

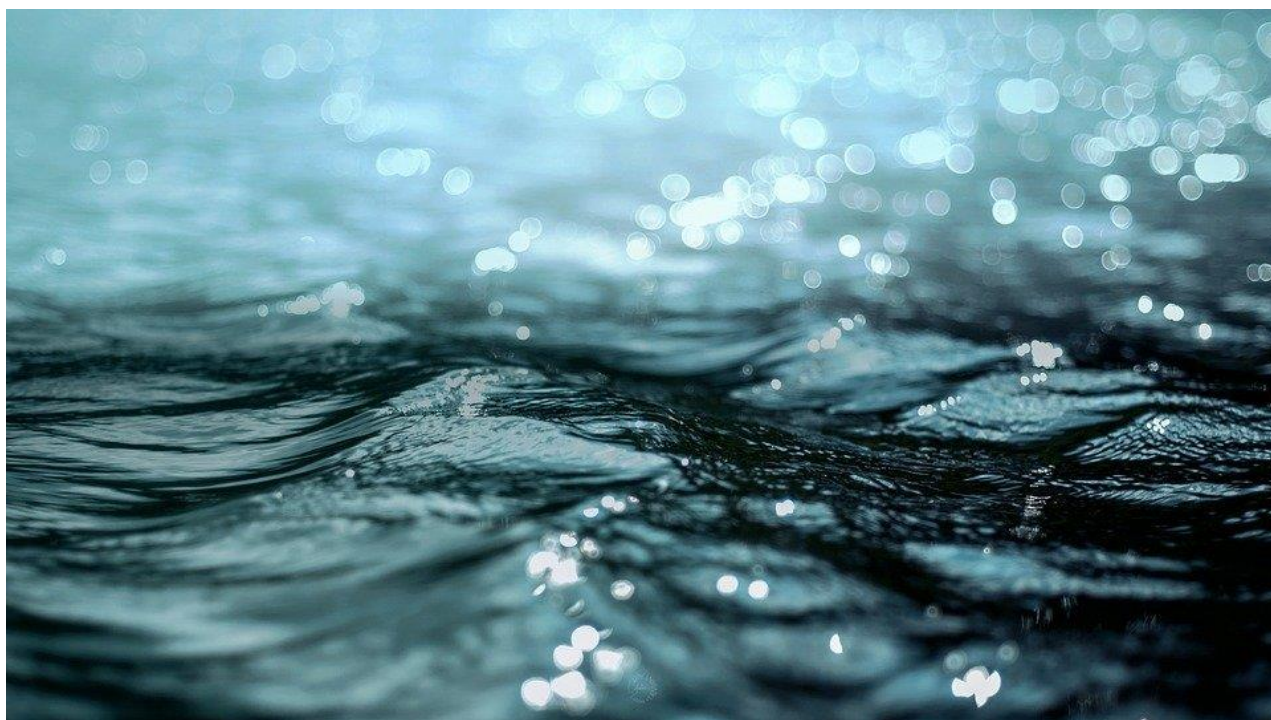
Til
Odsherred og Holbæk Kommune

Dokumenttype
Modelleringsrapport

Dato
September, 2021



NEKSELØ BUGT – ROBUSTHEDSANALYSE MODELLERINGS- RAPPORT



NEKSELØ BUGT – ROBUSTHEDSANALYSE MODELLERINGS-RAPPORT

Projekt navn **Nekselø Bugt – Robusthedsanalyse**
Projekt nr. **1100045952**
Modtager **Odsherred og Holbæk Kommune**
Dokumenttype **Modelleringsrapport**
Version **1.1**
Dato **24-09-2021**
Udarbejdet af **THBU**
Kontrolleret af **HFV, JAK, DNST**
Godkendt af **ANMH**
Beskrivelse **Dokumentation for udførte simuleringer ifm. robusthedsanalysen**

Rambøll
Prinsensgade 11
DK-9000 Aalborg

T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
<https://dk.ramboll.com>

UDKAST

INDHOLD

1.	Opsummerende konklusioner	2
1.1	Vurdering af vandudskiftning i Nekselø Bugt	3
1.2	Vurdering af ændring i koncentrationsniveau af fosfor og kvælstof	4
2.	Baggrund	5
2.1	Områdets hydrauliske forhold	5
3.	Modelopsætning	7
3.1	Modeldomæne og dybdeforhold	8
3.2	Anvendte scenarieperioder i modelberegninger	10
3.3	Forcing af modellen	12
3.4	Udledningsstoffer og -punkt	14
4.	Validering af model	16
4.1	Regional validering af modelleret vinterperiode	16
4.1.2	Validering baseret på tidsserier af strømhastigheder og vandstands niveau	20
4.2	Regional validering af modelleret sommerperiode	23
4.2.2	Validering baseret på tidsserier af strømhastigheder og vandstands niveau	26
5.	Resultater: Strømforhold	30
5.1	Strømplots for modelleret sommerperiode	30
5.2	Strømplots for modelleret vinterperiode	31
6.	Resultater: Vandudskiftning i Nekselø Bugt	33
6.1	Vandudskiftning for modelleret sommerperiode	33
6.2	Vandudskiftning for modelleret vinterperiode	35
7.	Resultater: Ændring af koncentrationsniveau for kvælstof og fosfor	39
7.1	Udledning af rensed spildevand i modelleret sommerperiode	39
7.2	Udledning af rensed spildevand i modelleret vinterperiode	40
7.3	Følsomhedssimuleringer	41
8.	Diskussion af de opnåede resultater	44
8.1	Indflydelse af udledningspunktets lokation	44
8.2	Usikkerheder og anbefalinger til mitigerings	44
9.	Referencer	46

1. OPSUMMERENDE KONKLUSIONER

Spildevand fra renselanlæggene i Fårevejle, Gislinge, Svinninge og Holbæk ledes i dag ud i Isefjord via hhv. Holbæk Fjord og Lammefjord. I fremtiden ønskes Isefjords vandmiljø forbedret, hvilket tænkes gennemført ved en sammenlægning af førnævnte renselanlæg samt ændring af recipient til Nekselø Bugt. En robusthedsundersøgelse skal danne baggrund for en vurdering af om Nekselø Bugt kan modtage den tiltænkte ekstra udledning af stofferne N og P (nitrogen/kvælstof og fosfor) og samtidig undgå at dette giver ikke-acceptable forhold for miljøet. Figur 1-1 viser den påtænkte ændring af spildevandets forløb og placering af renselanlæg.

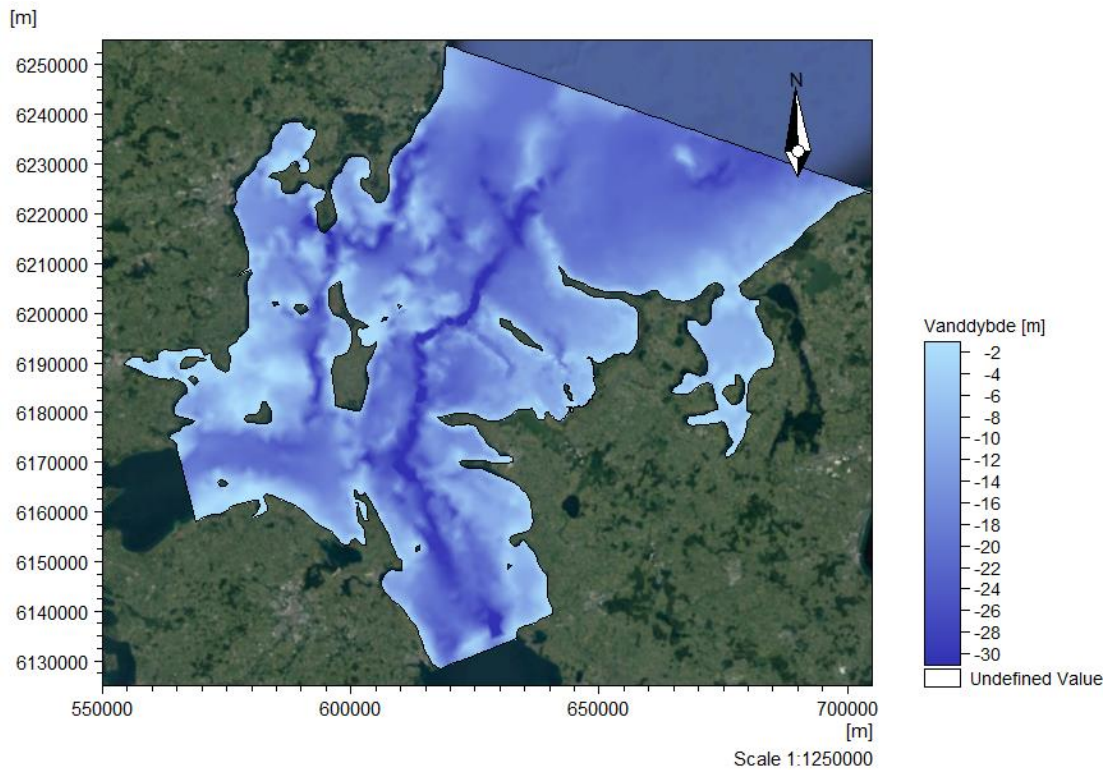


Figur 1-1. Oversigt over ændringerne af spildevandshåndteringen i Odsherred og Holbæk kommune. (Odsherred Kommune, 2020)

Vurderinger af påvirkningen af Nekselø Bugt, som følge af øget udledning af fosfor og kvælstof fra det fremtidige renselanlæg, er baseret på numeriske modelberegninger af hhv. vandudskiftningen samt ændrede koncentrationsniveauer af fosfor og kvælstof i Nekselø Bugt.

De numeriske modelberegninger er gennemført ved anvendelse af programpakken MIKE fra DHI, hvor relevante moduler til beskrivelse af bølger og strømforhold kobles med tillægsmoduler til

simulering af eksempelvis vandudskiftning og spredning af udledte næringsstoffer. Modelområdet, der strækker sig fra Grenå i nord til Korsør i syd, fremgår af figur 1-2.



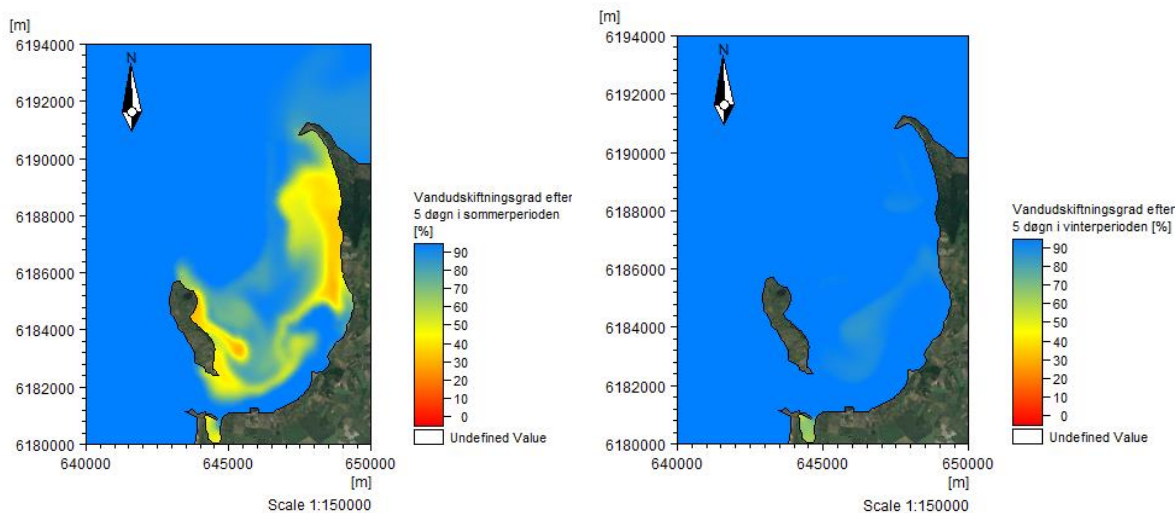
Figur 1-2: Dybdeforhold i modelområdet. Baggrundsbilledet er hentet fra (Google Earth, 2021).

De numeriske modelberegninger er gennemført for to perioder:

1. Sommerperiode domineret af tidevandsvariationer med lave strømhastigheder og små vandstandsvariationer.
2. Vinterperiode med højere strømhastigheder og større variationer i vandsstands niveauet.

1.1 Vurdering af vandudskiftning i Neksælø Bugt

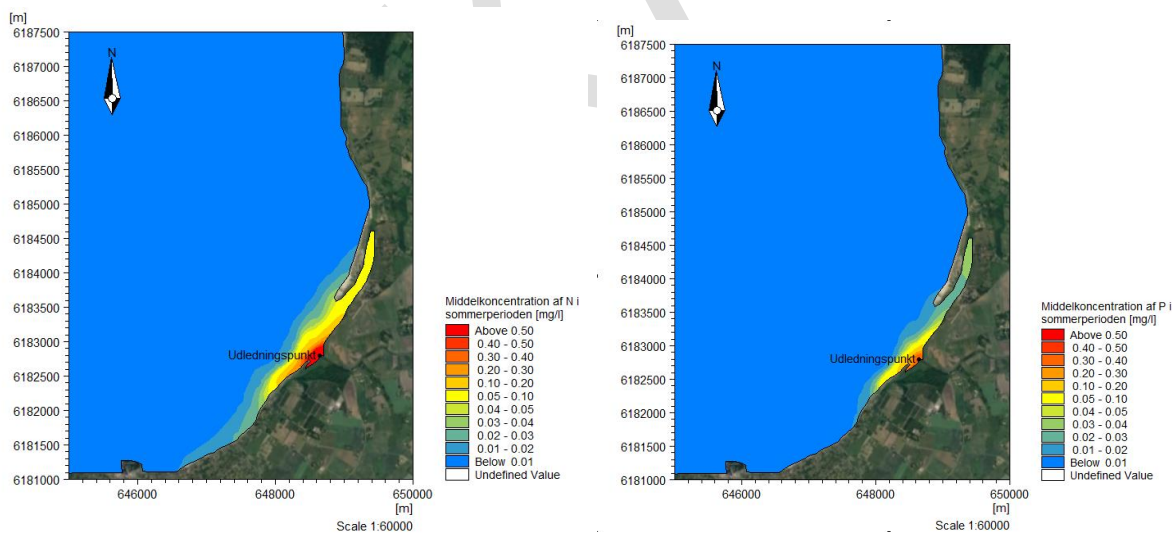
I figur 1-3 er vist den procentvise vandudskiftning i Neksælø Bugt efter 5 døgn. Af figurerne fremgår det, at vandudskiftningen sker væsentlig hurtigere i perioder med høje strømhastigheder og høje vandstandsvariationer (vinterperiode) sammenlignet med en mere stille sommerperiode, hvor de hydrauliske forhold i bugten domineres af lave strømhastigheder og tidevandsvariationer. Det fremgår ligeledes, at der er store forskelle på vandudskiftningen i de forskellige dele af bugten. Langs den nordlige kyststrækning og øst for Neksælø ses den langsomste udskiftning i både vinter- og sommerperioden.



Figur 1-3: Øjeblikbilleder af vandudskiftningsgraden for en sommerperiode (venstre) og vinterperiode (højre) efter 5 døgn. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].

1.2 Vurdering af ændring i koncentrationsniveau af fosfor og kvælstof

Udledningen af rensset spildevand igennem Dragsholm Kanal vil give anledning til en forøgelse af næringsstofferne fosfor (P) og kvælstof (N) i Neksælø Bugt. Baseret på modelberegninger er ændringen i koncentrationsniveauerne for hhv. N og P vurderet for en sommer- og en vinterperiode. Figur 1-4 viser som eksempel herpå ændringen af middelkoncentrationerne af de to vurderede næringsstoffer for en sommerperiode.

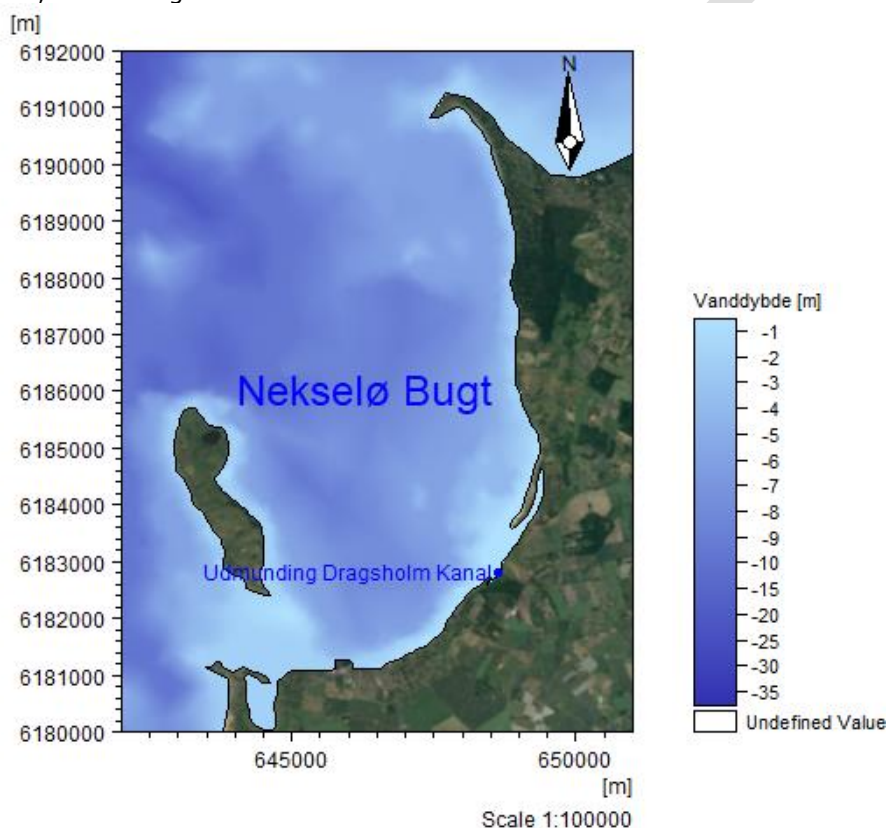


Figur 1-4: Ændring af middelkoncentration af N (venstre) og P (højre) som følge af udledning af rensset spildevand via Dragsholm Kanal for en sommerperiode. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].

2. BAGGRUND

For at aflaste Isefjord ift. næringsstofbelastning ønsker Odsherred Kommune og Holbæk Kommune at ændre den nuværende spildevandsudledning. Ønsket er, at indlemme Holbæk, Gislinge og Svinninge renselanlæg under Fårevejle renselanlæg, der udbygges tilsvarende. Udledningen af rensset spildevand fra det nye samlede anlæg ønsket ført ud i Nekselø Bugt.

Som udgangspunkt er det tænkt, at spildevandet ledes til Nekselø Bugt via Dragsholm Kanal. Hvis det viser sig, at der er risiko for at vandkvaliteten i lokalområdet påvirkes væsentligt/uacceptabelt undersøges om en alternativ placering af spildevandsudledningen kan sikre et tilstrækkeligt niveau af vandkvalitet. Nekselø Bugt, med angivelse af dybdeforhold og udmundningen af Dragsholm Kanal, er vist i figur 2-1.



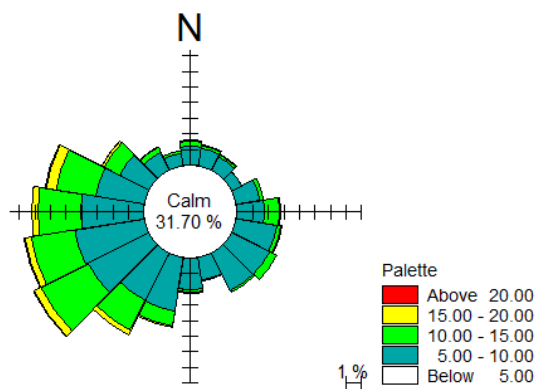
Figur 2-1: Nekselø Bugt med angivelse af Dragsholm Kanal og underlag af dybder. Baggrundsbillede er hentet fra (Google Earth, 2021).

I nærværende notat præsenteres forudsætninger, fremgangsmåde samt resultater for de gennemførte numeriske modelberegninger, der danner grundlag for vurdering af ændringen af næringsstofsbelastningen i Nekselø Bugt. Resultaterne anvendes videre til marinbiologiske vurderinger af den potentielle påvirkning af vandmiljøet, hvilket beskrives i en særskilt rapport.

2.1 Områdets hydrauliske forhold

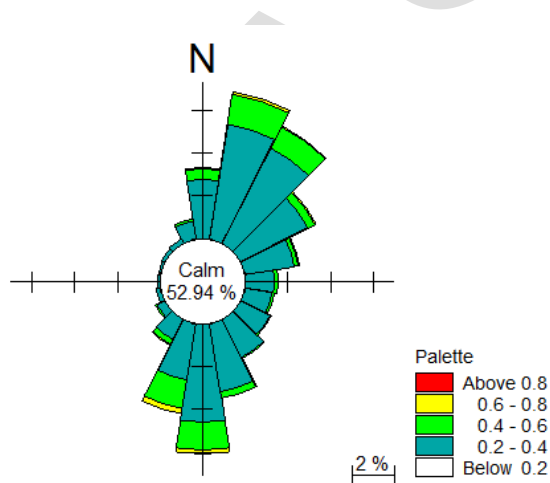
Tidevandsvariationen i området er omkring 0,3-0,5 m. Vinde fra N og NE kan give op til 1 m højvande imens vind fra S kan give indtil 0,8 m lavvande [Havnelodsen, 2021].

Vindforholdene i området beskrives i figur 2-2 med en vindrose for Sjællands Odde, dvs. for den nordlige ende af Sejerø Bugt. Området domineres primært af vind fra vestlige retninger.



Figur 2-2: Vindrose for målestation ved Sjællands Odde. Der er brugt data fra perioden 2015-2021, som er hentet fra (DMI, 2021).

Strømrosen i figur 2-3 beskriver strømforholdene i området umiddelbart uden for Sejerø Bugt mellem Sejerø og Sjællands Odde. Strømmen er dominerende nordøst og sydgående og typisk mellem 0,2 og 0,6 m/s med peaks omkring 0,6-0,8 m/s.



Figur 2-3: Strømrose for området ud for Sejerø Bugt mellem Sejerø og Sjællands Odde. Der er brugt data fra år 2020, som er hentet fra (Copernicus, 2021).

3. MODELOPSÆTNING

Vurderinger af de hydrodynamiske forhold, herunder strømforhold, vandudskiftning samt spredning af udledt spildevand, er baseret på numeriske modelberegninger ved anvendelse af programpakken MIKE 21/3 FM udviklet af DHI. MIKE 21/3 er et numerisk simuleringsværktøj, der består af en række moduler, der kan kombineres efter behov.

Til simuleringerne er der anvendt følgende model-moduler:

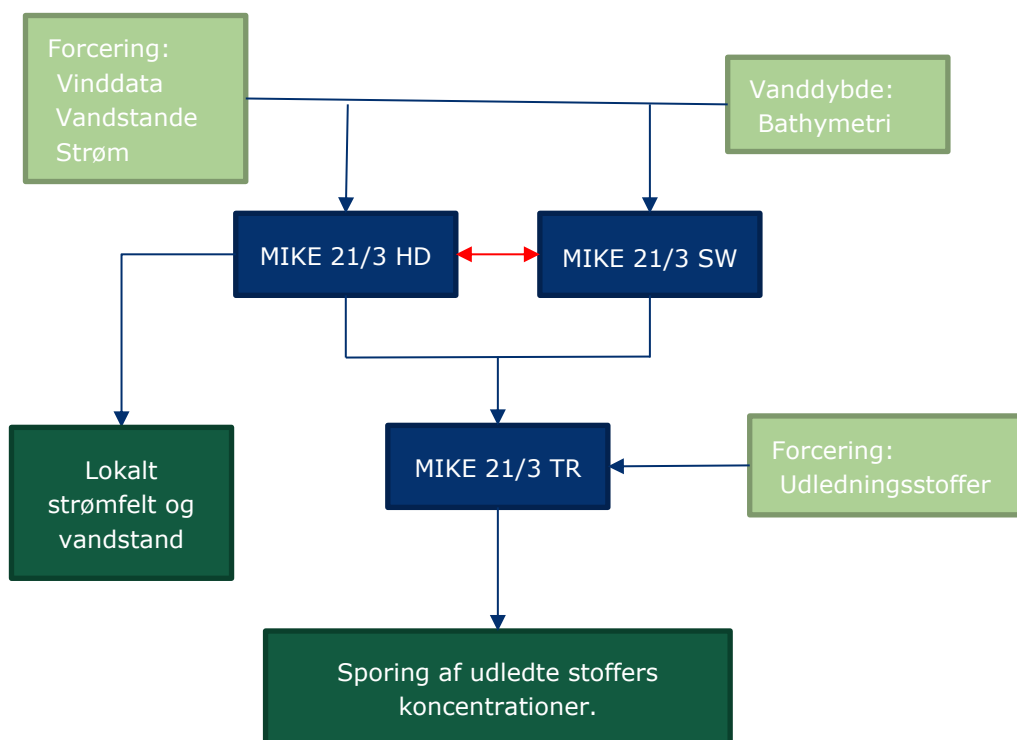
- MIKE 21/3 SW (spektral bølge modul) - til modellering af bølger og bølgegenereret strøm.
- MIKE 21/3 HD (hydrodynamisk modul) - til modellering af strømfelter og vandstandsvariationer.
- MIKE 21/3 TR (transportmodul) - til modellering af vandudskiftning samt transport/spredning af næringsstoffer.

Bølgemodellen er opstillet i MIKE 21/3 SW, som er en såkaldt spektral bølgemodul, der kan anvendes til at gennemføre detaljerede simuleringer af de vindgenererede bølger og dønninger i kyst- og offshore-områder. Modellen medtager alle vigtige processer i forbindelse med generering, transformation og dissipation af bølger i både offshore og kystnære områder. I det aktuelle projekt anvendes bølgemodellen til at generere input til strøm- og transportmodulerne (MIKE 21/3 HD og MIKE 21/3 TR), således at den bølgeinducerede strøm inkluderes i både de hydrodynamiske beregninger og transportberegningerne.

Det hydrodynamiske modul, MIKE 21/3 HD, er udviklet til anvendelse ved offshore og kystnære områder, hvor der forekommer en fri overfladestrømning. Strømmen genereres af de påførte randbetingelser samt af input fra bølgemodelleringen, så den bølgeinducerede strømning samt eventuelt bølge-setup tages i betragtning.

Ved anvendelse af MIKE 21/3 FM TR kan sporings- eller næringsstoffer udledes og spores i modellen. Det udledte stof påvirker ikke strømfeltet, men kan tilskrives egenskaber som f.eks. henfald. Inden for hvert tidsskridt flyttes hver af stofferne både horisontalt og vertikalt via både advektion og dispersion.

En overordnet oversigt over model-setup er skitseret i figur 3-1.



Figur 3-1: Illustration af den overordnede tilgang til gennemførelse af den numeriske modellering. Den røde pil markerer, at HD- og SW-modulerne henter input fra hinanden under modelleringen (de kører koblet). Lysegrøn boks er input, blå boks er moduler og mørkegrøn boks er output.

Følgende input er nødvendige i forbindelse med opstilling af de numeriske modeller:

- Digitaliseret bathymetri (dybdeforhold).
- Tidsserie af vindforhold (hastighed og retning).
- Tidsserier af randbetingelser i form af vandstandsforhold og/eller strømhastigheder.
- Valideringsdata, f.eks. strøm eller vandstandsforhold.
- Egenskaber for de udledte stoffer i form af koncentration ved udledning og evt. henfaldstid.

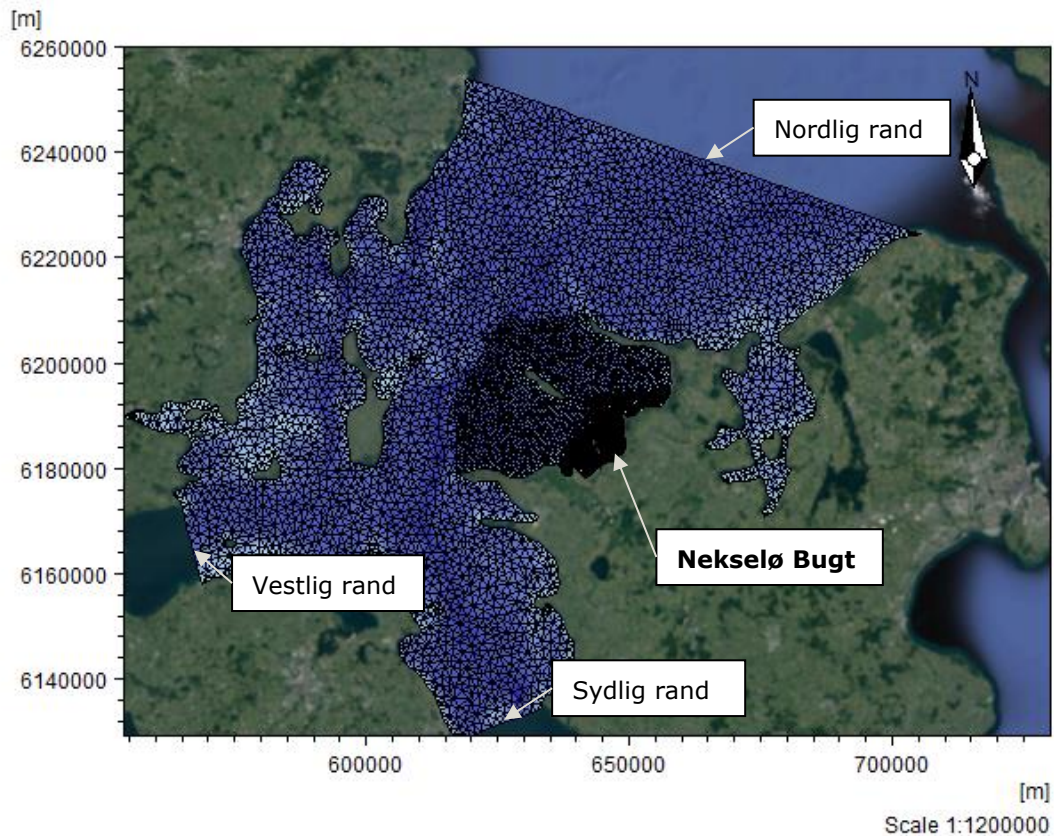
Modelberegningerne af påvirkningen af Neksø Bugt, som følge af den fremtidige udledning fra det udvidede Fårevejle Renseanlæg, er gennemført for den ændrede påvirkning (dvs. relativt ift. nuværende forhold). Nuværende belastning af N og P betragtes således som en baggrundskoncentration.

