

Til
Sund & Bælt Holding A/S

Dokumenttype
Rapport

Dato
August 2024

STORMFLODSSIKRING VED KALVEBODERNE

Indledende vurdering af påvirkninger af vandudskiftning,
natur og miljø for forskellige løsninger af stormflodssikring



STORMFLODSSIKRING VED KALVEBODERNE

Indledende vurdering af påvirkninger af vandudskiftning, natur og miljø for forskellige løsninger af stormflodssikring

Projektnavn **Stormflodssikring af hovedstaden**
Projekt nr. **1100055786-004**
Modtager **Sund & Bælt Holding A/S**
Dokumenttype **Rapport**
Version **2**
Dato **23. august 2024**
Udarbejdet af **JAK/JQHN/PEDA**
Kontrolleret af **MSKV/OG**
Godkendt af **MBMJ**

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	BAGGRUND	4
1.1	Introduktion	4
1.2	Tidligere studier	4
1.3	Formål og indhold i supplerende analyser	6
2	EKSISTERENDE HYDRAULISKE FORHOLD I KØBENHAVNS HAVN SØOMRÅDE OG I KALVEBODERNE	7
2.1	Drivende hydrauliske forhold igennem Københavns Havn og Kalveboderne	8
2.1.1	Stigbordene som begrænsende konstruktion	8
2.1.2	Vandstandsforhold i Københavns Havn, Køge Bugt og Øresund	9
2.1.3	Vandstandsforhold og strømforhold ved Stigbordene	11
2.1.4	Vandføring ved Harrestrup Å	12
2.2	Lokale vindforhold	13
2.3	Salinitetsforhold	15
2.4	Forventede effekter som følge af klimaændringer	16
3	EKSISTERENDE NATUR- OG MILJØFORHOLD	17
3.1	Vandkvalitet jf. Vandplaner	18
3.2	Badevandskvalitet	21
3.3	Havbiologisk baselineundersøgelse	21
3.4	Natura 2000: N143 "Vestamager og havet syd for"	25
3.4.1	Kortlægninger af marine naturtyper	25
3.4.2	Udpegningsgrundlaget	28
3.4.3	Områdets overordnede bevaringsmålsætninger	28
3.4.4	Konkrete målsætninger	28
4	BESKRIVELSE AF ANALYSESCENARIER	30
4.1	Modelopsætningen	30
4.2	Løsningsgeometri for stormflodssikringen	30
4.2.1	Planlagt stormflodssikring ved Kalveboderne	30
4.2.2	Planlagt stormflodssikring i Kronløbet	32
4.3	Modelforcering og hydrodynamiske modelscenarier	33
4.4	Undersøgte hydrodynamiske scenarier ift. baseline og løsningstyper for stormflodssikring	36
4.4.1	Baseline	36
4.4.2	Forcerende hydrodynamiske scenarie	36
5	PRÆSENTATION AF MODELRESULTATER	38
5.1	Resultatindikatorer ift. strømforhold og salinitet	38
5.1.1	Strømhastigheder	39
5.1.2	Salinitet	39
5.2	Modelresultater for Løsningstype B1	39
5.2.1	Modelleret påvirkning af strømforhold	39
5.2.2	Modelleret påvirkning af salinitet	44
5.3	Modelresultater for Løsningstype B2	49
5.3.1	Modelleret påvirkning af strømforhold	49
5.3.2	Modelleret påvirkning af salinitet	51
5.4	Modelresultater for Løsningstype B3	54
5.4.1	Modelleret påvirkning af strømforhold	54

5.4.2	Modelleret påvirkning af salinitet	56
5.5	Opsummering af modelresultater	60
6	VURDERING AF POTENTIELLE PÅVIRKNINGER GRUNDET STORMFLODSSIKRING	62
6.1	Strømforhold og vandudskiftning	62
6.2	Vandudskiftningens betydning for opfyldelse af vandområdeplanerne	63
6.3	Vandudskiftningens betydning for Natura 2000: N143 "Vestamager og havet syd for"	63
6.4	Løsningstypernes påvirkning på natur og miljø	64
6.4.1	Løsningstype B1, variant A	64
6.4.2	Løsningstype B1, variant B	65
6.4.3	Løsningstype B2	66
6.4.4	Løsningstype B3, variant A	66
6.4.5	Løsningstype B3, variant B	66
6.5	Sammenfatning af vurderinger	66
7	DISKUSSION OG ANBEFALINGER TIL VIDERE STUDIER	68
	REFERENCER	70
A.	BILAG VEDR. NATUR OG MILJØFORHOLD	72
A1.	Måledata vedr. Kemisk tilstand, Nordlige Øresund	72
A2.	Prøvedata vedr. Miljøfarlige stoffer i muslinger i Kalveboderne	73
A3.	Måledata vedr. Badevandskvalitet	74
A4.	Måledata vedr. Vandkemi i Harrestrup Å, Damhusåen Målestation	75
A5.	Måledata vedr. Miljøfarlige stoffer i Harrestrup Å, Damhusåen Målestation	76
A6.	Vurderingskriterier	77
A6.1	Miljøemnets sårbarhed	77
A6.2	Geografisk udbredelse af miljøpåvirkningen	77
A6.3	Intensitet af miljøpåvirkningen	77
A6.4	Varighed af miljøpåvirkningen	78
A6.5	Samlet sandsynlig påvirkning på miljøet	78
B.	BILAG VEDR. HYDRODYNAMISK MODELLERING	80
B1.	Beskrivelse af modelopsætning og -domæne	80
B1.1.	Modeldomæne og vanddybder	80
B1.2.	Modeldiskretisering	82
B1.3.	Modelforcering	85
B2.	Kalibrering og validering af model	86
B2.1.	Modelkalibrering	86
B2.2.	Modelvalidering	88
B3.	Resultater for udvalgte følsomhedssimuleringer	91
B3.1.	Følsomheder overfor modelforudsætning for vandføring i Harrestrup Å	91
B3.2.	Følsomheder overfor modelforudsætninger for ændrede middel havniveau	94
B3.3.	Følsomheder overfor modelforudsætning for vertikal opblanding i modellen	98
B3.4.	Følsomheder overfor modelforudsætning for tilstedeværelsen af en højvandsport ved Kronløbet	101

1 BAGGRUND

1.1 Introduktion

I forbindelse med forundersøgelsen af stormflodssikring af København er der som et led i delundersøgelse 2: Teknik, Miljø og Anlægsøkonomi (TMA) udført supplerende undersøgelser med henblik på at vurdere påvirkninger af vandudskiftningen, natur- og miljøforhold for forskellige løsninger for stormflodssikring ved delstrækning 2: Kalveboderne (Rambøll, 2024).

Denne rapport er et supplement til forundersøgelserne for Teknik, Miljø og Anlægsøkonomi og udgør grundlaget for yderligere at kunne præcisere løsningsmulighederne for stormflodssikring ved Kalveboderne.

Rapporten bygger videre på anbefalingerne fra forudsætningsnotatet vedr. behovet for at gennemføre supplerende hydrauliske analyser under forskellige hydrodynamiske forhold (Rambøll, 2023). Det overordnede formål er at afdække, hvordan vandgennemstrømningen påvirkes ved reduceret åbningsbredde i henholdsvis Kalvebodløbet og Sorterenden for indledningsvist at kunne identificere det overordnede løsningsrum, herunder behovet for "en eller flere højvandsporte" og dermed gennemstrømning i begge nuværende løb. Rapporten beskriver det hydrauliske fundament, der har som formål at styrke grundlaget til vurdering af potentielle natur- og miljøpåvirkninger i Kalveboderne.

Den hydrauliske modellering søger således at belyse, hvordan vandudskiftningen påvirkes ved etablering af stormflodssikring i Kalvebodløbet og Sorterenden. Studiet er en screeningsanalyse, der på et overordnet plan skal differentiere natur- og miljøpåvirkningerne af de forskellige løsningsmuligheder. Arbejdet danner dermed ikke grundlaget for videre arbejde iht. national og international lovgivning som eksempelvis en miljøkonsekvensvurdering gør.

Mere detaljerede og dybdegående analyser og vurderinger må påregnes ifm. en senere miljøkonsekvensvurdering og projektering af stormflodsbeskyttelse.

Hensigten er således at gennemføre en indledende screening af indvirkningen fra de forskellige løsningstyper for stormflodssikring med henblik på at vurdere, hvilken løsningstype der vil være mest realistisk at inkludere ifm. anlægsoverslag i forundersøgelsen 'Stormflodssikring af København', ref. (Transportministeriet, 2022)

1.2 Tidligere studier

På baggrund af tidligere gennemførte vurderinger af (COWI, 2020) og (DHI, 2021) er det ud fra en samlet teknisk, miljømæssig og marinbiologisk vurdering anbefalet at arbejde videre med en stormflodssikring ved Kalveboderne med højvandsporte, hvortil der arbejdes med to overordnede løsningsmuligheder:

- **Løsningstype 1:** Højvandsporte i Sorterenden og i Kalvebodløbet.
- **Løsningstype 2:** Dæmningskonstruktion i Sorterenden og højvandsport i Kalvebodløbet, evt. med varianter, der sikrer øget vandudskiftning via Sorterenden.

Den forventede linjeføring for stormflodssikringen er vist i Figur 1-1. Motivationen er at undersøge om det er muligt at arbejde videre med en løsning, hvor der udelukkende etableres port i Kalvebodløbet kombineret med en dæmningskonstruktion i Sorterenden (Løsningstype 2) - fremfor etablering af porte i både Kalvebodløbet samt Sorterenden (Løsningstype 1). Dette vil medføre en væsentlig besparelse i anlægsomkostninger, jf. (COWI, 2020).



Figur 1-1: Linjeføring af stormflodssikring med hhv. to porte (Løsningstype 1) og én port i Kalvebodløbet og en dæmningskonstruktion i Sorterenden (Løsningstype 2). Der er tale om et eksempel, og således er det af mindre betydning, hvorvidt der etableres én eller flere porte i Kalvebodløbet og Sorterenden samt bredden af disse (COWI, 2020).

Tidligere er det konkluderet, at omkostningerne til højvandsporte udgør 70 – 90 % af de samlede omkostninger til stormflodssikringen på delstrækningen, mens omkostningerne til dæmninger til sammenligning er relativt beskedne (COWI, 2020). Således er det ift. anlægsomkostninger ikke uvæsentligt, hvorvidt der etableres porte i både Kalvebodløbet og Sorterenden.

Baseret på tidligere modelanalyser præsenteret i (DHI, 2021) er det konkluderet, at specielt en dæmningskonstruktion placeret i Sorterenden (svarende til Løsningstype 2) vil reducere strømhastighederne samt vandskiftet lokalt i Kalveboderne. Dog er det ikke tidligere vurderet, hvilken miljømæssig påvirkning de ændrede hydrauliske forhold kan have på de aktuelle miljøparametre i Kalveboderne. Det er derfor tidligere foreslået (COWI, 2020) at gennemføre en indledende vurdering af stormflodssikringens påvirkning af miljøforhold i Kalveboderne og evt. mulighed for reduktion af påvirkningen ved at optimere på løsningstyperne. Desuden er det tidligere foreslået at analysere nærmere på vandkvalitet og badevandskvalitet samt at inkludere hensynet til potentielle påvirkninger fra fremtidige vandstandsstigninger.

Kalveboderne er en del af Natura 2000-området nummer 143 "Vestamager og havet syd for". Sammenfattende er det i (Rambøll, 2023) vurderet, at der mangler viden om påvirkningen fra Harrestrup Å på miljøtilstanden i Kalveboderne - og herunder hvilken betydning de foreslåede løsningstyper for stormflodsbeskyttelsen kan have herpå.

Hvorvidt en reduceret vandudskiftning kan medføre en væsentlig påvirkning af Natura 2000-området i Kalveboderne samt en forringelse af vandkvaliteten, afhænger af den øgede opholdstid af vandet fra Harrestrup Å, der kan medføre større næringsstofbelastninger, ændrede salinitetsforhold og iltforhold samt muligvis større følsomhed over for effekter af skybrud. Derudover vil vandkvaliteten også kunne påvirkes med længere opholdstider af tarmbakterier og miljøfarlige stoffer. Det kan derfor være fordelagtigt at undersøge vandudskiftningens påvirkning af saliniteten ved Kalveboderne, da dette er en indikator for, hvor meget tilstrømningen fra Harrestrup Å betyder i forhold til den nedsatte vandudskiftning.

Med henblik på at øge grundlaget for vurderingen af de forskellige overordnede løsningstyper for stormflodssikringens umiddelbare påvirkning af miljøforhold er det i (Rambøll, 2023) anbefalet at supplere eksisterende viden med flere modelberegninger, herunder også for eventuelle varianter af Løsningstype 2 ift. en optimering af løsningstypen. Det anbefales at inkludere vurderinger af påvirkninger af både vandskiftet samt salinitet. Hertil er saliniteten en indirekte indikator for forholdet imellem ferskvandstilførsel og tilførsel af marint, saltholdigt vand fra Øresund.

Da middel havniveaustigningerne som følge af klimaændringer potentielt kan påvirke de fremtidige vandskifteforhold i Kalveboderne, er det desuden anbefalet at den supplerende hydrodynamiske modellering inkluderer beregninger med både nuværende- og fremtidige forhold dvs. med-/uden indflydelsen fra klimaændringer.

1.3 Formål og indhold i supplerende analyser

Formålet med indeværende supplerende analyser er at udvide grundlaget for at vurdere den natur- og miljømæssige påvirkning som følge af etableringen af en stormflodssikring ved Kalveboderne (i form af én eller flere af nedenstående løsningstyper samt potentielt kombinationer heraf):

- **Løsningstype B1:** Højvandsporte i Sorterenden og i Kalvebodløbet.
- **Løsningstype B2:** Én dæmningskonstruktion i Sorterenden og højvandsport i Kalvebodløbet.
- **Løsningstype B3:** Én dæmningskonstruktion med én eller flere mindre rørgennemføringer i Sorterenden og højvandsport i Kalvebodløbet.

Løsningstype B1 og B2 i ovenstående er identiske med Løsningstype 1 og 2 i (COWI, 2020) – bortset fra åbningsbredderne som til denne analyse er justeret. Løsningstype B3 er en kombination af B1 og B2, hvor der i dæmningskonstruktionen i Sorterenden installeres én eller flere gennemstrømningsporte eller -rør, evt. med styring baseret på strømretning, med henblik på at forbedre vandudskiftningen i Kalveboderne. Denne kombinationsløsning er ikke inkluderet i de indledende simuleringer fra (DHI, 2021), men er tidligere (Rambøll, 2023) foreslået som en del af det videre arbejde.

Der etableres til denne analyse en hydrodynamisk model (MIKE 3) med henblik på at simulere de hydrodynamiske forhold i Kalveboderne. Modellen er forceret og kalibreret baseret på foreliggende datagrundlag. På samme vis som i (DHI, 2021) er der udvalgt repræsentative relevante perioder (scenarier) til modellering, hvor forskelle i meteorologiske- og hydrografiske forhold resulterer i variationer af effekter og potentielle påvirkninger. Scenarieperioder er på forhånd udvalgt i samarbejde med fagfolk på tværs med henblik på så vidt muligt at understøtte, at de repræsentative perioder er dækkende for vurderingerne af påvirkninger af natur- og miljøforhold. Det skal understreges, at de valgte scenarier repræsenterer "normale" forhold ift. de marinbiologiske vurderinger og ikke stormflodsscenarioer ift. at vurdere effektiviteten af stormflodssikringen.

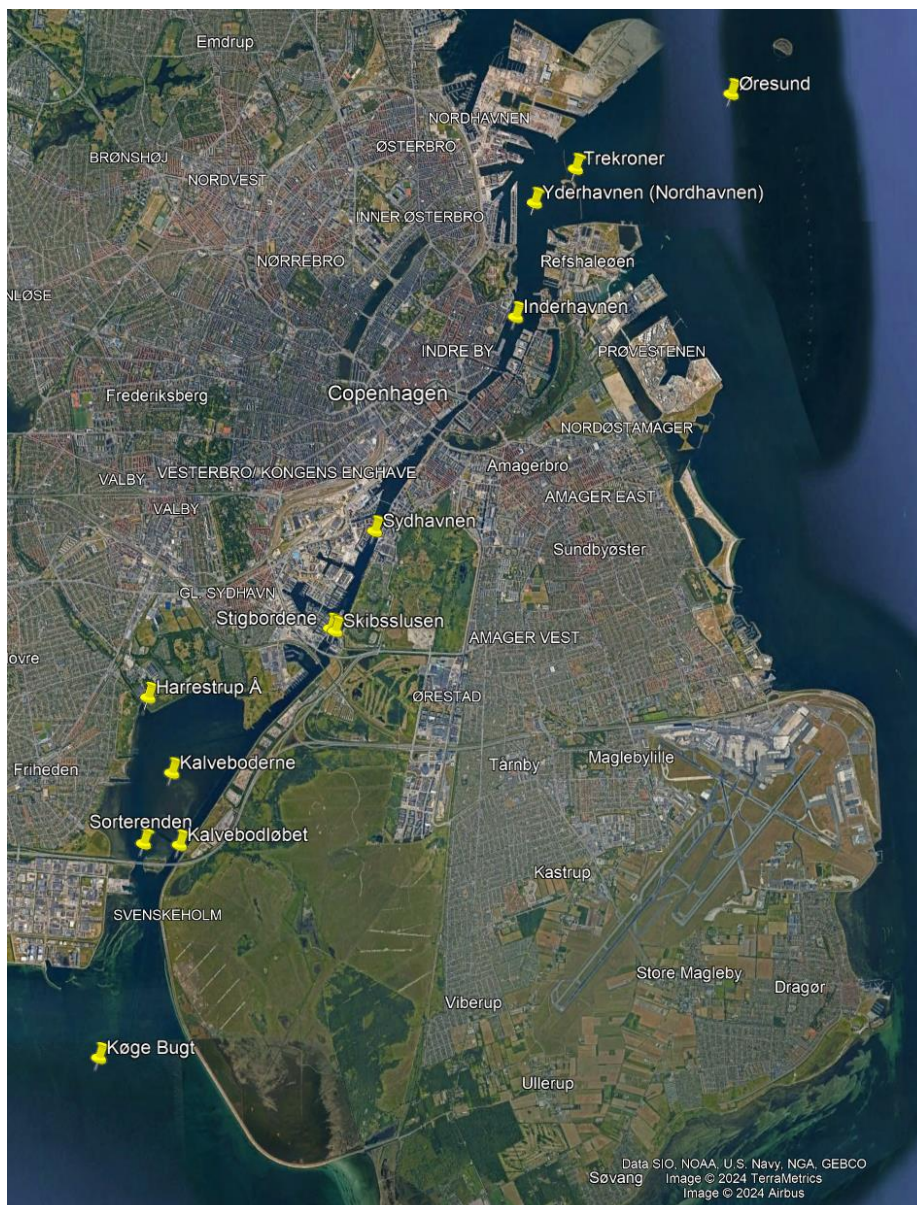
Der er gennemført modellering med hydrodynamiske modeller, som repræsenterer baseline (dvs. nuværende forhold, hvor der ikke er stormflodssikring), samt modeller som repræsenterer de forskellige løsningstyper. Geometri for højvandsporte i Løsningstype B1, B2 og B3 er baseret på indledende betragtninger (eksempler på geometri og udførsel) udarbejdet af konstruktionsingeniører. Vurdering af indvirkninger på de hydrauliske forhold som følge af etableringen af stormflodssikring er baseret på relative betragtninger ift. baseline.

