

FYRSKEPPET
OFFSHORE AB



Fyrskippet Offshore

Sedimentspridningsrapport (*svensk
översättning av bilaga M14*)



Fyrskäppet Offshore

Sedimentspridning: översatt till svenska

Vid oklarheter mellan språkversionerna gäller den engelska versionen

Fyrskäppet Offshore AB

Datum: 11 mars 2024

NIRAS SWEDEN AB
Box 70375
107 24 Stockholm
www.niras.se
Org.nr. 556175-6197

Projekttitel: Fyrskeppet - löpande

Projektnummer: 3231201-001

Upplaga: 1

Datum: 2024-03-11

På uppdrag av: Fyrskeppet Offshore AB

Uppdragsledare: Frida Seger

Originaltext: Tony Erik Bergøe & Guillaume Vigouroux

Översättning: Ewa Lavett

Kvalitetskontroll: Frida Seger

Innehåll

1.	Inledning	5
2.	Omfattning/Avgränsning	5
3.	Förkortningar	5
4.	Sammanfattning	5
5.	Metodik	7
5.1.1	Hydrodynamisk modell.....	7
5.1.2	Spektral vågmodell.....	7
5.1.3	Sedimentmodell.....	7
6.	Bakgrundsinformation	9
6.1	Fyrskippet, Projektbeskrivning	9
6.1.1	Vindkraftparkens layout	9
6.2	Batymetriska data.....	11
6.3	Observationer	11
6.3.1	Vattenstånd	11
6.3.2	Strömmar.....	13
6.3.3	Vågor.....	15
6.3.4	Salthalt and temperatur.....	16
6.4	Hydrodynamisk data från modeller	17
6.4.1	Vattenstånd	17
6.4.2	Strömmar.....	18
6.4.3	Salthalt och Temperatur	18
6.5	Vind, lufttryck, lufttemperatur, netto-lång och kortvarig strålning	18
6.6	Havsis	18
6.7	Avrinning/Tillflöden	18
6.8	Ytliga sediment.....	21
6.9	Nulägesbeskrivning	22
7.	Hydrodynamisk modell	23

7.1	Batymetri och mesh.....	23
7.1.1	Regional modell.....	23
7.1.2	Lokal modell.....	24
7.1.3	Lokal sedimentmodell.....	25
7.2	Avgränsningsdata.....	25
7.3	Modelluppställning (setup) och kalibrering.....	26
7.4	Identifiering av genomsnittsår.....	26
7.5	Modellverifikation.....	26
7.5.1	Vattenstånd, tidsserier.....	26
7.5.2	Strömmar, tidsserier.....	28
7.5.3	Strömrosor jämförelse (observation, Mike och SMHI modeller).....	30
7.5.4	Strömprofiler.....	31
7.5.5	Salthalt- och temperaturprofiler.....	34
7.5.6	Tidserier temperatur.....	35
7.5.7	Vågor, tidsserier.....	36
8.	Sedimentspridningsmodell.....	38
8.1	Sedimentkällor och spillprogram.....	38
8.2	Sedimenttyper.....	39
8.3	Uppskattat spill.....	39
8.4	Uppskattade sedimentkoncentrationer och associerade varaktigheter.....	40
8.5	Uppskattad sedimentation.....	44
9.	Referenser.....	47

[Appendix 1 : Strömhastigheter och strömriktningar för SMHI:s övervakningsstationer](#)

[Appendix 2 : Fyrskippet, Temperaturprofiler \(SMHI, modellerad 4x4km\)](#)

[Appendix 3 Fyrskippet, Salthaltprofiler \(SMHI, modellerad 4x4km\)](#)

[Appendix 4 Fyrskippet, Strömrosor \(SMHI, modellerad 4x4km\)](#)

[Appendix 5 Fyrskippet, Strömrosor \(SMHI, modellerad 2x2km\)](#)

1. Inledning

På uppdrag av Fyrskeppet Offshore AB har NIRAS kvantifierat påverkan på spridningen av sediment under anläggningsfasen för Fyrskeppet vindkraftpark. Modelleringen och kvantifieringen utgår från två typscenarier; ett med 187 turbiner med en nominell effekt på 15 MW och det andra med 187 turbiner med en nominell effekt på 30 MW. Det senare fallet utgör samtidigt ett värsta tänkbara scenario för sedimentspridning.

Den främsta skillnaden mellan de två scenarierna är storleken på gravitationsfundament och turbiner, vilket sammantaget påverkar omfattningen av bottenförberedelse.

2. Omfattning/Avgränsning

Syftet med studien av sedimentspridning är att presentera den potentiella påverkan av spridningen av sediment på grund av muddring, spolning (jetting) etc. under anläggningsarbeten av Fyrskeppet vindkraftspark.

3. Förkortningar

GBS	Gravitationsfundament
IAC	Internkabelnät
OSS	Plattform
OWF	Vindkraftspark
WTG	Vindturbin/generator
RMSE	Rotmedelfel

4. Sammanfattning

För att hantera påverkan på sedimentspridningen har hydrodynamisk och spektral vågmodell för Bottniska viken upprättats och kalibrerats. Modellen bygger på allmänna vattenståndsdata och projektdata över strömmar, temperatur, salthalt och vågor. Baserat på data från SMHI:s 3D-modell av hela Östersjön undersöktes mellanårsvariationerna. År 2021 ansågs vara nära ett genomsnittligt år och användes därför som nulägesbeskrivning av det potentiella påverkansområdet. Generellt sett är variationen mellan åren liten och påverkar sannolikt inte slutsatsen.

Allmän nulägesbeskrivning

Bottenhavet, där projektområdet för Fyrskeppet är beläget, utgör den södra delen av Bottniska viken och är separerad från Egentliga Östersjön vid Ålands hav. Hydrografiska förhållanden kännetecknas av låg salthalt (3–6 PSU) och en svag vertikal salthetsgradient (haloklin). Yttertemperaturen varierar från 0 till 2 °C under vintern till något över 20 °C mellan juni och augusti. Temperaturen är starkt skiktad under sommaren med en termoklin (zon med maximal temperaturgradient) på cirka 10–30 meters djup. Djupare temperatur, under 30 meter, varierar mindre under året, från 2 °C i slutet av vintern till 7 °C i slutet av hösten. På grund av avsaknaden av tidvatten varierar vattenståndet kring Fyrskeppet relativt lite, generellt mellan ±50 cm runt dess genomsnitt under året. Dessa variationer drivs främst av skillnader vid gränsen till Ålands hav, samt variation i vind- och tryckskillnader (metereological surge). På grund av de begränsade variationerna i vattenstånd är strömmarna

generellt svaga, cirka 0,15 m/s på ytan (maximalt 0,5 m/s) och mindre än 0,07 m/s under 30 meters djup, och drivs främst av vind samt temperatur- och salthetsvariationer. Den genomsnittliga cirkulationen i Bottenhavet är motsols med dominerande nordgående strömmar längs östsidan (Finlands kust), södergående längs västsidan (Sveriges kust) och relativt stora (≥ 10 km radie) virvlar i havets centrum. Vågor är begränsade av vindförhållanden och har en genomsnittlig signifikant våghöjd på mindre än 1 meter över året. De högsta vågorna observeras i oktober, med en genomsnittlig höjd på 1,5 meter, och är högre i norrgående riktning (långsidan av havet). Påverkan utvärderas för sedimentutsläpp som orsakas av bottenförberedelse under byggfasen.

Anläggningsfas, sedimentspredning

Simuleringsresultaten är relativt nära mellan de olika scenarierna, 15 MW och 30 MW fallen, både när det gäller total varaktighet som överstiger en given sedimentkoncentration (kontinuerligt eller inte) och sammanlagda sedimentation. På grund av större gravitationsfundamenten ger modellering för de större, 30 MW turbiner, generellt alltid något högre påverkan. Koncentrationer av sedimentpartiklar i ytvattnet på 10 mg/l kan spridas och täcka 87 % och 95 % av Fyrskippet i minst 3 timmar, 43 % och 56 % i 12 timmar och 1 % och 3 % i 48 timmar för 15 MW och 30 MW fallet, respektive (Tabell 8.4 och Tabell 8.5). Detta indikerar att sediment som släpps ut vid ytan späds ut relativt snabbt. I princip ingen del av Fyrskippet nårsedimentkoncentrationer över 10 mg/l i mer än 72 timmar totalt under byggfasen. Ytvatten med högre sedimentkoncentrationer håller sig mestadels inom Fyrskippet vindkraftpark. Spillvatten med en ökning av sedimentkoncentrationer på 10 mg/l påverkar mycket begränsade delar av Natura 2000-området Finngrundet i mindre än 13 timmar. Högre sedimentkoncentrationer (50 mg/l) i ytvatten sprider sig inom 1 km av Fyrskippet.

Risken för sedimentkoncentrationer över 50 mg/l i ytvattnet ska sprida sig till Natura 2000-området är låg, medan mindre koncentrationer kan förekomma i mindre än 24 timmar, beroende på strömningshastighet och riktning. På grund av de låga strömningshastigheterna längst ner sjunker sedimenten i det djupare lagret snabbt till botten, och deras påverkan är därför begränsad till närheten av fundament och anläggningsarbeten, utan att ge någon ökning av sedimentkoncentrationer inom de djupaste 5 metrarna ovanför havsbotten som omger Fyrskippet, inklusive Natura 2000-området. Nästan inga delområden av Fyrskippet inom de djupaste 5 metrarna närmast havsbotten kommer utsättas för sedimentkoncentrationer över 10 mg/l i mer än en dag, och mycket begränsade områden har koncentrationer över 100 mg/l i 3–6 timmar.

När det gäller sedimentation genererar installationen av Fyrskippet för både 15 MW- och 30 MW-fallen måttlig sedimentation (1 mm till 5 mm) i 1 % till 13 % av Fyrskippet, medan högre grad av sedimentation påverkar mindre än 1 % av Fyrskippet. Sedimentspill avsätts främst nära anläggningsarbeten och på grund av låga bottenströmningshastigheter uppstår inte re-suspension, och sedimentet avsätts generellt stabilt. Ingen ökning av sedimentation observeras i det intilliggande Natura 2000-området.

5. Metodik

För att uppskatta påverkan på hydrodynamik och sedimentspridningen användes tre typer av numeriska modeller

- 1) En 3D hydrodynamisk modell för att simulera vattenstånd och strömmar
- 2) En vågmodell för att simulera dominerande vågrörelser
- 3) En sedimentmodell för att simulera spridning och deposition av sediment p g a installationsarbeten

Innan någon utvärdering av potentiella påverkan görs, kalibreras de två grundmodellerna, hydrodynamisk modell och vågmodell, mot data som samlats in av projektet (vågor, strömmar, salthalt och temperatur) samt offentligt tillgängliga vattenståndsdata från Sverige och Finland.

Baserat på 10 års data beskrivs en referensnivå och ett genomsnittligt år identifieras för att användas i simulering av anläggningsfasen.

De numeriska modellerna som används för att simulera referensnivån och trycket från Fyrskippet beskrivs kort nedan, och ytterligare information finns här: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products>.

Bathymetriska data för modellområdet kommer att extraheras från C-Map, som innehåller digitaliserade sjökort över hela världen, samt EMODnet. Fritt tillgängliga gränsvärden för vattenstånd och vågförhållanden kommer att tillämpas vid gränsen mot Östersjön, tillsammans med vindfält på ytan av modellområdet. Vinddata förväntas hämtas från ECMWF, ERA5 och vågdata från SMHI.

Två modeller sattes upp:

- 1) En generell modell över Bottenviken (regional)
- 2) En högupplöst lokal modell – avgränsad utifrån definierat projektområde och extraherad från regional modell

MIKE3 HD och MIKE21 SW kommer att användas tillsammans för att utvärdera tidsserier av våg-, ström- och vattenståndsforhållanden. Modellerna tar hänsyn till generella oceanografiska faktorer som vågenergiomvandling .

5.1.1 Hydrodynamisk modell

MIKE 3 HD FM (Hydrodynamik) är en hydrodynamisk modell med ett flexibelt nät (mesh). Baserat på tidvatten- och ströminmatningar längs de öppna gränserna tillsammans med vindförhållandena vid havsytan simulerar modellen tidvatten och djupintegrerad strömhastighet och strömriktning i hela modellområdet. Fördelen med ett flexibelt nät är möjligheten att använda varierande storlekar på nätet över modellområdet. Därför kan fokusområdet ha en hög upplösning, och områden längre bort kan ha en grövre upplösning. Detta gör att modellen kör snabbare, med en försumbar inverkan på simuleringens resultat.

5.1.2 Spektral vågmodell

MIKE 21 SW FM (Spectral Waves) är en spektral vågmodell som modellerar vågornas tillväxt och utsläckning beroende på vindpåverkan, vågtransformation, vågdämpning (från skumbildning, bottenfriktion och djupinducerad vågbrytning), refraktion och uppgrundning .

5.1.3 Sedimentmodell

MIKE 21/3 PT (Particle Tracking) är en så kallad Lagrangiansk modell som över tiden beaktar både partiklarnas position och egenskaper, till exempel genom att följa partikelns position i både x-, y- och z-riktning enligt

medelströmningsfältet. Detta är motsatsen till en Eulerisk modell, som gör det cellvis där koncentrationen till exempel blir ett genomsnitt av volymen över varje cell. Denna typ av modell är extremt känslig för modellens upplösning både horisontellt och vertikalt, medan den Lagrangiska metoden är oberoende av cellstorlekar.

Valet av MIKE 21/3 PT för att modellera sedimentspridning beror på plymens naturliga form som varierar beroende på om den skapas av grävning, borrning, plöjning och spolning. Sedimentplymerna är initialt smala och modelleras för olika vattendjup. Detta är svårt att beskriva i en traditionell modell, till exempel MIKE 21 MT-nät, samtidigt som en rimlig beräkningstid upprätthålls.

För att bedöma mängden och varaktigheten av utsläpp är det viktigt att förstå byggaktiviteterna. Kommer de att utföras samtidigt eller kommer de att utföras oberoende av varandra med korta intervall? Detta kommer att påverka modelleringsstudien, eftersom i det första scenariot kommer en större mängd sediment att släppas ut under en kortare tid, och i det senare scenariot kommer utsläpp att ske i mindre mängder men upprepas med vissa intervall.

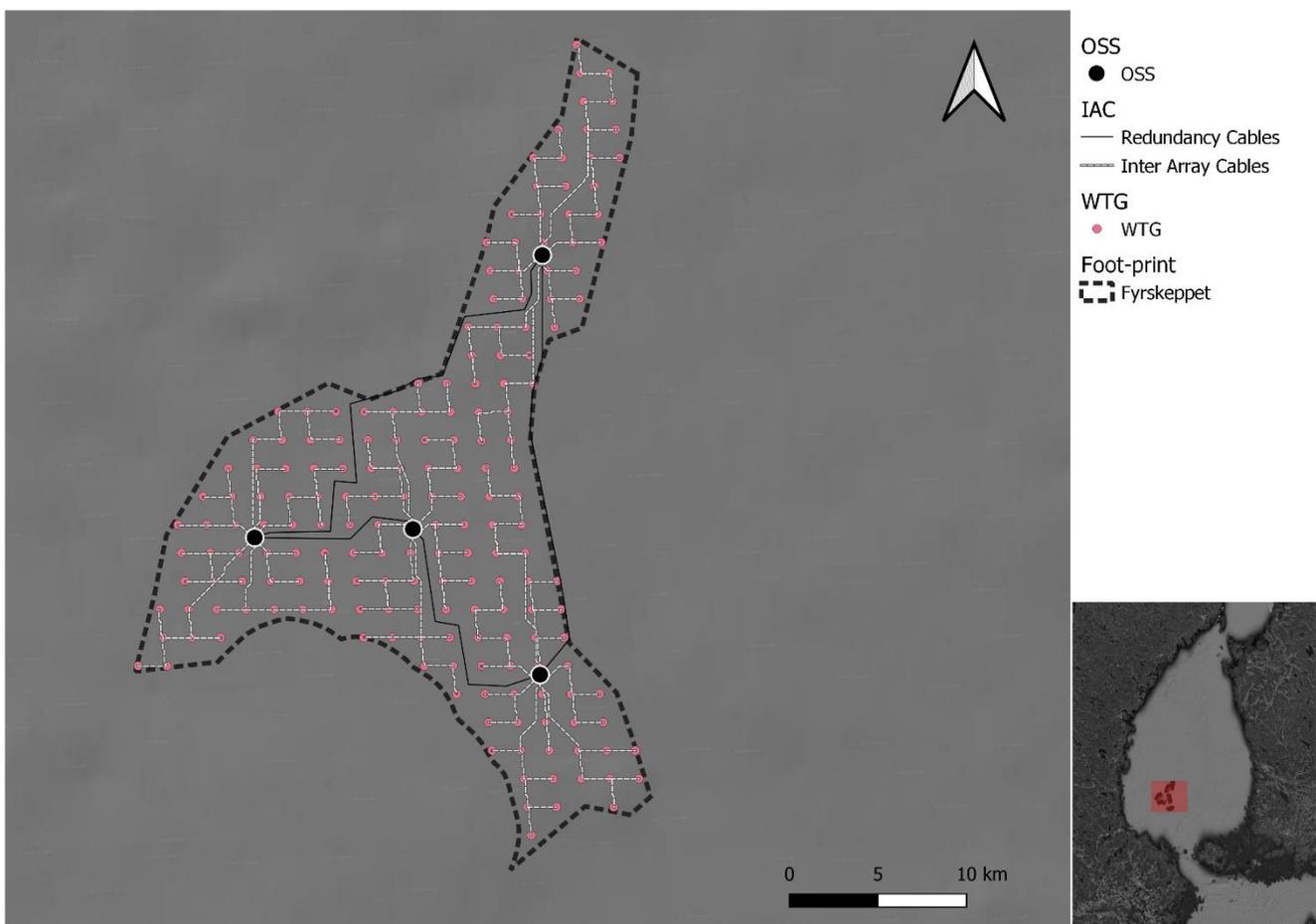
6. Bakgrundsinformation

I det här kapitlet presenteras bakgrundsdata som används i den numeriska modelleringen och beskrivningen av de morfologiska, oceanografiska och hydrauliska förhållandena på platsen. Detta inkluderar Metocean-data, huggprover och batymetriska undersökningar.

6.1 Fyrskippet, Projektbeskrivning

6.1.1 Vindkraftparkens layout

Layouten för Fyrskippet visas i Figur 6.1. Vindkraftparken täcker en yta på 488 km², med totalt 187 vindkraftverk, fyra transformatorstationer och 450 km lång nedgrävd kabel (380 km internkabel och 70 km redundanskabel). Fyrskippets projektområde, inklusive buffertzonen till det intilliggande Natura 2000-området, täcker ett område på 533 km².



Figur 6.1 Vindkraftpark Fyrskippets layout. Bakgrundskarta: Google Earth.

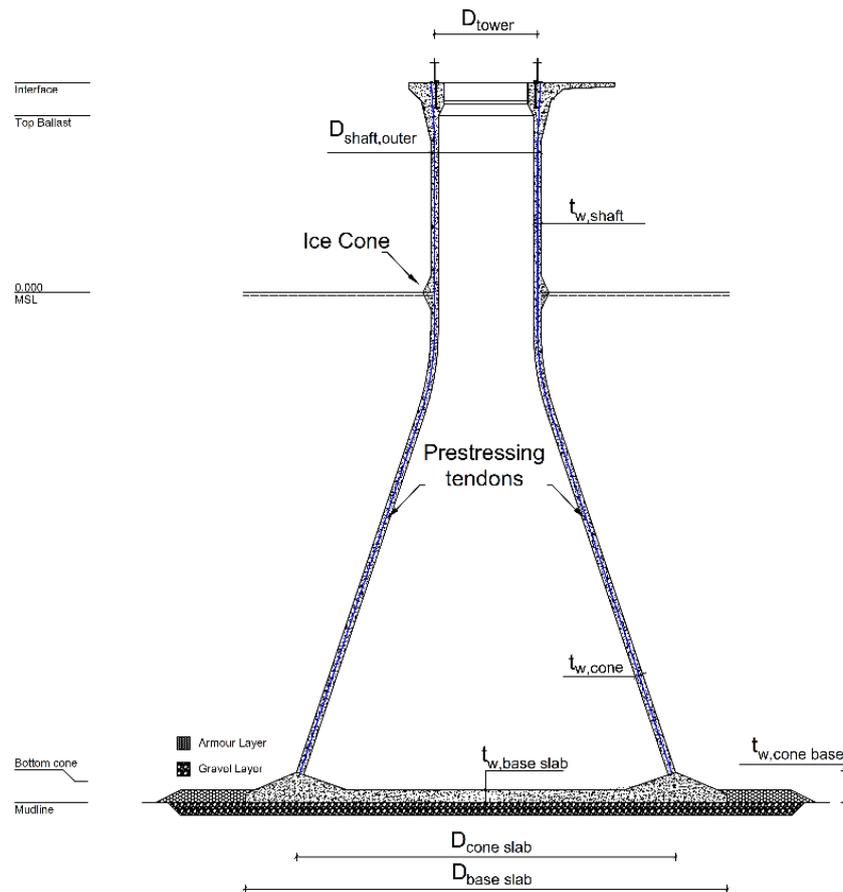
6.1.2. Dimensioner

I Tabell 6.1 listas dimensionerna för vindkraftverken och deras stödstrukturer tillsammans med mängden utgrävt material och brutto-sedimentationen. Spillet på 15 % från plogning av gravitationsfundament beror till 10 % på spill från grävarbete 0–2 meter ovan havsbotten och 5 % breddning från pråmen.

Vidare finns en skiss som illustrerar formen på GBS i Figur 6.2.

Tabell 6.1 Två scenarier; Dimensioner för fundament och turbiner, andel sedimentspill och brutto sedimentmaterial

Case	-	15MW GBS	30MW GBS
Capacity	MW/Unit	15	30
Rotor diameter	[m]	245	330
Hub Height	[m]	142.5	175
Substructure	-	GBS	GBS
Capacity, total	MW	2805	5610
Nos	#	187	187
Bottom diameter, base	m	40	48
Top diameter, base	m	10.6	11.8
Dredging depth	m	3.6	3.5
Spill percentage	%	15%	15%
Vol. to be removed	m ³ /pos.	5700	7700
Dredged	#	100%	100%
Total drilled/dredged vol.	m ³	1065900	1439900
Spill, gross foundation	m ³	159885	215985
Length infield + redundancy cab	m	450000	450000
Trench 2x2m, Dispersed	m ³	1800000	1800000
Spill percentage	%	10%	10%
Spill, gross infield cable	m ³	180000	180000
No. OSS	#	4	4
Bottom diameter, base	m	48	48
Dredging depth	m	3.5	3.5
Spill percentage	%	15%	15%
Vol. to be removed	m ³ /pos.	25334	25334
Spill, gross OSS	m ³	15200	15200
Spill, gross	m ³	355085	411185
Spill, gross	ton	585891	678456



Figur 6.2 Schematisk skiss gravitationsfundament (GBS).