3.1 Modeldomæne og dybdeforhold

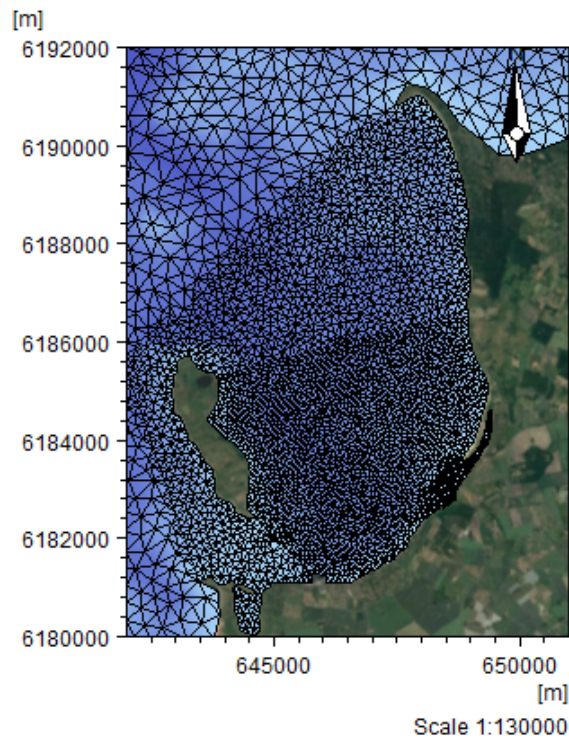
Det anvendte modeldomæne og beregningsnet til simuleringerne i MIKE 21/3 fremgår af figur 3-2. Som det ses af figuren, anvendes horisontalt et fleksibelt beregningsnet, bestående af store elementer (groft beregningsnet) i stor afstand fra projektlokaliteten og mindre elementer (finere net) tæt ved. Forfinelsen af beregningsnettet fortsætter som vist på figur 3-3 helt ind til udmundningen af Dragsholm Kanal. Vertikalt opdeles vandsøjlen i to beregningslag. Modellen er tjekket for indflydelse fra beregningsnettet ved en konvergensanalyse.

Alle præsenterede resultater er såkaldt dybdemidlede resultater, dvs. der tages udgangspunkt i, at der ikke forekommer en signifikant lagdeling med lav opblanding til følge.

Beliggenheden af kystlinjen samt vanddybderne i modellen er generelt baseret på input fra elektroniske søkort (DHI C-map) både regionalt og i Nekselø Bugt. Lokalt ved udmundingen fra Dragsholm Kanal er suppleret med skønnede vanddybder baseret på satellitbilleder fra Google Earth, se figur 3-4, idet det fremgår, at der forekommer sandrevler med lav vanddybde kystnært. Modellen indeholder således ikke detaljerede målinger af lokale dybdeforhold i Nekselø Bugt eller ved udløbet af Dragsholm Kanal, idet der ikke har været lokale pejledata til rådighed. Dette kan have en vis betydning for de modellerede lokale strøm- og koncentrationsforhold.



Figur 3-2: Anvendt modeldomæne samt diskretisering. Modellen er anvendt til alle numeriske modelsimuleringer. Baggrundsbillede er fra (Google Earth, 2021).



Figur 3-3: Zoom af diskretisering af beregningsområde ved Nekselo Bugt. Baggrundsbilledet er fra (Google Earth, 2021).



Figur 3-4: Satellitfoto af området lokalt ved Dragsholm Kanals udmunding (Google Earth, 2021).

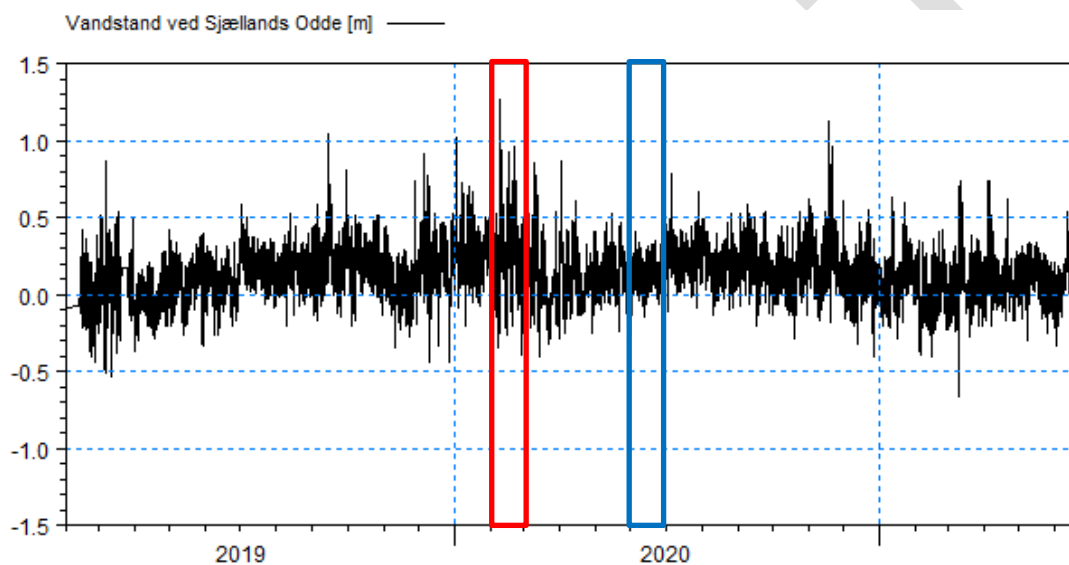
3.2 Anvendte scenarieperioder i modelberegninger

Strøm-, vandstand-, og bølgeforhold varierer hen over året samt fra år til år. I forbindelse med nærværende analyser kan de gennemførte modelberegninger betragtes som værende beskrivende for typiske årlige sæsonvariationer, men ikke som værende statistisk repræsentative for hverken gennemsnitlige eller ekstreme strøm- og vandstandsforhold.

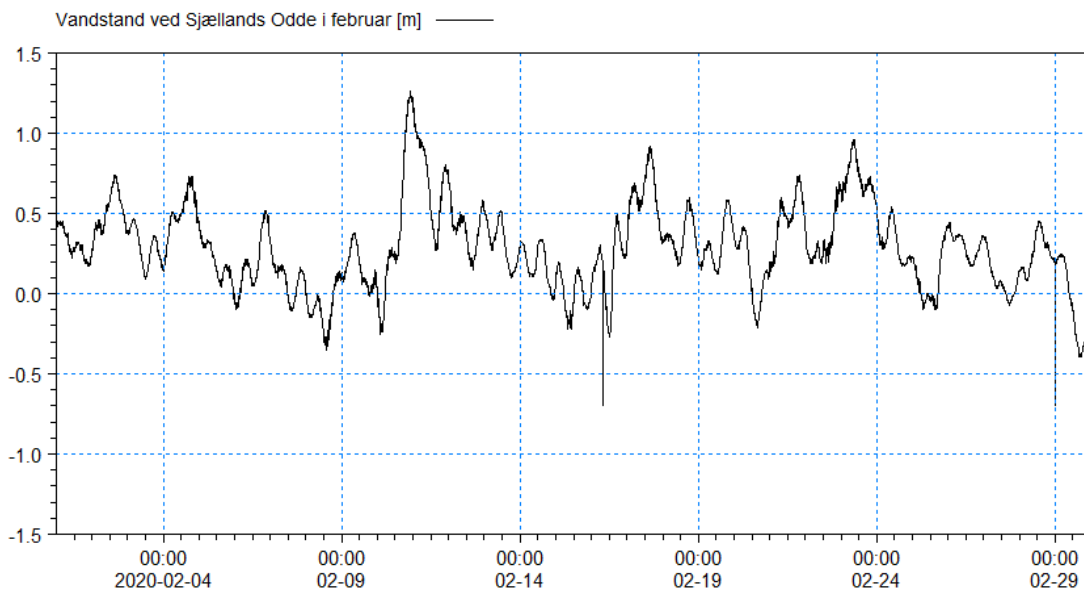
De modellerede perioder er udvalgt på baggrund af, at der forekommer tilgængelige forcerings- og valideringsdata samt at de repræsenterer følgende:

- Stille periode primært domineret af tidevandsvariationer, hvilket ofte forekommer om sommeren. Denne periode omtales i det følgende som "sommerperiode" og er repræsentativ for lavere vandudskiftning ledende til højere lokale N og P koncentrationer.
- Periode med højere strømhastigheder og vandstandsvariationer, hvilket ofte forekommer om vinteren, denne periode omtales i det følgende som "vinterperiode" og er repræsentativ for større vandudskiftning og større udbredelse af N og P fra renseanlæg.

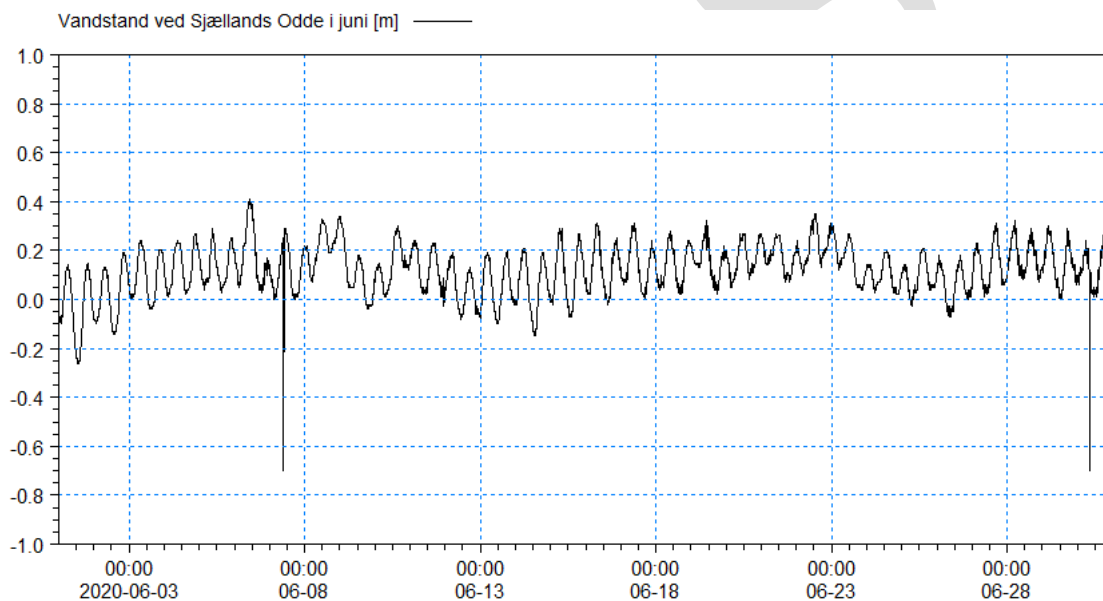
På den baggrund er det valgt, at modelberegningerne gennemføres for perioderne februar og juni 2020, se vandstandsmålinger for målestation Sjællands Odde for perioden 2019 til medio 2021 og de udvalgte perioder i figur 3-5, figur 3-6 og figur 3-7. Forskellen i intensitet ses tydeligt i både amplitudeforskellen og ensartetheden af juni ift. februar. I enkelte tilfælde har målebøjerne registreret pludselige store udsving, disse fejlmålinger er udjævnet inden brug i modelleringen.



Figur 3-5: Vandstandsmålinger ved Sjællands Odde (DMI, 2021). Perioderne brugt til simulering er markeret med rød for vinterperioden og blå for sommerperioden.



Figur 3-6: Vandstanden målt ved Sjællands Odde i februar 2020 (DMI, 2021).



Figur 3-7: Vandstand målt ved Sjællands Odde i juni 2020 (DMI, 2021).

Scenarieperioder er udvalgt som værende eksempler på repræsentative sommer- og vinterforhold. Dog skal det understreges, at de valgte perioder ikke repræsenterer statistiske gennemsnitlige eller ekstreme forhold og der kan således forekomme variationer af disse perioder, dvs. perioder med mere stille forhold end den valgte sommerperiode og perioder med højere strømhastigheder end for den valgte vinterperiode.

3.3 Forcing af modellen

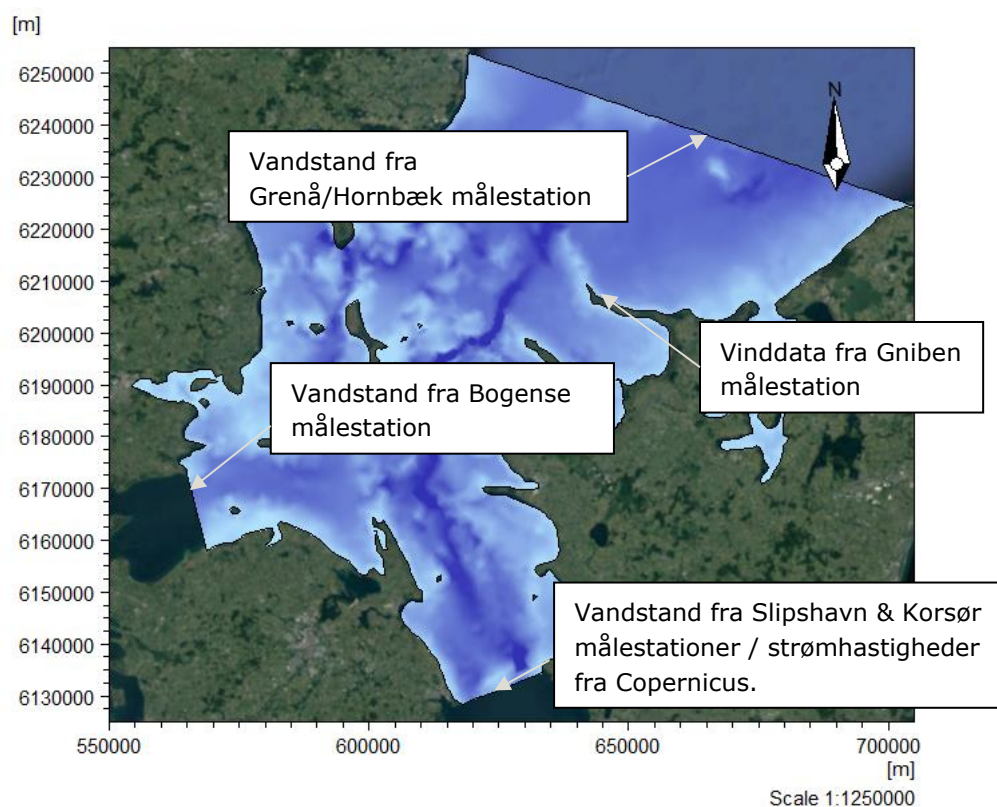
Modellen forceres med målte vandstande fra DMI på den nordlige og vestlige rand, mens den sydlige rand forceres med vandstandsdata fra DMI i vinterperioden og strømhastigheder fra Copernicus i sommerperioden. Copernicus er EU's jordobservationsprogram, der samler data om Jorden. Konkret i dette projekt bruges data fra simuleringer af strømninger igennem de danske

farvande, som Copernicus projektet leverer. Dataene stammer fra en hindcastet model med en horisontal diskretisering på 2x2 km og 56 dybdeniveauer (Copernicus, 2021).

Vind- og vandstandsdata fra DMI har en indsamlingsfrekvens på 10 min. Der haves vinddata fra oktober 2015 til juni 2021 samt vandstandsdata fra januar 2019 til juni 2021. Vinddata er hentet fra målestation 06169 Griben som ligger ved Sjællands Odde. Vandstand er hentet fra stationerne: 22121 Grenå Havn I, 30017 Hornbæk Havn, 23132 Juelsminde Havn, 9020101 Bogense Havn I, 28234 Slipshavn, 29393 Korsør Havn I, og 29002 Sjællands Odde (DMI, 2021).

I hele modelområdet påføres vindstyrke og -retning fra målestation Griben ved Sjællands Odde, hvilket medfører, at der alene anvendes tidsvarierende vindforhold og ikke tids- og geografisk varierende vindforhold. Dette vurderes dog at have lille betydning, grundet modellens begrænsede geografiske udstrækning.

Figur 3-8 viser lokaliteter for påsatte randbetingelser i modellen. Data fra målerne bruges til forcering af modellerne baseret på oplyste datakilder i Tabel 3-1.



Figur 3-8: Randbetingelser brugt i modellen. Baggrundsbillede er fra (Google Earth, 2021).

Datakilde	Anvendelsesområde	Anvendt data	Periode
Bogense målestation	Vestlig randbetingelse, konstant over rand.	Vandstand	Sommer og vinter
Grenå/Hornbæk målestation	Nordlig randbetingelse, interpolation imellem de to.	Vandstand	Sommer og vinter

Copernicusdata	Sydlig randbetingelse, konstant over rand.	Strømhastigheder	Sommer
Slipshavn/Korsør målestation	Sydlig randbetingelse, interpolering imellem de to.	Vandstand	Vinter
Gniben målestation	Vindforcering i hele modellen	Vindstyrke og -retning	Sommer og vinter

Tabel 3-1: Randbetingelser brugt til forcering af modellen for de to simuleringsperioder.

I de valgte perioder har der forekommet enkelte udfald af vandstands målerne, hvilket har nødvendiggjort preprocessering af dataene før de er påsat modellen. Preprocesseringen har primært inkluderet en manuel gennemgang af data for at slette fejlbehæftede målinger (momentane store udsving).

3.4 Udledningsstoffer og -punkt

Estimerede månedsvaryende udledningsdata fra det fremtidige Fårevejle renseanlæg er af Odsherred Kommune gjort tilgængelige for nærværende analyser. Data er oplyst i Tabel 3-2.

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.
Samlet udledning [1000m ³ /mdr.]	537	510	585	470	450	394	439	412	466	401	460	524

Tabel 3-2: Månedlig udledningsvolumen fra renseanlæggene (Odsherred Kommune, 2021).

Baseret på de oplyste udledningsmængder er modelberegningerne gennemført med følgende forudsætninger ift. udledningsmængder og simuleringsperioder:

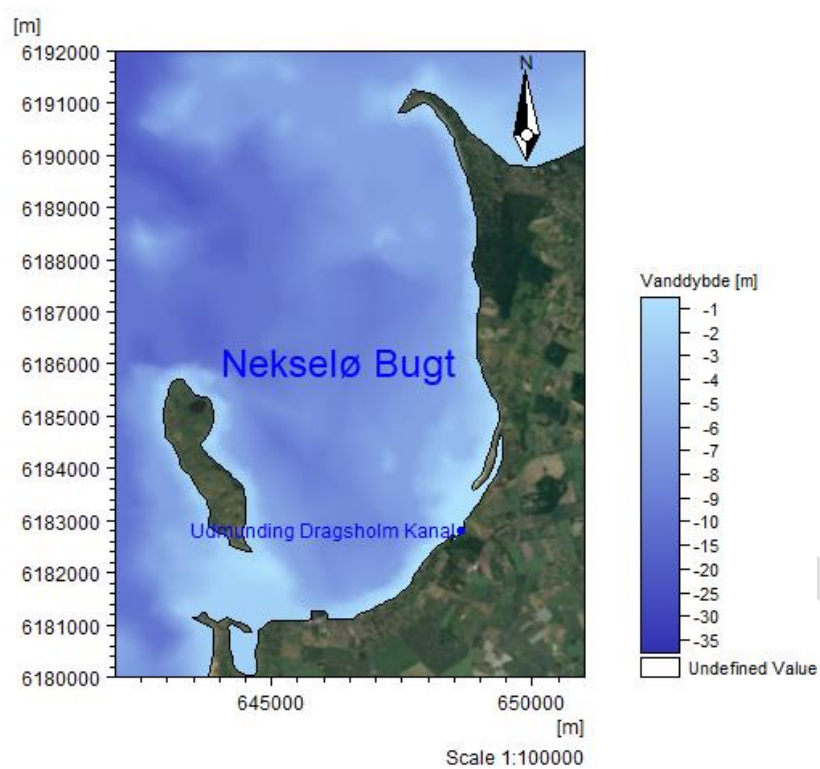
- Vinter: Udledningsmængde på 585.000 m³/måned, da det er den højeste forekommende i en vinterperiode
- Sommer: 439.000 m³/måned svarende til juli, hvor en sekundær opblomstring af alger vil være kritisk.

Modelberegningerne er gennemført for udledning af følgende to næringsstoffer og tilhørende koncentrationsniveauer i det rensede spildevand (koncentrationsniveauerne for det rensede spildevand er oplyst af Odsherred Kommune):

- N (kvælstof): 4 mg/l
- P (fosfor): 1,5 mg/l

Baggrundkoncentrationen af næringsstofferne tages ikke i regning, da den ikke forventes ændret ifm. en eventuel ekstra tilførsel fra det nye renseanlæg.

Modelberegningerne er gennemført for udledning af spildevand via Dragsholm Kanal, se koordinater i Tabel 3-3 og geografisk placering i figur 3-9.



Figur 3-9: Placering af udledningspunkt i Nekselø Bugt. Baggrundbilledet er fra (Google Earth, 2021).

	Koordinater (UTM 32N)
Udledningspunkt	(648646, 6182800)

Tabel 3-3: Evalueret udledningspunkt i Nekselø Bugt.

4. VALIDERING AF MODEL

Der forekommer ikke lokale projektspecifikke måledata til brug for validering af den opsatte numeriske model. Valideringen er derfor alene gennemført ved sammenligning af modellerede resultater med hindcastede modeldata og mere regionale måledata, se mere detaljeret beskrivelse og resultater af valideringen i det følgende. Det bemærkes, at modellen ikke er valideret til simuleringer af andre tidsmæssige perioder end de udvalgte til nærværende analyser. Gennemførelse af flere kalibrerings- og valideringssimuleringer kan udvide modellens brugsområde.

Copernicusprojektet simulerer et stort område og har en grov diskretisering og må derfor betragtes som en regional og ikke lokal model. Derfor valideres den opsatte model op mod de regionale forhold ved at sammenligne resultater ved de store vandveje. Lokale strømforhold er dermed kun validerede i begrænset omfang.

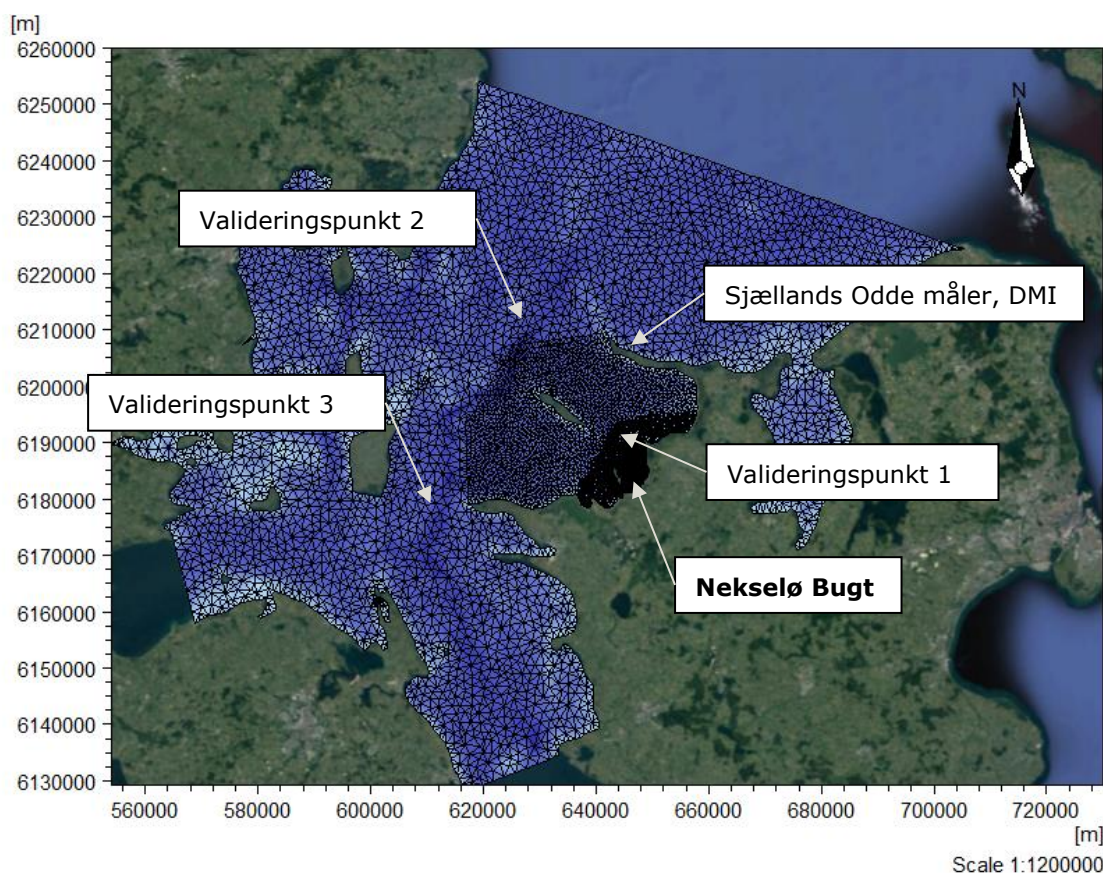
Det understreges desuden, at det tilgængelige valideringsgrundlag ikke muliggør en validering af lokale forhold i Nexselø Bugt, men alene af de mere regionale forhold. Resultaterne fra modellen må således betragtes som kvalitative og ikke kvantitative.

4.1 Regional validering af modelleret vinterperiode

Valideringen af modellen for vinterperioden er gennemført ved følgende sammenligninger:

- Sammenligning af øjebliksbilleder af det modellerede strømfeltet med tilsvarende fra Copernicus.
- Sammenligning af øjebliksbilleder af den modellerede vandstand med tilsvarende fra Copernicus.
- Sammenligning af modellerede strømhastigheder med data fra Copernicus i punkterne vist på figur 4-1.
- Sammenligning af modellerede vandstande med data fra Copernicus i punkterne vist på figur 4-1.
- Sammenligning af modellerede vandstande med data fra DMI ved Sjællands Odde som vist på figur 4-1.

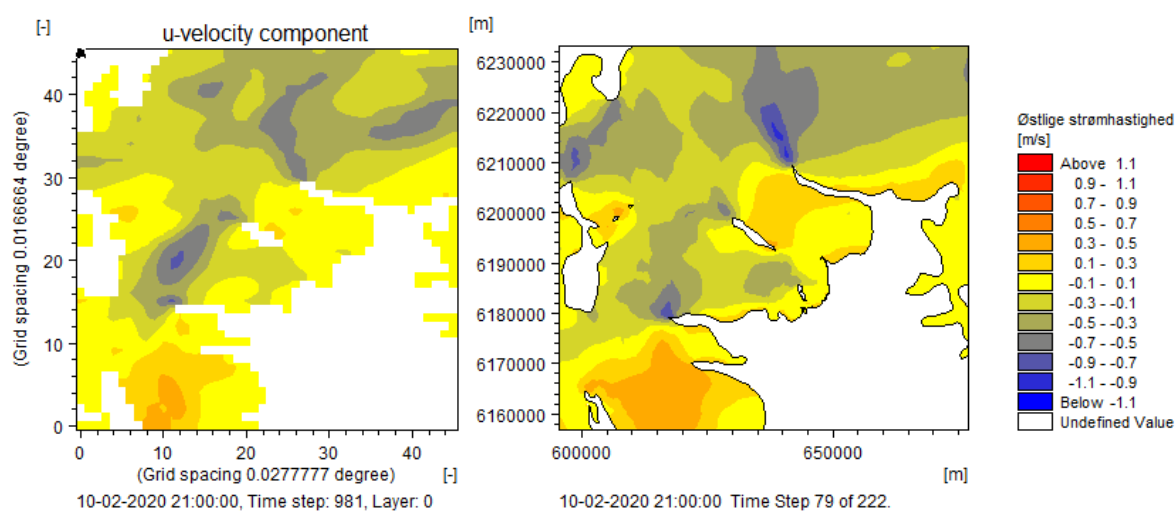
Nævnte sammenligninger præsenteres i det følgende.



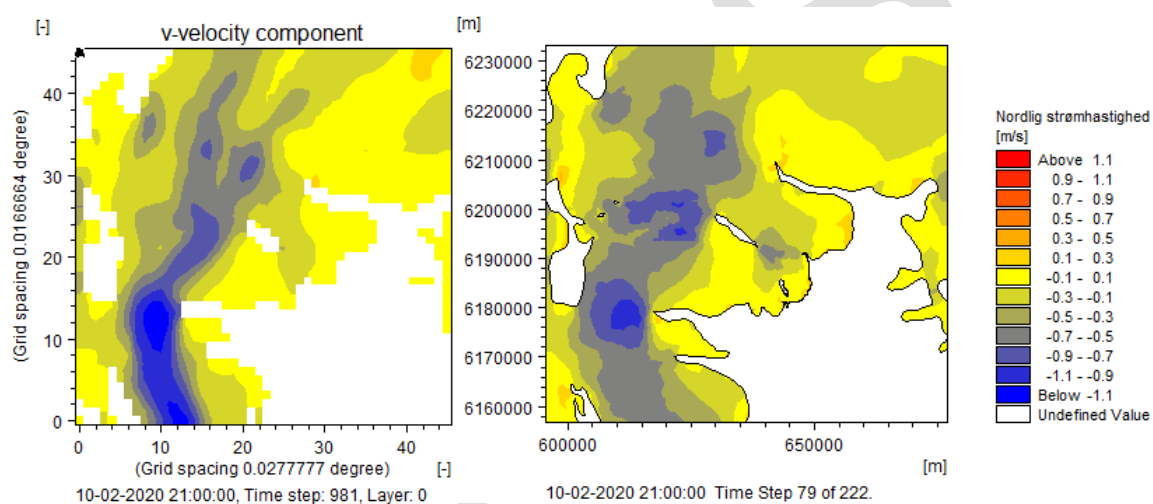
Figur 4-1: Omtrentlig placering af punkter brugt til validering af modellen. Baggrund er fra (Google Earth, 2021).