Der er i denne rapport ikke tale om egentlige miljøvurderinger på niveau med det, der normalvis indgår i en miljøkonsekvensvurdering. Dette vil kræve et væsentligt højere detaljeringsniveau. Derimod er hensigten at gennemføre en indledende screening af indvirkningen fra de forskellige løsningstyper for stormflodssikring med henblik på at vurdere, hvilken løsningstype der vil være mest realistisk at inkludere ifm. anlægsoverslag. Således vil der ifm. en senere miljøkonsekvensvurdering være behov for at supplere med mere detaljeret modellering samt potentielt behov for at genbesøge en eller flere alternativer for stormflodssikringen.

2 EKSISTERENDE HYDRAULISKE FORHOLD I KØBENHAVNS HAVN SØMRÅDE OG I KALVEBODERNE

I det følgende beskrives overordnede hydrauliske forhold, såsom vandstand og strøm for Københavns Havn, herunder Kronløbet, Havneløbet, Stigbordene og Kalvebodløbet samt vandområdet Kalveboderne. Der gives også en kort beskrivelse af salinitetsforholdene.

Formålet er at etablere et vidensgrundlag til opstilling af en hydraulisk model og herunder fastlægge væsentlige modelscenarier til analysen af påvirkninger fra de forskellige løsnings typer. I beskrivelsen indgår en del stednavne, som ses i Figur 2-1. Løbet imellem Kalveboderne og Nordhavnen navngives i nærværende rapport som *havnegennemstrømningsløbet*.



Figur 2-1: Overordnet stedsangivelse i Københavns Havns sømråde og ved Kalveboderne. Åbningen imellem Kalveboderne i syd og Kronløbet i nord refereres til som *havnegennemstrømningsløbet*. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

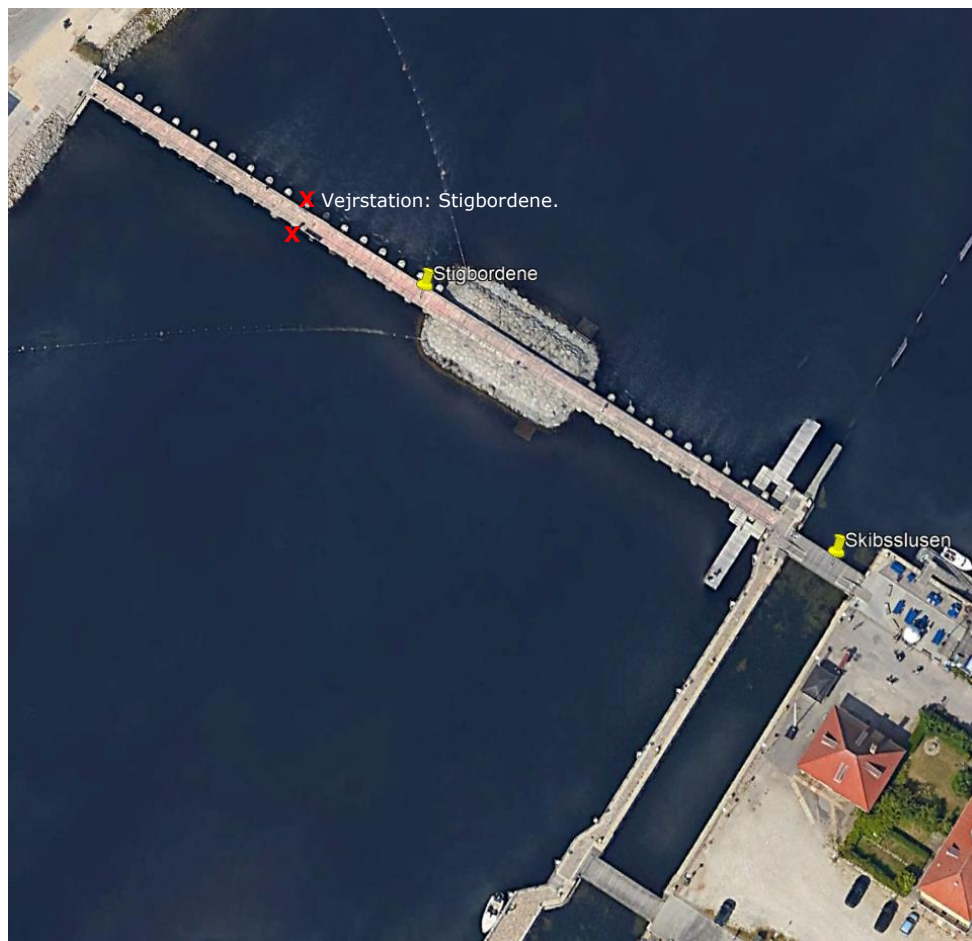
2.1 Drivende hydrauliske forhold igennem Københavns Havn og Kalveboderne

De hydrauliske forhold i Københavns Havn og ved Kalveboderne er bl.a. påvirket af løbenes udformning og krydsende konstruktioner, herunder særligt Stigbordene i Sydhavnen.

2.1.1 Stigbordene som begrænsende konstruktion

Stigbordene er konstrueret som en overløbsstruktur bestående af 28 individuelle stigborde i to sektioner, som er adskilt med en ø i midten. Øst for stigbordstrukturen ligger skibsslusen med en bredde på 11,3 meter og bundkote -3,77 m. Strømningen gennem skibsslusen er dog negligeabel, da slusepraksis er, at der aldrig er mere end en sluseport åben ad gangen. Desuden er det i (DHI, 2015) konkluderet, at en permanent åbning af skibsslusen eller en forøgelse af gennemstrømningsarealet gennem Stigbordene kun har en meget svag effekt på vandstanden i havneområdet nord for Stigbordene (DHI, 2015).

Et oversigtsfoto af Stigbordene, samt placering af vejrstation ses i figur 2-2. Stigbordsindstillinger og tærskelniveauer er vist i Tabel 2-1.



Figur 2-2: Stigbordene i Københavns Havn (Sluseholmen, Sydhavnen).
Vejrstation er placeret i den vestlige del (rødt X). Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

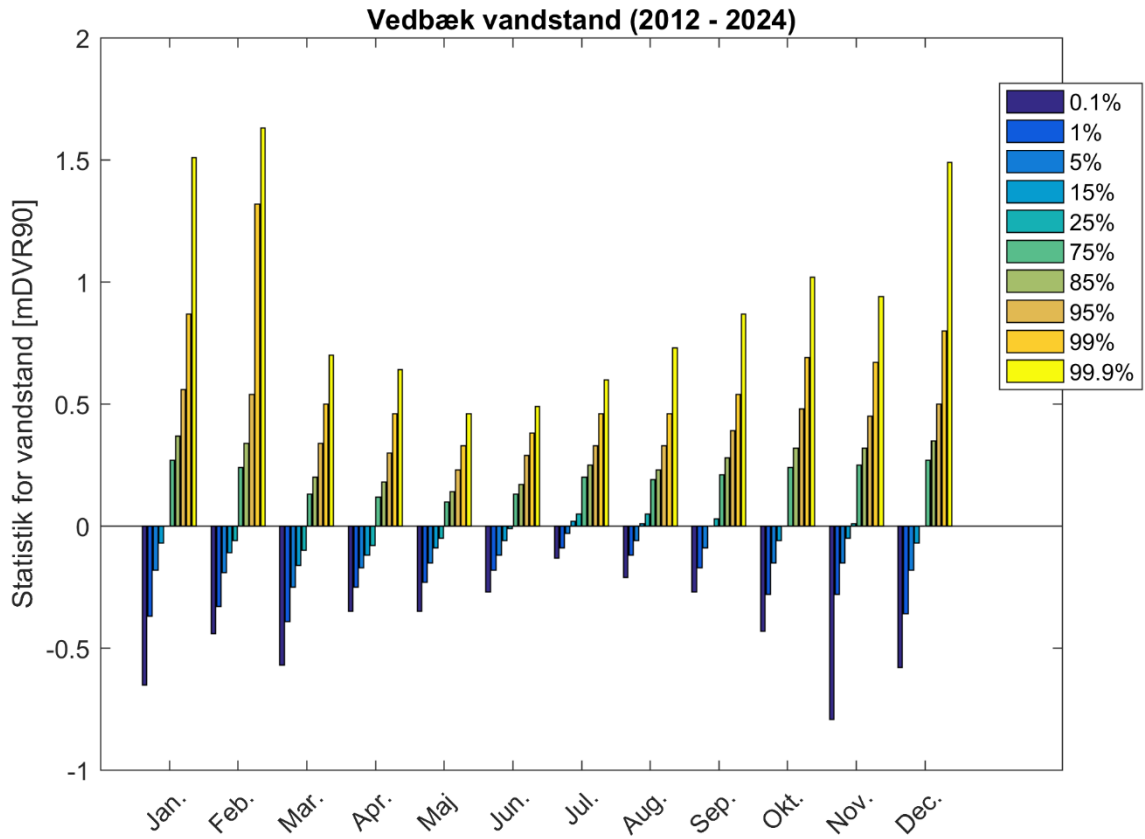
Tabel 2-1: Stigbordsindstillinger og tærskelniveauer. Nummerering af stigbordene sker fra øst mod vest.
Datakilde: By & havn, gengivet i (DHI, 2015)

	Stigbord Nr.	Topkote [m DVR90]	Tærskelkote [m DVR90]
Øst for ø	1	0,24	-2,42
	2	0,28	-2,44
	3	0,20	-2,44
	4	0,17	-2,43
	5	0,15	-2,44
	6	0,17	-2,46
	7	0,15	-2,47
	8	0,15	-2,50
	9	0,13	-2,48
	10	0,01	-1,34
	11	1,16	-2,46
Vest for ø	12	-1,86	-2,50
	13	-1,88	-2,58
	14	-1,85	-2,46
	15	-1,87	-2,47
	16	-1,83	-2,50
	17	-1,87	-2,49
	18	-1,86	-2,47
	19	-1,85	-2,58
	20	-1,86	-2,47
	21	-1,87	-2,49
	22	1,15	-2,49
	23	1,15	-2,49
	24	1,11	-2,50
	25	1,18	-2,44
	26	1,21	-2,43
	27	1,21	-2,34
	28	1,23	-2,20

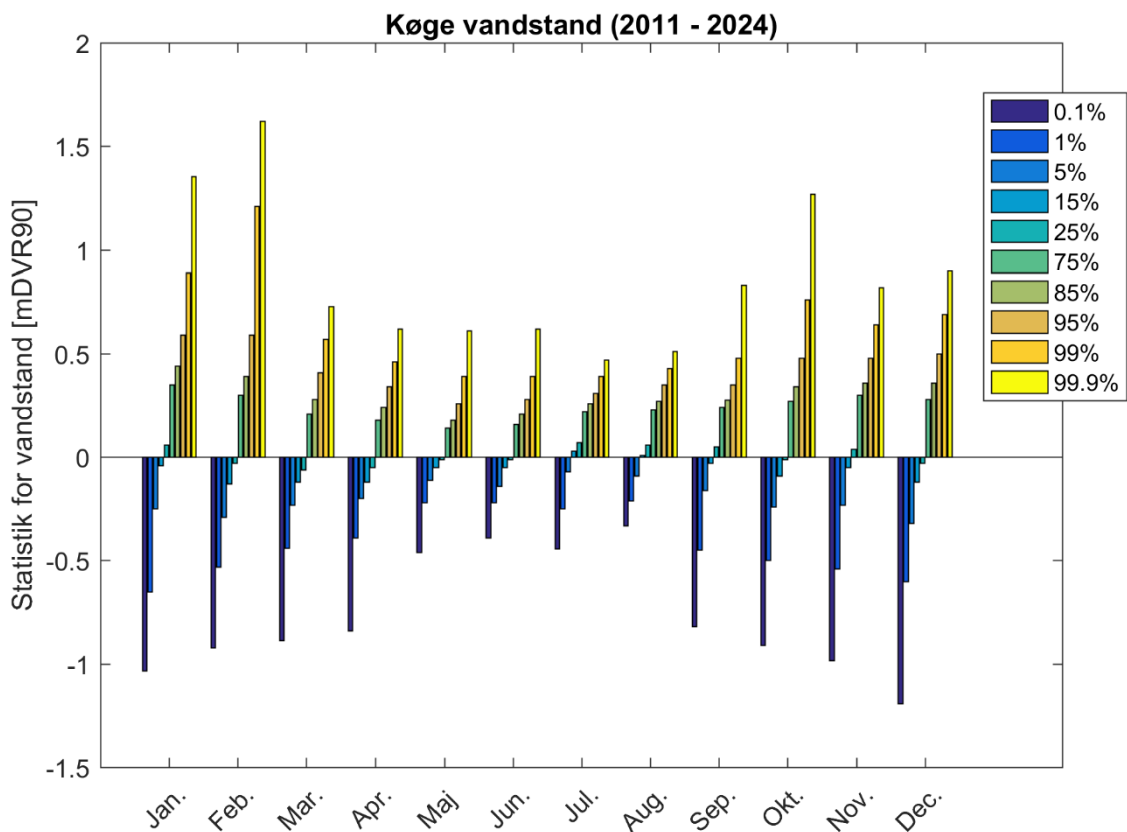
2.1.2 Vandstandsforhold i Københavns Havn, Køge Bugt og Øresund

Vandstanden på strækningen fra Stigbordene til Trekroner er primært styret af vandstanden i Øresund, mens vandstanden på strækningen fra Stigbordene til motorvejsbroerne over Sorterenden og Kalvebodløbet er styret af vandstanden i Køge Bugt.

Variationen i vandstande over året, er statistisk opgjort i percentiler for vandstande ved Vedbæk (nord for Københavns Havn) og Køge (syd for Københavns Havn) hen over året er opgjort i hhv. figur 2-3 og figur 2-4. Som det fremgår af figurerne, forekommer der fortrinsvist forhøjet vandstande i vinterhalvåret, hvilket skyldes hyppigere forekomst af stormhændelser, hvorimod vandstande i sommerhalvåret primært er domineret af tidevand.



Figur 2-3: Percentiler for vandstande i Vedbæk (nord for Københavns Havn). Data er fra (Vandportalen, 2024).

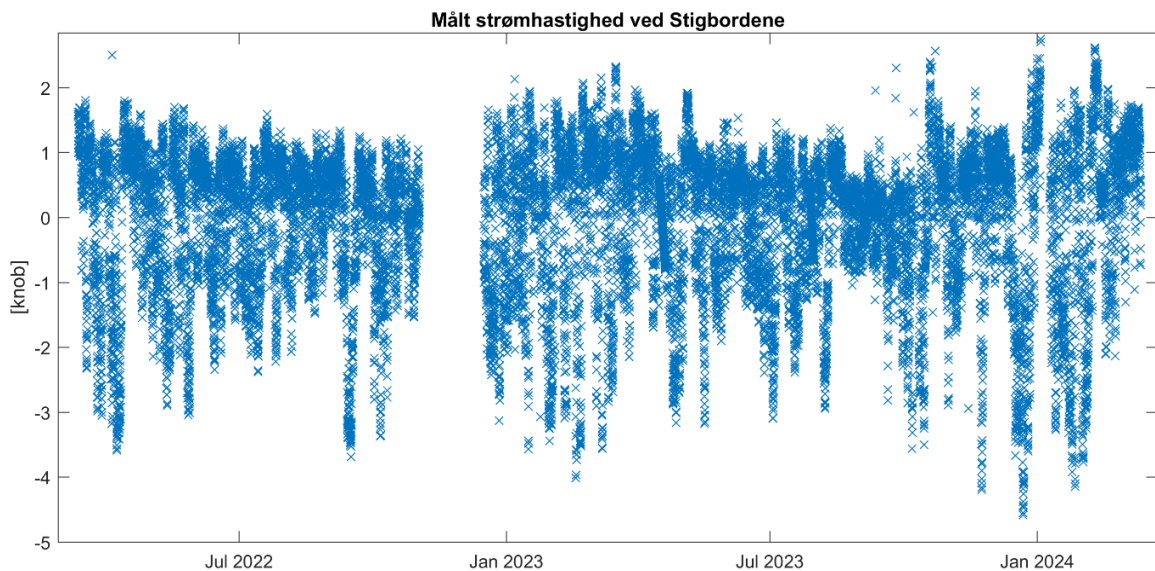


Figur 2-4: Percentiler for vandstande i Vedbæk (syd for Københavns Havn). Data er fra (Vandportalen, 2024).

2.1.3 Vandstandsforhold og strømforhold ved Stigbordene

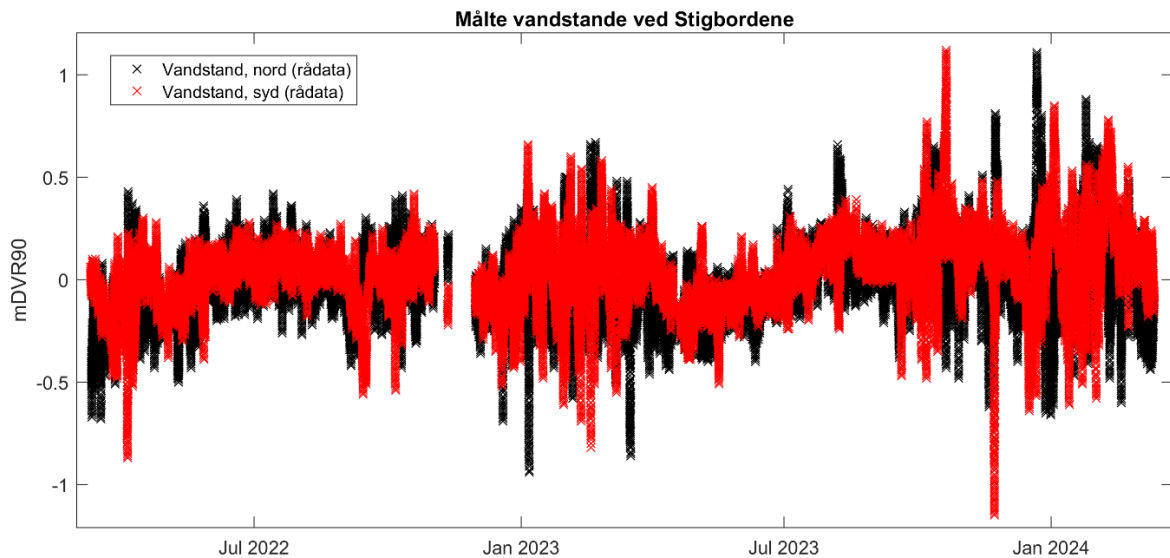
Ved Stigbordene er strømmen styret af vandstandsforskelle imellem Køge Bugt og i Øresund. By & Havn har en vejrstation benævnt Stigbordene, som måler vandstand og strømforhold samt vind, luft- og vandtemperaturer. Målte strøm- og vandstandsdata er stillet til rådighed af (By & Havn, 2024) for perioden marts 2022 – marts 2024. By & Havn har udtalt, at ældre data ikke udveksles til modelleringsformål grundet betydelige målefejl og dataudfald.

Målte strømhastigheder ved Stigbordene i perioden marts 2022 – marts 2024 er vist i figur 2-5. Datene er filtreret for "outliers", og enkelte perioder præget af dårlige målinger er fjernet fra tidsserien. Som det fremgår af figuren, er der i perioden målt strømhastigheder på op til ca. 3 knob (nordgående retning (+)) og op til ca. 4,5 knob (sydgående retning (-)). Umiddelbart ses en tendens i, at de højeste strømhastigheder opstår i vinterhalvåret. Det skal nævnes, at målte strømhastigheder ved Stigbordene kan være påvirket af helt lokale strømeffekter (f.eks. turbulens), og at nøjagtigheden af strømhastighedsmålingerne ikke kendes med sikkerhed. I nærværende analyser er størrelsesordenen på de målte strømhastigheder derfor ikke tillagt stor vægt. I stedet anvendes dataene til at opnå viden om strømningstendenser og sæsonvariation.