6.2 Batymetriska data

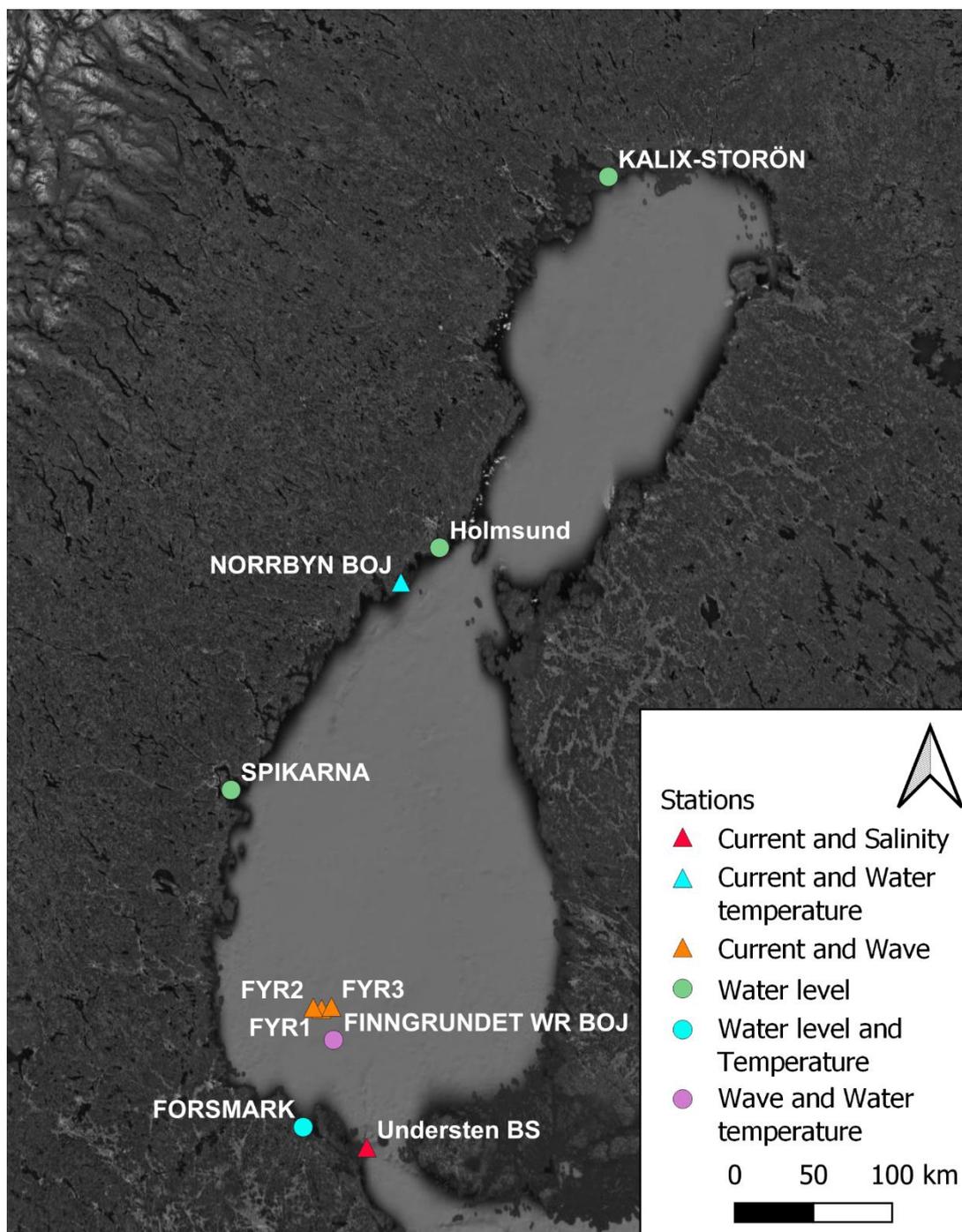
Vattendjupet i modellen är baserade på undersökningsdata från projektet och EMODnet (EMODnet, 2021), samt på högupplösta (50 meter) batymetriska data från kunden, baserade på fältundersökningar för Fyrskippet och presenterade i Figur 7.1 (tillsammans med modellens nätstruktur/mesh).

6.3 Observationer

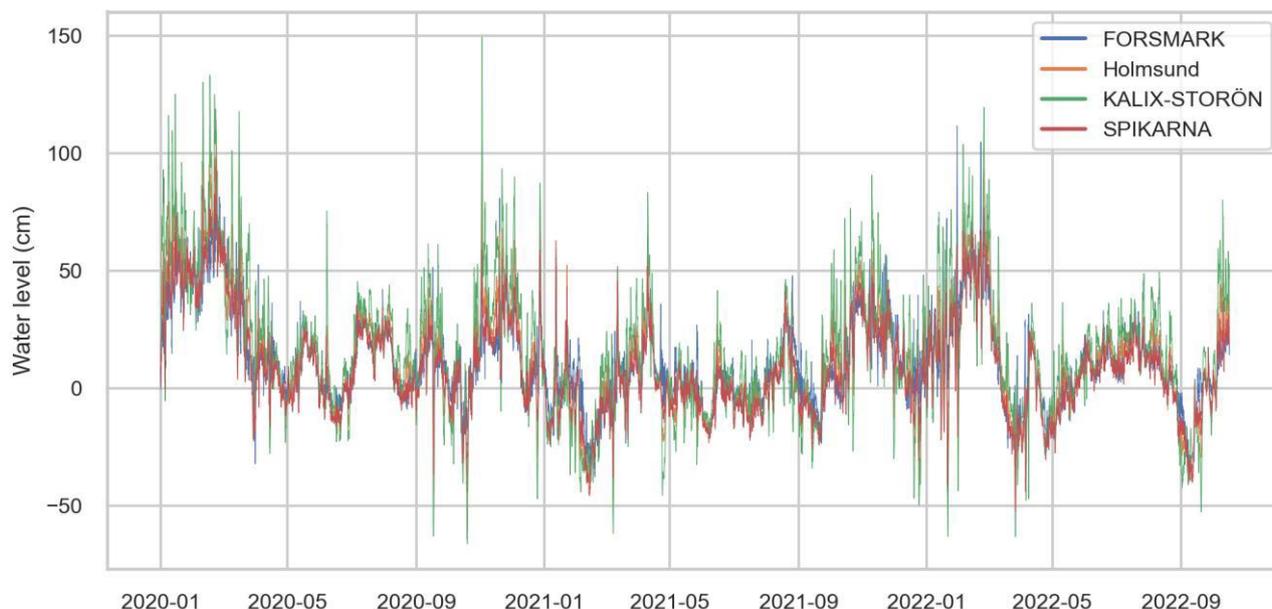
6.3.1 Vattenstånd

Data för vattenstånd (datautdrag för åren 2020–2022, med timvis upplösning) har erhållits från SMHI:s stationer; Holmsund (lat: 63.6803, long: 20.3331), Forsmark (lat: 60.4086, long: 18.2108), Kalix-Storön (lat: 65.6969, long: 23.0961) och Spikarna (lat: 62.3633, long: 17.5311).

Positionerna för vattenståndsstationerna visas i Figur 6.3. Vattenstånden för dessa stationer visas i Figur 6.4.



Figur 6.3. Översiktskarta övervakningsstationer och mätbojar. Position för övervakningsstationer, vattenstånd, våghöjd, temperatur, som använts för kalibrering och validering av hydrodynamiska modellerna. FYR 1–3 är projektspecifika mätbojar. Bakgrundskarta: ESRI



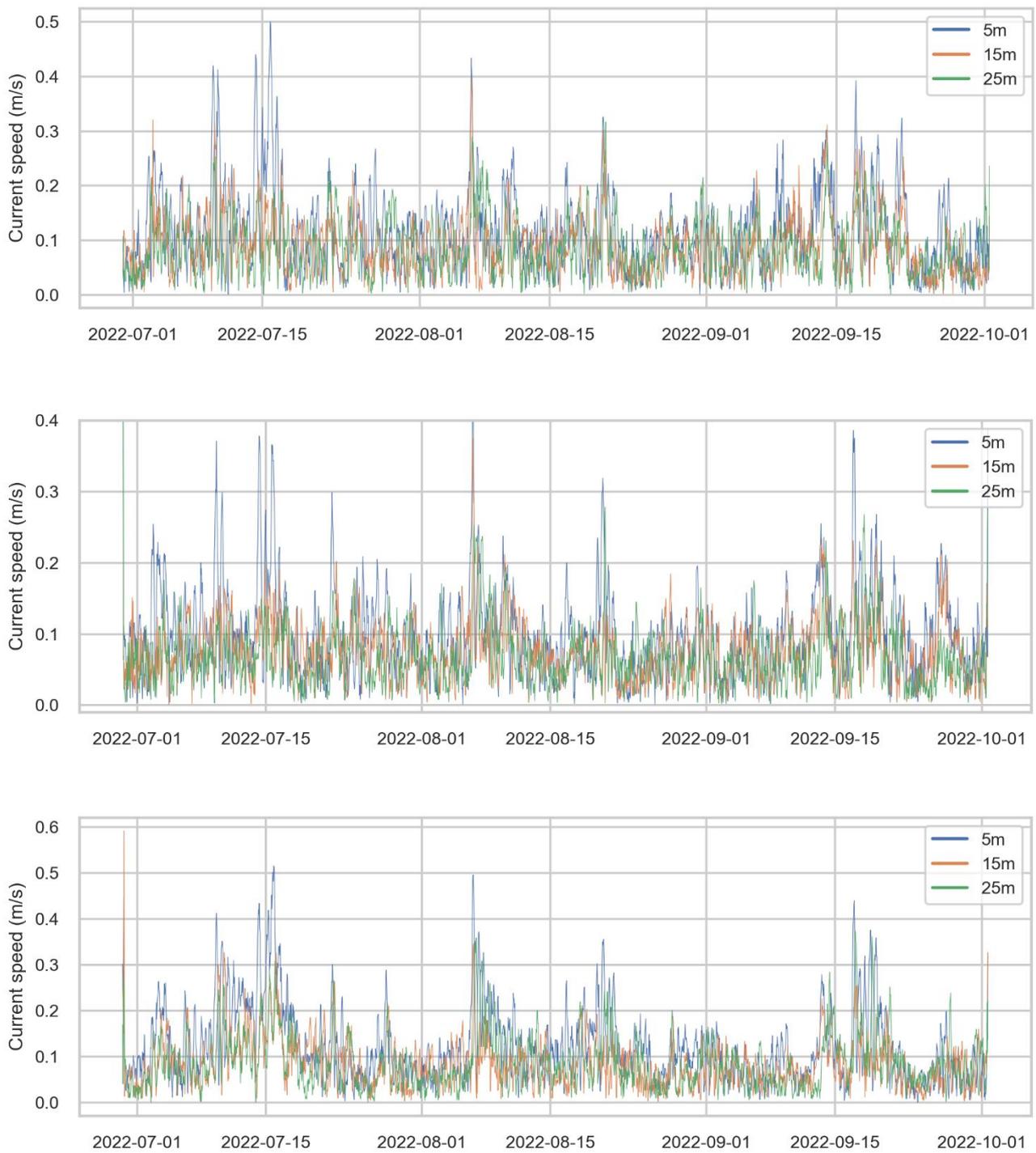
Figur 6.4. Vattenstånd (cm) vid stationerna Forsmark, Holmsund, Kalix-Storön och Spikarna.

6.3.2 Strömmar

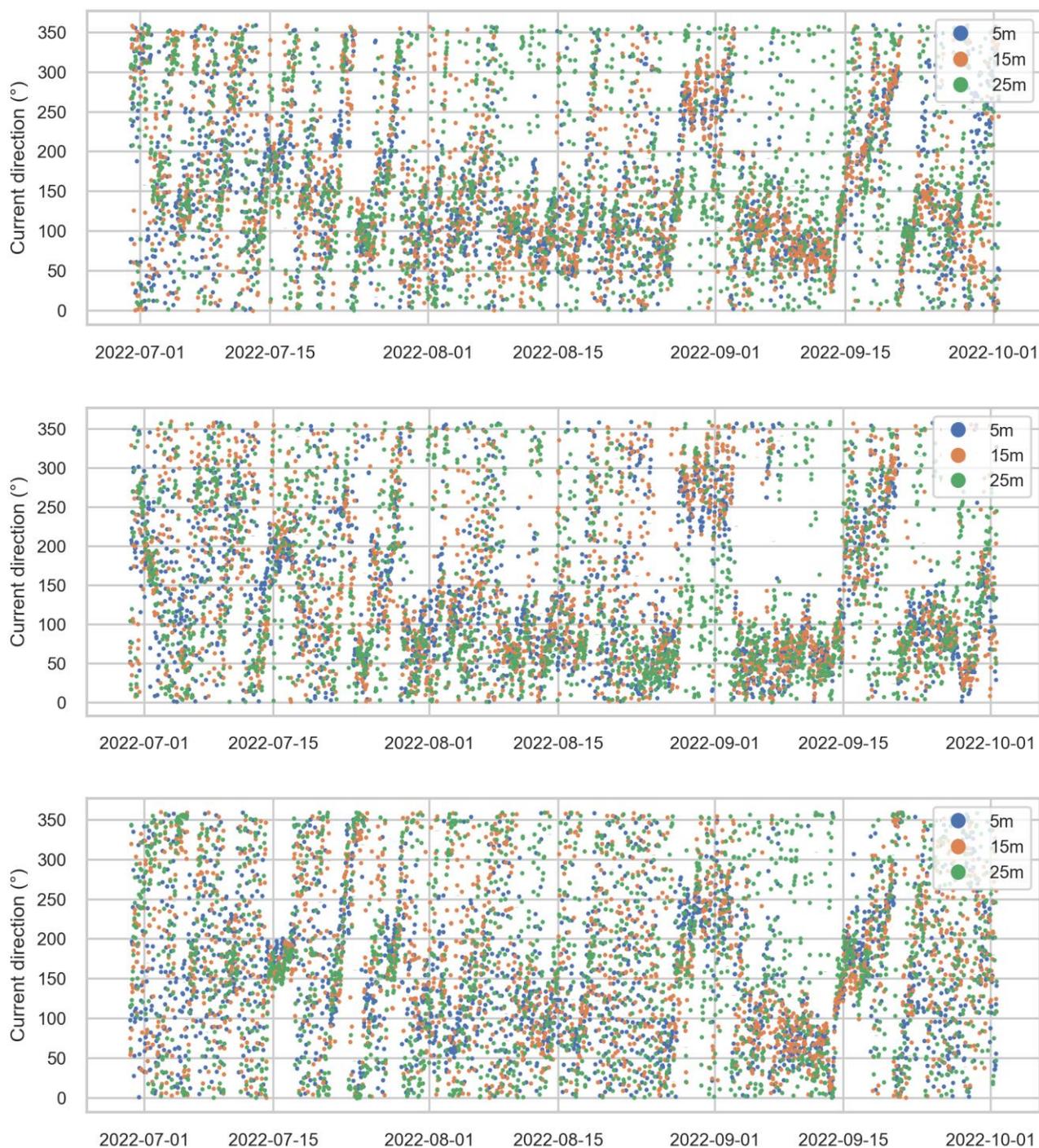
Hastighet och riktning på strömmar, med en timmes upplösning, har erhållits från SMHI:s stationer; NORRBYN BOJ (lat: 63.499, long: 19.8044) på 5m, 15m och 25m djup för perioden 2016–2021 och Understen BS (lat: 60.2715, long: 18.9302) på 219m djup för året 2021.

Strömmarnas hastighet och riktning, med en timmes upplösning har också erhållits från projektstationerna Fyrskippet position 1 (61°4.924'N, 18°29.767'E), Fyrskippet position 2 (61°5.498'N, 18°23.922'E) och Fyrskippet position 3 (61°5.486'N, 18°36.863'E) för perioden 2022/06/29 – 2022/10/01, extraherade på 5m, 15m och 25m djup (FYR1, FYR2 och FYR3). Positionerna för mätstationerna visas i Figur 6.3.

Strömhastigheterna och strömriktningarna för Fyrskippet-positionerna visas i Figur 6.5 respektive Figur 6.6. Strömhastigheterna och strömriktningarna för SMHI:s stationer visas i Appendix 1.



Figur 6.5 Strömhastighet (m/s) vid 5, 15 och 25m djup för FYR1 (överst), FYR2 (mitten), and FYR3 (nederst).



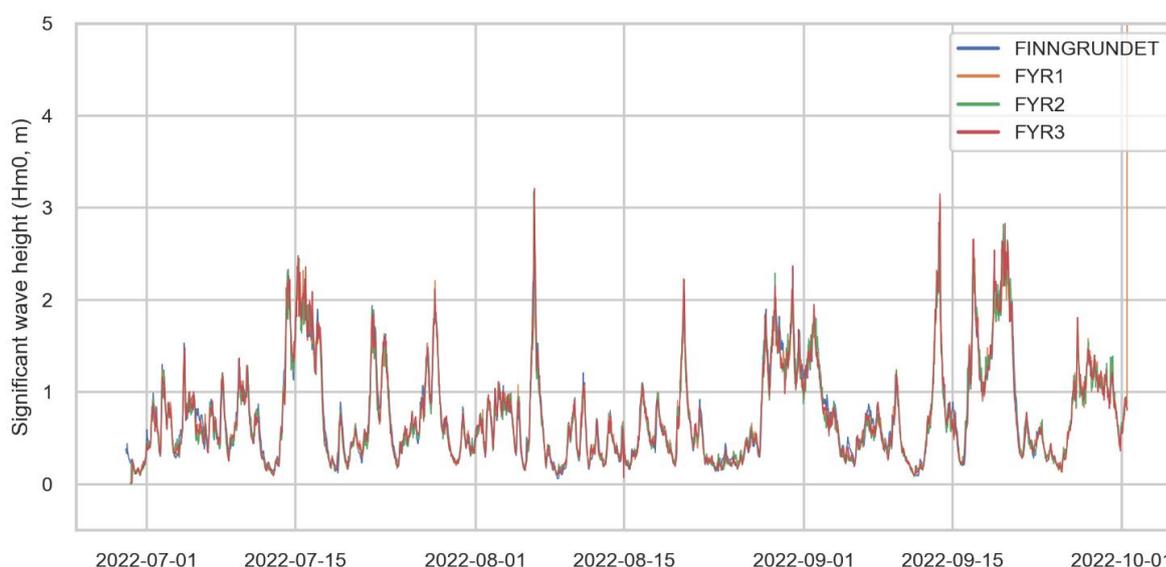
Figur 6.6 Strömriktning (grader, går mot), vid 5, 15 och 25m djup för FYR1 (översta raden), FYR2 (mitten), and FYR3 (nedersta raden).

6.3.3 Vågor

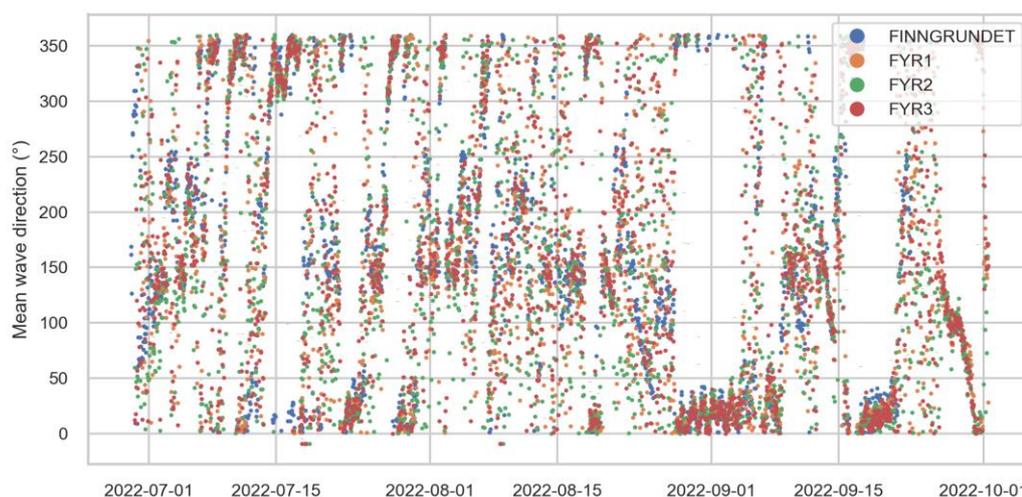
Signifikanta våghöjder och genomsnittliga vågriktningar med timvis upplösning har erhållits från SMHI:s stationer FINNGRUNDET WR BOJ (lat: 60.9, long: 18.6167) för perioden 2020–2022.

Signifikanta våghöjder och genomsnittliga vågriktningar med timvis upplösning har också erhållits från projektstationerna Fyrskippet position 1 (61°4.924'N, 18°29.767'E), Fyrskippet position 2 (61°5.498'N, 18°23.922'E) och Fyrskippet position 3 (61°5.486'N, 18°36.863'E) för perioden 2022/06/29 – 2022/10/01 (FYR1, FYR2 och FYR3). Placeringarna av vågstationerna visas i Figur 6.3.

Tidsserier för signifikanta våghöjder och genomsnittliga vågriktningar för stationerna visas i figur 6.7 och figur 6.8.



Figur 6.7. Signifikant våghöjd (Hm0, m) för temporära bojor Fyrskippet position 1, 2 och 3, och SMHI station Finngrundet

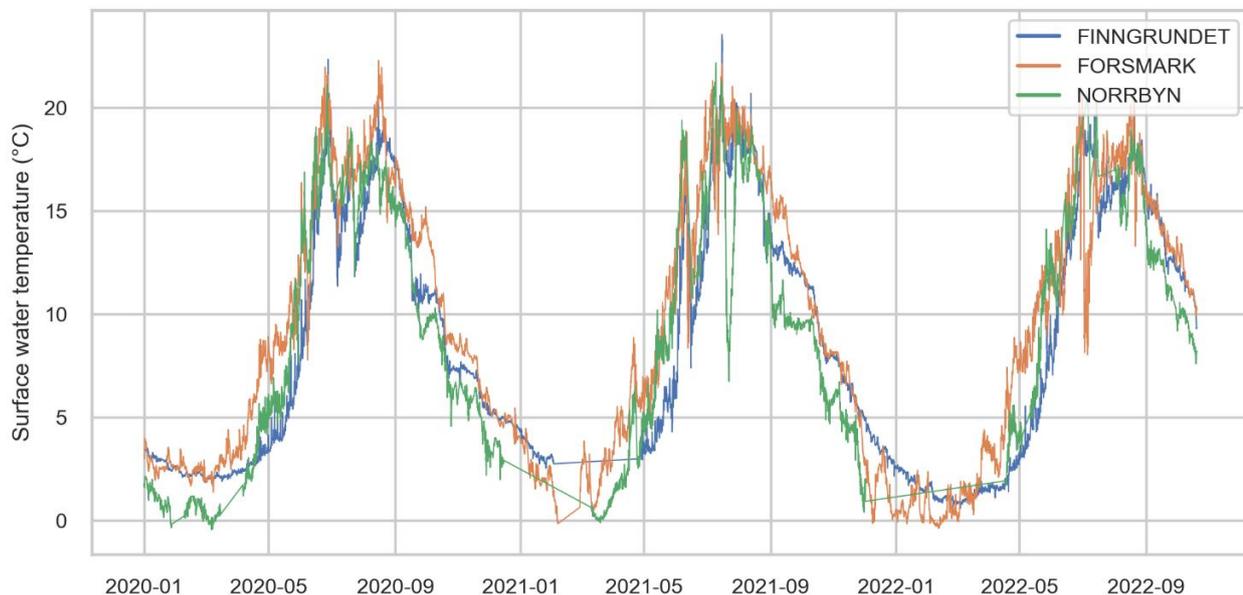


Figur 6.8 Genomsnittlig vågriktning (°, riktning vågen kommer från) uppmätt vid Fyrskippet position 1, 2 och 3, och SMHI-stationen Finngrundet.

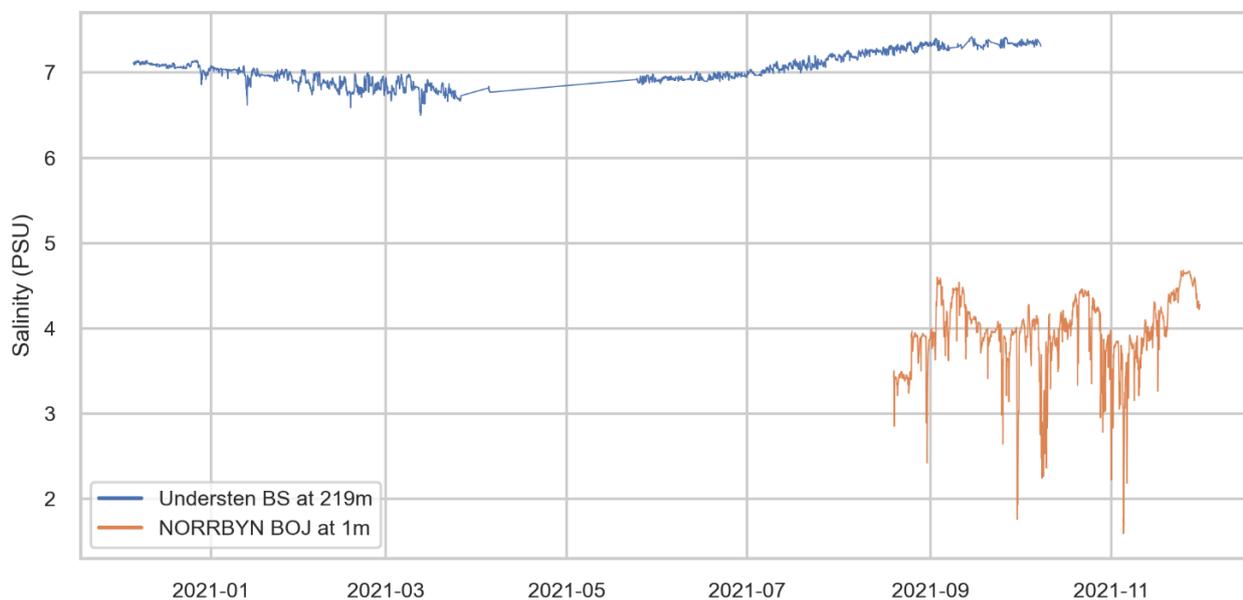
6.3.4 Salthalt and temperatur

Temperatur ytvatten (0 m) med timvis upplösning har erhållits från SMHI:s stationer; FINNGRUNDET WR BOJ (lat: 60,9, long: 18,6167), FORSMARK (lat: 60,41, long: 18,2108) och NORRBYN (lat: 63,5642, long: 19,8331) för perioden 2020–2022. Salthalt vid ytan (1 m) från NORBYN BOJ och vid botten (219 m) från Understen BS har

också erhållits från SMHI. Placeringarna av temperatur- och salthetsstationerna visas i Figur 6.3. Tidsserier för temperatur och salthalt visas i Figur 6.9 respektive Figur 6.10.