Validering ift. øjebliksbilleder af strøm og vandstand

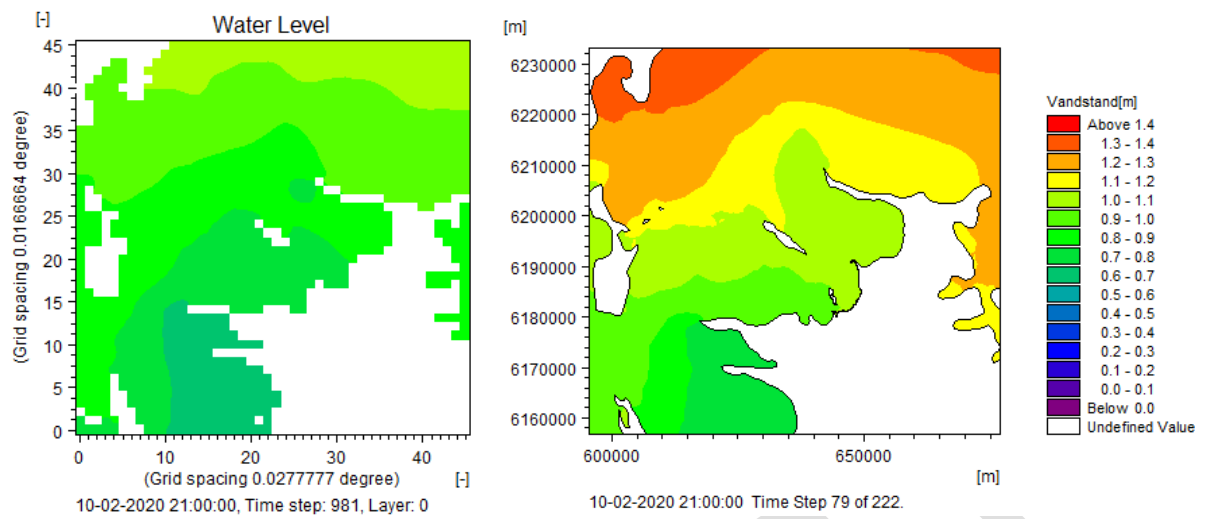
Figur 4-2 til figur 4-4 viser sammenligninger af øjebliksbilleder af strømforhold og vandstand fra hhv. Copernicusmodel samt anvendte model i nærværende analyser i en periode domineret af vestenvind, mens figur 4-5 til figur 4-7 viser tilsvarende sammenligning for en periode domineret af søndenvind. Generelt kan det konkluderes, at den opstillede model er i stand til at gengive strømhastighederne, mens der er tendens til at modellen overestimerer vandstands niveauet en smule ift. Copernicusresultaterne. Det bemærkes, at den opstillede model har en signifikant finere opløsning sammenlignet med Copernicusmodellen, hvilket kan være en af grundene til at der opnås større strømhastigheder. Da udledningsstofferne primært transporteres ved strømninger i vandet, styrker de sammenlignelige øjebliksbilleder af strømmen mellem Copernicus og den opstillede model konfidensen i udbredelsen af udledningen. En overvurderet vandstand kan lede til undervurdering af koncentrationsniveauerne, da disse regnes dybdemidlede.



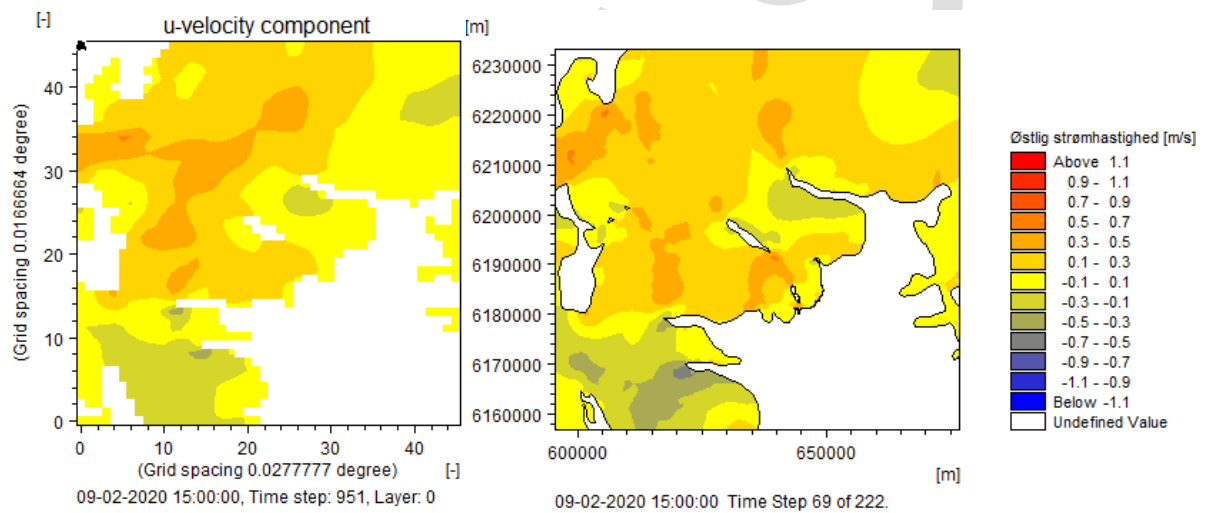
Figur 4-2: Østlig komponent af strømshastighed. Copernicus data (venstre) og modelleret strømshastighed (højre) for en vinterperiode domineret af vestenvind.



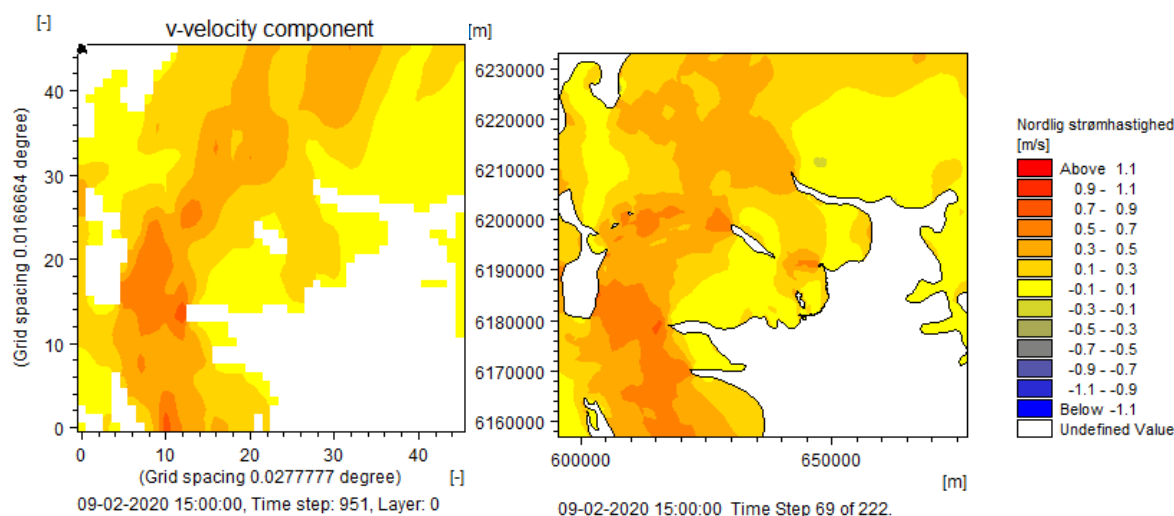
Figur 4-3: Nordlig komponent af strømshastighed. Copernicus data (venstre) og modelleret strømshastighed (højre) for en vinterperiode domineret af vestenvind.



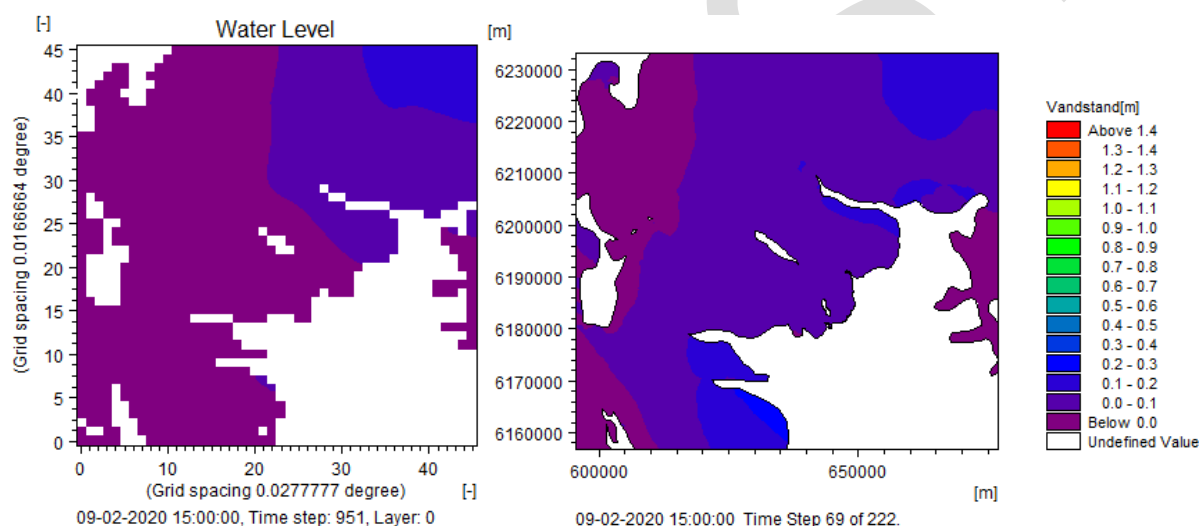
Figur 4-4: Vandstand ift. middelvandstand. Copernicus data (venstre) og modelleret (højre) for en vinterperiode domineret af vestenvind.



Figur 4-5: Østlig komponent af strømhastighed. Copernicus data (venstre) og modelleret (højre) for en vinterperiode domineret af søndenvind.



Figur 4-6: Nordlig komponent af strømhastighed. Copernicus data (venstre) og modelleret (højre) for en vinterperiode domineret af søndenvind.

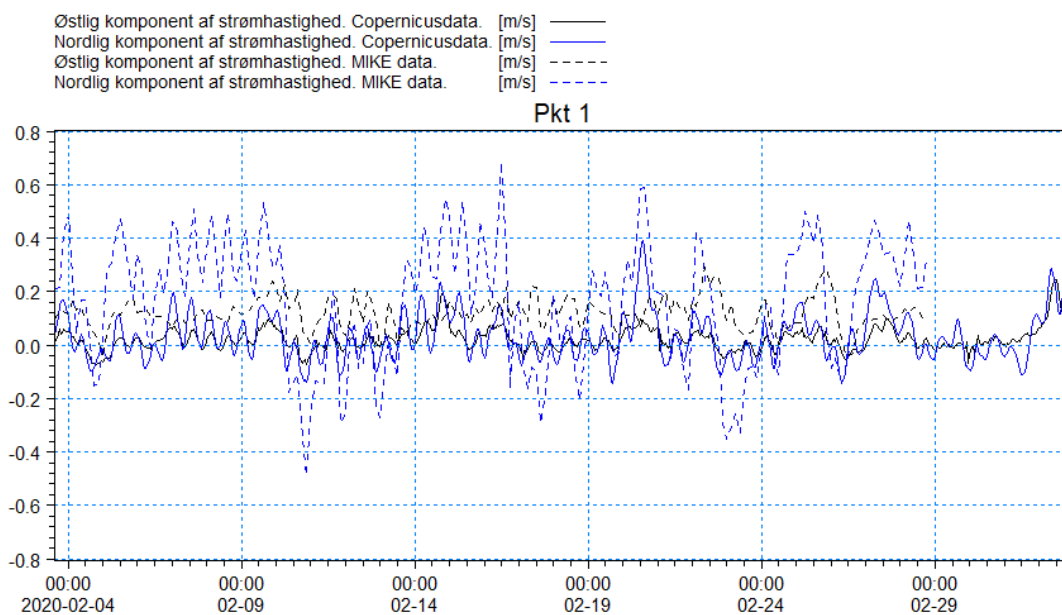


Figur 4-7: Vandstand ift. middelvandstand. Copernicus data tv. (venstre) og modelleret (højre) for en vinterperiode domineret af søndenvind.

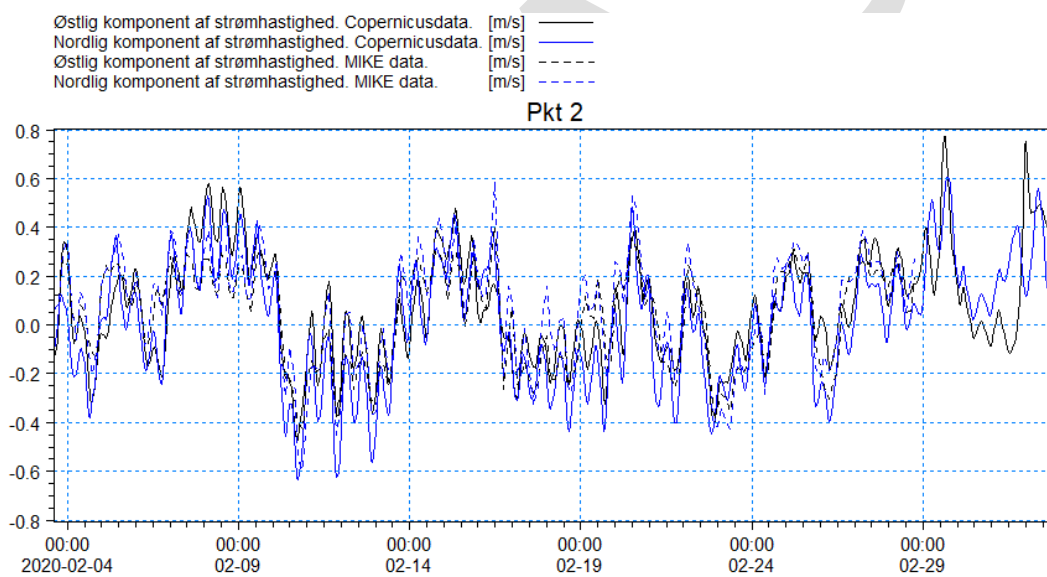
4.1.2 Validering baseret på tidsserier af strømhastigheder og vandstands niveau

I punkterne vist i figur 4-1 er udtaget tidsserie af hhv. strømhastigheder og vandstands niveau for vinterperioden. Figur 4-8 til figur 4-10 viser tidsserierne for strømhastigheder, mens figur 4-11 og figur 4-12 viser tidsserier af vandstandsdata sammenlignet med hhv. Copernicusdata og data fra DMI. Det ses, at der er god overensstemmelse mellem modellerede data og Copernicusdata i pkt. 2 og 3, altså på regionalt plan. Sammenligningen af data i pkt. 1, nær Neksø Bugt, viser dog nogen uoverensstemmelse, hvilket vurderes at skyldes, at Copernicus modellen har en grov opløsning og dermed primært er anvendelig til gengivelse af regionale forhold.

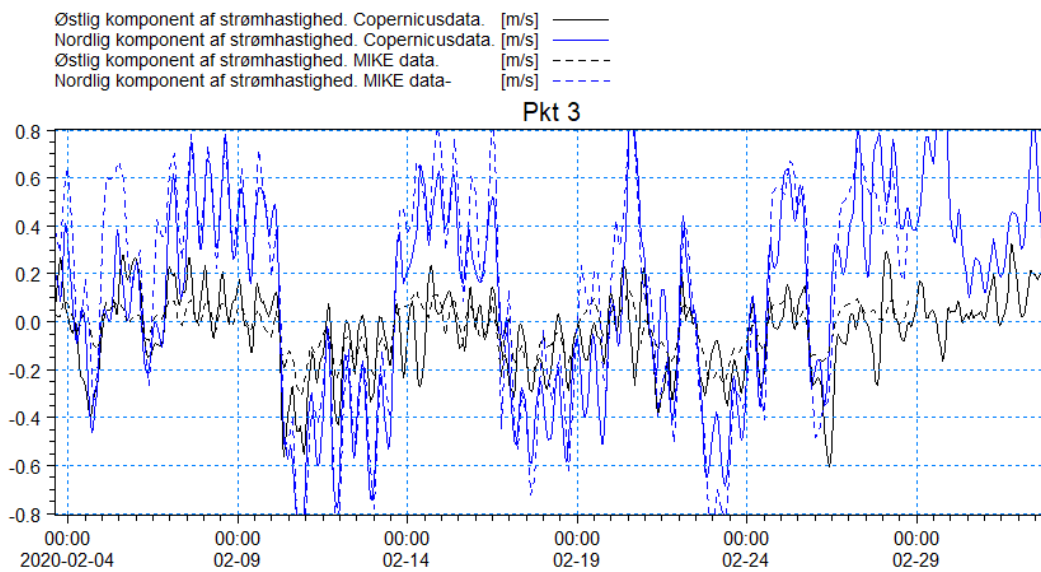
Vandstanden varierer ikke meget over de tre punkter, så kun pkt. 1 er vist på figur 4-11. Tidsserien viser, at der er en tendens til at MIKE modellen resulterer i højere vandstands niveau i nogle af peakperioderne. Der er dog acceptabel overensstemmelse mellem de modellerede vandstandsudsving (amplituderne). Figur 4-12, som viser en sammenligning af målt og simuleret vandstand ved DMIs målestation ved Sjællands Odde, viser bedre overensstemmelse for vandstanden hvilket tyder på, at Copernicusmodellen undervurderer vandstanden i området.



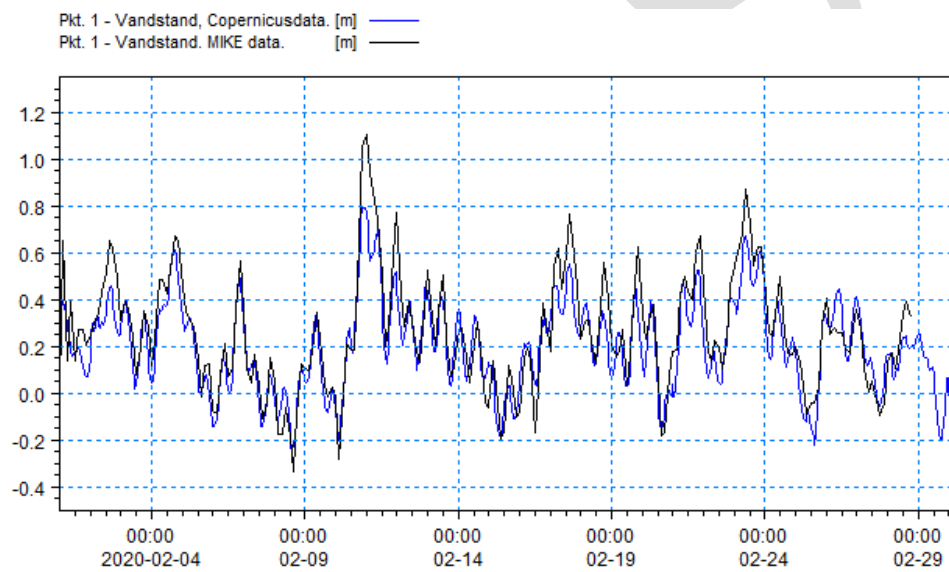
Figur 4-8: Sammenligning af tidsserier af strømshastighed i pkt. 1, nær Nekselø Bugt (Copernicus, 2021).



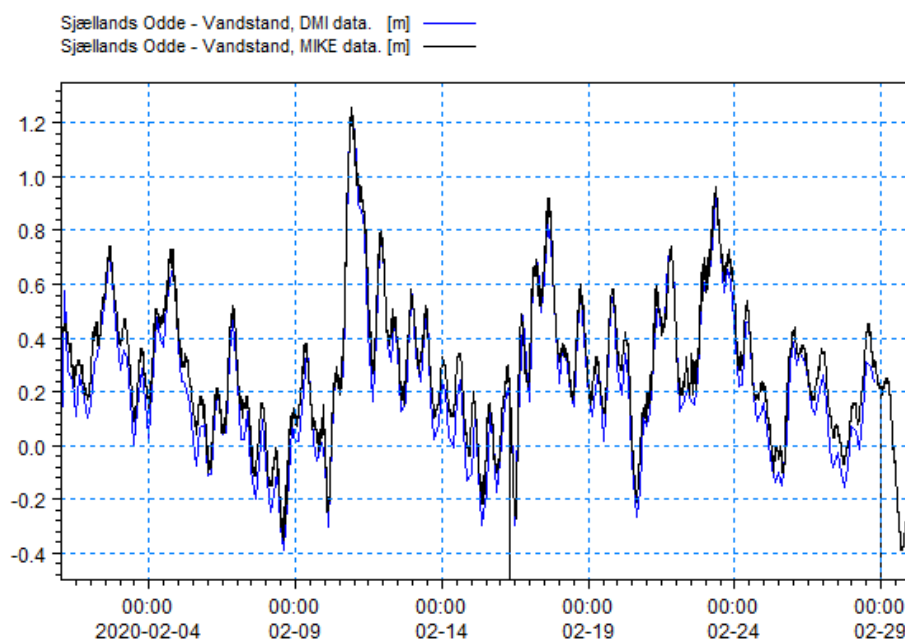
Figur 4-9: Sammenligning af tidsserier af strømshastighed i pkt. 2, mellem Sjællands Odde og Ebeltoft (Copernicus, 2021).



Figur 4-10: Sammenligning af tidsserier af strøm hastighed i pkt. 3, mellem Kalundborg og Samsø (Copernicus, 2021).



Figur 4-11: Sammenligning af tidsserier af vandstand ift. middelvandstand (Copernicus, 2021).



Figur 4-12: Tidsserier af målt og simuleret vandstand ift. middelvandstand ved målestation 29002, Sjællands Odde (DMI, 2021).

4.2 Regional validering af modelleret sommerperiode

Valideringen af modellen for den repræsentative sommerperiode er gennemført ved tilsvarende sammenligninger som ved vinterperioden:

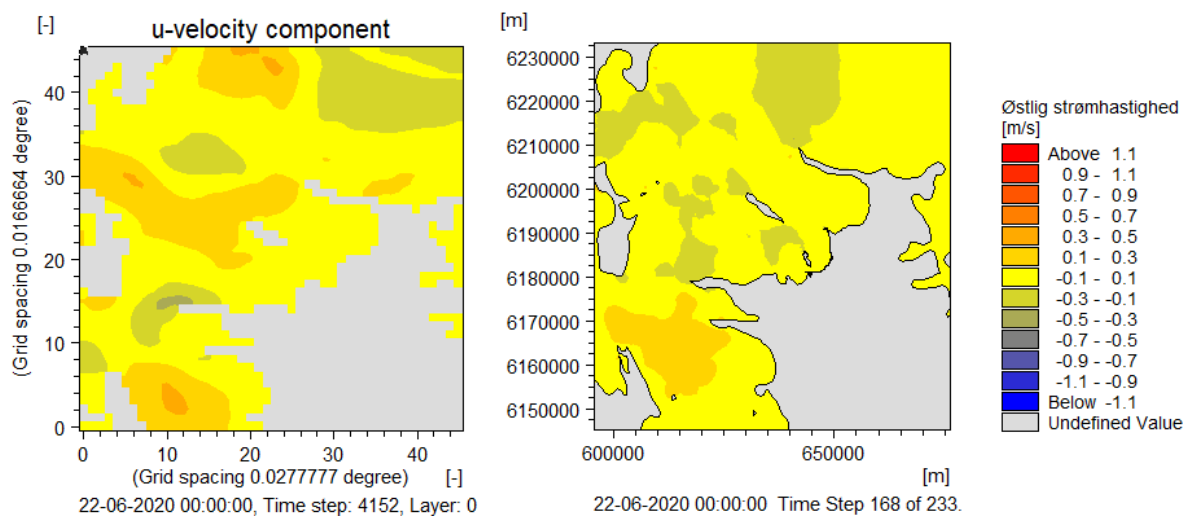
- Sammenligning af øjebliksbilleder af det modellerede strømfeltet med tilsvarende fra Copernicus.
- Sammenligning af øjebliksbilleder af den modellerede vandstand med tilsvarende fra Copernicus.
- Sammenligning af modellerede strømhastigheder med data fra Copernicus i punkterne vist på figur 4-1.
- Sammenligning af modellerede vandstande med data fra Copernicus i punkterne vist på figur 4-1.
- Sammenligning af modellerede vandstande med data fra DMI ved Sjællands Odde som vist på figur 4-1.

Validering ift. øjebliksbilleder af strøm og vandstand

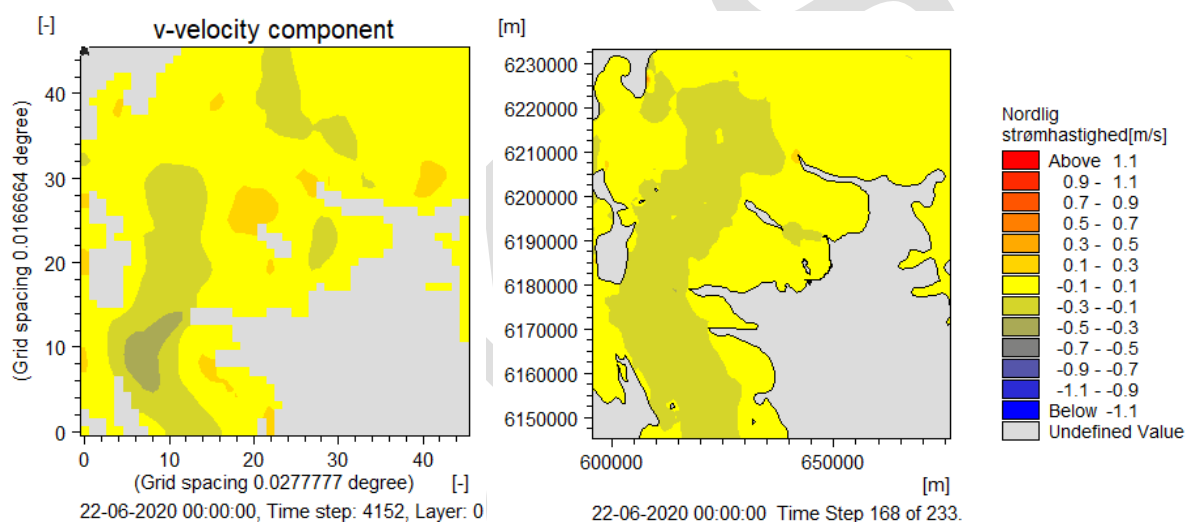
Figur 4-13 til figur 4-15 viser sammenligninger af øjebliksbilleder af strømforhold og vandstand fra hhv. Copernicusmodel samt anvendte model i nærværende analyser i en periode med regionalt sydgående strøm, mens figur 4-16 til figur 4-18 viser tilsvarende sammenligning for en periode med nordgående strøm.

Generelt kan det konkluderes, at den opstillede model er i stand til at gengive strømhastighederne og -mønstrene på regionalt plan. Der ses dog forskelle, specielt i øst-vest retningen, som medtages i diskussionen af usikkerhed på specielt udbredelsen af spredning fra udlædningspunktet.

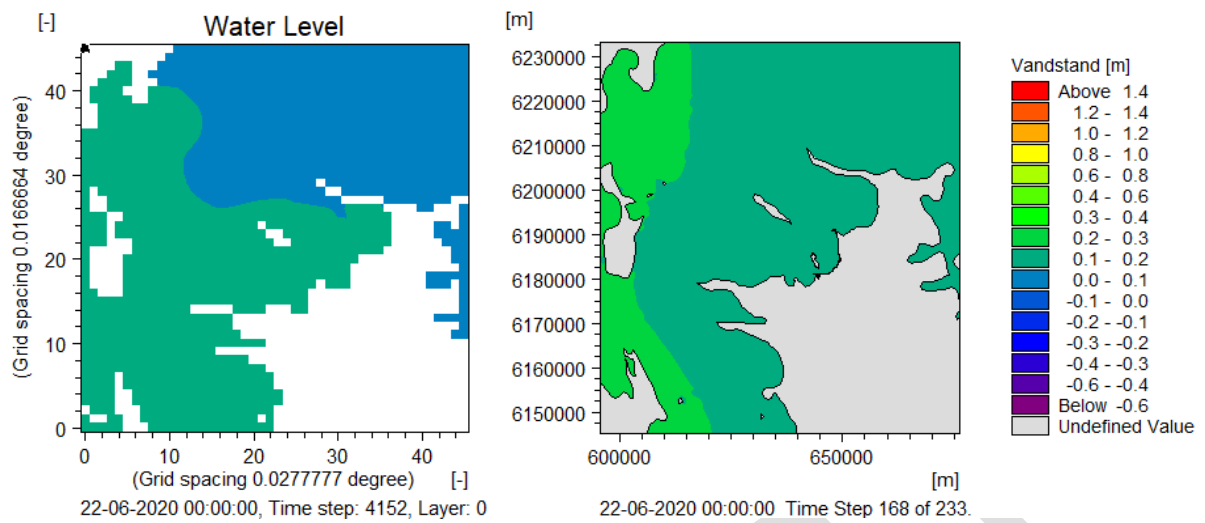
Der er tendens til at modellen overestimerer vandstands niveauet en smule ift. Copernicusresultaterne. Igen kan en af grundene til Copernicus modellens større strømhastigheder være, at der her bruges en grovere model end i MIKE modellen.