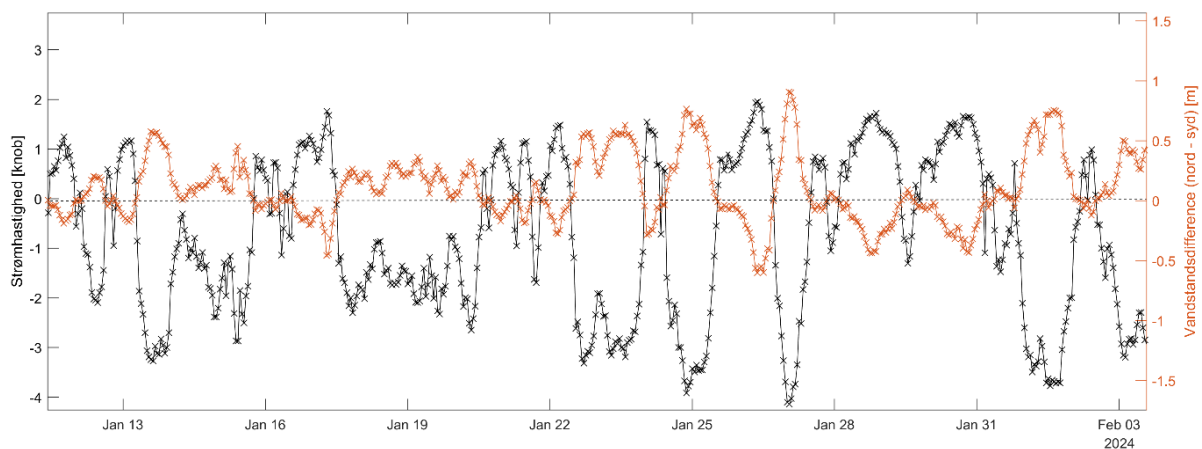
Figur 2-5: Målte strømhastigheder ved Stigbordene i perioden marts 2022 – marts 2024. Nordgående strøm er med positivt fortegn og sydgående strøm med negativt fortegn. Data er stillet til rådighed af (By & Havn, 2024).

Målte vandstande hhv. nord og syd for Stigbordene i perioden marts 2022 – marts 2024 er vist i figur 2-6. Som det fremgår af figuren, er der i måleperioden målt vandstande på op til ca. 1 m DVR90 og ned til ca. -1 m DVR90. På samme vis som for strømhastighederne vist i figur 2-5 ses de største variationer i vinterhalvåret.



Figur 2-6: Målte vandstande, henholdsvis nord- og syd for Stigbordene i perioden marts 2022 – marts 2024. Data er stillet til rådighed af (By & Havn, 2024).

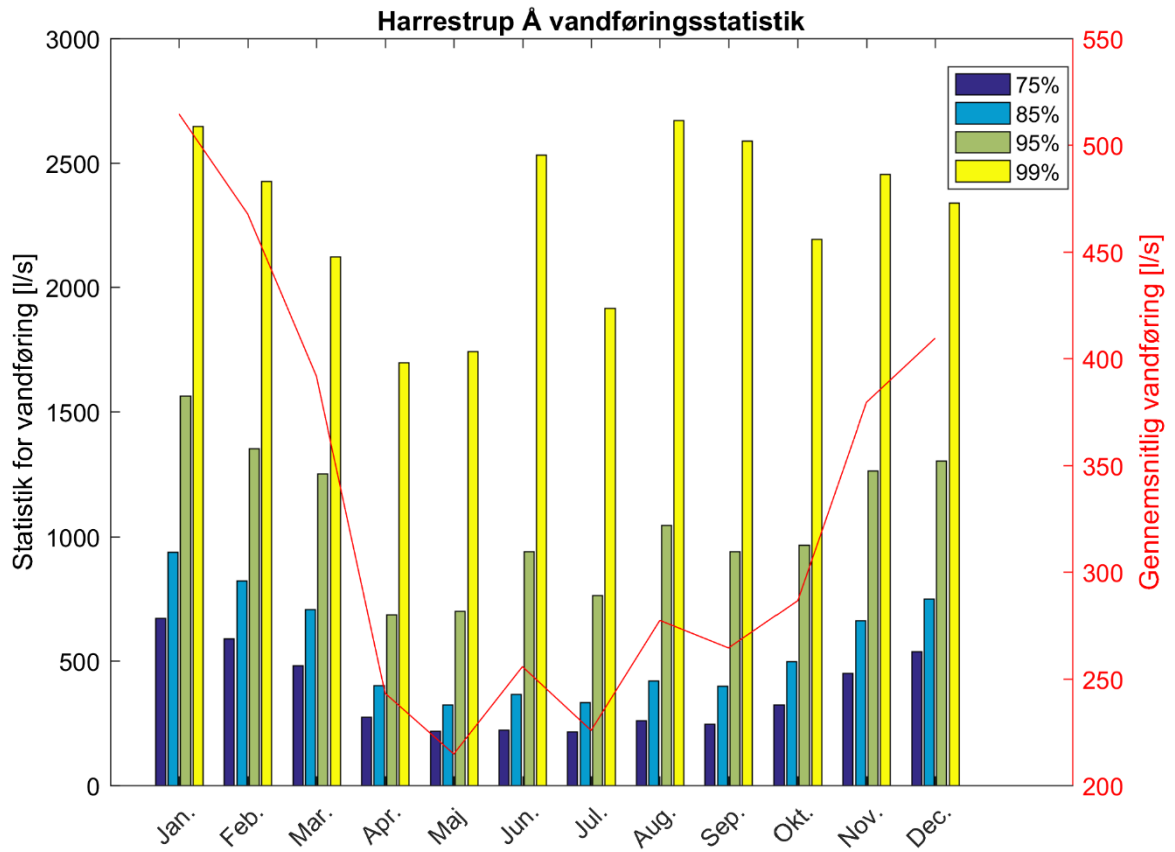
Et eksempel på den målte sammenhæng og dermed også differens imellem vandstandsforskelle og strømhastigheder nord og syd for Stigbordene er vist i figur 2-7, hvor positivt fortegn for strømhastigheden indikerer nordgående strøm. Som det fremgår af figuren, haves nordgående strøm, når vandstanden er lavere nord for Stigbordene sammenlignet med syd for. Den akkumulerede vandføring igennem havnegennemstrømningsløbet og ved Kalveboderne er jf. (DHI, 2020) nordgående, som følge af nettoafstrømning fra Østersøen.



Figur 2-7: Sammenhæng imellem vandstandsdifferens (rød) og strømhastighed (sort). Nordgående strøm er med positivt fortegn og sydgående strøm med negativt fortegn. Data er stillet til rådighed af (By & Havn, 2024).

2.1.4 Vandføring ved Harrestrup Å

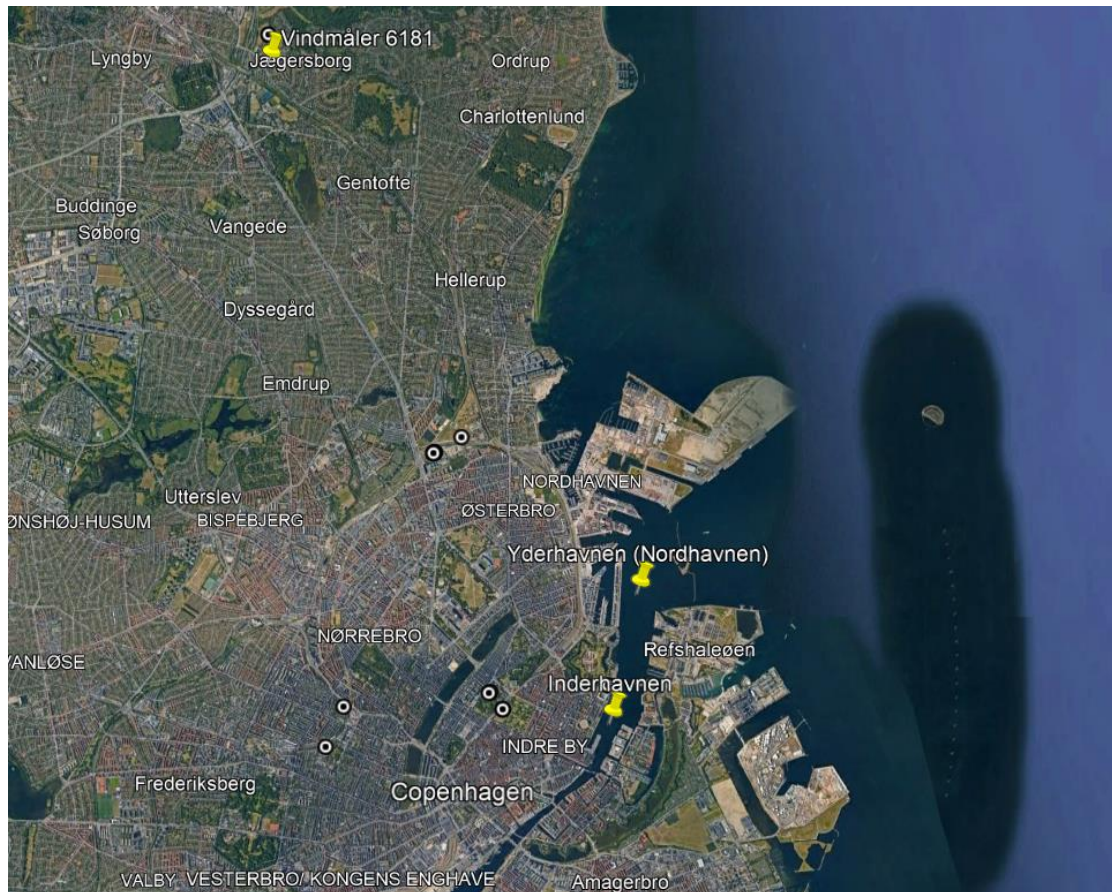
Lokalt i Kalveboderne haves ferskvandstilførsel fra blandt andet Harrestrup Å (se beliggenhed i Figur 2-1). Sæsonafhængig vandføringsstatistik for åen er vist i figur 2-8 baseret på data fra (Miljødata, 2024) i perioden 1990 – 2024. Som det fremgår af figur 2-8 er tendensen, at den højeste gennemsnitlige vandføring forekommer i vinterhalvåret (gennemsnitligt ca. 400 – 500 l/s). Vandføringen i sommerhalvåret er ca. halveret ift. vinterhalvåret (gennemsnitligt ca. 250 – 300 l/s). Dog ses det af 99-percentilerne i figur 2-8, at der i både sommer- og vinterhalvåret kan forekomme ekstremhændelser med vandføring, som er langt højere end den gennemsnitlige (99-percentil ca. 2.700 l/s).



Figur 2-8: Månedstatistik for vandføring i Harrestrup Å, baseret på data i perioden 1990 – 2024. Datakilde, (Vandportalen, 2024).

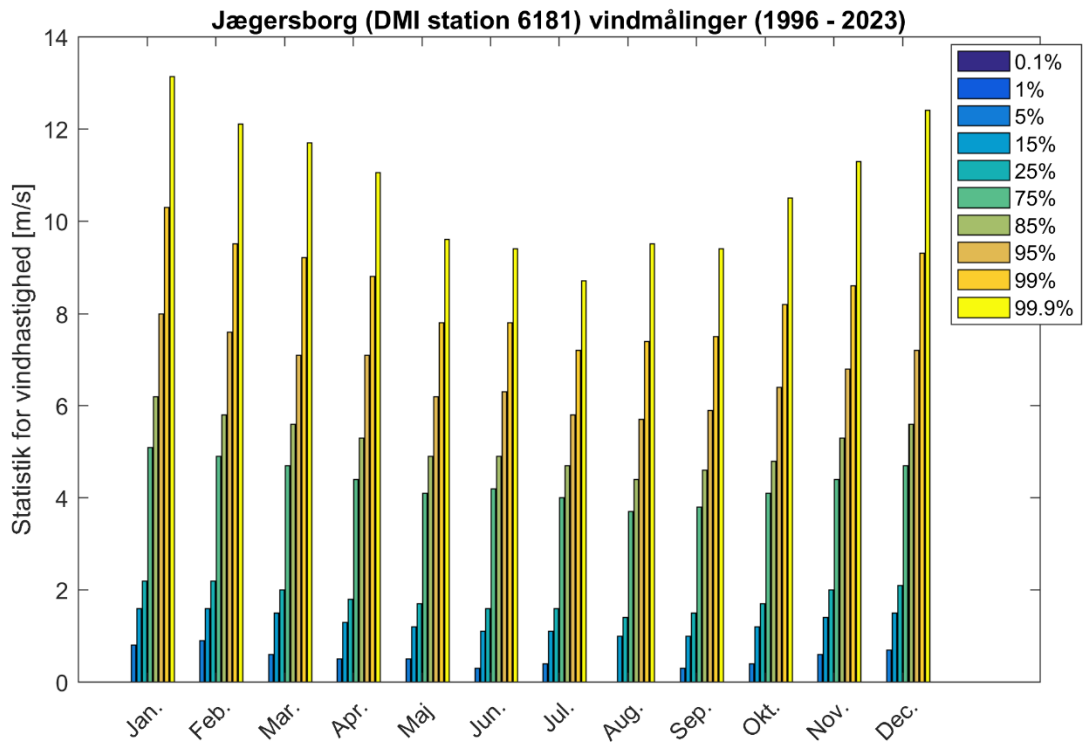
2.2 Lokale vindforhold

Lokale vindmålinger er tilgængelige fra DMIs vindmåler ved Jægersborg (station nr. 6181), hvor der forekommer data for perioden 1996 - 2023, se placering af vindmåler i figur 2-9. Vindhastigheder er målt i 40 m DVR90 og repræsenterer 1-times middelvind.



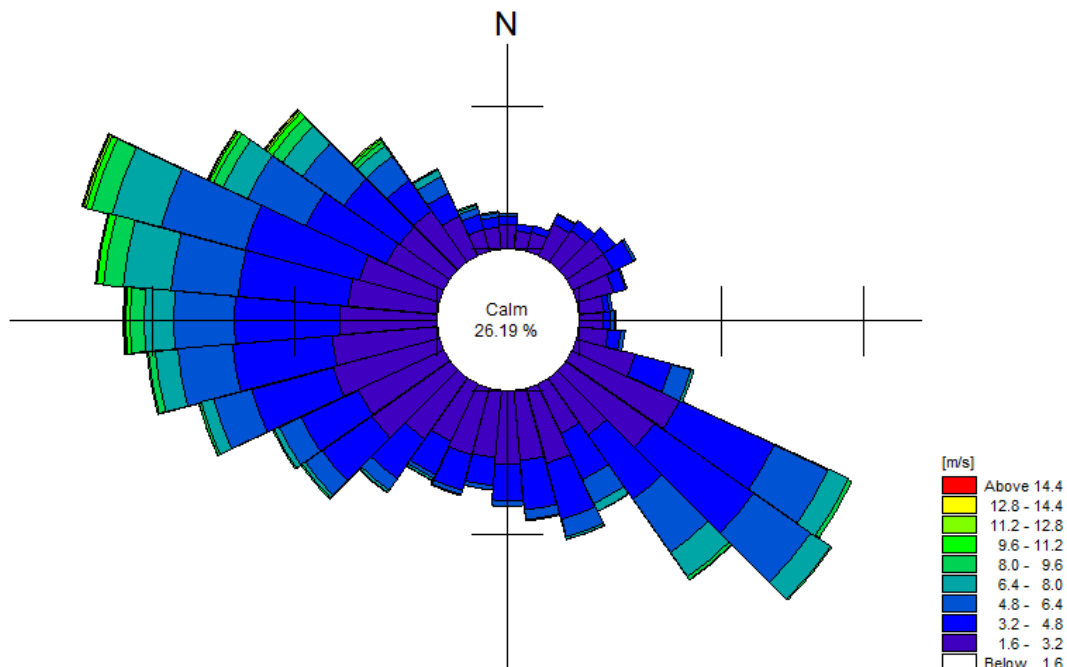
Figur 2-9: Placering af DMI-vindmåler 6181. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

Vindstatistik fra DMI-vindmåler 6181 Jægersborg er vist i figur 2-10. Der ses generelt højere vindhastigheder i vinterhalvåret. Dog haves også tilfælde med relativt høje vindhastigheder i sommerhalvåret.



Figur 2-10: Vindstatistik for DMI-vindmåler 6181 Jægersborg baseret på perioden 1996 – 2023. Data er fra (DMI, 2024) og repræsenterer 1-times middelvind i 40 meters højde.

En vindrose fra DMI-vindmåler 6181 Jægersborg for perioden 2022 - 2023 er vist i figur 2-11. Som det fremgår af vindrosen, er mest forekommende vindretninger i perioden fra vestlige- og sydøstlige-retninger.



Figur 2-11: Vindrose for DMI-vindmåler 6181 Jægersborg baseret på perioden 2022 – 2023. Data er fra (DMI, 2024) og repræsenterer 1-times middelvind i 40 meters højde.

2.3 Salinitetsforhold

Saltholdigheden i Køge Bugt og Øresund er styret af udvekslingen mellem Østersøens mindre salte havvand og brakvand og Nordsøen/Kattegats meget salte havvand. Variationer i saltholdighed

påvirker vandets densitet og dermed strømninger. Horisontale- og vertikale variationer bidrager derfor til at skabe tredimensionelle strømningsfænomener, som eksempelvis tunge bundstrømme (vand med høj salinitet) og let overfladestrøm (mere ferskt vand), som i situationer med springlag vil være modsatrettede.

Grundet udvekslingen mellem Østersøen og Nordsøen/Kattegat vil der derfor forekomme variationer i saltholdigheden i bl.a. Kalveboderne, hvilket medfører en påvirkning på opblandingsforhold og den lokale strømningscirkulation. I de åbne dele af Køge Bugt er saltholdigheden i overfladen ca. 10 PSU (practical salinity unit) og i bundvandet ca. 13 PSU, men varierer afhængig af de herskende strømretninger. I perioder domineret af vandindtrængning af saltvand fra Øresund kan saltholdigheden i bundvandet stige til mellem 20 og 25 PSU, mens indstrømning af brakvand fra Østersøen opblander vandmasserne og kan sænke saltholdigheden ned til 10 PSU (COWI, 2016).

Salinitetsmålinger lokalt i havnegennemstrømningsløbet og ved Kalveboderne er ikke til rådighed i indeværende analyser, men det må forventes, at saliniteten lokalt er domineret af salinitetsforholdene i Køge Bugt og Øresund i forbindelse med hhv. nord- og sydgående strøm. Desuden må det forventes, at saliniteten lokalt er påvirket af ferskvandstilførslen fra Harrestrup Å, som i forbindelse med høj vandtilførsel medfører reduceret salinitet i Kalveboderne. Hertil kan der, som følge af densitetsforskelle i perioder forekomme en vis vertikal variation i salinitet samt springlag.

Saliniteten i Kalveboderne påvirkes fra tre sider: Mesohalint (5-18 ‰) vand fra Køge Bugt/Østersøen ved nordgående strøm, polyhalint (18-30 ‰) vand fra Øresund/Kattegat ved sydgående strøm jf. Bekendtgørelse om basisanalyser og en kontinuerlig tilførsel af ferskvand fra Harrestrup Å. Der vil kunne opstå halokliner, som er et saltspringlag, hvor det mere saline vand ligger under det mere ferske vand. Springlag adskiller vandbevægelser mellem springlagene, og dermed nedsættes stof- og ilttransporten mellem vandlagene signifikant.

2.4 Forventede effekter som følge af klimaændringer

Havniveaustigninger forventes at medføre ændrede hydrodynamiske forhold igennem Københavns Havn samt ved Kalveboderne lokalt, da strømningstværsnit, effekt fra bundruhed mv. påvirkes af vandstanden.