Figur 6.9 Ytvattentemperatur (°C) vid övervakningsstationerna Finngrundet, Forsmark och Norrbyn.



Figur 6.10: Salthalt (PSU) vid stationerna Understen BS (219m) och Norrbyn boj (1m).

6.4 Hydrodynamisk data från modeller

6.4.1 Vattenstånd

Data från SMHI:s 3D-modell för Östersjön med en upplösning på 2 km x 2 km för att mata Mike-modellen användes med avgränsning till Ålands hav (Copernicus, Baltic Sea Physics Analysis and Forecast, 2x2 km, 2022) och (Copernicus, Baltic Sea Physics Reanalysis 4x4 km, 2022).

6.4.2 Strömmar

För att identifiera ett genomsnittligt år att använda vid simulerad påverkan på hydrodynamik och sedimentspridning presenteras SMHI:s 3D-modellresultat för Östersjön vid Fyrskippet vindkraftpark (Copernicus, Baltic Sea Physics Analysis and Forecast, 2x2 km, 2022) och (Copernicus, Baltic Sea Physics Reanalysis 4x4 km, 2022) i Bilaga 4 och Bilaga 5

6.4.3 Salthalt och Temperatur

För initialisering och för att mata modellen mot angränsande havsområden används data från SMHI:s numeriska modell av Östersjön (Copernicus, Baltic Sea Physics Analysis and Forecast, 2x2km, 2022) och (Copernicus, Baltic Sea Physics Reanalysis 4x4km, 2022). Data från urval (år) presenteras i Figur 6.9 och Figur 6.10.

6.5 Vind, lufttryck, lufttemperatur, netto-lång och kortvarig strålning

Atmosfäriska data som omfattar momentan vindhastighet vid 10 mMSL i x- och y-riktningarna, lufttryck vid ytan, lufttemperatur vid 2 m över ytan, relativ luftfuktighet och netto lång- och kortvågsstrålning vid ytan har hämtats från ECMWF (ECMWF, 2022). Datat har en horisontell upplösning på 0,25 grader och en tidsupplösning på en timme.

6.6 Havsis

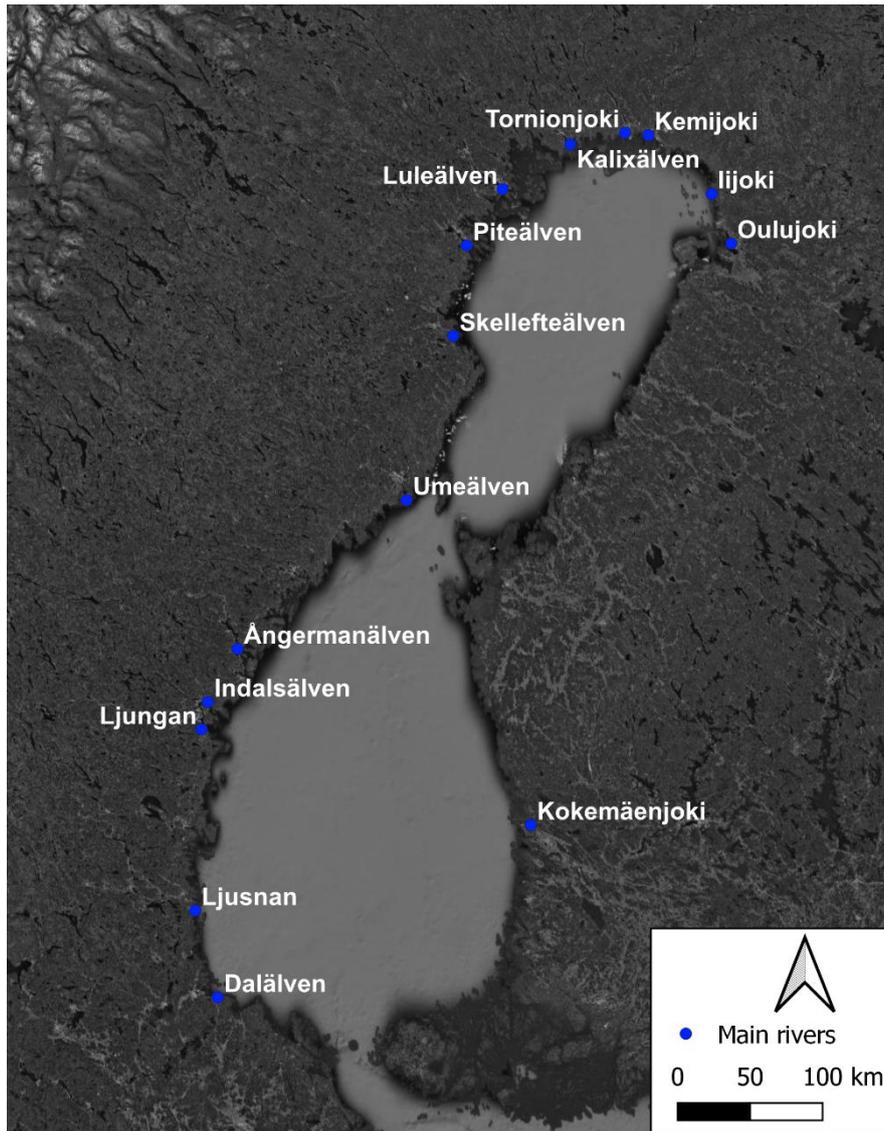
Förekomst av havsis, istjocklek och iskoncentration, baseras på data som producerats av SMHI (Copernicus, Baltic Sea Physics Analysis and Forecast, 2x2km, 2022) och (Copernicus, Baltic Sea Physics Reanalysis 4x4km, 2022).

6.7 Avrinning/Tillflöden

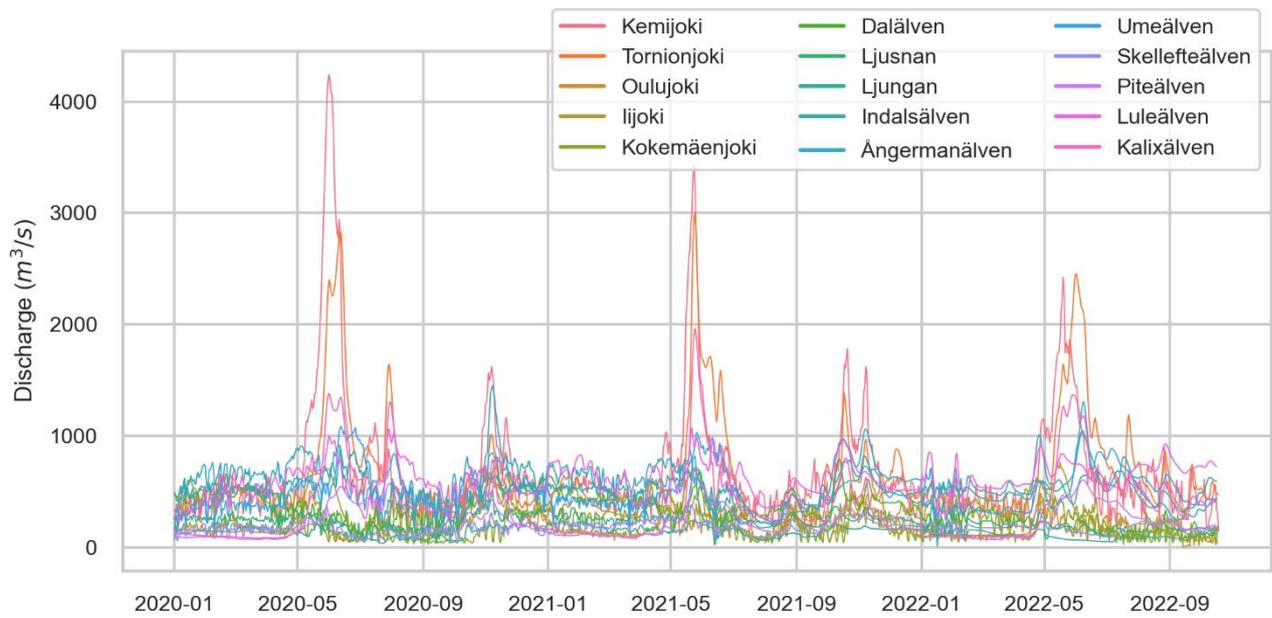
Följande femton stora sötvattentillflöden (vattendrag med medelutflöde större än 100m³/s) till Bottniska viken används som indata till modellen:

- Kokemäenjoki (Harjavalta station, lat: 61.34, long: 22.11; Finland)
- Oulujoki (Merikoski station, lat: 65.023, long: 25.47; Finland)
- Iijoki (Raasakka station, lat: 65.33, long: 25.41; Finland)
- Kemijoki (Taivalkoski station, lat: 65.93, long: 24.71; Finland)
- Tornionjoki (Karunki station, lat: 66.03, long: 24.02; Finland)
- Kalixälven (lat: 65.8, long: 23.25; Sverige)
- Luleälven (lat: 65.56, long: 22.05; Sverige)
- Piteälven (lat:65.30, long: 21.44; Sverige)
- Skellefteälven (lat: 64.71, long: 21.18; Sverige)
- Umeälven (lat: 63.74, long: 20.36; Sverige)
- Ångermanälven (lat: 63.03, long: 17.78; Sverige)
- Indalsälven (lat: 62.5, long: 17.5; Sverige)
- Ljungan (lat: 62.28, long: 17.4; Sverige)
- Ljusnan (lat: 61.2, long: 17.13; Sverige)
- Dalälven (lat: 60.62, long: 17.49; Sverige)

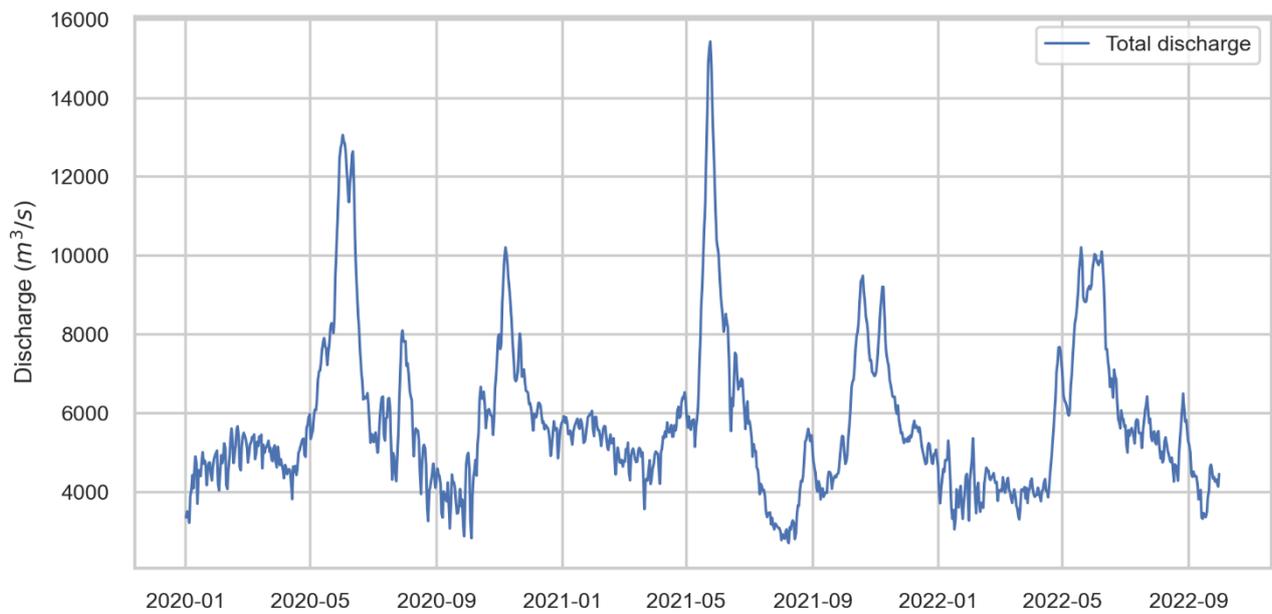
För de svenska älvarna har modellerade och stations-korrigerade dagliga flöden och temperaturer hämtats från SMHI:s VattenWebb-plattform för åren 2020–2022. För de finska älvarna har observerade dagliga flöden hämtats från det finska miljöinstitutet Ymparisto. Vattentemperaturerna har antagits vara liknande de svenska flodernas temperaturer vid närmaste latitud. Flödena och temperaturerna för de huvudsakliga tillflödena visas i Figur 6.12 respektive Figur 6.14, den totala flodtillförseln i Figur 6.13 och deras positioner i Figur 6.11.



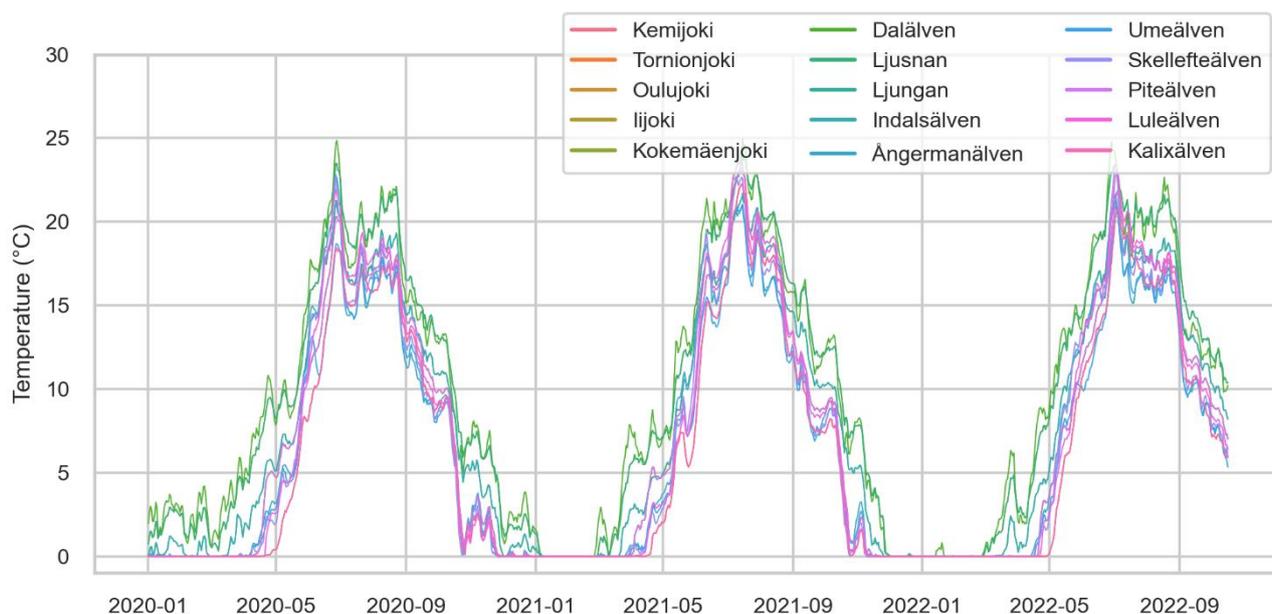
Figur 6.11. Lokalisering av de största sötvattentillflöden (älvar) som är inkluderade i modellen.



Figur 6.12. Dygnstillflöde (m^3/s) från de största tillflödena som är inkluderade i modellen.



Figur 6.13. Totalt tillflöde (m^3/s) till modellsystemet.



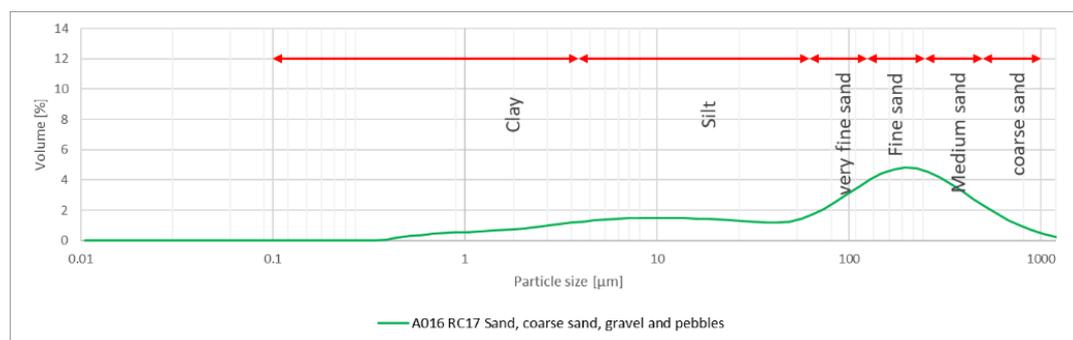
Figur 6.14. Dagliga vattentemperaturer (°C) för de huvudsakliga floderna som beaktats i modellen.

6.8 Ytliga sediment

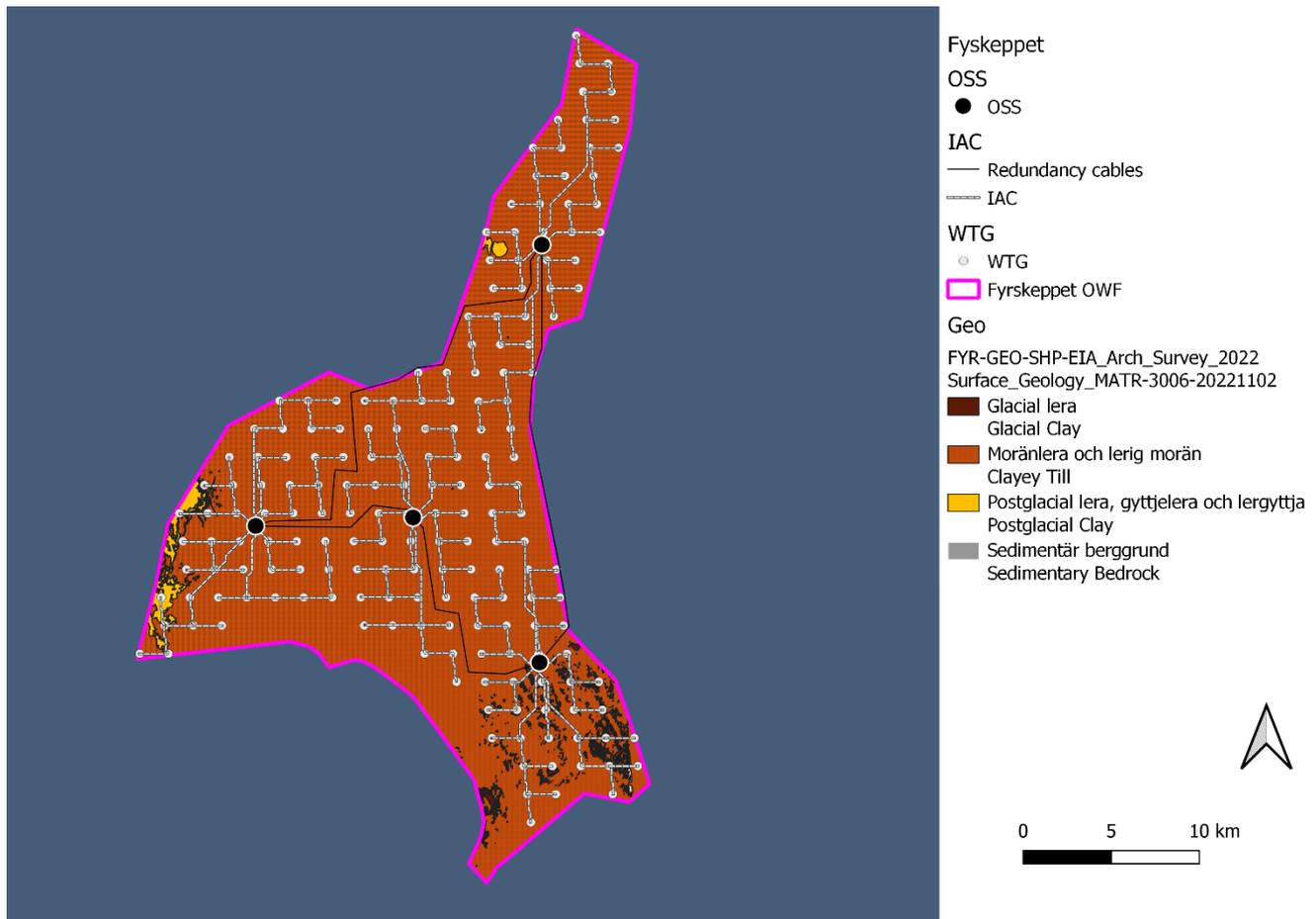
Den allmänna bilden av de ytliga sedimenten som finns på havsbotten i Fyrskeppet och det omgivande området baseras på data som tillhandahållits av kunden som shapefiler, Figur 6.16.

Havsbotten inom Fyrskeppet domineras av morän med mycket lera/sand och några små fläckar med blottad glacial lera i sydost och postglacial lera i sydväst och väst (Figur 6.16).

Eftersom det inte finns några data med tillräcklig upplösning för kornstorlek från hela projektområdet är den antagna kornfördelningen baserad på data från (DHI/IOW Consortium, 2013) klassificerade som Övre Glacial Morän, Figur 6.15.



Figur 6.15 Antagande kornstorleksfördelning, prov A016 (DHI/IOW Consortium, 2013)



Figur 6.16 Ytliga sediment, data från Fyrskäppets survey (sjömätning)

6.9 Nulägesbeskrivning

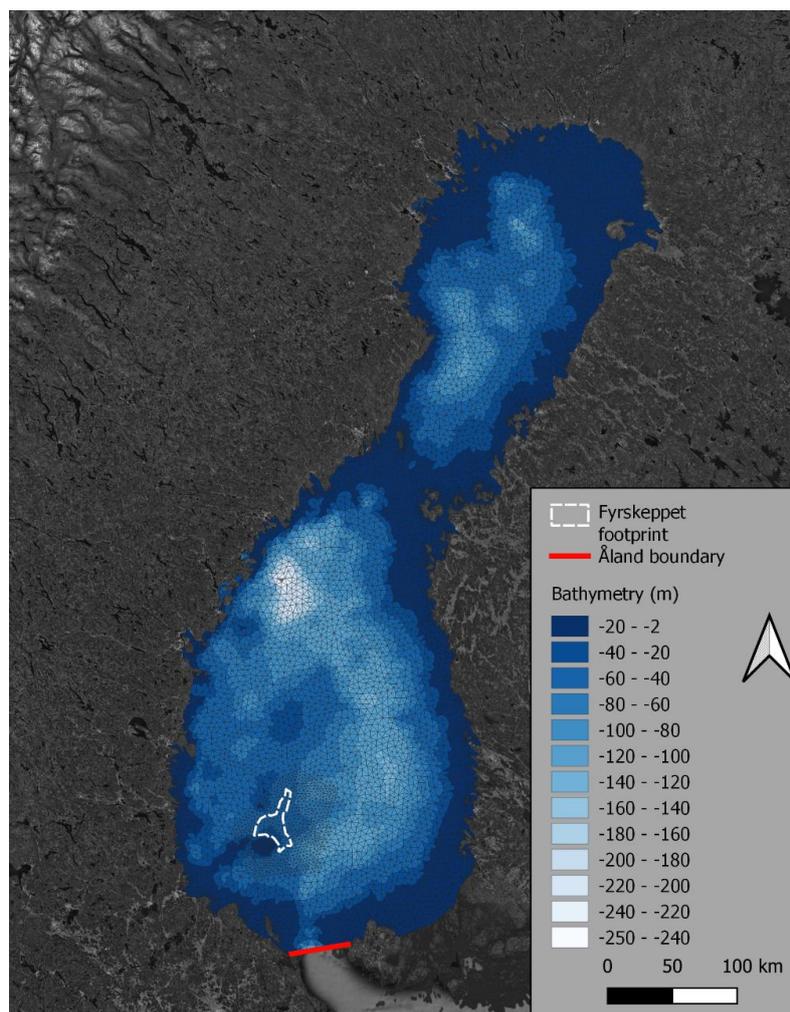
Bottenhavet, där Fyrskäppet är beläget, utgör den södra delen av Bottniska viken och är separerad från Egentliga Östersjön vid Ålands hav. Hydrografiska förhållanden kännetecknas av låg salthalt (3–6 PSU) och en svag vertikal salthaltsgradient (haloklin). Ytvattentemperaturen varierar från 0–2 °C under vintern till något över 20 °C mellan juni och augusti. Vattenmassan är starkt skiktad (lager med skiftande temperatur) under sommaren med en termoklin (zon med maximal temperaturgradient) runt 10–30 meters djup. Djupare temperatur, under 30 meter, varierar mindre under året, mellan 2 °C i slutet av vintern till 7 °C i slutet av hösten. På grund av avsaknaden av tidvatten upplever vattennivåerna relativt små variationer, vanligtvis mellan ±50 cm runt deras genomsnitt under året. Dessa variationer drivs främst av variationer vid gräns mot Ålands skärgårdshav samt väderdrivna skillnader vind och lufttryck. På grund av de begränsade variationerna i havsvattenstånd är strömmarna generellt svaga, cirka 0,15 m/s på ytan (maximalt 0,5 m/s) och mindre än 0,07 m/s under 30 meters djup, och drivs främst av vind samt temperatur- och salthaltskillnader. Den genomsnittliga cirkulationen i Bottenviken är moturs med dominerande nordgående strömmar längs östra sidan (mot Finland), södergående längs väst sidan (mot Sverige) och relativt stora (≥10 km radie) virvlar i mitten av havsområdet. Våghöjderna är måttliga på grund av det relativt lilla havsområdet (genomsnittlig våghöjd under 1 meter höjd över hela året) och är som högst i oktober (genomsnittligt 1,5 meter), med högre vågor i norrgående riktning (långsidan av havet).