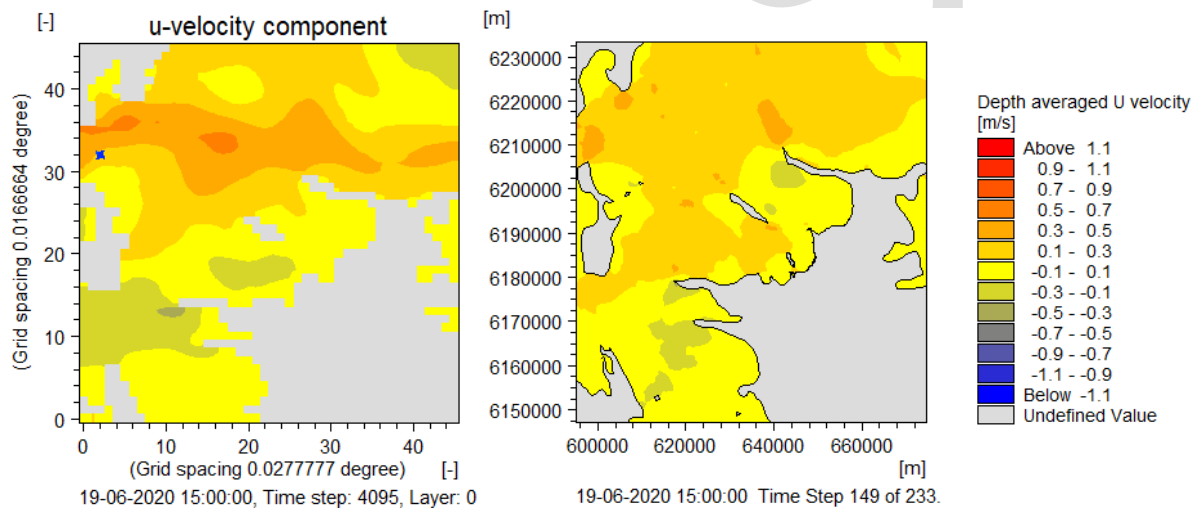
Figur 4-13: Østlig komponent af strømshastighed. Copernicus data (venstre) og modelleret strømshastighed (højre) for en sommerperiode med regionalt sydgående strøm.



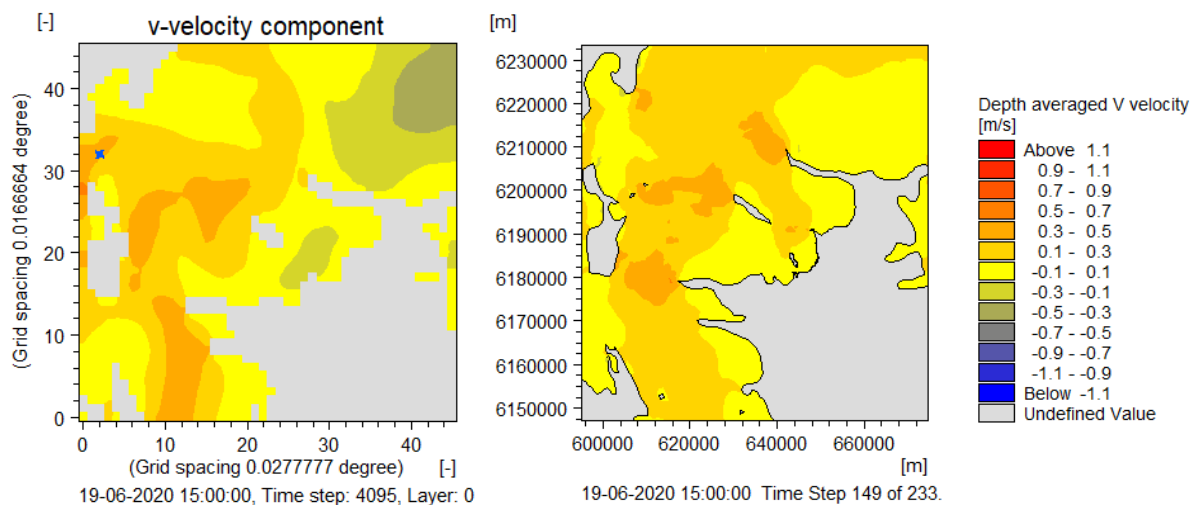
Figur 4-14: Nordlig komponent af strømshastighed. Copernicus data (venstre) og modelleret strømshastighed (højre) for en sommerperiode med regionalt sydgående strøm.



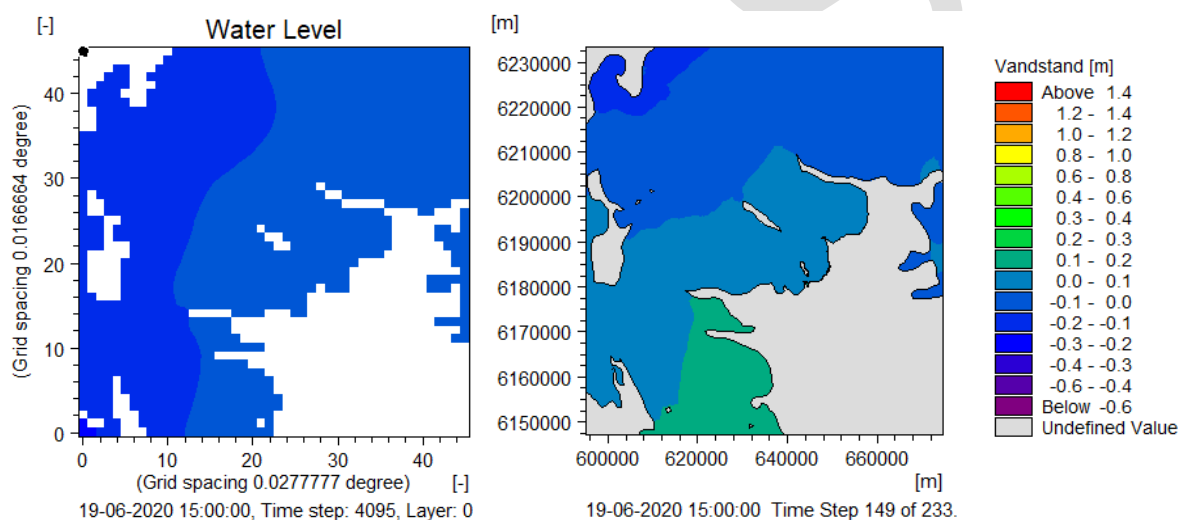
Figur 4-15: Vandstand ift. middelvandstand. Copernicus data (venstre) og modelleret (højre) for en sommerperiode med regionalt sydgående strøm.



Figur 4-16: Østlig komponent af strømhastighed. Copernicus data (venstre) og modelleret (højre) for en sommerperiode med regionalt nordgående strøm.



Figur 4-17: Nordlig komponent af strømhastighed. Copernicus data (venstre) og modelleret (højre) for en sommerperiode med regionalt nordgående strøm.

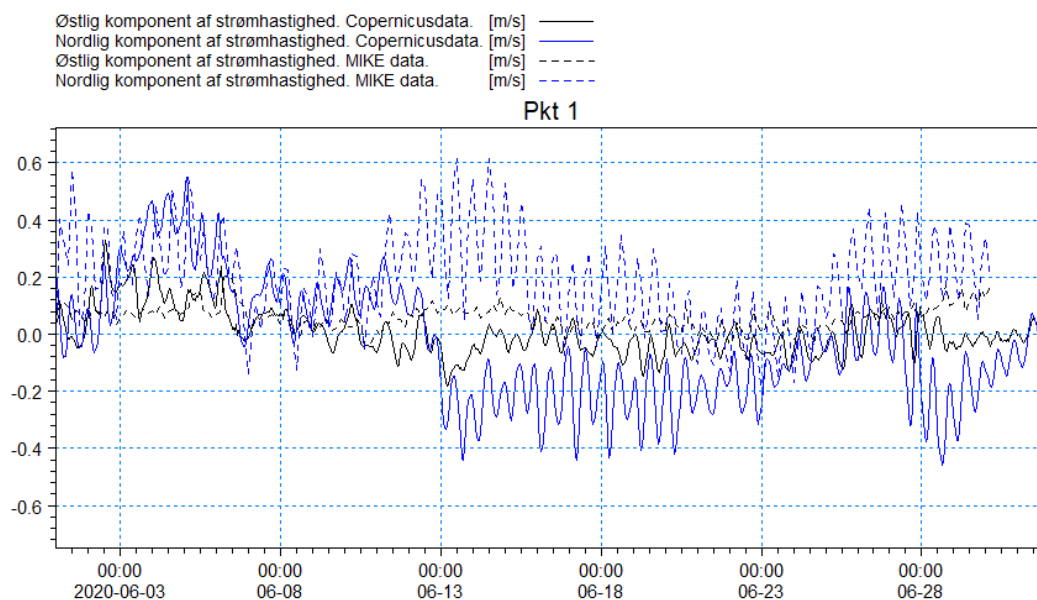


Figur 4-18: Vandstand ift. middelvandstand. Copernicus data tv. (venstre) og modelleret (højre) for en sommerperiode med regionalt nordgående strøm.

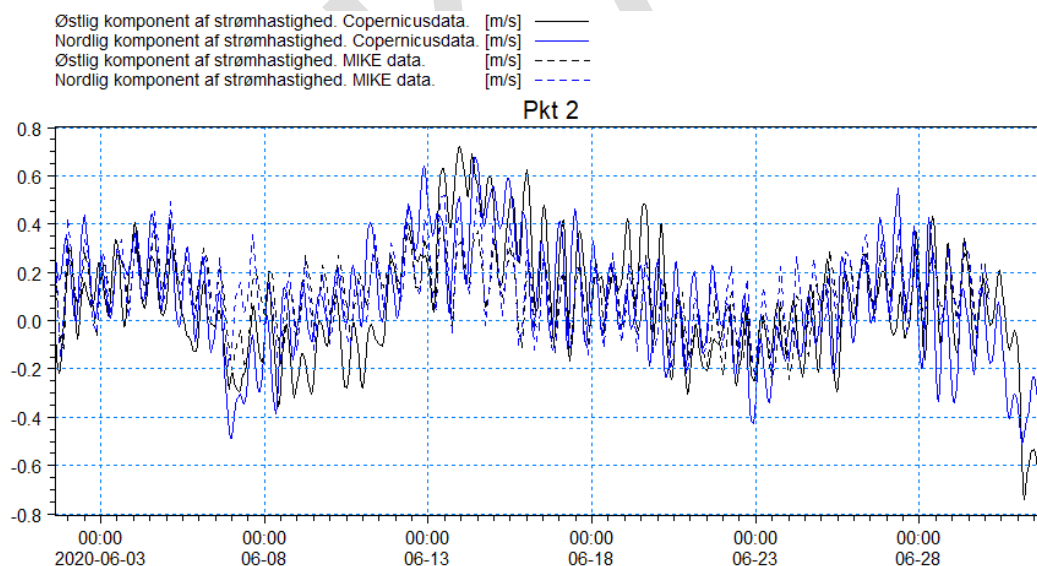
4.2.2 Validering baseret på tidsserier af strømhastigheder og vandstands niveau

I punkterne vist i figur 4-1 er udtaget tidsserie af hhv. strømhastigheder og vandstands niveau for sommerperioden. Figur 4-19 til figur 4-21 viser tidsserierne for strømhastigheder, mens figur 4-22 og figur 4-23 viser en tidsserie af vandstandsdata sammenlignet med hhv. Copernicusdata og data fra DMI. Som i vinterperioden, ses god overensstemmelse mellem modellerede data og Copernicusdata i pkt. 2 og 3. Sammenligningen af data i pkt. 1, nær Neksælø Bugt, viser dog som i vinterperioden uoverensstemmelse. Det ses, at strømretningen i pkt. 1 i de to modeller er modsatrettet. Resultaterne indikerer, at nordgående strøm i Copernicusmodellen leder til en rotation omkring Sejerø med uret. I MIKE modellen ledes strømmen imidlertid igennem Sejerø Bugt syd om Sejerø. Denne uoverensstemmelse vurderes at skyldes, at Copernicus modellen har en grov opløsning og dermed primært er anvendelig til gengivelse af regionale forhold.

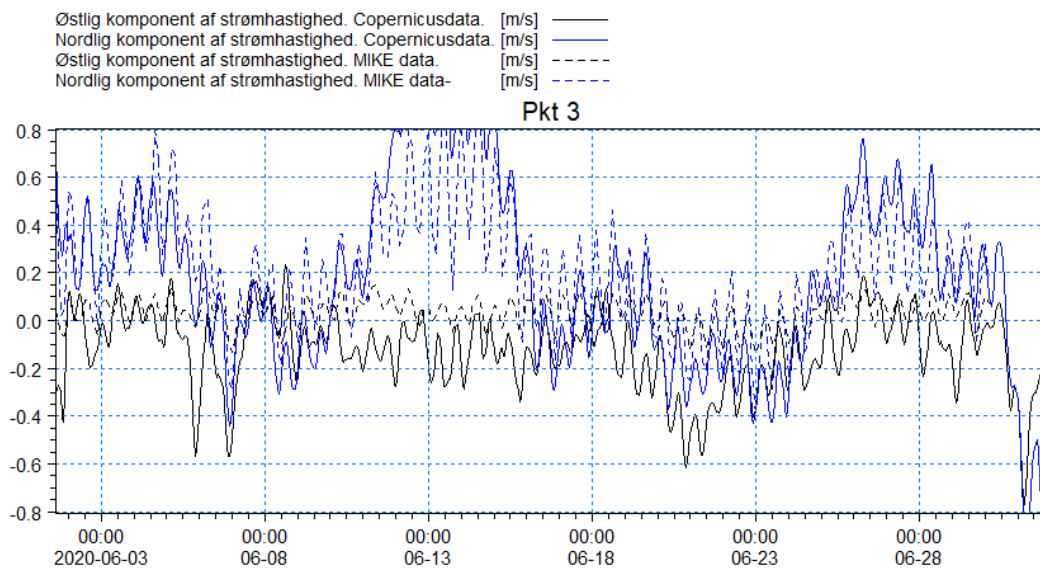
Vandstanden varierer ikke meget over de tre punkter, så kun pkt. 1 er vist på vandstandssammenligningerne. Tidsserien viser nogenlunde overensstemmelse mellem Copernicusdataene og MIKE dataene. Figur 4-23, som viser en sammenligning af målt og simuleret vandstand ved DMIs målestation ved Sjællands Odde, viser derimod, at vandstanden i MIKE modellen (og dermed i høj grad også Copernicusmodellen) undervurderes en smule.



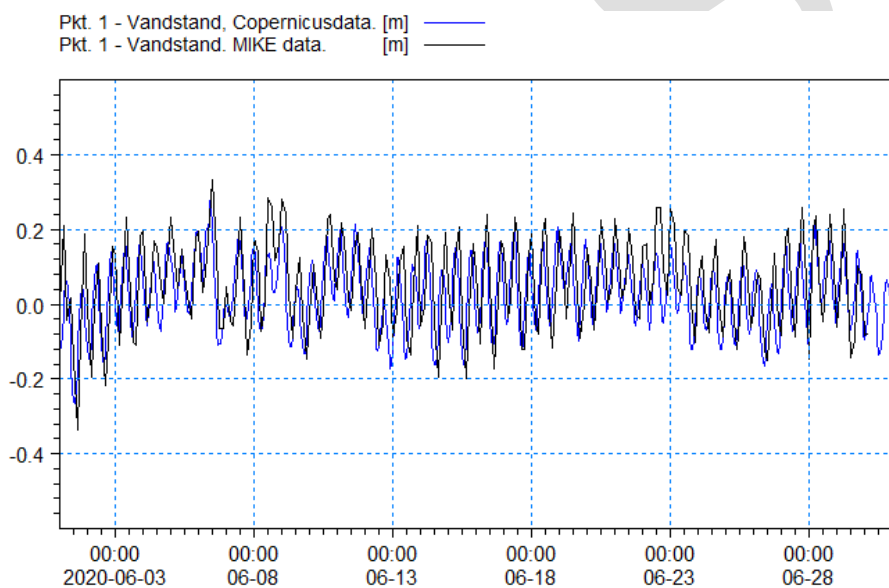
Figur 4-19: Sammenligning af tidsserier af strøm hastighed i pkt. 1, nær Nekselø Bugt (Copernicus, 2021).



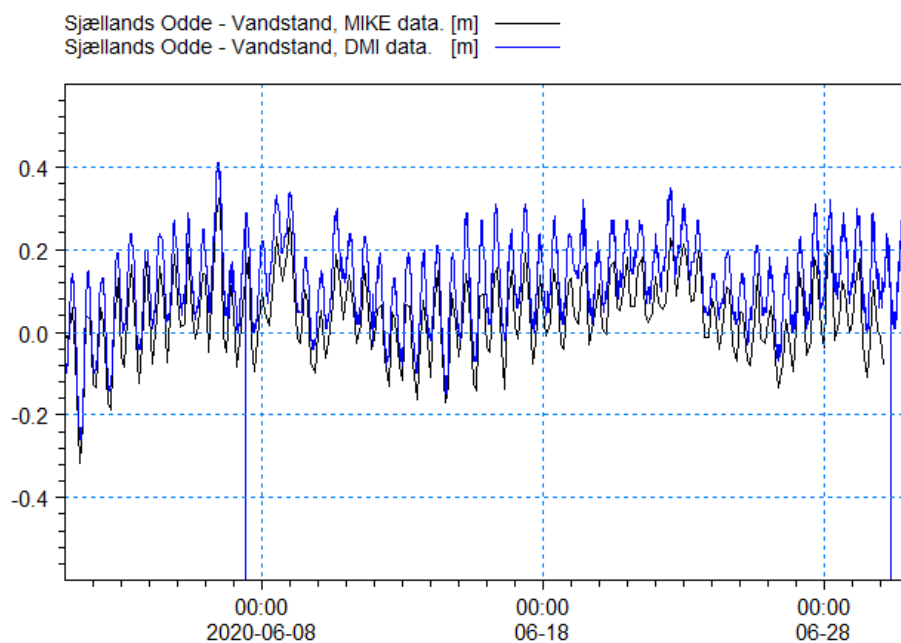
Figur 4-20: Sammenligning af tidsserier af strøm hastighed i pkt. 2, mellem Sjællands Odde og Ebeltoft (Copernicus, 2021).



Figur 4-21: Sammenligning af tidsserier af strømhastighed i pkt. 3, mellem Kalundborg og Samsø (Copernicus, 2021).



Figur 4-22: Sammenligning af tidsserier af vandstand ift. middelvandstand (Copernicus, 2021).



Figur 4-23: Tidsserier af målt og simuleret vandstand ift. middelvandstand ved målestation 29002, Sjællands Odde (DMI, 2021).

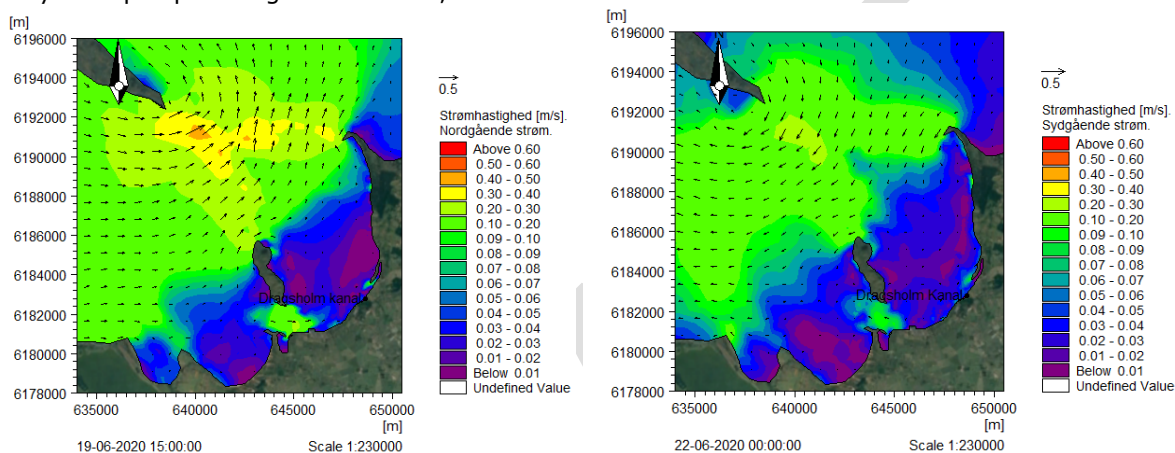
Modellen konstateres valideret til simulering af den valgte sommer- og vinterperiode. For simulering af andre perioder bør modellen valideres igen herfor. Modellen vurderes, baseret på valideringen af strømmene på regionalt plan, at være i stand til at gengive strømningsmønstre lokalt i Neksælø Bugt. Grundet manglen på lokale valideringsdata, og uoverensstemmelser i sommerperioden, må strømninger og hastigheder lokalt dog behæftes med en betydelig usikkerhed, da variationer i strømningsmønstret regionalt kan lede til betydelige ændringer lokalt. Usikkerheder i vandstanden kan påvirke koncentrationsresultater, da disse er dybdemidlede.

5. RESULTATER: STRØMFORHOLD

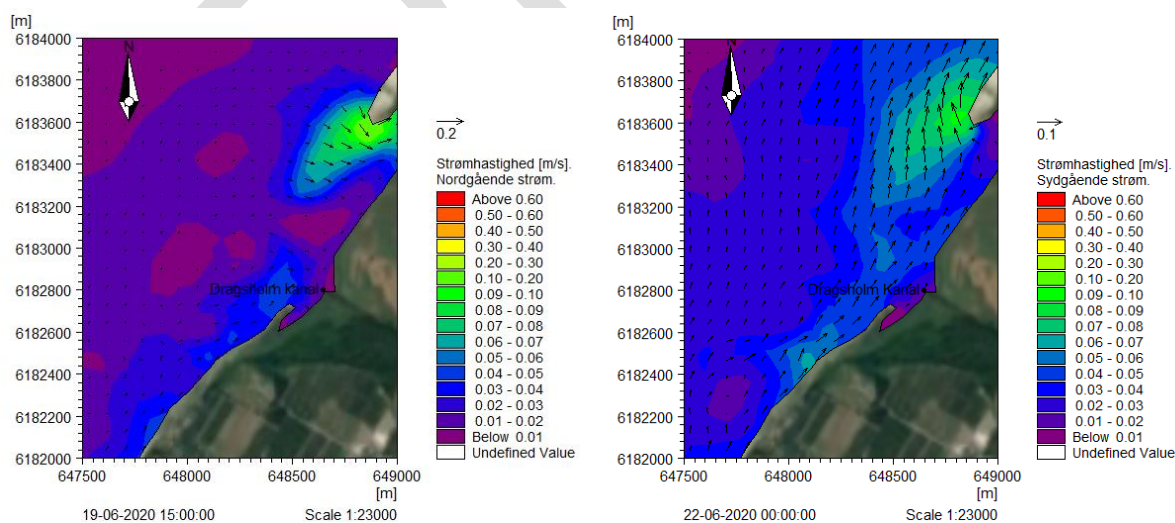
Strømbilleder fra hhv. sommer- og vinterperioden er præsenteret i hhv. afsnit 5.1 og 5.2.

5.1 Strømplots for modelleret sommerperiode

Figur 5-1 viser øjeblikksbilleder af strømfelter for en sommerperiode og figur 5-2 viser et zoom af forholdene lokalt omkring udledningpunkterne på de samme tidspunkter. Som det fremgår af figureerne, forekommer der relativt lave strømhastigheder i Nekselø Bugt, da strømmen (ved sydgående strøm) hovedsageligt ledes imellem Nekselø og Sejerø. Der ses en nordgående strøm lokalt ved udledningpunktet også ved sydgående regional strøm. Dette skyldes, at der sydøst for Nekselø opstår en hvirvel der fører strømmen tilbage nordpå langs kysten. Disse forhold har stor indflydelse på spredningsresultaterne, men kan ikke valideres uden lokale data.



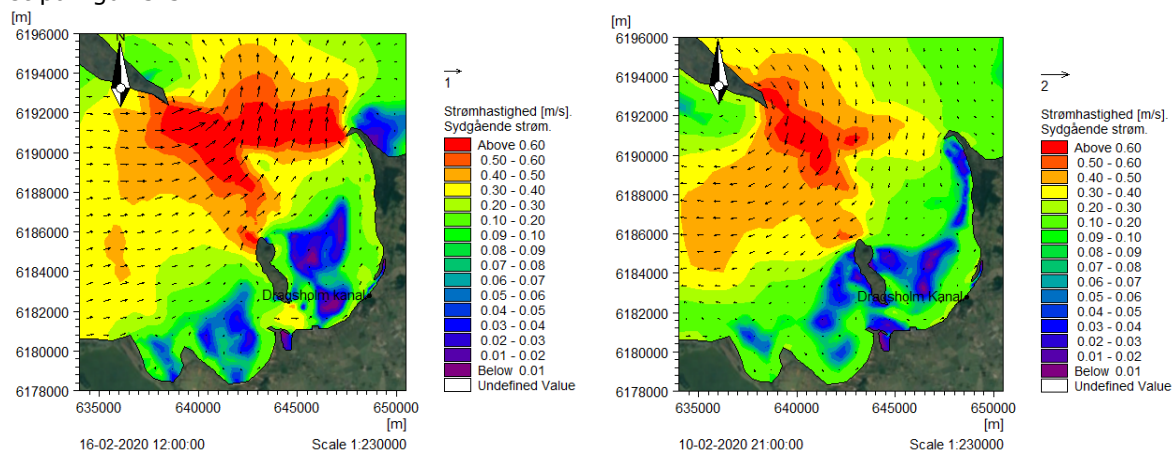
Figur 5-1: Strømfelt omkring Nekselø Bugt ved typisk nordgående strøm (venstre) og typisk sydgående strøm (højre) i sommerperioden. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.



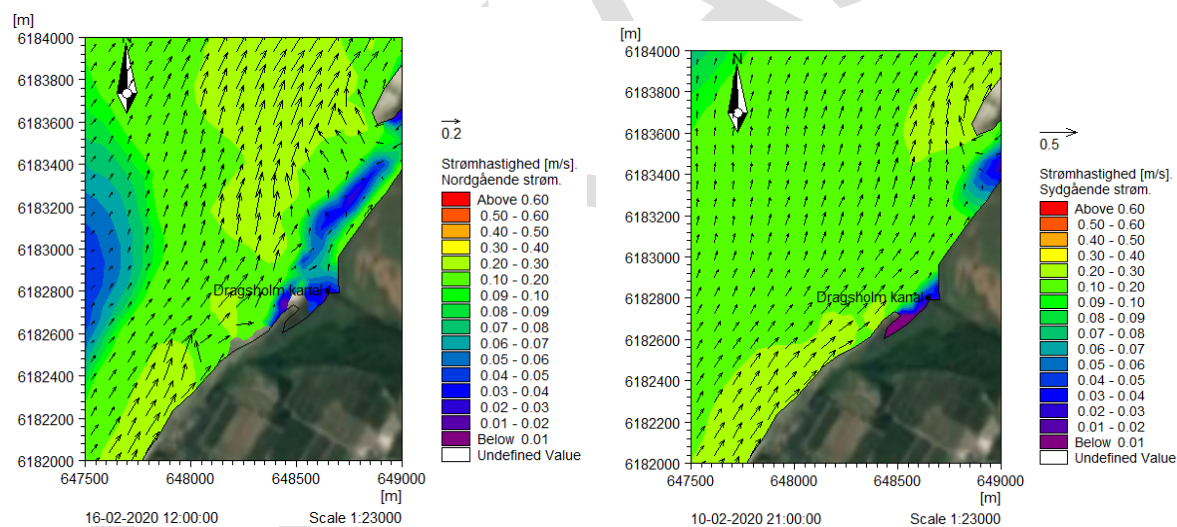
Figur 5-2: Zoom af strømfeltet omkring udledningpunktet ved typisk nordgående strøm (venstre) og typisk sydgående strøm (højre) i sommerperioden. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.

5.2 Strømplots for modelleret vinterperiode

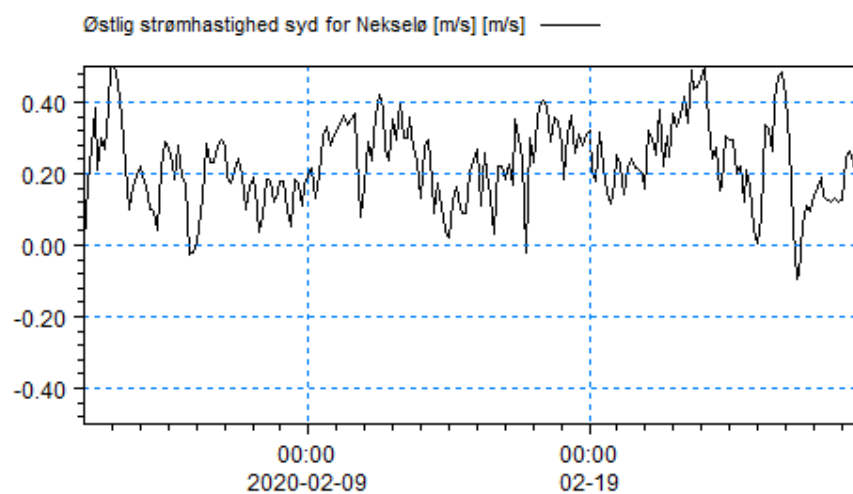
Figur 5-3 viser det regionale strømfelt i Sejerø Bugt for en vinterperiode, mens figur 5-4 viser et zoom af forholdene omkring udledningspunktet til de samme tidspunkter. Det fremgår at der lokalt i bunden af Nekselø Bugt er en nordgående strøm både i forbindelse med en regional syd- og nordgående strøm. Dette skyldes, at vandet ved sydgående strøm bliver presset mod øst syd for Nekselø og forbi Dragsholm Kanal. Effekten heraf er en østgående strøm syd for Nekselø, som vist på figur 5-5.