På baggrund af studier af IPCC-prognoser og klimafremskrivninger, vurderer DMI, at middel havniveaustigningen jf. SSP3-7.0 83-percentil kan estimeres til 60 cm i år 2075 fratrukket landhævning defineret ved forundersøgelsens referenceår 1990 (Kystdirektoratet, 2024).

3 EKSISTERENDE NATUR- OG MILJØFORHOLD

I dette kapitel beskrives eksisterende natur- og miljøforhold baseret på miljødata. Miljødata er målinger og undersøgelser af en lang række miljøforhold. En del af dem ligger under NOVANA, det nationale overvågningsprogram (Miljøstyrelsen, Miljøministeriet, 2023). NOVANA-stationernes placeringer kan ses på Miljøgis (Miljøstyrelsen, Miljøgis, 2017-21). Der er flere målestationer placeret i Kalveboderne, Harrestrup Å og syd for Kalveboderne, se Figur 3-1. Dette medfører, at der foreligger måledata fra en række forskellige undersøgelser til rådighed for nærmere analyse.



Figur 3-1: Udsnit af Miljødata og målestationer placeret i Harrestrup Å, Kalveboderne og syd for Kalveboderne. Der foreligger en bred variation af undersøgelser, og data er fra 1989 og frem.

Data er screenet, og kort er opsummeret i Tabel 3-1. Data findes på Danmarks Miljøportal, <https://miljoedata.miljoportal.dk/> (Danmarks Miljøportal, 2023).

Tabel 3-1: Tabel med oversigt over eksisterende miljødata fra Harrestrup Å og Kalveboderne (Danmarks Miljøportal, 2023).

Data i og omkring Kalveboderne	Seneste undersøgelser	Opsummeret
Vandkemi i Kalveboderne	2007	Næringsstofniveauer er fra 2007 og dermed forældede.
Miljøfarlige stoffer i muslinger og fisk	2015 (muslinger) 2022 (fisk)	Se bilag, A2
Makroalger marin	2007	Arter: Brun skorpe, Ectocarpus siliculosus, Ceramium strictum, Chaetomorpha linum, Rød skorpe, Chorda filum. Ulva lactua, Cladophora, Furcellaria lumbricalis, Littorina littorea, Fucus Vesiculosus, Ulva prolifera, Chondrus crispus, Spermothamnion repens, Ceramium virgatum, Cladophora sericea
Salt, ilt, pH, temperatur	2007	Salinitet 7,95 - 18,7 ‰, ilt 6,7-13,9 mg/l, iltmætning 85-114 %, temperatur 1,2 - 21,6 °C.
Kemisk tilstand Nordlige Øresund	2022	Se bilag, A1
Ålegræs (lige uden for Kalveboderne)	2022	Dybdegrænse 8,1 m, arter af Ålegræs, vandaks og havgræs.
Badevandskvalitet	2023	Se bilag, A3

Vandkemi i Harrestrup Å, Damhusåen	2023	Se bilag, A4
Miljøfarlige stoffer i Harrestrup Å, Damhusåen	2022	Se bilag, A5

Harrestrup Å, herunder Damhusåen (herefter benævnt som Harrestrup Å), har udløb i Kalveboderne og tilfører således ferskvand, næringsstoffer samt miljøfarlige stoffer til Kalveboderne. Der er målt en del miljøfarlige stoffer i muslinger og fisk fra Kalveboderne, herunder er antracen og kviksølv over grænseværdierne, se bilag A2. Dette afspejler den dårlige kemiske tilstand i havområderne rundt om København og formentlig også den lokale tilførsel fra Harrestrup Å, se bilag A5.

Der er generelt mange og nye miljødata for Harrestrup Å, da ferskvand overvåges ret intenst. Det gælder dog ikke de marine områder, hvorfor der ikke er mange NOVANA data for selve Kalveboderne. En basisundersøgelse udført af WSP i 2017 for Københavns Kommune, supplerer således grundlaget. Seneste vandkemiske målinger af næringsstofniveauerne mm. fra 2007. Det samme gælder for bundvegetationsundersøgelser og CTD-målinger. CTD-målinger er en dybdeprofil, der måler salinitet, temperatur, ilt og pH. Dybdeprofilerne er vigtige for at forstå hydrografien i området, herunder lagdeling og vandudskiftning.

En screening af de tilgængelige miljødata indikerer, at saliniteten varierer meget fra 7,95-18,7. Dette skyldes bl.a. skiftende strømretninger, hvor nordgående strøm fører lavsalint vand ind fra Østersøen, og sydgående strøm fører højsalint vand ind fra Kattegat.

Kalveboderne er lavvandede, og tidligere kortlægninger indikerer høj dækningsgrad af bundvegetation, hvilket medfører høj iltproduktion om dagen. Dette afspejler sig også i iltmålingerne, hvor der registreres op til 114 % mætning. Overmætningen skyldes planternes fotosyntese, hvilket sandsynligt medfører, at iltkoncentrationen om natten falder markant som resultat af bundplanternes natlige respiration. Bundvegetationens lokale dybdegrænse i Kalveboderne kan ikke vurderes, da der ikke er dybt nok, men lige syd for Kalveboderne vokser ålegræsset ned til 8,1 meters dybde (Danmarks Miljøportal, 2023).

3.1 Vandkvalitet jf. Vandplaner

Vandområdeplanernes vurdering af økologiske tilstande i Kalveboderne kan ses på figurerne: Figur 3-4, Figur 3-3 og Figur 3-2 og er sammenfattet i Tabel 3-2. Kalveboderne er i Vandplanerne en del af vandområde 6 "Nordlige Øresund", og den vurderede økologiske tilstand afspejler dermed den økologiske tilstand i hele det nordlige Øresund. Tilstanden lokalt i Kalveboderne kan principielt godt være anderledes, da der ikke er en NOVANA overvågningsstation for økologiske parametre i Kalveboderne. Kalveboderne ligger lige nord for grænsen til vandområdet 201 "Køge Bugt" og kan for så vidt godt dele økologisk tilstand med Køge Bugt, især fordi nettostrømmen i Øresund er nordgående.

Tabel 3-2: Tabellen viser den økologiske tilstand i Køge Bugt og Nordlige Øresund. Kalveboderne hører til Nordlige Øresund (Miljøstyrelsen - MiljøGIS, 2022)

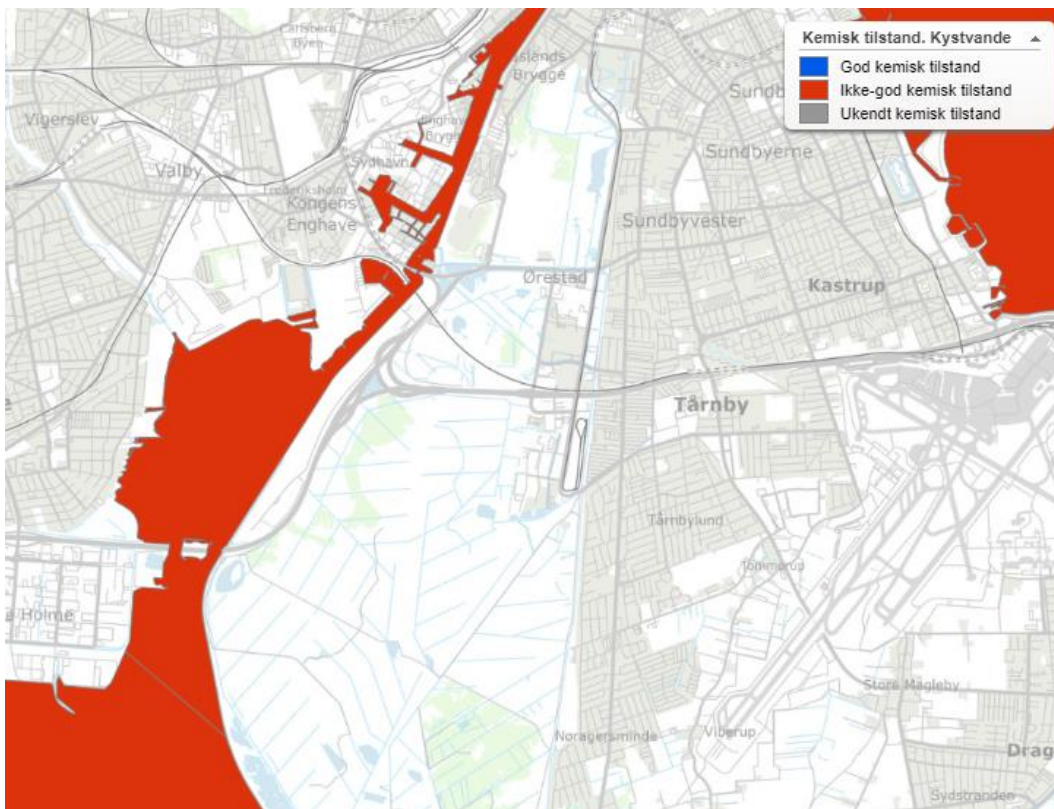
Økologisk tilstandsparameter	Økologisk tilstand	
	Køge Bugt	Nordlige Øresund
Samlet økologisk tilstand	Moderat	Moderat
Fytoplankton*	Moderat	God
Rodfæstede bundplanter**	Moderat	God
Bunddyr	Moderat	Moderat
Nationalt specifikke stoffer	God	Ikke-god
Kemisk tilstandsparameter	Kemisk tilstand	
	Køge Bugt	Nordlige Øresund
Kemiske tilstand	Ikke-god	Ikke-god

*Fytoplankton værdien er ikke målt i dette vandområde, da der ikke er målestationer for fytoplankton i området, men vurderet ud fra modelberegninger.

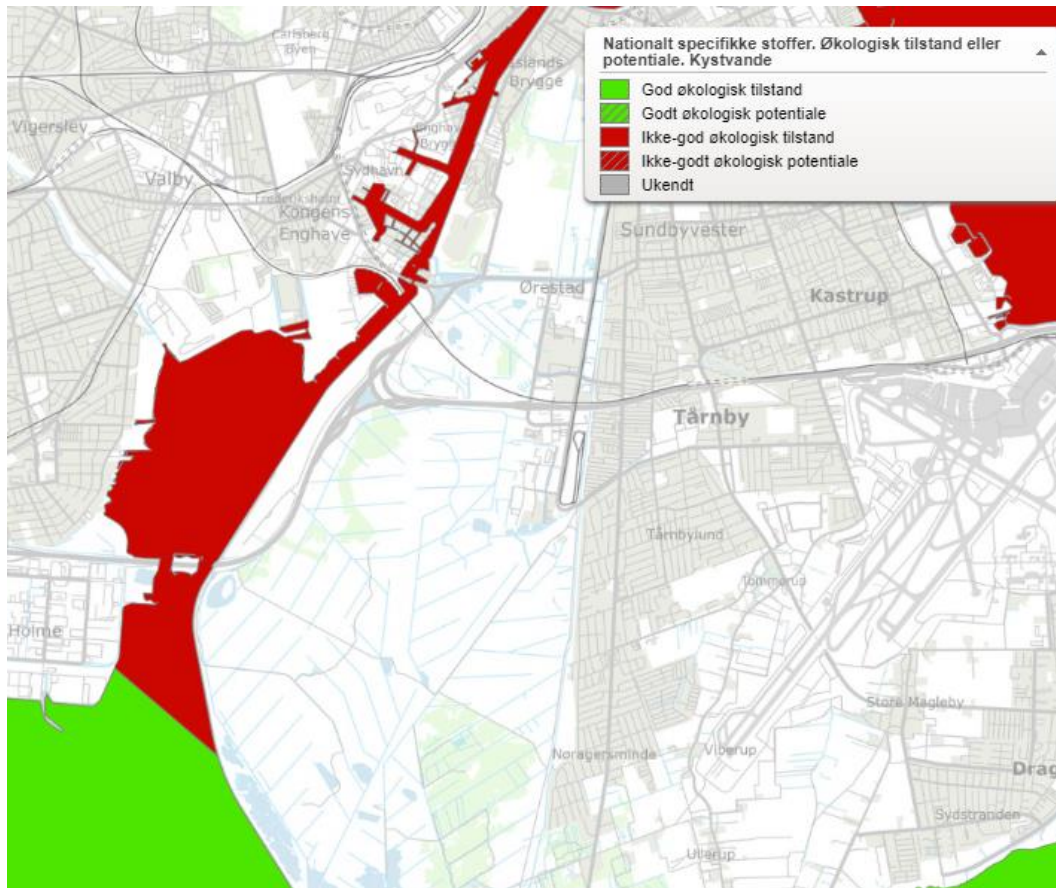
**Kalveboderne er lavvandede, hvorfor lokale kortlægninger ikke er udført ift. ålegræssets dybdeudbredelse. Udbredelsen er vurderet på baggrund af flere ålegræsstationer spredt i Øresund.

Der er én målestation for kemisk tilstand, hvor der måles en række miljøfremmede, forurenende stoffer i fisk og muslinger. Bl.a. viser data, at kviksølv overstiger grænseværdierne i Kalveboderne. Målingerne, der giver det nordlige Øresund "ikke god" kemisk tilstand, kan ses i bilag A1, og data fra målestationen i Kalveboderne kan ses i bilag A2. Overskridelserne for nationalt specifikke stoffer findes nord for Københavns havn og ikke nær Kalveboderne, ref. (Danmarks Miljøportal, 2023). Den kemiske tilstand overskrides i Kalveboderne for kviksølv i Biota og summen af BDE, ref. (Danmarks Miljøportal, 2023).

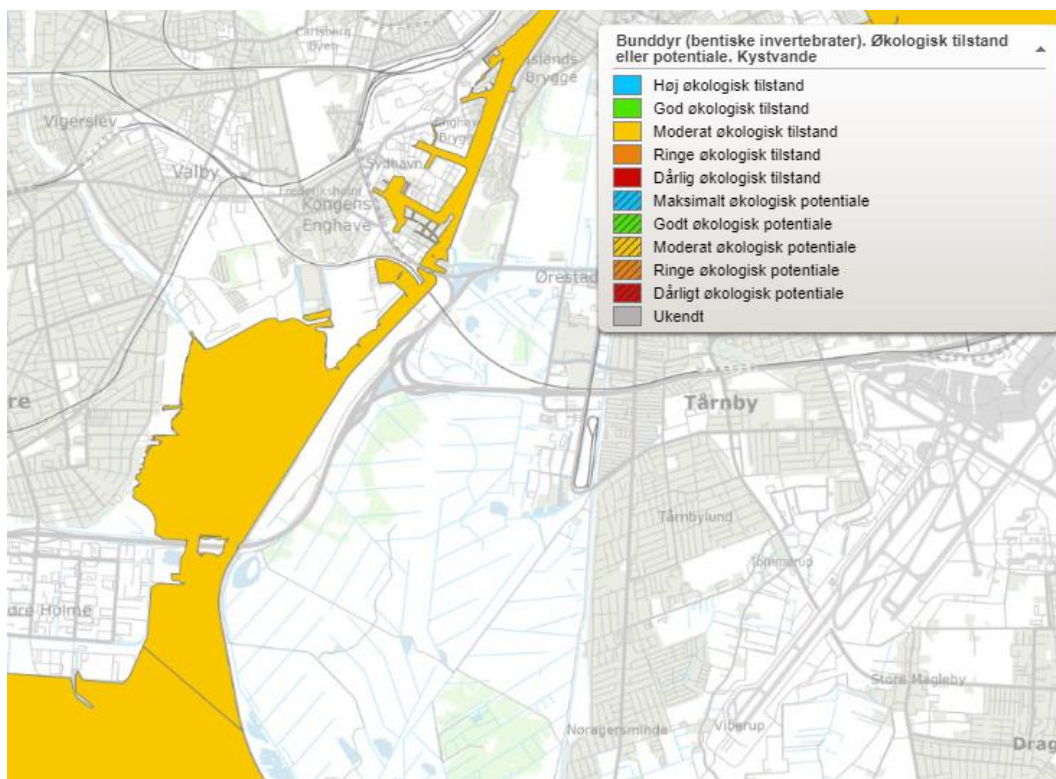
Figur 3-2 illustrere den kemiske tilstand, imens Figur 3-3 og Figur 3-4 angiver den vurderede økologisk tilstand. Målepunkterne for tilstanden af bunddyr ligger i Øresund (Danmarks Miljøportal, 2023) og afspejler nødvendigvis ikke tilstanden i Kalveboderne. Tilstanden er til gengæld vurderet af WSP i 2020, og her er tilstanden vurderet til at have "god økologisk tilstand".



Figur 3-2: Den kemiske tilstand i Kalveboderne, Datakilde: (Miljøstyrelsen - MiljøGIS, 2022)



Figur 3-3: Den økologiske tilstand af specifikke stoffer i Kalveboderne (Miljøstyrelsen - MiljøGIS, 2022)



Figur 3-4: Den økologiske tilstand af bunddyr i Kalveboderne (Miljøstyrelsen - MiljøGIS, 2022)

3.2 Badevandskvalitet

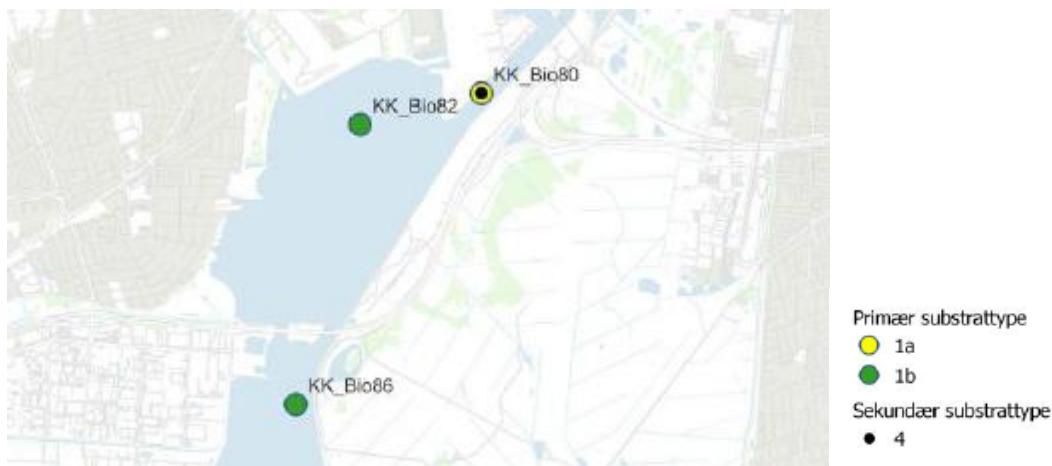
Ved større regnhændelser, hvor der forekommer overløb fra afløbssystemet til Kalveboderne, se bilag A3, sker der en yderligere tilledning ved fortyndet spildevand med forøget indhold af næringsstoffer, fækalierefter og miljøfarlige stoffer til Kalveboderne. Tilførslen til Kalveboderne kan komme fra havneområdet nord for Kalveboderne op til Lynetteholm og fra Harrestrup Å-systemet.

Overløb og urensset spildevand i Kalveboderne påvirker vandkvaliteten, herunder særligt badevandskvaliteten i skybrudssæsonen, se bilag A3. Der er f.eks. registreret meget høje bakterietal for Kalveboderne 7/8-2023 umiddelbart efter kraftige regnskyl. Registreringer to dage senere, 10/8-2023, viser at bakterietallene er faldet igen.

En anden påvirkning fra de kraftige regnskyl er, at der vaskes sediment ud med åvandet. Således ses SSC-niveauer op til 64 mg/l i åvandet, se bilag A4. Derudover viser bilag A3 niveauerne for en række miljøfarlige stoffer i åvandet, der løber ud i Kalveboderne. Næringsstofs-niveauerne er 3-4 gange højere i åen end i Kalveboderne med stort forbehold for gamle næringsstofmålinger i Kalveboderne, se bilagsafsnit for mere information.