7. Hydrodynamisk modell

7.1 Batymetri och mesh

7.1.1 Regional modell

För att ta hänsyn till regionala cirkulationsmönster omfattar den regionala 3D-hydrodynamiska modellen hela Bottniska viken (dvs Bottenviken och Bottenhavet). Gränsen mot Egentliga Östersjön har placerats vid övergången till Ålands skärgårdshav. Den regionala modellen används för kalibrering och validering av hydrodynamiska processer samt för att driva den lokala påverkansmodellen (se Figur 7.1). För att bibehålla rimliga simuleringstider har modellen en relativt grov horisontell upplösning (16 km²) och består av 14 240 element och 8 182 noder.



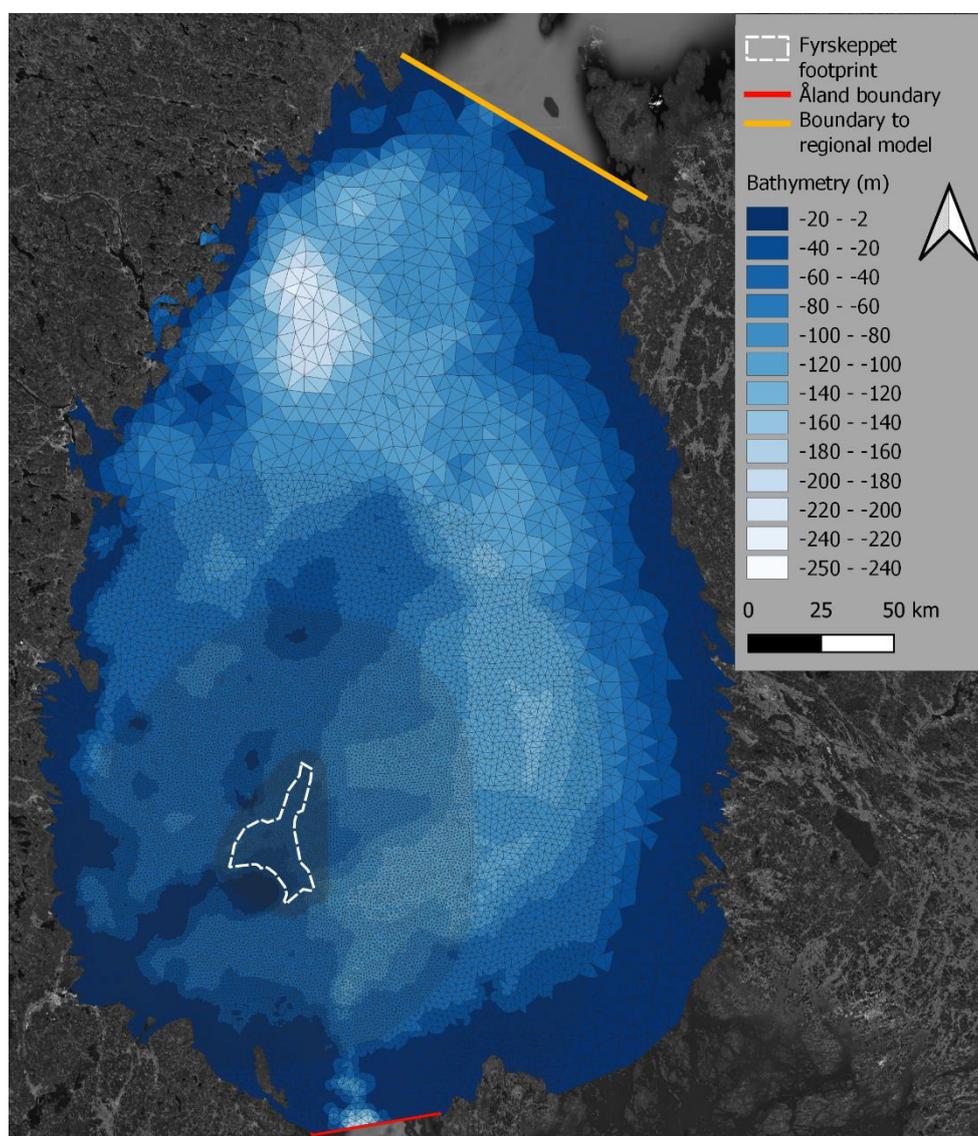
Figur 7.1 Regional modell (mesh-struktur) och djupdata (medelhavsnivå) för validering och kalibrering av hydrodynamisk modell. Kartunderlag: ESRI

Den horisontella upplösningen har ökats runt Fyrskäppets projektområde till 5 km² för jämförelse med projektspecifik övervakningsdata. För att fånga temperatur- och salthaltgradient och skiktning, som är mer framträdande i ytlagret, är vattenpelaren uppdelad i 10 vertikala element för djup upp till 30 meter (hybrida sigmalager), vilket ger en minsta vertikal upplösning på 3 meter. Den del av vattenpelaren som är djupare än 30 meter beskrivs med konstanta djuplager på 12 meter. Bottenhavets bottenförhållanden varierar mellan 0 meter

vid kusten till 250 meter för nordvästra Bottenhavet. Bottenhavet är separerat från Bottenviken av ett relativt grunt område kallat Kvarken (grundare än 40 meter). Fyrskeppet är generellt grundare än det omgivande området, med en djupvariation mellan 20 och 80 meter

7.1.2 Lokal modell

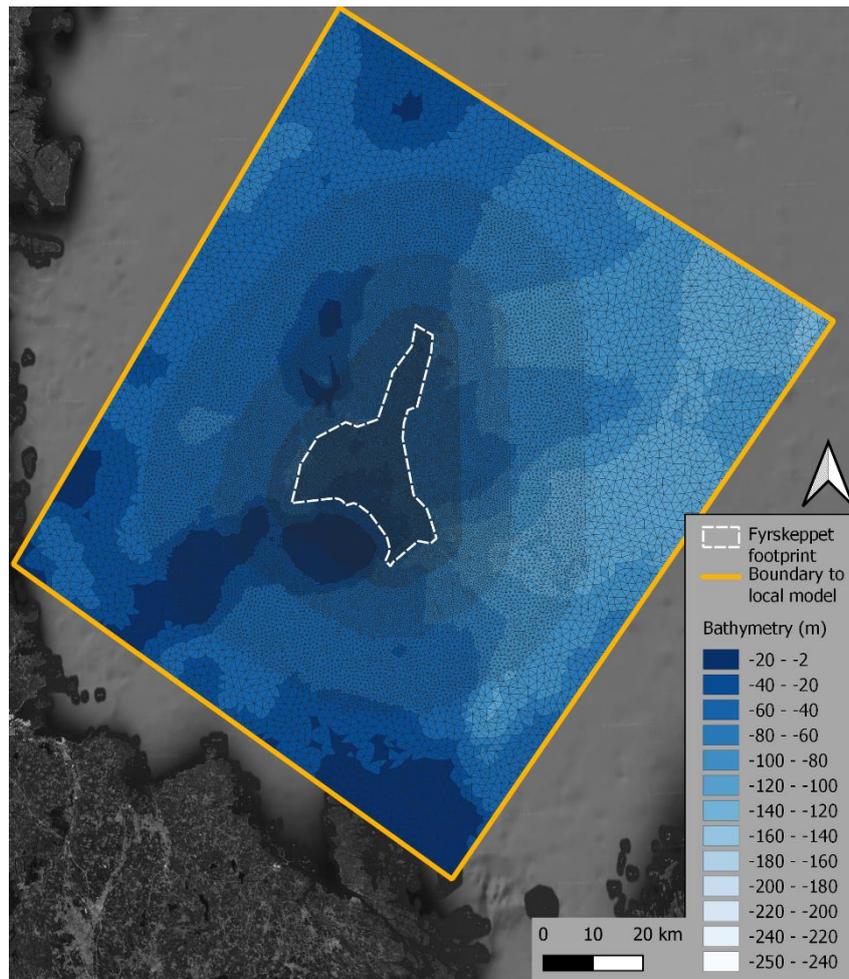
För att hantera gränsvillkoren för den lokala sedimentspridningsmodellen runt Fyrskeppet omfattar den lokala modellen hela Bottenhavet med högre upplösning. Den lokala modellen består av 45 104 element och 23 079 noder, och dess vertikala upplösning är liknande den hos den regionala modellen. Den lokala modellen har en varierande horisontell upplösning, relativt grov (25 km²) längre än 100 km från Fyrskeppet, där direkt påverkan förväntas vara svagare. Upplösningen ökar gradvis till 1 km² inom 50 km från projektområdet och 0,25 km² inom själva projektområdet, där påverkan förväntas vara starkast. Modellen drivs genom data från SMHI-modellen vid Ålands gräns och resultat från den regionala modellen vid den norra gränsen (röda och orangea linjer i Figur 7.2).



Figur 7.2. Lokal modell (mesh-struktur och djup). Bakgrundskarta: ESRI

7.1.3 Lokal sedimentmodell

För att modellera sedimentspridningen representerar den lokala sedimentmodellen strömmarna inom en radie av 40 km runt Fyrskeppet. Den lokala modellen består av 74 865 element och 37 574 noder, och dess vertikala upplösning är liknande den regionala modellen. Den lokala modellen har en varierande horisontell upplösning, grövre (2 km²) längre än 30 km från Fyrskeppets yttre gräns, där försumbara påverkan av sedimentspridning kan förväntas på grund av de låga strömmarna. Upplösningen ökar gradvis till 0,5 km² mellan 30 km och 15 km från projektområdet, 0,2 km² mellan 5 km och 15 km från projektet, 0,08 km² inom 5 km från projektområdet och 0,04 km² inom själva projektområdet, där påverkan av sedimentspridning förväntas vara som starkast. Modellen drivs av data från den lokala modellen inom den omgivande gränsen (de orangea linjerna i Figur 7.3).



Figur 7.3 Lokal sedimentmodell, mesh-struktur och djupförhållanden. Bakgrundskarta ESRI.

7.2 Avgränsningsdata

Det regionala modellen avgränsas i den öppna övergången mot Egentliga Östersjön. Modellen drivs med modellerade SMHI-data för salthalt, temperatur och vattennivå. På ytan beaktas ECMWF:s ERA5-vinddata i form av vindfält, lufttryck, nederbörd och avdunstning, samt havsisens koncentration och tjocklek från Östersjöns SMHI-modell. Värmeutbyte med atmosfären har beaktats genom data från ECMWF:s ERA5 om netto kort- och långvågsstrålning, lufttemperatur och luftfuktighet vid havsytan. Påverkan från avrinningsområdet beaktas också genom färskvattentemperaturer från de stora floderna som listas i kapitel 6.7.

För att minimera uppstartsperioden initialiseras modellen för första tidssteget med salthalt, temperatur och vattenstånd från SMHI:s Östersjömodell.

7.3 Modelluppställning (setup) och kalibrering

Det regionala modellen drivs genom den södra gränsen med specificerade vattennivåer, samt salthalts- och temperaturprofiler från Östersjöns SMHI-modell. Vattennivåerna har kalibrerats genom att justera vindfriktionskoefficienterna för att uppnå en rimlig överensstämmelse med observationsdata.

För att beakta salthalts- och temperaturstratifiering löses den vertikala virvelviskositeten med hjälp av **k-ε**-turbulensmodellen. Salthalts- och temperaturprofiler har kalibrerats mot tillgängliga mätningar inom Fyrskppet genom att justera de vertikala och horisontella spridningskoefficienterna. Yttemperaturen har kalibrerats genom ljusets utsläkningskoefficient, som bestämmer djupet för ljusets penetration i vattenkolumnen.

7.4 Identifiering av genomsnittså

Baserat på modellerad temperatur, salthalt och strömmar vid Fyrskppet från SMHI:s Östersjömodell, som presenteras i Appendix 2 till 5, identifieras ett genomsnittligt år genom att jämföra årliga förhållanden. Årsvariationen är generellt låg för salthalt, temperatur och strömmar, med ett allmänt moturs cirkulationsmönster i Bottenhavet och sydostlig till sydlig ström vid Fyrskppet.

Året 2021 har valts som ett genomsnittligt år eftersom det följer den allmänna ökningen av salthalten i slutet av våren och den lägre salthalten i ytvattnet slutet av sommaren. Temperaturen är högst i slutet av sommaren med en termoklin som går ner till 15 meter i genomsnitt. Termoklindjupet i detta område varierar mellan 10–25 m, så 15 m är i den grundare delen av intervallet och indikerar något minskad vertikal blandning och försämrade sedimentspridningsförhållanden. Jämförelse mellan modellerade strömmar av SMHI:s modeller med 2 km x 2 km och 4 km x 4 km visar förskjutna strömmar från syd till sydost i den finare versionen. Året 2021 noteras strömmar nästan jämnt fördelade runt den sydostliga komponenten (sydlig komponent för 4 km x 4 km), vilket också är nära det genomsnittliga cirkulationsmönstret vid Fyrskppet. Året 2021 valdes därför som lämpligt genomsnittså för att undersöka effekterna av sediment spridning som följd av anläggningsarbeten vid Fyrskppet.

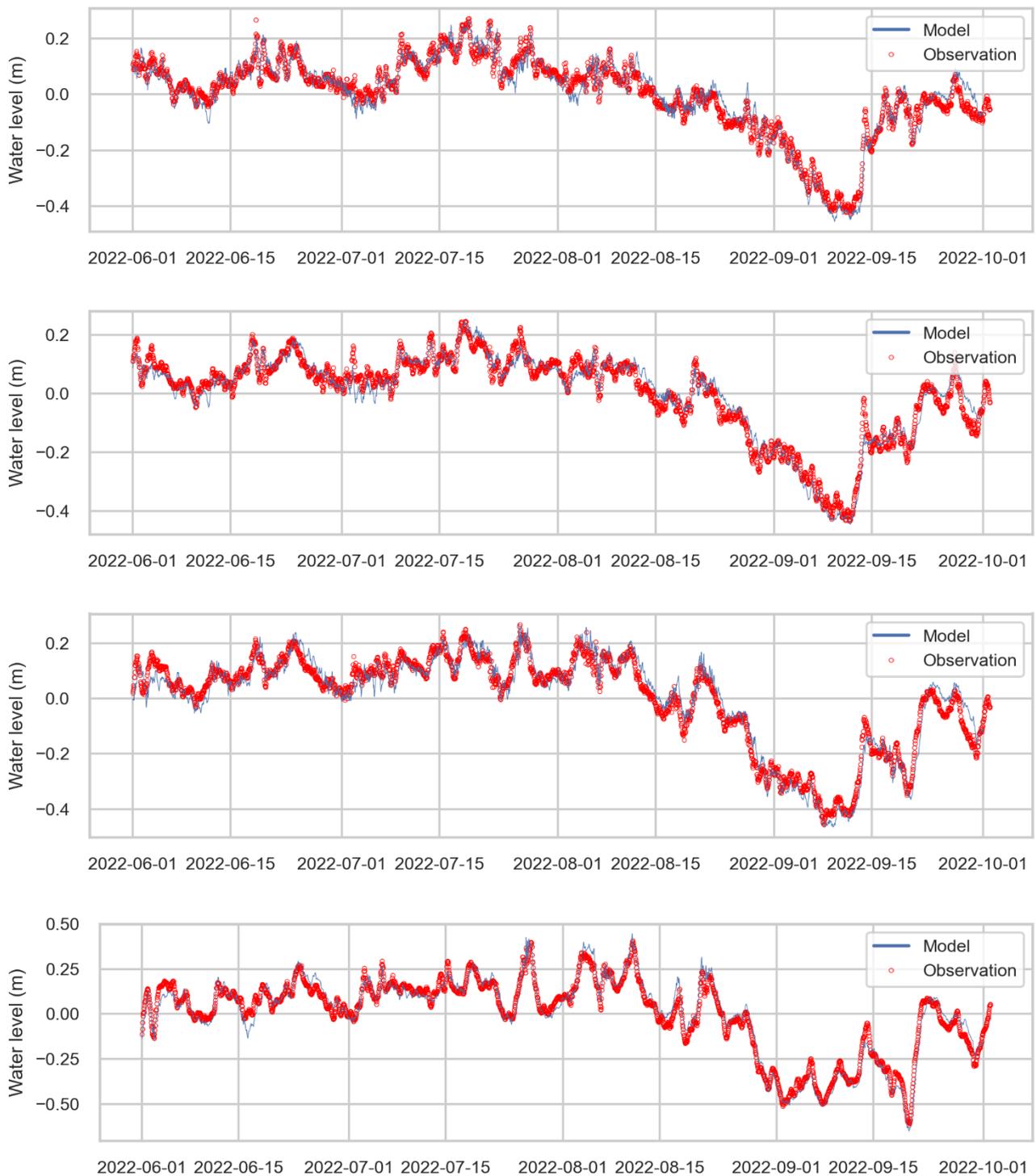
7.5 Modellverifikation

För att verifiera modellen har perioden juni till oktober 2022 valts (juni används för uppvärmning av modellen), där projekt-specifik data är tillgängliga. Modellen verifieras mot:

- 1) Observerade vattenstånd
- 2) Observerade strömprofiler och tidsserier
- 3) Observerade salthalts- och temperaturprofiler, samt temperaturtidsserier
- 4) Observerade vågdata

7.5.1 Vattenstånd, tidsserier

Minskningar i vattenståndet representeras ibland med en liten fördröjning av modellen, detta gäller särskilt för stationerna Forsmark, Spikarna och Holmsund. Fördröjningen kan bero på skillnader i vattenståndet vid gränsen mot Ålands hav som tagits från SMHI:s modellresultat (Figur 7.4). För Kalix-Storön övervakningsstation, vid vilken vattenståndet är mer påverkat av lufttryck och vinden än av randvillkoren, överskattar modellen några av topparna. Det kan bero på skillnader mellan faktiska och återanalyserade vinddata från ERA5 som används för att driva modellen, samt till något överskattade vindfriktionskoefficienter i modellen.

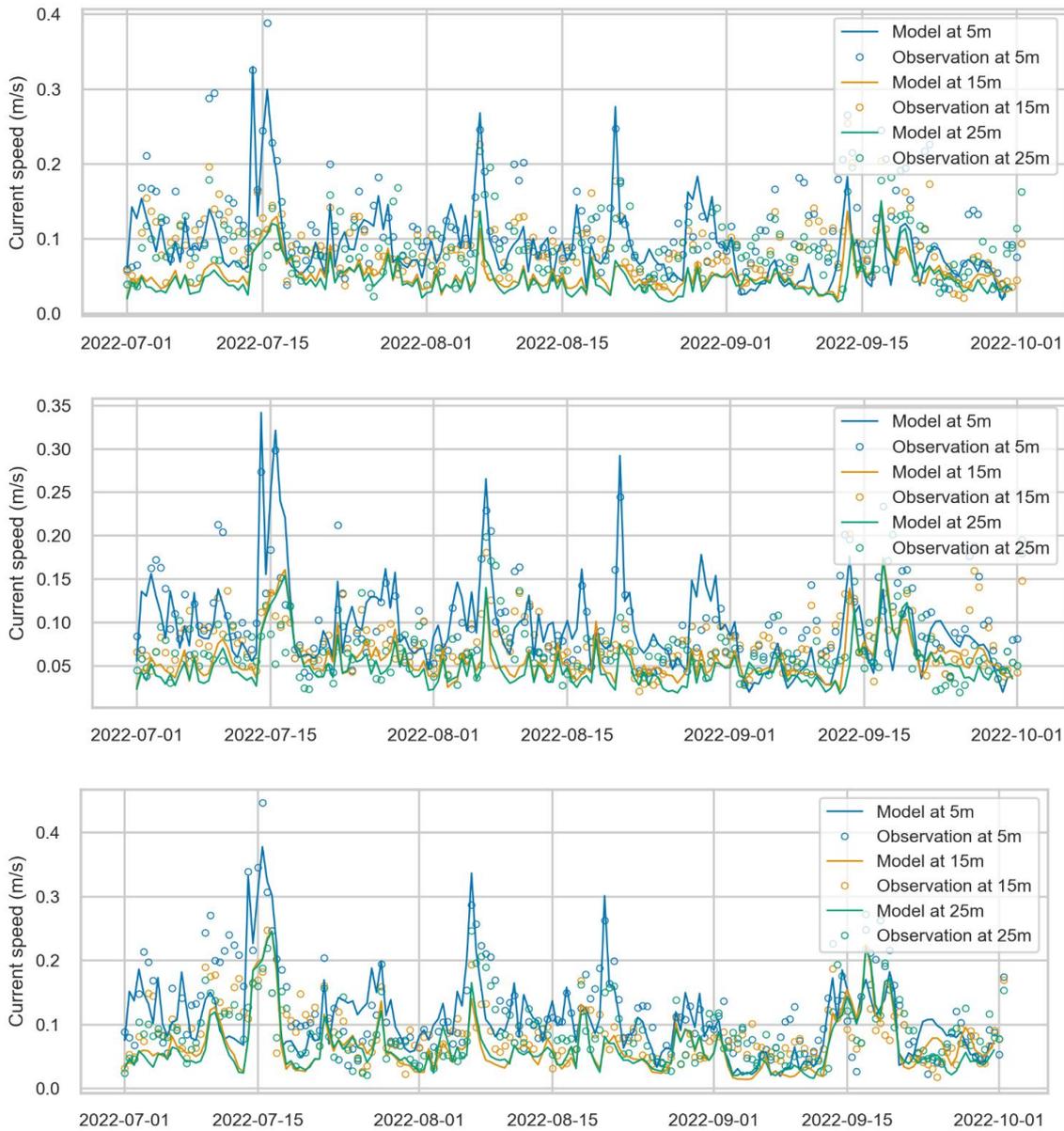


Figur 7.4. Jämförelse mellan observerad i mMSL (röda punkter) och modellerat vattenstånd (blå linje) för övervakningsstationerna Forsmark (överst), Spikarna (andra raden), Holmsund (tredje raden) and Kalix-Storön (nedersta raden).