Figur 5-3: Strømfelt omkring Nekselø Bugt ved nordgående strøm (venstre) og sydgående strøm (højre) i vinterperioden. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.



Figur 5-4: Zoom af strømfeltet omkring de tre udledningspunkter ved nordgående strøm (venstre) og sydgående strøm (højre) i vinterperioden. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.



Figur 5-5: Østlig strømhastighed igennem vinterperioden i indsnævringen syd for Nekselø.

UDKAST

6. RESULTATER: VANDUDSKIFTNING I NEKSELØ BUGT

Vurderingen af vandudskiftningen i Neksølø Bugt baseres på modelberegninger, hvor der initialt påføres et neutralt sporstof, hvorefter udviklingen af sporstofkoncentrationen (fortyndingen) kan betragtes. I Neksølø Bugt påføres derfor en initial koncentration af et neutralt sporstof på 1 mg/m^3 . Sporstoffet har samme egenskaber som vand, hvormed det ikke påvirker hydrodynamikken eller nedbrydes igennem simuleringsperioden. Fortyndingsberegningerne er gennemført for både sommer- og vinterperioden og resultaterne fremgår af afsnit 6.1 og 6.2.

Vandudskiftningsgraden kan betragtes som en indikation for, hvor lang tid udledningsstoffer befinder sig i Neksølø Bugt.

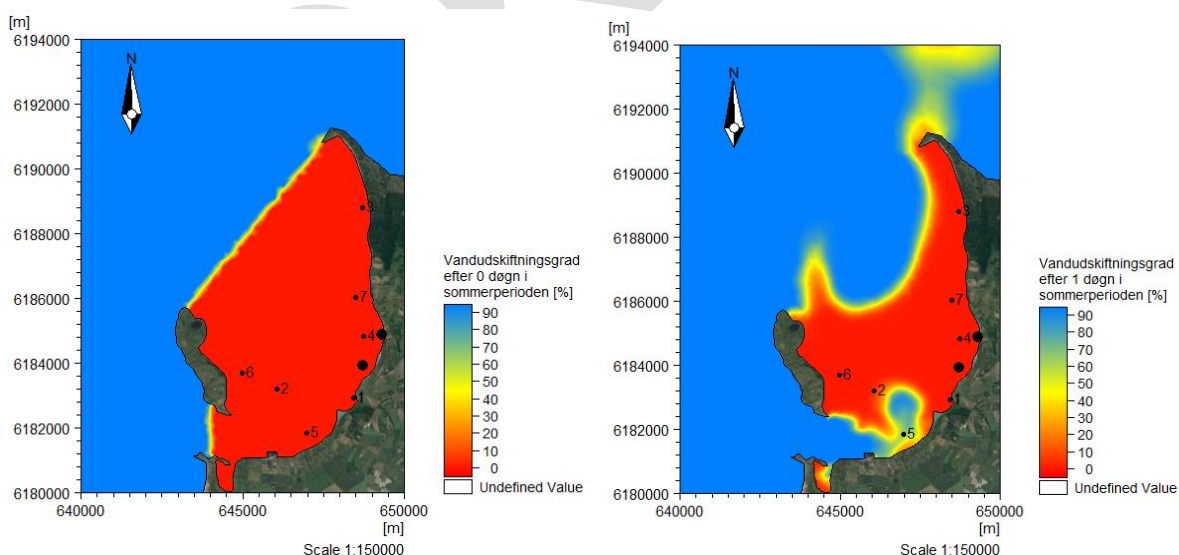
6.1 Vandudskiftning for modelleret sommerperiode

Figur 6-1 og figur 6-2 viser hvordan vandudskiftningsgraden ændrer sig over de første 3 døgn under tidevandsdominerede forhold. I store dele af Neksølø Bugt udskiftes vandet hurtigt, men specielt langs den nordlige kyst til Sjælland og i ly af Neksølø sker udskiftningen langsommere. Figur 6-3 viser udskiftningsgraden efter 5 døgn.

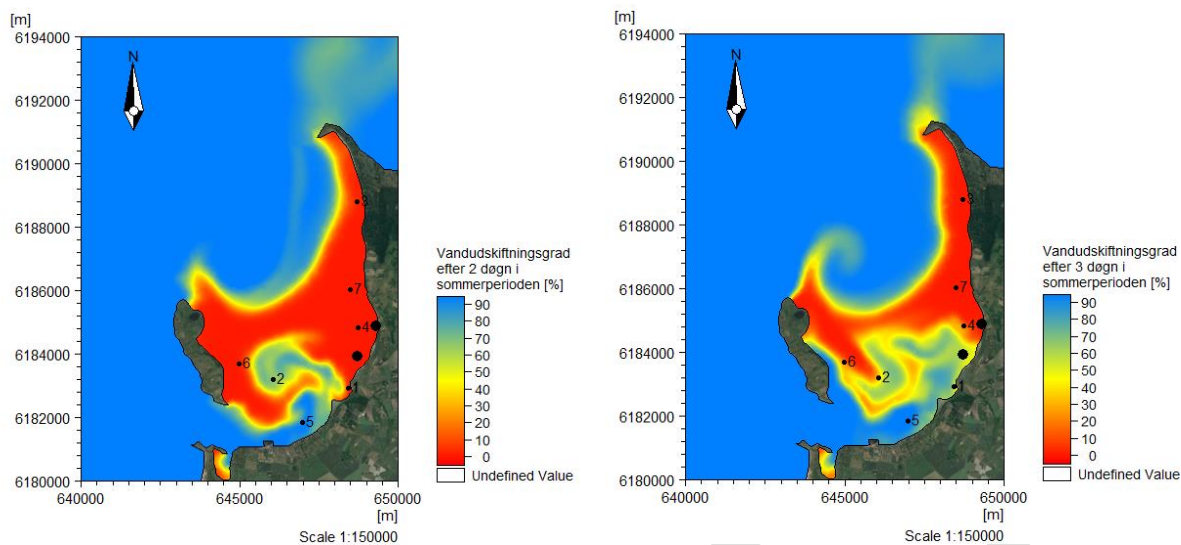
Figur 6-4 viser den gennemsnitlige vandudskiftningsgrad i området efter endt simulering (1 måned). Figuren giver et godt indblik i, hvor vandet udskiftes langsomt.

I udvalgte punkter er der trukket tidsserier ud af vandudskiftningsgraden for at visualisere opblandingen over tid. Langs den nordlige kyst ved Sjælland, pkt. 7, og i ly af Neksølø, pkt. 6, ses den langsommere udskiftning. Tidsserierne for punkterne er vist på figur 6-5.

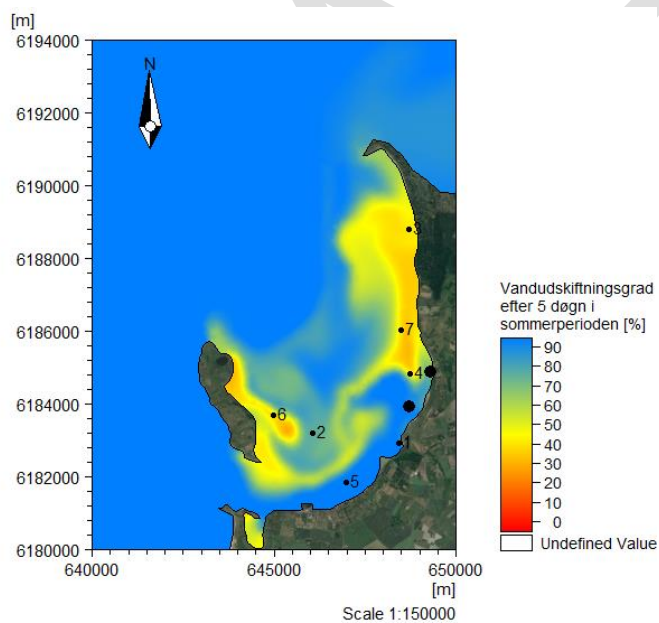
Generelt ses det, at udskiftningsgraden efter 7 døgn er minimum ca. 70 % og efter 10 døgn, 80 % som følge af opblandning.



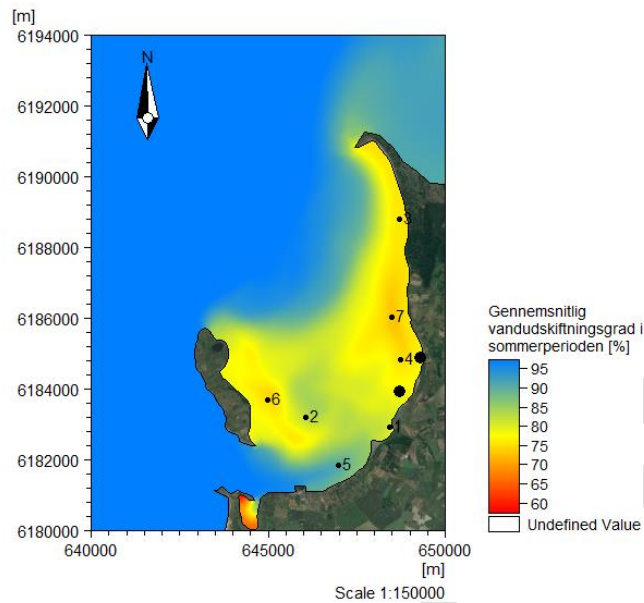
Figur 6-1: Øjeblikbilleder af vandudskiftningsgraden for en sommerperiode. Simuleringsstart (venstre) og efter 1 døgn (højre). De 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er defineret. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.



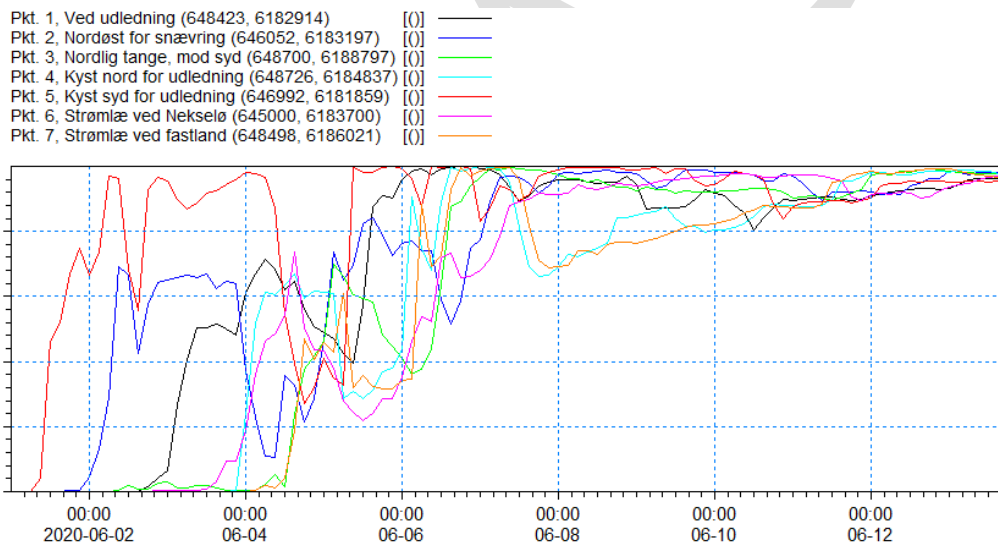
Figur 6-2: Øjeblikbilleder af vandudskiftningsgraden for en sommerperiode. Efter 2 døgn (venstre) og efter 3 døgn (højre). De 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er defineret. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.



Figur 6-3: Øjeblikbilleder af vandudskiftningsgraden for en sommerperiode efter 5 døgn. De 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er defineret. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.



Figur 6-4: Gennemsnitlig vandudskiftningsgrad i Neksælø Bugt for en stille sommerperiode. 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er angivet. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.



Figur 6-5: Tidsserier for vandudskiftningsgrad i 7 udvalgte punkter fra simuleringen af en sommerperiode.

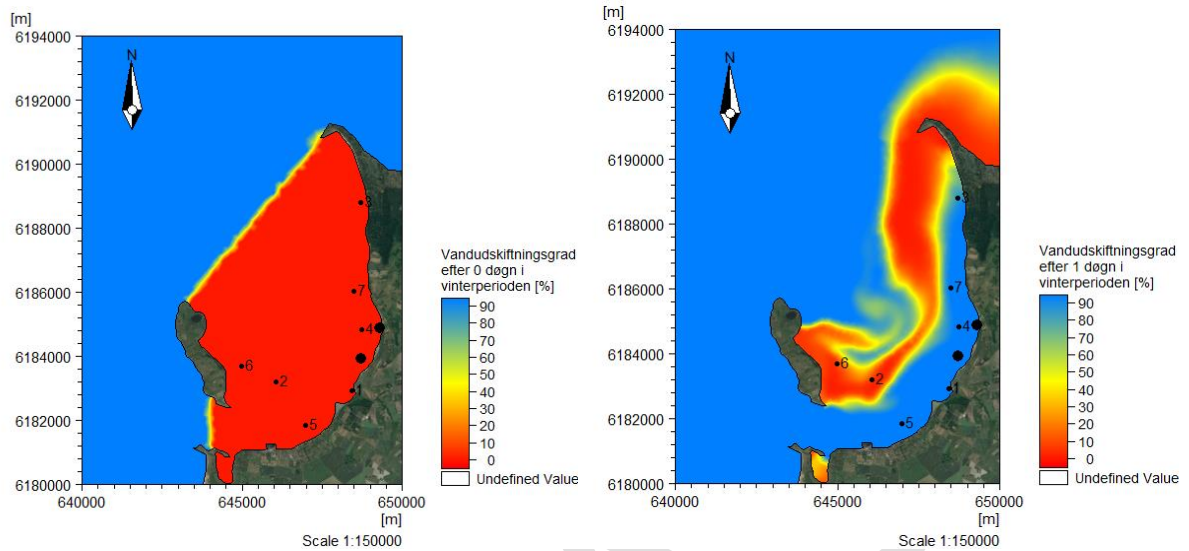
6.2 Vandudskiftning for modelleret vinterperiode

Figur 6-6 og figur 6-7 viser hvordan vandudskiftningsgraden ændrer sig over de første 3 døgn for en simulering svarende til en vinterperiode. Som det fremgår, er store dele af bugtens vand udskiftet indenfor denne periode, men specielt øst for Neksælø sker vandudskiftningen langsommere. Figur 6-8 viser udskiftningsgraden efter 5 døgn, hvor størstedelen af bugtens vand er udskiftet.

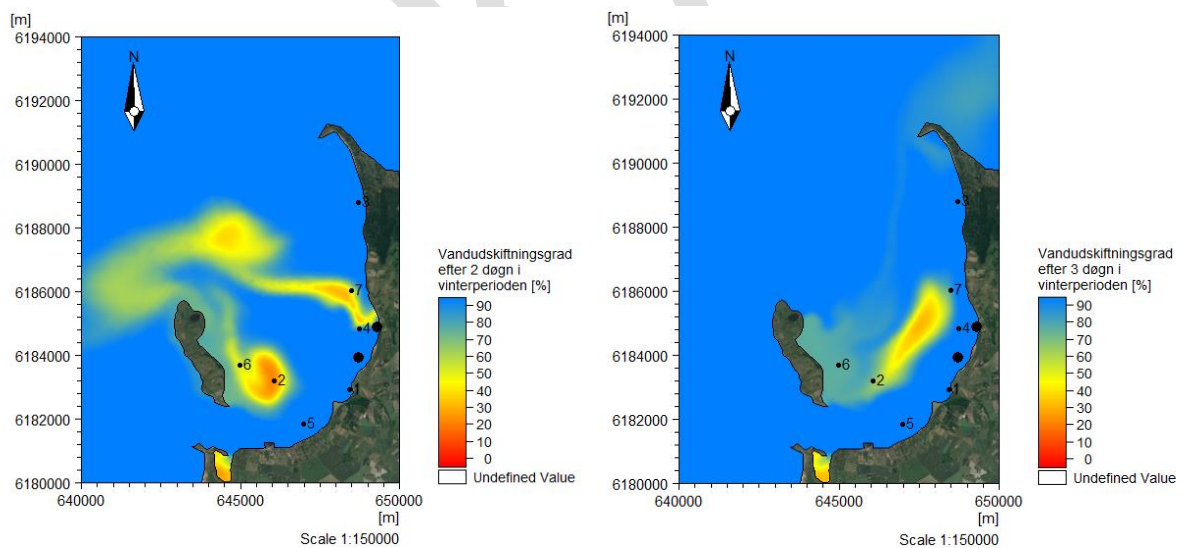
Figur 6-9 viser den gennemsnitlige koncentration af sporstof i området efter endt simulering. Ved en sammenligning med resultaterne for den tilsvarende simulering for en sommerperiode fremgår det, at vandudskiftningen sker hurtigere for disse vinterforhold (sporstoffet ledes mere effektivt

væk), men der ses stadig et hotspot for koncentration i pkt. 2. Tidserierne for punkterne er vist på figur 6-10.

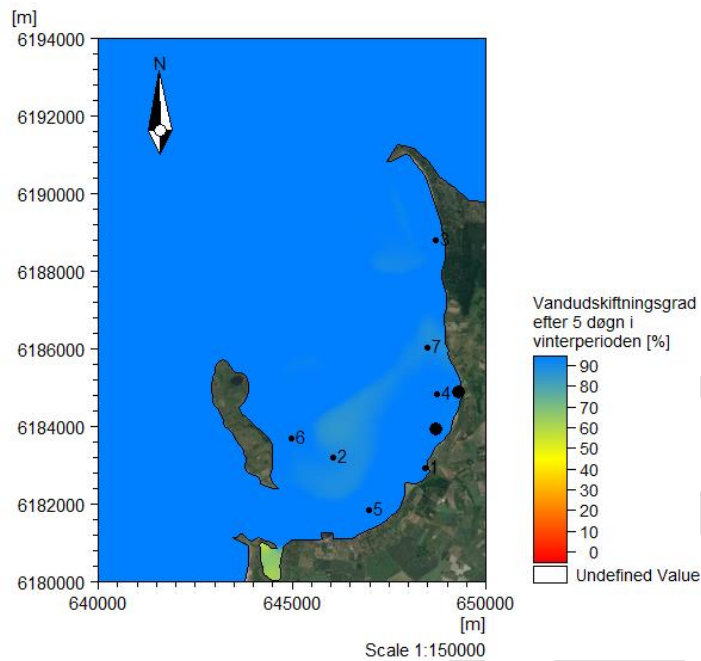
Generelt ses det, at vandudskiftningen efter 5 døgn er ca. 80 %.



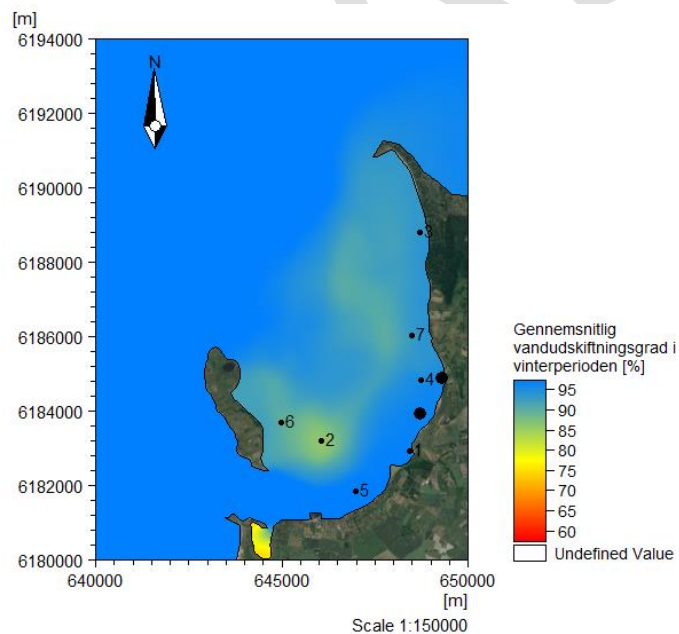
Figur 6-6: Øjebliksbilleder af vandudskiftningsgraden for en vinterperiode. Simuleringsstart (venstre) og efter 1 døgn (højre). De 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er defineret. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.



Figur 6-7: Øjebliksbilleder af vandudskiftningsgraden for en vinterperiode. Efter 2 døgn (venstre) og efter 3 døgn (højre). De 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er defineret. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.

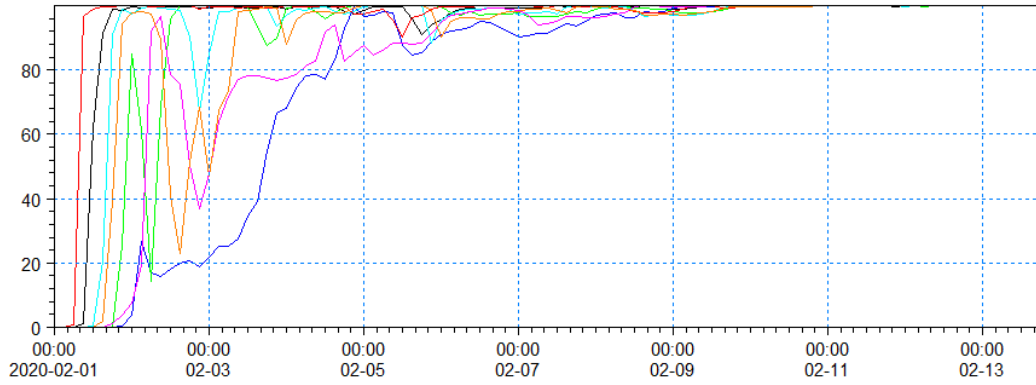


Figur 6-8: Øjebliksbilleder af vandudskiftningsgraden for en vinterperiode efter 5 døgn. De 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er defineret. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.



Figur 6-9: Gennemsnitlig vandudskiftningsgrad i Neksælø Bugt for en vinterperiode. 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er angivet. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.

- Pkt. 1, Ved udledning (648423, 6182914) [0] —
- Pkt. 2, Nordøst for snævring (646052, 6183197) [0] —
- Pkt. 3, Nordlig tange, mod syd (648700, 6188797) [0] —
- Pkt. 4, Kyst nord for udledning (648726, 6184837) [0] —
- Pkt. 5, Kyst syd for udledning (646992, 6181859) [0] —
- Pkt. 6, Strømlæ ved Nekselø (645000, 6183700) [0] —
- Pkt. 7, Strømlæ ved fastland (648498, 6186021) [0] —



Figur 6-10: Tidsserier for vandudskiftningsgrad i 7 udvalgte punkter fra simuleringen af en vinterperiode.

UDKAST

7. RESULTATER: ÆNDRING AF KONCENTRATIONSNIVEAU FOR KVÆLSTOF OG FOSFOR

Udledningen af rensset spildevand fra det om- og udbyggede Fårevejle Renseanlæg via Dragsholm Kanal medfører tilførsel af ekstra kvælstof "N" og fosfor "P" i Nekselø Bugt.

Modelberegningerne er gennemført for den ændrede påvirkning alene og indeholder således ikke koncentrationsniveauerne fra de nuværende forhold, hvilke er defineret som "baggrundskoncentrationer", som forbliver uændrede i fremtiden.

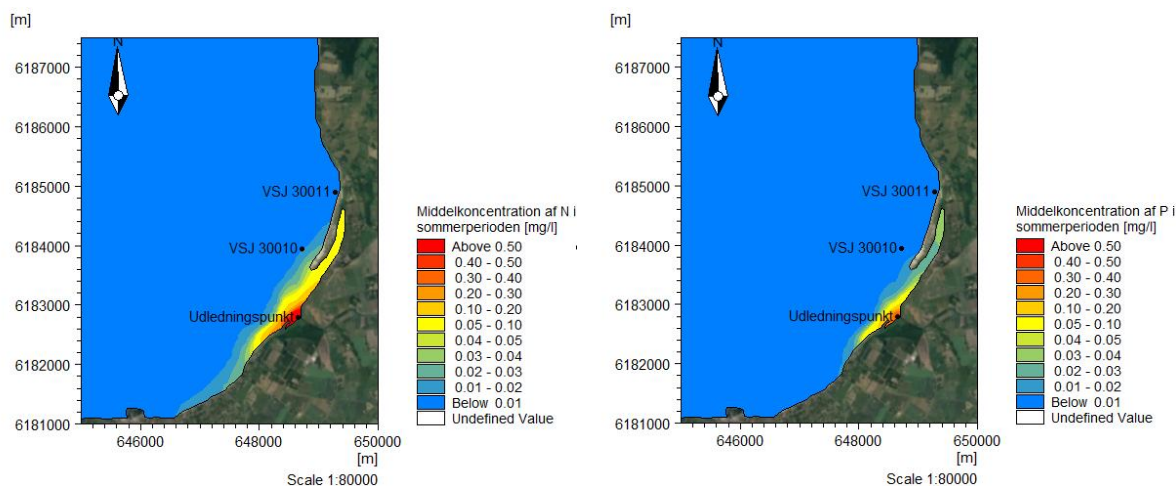
Resultaterne er præsenterede som statistiske hhv. gennemsnitlige og maksimale ændringer af koncentrationerne af N og P for de to simuleringsperioder defineret i afsnit 3.2. Bemærk at de statistiske koncentrationer ikke er et billede af koncentrationsniveauet til et givet tidspunkt, men alene er et billede af eksempelvis det maksimale koncentrationsniveau af det pågældende næringsstof på en given lokalitet.

Resultaterne skal betragtes som værende indikative og kvalitative, dels grundet valideringsgrundlaget, hvor der ikke foreligger data til validering af modellen lokalt i Nekselø Bugt, dels grundet det sparsomme grundlag for vanddybderne i området, der har stor betydning for de præsenterede dybdemidlede koncentrationsniveauer og dels da modelberegningerne ikke er gennemført for statistiske perioder, men blot repræsentative perioder for en sommer- og en vinterperiode.

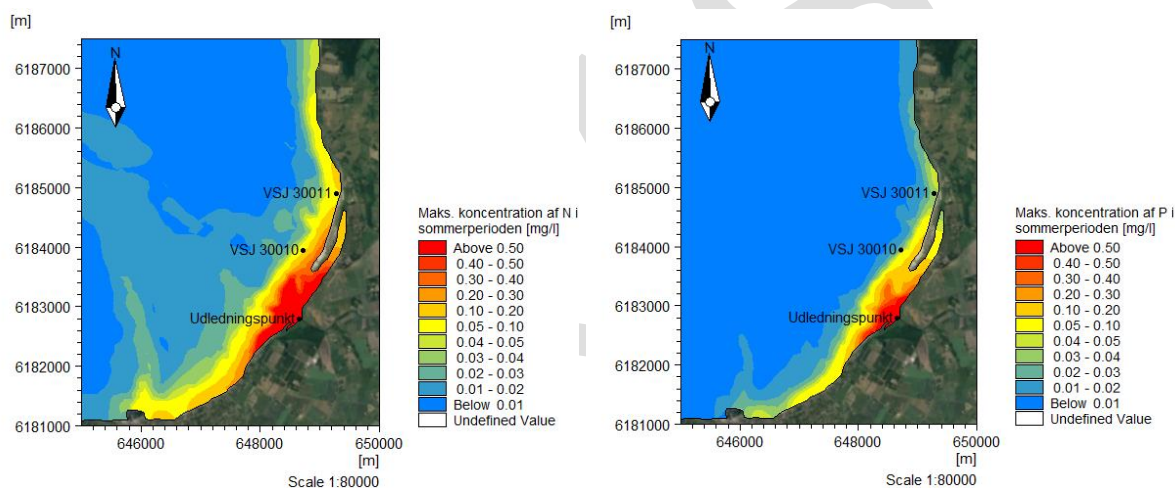
Ændres udledningmængden eller -koncentrationen kan resultaterne i de følgende afsnit skaleres for at tage højde for dette.

7.1 Udledning af rensset spildevand i modelleret sommerperiode

Figur 7-1 og figur 7-2 viser hhv. ændringen i middel- og maksikoncentrationen af N og P, som følge af udledningen af rensset spildevand fra Dragsholm Kanal. Resultaterne er vist for den modellerede sommerperiode. Koncentrationerne nær udledningspunktet ses at være relativt høje sammenlignet med en kort afstand derfra. Dette skyldes både den korte afstand til Dragsholm Kanal og kilden til forurening, men dybdemidlingen har også en stor indflydelse. Tæt på udledningspunktet er dybden meget lav i modellen, omkring 0,2-0,5 m, mens der længere oppe langs kysten er konstant minimum ca. 2 m hvilket giver anledning til en underestimering af de dybdemidlede koncentrationer.



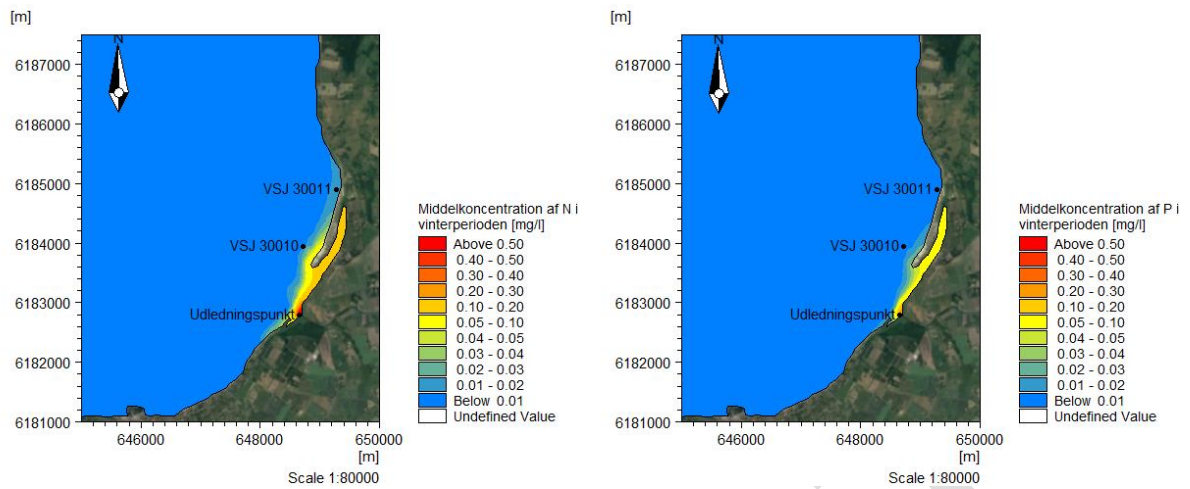
Figur 7-1: Ændring af middelmiddelt koncentration af N (venstre) og P (højre) som følge af udledning af rensset spildevand via Dragsholm Kanal for en sommerperiode. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.