3.3 Havbiologisk baselineundersøgelse

Der er på foranledning af Københavns Kommune gennemført en biologisk baseline af den marine biodiversitet i Københavns Havn. Undersøgelsen bygger oven på en omfattende biologisk screening, der blev foretaget af WSP i 2021, hvor der blev indsamlet både bundfauna-, epiflora- og epifaunadata på 86 stationer med ROV og mini Van Veen-bundfauna prøvehenter (WSP, 2022). Af de 86 stationer blev der udvalgt 15 stationer ud fra kriterier som høj biodiversitet for infauna og epifauna, speciel flora eller fauna samt geografiske hensyn. Følgende er uddrag af undersøgelsen gældende for Kalveboderne. Stationsplacering ses på Figur 3-5 og opsamling er vist i Tabel 3-3.



Figur 3-5: Stationer med angivne primære og sekundære substrattyper, ref. (WSP, 2022).

Undersøgelsen bestod af en række observationer ud fra følgende parametre:

- Substrat (bundtype): Da bundtypen udgør levestedet for dyr og planter i området, er den helt afgørende for, hvilke arter man kan forvente at finde.
- Faunadækning: Den andel af bunden, der er dækket med dyr, søstjerner, sandormehobe mm.
- Antal faunaarter: Antallet af dyrearter på den pågældende station.
- Floradækning: Andelen af bunden, der er dækket med bundplanter, enten frøplanter som ålegræs og lignende på den bløde bund og tangplanter (alger) på hård bund.
- Antal floraarter: Antallet af bundplanter på en station.
- DKI-indeks: Et kvalitetsindeks, der vurderer den økologiske kvalitetstilstand af bunddyr på en given station.

Substratet (bundtype) for Kalveboderne blev bestemt til type 1a "blød siltet til mudret bund" (Station KK_bio80). I renden lige nord for Kalveboderne (station KK_bio82) ses også områder med sekundær substrattype 4 "stenrev med dækningsgrad af store sten over 25% af bunden". Syd for Kalveboderne (Station bio86) er substrattypen 1b "siltet sandbund".

Faunadækning er 0-5 % i Kalveboderne (Station KK_Bio80). På stationen i renden lige nord for Kalveboderne (Station KK_bio82) var faunadækningen 5-10 %. Faunadækningen er typisk søstjerner, sandormehobe eller i mindre omfang fauna associeret med hårdt substrat. Syd for Kalveboderne (Station KK_Bio86) var faunadækningen 0-5 arter.

Antal faunaarter er 2-4 på den bløde bund i Kalveboderne (Station KK_Bio80). På stationen i renden lige nord for Kalveboderne (Station KK_Bio82) blev der registreret 6-8 arter, hvor der også var flere sten til stede. Syd for Kalveboderne (Station KK_Bio86) blev der registreret 0-1 art.

Floradækning blev vurderet til 50-75 % i Kalveboderne (Station KK_Bio80) og 75-100 % på stationen lige nord for Kalveboderne (Station KK_Bio82). Syd for Kalveboderne (Station KK_Bio86) blev floradækningen vurderet til 0-25 %. Dækningsgraderne af bundvegetationen er også vurderet i marin vegetationsatlas (DHI, 2018).

Antal floraarter registeret er 4-6 i Kalveboderne (Station KK_Bio80), 8-10 på stationen lige nord for Kalveboderne (station KK_Bio82) og 0-2 arter syd for Kalveboderne (Station KK_Bio86).

DKI-indeks i Kalveboderne (Station KK_Bio80) var 0,88, 0,85 på stationen lige nord for Kalveboderne (station KK_Bio82) og Syd for Kalveboderne (Station KK_Bio86) 0,85. Alle værdierne vidner om en høj økologisk tilstand for bundfauna alle tre steder.

Tabel 3-3: Resultaterne af baselineundersøgelse foretaget af WSP 2021, ref. (WSP, 2022).

	Station		
	KK_Bio80 "Sydhavnstippen"	KK_Bio82 "Kalveboderne, nord"	KK_Bio86 "Syd for Kalveboderne"
Substratet	1a blød siltet til mudret bund	1b siltet sandbund	4 sekundær stenrev
Faunadækning	0-5 %	5-10 %	0-5 %
Antal faunaarter	2-4	6-8	0-1
Floradækning	50-75 %	75-100 %	0-25 %
Antal floraarter	4-6	8-10	0-2
DKI-indeks	0,88	0,85	0,85

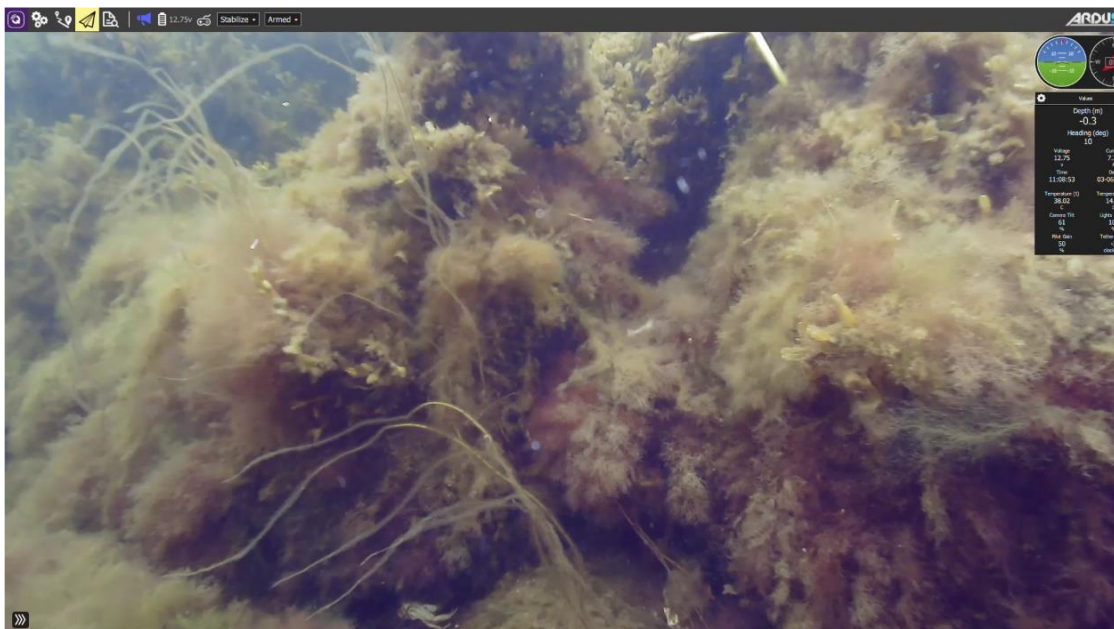
I nedenstående afsnit følger en kort gennemgang af biologien på hver station fra ROV- og dykkervideosekvenserne.

Station KK_Bio80: Sydhavnstippen

- **Substrat:** Primær bundtype: type 1a blød siltet til mudret bund.
- **Flora:** Fedtemøg på blomsterplanter, primært vandaks, ålegræs, ruppia, fucus sp, silkevandhår, polysiphonia sp., chorda filum, klørtang. Substratspecifik dækning: 100 %.
- **Fauna:** Invertebrater: Hydrobia, blåmuslinger, sildebenspolyp, glat hindemosdyr, tanglus, øregople, brandmand, rurere. Overordnet dækning: 6 %. Fisk: Tangnål, hundestejle



- **Substrat:** Sekundær bundtype: Type 4 stensætning
- **Flora:** Rørhinde, chorda filum, dusk-vandhår, fedtemøg, polysiphonia, blæretang, rød skorpealge, søsalat. Substratspecifik dækning: 95 %.
- **Fauna:** Invertebrater: Rurere, blåmuslinger, rejer, tanglus. Overordnet dækning: 1 %



Station KK_Bio82: Kalveboderne, nord

- **Substrat:** Bundtype: Type 1b siltet sandbund
- **Flora:** Ruppia, fedtemøg, fucus, chorda filum, vandaks, savtang. Substratspecifik dækning: 70 %.
- **Fauna:** Invertebrater: Blåmuslinger, hydrobia på bunden, huller fra infauna i bunden, sildebenspolyp. Overordnet dækning: 4 %.



Station KK_Bio86: Syd for Kalveboderne

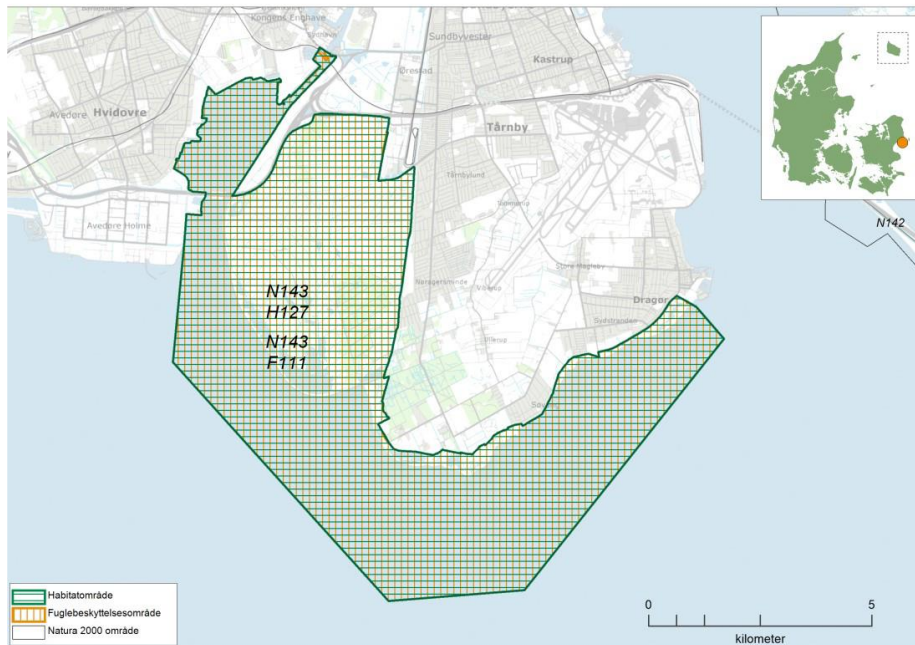
- **Substrat:** Bundtype: type 1b siltet sandbund med sammenskyt af fedtemøg og ålegræs.
- **Flora:** Ruppia sp. Substratspecifik dækning: 4 %.
- **Fauna:** Invertebrater: Huller fra infauna, muligvis hydrobia. Overordnet dækning: 2 %. Fisk: Kutling sp.



De tre stationer viser forskellige tegn på eksponering og vandudskiftning. Stationen i Kalveboderne KK_Bio82 "Kalveboderne, nord" er den mest beskyttede med mindst vandudskiftning. Station KK_Bio80 "Sydhavnstippen" har moderat vandudskiftning, da den er placeret i renden, hvor vandet passerer nord-syd på med strømrretningen. Station KK_Bio86 "Kalveboderne Syd" ligger uden for Kalveboderne og syd for renderne ind til Kalveboderne i et område med mere eksponering.

3.4 Natura 2000: N143 "Vestamager og havet syd for"

Kalveboderne er en del af Natura 2000-området nummer 143 "Vestamager og havet syd for". Udpegningen for Natura 2000-området "Vestamager og havet syd for" har et samlet areal på 6.207 ha, hvoraf 4.004 ha er hav og 123 ha er vandflade i søerne. Den resterende del er landområde. Området er afgrænset som vist på Figur 3-6. Området består af habitatområde nr. 127 "Vestamager og havet syd for" og fuglebeskyttelsesområde nr. 111 "Vestamager og havet syd for".



Figur 3-6: Kortet viser afgrænsningen af Natura 2000-område N143 "Vestamager og havet syd for". Natura 2000-området består af habitatområde H127 (grøn skravering) og fuglebeskyttelsesområde F111 (orange skravering) (Miljøstyrelsen, 2021, revideret)

Foruden det store udpegede vandareal er store dele af Natura 2000 udpegningsens landområde statsejede. Af de 2.058 ha statsejede arealer ejer Naturstyrelsen 1.990 ha. Området ligger både i Tårnby, Dragør, København og Hvidovre Kommuner og inden for vandområdedistrikt Sjælland (Miljøstyrelsen, 2021, revideret). Området ligger desuden i Havstrategidirektivets marin-baltiske region (Miljøministeriet, 2012+2018).

3.4.1 Kortlægninger af marine naturtyper

De marine naturtyper, der er kortlagt i området, er naturtyperne bugter og vige (1160), sandbanke (1110) og kystlaguner og strandsøer (1150). Bugter og vige (1160) er lavvandede områder med begrænset fersk påvirkning, og de udgør størstedelen af fjordene i de indre farvande. Sandbanke (1110) er dannet ved materialetransport langs kysterne f.eks. i form af revler, der kan være u-bevoksede eller evt. med ålegræs. Kystlaguner og strandsøer (1150) er brakvandssøer afsnøret fra havet, og de udgør dermed en overgangszone mellem de indenlandske søer og kysthabitaterne.

I Kalveboderne er det udelukkende naturtypen bugter og vige (1160), hvor naturtypen sandbanke (1110) findes lige uden for Kalveboderne, se Figur 3-7. Vegetationsdækninger i området kan ses på Figur 3-8, og overfladesedimentet for området er primært klassificeret som mudret sandbund, se Figur 3-9.

Bugter og vige (1160)

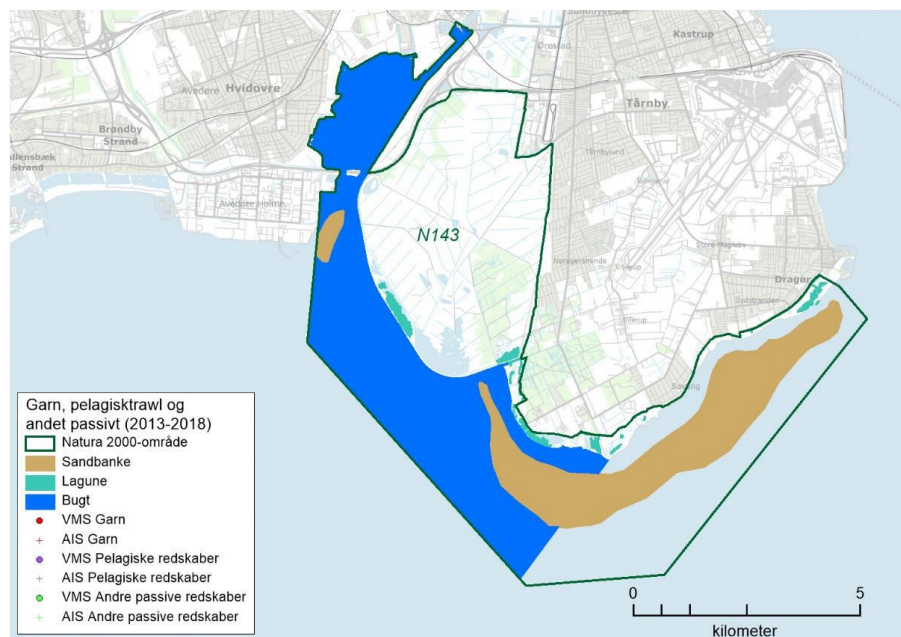
Bugter og vige er den mest udbredte marine naturtype i området, se Figur 3-7. Den er kortlagt ud for den sydvest-vendte kyst, fra kysten og ud til habitatområdets grænse samt i Kalveboderne. Da området er lavvandet, udgør det et meget væsentligt fourageringsområde for især rastende trækfugle. I NOVANA-overvågningen er blødbunden undersøgt for bundfauna i 2014. De mest udbredte arter var havbørsteorm, svovlorm, slamrørsorm, dyndsnegl og blåmuslinger. Ålegræsset er

stedvist undersøgt i 2016. Her blev registreret en sammenhængende dækning på ålegræs helt ud til habitatområdets grænse på 7,2 meters dybde. Forekomsten fortsatte ud til 8,1 meters dybde.

Sandbanker (1110)

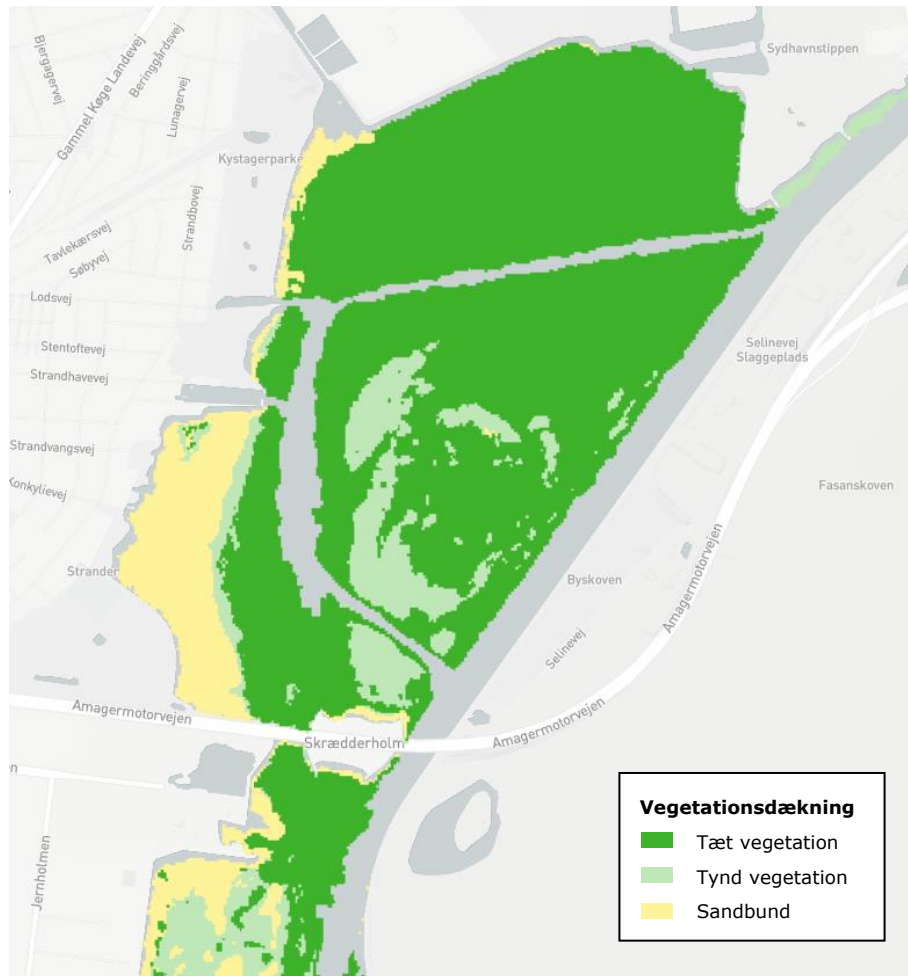
Der er kortlagt to sandbanker, den ene lige uden for Kalveboderne. Den største udgør en bræmme et stykke ud for den sydøstvendte kyst på 0-3 meters dybde og desuden findes et mindre areal øst for Avedøre Holme.

Sandområdet syd for Amager er præget af dynamiske strømrelaterede sandbarrer og kystparallelle revler. Naturtypens konkrete naturindhold er i forbindelse med kortlægningen ikke registreret i området. Der er i NOVANA-overvågningen fundet store forekomster af ålegræs på den kortlagte sandbanke mod øst.