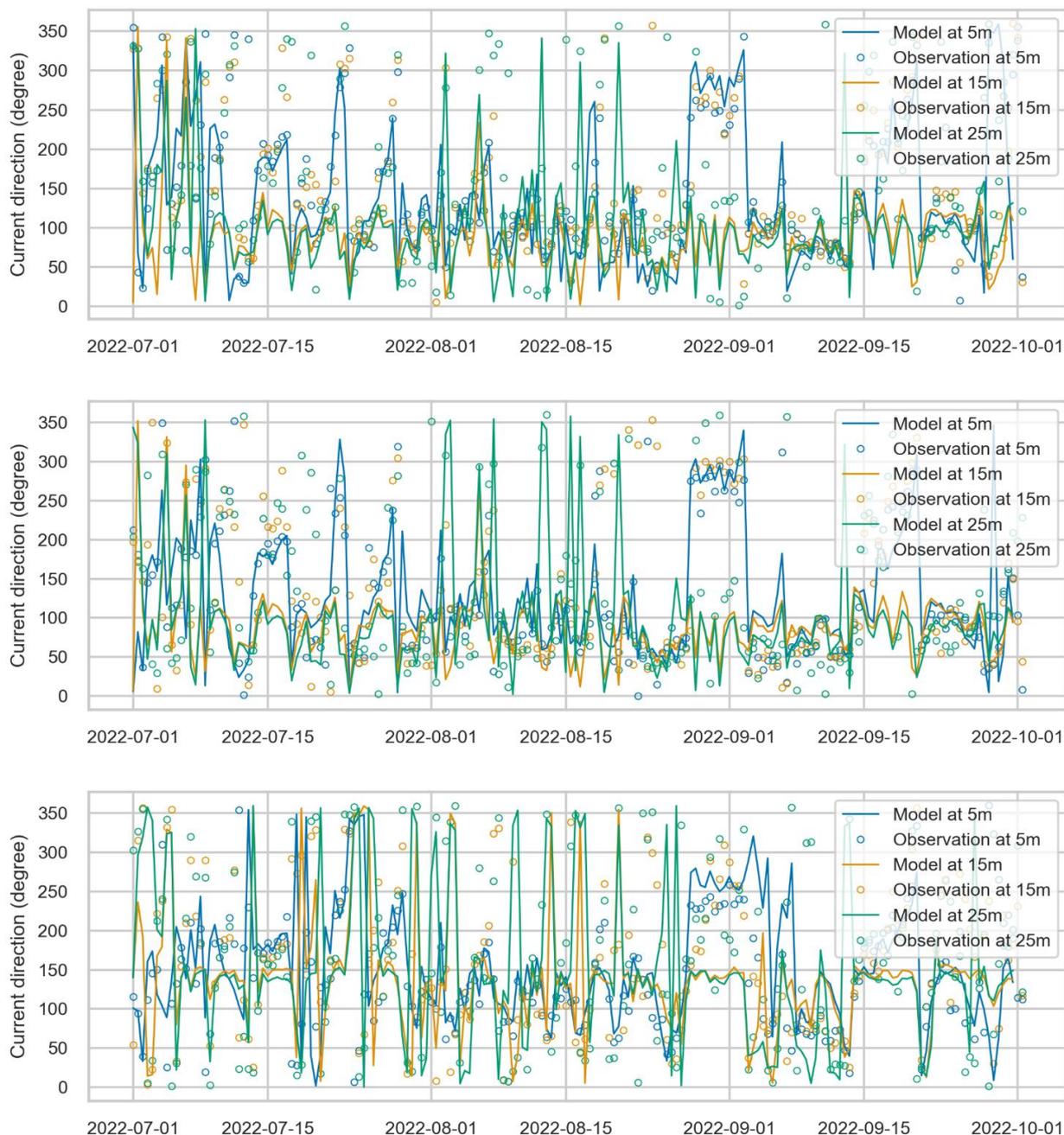
7.5.2 Strömmar, tidsserier

Tidsserier för strömhastigheter visas i Figur 7.5 och visar en relativt god överensstämmelse mellan modellerade och observerade ytströmmar vid -5m (korrelationskoefficient större än 0,65 för alla stationer och RMSE runt eller lägre än 0,05 m/s), vilket indikerar att vinddrivna strömmar generellt fångas väl av modellen.

Representationen av de djupare strömmarna vid 15m och 25m är något mer utmanande med korrelation runt eller större än 0,5 och RMSE runt eller lägre än 0,05 m/s för alla stationer. Detta kan bero på en större påverkan av strömmar som drivs av salthalts- och temperaturskillnader och av randvillkoren, samt på en grov representation av batymetri i den regionala modellen. Tidskurvor för strömriktningar visas i Figur 7.6 och visar att variationer i riktningar ytström vid 5m djup fångas väl av modellen (blå linjer och cirklar). För de djupare strömmarna vid 15m och 25m djup fångas den genomsnittliga strömriktningen väl av modellen, medan vissa förskjutningar i strömriktningar inte helt fångas av modellen.



Figur 7.5 Jämförelse mellan observerade (cirklar) och modellerade (linjer) strömshastigheter (medelvärde 12h m/s) vid 5, 15 och 25m djup för övervakningsstationerna FYR1 (överst), FYR2 (mitten) och FYR3 (underst).

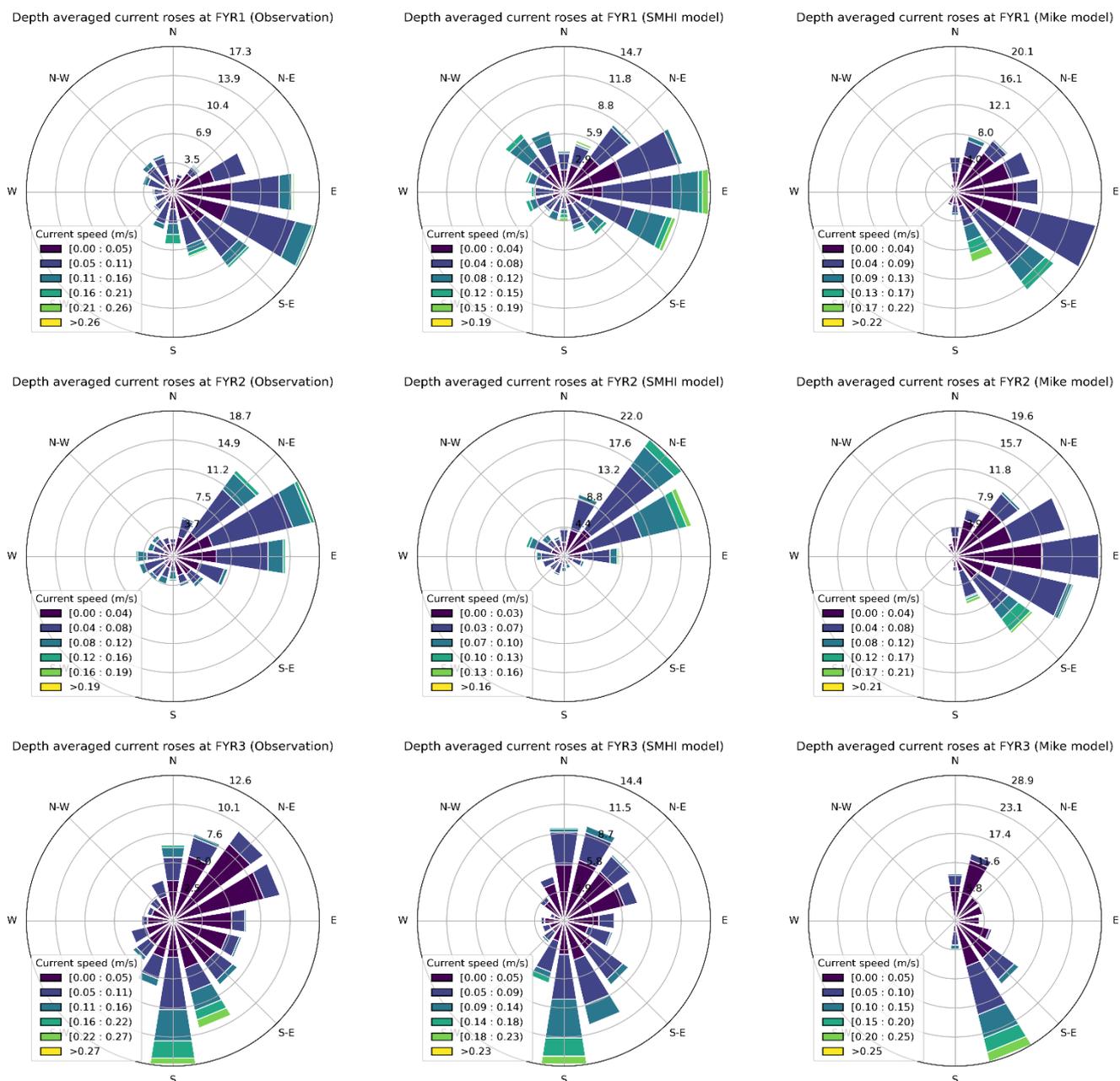


Figur 7.6. Jämförelse mellan observerad (cirklar) och modellerad (linjer) strömriktning (medelvärde 12h, grader) vid 5, 15 och 25m djup för övervakningsstationerna FYR1 (överst), FYR2 (mitten) och FYR3 (underst).

7.5.3 Strömrosor jämförelse (observation, Mike och SMHI modeller)

För FYR1 visar strömrosor (Figur 7.7) att den genomsnittliga ost-sydostliga strömriktningen fångas väl av den nuvarande Mike-modellen, medan den södra komponenten är något överskattad, medan SMHI-modellen överrepresenterar den östra och nordöstra riktningen. Genomsnittliga strömhastigheter underskattas något av Mike-modellen, men mindre än av SMHI-modellen. För FYR2 fångas den allmänna östra riktningen av både SMHI- och Mike-modellerna, där Mike-modellen förskjuter strömmarna söderut, medan SMHI-modellen överskattar den norra komponenten. Genomsnittliga strömhastigheter ligger inom observationsintervallet för

båda modellerna men underskattas något av SMHI-modellen och de sydöstra strömhastigheterna överskattas något av Mike-modellen. För FYR3 fångar SMHI-modellen väl den observerade fördelningen av strömriktning. Den dominerande riktningen fångas också av Mike-modellen, men den sydöstra komponenten överskattas och den södra komponenten underskattas.



Figur 7.7 Strömrosor som representerar utbredningen av riktningar av ström på genomsnittsdjup (mot) och samhörande strömhastigheter för observerad ström (första kolumnen) och strömmar modellerade av SMHI (andra kolumnen) and Mike (tredje kolumnen) vid Fyr1, Fyr2 och Fyr3.

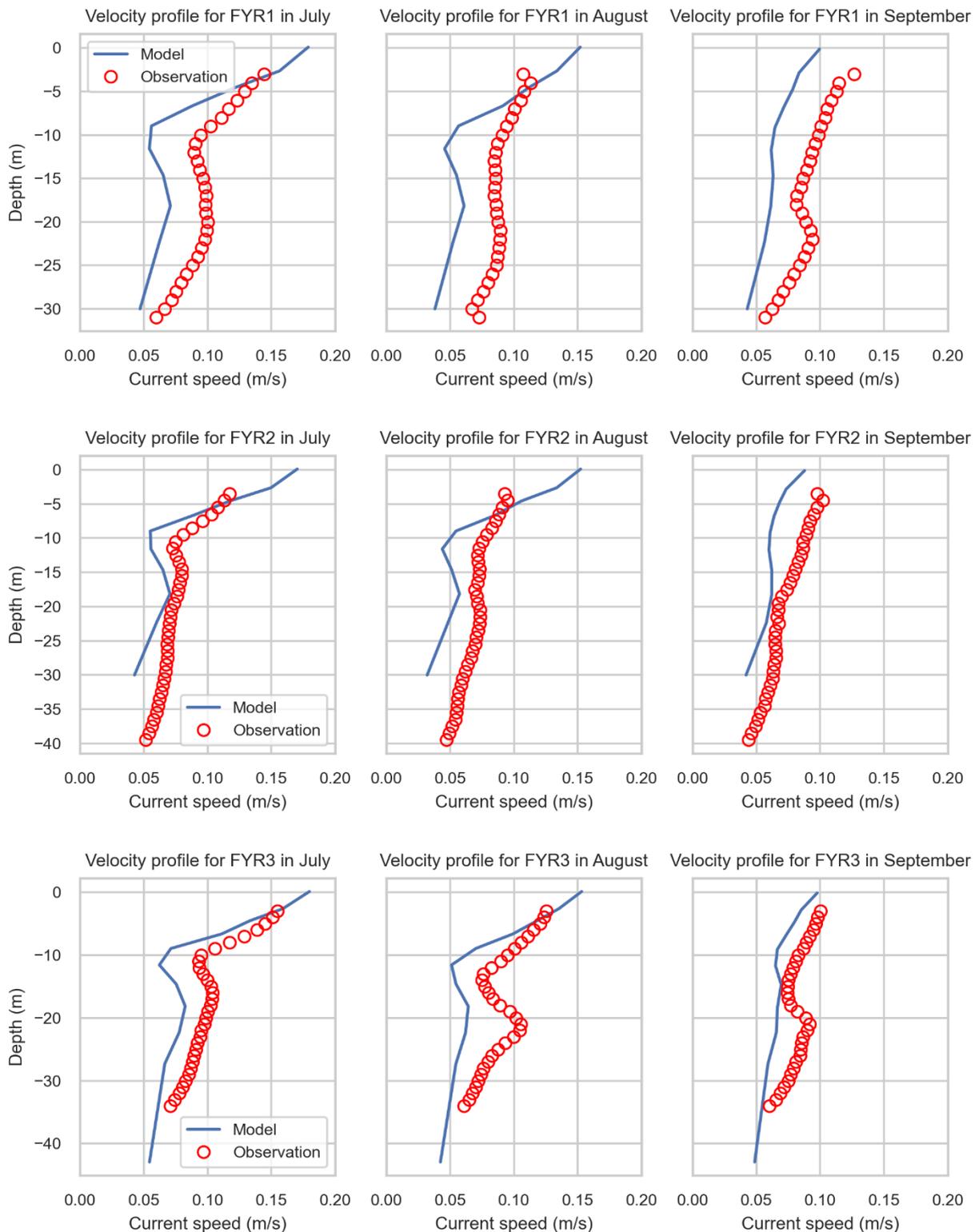
7.5.4 Strömprofiler

Profiler för genomsnittlig strömhastighet vid stationerna FYR1, 2 och 3 över månaderna juli, augusti och september presenteras i Figur 7.8. De visar en allmän överensstämmelse mellan modellerade och observerade

strömhastigheter med högre hastigheter vid ytan som minskar med djupet ner till 10 m, ökar något mellan 10 och 20 m djup och slutligen minskar långsamt tills botten.

Detta mönster är mer uttalat i juli (och augusti för FYR3) och fångas väl av modellen. De mindre branta profilerna i september fångas också väl av modellen, medan modellen överskattar ytströmmar i augusti, vilket kan bero på hur indata för vindstyrka driver modellen.

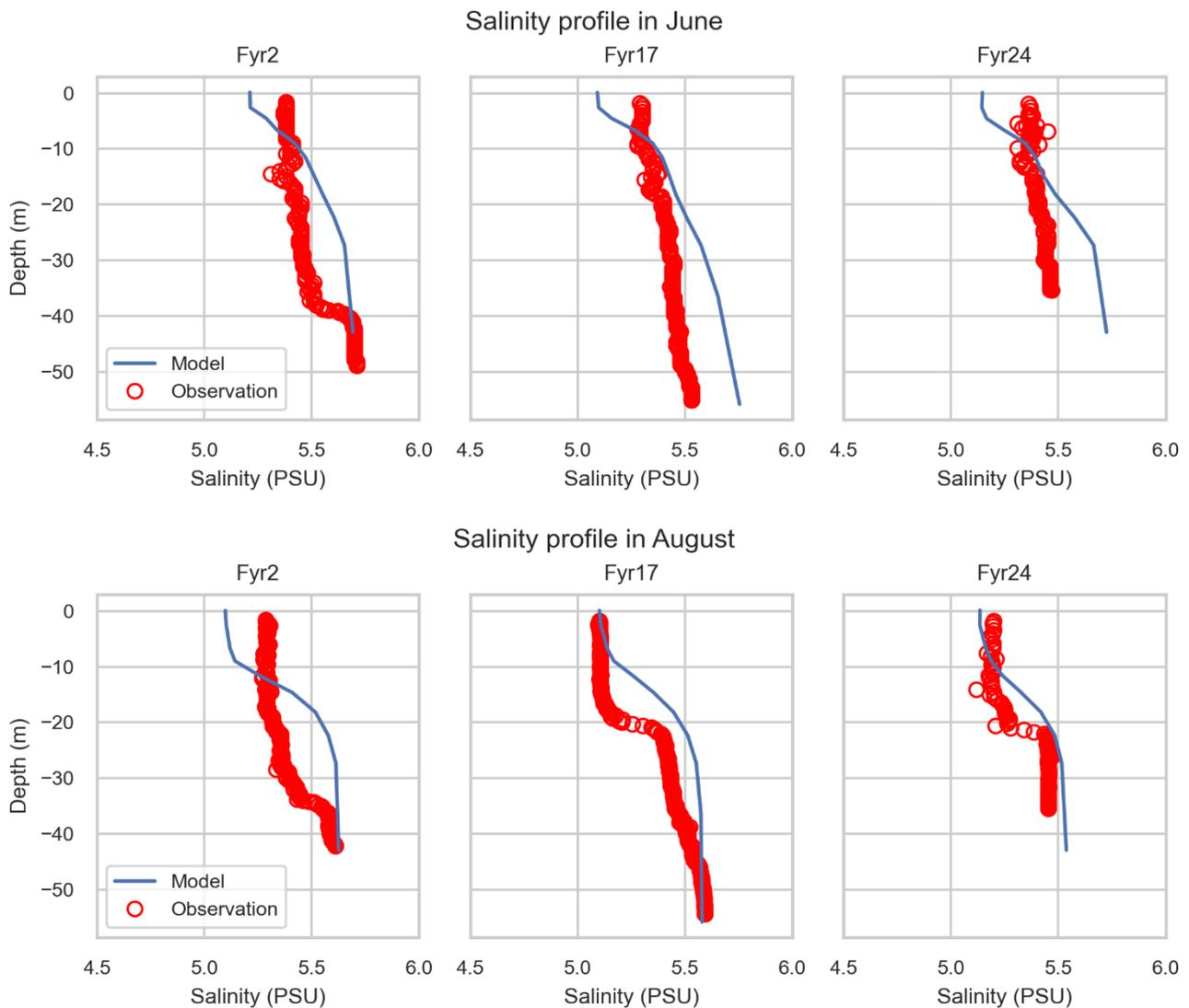
Strömhastigheterna underskattas också något av modellen mellan 10-30 m djup. Sådana måttliga avvikelser kan förväntas eftersom modellen representerar genomsnittliga strömhastigheter för ett givet element (grid/cell, horisontell upplösning på cirka 5 km²). Medan observationen representerar strömmar vid en diskret mätpunkt. Jämförelse av modellerade strömtidsserier, rosor och profiler med observationsdata visar att, trots vissa avvikelser, överensstämmelsen är acceptabel och modellen fångar den allmänna strömdynamiken och vertikala mönstren i Fyrskeppet och presterar bra mot SMHI-modellen.



Figur 7.8 Jämförelse mellan modellerade (blå linje) och observerad (röda cirklar) månatliga genomsnittliga strömhastighetsprofiler i juli (första kolumnen), augusti (andra kolumnen) och september (tredje kolumnen) för övervakningsstationerna FYR1 (första raden), FYR2 (andra raden) och FYR3 (tredje raden).

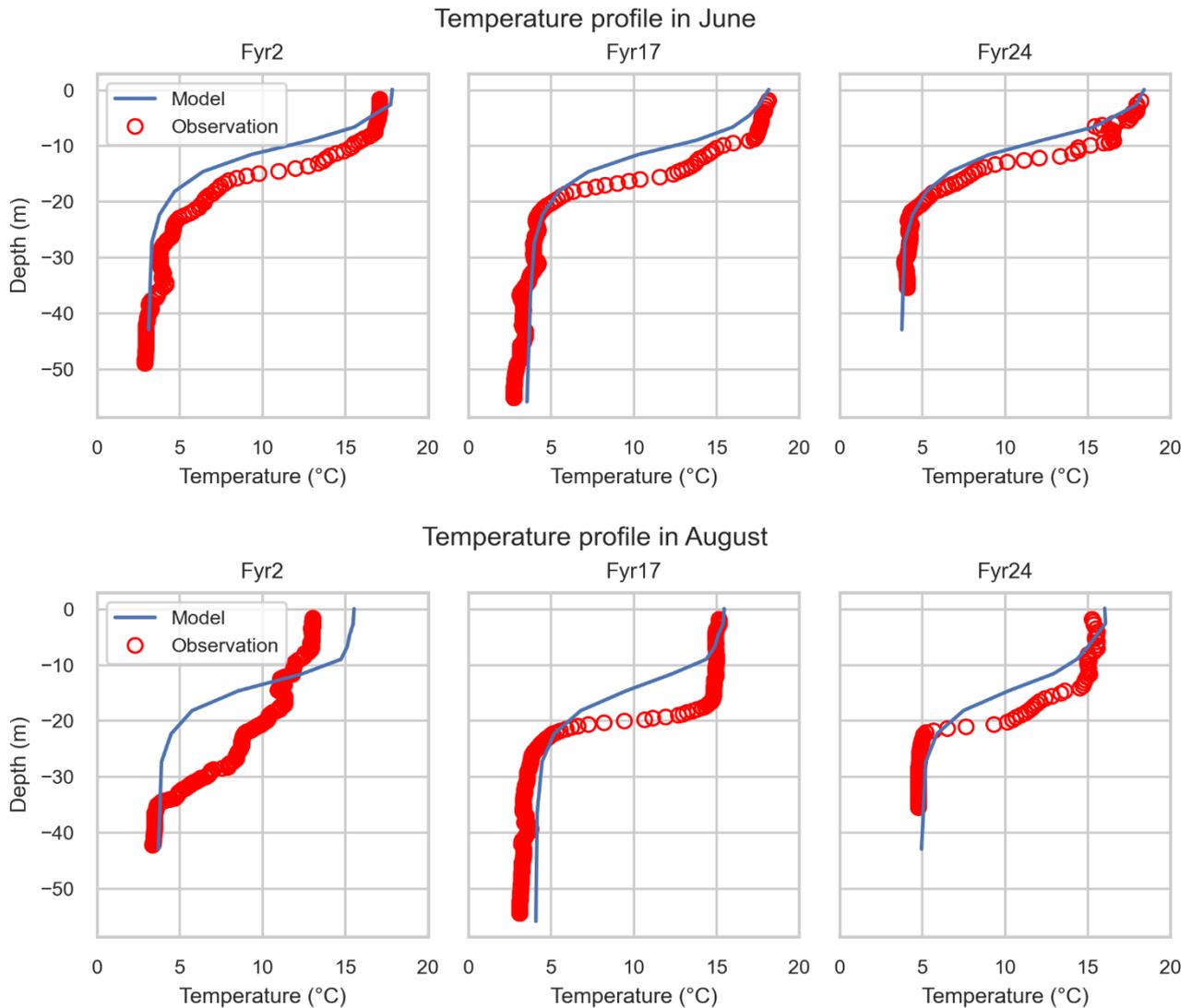
7.5.5 Salthalt- och temperaturprofiler

Vid jämförelse av modellerad salthalt med observationer i olika delar av projektområdet visar att modellerad salthalt ligger väl inom intervallet för observationsvärdena. Modellen är något överskattad i juni avseende stratifiering (språngskikt), medan det fångas väl av modellen i augusti, dock med en modellerad haloklin (zon med maximal salthaltgradient) som inträffar runt 15m medan den observerade ligger runt 20m (Figur 7.9).



Figur 7.9: Jämförelse mellan modellerad (blå linje) och observerad (röda cirklar) salthaltprofil för juni (första raden) och augusti (andra raden) för Fyr2, lokaliserad i den norra delen, Fyr17, lokaliserad i den västra delen och Fyr24 lokaliserad i den östra delen av projektområdet (Bladin, Rämö, Lavett, Vinterstare, & Vigouroux, 2022).

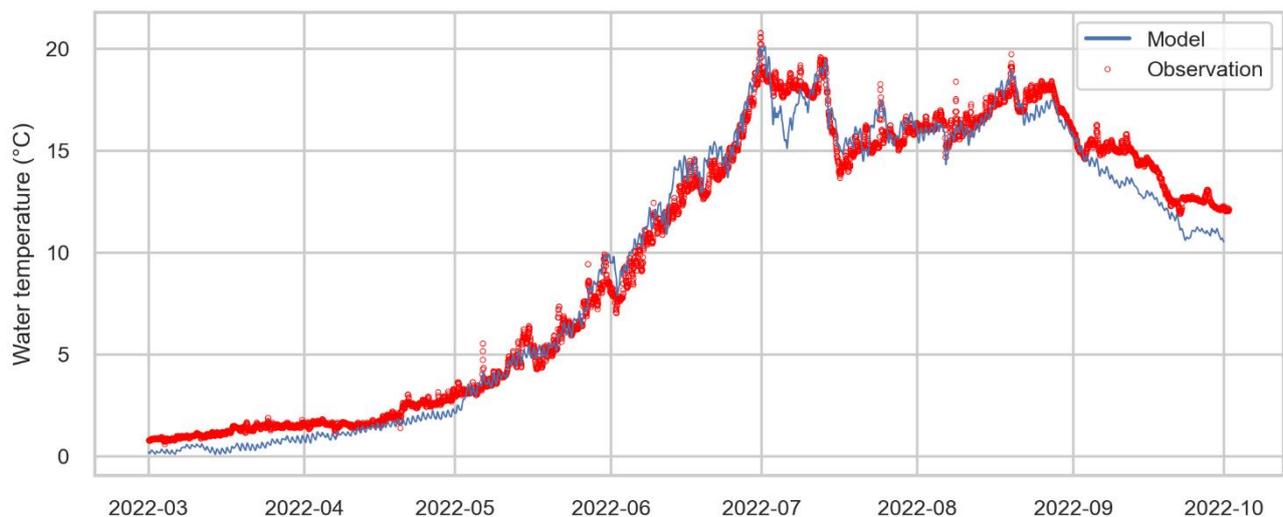
Temperaturskiktning (Figur 7.10) återges väl av modellen både i juni och augusti, med mycket god överensstämmelse för både yta- och bottentemperaturerna vid de olika stationerna. Termoklinen stämmer också bra överens i juni, medan den modellerade termoklinen ligger något för högt i augusti. För Fyr2 kan formen på salthalts- och temperaturprofilerna indikera uppvällning (upwelling), som skulle bero på variationer i batymetri som inte fångas upp av den grövre regionala modellen. Profilerna av ström, salthalt och temperatur indikerar därmed en god förmåga hos modellen att representera den vertikala skiktningen, lämplig för analys av sedimenttransport.