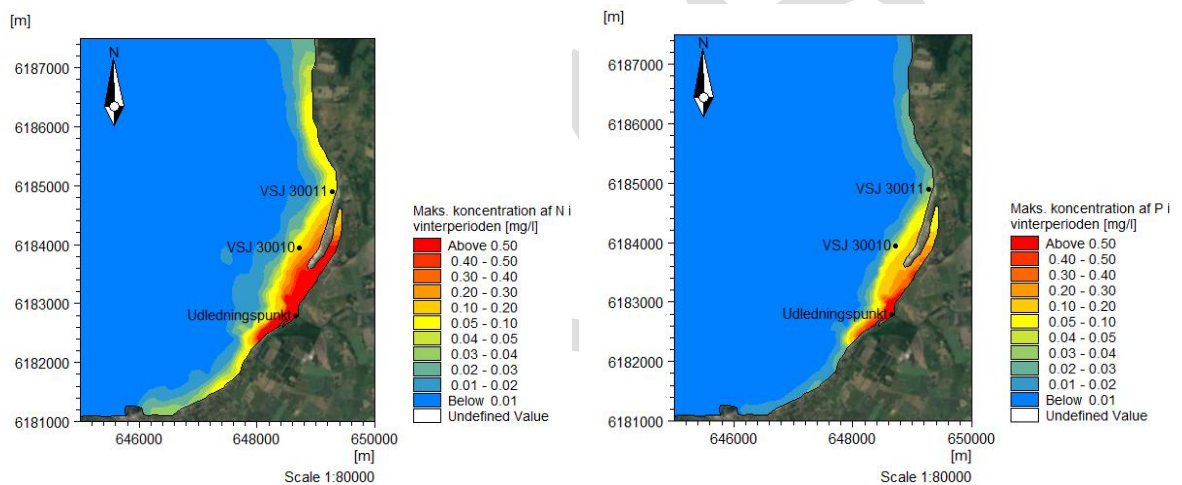
Figur 7-2: Ændring af maksimumkoncentration af N (venstre) og P (højre) som følge af udledning af rensset spildevand via Dragsholm Kanal for en sommerperiode. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.

7.2 Udledning af rensset spildevand i modelleret vinterperiode

Figur 7-3 og figur 7-4 viser hhv. ændringen i middel- og maksimumkoncentration af N og P som følge af udledningen af rensset spildevand fra Dragsholm Kanal. Beregningerne er vist for en vinterperiode. Sammenholdt med resultaterne for sommerperioden ses lavere koncentrationer i vinterperioden. Dette stemmer overens med den øgede udskiftning af vandet i bugten i vinterperioden.



Figur 7-3: Ændring af middelmiddelt koncentration af N (venstre) og P (højre) som følge af udledning af renset spildevand via Dragsholm Kanal for en vinterperiode. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.

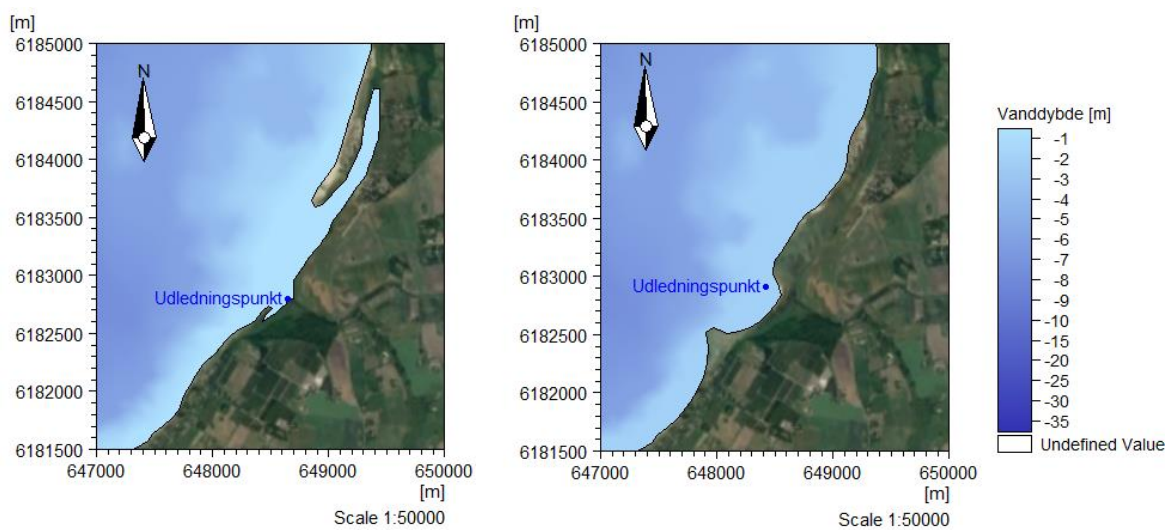


Figur 7-4: Ændring af maksimumkoncentration af N (venstre) og P (højre) som følge af udledning af renset spildevand via Dragsholm Kanal for en vinterperiode. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021]. Forstørret version kan ses i Appendiks 1.

7.3 Følsomhedssimuleringer

Lokalt omkring udmundingen fra Dragsholm Kanal er dybdeforholdene skønnet baseret på satellitfotos fra Google Earth. Grundet usikkerheden forbundet med denne antagelse, laves en følsomhedsanalyse hvor kyststrækningen og dybdeforholdene heromkring hentes fra det elektroniske søkort DHI C-map.

I samme ombæring flyttes udledningspunktet ud på den anden side af de sandbanker der findes ud for udmundingen. Dette gøres af to grunde; dele af sandbankerne betragtes i søkortene som land, herudover forventes det, at udledningen fra kanalen vil fylde "basinet", som de lavvandede sandbanker skaber, og herefter udlede ud for sandbankerne. Bathymetri og udledningspunkt for hovedsimuleringerne og følsomhedssimuleringen er sammenlignet i figur 7-5.

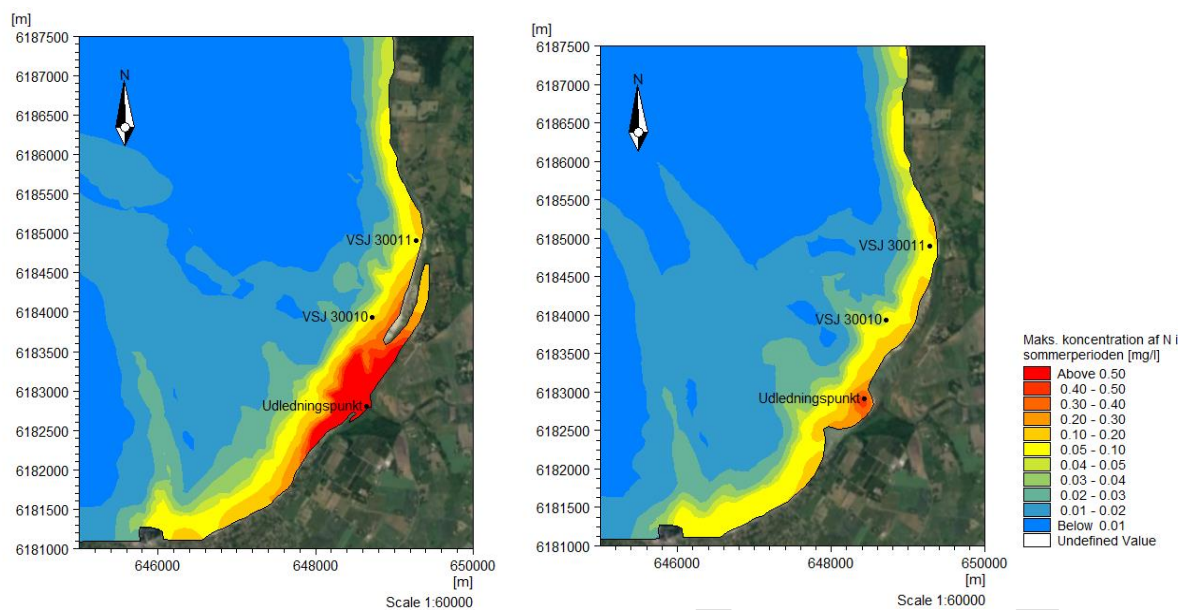


Figur 7-5: Sammenligning af anvendt bathymetri og kystlinje for hovedsimuleringerne (venstre) og følsomhedssimuleringen (højre). Baggrundbilledet er fra (Google Earth, 2021).

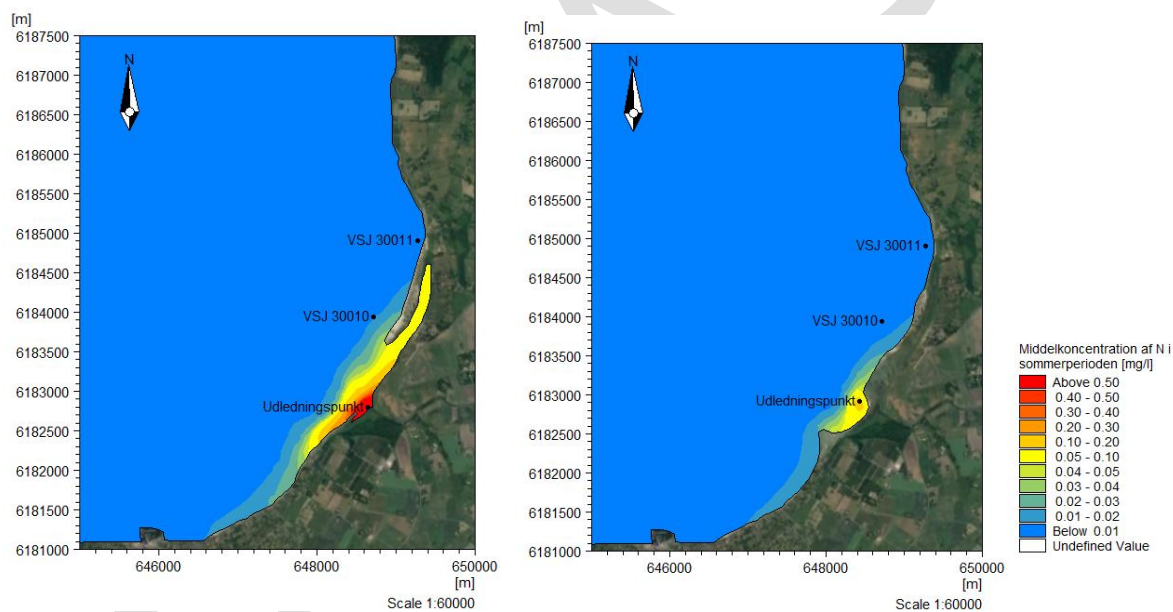
Simuleringen er udført for sommerperioden, da denne vurderes kritisk mht. koncentration af N og P i to nærliggende ålegræsområder, VSJ 30010 og VSJ 30011, som er vist på resultaterne for de gennemsnitlige og maksimale koncentrationer vist i hhv. figur 7-6 og figur 7-7.

I figur 7-6, som viser maksimale koncentrationer af N for hoved- og følsomhedssimuleringerne, ses at udbredelsen af koncentrationerne er sammenlignelige. Dette understøtter antagelsen om, at udledningspunktets placering udenfor sandbankerne ikke giver anledning til at strømmen fører det længere væk. Mht. koncentrationernes størrelser ses noget højere værdier i hovedsimuleringerne. Dette skyldes, at den manuelt implementerede lave vandstand ved udledningspunktet giver en større dybdemidlet koncentration. Et stykke oppe og nede af kysten, hvor dybden er ens i de to modeller (minimum 2 m vanddybde), stemmer koncentrationsniveauerne godt overens.

Figur 7-7 der viser gennemsnitlige koncentrationer af N for hoved- og følsomhedssimuleringerne viser samme øgede koncentration lokalt grundet den lave vanddybde. Denne sammenligning viser dog en lidt større udbredelse af udledning mod syd i hovedsimuleringerne sammenlignet med følsomhedssimuleringen, hvilket kan skyldes, at udledningspunktet i følsomhedssimuleringen ligger mere beskyttet for strømmen. Denne observation vurderes at styrke antagelsen om, at udledningen inde ved Dragsholm Kanal i hovedsimuleringerne udfylder bassinet og så herefter "udledes" igennem åbningen i sandbankerne.



Figur 7-6: Sammenligning af simulerede maksimale koncentrationer af N i hovedsimuleringen (venstre) og følsomhedssimuleringen (højre). Baggrundbilledet er fra (Google Earth, 2021). Forstørret version kan ses i Appendiks 1.



Figur 7-7: Sammenligning af simulerede gennemsnitskoncentrationer af N i hovedsimuleringen (venstre) og følsomhedssimuleringen (højre). Baggrundbilledet er fra (Google Earth, 2021). Forstørret version kan ses i Appendiks 1.

8. DISKUSSION AF DE OPNÅEDE RESULTATER

Simuleringerne der ligger til grund for konklusionerne i denne rapport har haft til formål at afdække robustheden af Nekselø Bugt for tilførsel af fosfor og kvælstof. Det konkluderes, at den anvendte model er tilstrækkelig retvisende til at afdække overordnede tendenser for strømfelter og vandudskiftning i Nekselø Bugt, samt kvalitative beskrivelser af spredning af udledningsstoffer.

8.1 Indflydelse af udledningspunktets lokation

Det konkluderes i rapporten, at udledningsstofferne spreder sig fra udledningspunktet ved Dragsholm Kanal til risikoområderne mod nord. Konstateres dette problematisk, kan udledningspunktet ændres og andre lokationer kan undersøges og sammenlignes vha. den opstillede model. Strømfelterne og vandudskiftningsforholdene i området tyder dog på, at problemet vil fortsætte i meget stor afstand af kysten. Lokale strømforhold i Nekselø Bugt leder til, at der ofte ses en nordgående strøm langs kysten med lav udskiftning og hvirveldannelse på dybere vand. Dette leder til, at en udledning tæt på kysten ledes mod nord til risikoområderne mens en udledning længere ude risikere at blive fanget i hvirvlerne. Disse problemer fortsætter langt ud i bugten. Resultaterne indikerer, at der først omkring 4 km fra kysten, mod åbningen mellem Nekselø og Ordrup Næs, forventes større udskiftning af vandet.

8.2 Usikkerheder og anbefalinger til mitigering

I det følgende kommenteres på robustheden af de opnåede resultater, samt oplæg til yderligere detaljering af modellen såfremt der er ønsker til dette.

Overordnet set er det konkluderet, at resultater i nærværende rapport kan anvendes til en kvalitativ vurdering af ændringer i koncentrationsniveau og påvirkningsområde. Dette skal ses i lyset af den videre anvendelse ift. vurderinger af påvirkningen af de marinbiologiske forhold og tilstanden i Nekselø Bugt generelt. Usikkerheder i forbindelse med analyser i nærværende rapport er opsummeret i det følgende:

- Der foreligger ikke detaljerede pejlinger af vanddybden i Nekselø Bugt, hvormed de lokale vanddybder er baseret på mere overordnede søkort samt estimer ud fra satellitfotos. Dette kan have betydning for de lokalt modellerede strømforhold (udbredelse) samt estimerede dybdemidlede koncentrationsniveauer.
- Der foreligger ikke vandstands- og/eller strømmmålinger til validering af de lokale strømforhold i Nekselø Bugt. Valideringen er således baseret på vandstandsmålinger ved Sjællands Odde samt regionale strømmønstre - og således ikke lokale forhold. Lokal hvirveldannelse skaber meget lokale strømmønstre, og derfor kan den aktuelle spredning af det udledte spildevand potentielt variere fra det simulerede.
- De anvendte modelleringsperioder er udvalgt så de repræsenterer eksempler på hhv. en stille periode (som primært er domineret af tidevandsforhold) og en periode med højere strøm- og vandstandsvariationer. Det er derfor sandsynligt, at der kan forekomme perioder, der er mere stille end den valgte sommerperiode og perioder med større strømhastigheder og vandstandsvariationer end den evaluerede vinterperiode. Dermed kan de viste resultater alene betragtes som indikative ift. påvirkningsområde og koncentrationsniveauer.
- Der er i modelberegningerne ikke taget hensyn til evt. lagdeling i modelområdet. Lagdeling kan potentielt påvirke de estimerede strømforhold samt koncentrationsniveauer, da der ikke sker en ensartet vertikal opblanding.

- Der er ikke inkluderet evt. henfald af N og P i løbet af simuleringsperioden. Sker der en reel omdannelse eller et henfald af næringsstofferne vil dette resultere i reducerede koncentrationsniveauer sammenlignet med de viste i nærværende rapport.

I den videre anvendelse af modelresultaterne ifm. de marinbiologiske vurderinger skal der pga. de ovenfor nævnte usikkerheder inkluderes en vis margin. Det er sandsynligt, at det faktiske gennemsnitlige og maksimale koncentrationsniveau kan være højere, og påvirkningsområderne kan være større, end de præsenterede.

Hvis de marinbiologiske vurderinger er følsomme overfor ændringer af resultaterne, kan en mere robust modellering være nødvendig. Ift. at forbedre modelgrundlaget samt sikkerheden af resultaterne kan følgende anbefales:

- Gennemføre pejlinger af Neksø Bugt således at modelberegningerne baseres på aktuelle vanddybder lokalt omkring udledningsområdet og op langs kysten.
- Gennemføre et måleprogram til validering af den opstillede model. Måleprogrammet bør inkludere tidsseriemålinger af strøm og vandstand i udvalgte punkter i Neksø Bugt.
- Gennemføre modelberegningerne for statistisk relevante perioder (forudsætter at der kan fremskaffes data til udvælgelse af disse perioder samt forceringsdata til modelberegningerne).

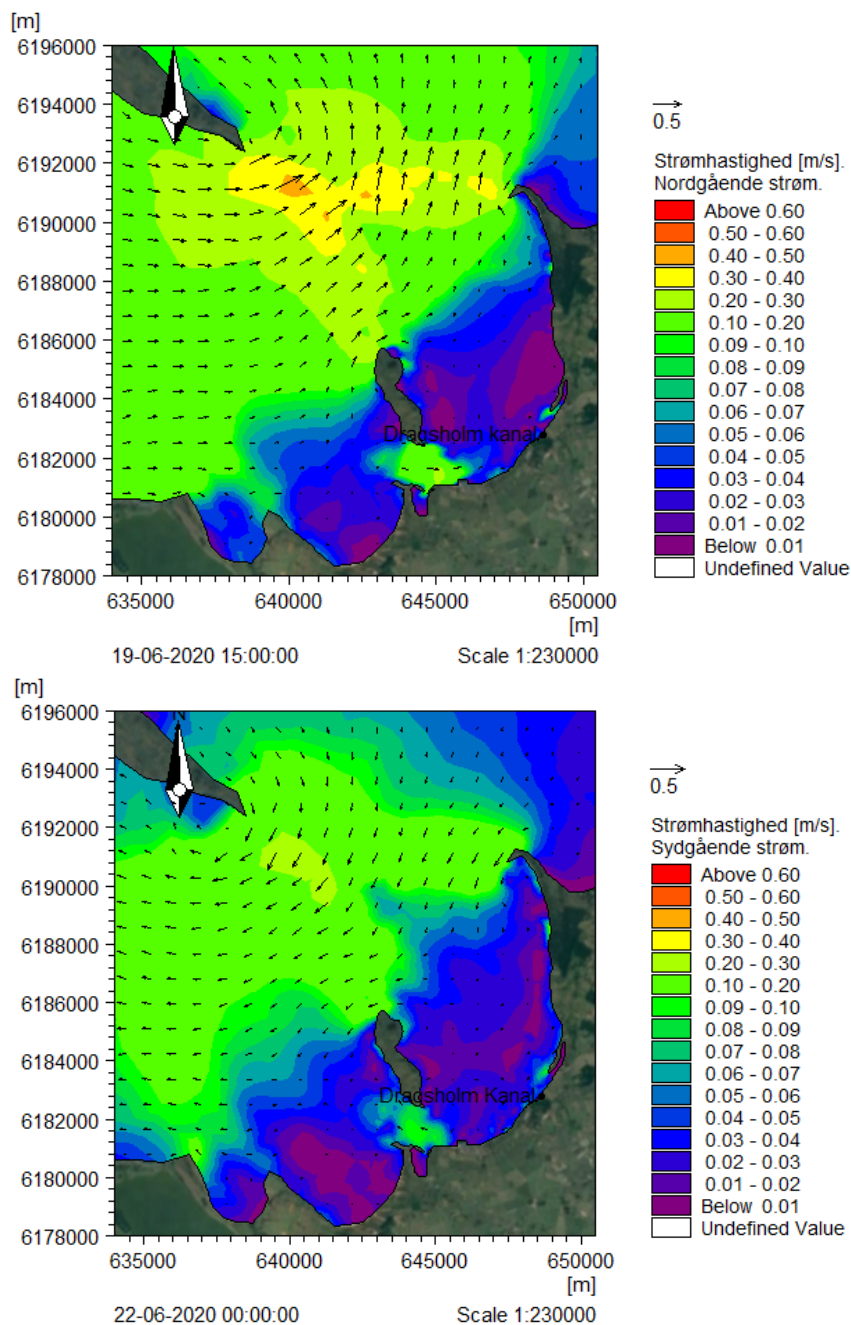
9. REFERENCER

Copernicus. (2021). Hentet fra Copernicus: <https://www.copernicus.eu/da>
DMI. (2021). Hentet fra DMI: <https://www.dmi.dk/friedata/observationer/>
Google Earth. (2021). Google Earth.
Odsherred Kommune. (2020). *Udledning til Nekselø Bugt*.
Odsherred Kommune. (2021).

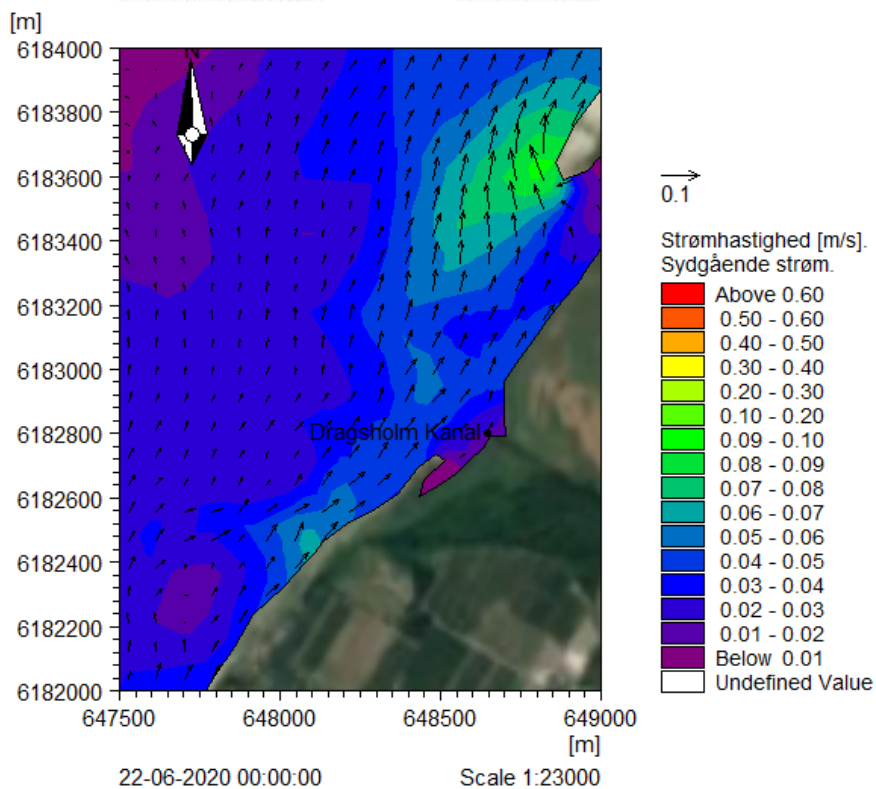
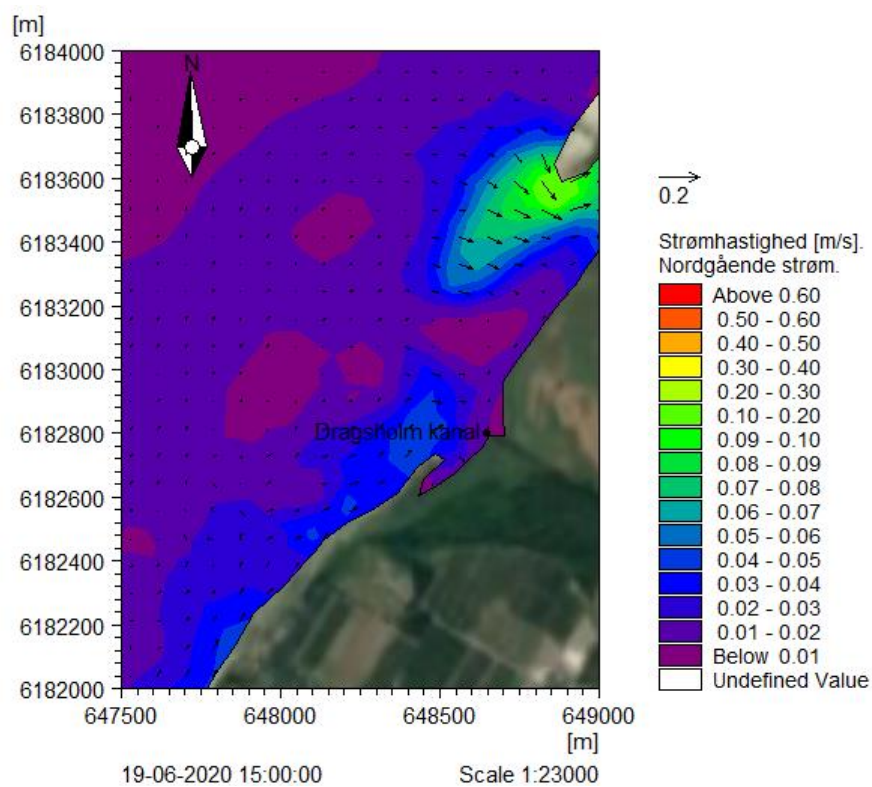
UDKAST

APPENDIX 1 UDVALGTE FIGURER I STORT FORMAT

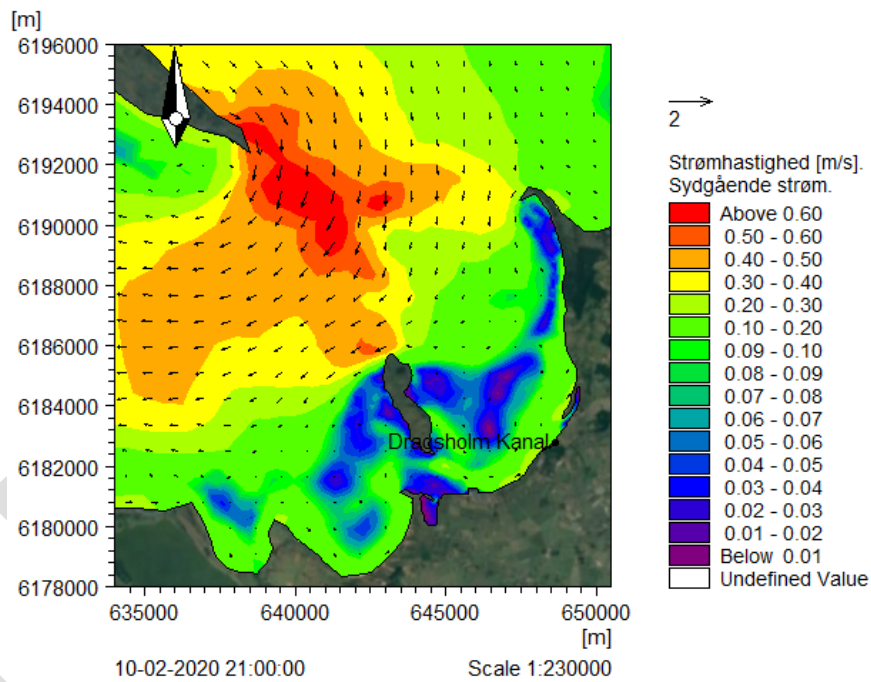
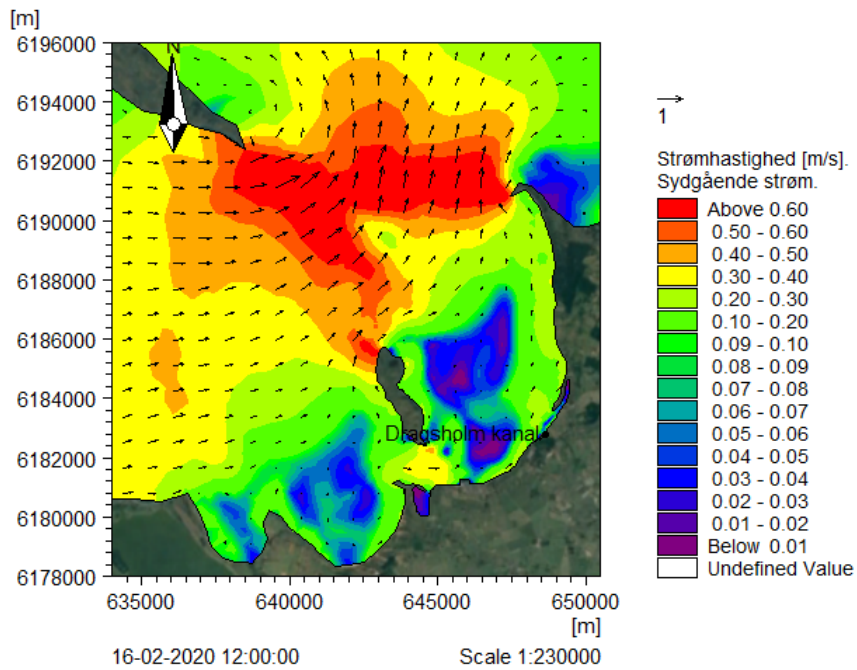
I det følgende er udvalgte figurer fra rapporten vist i stort format.