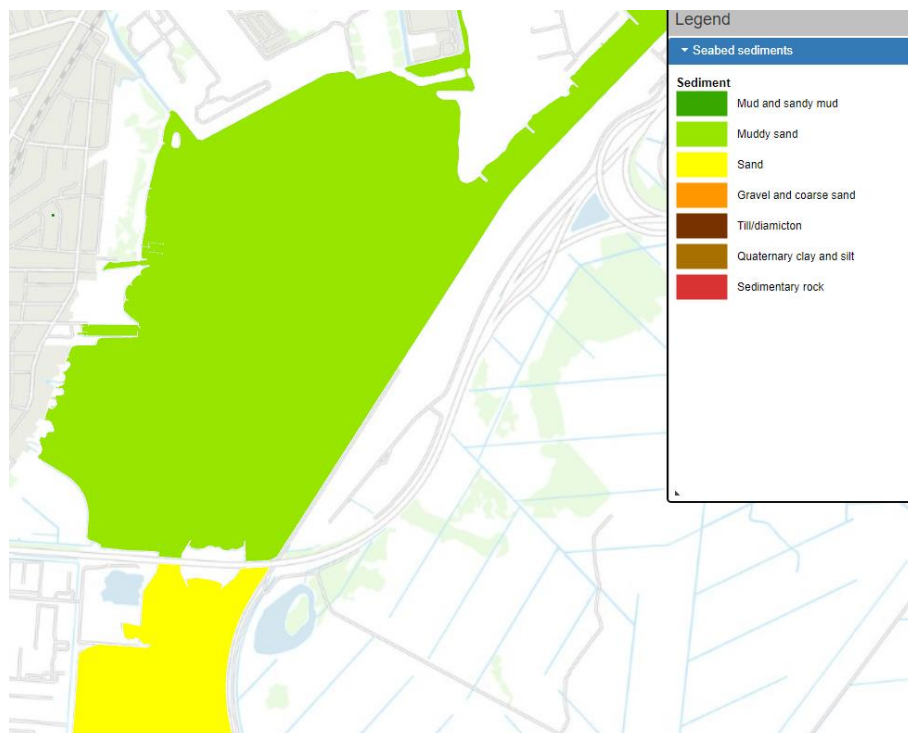


Figur 3-7: Inden for Natura 2000-området 143 findes naturtyperne bugt, sandbanke og lagune. Som kortet viser, findes naturtypen "bugt" inde i Kalveboderne (Miljøstyrelsen, 2021, revideret).

Dækningen af bundplanter er estimeret af DHI på baggrund af satellitbilleder fra 2018 og kan ses på Figur 3-8. Herudover er det bundsedimentetypen ligeledes estimeret af GEUS, se Figur 3-8.



Figur 3-8: Vegetationsdækninger ifølge (DHI, 2018). Da der er tale om mudret sandbund og ikke hårdt substrat, er vegetationen primært smalbladet, almindelig og dværg-bændeltang (også kaldet ålegræs, *Zostera spp.*), almindeligt havgræs og måske arter af vandaks (f.eks. børsteblandet vandaks, langbladet vandaks).



Figur 3-9: Kortlagt overfladesediment. Datakilde (GEUS, 2014).

3.4.2 Udpegningsgrundlaget

Udpegningsgrundlaget for Natura 2000-området N143 "Vestamager og havet syd for" fremgår af Tabel 3-4 samt Tabel 3-5, ref. (Miljøstyrelsen, 2021, revideret).

Tabel 3-4: Udpegningsgrundlag for Natura 2000-område N143. Det er alene naturtyperne markeret med fed, der behandles i undersøgelsen, da det er de marine naturtyper. (Miljøstyrelsen, 2021, revideret)

Kode	Naturtype	Kode	Naturtype
1110	Sandbanke	1150	Lagune*
1160	Bugt	1310	Enårig strandengsvegetation
1330	Strandeng	2130	Grå/grøn klit*
2190	Klitlavning	3140	Kransnålalge-sø
6210	Kalkoverdrev*	6230	Surt overdrev*

*Prioriteret naturtype

Tabel 3-5: Udpegningsgrundlag for Natura 2000-område N143. Ved fuglearter: "T" = trækfugl, "Y" = ynglefugl. Datakilde: (Miljøstyrelsen, 2021, revideret)

Art	Art
Skæv vindelsnegl	
Fugleart	Fugleart
Skarv (T)	Rørdrum (Y)
Knopsvane (T)	Bramgås (T)
Knarand (T)	Skeand (T)
Troldand (T)	Lille skallesluger (T)
Stor skallesluger (T)	Fiskeørn (T)
Rørhøg (Y)	Vandrefalk (T)
Plettet rørvagtel (Y)	Klyde (Y)
Almindelig ryle (Y)	Brushane (Y)
Dværgterne (Y)	Splitterne (Y)
Fjordterne (Y)	Havterne (Y)
Mosehornugle (Y)	

3.4.3 Områdets overordnede bevaringsmålsætninger

Bevaringsmålsætningerne for N143 "Vestamager og havet syd for" fremgår af den seneste Natura 2000-plan for området, ref. (Miljøstyrelsen, 2021, revideret) og vandområdeplanerne, ref. (Miljøstyrelsen - MiljøGIS, 2022), hvor der her arbejdes primært med de marine målsætninger.

De overordnede mål for Natura 2000-området N143 er:

- At områdets store forekomster af kystnaturtyper, laguner og lavvandet syd for Vestamager sikres som gode sammenhængende levesteder for områdets internationalt og nationalt vigtige forekomster af træk- og ynglefugle.
- At områdets marine naturtyper sandbanke (1110), bugt (1160), lagune (1150) sikres. Naturtyperne har enten stærk ugunstig bevaringsstatus og/eller særlige forekomster i Danmark.
- At de internationalt vigtige forekomster af trækfuglene bramgås, skarv, skeand, stor skallesluger, lille skallesluger og troldand sikres. Sidstnævnte art er i tilbagegang.
- Den økologiske integritet i området sikres derudover ved god vandkvalitet gennem reduceret tilførsel af næringsstoffer og miljøfarlige stoffer, hvilket reguleres gennem vandområdeplanerne.

3.4.4 Konkrete målsætninger

Natura 2000-området konkrete bevaringsmålsætninger omfatter følgende, ref. (Miljøstyrelsen, 2023):

Marine- og ferskvandsnaturtyper (undtagen søer under 5 ha)

- For søer over 5 ha og marine naturtyper henvises til målsætningerne i vandområdeplanerne.

- God samlet økologisk tilstand, ref. (Miljøstyrelsen - MiljøGIS, 2022).
- God kemisk tilstand, ref. (Miljøstyrelsen - MiljøGIS, 2022).
- For de marine naturtyper skal tilstand og areal være stabil eller i fremgang og bidrage til gunstig bevaringsstatus på biogeografisk niveau.

Trækfugle

- For trækfugle, der kan optræde med nationalt eller internationalt betydende forekomster i fuglebeskyttelsesområdet, skal deres raste- og overnatningsområder sikres eller være i fremgang, således at området også fremadrettet kan huse en bestand af national eller international betydning.

4 BESKRIVELSE AF ANALYSESCENARIER

Nærværende modelberegninger skal medvirke til at øge grundlaget for at vurdere påvirkningen af de marinbiologiske forhold som følge af etablering af stormflodssikring ved Kalveboderne. I følgende afsnit beskrives relevante parametre for de analyserede scenarier.

4.1 Modelopsætningen

Modelberegningerne baseres på numeriske simuleringer med MIKE 3 Flow Model, et state-of-art modelleringssoftware udviklet af DHI. MIKE 3 Flow Model er et tredimensionelt (3D), modulbaseret modelleringsværktøj udviklet til at simulere f.eks. hydrodynamiske forhold (strøm og vandstand), vandtemperaturer og salinitet, sedimenttransport og -spredning samt spredning af partikler eller opløst stof afhængig af hvilke moduler, der anvendes og/eller kobles sammen.

Anvendte modelopsætning er nærmere beskrevet i bilag B1, imens kalibrering og validering af modellen er beskrevet bilag B2.

4.2 Løsningsgeometri for stormflodssikringen

Som en del af den samlede stormflodssikring planlægges som nævnt højvandsporte ved både Kalveboderne i syd samt i Kronløbet mod nord. Den vurderede geometri for disse højvandsporte beskrives i det følgende. Geometri og løsningstyper for stormflodssikring er baseret på indledende betragtninger ifm. etablering af et anlægsbudget, og dermed kan det ikke udelukkes, at der kan forekomme ændringer/justeringer i senere detailfaser.

Implementering og prioritering af scenarier for stormflodssikring i modellen beskrives nærmere i afsnit 4.3.

4.2.1 Planlagt stormflodssikring ved Kalveboderne

Som beskrevet i afsnit 1 arbejdes der med tre mulige løsningstyper i den gennemførte modellering:

- **Løsningstype B1:** Højvandsporte i Sorterenden og i Kalvebodløbet.
- **Løsningstype B2:** Én dæmningskonstruktion i Sorterenden og én højvandsport i Kalvebodløbet.
- **Løsningstype B3:** Én dæmningskonstruktion i Sorterenden (med mulighed for at sikre en vis vandudskiftning via rørgennemføringer, der kan varieres i antal afhængig af behov, og som kan anvendes til at styre strømretning) samt én højvandsport i Kalvebodløbet.

Oversigtsfoto af beliggenheden af Sorterenden og Kalvebodløbet er vist i figur 4-1.

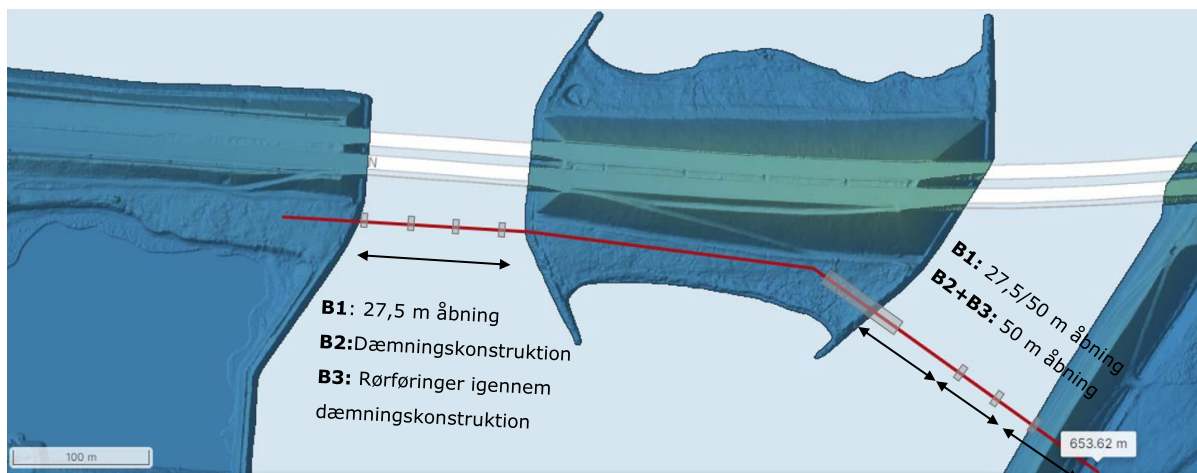


Figur 4-1: Oversigtsfoto af eksisterende forhold. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

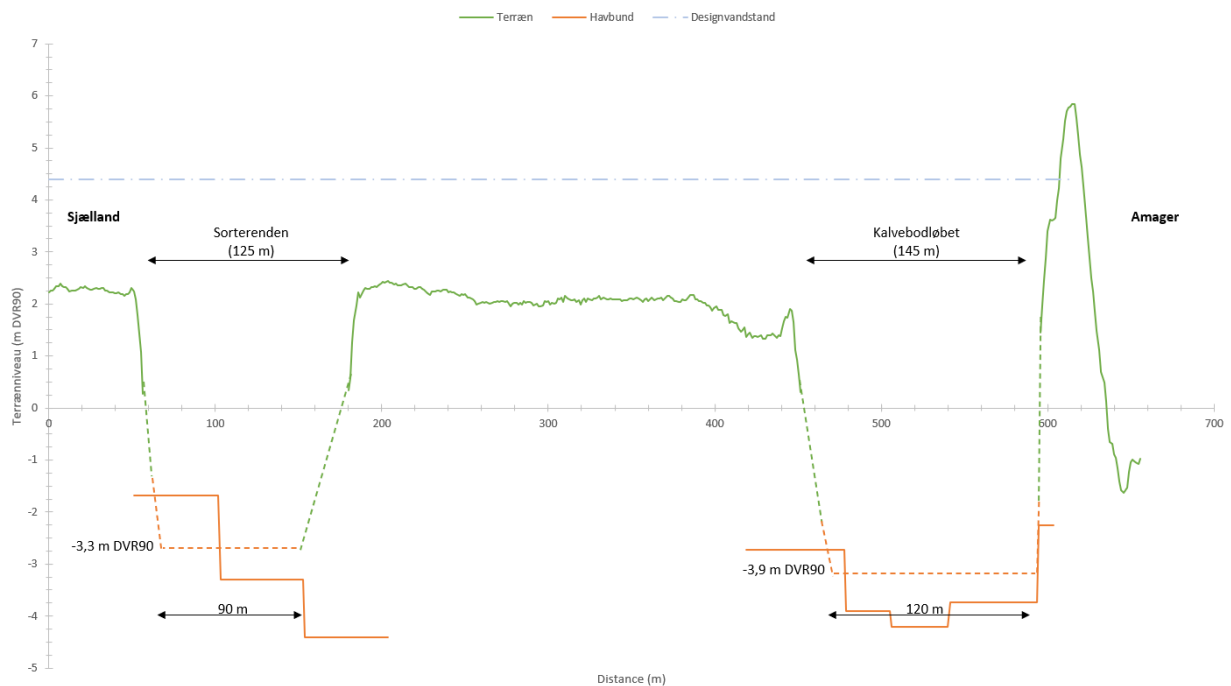
Dæmninger og porte er i modellen implementeret som ændringer i mesh, hvorimod rørgennemføringer/ventiler er implementeret i modellen som såkaldte structures. Valg af type structures i modellen fremgår nærmere af bilag B1.

Der er for Kalvebodløbet generelt forudsat en løsning med en portåbning på 50 m med henblik på at afdække et anlæg, som muliggør åbning i et brofag. Hvis der er behov for yderligere åbning ift. de miljømæssige aspekter eller nuværende og fremtidige sejlads, kan der etableres flere åbninger; både i form af større og mindre højvandsporte samt gennemstrømningsanlæg. Den samlede nuværende gennemstrømningsåbning på tværs af Kalvebodløbet er ca. 105 m, hvilket reduceres til 50 m for alle overordnet løsningstyper undersøgt i indeværende scenarieanalyser. Et følsomhedsstudie inkluderer en variant af B1, hvor åbningsbredderne er identiske i de to løb, nemlig 27,5 m.

I Sorterenden varierer løsningstyperne fra én højvandsport på 27,5 m (B1) til ét lukket tværsnit som følge af etablering af dæmningskonstruktion (B2). Derudover undersøges et anlæg med begrænset gennemstrømning igennem en dæmningskonstruktion (B3). Den samlede nuværende gennemstrømningsåbning på tværs af Sorterenden er ca. 90 m, hvilket reduceres væsentligt afhængig af løsningstype undersøgt i indeværende scenarieanalyser. Dette er skitseret i figur 4-2 og figur 4-3.



Figur 4-2: Oversigtsplan for placering af stormflodssikring, i form af løsningstyperne B1, B2 og B3 samt varianter heraf.



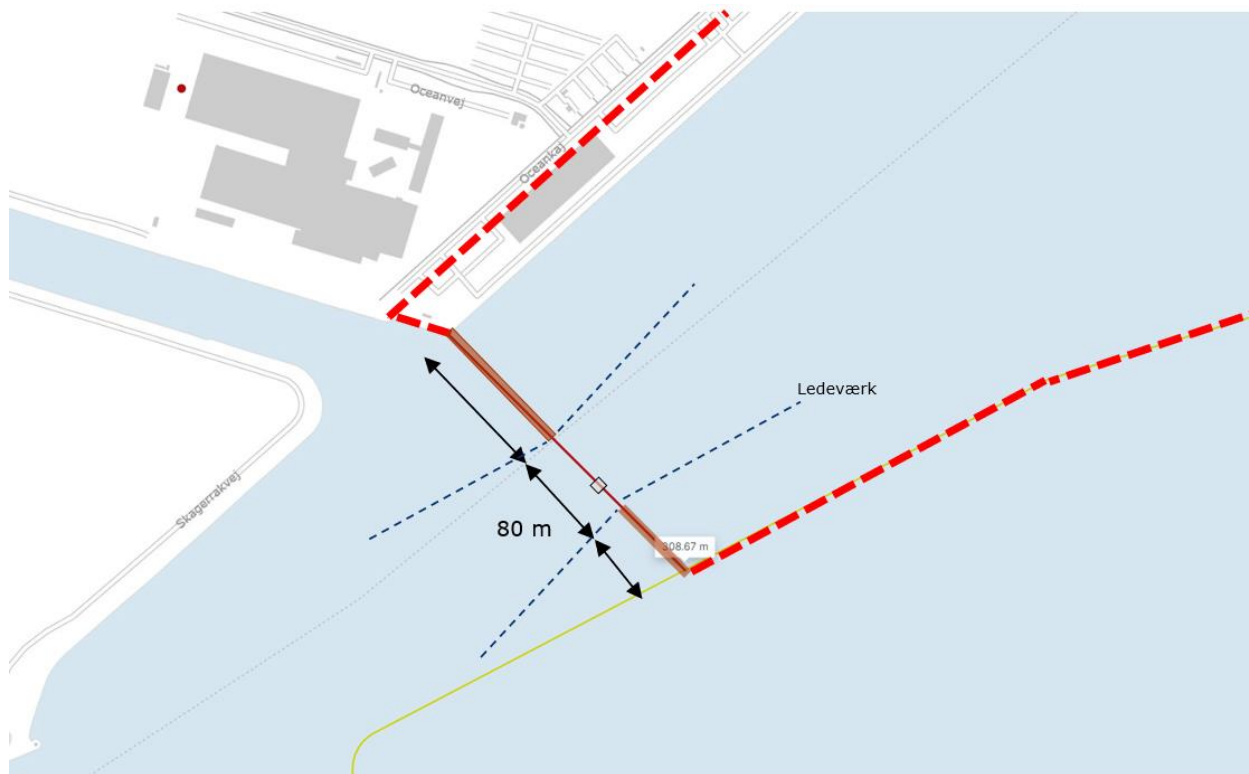
Figur 4-3: Tværsnit af Kalveboderne. Her ses nuværende gennemstrømningsåbninger i både Sorterenden og Kalvebodløbet.

Løsningstype B1 forudsætter således åbninger i begge render, imens løsningstype B2 forudsætter en total blokering for vandgennemstrømning i Sorterenden. Løsningstype B3 inkluderer, at der etableres én eller flere gennemstrømningsåbninger (f.eks. rør eller porte) i Sorterenden. Beliggenhed af disse kan potentielt baseres på modellering, men denne form for optimering er ikke indeholdt i nærværende analyse.

4.2.2 Planlagt stormflodssikring i Kronløbet

Stormflodssikring ved Kronløbet er også en del af forundersøgelsen igangsat af Transportministeriet. I Kronløbet er det ikke endeligt afklaret, hvad løsningen skal være, men løsningen indeholder som minimum en åbning svarende til 80 m. Videre analyser i forhold til sejladsikkerhed, porttype, funktion mv. afdækkes i samarbejde med bl.a. By & Havns planlægning for udbygningen af Nordhavn samt Lynetteholm.

Et eksempel på en mulig stormflodssikring i Kronløbet, som der arbejdes med i regi af forundersøgelsen, er etablering af en 80 m bred højvandsport i Kronløbets sejlrende med spuncelledæmninger på hver side, se figur 4-4. Alternativt kan to højvandsporte være nødvendige for at sikre drift- og vedligehold, sejladsikkerhed samt mindske miljøpåvirkningerne.



Figur 4-4: Eksempel på stormflodssikring ved Kronløbet.