Figur 7.10. Jämförelse mellan modellerad (blå linje) och observerad (röda punkter) temperaturprofiler för enstaka datum i juni (första raden) och augusti (andra raden) för Fyr2, lokaliserad i den norra delen, Fyr17, lokaliserad i den västra delen och Fyr24 lokaliserad i den östra delen av projektområdet (Bladin, Rämö, Lavett, Vinterstare, & Vigouroux, 2022)

7.5.6 Tidserier temperatur

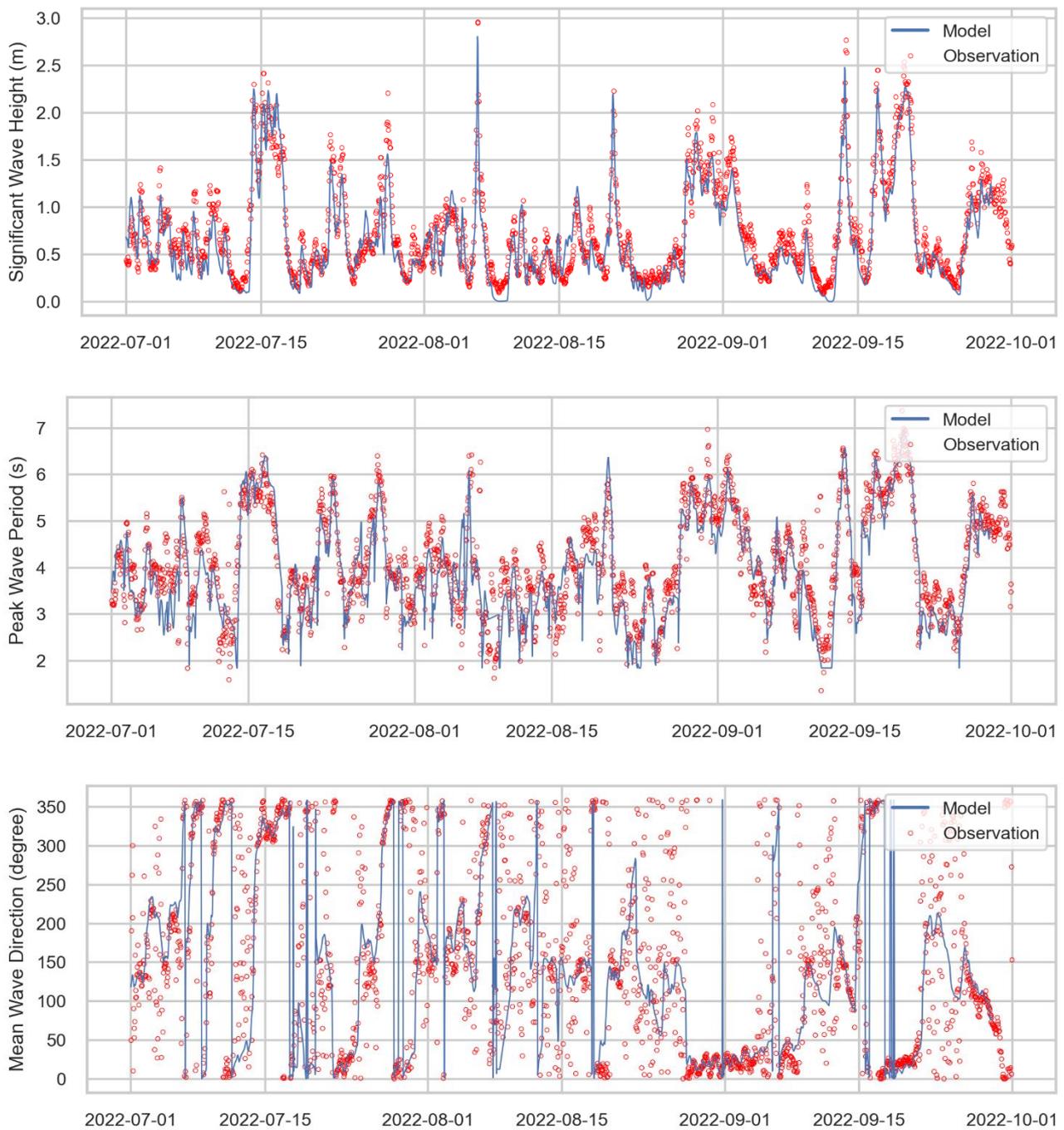
Den modellerade yttemperaturen vid Finngrundet visar mycket god överensstämmelse med observationer både under våren och sommaren, med en korrelationskoefficient på 0,99 och ett RMSE på 0,86 °C (Figur 7.11). De flesta korttidsvariationer fångas väl av modellen, medan temperaturen minskar något för snabbt under september månad.



Figur 7.11. Jämförelse mellan modellerad (blå linje) och observerad (röda cirklar) tidserie över ytvattentemperatur vid Finngrundet.

7.5.7 Vågor, tidsserier

Jämförelse mellan modellerade och observerade vågförhållanden visas i Figur 7.12 endast för Fyr1, eftersom vågförhållandena är mycket lika mellan Fyr1, 2 och 3, och Finngrundet observationer (Figur 6.7 och Figur 6.8). Figuren visar en mycket god överensstämmelse mellan modellresultat och observationer, med en korrelationskoefficient på 0,94 och 0,85 och ett RMSE på 0,19m och 0,62s för den signifikanta våghöjden respektive högsta vågperioden. Huvudsakliga variationer i genomsnittlig vågriktning fångas också väl av modellen, med vissa avvikelser under lugnare förhållanden (låg signifikant våghöjd). Dessa resultat visar en god förmåga hos modellen att beskriva vågförhållandena för Bottenhavet.



Figur 7.12 Jämförelse mellan modellerad (blå linje) och observerad (röda cirklar) signifikant våghöjd (översta raden), högsta vågperioden (andra raden) och genomsnittlig vågriktning (tredje raden) för Fyr1.

8. Sedimentspridningsmodell

Input till sedimentmodellen beskrivs i de tre första avsnitten av detta kapitel och resultatet av modellen i de två sista avsnitten.

8.1 Sedimentkällor och spillprogram

Tre typer av källor beaktas:

- 1) Muddring av 187 gravitationsbaserade understrukturer och 4 havsbaserade transformatorstationer med en mudderkapacitet på 300 m³/timme och en sugmuddrare som fångar 90 % av de muddrade sedimenten. 10 % (i samråd med klienten) av de muddrade sedimenten antas sprida sig nära botten (frigivna 2 meter över havsbotten). Den grova sedimentfraktionen avsätts kring gravitationsfundamenten medan de finare sedimenten är mer tillgängliga för transport i de omgivande vattnen.
- 2) Breddning av totalt muddersediment antas uppgå till 5 % (i samråd med klienten) och släpps vid ytan och är tillgängligt för transport i de omgivande vattnen.
- 3) Nedgrävning av intern- och redundanskablar i rutgrävda schakt med mekanisk schaktning/plöjning eller en kombination, med en volym på 400 m³/timme (2 m³/m schakt med 200 m/h), där 10 % (i samråd med klienten) av sedimenten antas sättas i suspension och släpps 2 meter över havsbotten.

Två scenarier beaktas i modellerna:

1. 15 MW-fallet, där var och en av de 187 vindturbinerna kan generera 15 MW, och gravitationsfundamenten har en basplatta med en diameter på 40 meter, vilket ger en schaktning på 5700 m³ för varje GBS.
 2. 30 MW-fallet, där var och en av de 187 vindturbinerna kan generera 30 MW, och gravitationsfundamenten har en basplatta med en diameter på 48 meter, vilket ger en schaktning på 7700 m³ för varje GBS.
- Kabel- och teknikplattformar inom parken har samma storlek och layout i båda fallen.

Installationsprogrammen för båda fallen beskrivs i Tabell 8.1 och Tabell 8.2. Arbetet börjar med att gräva ut GBS och plattformar parallellt med installationen av fundament och läggningen av internkabelnät (IAC) och redundanskablarna. Nedgrävning av intern- och redundanskablar påbörjas vecka 6 respektive 8. I 30 MW-fallet tar det ytterligare tre veckor att gräva ut gravitationsfundamenten.

Tabell 8.1. Installationsprogram för 15MW-scenario, med start 1:a maj och slut 28 veckor senare, 27:e oktober 2021.

15 MW Schedule Parallell 1:3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Week																												
Dredging GBS WTG/OSS	x	x	x	x	x	x	x	x																				
Dredging GBS	x	x	x	x	x	x	x	x																				
Dredging GBS		x	x	x	x	x	x	x																				
OSS installation	x	x																										
GBS Installation		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
GBS Installation		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
GBS Installation			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
IAC laying and Pull-in		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
IAC laying and Pull-in											x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
IAC burial							x	x				x	x	x	x							x	x	x	x	x	x	x
Red.Cable Laying, pull in.		x	x	x	x	x	x	x	x																			
Red.Cable burial								x	x	x																		

Tabell 8.2 Installationsprogram för 30MW – scenario, med start 1:a maj och slut 28 veckor senare, 27:e oktober 2021.

30 MW Schedule Parallel 1:3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Vecka																												
Dredging GBS WTG/OSS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																	
Dredging GBS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																	
Dredging GBS		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																	
OSS installation	x	x																										
GBS Installation	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
GBS Installation		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
GBS Installation			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
IAC laying and Pull-in		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
IAC laying and Pull-in												x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
IAC burial						x	x					x	x	x	x						x	x	x	x	x	x	x	x
Red.Cable Laying, pull in.		x	x	x	x	x	x	x	x	x																		
Red.Cable burial								x	x	x																		

8.2 Sedimenttyper

De förväntade sedimenttyperna definieras var 200:e meter längs kablarna och vid anläggningsplatserna, som beskrivs av SGU, Sveriges Geologiska Undersökning. Varje sedimenttyp är speciellt kopplad till sedimentproverna och en medelkornfördelning beräknas per sedimenttyp.

Sedimentmodellen är ett tillägg till den hydrodynamiska och vågmodellen, så strömdata och skjuvspänning överförs per tidssteg för advektiv transport av sedimentet och deposition/resuspension av sediment nära botten.

Sedimentmodellen innehåller information om:

- 1) Sedimenttyperna delas in i 5 kategorier. Sjunkhastigheten visas inom parentes:
 - a. Sand, 26,2 % (0,015 m/s),
 - b. Finsand, 12,1 % (0,00292 m/s),
 - c. Grovlera, 7,6 % (0,00056 m/s),
 - d. Finlera, 8,8 % (7e-5 m/s) och
 - e. Lera, 18,9 % (3e-5 m/s).
- 2) Kritisk skjuvspänning för erosion , t.ex. 0,3 N/m² (DHI/IOW Consortium, 2013);
- 3) Dispersion både horisontellt och vertikalt;
- 4) En beskrivning av sedimentkällan i tid och rum.

8.3 Uppskattat spill

Totalt uppskattas utsläppet till 190 702 m³ för 15 MW-scenario och 220 832 m³ för 30 MW-scenario, Tabell 8.3.

Tabell 8.3 Totalt sedimentspill för 15 MW och 30 MW-scenarier.

Sediemt:	sand	very fine sand/coarse silt	medium silt	fine silt	very fine silt/Clay	Sum
Case	[m3]	[m3]	[m3]	[m3]	[m3]	[m3]
15GW	68121	31339	19700	22681	48862	190702
30GW	78883	36290	22813	26264	56581	220832

8.4 Uppskattade sedimentkoncentrationer och associerade varaktigheter

Figur 8.1 till Figur 8.4 (vänster) visar den totala varaktigheten under byggperioden (kontinuerlig eller ej) av sedimentkoncentrationer i ytvattnet som är högre än 10 mg/l och 100 mg/l för 15 MW- och 30 MW-fallen. Sediment som släpps ut vid ytan från pråmen transporteras och sprids med ytströmmar när det sjunker genom vattenpelaren, vilket visas som plymer i dessa figurer. Resultaten är relativt liknande mellan 15 MW- och 30 MW-fallen, med sedimentkoncentrationer på 10 mg/l som täcker 87 % respektive 95 % under minst 3 timmar (Tabell 8.4 och Tabell 8.5). Sediment sprids relativt snabbt, med 43 % och 56 % täckning under 12 timmar med en sedimentkoncentration på 10 mg/l, 1 % och 3 % täckning under 48 timmar för 15 MW- respektive 30 MW-fallet. Nästan ingen del av Fyrskippet upplever sedimentkoncentration i mer än 72 timmar sammanlagt. De flesta delar av Fyrskippet exponeras endast av begränsade sedimentkoncentrationer (mindre än 50 mg/l), där sedimentkoncentrationer på 50 mg/l täcker 21 % respektive 26 % av Fyrskippet under 3 timmar och avtar inom 24 timmar, medan sedimentkoncentrationer på 200 mg/l täcker 3 % respektive 4 % av Fyrskippet under 3 timmar och varar mindre än 12 timmar för 15 MW- respektive 30 MW-fallen. Ingen del av Fyrskippet upplever sedimentkoncentrationer på 1000 mg/l för någon layout. Sedimentkoncentrationer på 100 mg/l och högre finns generellt sett i omedelbar närhet av turbinerna (Figur 8.2 och Figur 8.4; vänster). De flesta ytsedimenten späds ut till försumbar koncentration inom Fyrskippet, men vissa delar av Natura 2000-området upplever sedimentkoncentrationer på 10 mg/l generellt under mindre än 10 timmar (upp till 13 timmar i båda fallen). Mycket få ytor/områden utanför Fyrskippet exponeras för sedimentkoncentrationer på 50 mg/l och högre, generellt begränsade till 1 km runt Fyrskippet. Med tanke på buffertzonen runt Natura 2000-området på 2 km är risken för sedimentkoncentrationer högre än 50 mg/l som sprider sig till Natura 2000-området minimal, medan mindre koncentrationer kan uppkomma under mindre än 24 timmar, beroende på strömhastigheter och strömriktningar.

Tabell 8.4. Area (km²) och korresponderande andel av Fyrskippet med sedimentkoncentrationer lika med eller större än 10, 50, 100 and 500mg/l med varaktighet mer än 3, 6, 12 and 24 timmar. Beräknat för översta 10m i vattenpelare för 15MW scenariot.

Sedimentkoncentration (mg/L)	10				50			200		400	1000
	3	12	48	72	3	12	24	3	12	3	3
Minimum varaktighet (h)	3	12	48	72	3	12	24	3	12	3	3
Area (km ²)	462.8	229.7	3.6	0.1	111.0	17.9	0.2	16.4	1.4	3.0	0.0
Procent (%) av Fyrskippet	86.7	43.0	0.7	0.0	20.8	3.3	0.0	3.1	0.3	0.6	0.0

Tabell 8.5 Area (km²) och korresponderande andel av Fyrskeppet med sedimentkoncentrationer lika med eller större än 10, 50, 100 and 500mg/l med varaktighet mer än 3, 6, 12 and 24 timmar. Beräknat för översta 10m i vattenpelare för 30 MW scenariot.

Sedimentkoncentration (mg/L)	10				50			200		400	1000
	3	12	48	72	3	12	24	3	12	3	3
Minimum varaktighet (h)	3	12	48	72	3	12	24	3	12	3	3
Area (km ²)	504.9	298.1	15.5	0.2	138.2	28.8	1.6	19.6	2.7	3.4	0.0
Procent (%) av Fyrskeppet	94.6	55.8	2.9	0.0	25.9	5.4	0.3	3.7	0.5	0.6	0.0

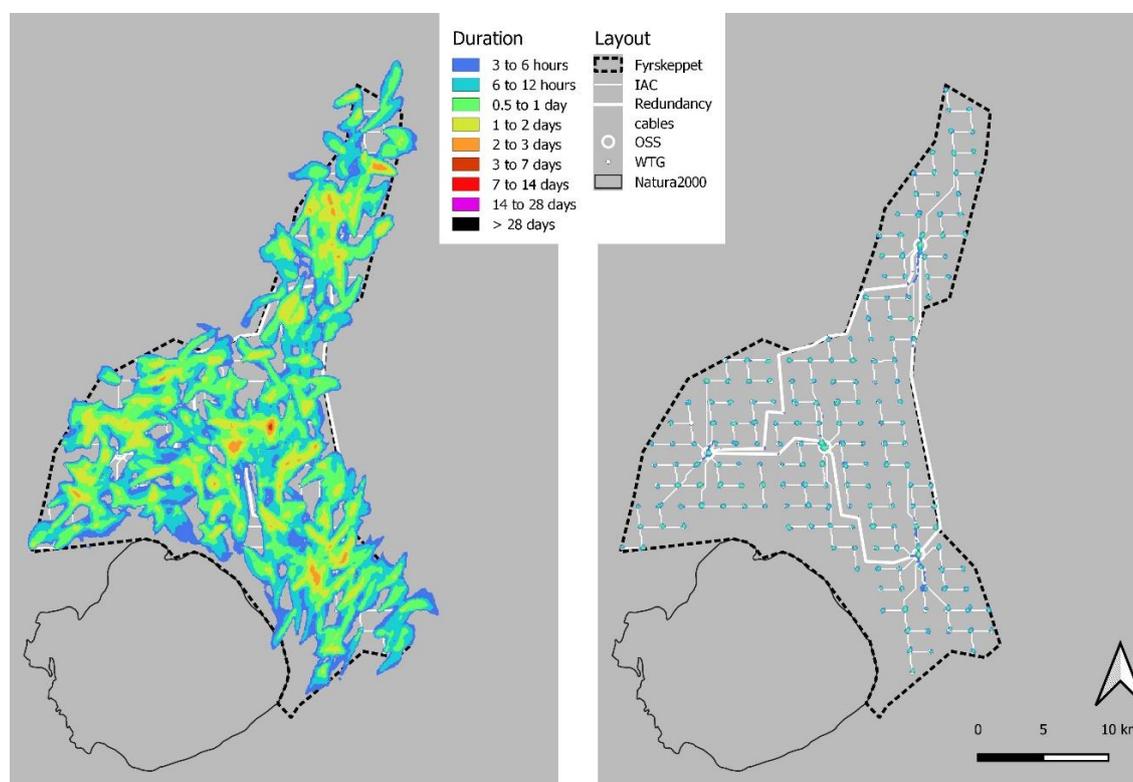
Sedimentkoncentrationerna är lägre i de djupaste 5 metrarna av vattenpelaren än i ytskiktet (Figur 8.1 till Figur 8.4; höger) och resultaten för 15MW- och 30MW-fallen är likartade. Något högre koncentrationer och varaktigheter observeras i 30 MW-fallet på grund av högre sedimentutsläpp från muddring och skillnader i tidpunkt jämfört med 15 MW-fallet. Det mesta av området med sedimentkoncentrationer över 10 mg/l under mer än 3 timmar beror på muddringen för gravitationsfundament och påverkar ett begränsat område av Fyrskeppet (sammanlagt 26 km² eller 5 % respektive 29 km² eller 6 % av Fyrskeppet upplever sedimentkoncentration av 10 mg/l under mer än 3 timmar för 15 MW- respektive 30 MW-fallet; tabell 8.7 och tabell 8.8). På grund av de låga strömhastigheterna sjunker sedimenten till botten snabbt och påverkar mindre än 1,5 % av Fyrskeppet -området efter 12 timmar och inget efter 24 timmar. Högre sedimentkoncentrationer på 50 mg/l påverkar 11 km² (2,1 % av Fyrskeppet) respektive 13,4 km² (2,5 % av Fyrskeppet) under mer än 3 timmar för 15MW- och 30MW-fallet och mindre än 0,5 % av Fyrskeppet under 12 timmar (båda fallen). Mycket höga sedimentkoncentrationer på 500 mg/l påverkar ingen av Fyrskeppet. På grund av de låga strömmarna genom hela vattenkolumnen sprider sig inte sediment som släpps ut vid ytan vid GBS-platsen till stora områden och sätter sig relativt nära GBS. Detta ger rumsligt begränsade effekter av sedimentkoncentrationer, utan att sediment sprids till omgivningen av Fyrskeppet , inklusive Natura 2000-området. Nästan inga områden av Fyrskeppet upplever sedimentkoncentrationer över 10 mg/l under mer än en dag, och mycket begränsade områden upplever koncentrationer över 100 mg/l under 3–6 timmar.

Tabell 8.6. 15 MW scenario – Area (km²) och motsvarande andel av Fyrskeppet som utsätts för sedimentkoncentrationer lika med eller större än 10, 50, 100 eller 500 mg/l för en varaktighet större än 3, 6, 12 och 24 timmar i de nedersta 5 meters lagret. Varaktigheter och koncentrationer visas generellt inte om det motsvarar en yta på 0.

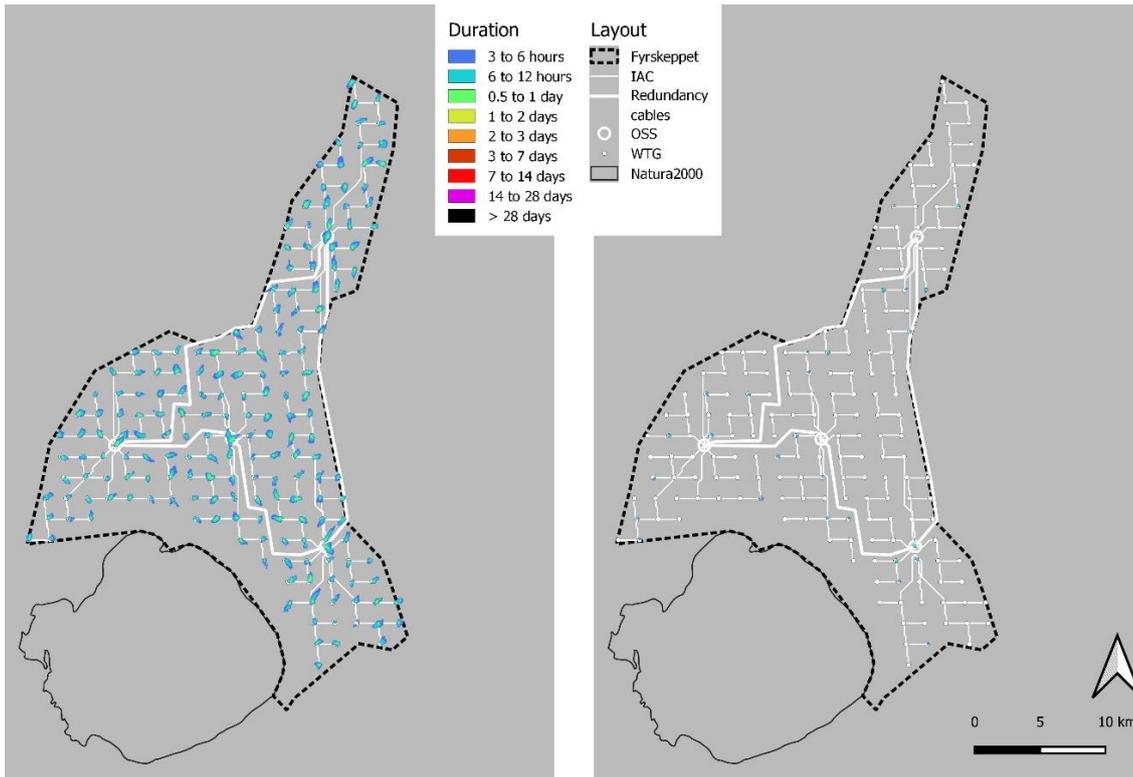
Sedimentkoncentration (mg/l)	10				50			100			500
	3	6	12	24	3	6	12	3	6	12	3
Minimum varaktighet (h)	3	6	12	24	3	6	12	3	6	12	3
Area (km ²)	25.8	14.0	4.5	0.1	11.0	5.3	1.1	1.4	0.6	0.1	0.0
Procent (%) av Fyrskeppet	4.8	2.6	0.8	0.0	2.1	1.0	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0

Tabell 8.7. 30 MW scenario – Area (km²) och motsvarande andel av Fyrskppet som utsätts för sedimentkoncentrationer lika med eller större än 10, 50 100 eller 500 mg/l för en varaktighet större än 3, 6 12 eller 24 timmar i det nedersta 5 meters lagret. Varaktigheter och koncentrationer visas generellt inte om det motsvarar en yta på 0.

