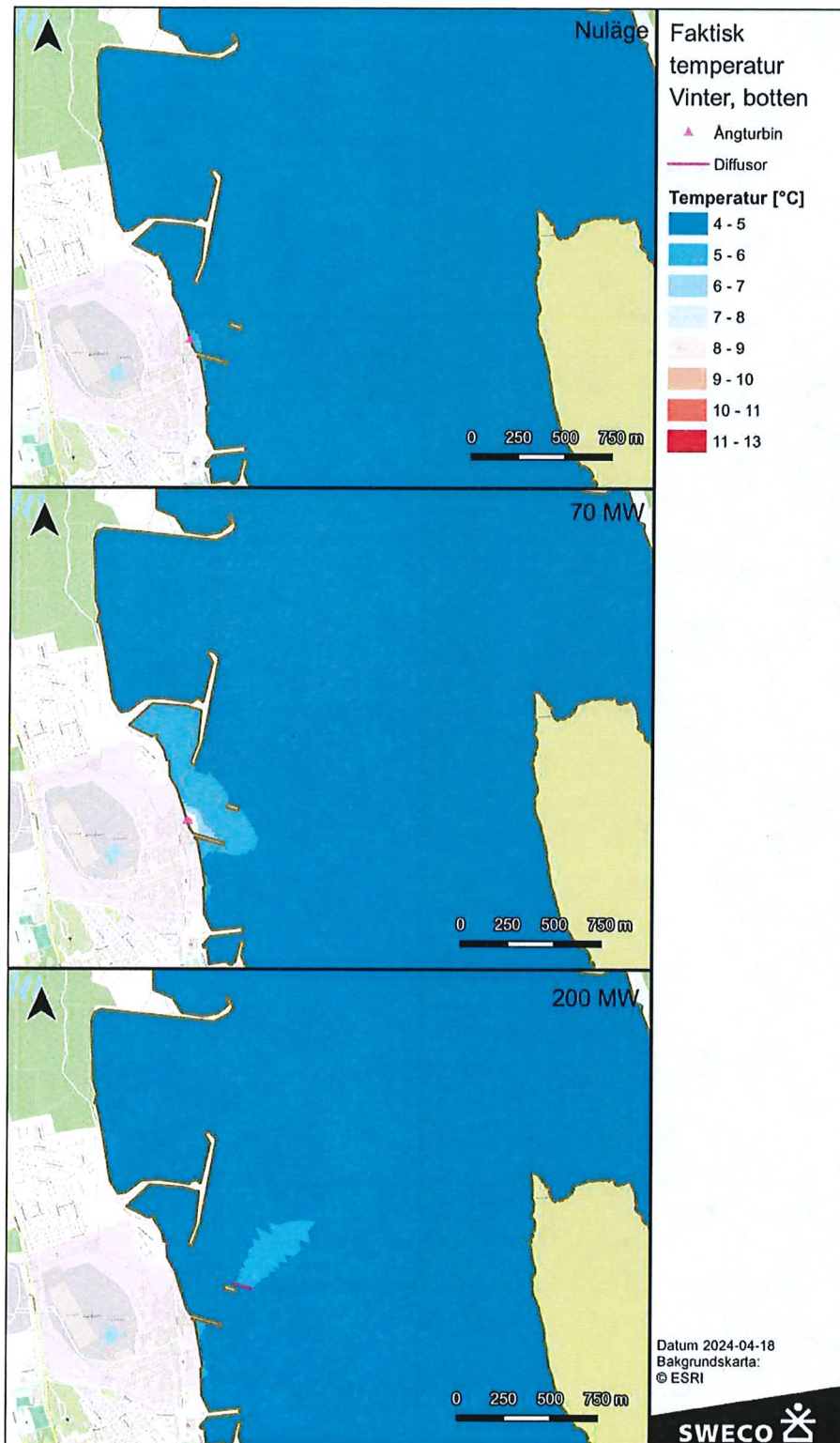
Bilaga 1



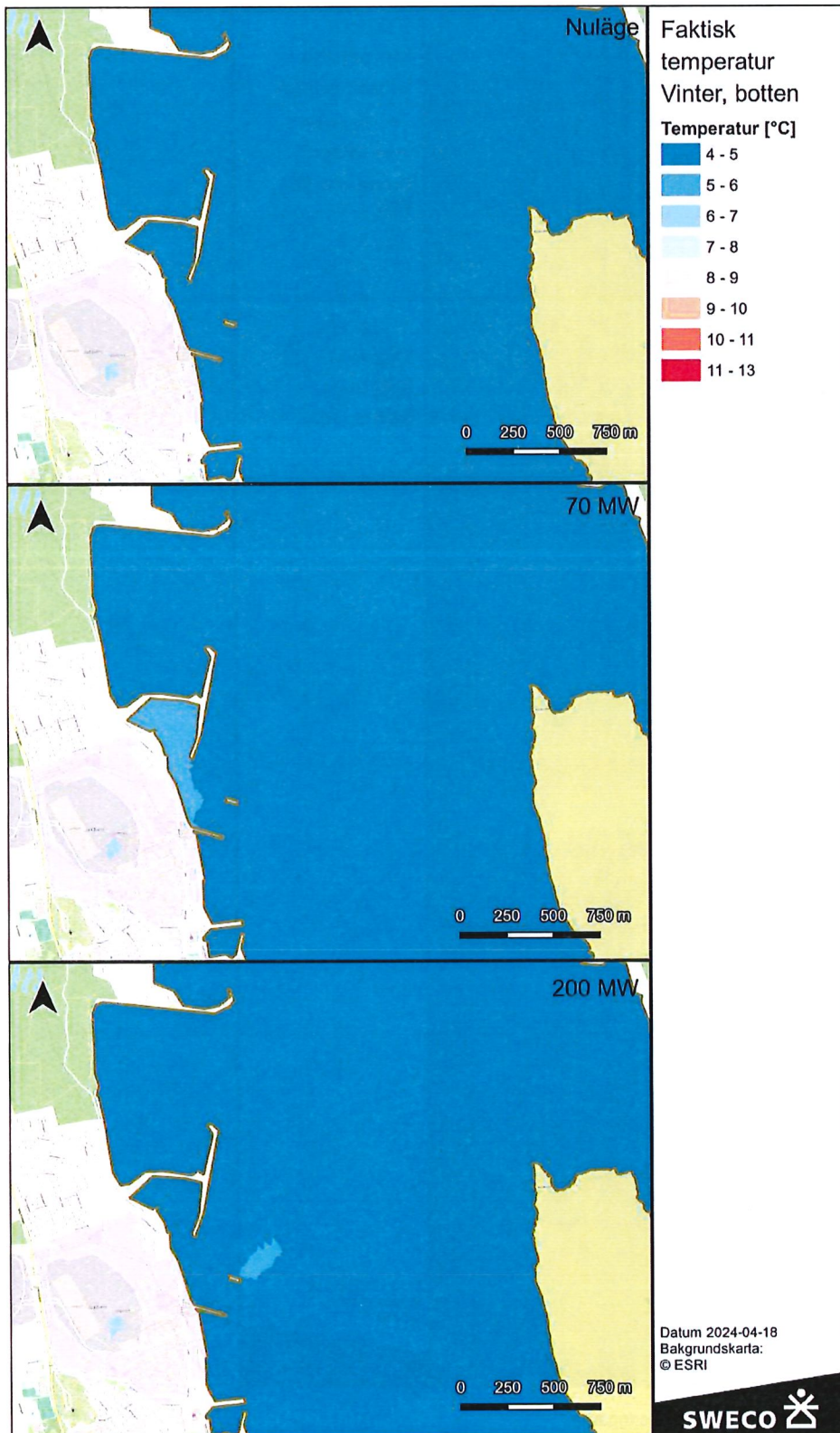
Figur 0-1 Faktisk temperatur i ytan för sommarsimuleringarna.



Figur 0-2 Faktisk temperatur i botten för sommarsimuleringarna.



Figur 0-3 Faktisk temperatur i ytan för vintersimuleringarna.



Figur 0-4 Faktisk temperatur på botten för vintersimuleringarna.