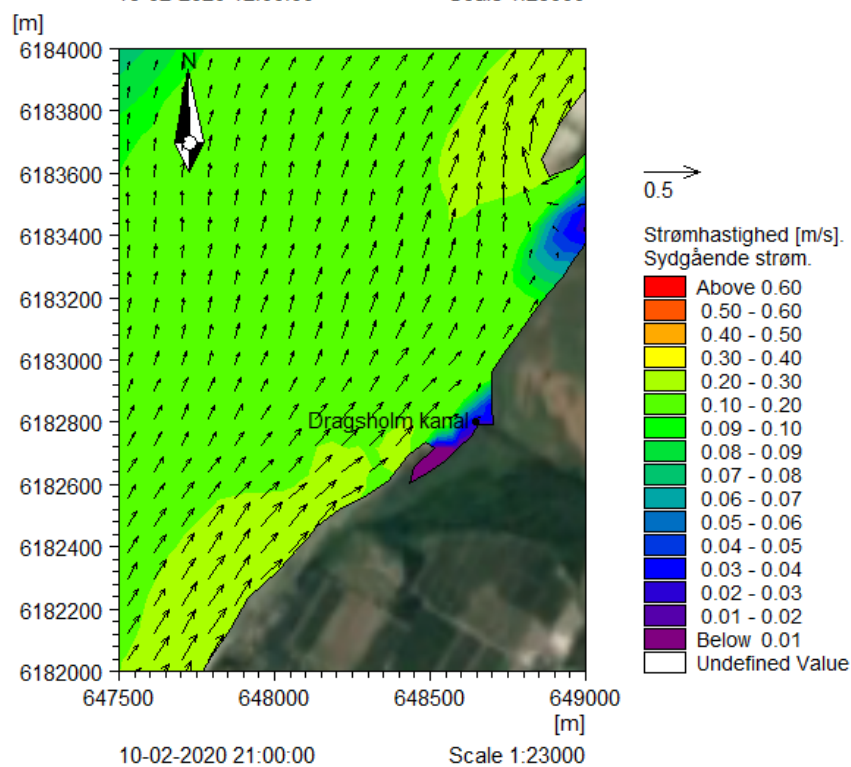
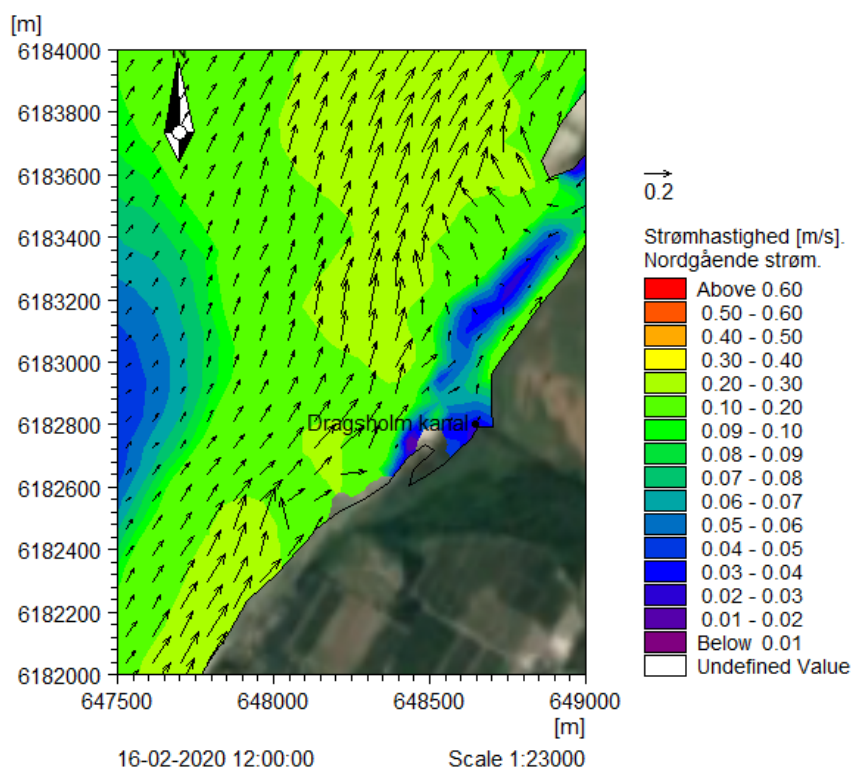
Figur 5-1: Strømfelt omkring Neksælø Bugt ved typisk nordgående strøm (øverst) og typisk sydgående strøm (nederst) i sommerperioden. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



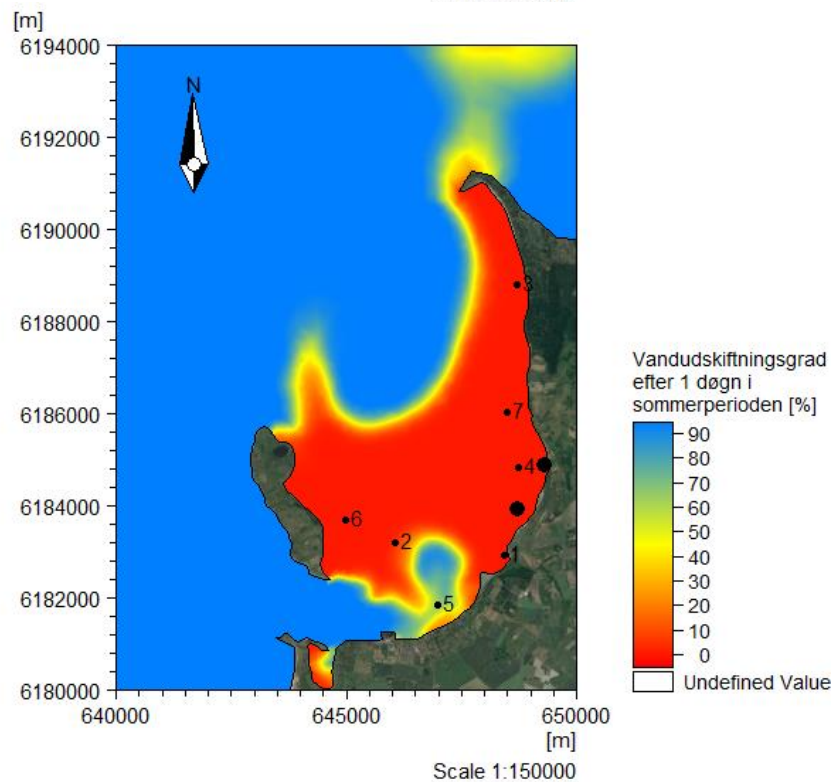
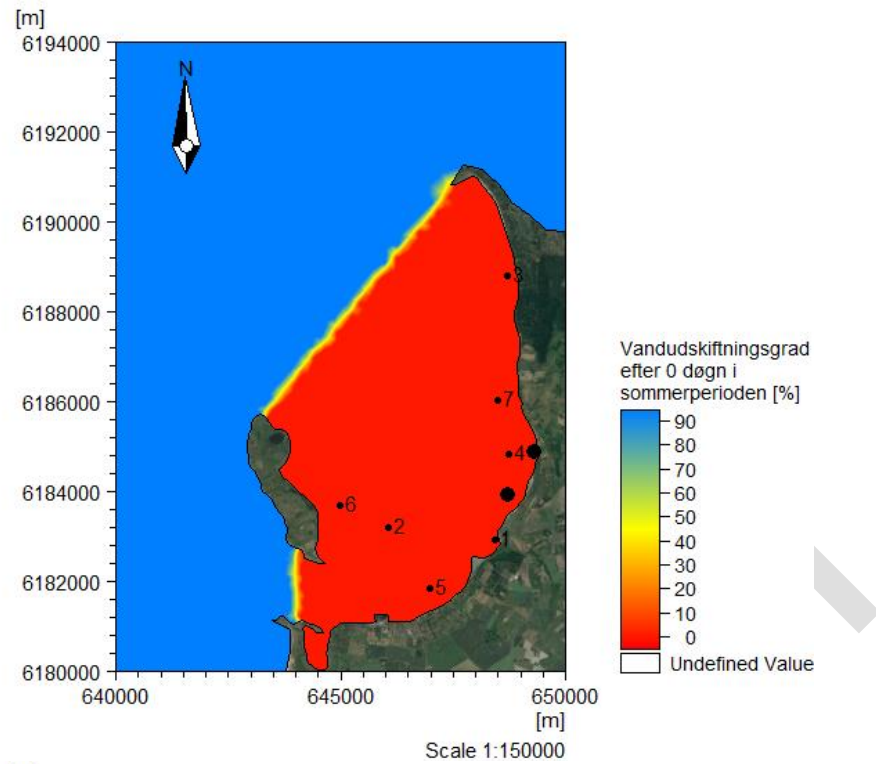
Figur 5-2: Zoom af strømfeltet omkring udledningspunktet ved typisk nordgående strøm (øverst) og typisk sydgående strøm (nederst) i sommerperioden. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



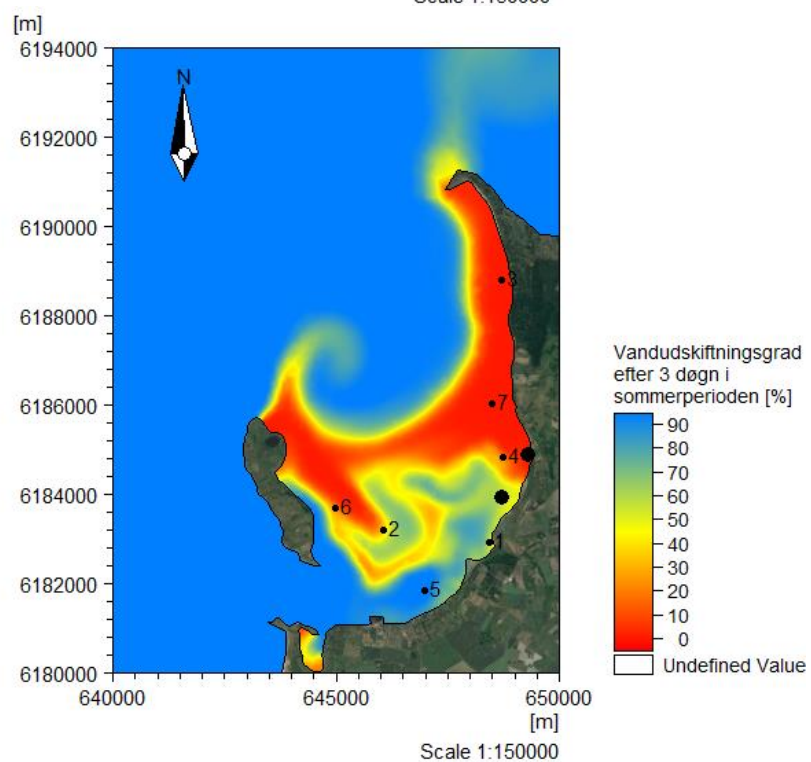
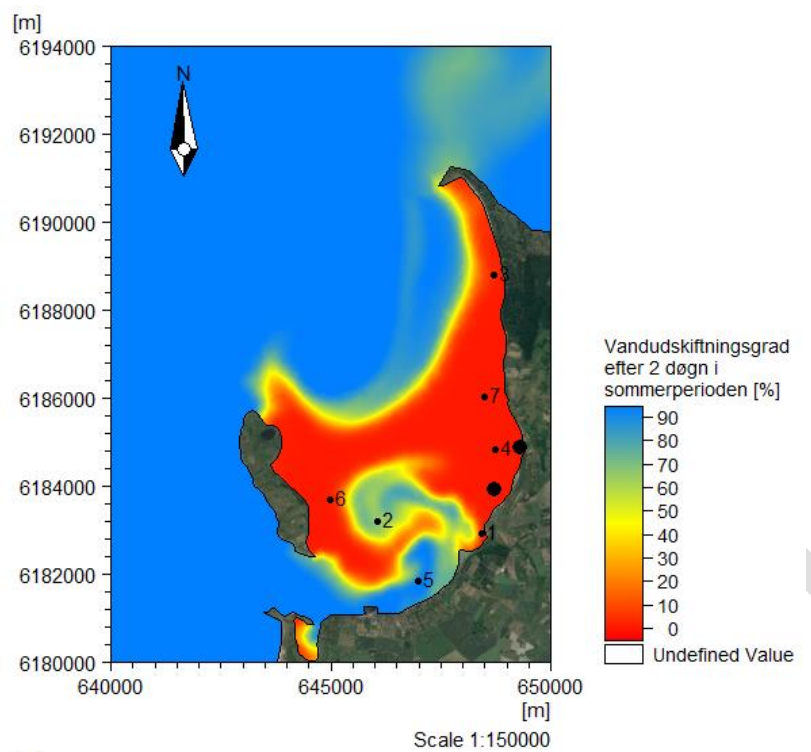
Figur 5-3: Strømfelt omkring Nekselsø Bugt ved nordgående strøm (øverst) og sydgående strøm (nederst) i vinterperioden. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



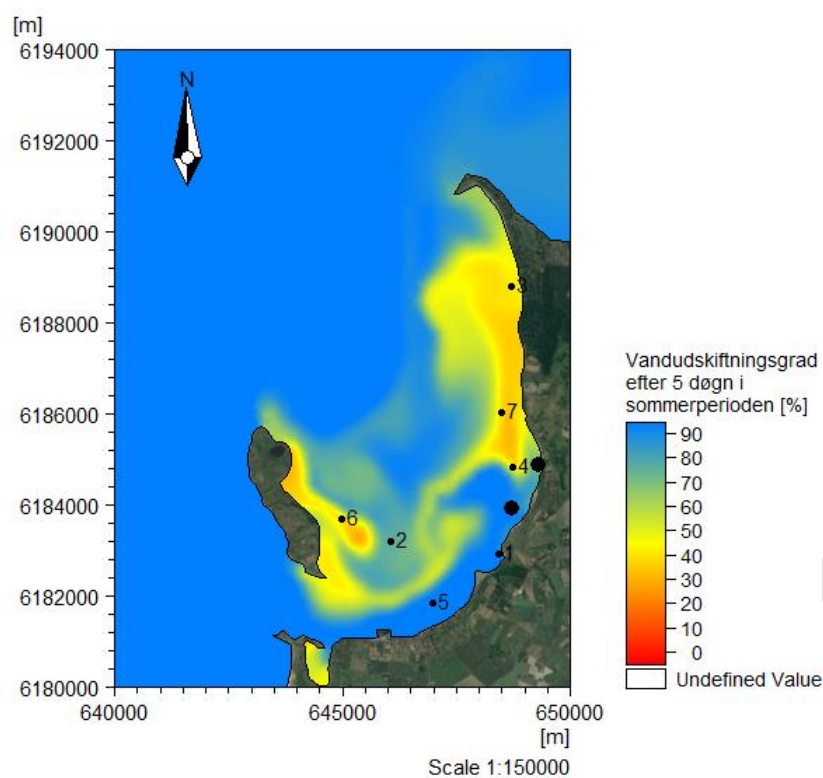
Figur 5-4: Zoom af strømfeltet omkring de tre udledningspunkter ved nordgående strøm (øverst) og sydgående strøm (nederst) i vinterperioden. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



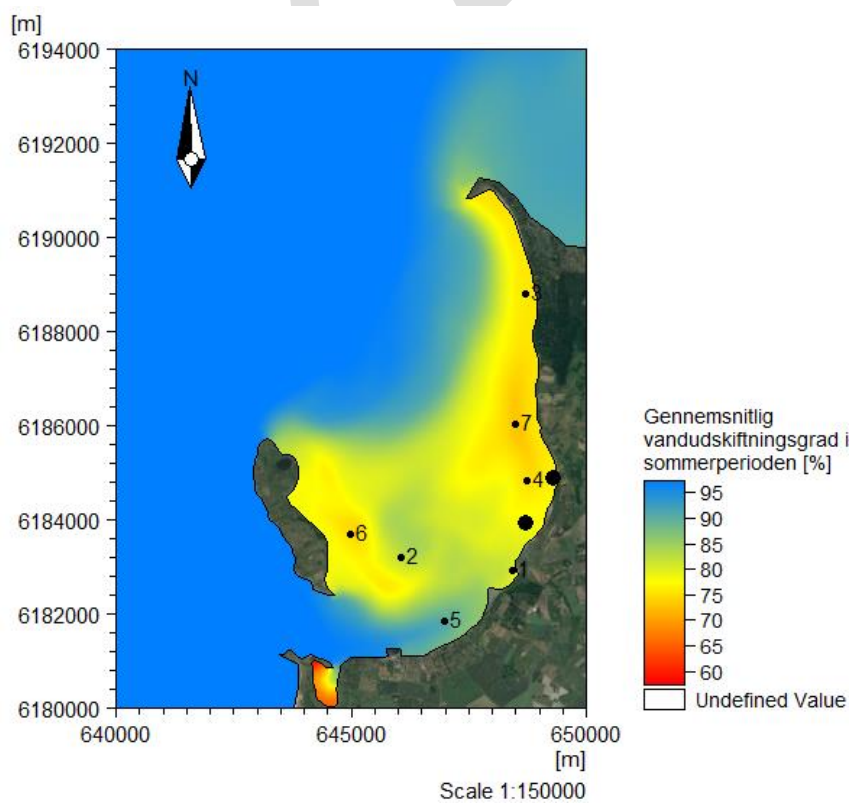
Figur 6-1: Øjeblikbilleder af vandudskiftningsgraden for en sommerperiode. Simuleringsstart (øverst) og efter 1 døgn (nederst). De 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er defineret. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



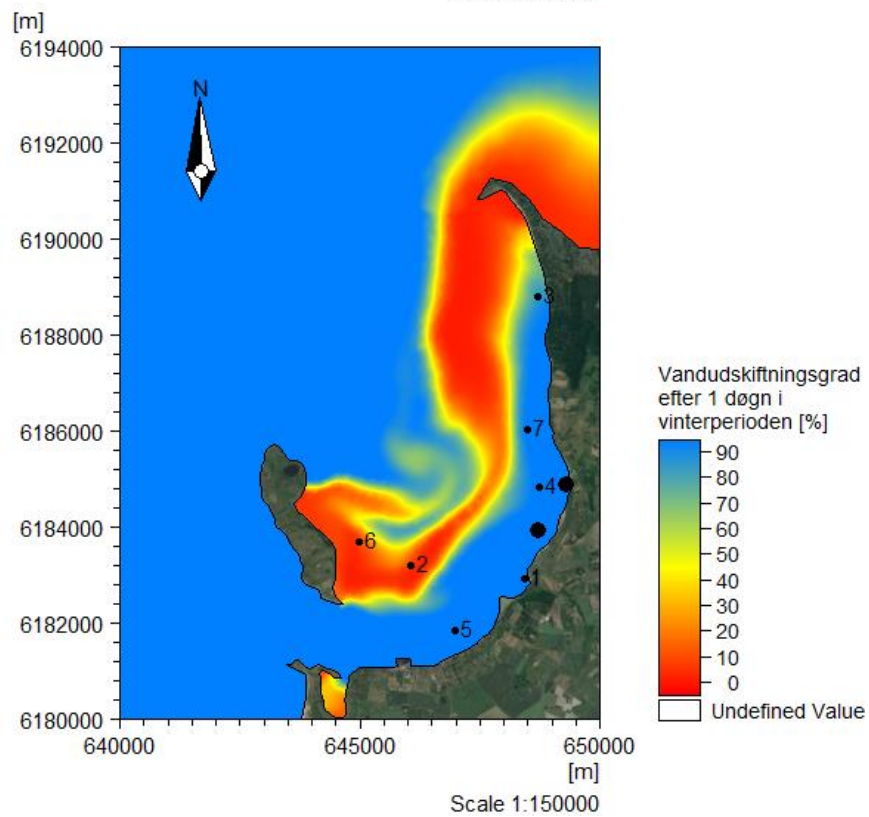
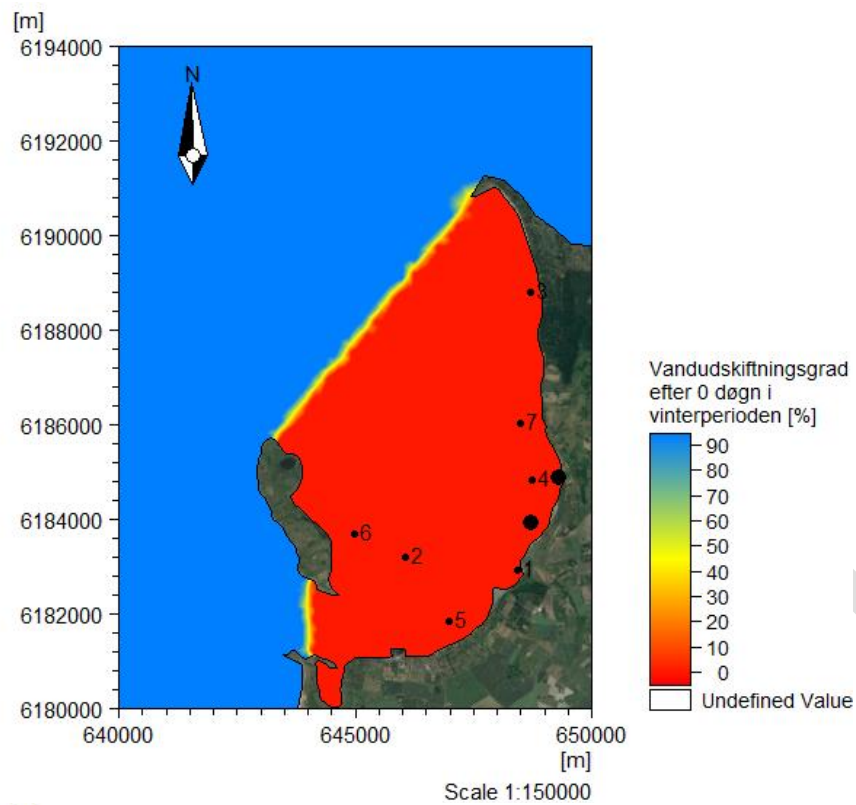
Figur 6-2: Øjebliksbilleder af vandudskiftningsgraden for en sommerperiode. Efter 2 døgn (øverst) og efter 3 døgn (nederst). De 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er defineret. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



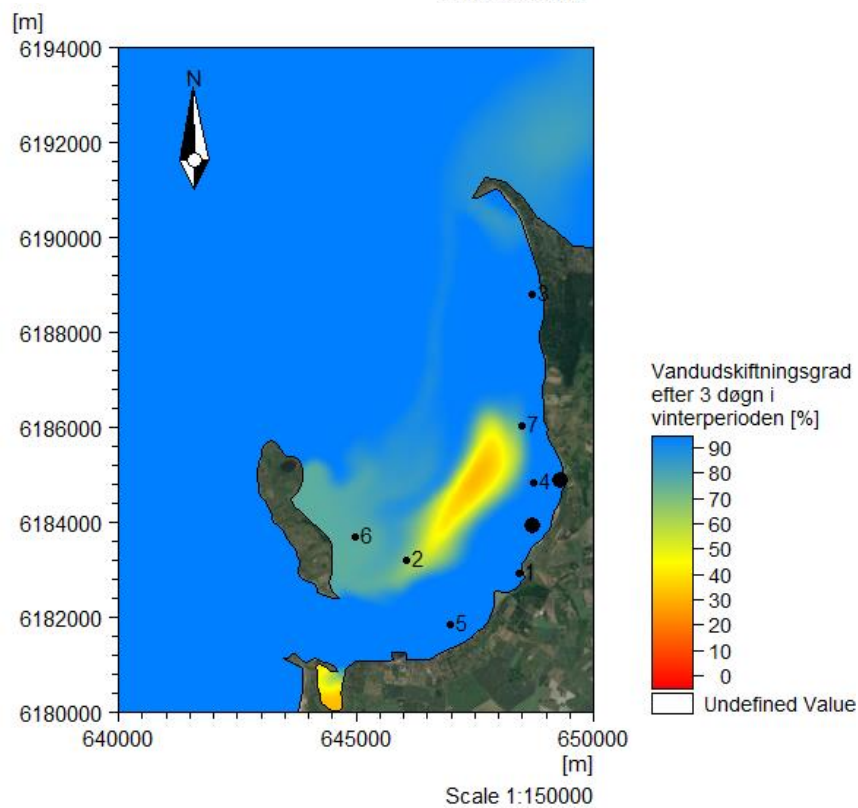
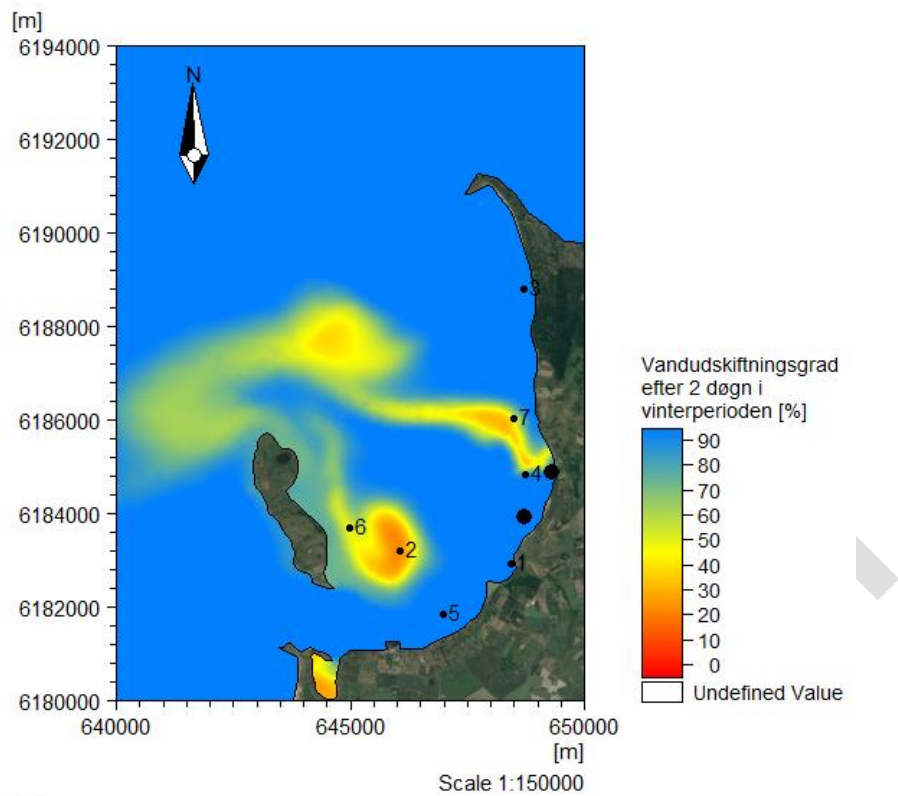
Figur 6-3: Øjebliksbilleder af vandudskiftningsgraden for en sommerperiode efter 5 døgn. De 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er defineret. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



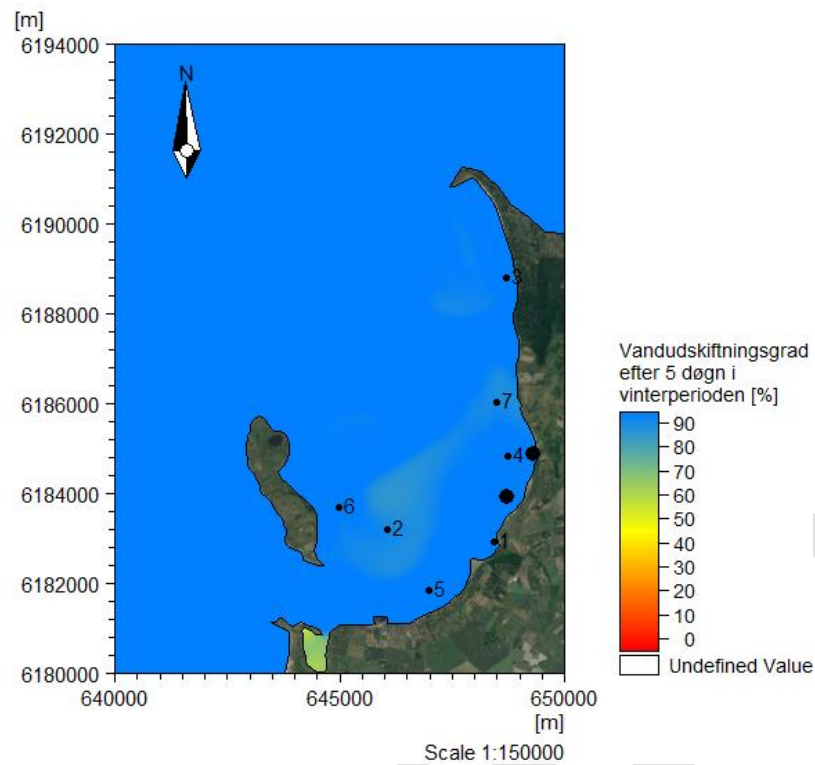
Figur 6-4: Gennemsnitlig vandudskiftningsgrad i Nekselsø Bugt for en stille sommerperiode. 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er angivet. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