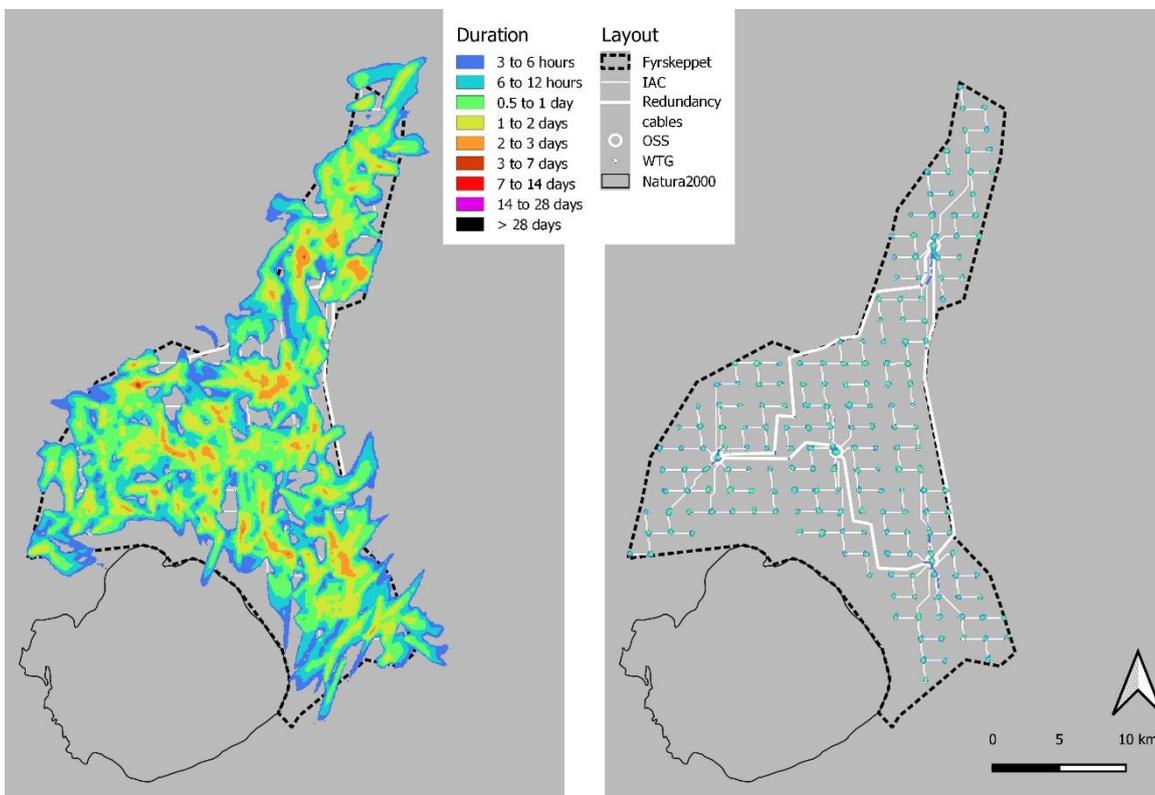
Sedimentkoncentration (mg/l)	10				50			100			500
	3	6	12	24	3	6	12	3	6	12	3
Minimum varaktighet (h)	3	6	12	24	3	6	12	3	6	12	3
Area (km ²)	29.4	17.7	7.8	0.5	13.4	7.6	2.6	1.6	0.6	0.1	0.0
Procent (%) av Fyrskppet	5.5	3.3	1.5	0.1	2.5	1.4	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0



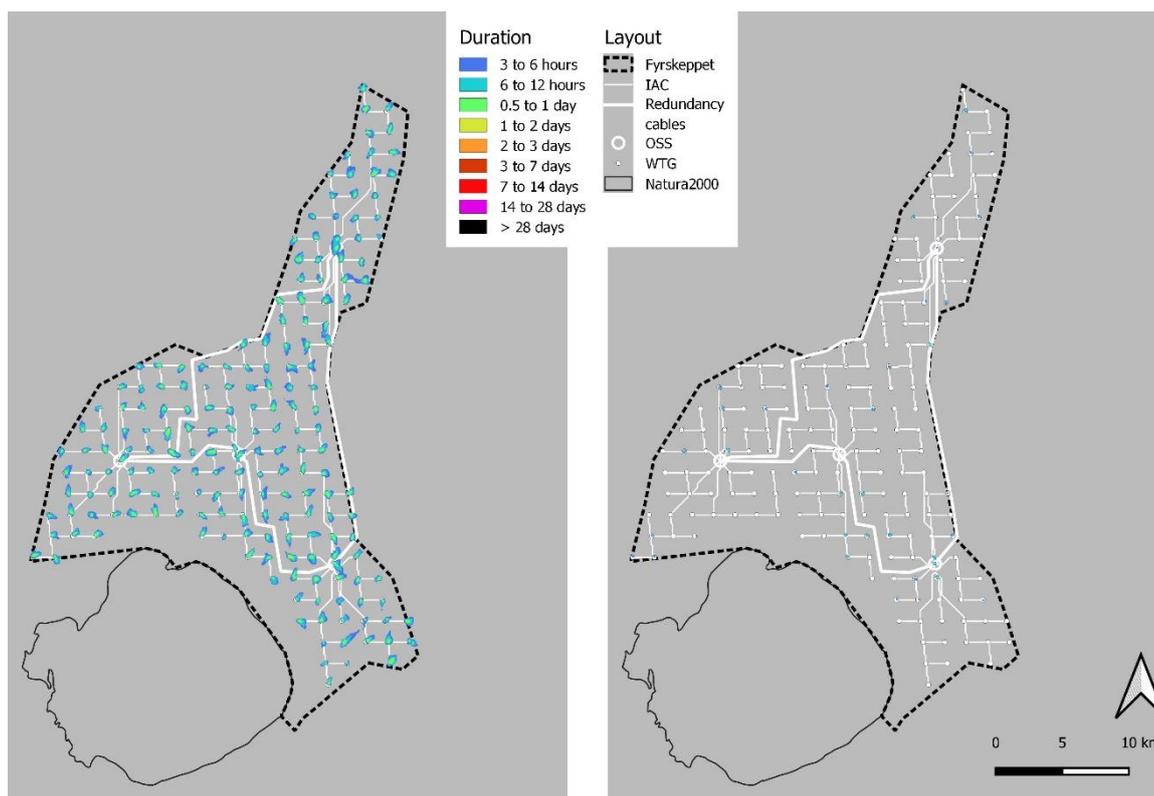
Figur 8.1. Scenario 15MW. Varaktighet - Sediment koncentration 10mg/l, medel översta 10m(vänster), medel djupaste 5 m (höger).



Figur 8.2. 15MW – Varaktighet av sediment koncentrationer på 100mg/l. Vänster: Genomsnitt översta 10m, Höger: Genomsnitt djupaste 5 m.



Figur 8.3. 30 MW - Varaktighet – Sedimentkoncentration på 10mg/l. Vänster: genomsnitt översta 10m, Höger: genomsnitt djupaste 5 m.



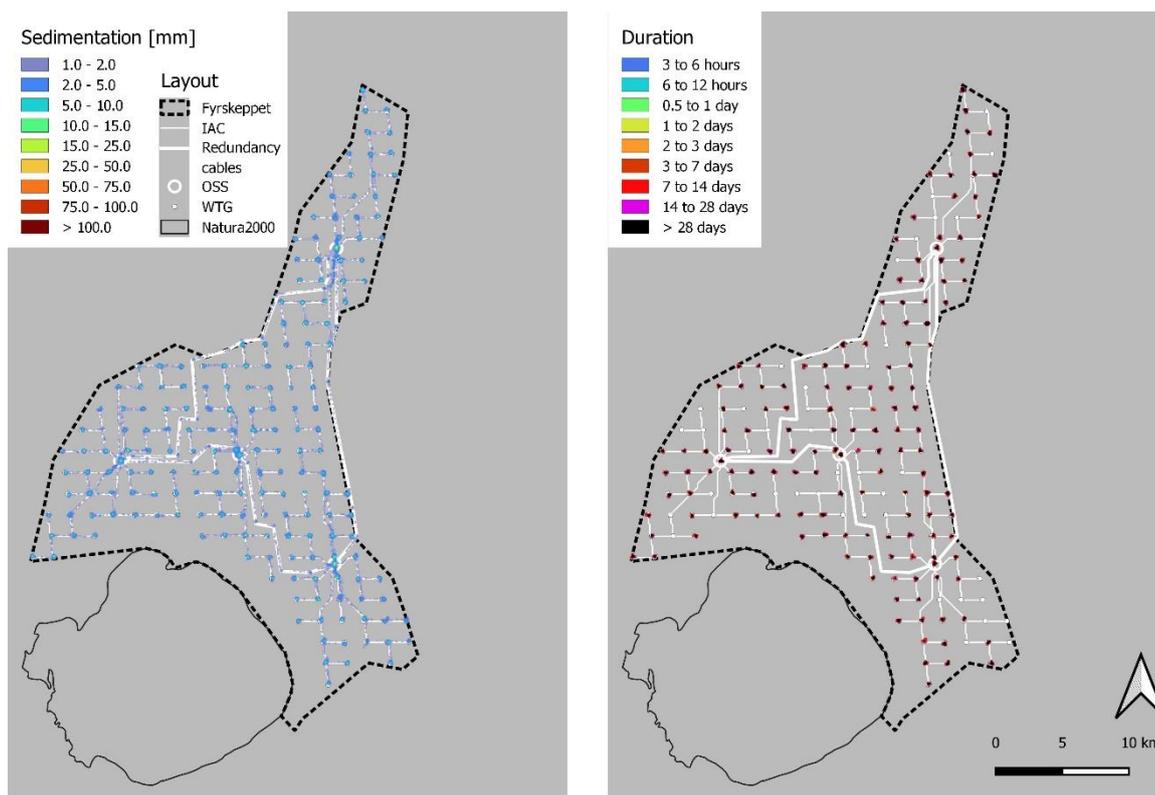
Figur 8.4 30MW - Varaktighet sedimentkoncentrationer på 100mg/l. Vänster: Genomsnitt översta 10m, Höger: genomsnitt djupaste 5 m.

8.5 Uppskattad sedimentation

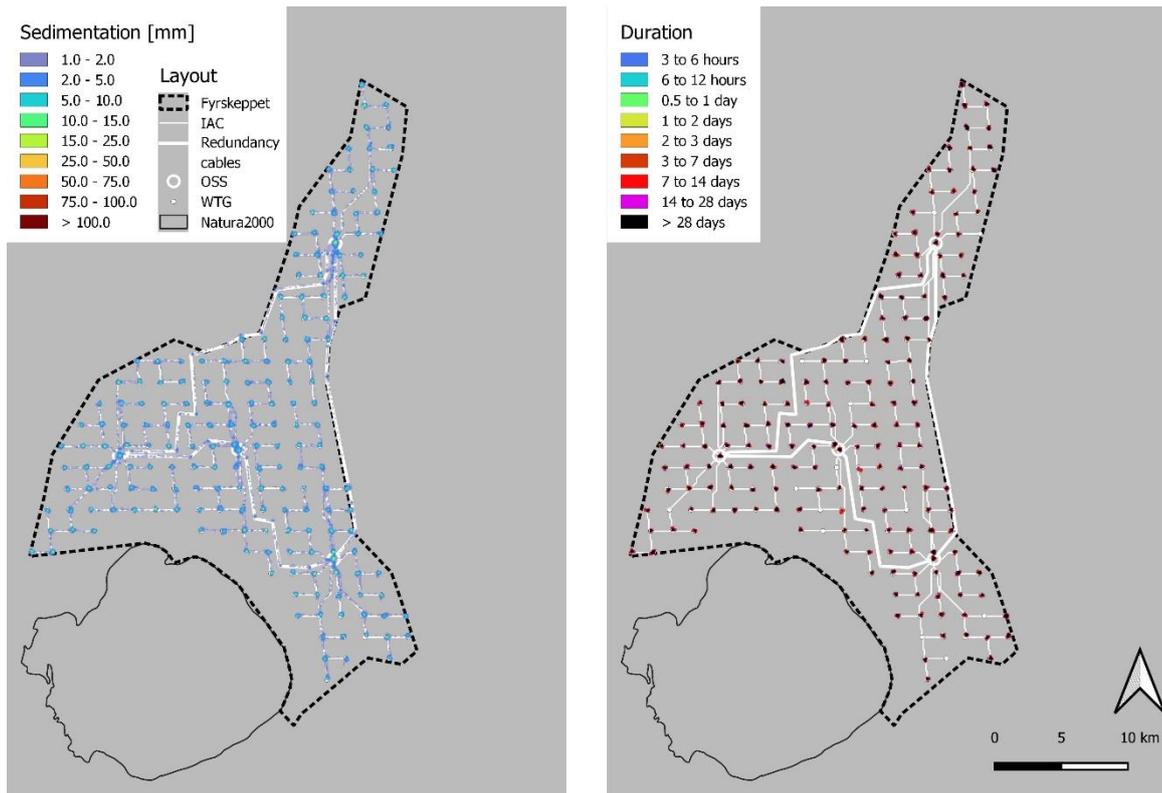
På liknande sätt, som resultaten för sedimentkoncentrationer är modellresultaten för sedimentation mycket likartad mellan 15 MW- och 30MW-scenarierna. Installationen av internkablar mellan vindturbingeneratorerna och redundanskablar mellan de havsbaserade stationerna skapar en måttlig sedimentation på högst 1–2 mm i båda fallen (Figur 8.5 och Figur 8.6). I båda fallen påverkar måttlig sedimentation (1–2 mm) en måttlig andel av Fyrskäppet, både från kablarna och runt fundament (64 km² eller 12 % av Fyrskäppet och 69 km² eller 13 %, i 15 MW- respektive 30 MW-fallen; Tabell 8.8). Sedimentation på 5 mm följer främst muddringsoperationen för vindkraftsfundamenten och installationer av de havsbaserade understationerna och påverkar 6,2 km² respektive 9,2 km² för 15MW- respektive 30MW-fallen, vilket motsvarar en begränsad andel av Fyrskäppet (1,2 % respektive 1,7 %). Mindre än 0,5 % av Fyrskäppet upplever sedimentation på 10 mm och inget område upplever sedimentation på 25 mm eller mer i något fall. På grund av de låga strömhastigheterna nära botten (cirka 5 cm/s, Figur 7.8) och den betydande andelen sand i de muddrade sedimenten förväntas resuspensionen av sediment som sjunker till botten vara låg, och därmed förväntas lång varaktighet av sedimentationen, som visas i Figur 8.5 och Figur 8.6 (vänster). Detta indikerar att de utsläppta sedimenten generellt är stabila runt fundamentplatserna. Installationen av Fyrskäppet för både 15 MW- och 30 MW-fallen genererar måttlig sedimentation (1 mm till 5 mm) i 1 % till 13 % av Fyrskäppet medan högre sedimentation endast påverkar mindre än 1 % av Fyrskäppet. Ingen ökning av sedimentation observeras i det angränsande Natura 2000-området söder om Fyrskäppet.

Tabell 8.8. Area (km²) och motsvarande andel av Fyrskppet som utsätts för sedimentation lika med eller större än 1, 2, 5, 10 och 25 mm över anläggningsperioden för 15 MW och 30 MW scenarier.

Scenario	15MW					30MW				
	≥1	≥2	≥5	≥10	≥25	≥1	≥2	≥5	≥10	≥25
Sedimentation (mm)										
Area (km ²)	63.6	21.9	6.2	0.8	0.0	69.2	25.7	9.2	2.0	0.0
Procent (%) av Fyrskppet	11.9	4.1	1.2	0.1	0.0	13.0	4.8	1.7	0.4	0.0



Figur 8.5. 15 MW – Sedimentation. Vänster : vid slutet av anläggningen. Höger: Varaktigheter med sedimentation på 10 mm eller mer.



Figur 8.6. 30 MW – Sedimentation. Vänster: vid slutet av anläggningen, Höger: Varaktighet av sedimentation på 10 mm eller mer.

9. Referenser

Bladin, K., Rämö, R., Lavett, E., Vinterstare, J., & Vigouroux, G. (2022). Fältundersökningar inom Fyrskppet 2022. AquaBiota Report 2022:30.

Copernicus. (2022, 10). Baltic Sea Physics Analysis and Forecast, 2x2km. Retrieved from https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/BALTICSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_003_006/INFORMATION

Copernicus. (2022, 10). Baltic Sea Physics Reanalysis 4x4km. Retrieved from Copernicus: https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/BALTICSEA_REANALYSIS_PHY_003_011/INFORMATION

DHI/IOW Consortium. (2013). Fehmarnbelt Fixed Link EIA. Marine Soil - Impact Assessment. Sediment Spill during Construction of the Fehmarnbelt Fixed Link. Report No. E1TR0059 - Voume II.

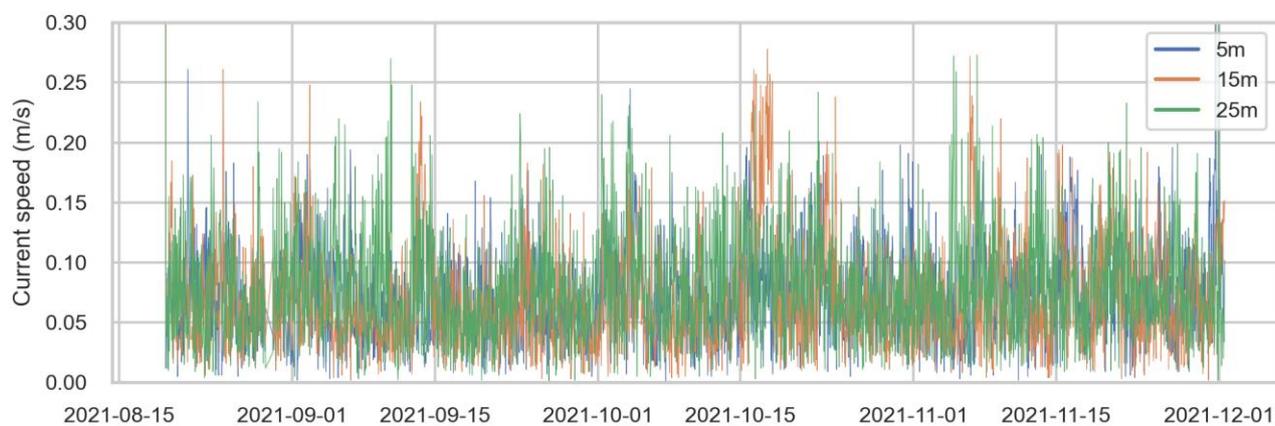
<https://vmdocumentation.femern.com/8.%20E1TR0059%20Vol%20II6fdc.pdf?filename=files/BR/8.%20E1TR0059%20Vol%20II.pdf>.

ECMWF, C. C. (2022, 12 01). Climate Data Store. (ECMWF) Retrieved from <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>

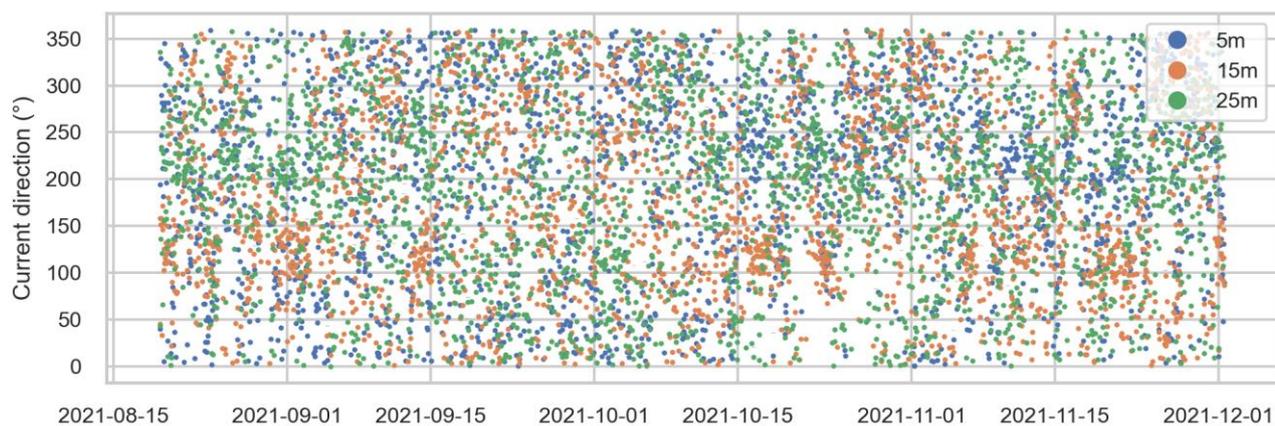
EMODnet. (2021, 03 15). Bathymetry. Retrieved from [portal.emodnet-bathymetry.eu/#](https://portal.emodnet-bathymetry.eu/#:portal.emodnet-bathymetry.eu/#)

SGU. (2020). <https://resource.sgu.se/service/wms/130/maringeologi-100-tusen>. Retrieved from Maringeologi 1:100 000: <https://resource.sgu.se/service/wms/130/maringeologi-100-tusen>

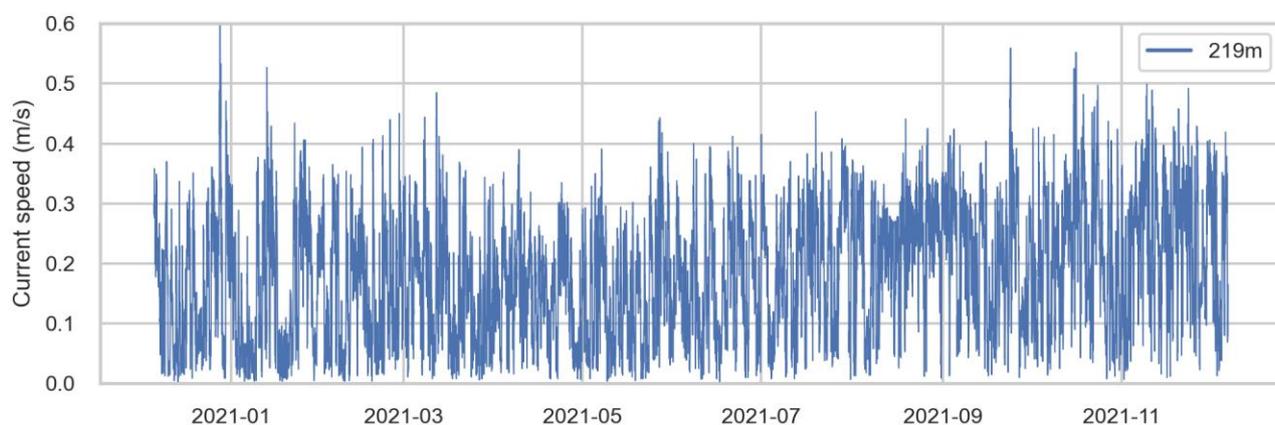
Appendix 1 : Strömhastigheter och strömriktning för SMHI:s övervakningsstationer



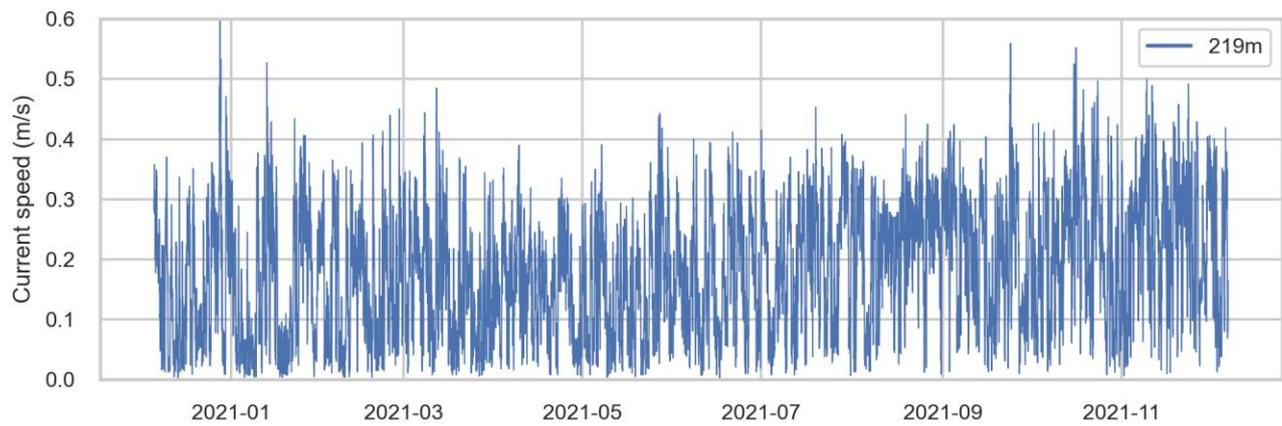
Figur 9.1. Strömhastigheter vid 5, 15 och 25 meters djup vid övervakningsstationen Norrbyn boj.