4.3 Modelforcering og hydrodynamiske modelscenarier

Den hydrauliske model forceres med følgende randbetingelser:

- **Vandstand:** Modellen forceres med målte vandstandsvariationer ved Hornbæk (tæt ved den nordlige modelrand) og Rødvig (tæt ved den sydlige modelrand). Målte vandstande ved Hornbæk og Rødvig viser stor lighed med målte vandstande ved Vedbæk og Køge (som er nærmere beskrevet i afsnit 2.1). Vandstandsvariationerne inkluderes i modellen som varierende i tid baseret på de målte vandstandstidsserier.
- **Vind:** Modellen forceres med målte vinddata ved DMI-måler 6181, se nærmere beskrivelse af data i afsnit 2.2. Vindforholdene inkluderes i modellen som varierende i tid (både vindhastighed og vindretning) baseret på de målte vindtidsserier. Vinden påføres med samme hastighed og retning i hele modelområdet.
- **Vandføring i Harrestrup Å:** Der inkluderes vandføring i modellen ved Harrestrup Å baseret på vandføringsstatistikken beskrevet i afsnit 2.1.4. Vandføringen inkluderes i modellen som konstant, hvortil der undersøges forskellige scenarier for hhv. gennemsnitlig og høj vandføring. Ved modelkalibreringen anvendes tidsvarierende vandføring fra Harrestrup Å.
- **Salinitetsforhold:** Der anvendes i modellen en konstant salinitet på 12 PSU på både den sydlige- og nordlige modelrand, hvilket ca. svarer til den gennemsnitlige dybdemidlede salinitet, jf. afsnit 2.3. Initialbetingelsen for salinitet i havneløbet er også valgt til 12 PSU, hvorimod saliniteten er 0 PSU for ferskvandstilførslen fra Harrestrup Å.

Forskellige forcerende randbetingelser afdækkes i modellen for at identificere, om forskellige hydrodynamiske forhold har indflydelse på påvirkningen fra de tre løsningstyper for stormflodssikring. Scenarierne repræsenterer ikke statistiske ekstremforhold, men derimod typiske repræsentative forhold i normale vinter- og sommerperioder. Modelresultater kan derfor ikke anvendes til design af nogen art.

Modelscenarier opbygget omkring forcerende randbetingelser for strømforhold, vandføring i Harrestrup Å samt middel havniveau er opsummeret i det følgende. De forskellige scenarier kombineres med de planlagte løsningstyper for stormflodssikring (jf. afsnit 4.2), afhængig af analysebehov. Således gennemføres ikke nødvendigvis simuleringer for alle kombinationer af hydrodynamiske scenarier og løsningstyper for stormflodssikring, såfremt de relative udfald for enkelte kombinationer vurderes ugunstige allerede på forhånd eller såfremt det pågældende scenarie ikke vurderes at det være det mest kritiske af de opstillede ift. den gennemførte miljøscreening.

Scenarier for nettostrømretninger

- **Strømscenarie 1:** Periode med nettonordgående strøm i havnegennemstrømningsløbet jf. 13. oktober 2022 – 20. oktober 2022, se figur 4-5.
- **Strømscenarie 2:** Periode med nettosydgående strøm i havnegennemstrømningsløbet jf. 17. december 2023 – 24. december 2023, se figur 4-6.
- **Strømscenarie 3:** Perioden med tidevandsdomineret strøm i havnegennemstrømningsløbet jf. 13. juni 2023 – 20. juni 2023, se figur 4-7.

Scenarier for sæsonbetingede vandføringer fra Harrestrup Å

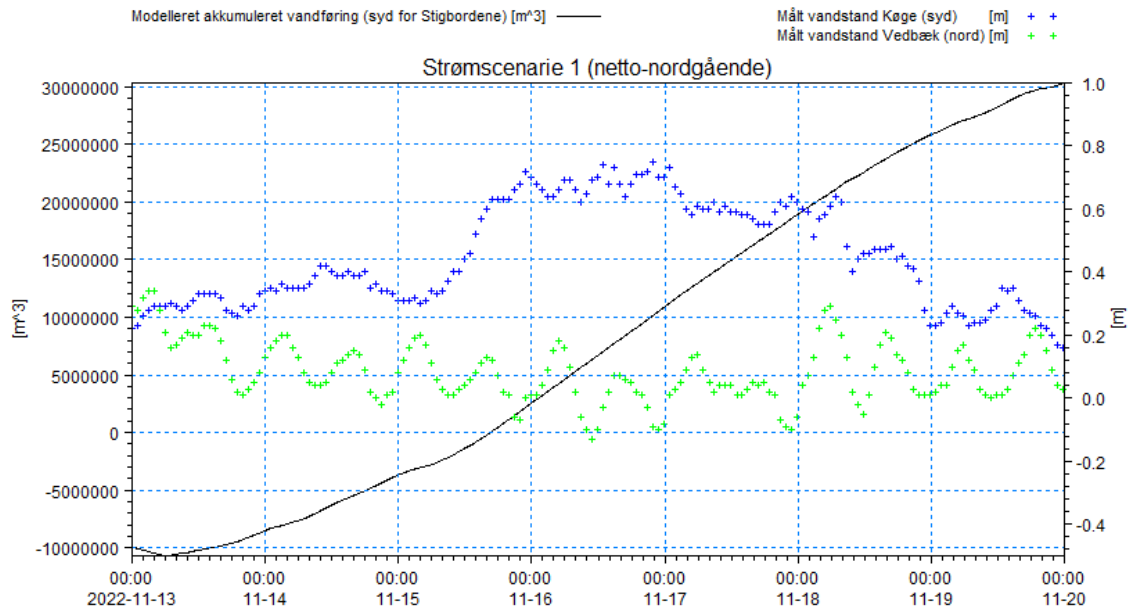
- **Vandføringsscenario 1:** 250 l/s svarende til ca. gennemsnitlig vandføring i sommerhalvåret, jf. figur 2-8.
- **Vandføringsscenario 2:** 500 l/s svarende til ca. gennemsnitlig vandføring i vinterhalvåret, jf. figur 2-8.

Scenarier for middel havniveau

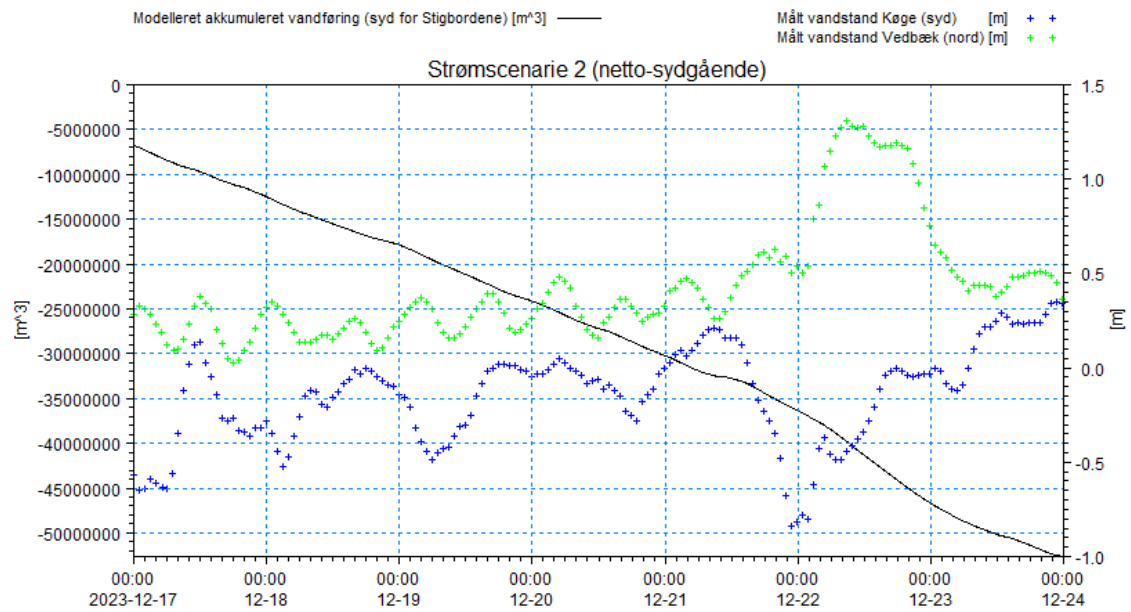
- **Middelvandstandsscenario 1:** Nutidig middel havniveau med varierende vandstande på modelrandene svarende til repræsentativ periode for pågældende strømscenarie.
- **Middelvandstandsscenario 2:** Fremtidigt middel havniveau med varierende vandstande på modelrandene svarende til repræsentativ periode for pågældende strømscenarie samt forventet middel havniveaustigning svarende til år 2075 jf. afsnit 2.4 er +0,60 m jf. SSP3-7.0 83-percentil.

Det er i modelopsætningerne generelt forudsat, at der ved Kalveboderne forekommer en god vertikal opblanding grundet dybdeforholdene, den forholdsvis høje vandudskiftning samt de smalle passager for vandudveksling til- og fra Kalveboderne. Denne forudsætning bør dog eftervises eksempelvis via målinger i en senere projektfase. For nærmere kommentering og diskussion se Bilag A6. I de kommende resultatafsnit under kapitel 5 henvises til navngivningen af hydrodynamiske scenarier jf. ovenstående opstilling.

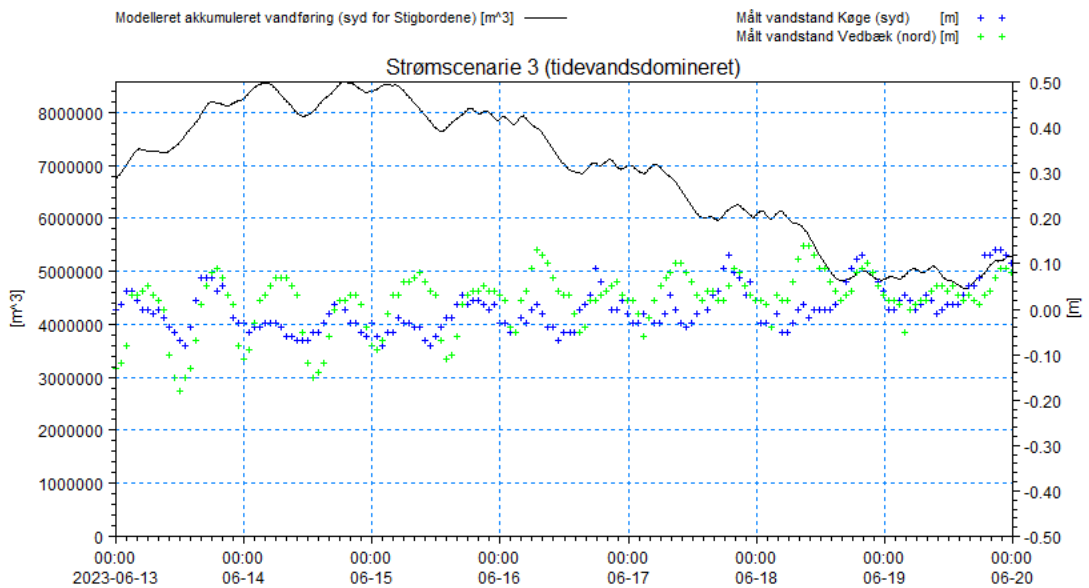
De model forcerede strømscenarier er afbildet i figur 4-5 - figur 4-7.



Figur 4-5: Modelleret akkumuleret vandføring opgjort syd for Stigbordene (sort linje) samt målte vandstande ved hhv. Køge (blå punkter) og Vedbæk (grønne punkter). Modelleringen er baseret på Baseline 0: Strømscenario 1, Vandføringsscenario 1 samt Middelvandstandsscenario 1.



Figur 4-6: Modelleret akkumuleret vandføring opgjort syd for Stigbordene (sort linje) samt målte vandstande ved hhv. Køge (blå punkter) og Vedbæk (grønne punkter). Modelleringen er baseret på Baseline 0: Strømscenario 2, Vandføringsscenario 1 samt Middelvandstandsscenario 1.



Figur 4-7: Modelleret akkumuleret vandføring opgjort syd for Stigbordene (sort linje) samt målte vandstande ved hhv. Køge (blå punkter) og Vedbæk (grønne punkter). Modelleringen er baseret på Baseline 0: Strømscenarie 3, Vandføringsscenarie 1 samt Middelvandstandsscenario 1.

4.4 Undersøgte hydrodynamiske scenarier ift. baseline og løsningstyper for stormflodssikring

Påvirkninger fra de tre løsningstyper beskrevet i afsnit 4.2.1 evalueres relativt ift. forhold beskrevet ved baseline, hvor der ikke er etableret en stormflodssikring jf. Forundersøgelsen.

4.4.1 Baseline

For indeværende modelleringsopgave, arbejdes der med to baselines: Baseline 0 og Baseline 1. Baseline 0 som repræsenterer nuværende forhold, anvendes til kalibrering og validering af modellen, imens Baseline 1, repræsenterende en situation inkl. Lynetteholm, anvendes til at vurdere effekterne af løsningstyperne.

Formålet med Baseline 1 er at etablere et sammenligningsgrundlag ift. vurdering af den relative påvirkning af stormflodssikringen. Dette scenarie er dermed et udtryk for forholdene, hvor der ikke er etableret en stormflodssikring ved Kalveboderne, men inkluderer den planlagte Lynetteholm. Den eneste forskel mellem Baseline 1 og de vurderede løsningstyper er således selve den betragtede stormflodssikring. Det bemærkes, at idet stormflodssikring ved Kronløbet og udformningen heraf endnu ikke er besluttet, gennemføres modelleringerne uden indflydelsen fra denne. Se mere for nærmere kommentering og diskussion i afsnit 4.2.2 samt bilagsmaterialet B3.4.

4.4.2 Forcerende hydrodynamiske scenarie

Generelt er resultaterne i kapitel 5 for de analyserede løsningstyper præsenteret for udvalgte relevante hydrodynamiske scenarier (nærmere beskrevet i afsnit 4.2):

- Relevante **strømscenarier** med varierende strømretning:
 - Strømscenarie 1 - dominerende nordgående strøm
 - Strømscenarie 2 – dominerende sydgående strøm
 - Strømscenarie 3 - domineret af tidevandsforhold
- **Vandføringsscenarie 1**, hvor det er antaget at vandføringen fra Harrestrup Å svarer til den gennemsnitlige vandføring i sommermåneder
- **Middelvandstandsscenario 1** svarende til nuværende middel havniveau.

I tabel 4-1 ses en oversigt over de modellerede scenarier. Det er dog ikke alle scenarier, der vises resultater for i kapitel 5, da nogle scenarier er screenet væk i tilfælde af, at de kan afskrives som værende "ikke kritiske" ift. påvirkningen af de marinbiologiske elementer i den gennemførte screening. For eksempel er Stigbordene den største begrænsende faktor ved sydgående strøm. Derfor er vandstand og vandudskiftning syd for Stigbordene primært styret af tilløb fra Køge Bugt (dvs. nordgående strøm), hvorved strømscenarie 2 ikke medfører den største påvirkning af lokale forhold ved Kalveboderne.

Tabel 4-1: Oversigt over modellerede scenarier for de primære simuleringer. Grå felter indikerer at der er kørt simuleringer, X markerer at udvalgte resultater for det pågældende scenarie er indeholdt i resultataf rapporteringen i kapitel 5.

	Forcerende hydrodynamisk scenarie Vandføringsscenario 1 og Middelvandstandsscenario 1 inkl. et af følgende strømscenarier:		
	Strømscenarie 1	Strømscenarie 2	Strømscenarie 3
Baseline 1 Inkl. Lynetteholm			
Løsningstype B1 Variant A	X	X	X
Løsningstype B1 Variant B			X
Løsningstype B2	X		X
Løsningstype B3 Variant A			X
Løsningstype B3 Variant B			X

Følsomhedssimuleringer er udført for udvalgte parametre ift. at vurdere de opnåede resultaters robusthed overfor ændringer af udvalgte parametre, herunder vandføringen fra Harrestrup Å (Vandføringsscenario 2 – øget vandføring) samt middel havniveau (Middelvandstandsscenario 2 – øget middel havniveau i år 2075). Desuden gennemføres en vurdering af påvirkningen af resultaterne, hvis der i en periode forekommer en mindre god opblanding af vandsøjlen. Oversigt over følsomhedsvurderingerne ses i Tabel 4-2.

Tabel 4-2: Oversigt over simuleringer ifm. følsomhedsvurderingerne. Grå felter indikerer at der er kørt simuleringer, X markerer at udvalgte resultater for det pågældende scenarie er indeholdt i resultataf rapporteringen i kapitel 5.

	Vandføring i Harrestrup Å		Middel havniveau	Stormflodssikring i Kronløbet		Vertikal dispersion
	1	3	3	1	3	3
Vandføringsscenario	2	2	1	1	1	1
Middelvandstandsscenario	1	1	2	1	1	1
Baseline 1					X	
Løsningstype B1 Variant A		X	X			
Løsningstype B2						X
Løsningstype B3 Variant A+B, 10 rørgennemføringer						

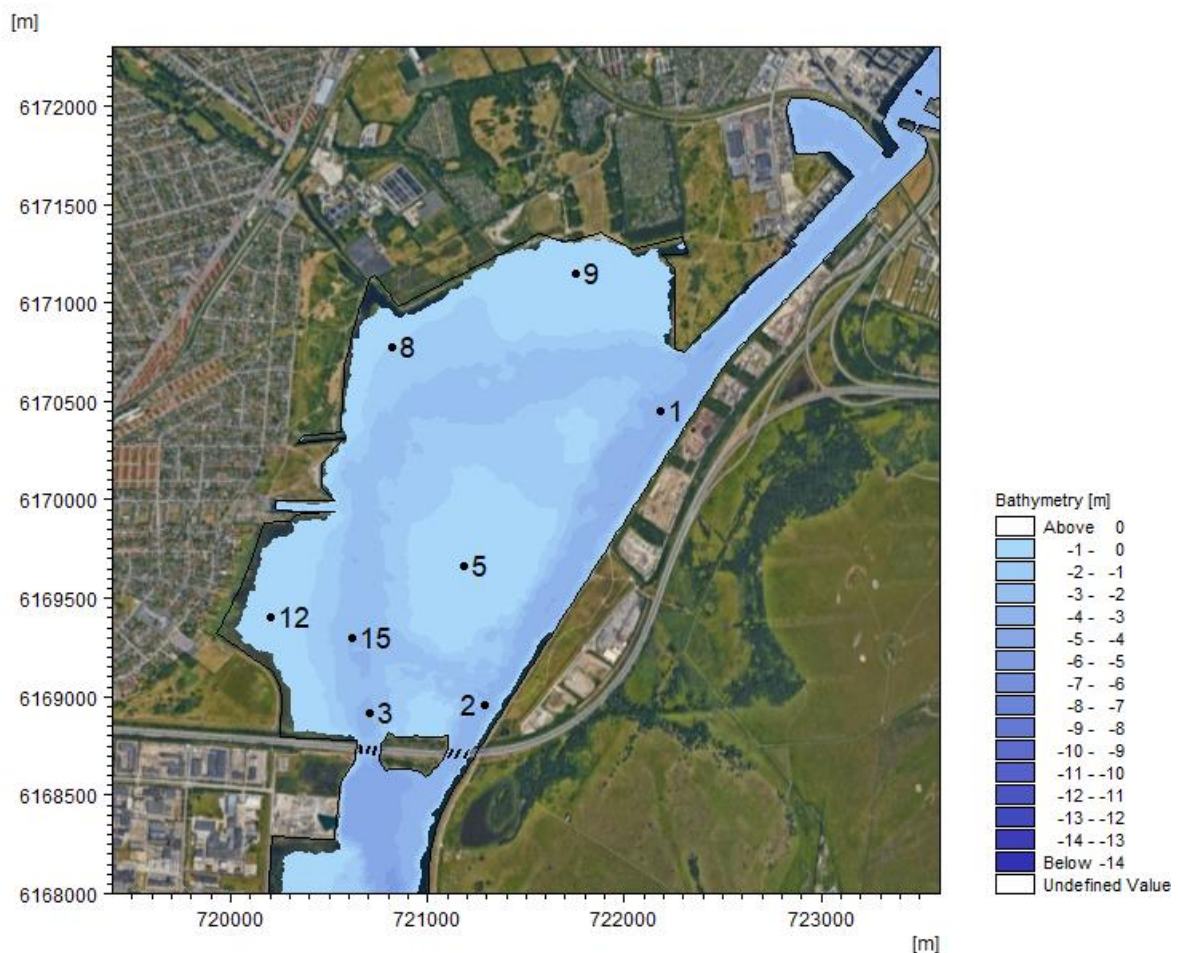
5 PRÆSENTATION AF MODELRESULTATER

I dette kapitel præsenteres modelresultater for stormflodssikringens påvirkning af de hydrauliske forhold, herunder resultater for påvirkning af strømforhold og påvirkning af salinitetsniveau. Modelresultaterne repræsenterer en del af grundlaget for den gennemførte miljøscreening ift. vurdering af påvirkningen af de marinbiologiske forhold. Følsomhedsanalysen er afrapporteret i bilag B3.