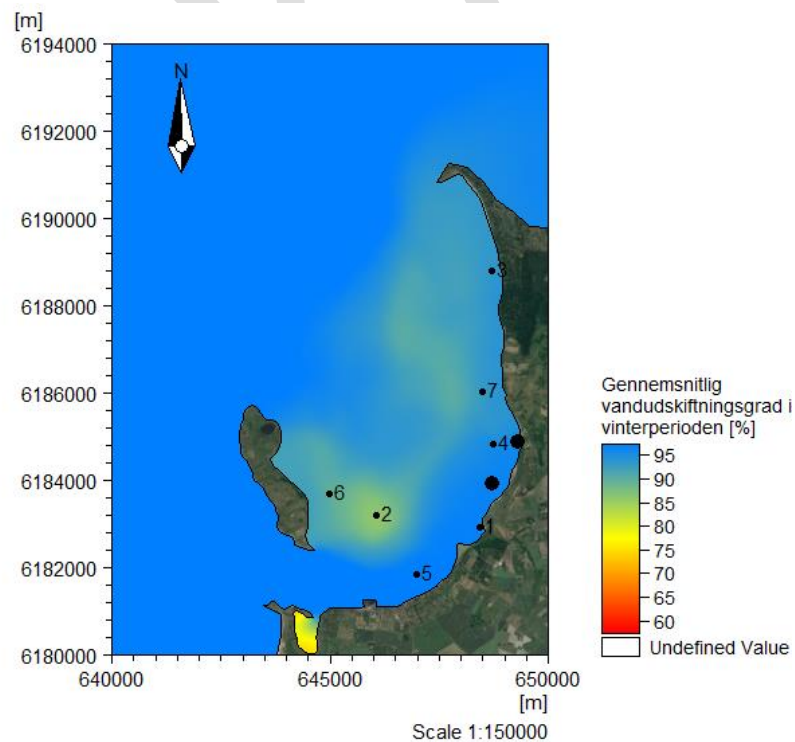
Figur 6-6: Øjeblikbilleder af vandudskiftningsgraden for en vinterperiode. Simuleringsstart (øverst) og efter 1 døgn (nederst). De 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er defineret. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



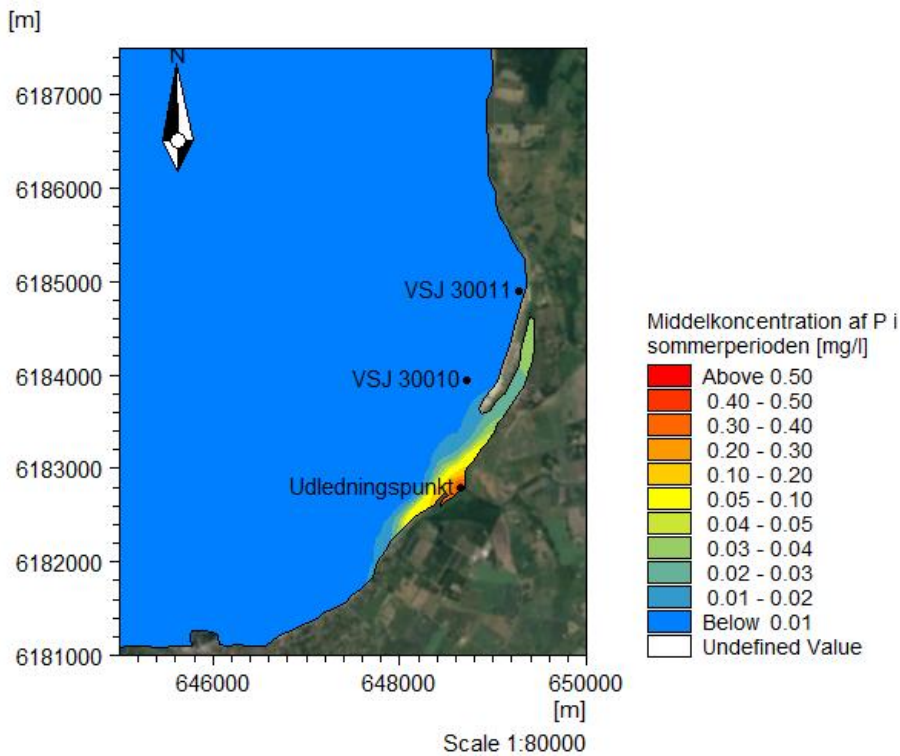
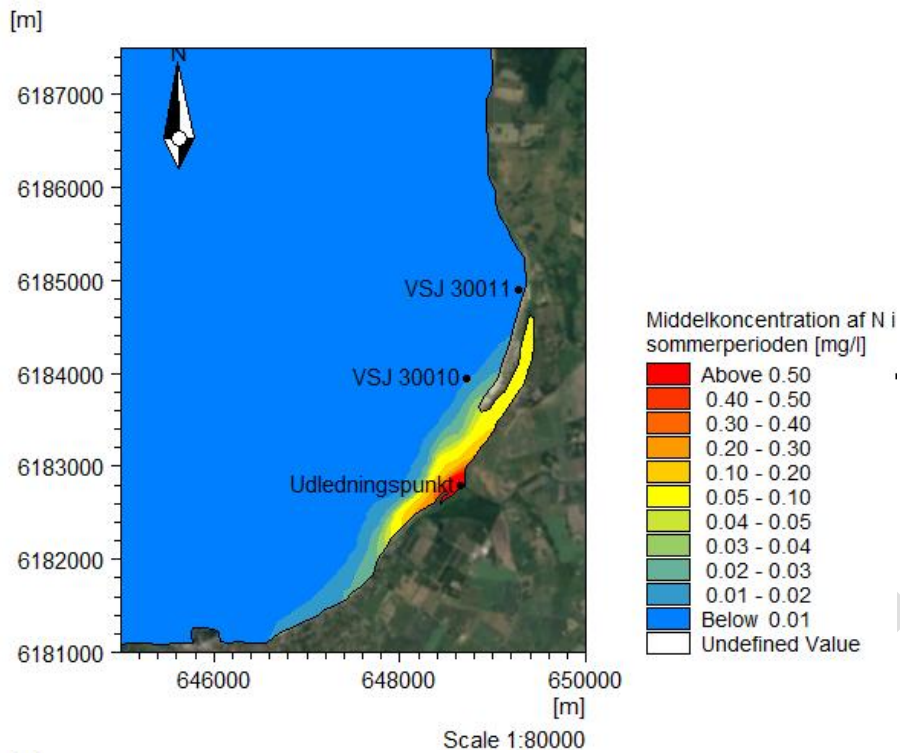
Figur 6-7: Øjeblikbilleder af vandudskiftningsgraden for en vinterperiode. Efter 2 døgn (øverst) og efter 3 døgn (nederst). De 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er defineret. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



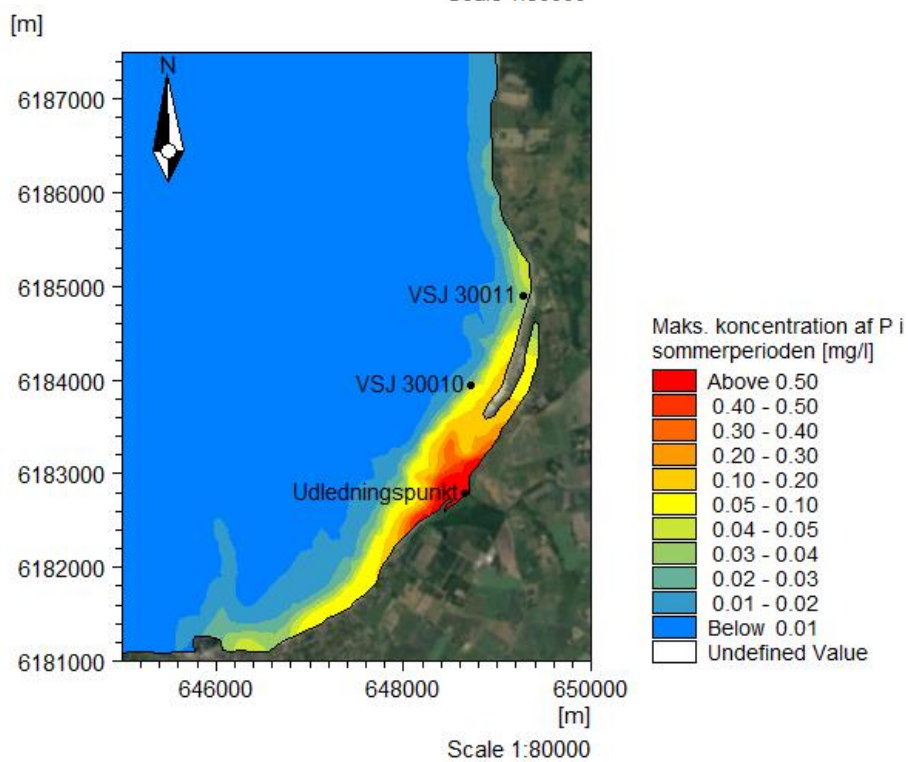
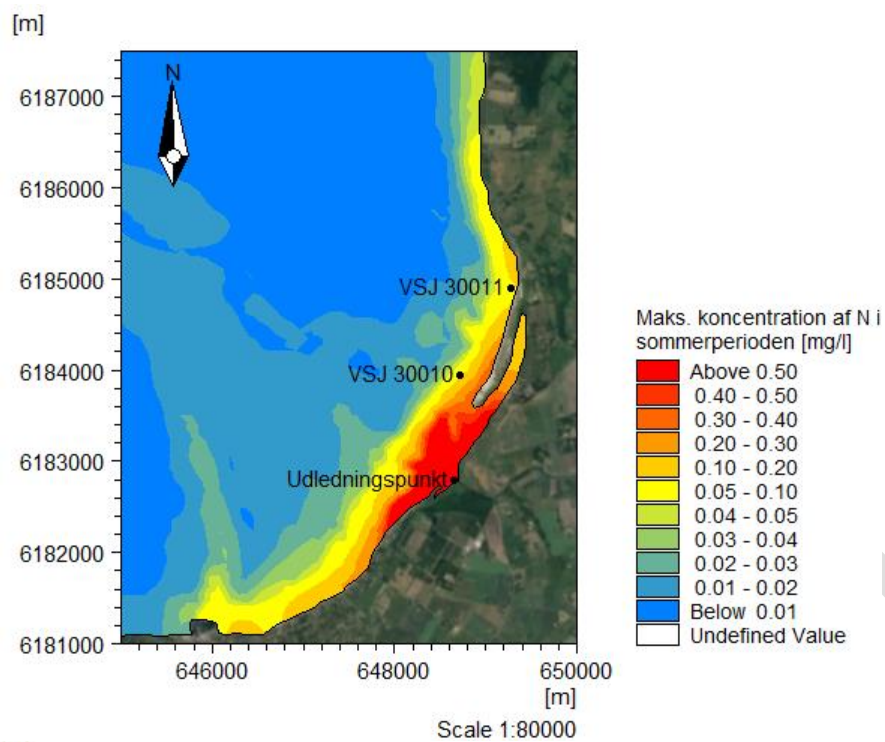
Figur 6-8: Øjeblikksbilleder af vandudskiftningsgraden for en vinterperiode efter 5 døgn. De 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er defineret. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



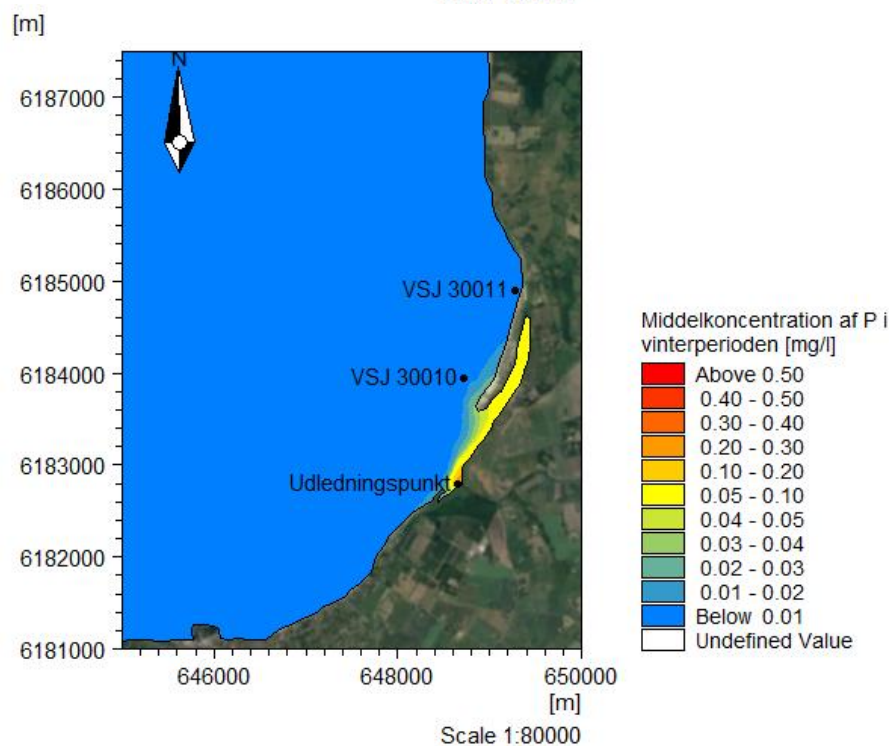
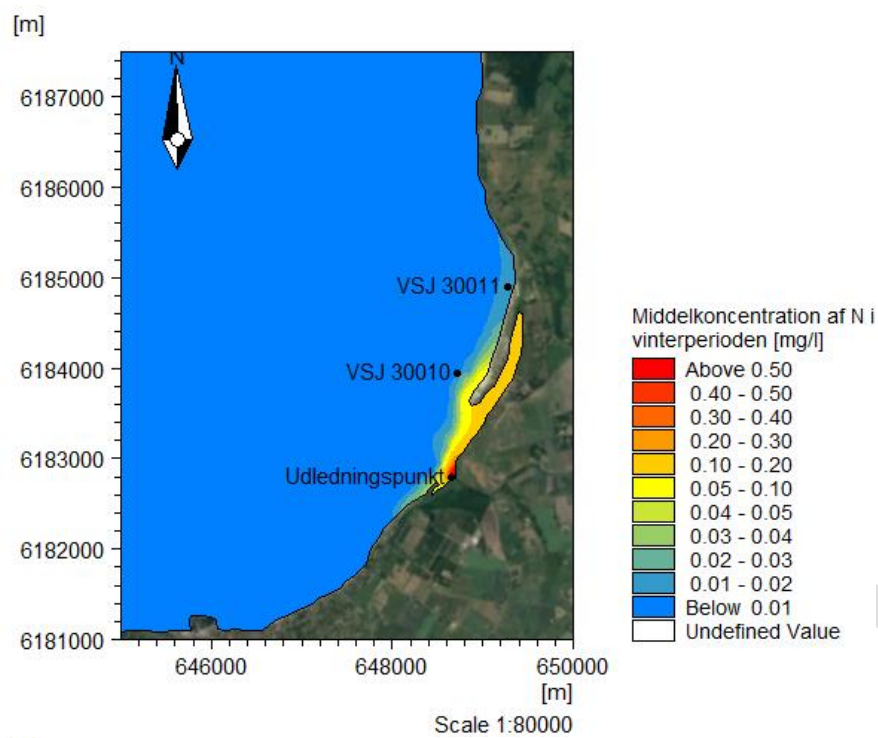
Figur 6-9: Gennemsnitlig vandudskiftningsgrad i Nekselsø Bugt for en vinterperiode. 7 punkter, hvor tidsserier er hentet ud, er angivet. De to ålegræsområder er markeret med større sorte prikker end punkterne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



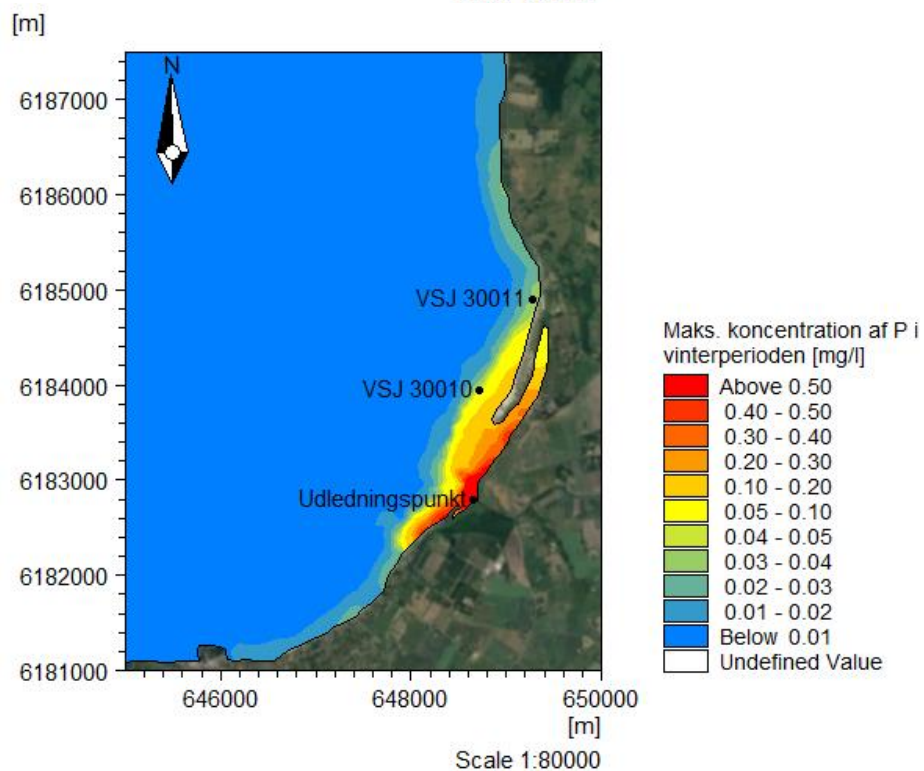
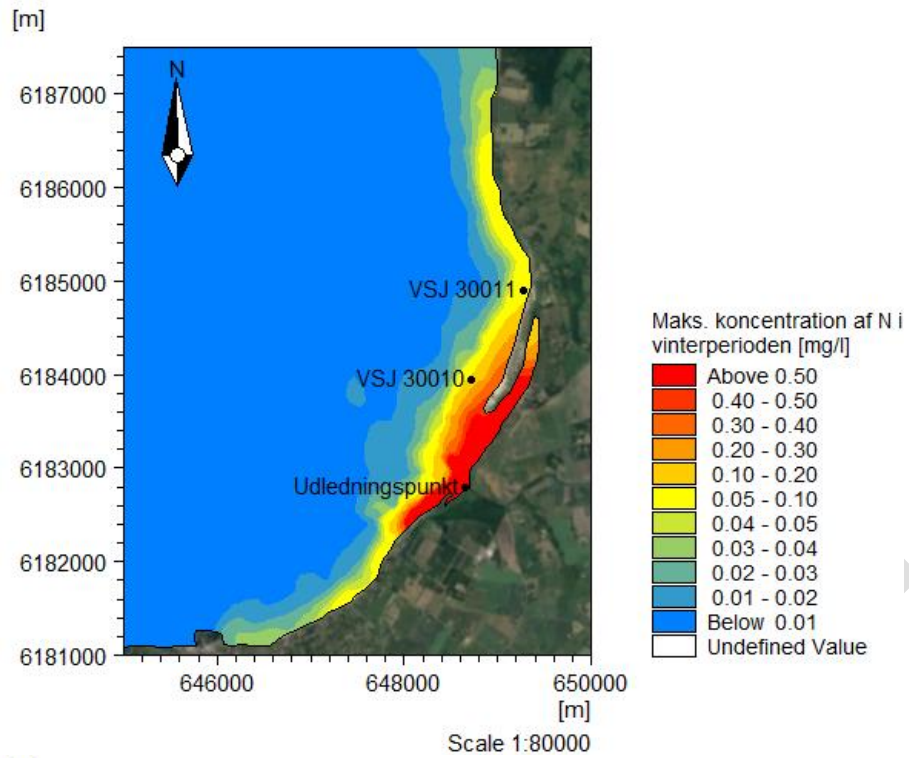
Figur 7-1: Ændring af middelkoncentration af N (øverst) og P (nederst) som følge af udledning af rensset spildevand via Dragsholm Kanal for en sommerperiode. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



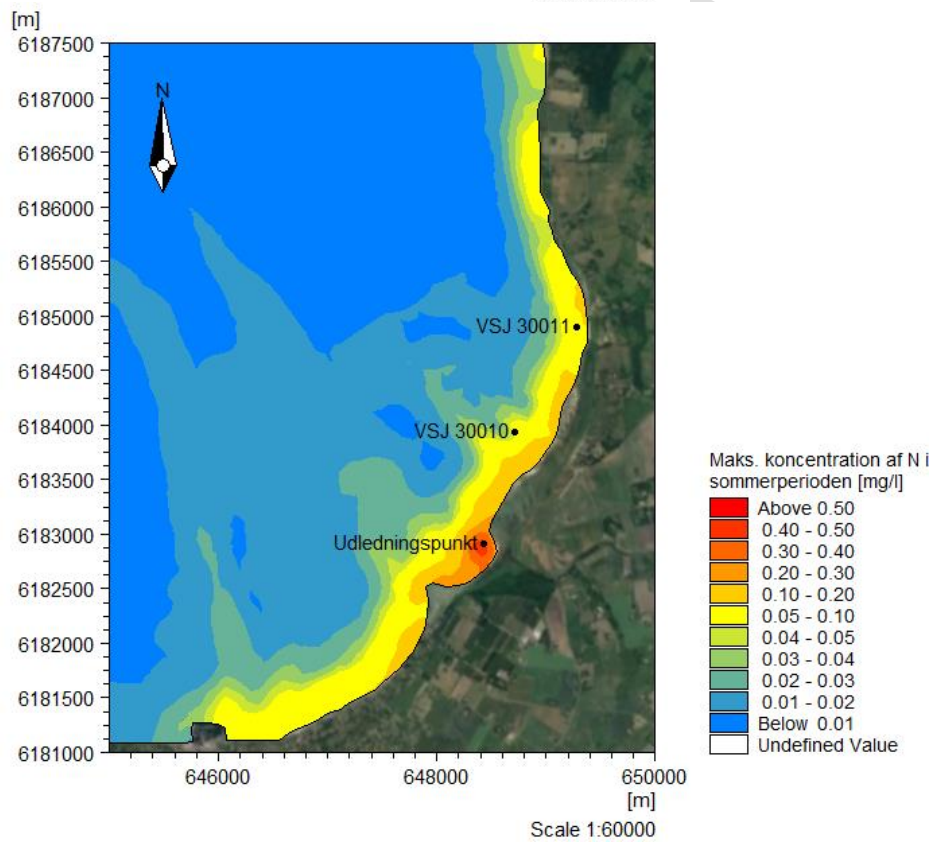
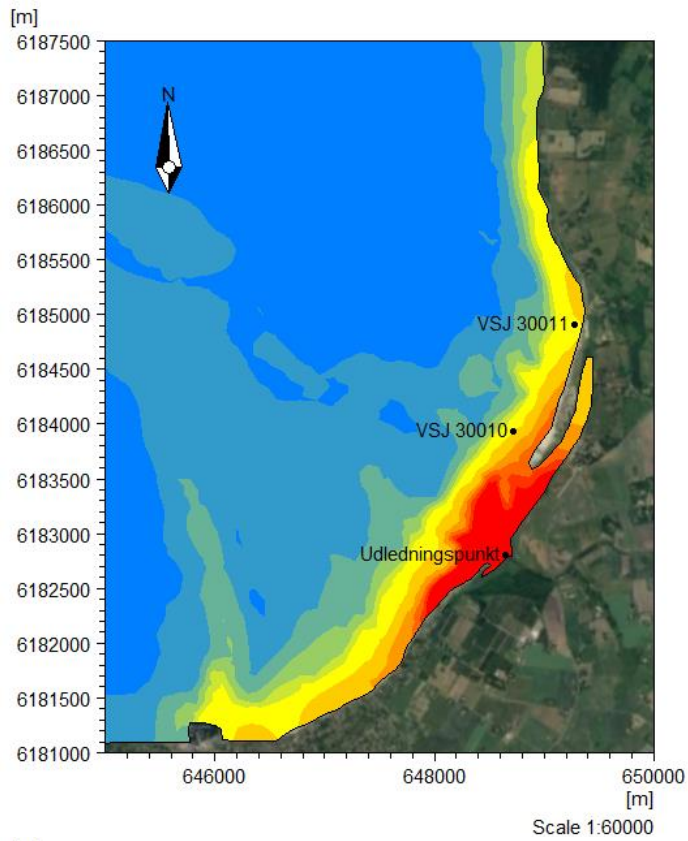
Figur 7-2: Ændring af maksimal koncentration af N (øverst) og P (nederst) som følge af udledning af rensede spildevand via Dragsholm Kanal for en sommerperiode. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



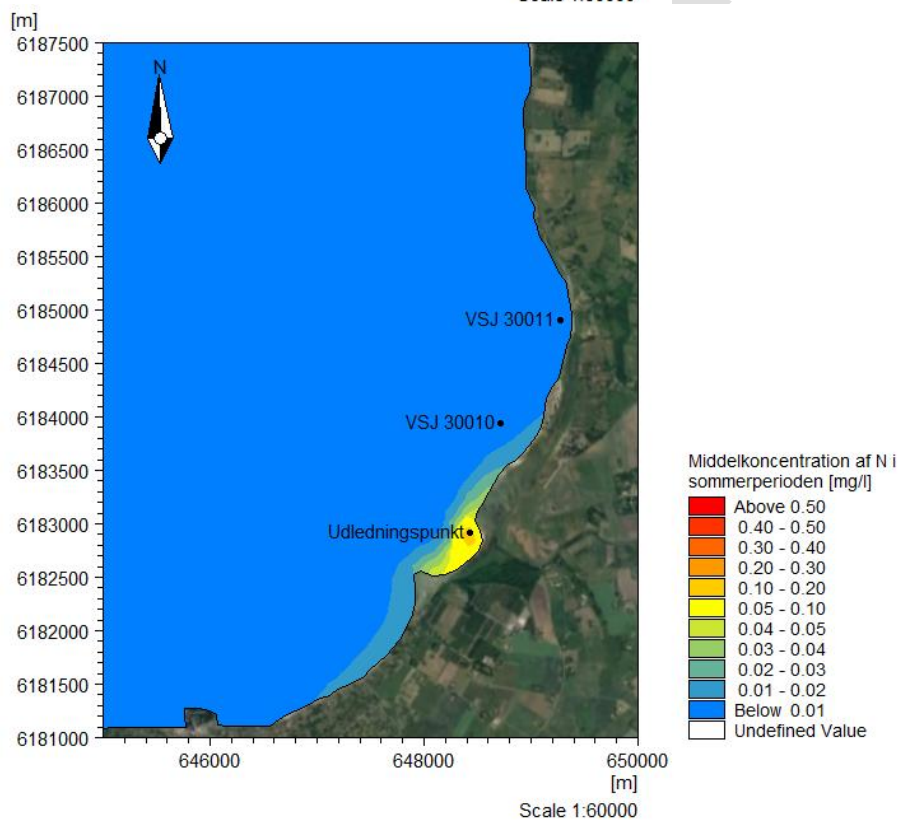
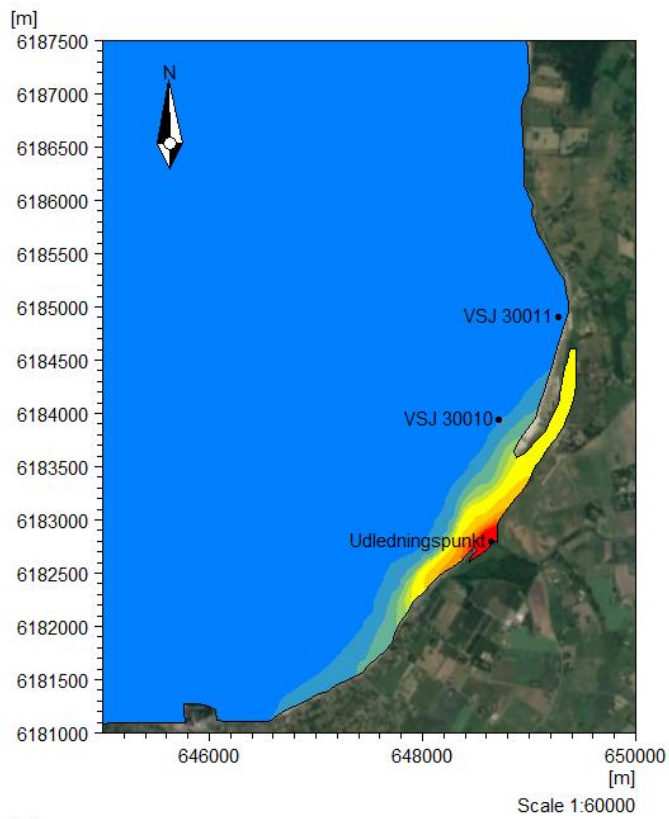
Figur 7-3: Ændring af middelmiddelt koncentration af N (øverst) og P (nederst) som følge af udledning af rensset spildevand via Dragsholm Kanal for en vinterperiode. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



Figur 7-4: Ændring af maksimal koncentration af N (øverst) og P (nederst) som følge af udledning af rensset spildevand via Dragsholm Kanal for en vinterperiode. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2021].



Figur 7-6: Sammenligning af simulerede maksimale koncentrationer af N i hovedsimuleringen (øverst) og følsomhedssimuleringen (nederst). Baggrundsbilledet er fra (Google Earth, 2021).



Figur 7-7: Sammenligning af simulerede gennemsnitskoncentrationer af N i hovedsimuleringen (venstre) og følsomhedssimuleringen (højre). Baggrundbilledet er fra (Google Earth, 2021).