Figur 9.2. Strömriktning vid 5, 15 och 25 meters djup vid övervakningsstationen Norrbyn Boj.

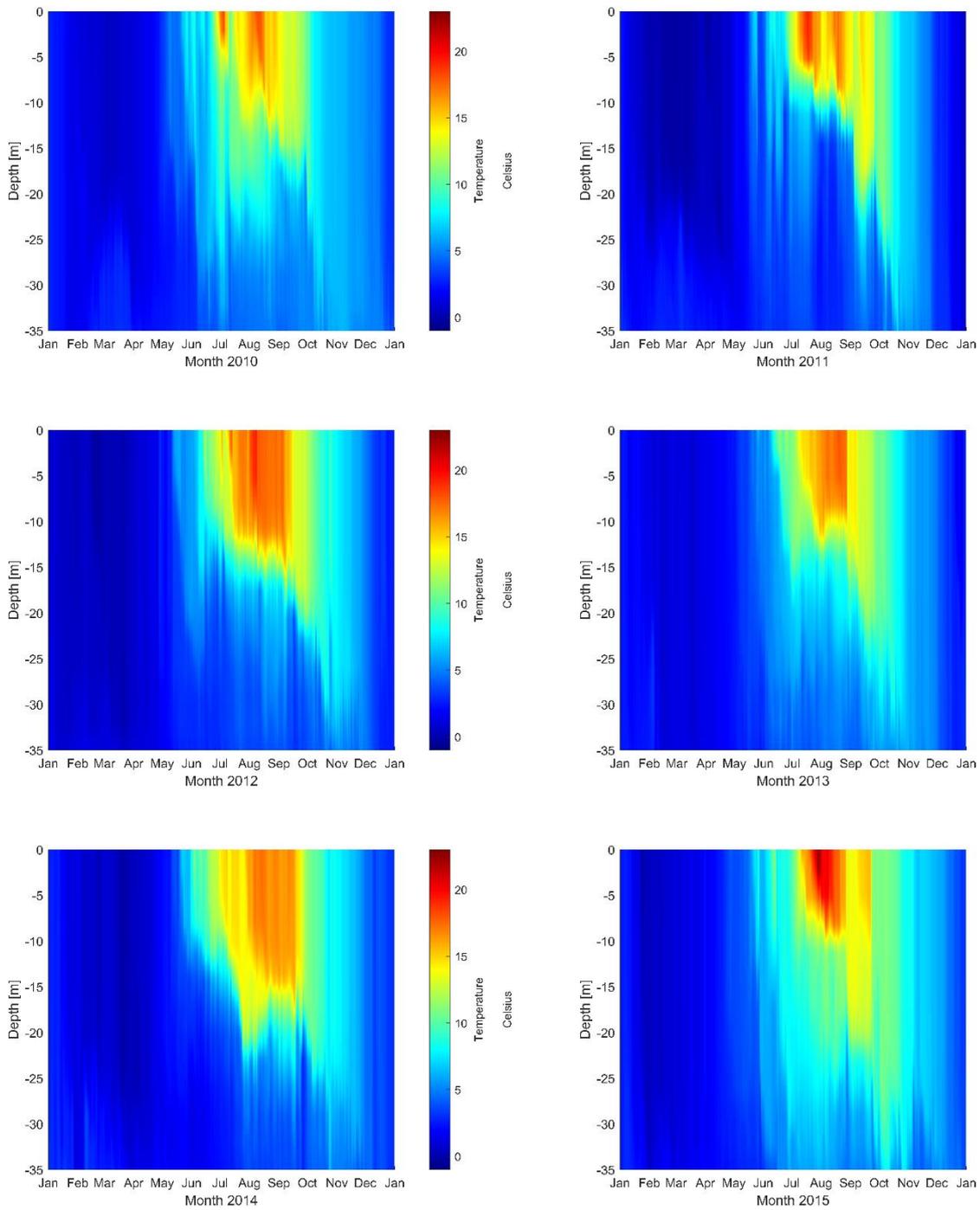


Figur 9.3. Strömhastighet vid 219 meters djup vid övervakningsstationen Understen BS.

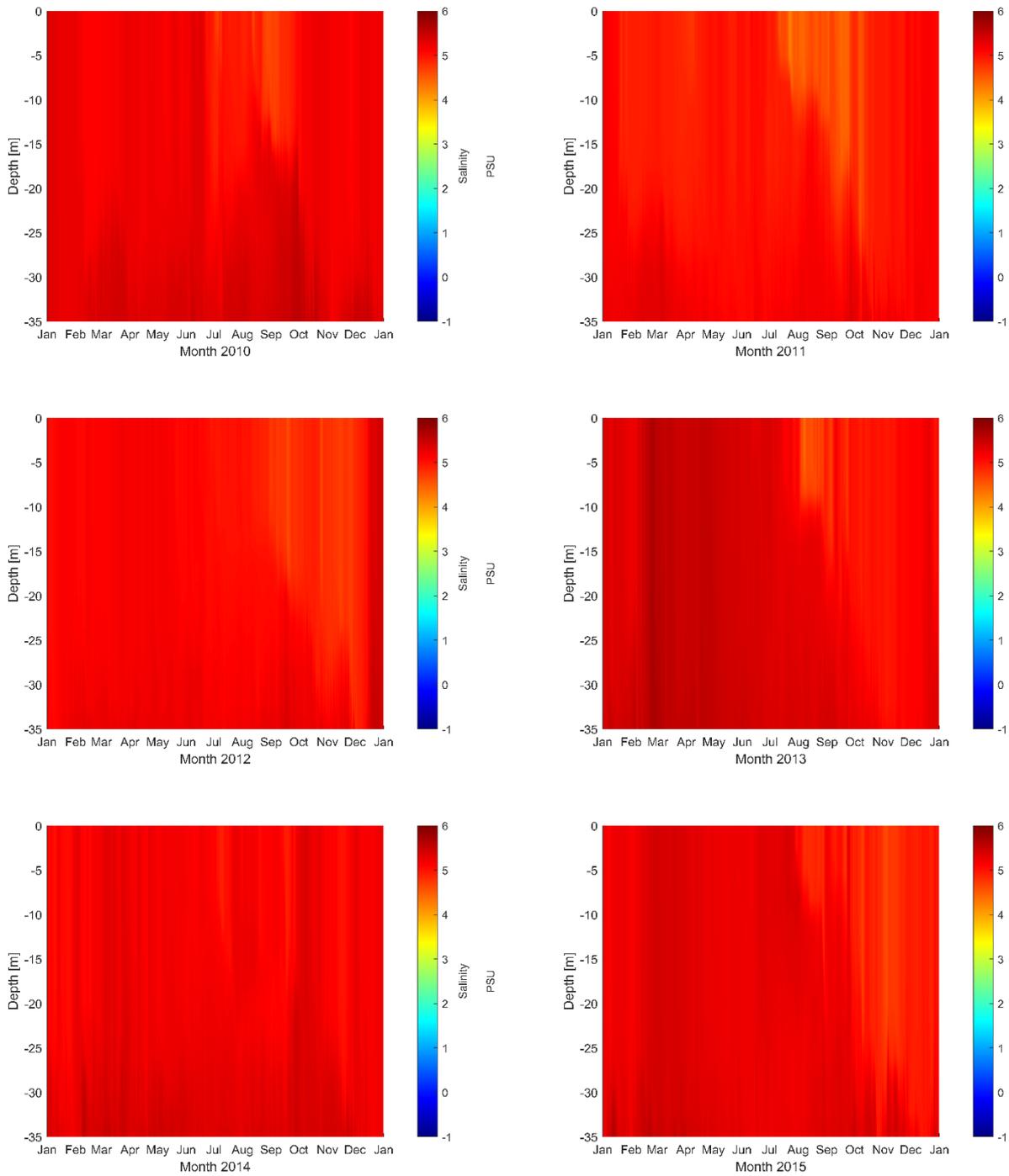


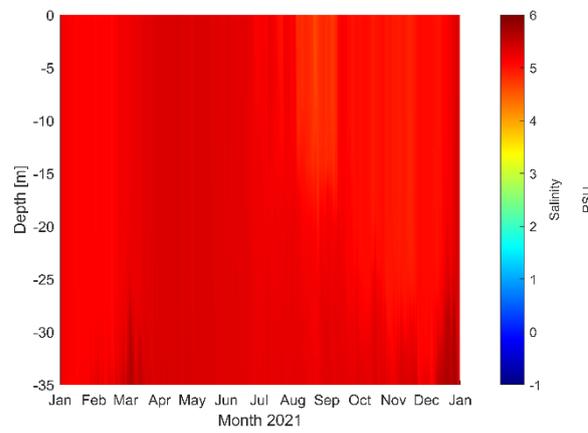
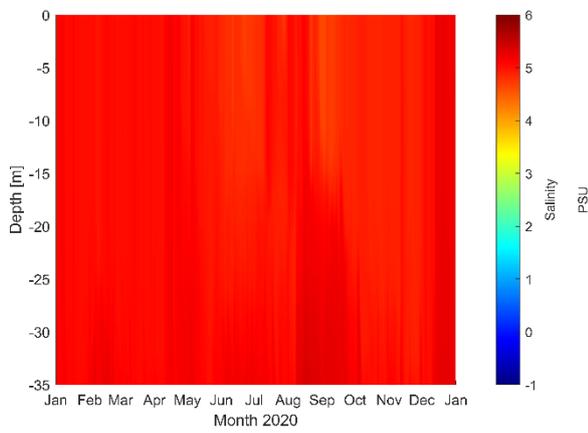
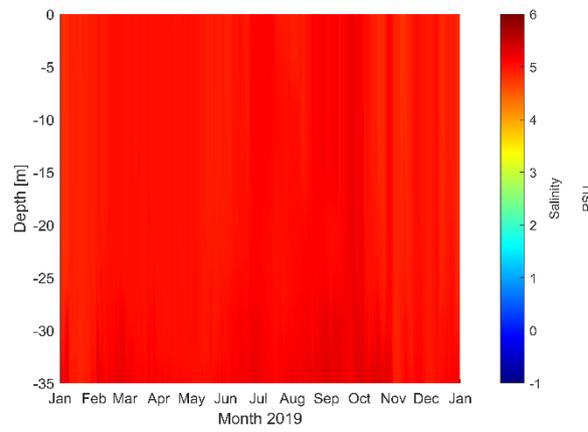
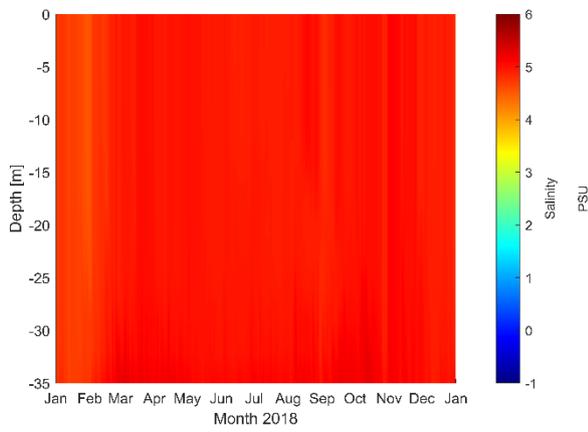
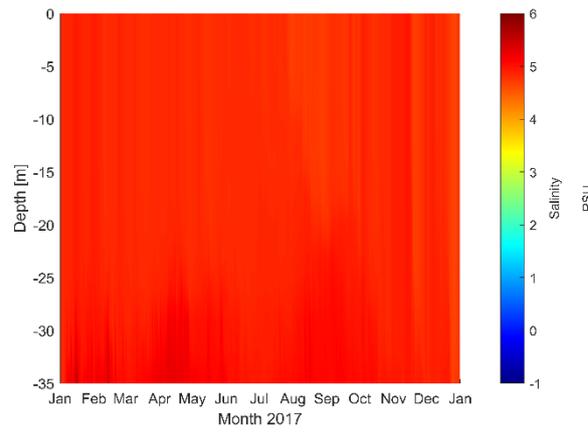
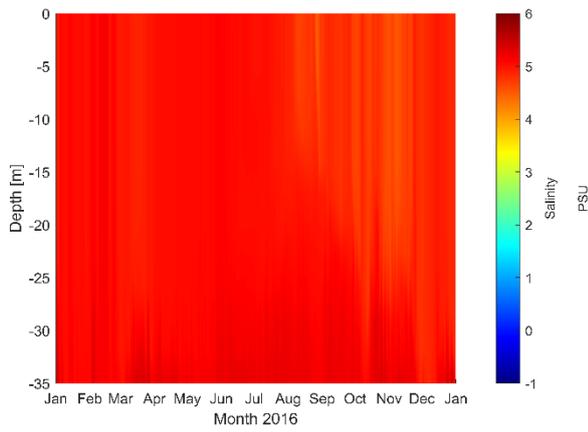
Figur 9.4. Strömriktning vid 219 meters djup vid övervakningsstationen Understen BS.

Appendix 2 Fyrskeppet , Temperaturprofiler (SMHI, modellerad 4x4km)

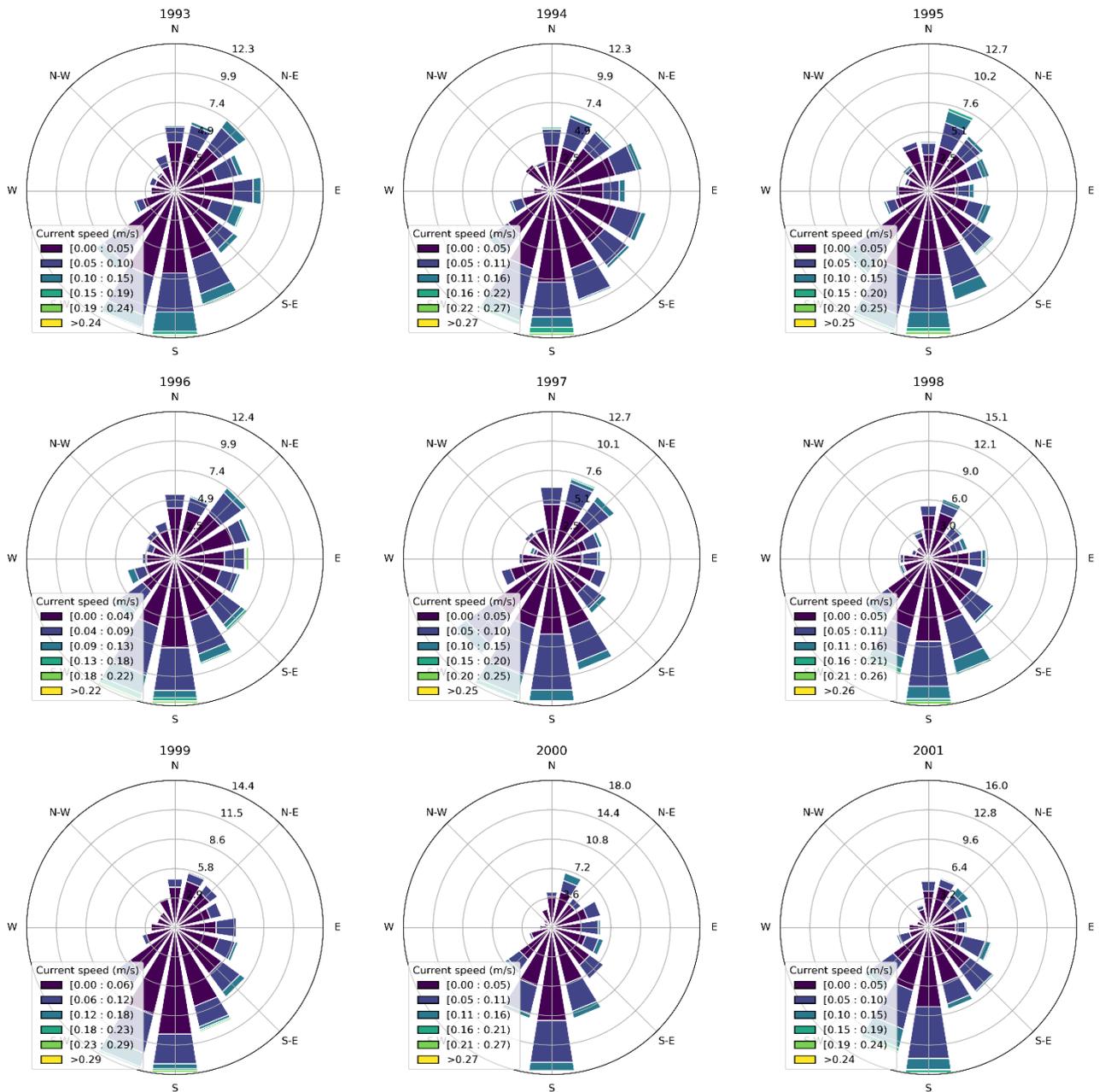


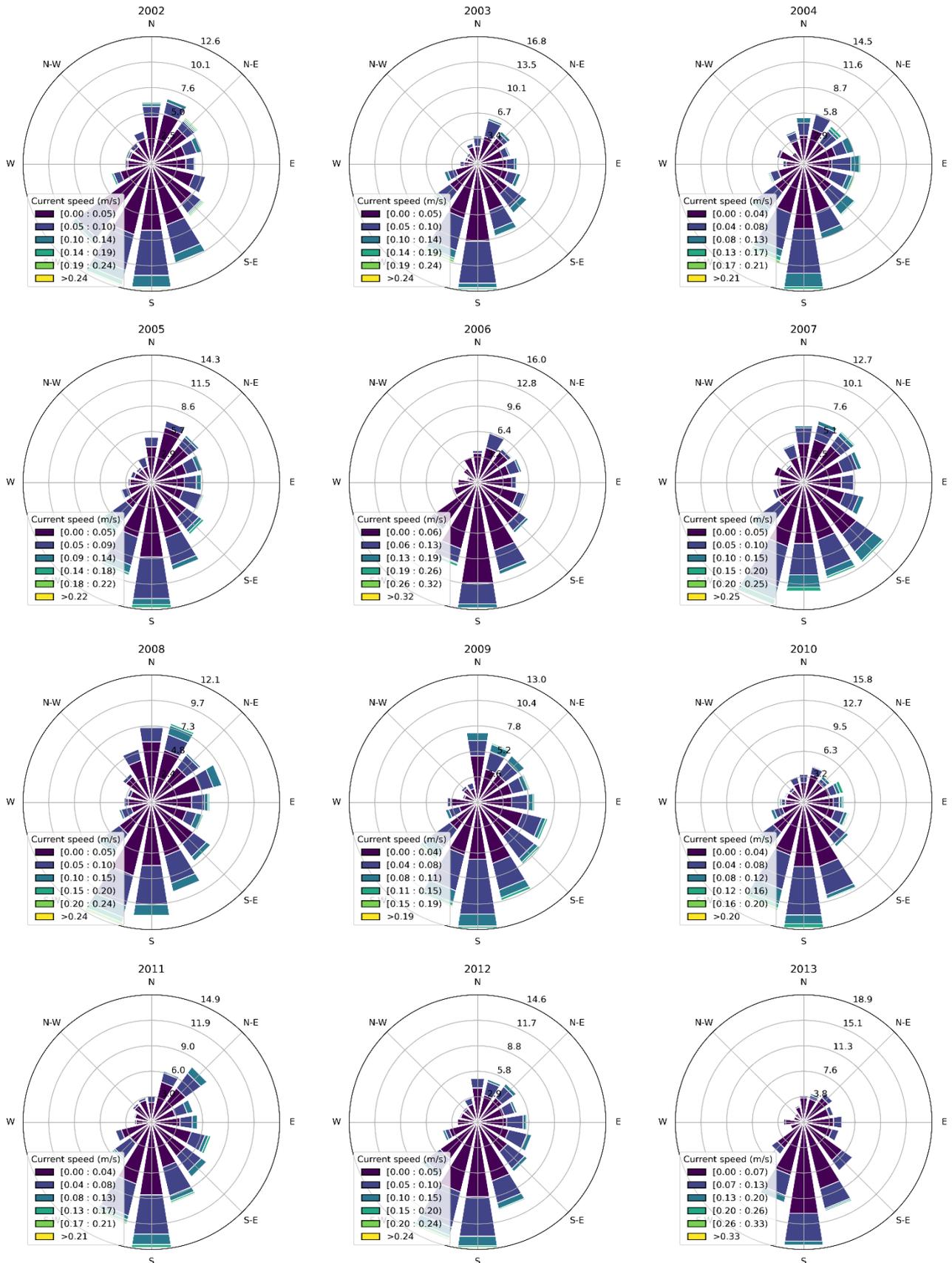
Appendix 3 Fyrskeppet Salthaltprofiler (SMHI modellerad 4x4 km)

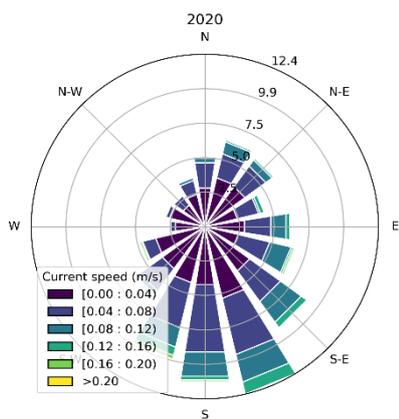
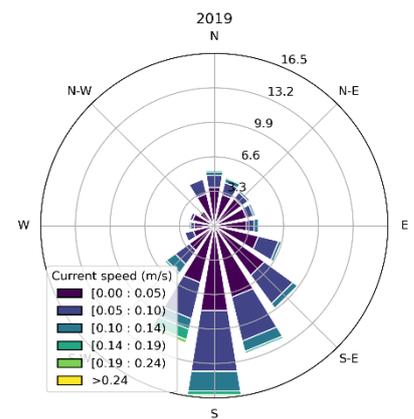
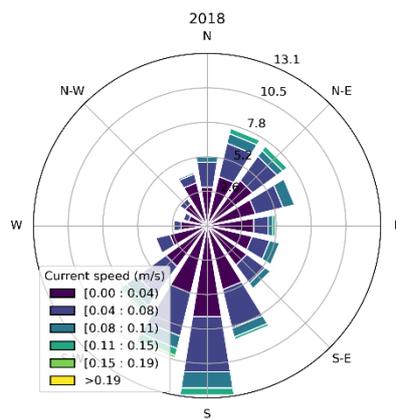
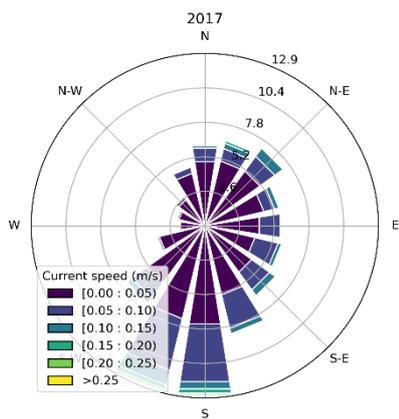
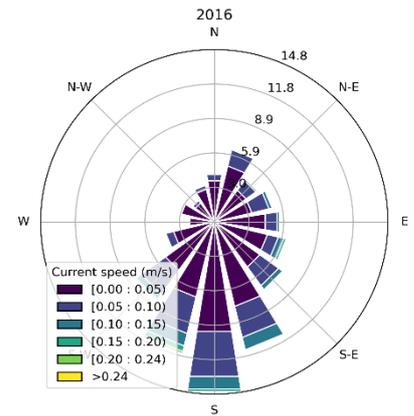
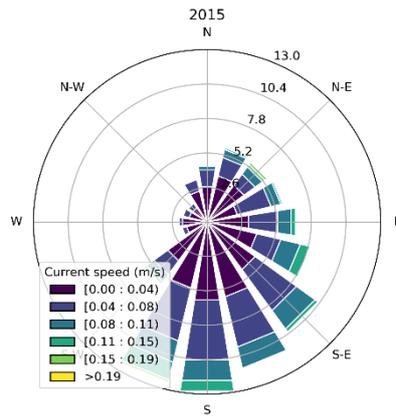
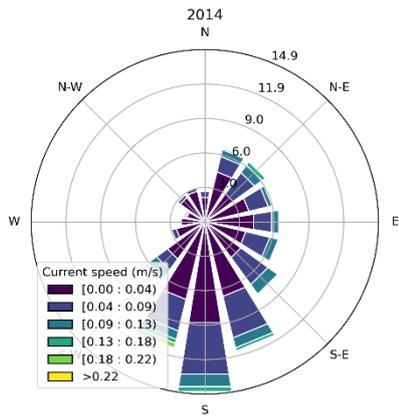




Appendix 4 Fyrskeppet , Strömrosor (SMHI, modellerad 4x4km)







Appendix 5 Fyrskeppet , Strömrosor (SMHI, modellerad 2x2km)