5.1 Resultatindikatorer ift. strømforhold og salinitet

Der præsenteres generelt resultater af modellerede strømhastigheder og påvirkninger af salinitet i form af:

- Tidsserie-plots, der viser dynamikken i et udvalgt punkt. Se positioner og tilhørende navngivning for udvalgte udtrækspunkter i figur 5-1.
- Statistiske areal-plots, der viser hhv. gennemsnitlige og maksimale værdier i den modellerede periode.



Figur 5-1: Markering af positioner for udtræk af tidsserier. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

Ift. at vurdere de enkelte stormflodsløsningers påvirkning af de hydrodynamiske forhold vurderes (som tidligere nævnt) på den relative ændring ift. Baseline 1, hvor den eneste forskel mellem de betragtede modeller er den evaluerede løsningskonfiguration for stormflodssikring ved Kalveboderne.

Der er ikke gennemført modelberegninger for at optimere på de enkelte løsningskoncepter som f.eks. åbningsbredde ved portløsninger mv., men for enkelte løsningstyper er der inkluderet varianter af hovedløsningstyperne for at vurdere, om justeringer kan påvirke vurderingen af løsningens egnethed. Resultaterne for varianterne af løsningstyperne præsenteres sammen med selve hovedløsningstypen.

Generelt skal de præsenterede resultater antages repræsentative for forholdene i hele vandsøjlen (dybdemidlede forhold), idet det er forudsat, at der forekommer en god opblanding af vandsøjlen i Kalveboderne. Der har ikke været lokale kalibreringsdata til at finjustere modellen ift. variationer ned gennem vandsøjlen i Kalveboderne og op igennem Københavns Havn.

5.1.1 Strømhastigheder

Præsenterede strømhastigheder kan alene anvendes til at vurdere på ændringen ift. Baseline 1, men ikke til at vurdere aktuelle forventede strømhastigheder lokalt omkring linjeføringen for stormflodssikringen. Dels er der kun gennemført modellering af få normalt forekommende hydrodynamiske scenarier (ikke scenarier med ekstreme strømhastighedsforhold), og dels opstår der lokale forhold omkring de fremtidige konstruktioner, som ikke er opløst korrekt eller tilstrækkeligt i modellen, og som kan medføre lokalt ændrede strømhastigheder og evt. erosion omkring åbningerne for vandgennemstrømning ift. til det præsenterede. Ændringer i dybdeforholdene og dermed ændrede strømhastigheder som følge af etablering af stormflodssikring er ikke inkluderet i modellen.

5.1.2 Salinitet

Tidsserierne af salinitetsændringer for specifikke punkter i Kalveboderne, viser dynamikken af salinitetsændringerne i Kalveboderne på et specifikt sted. Kontinuerlige salinitetsændringer et udtryk for vanddynamik og lokal vandudskiftning.

Præsenterede salinitetsniveauer skal ikke betragtes som værende faktisk forekommende, men alene som en indikator for ændringen i sammensætningen af saltholdigt vand fra Øresund/Køge Bugt og ferskvand fra Harrestrup Å. Hvis modelresultaterne f.eks. viser, at der sker en reduktion af det modellerede salinitetsniveau i et område, som følge af etablering af stormflodssikring, er dette en indikator for, at vandet fra Harrestrup Å kommer til at udgøre en større andel af vandvolumen i det pågældende område og vice-versa.

Salinitet fungerer således som indikator for ændringer i vandudskiftningen. Harrestrups Ås betydning for Kalveboderne og forskellen på, hvor hurtigt Harrestrup Å f.eks. opblandes i Kalveboderne, kan bruges som indikator for vandudskiftningen ved de forskellige løsningsforslag. Skiftet mellem strømscenarier og de efterfølgende observerede ændringer er ligeledes en indikator for vandcirkulation og vandudskiftningsevne.

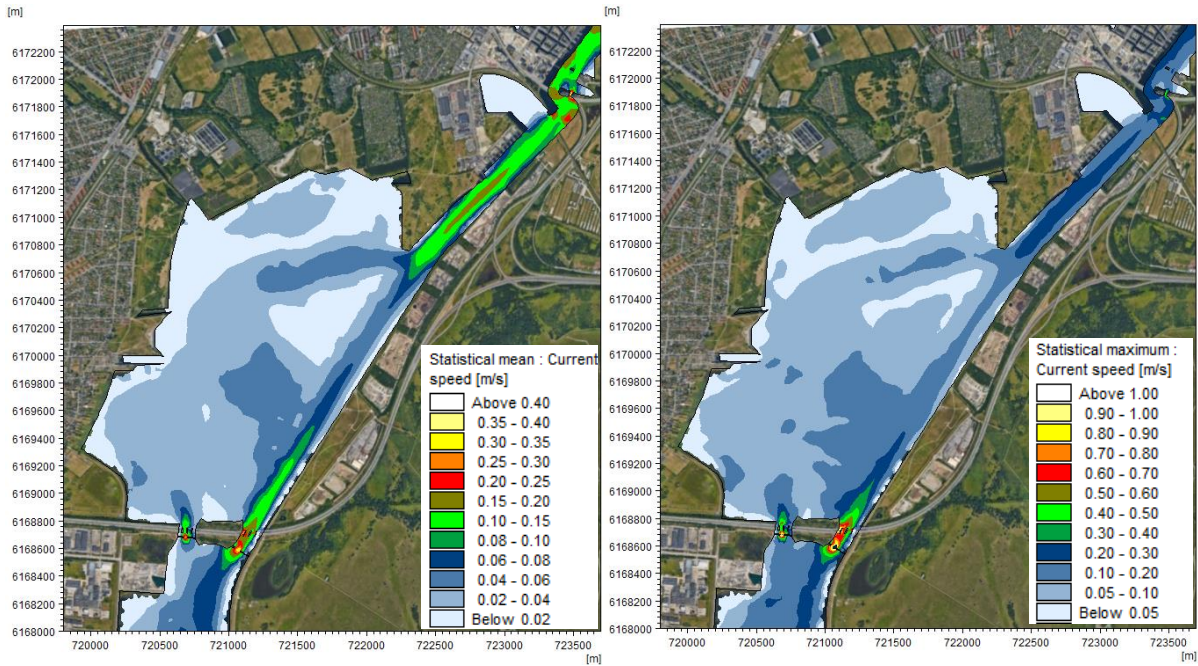
5.2 Modelresultater for Løsningstype B1

Løsningstype B1 inkluderer en højvandsport i både Kalvebodløbet og Sorterenden. Der er gennemført simuleringer med to varianter heraf:

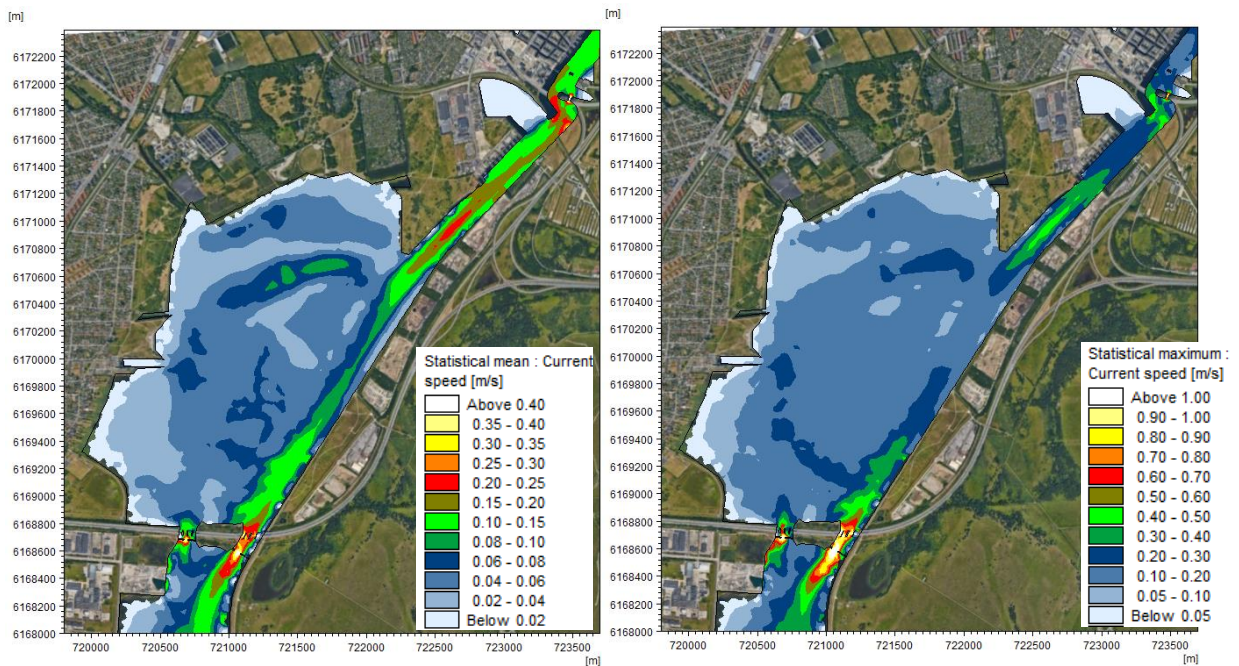
- **Løsningstype B1 Variant A:** Åbningsbredde i Kalvebodløbet ca. 50 m og åbningsbredde i Sorterenden ca. 27,5 m
- **Løsningstype B1 Variant B:** Åbningsbredde i Kalvebodløbet ca. 27,5 m og åbningsbredde i Sorterenden ca. 27,5 m

5.2.1 Modelleret påvirkning af strømforhold

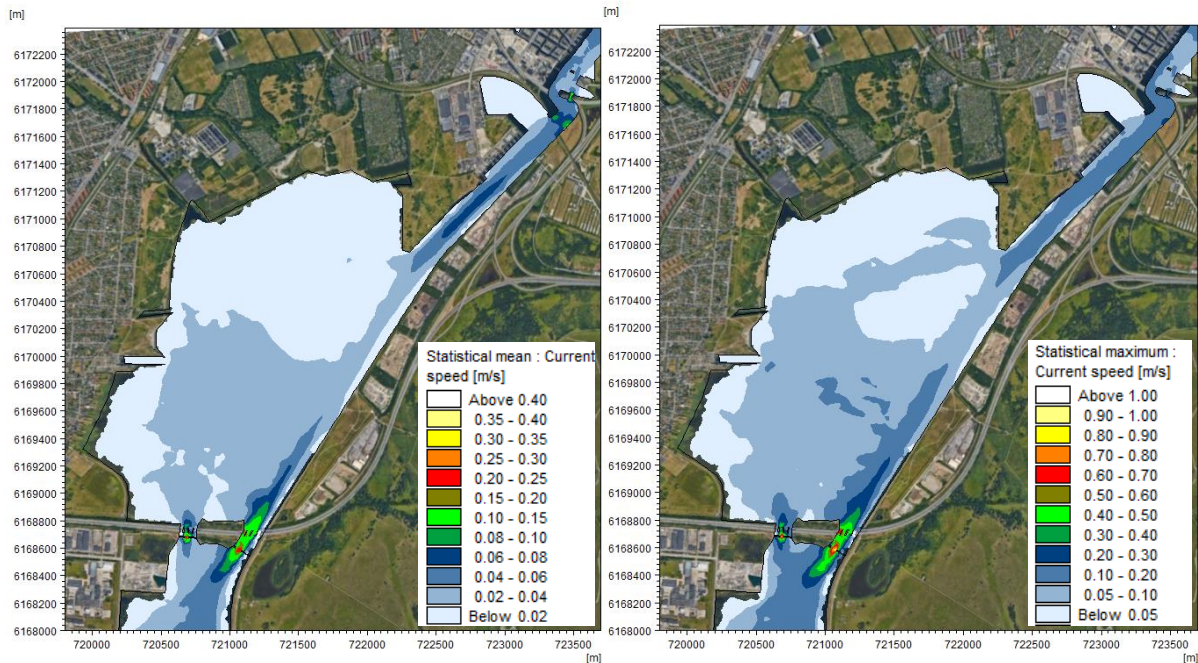
Resultatplots for de statistiske gennemsnitlige og maksimale strømhastigheder er vist i figur 5-2 – figur 5-4 for Løsningstype B1 Variant A samt for hver af de tre Strømscenarier 1, 2 og 3. Heraf fremgår det, at de generelt højeste, modellerede statistiske strømhastigheder forekommer for Strømscenarie 2 – dvs. ifm. dominerende sydgående strøm.



Figur 5-2: Modelleret, gennemsnitlig strømshastighed (venstre) og modelleret, maksimal strømshastighed (højre) for Løsningstype B1 Variant A. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 1, Vandføringscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).



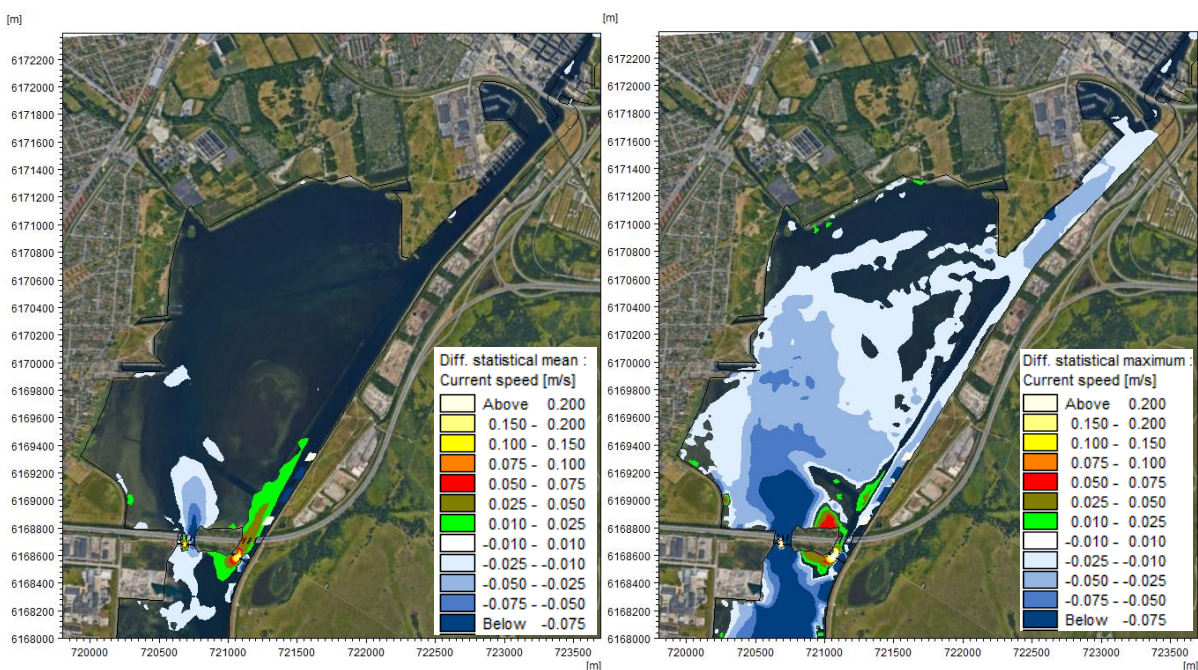
Figur 5-3: Modelleret, gennemsnitlig strømshastighed (venstre) og modelleret, maksimal strømshastighed (højre) for Løsningstype B1 Variant A. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 2, Vandføringscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).



Figur 5-4: Modelleret, gennemsnitlig strømshastighed (venstre) og modelleret, maksimal strømshastighed (højre) for Løsningstype B1 Variant A. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

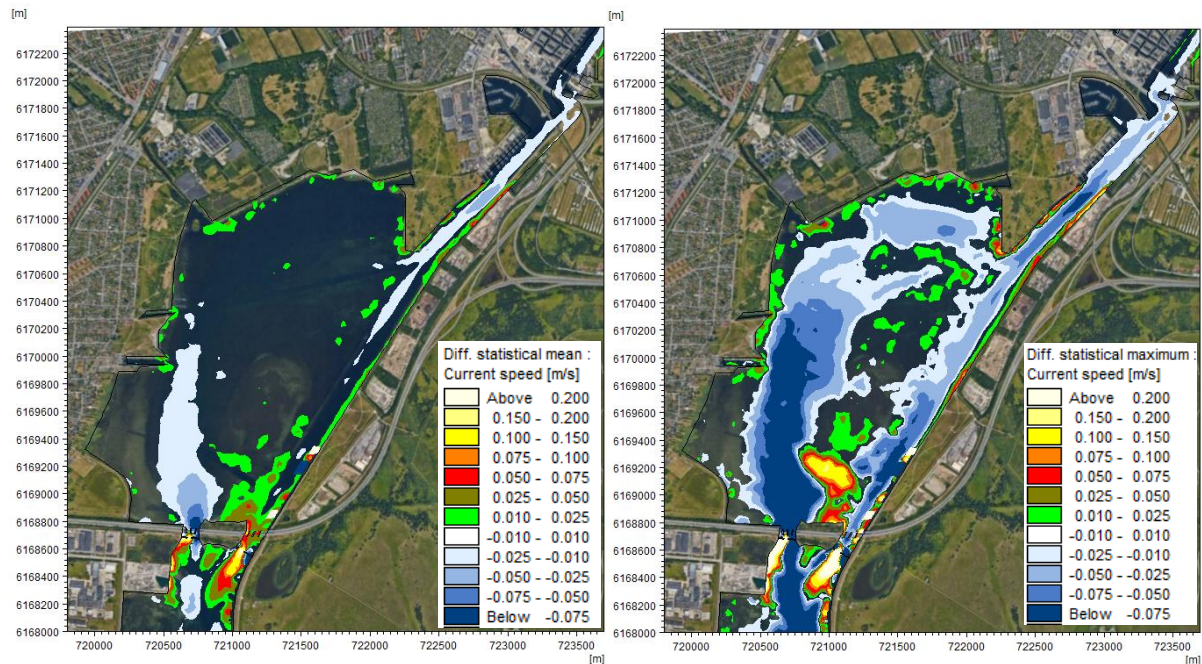
Ændringen af den gennemsnitlige og maksimale strømshastighed for Løsningstype B1 Variant A ift. Baseline 1 er vist i figur 5-5 – figur 5-7 for de tre strømscenarier. Heraf fremgår det, at påvirkningen af den gennemsnitlige strømshastighed generelt er lokal i området omkring den planlagte stormflodssikring. Største påvirkning forekommer som forventet ved portåbningerne.

Generelt kan det konkluderes, at der forekommer en reduktion af strømshastigheden i Sorterenden og en forøgelse i Kalvebodløbet. Samme tendens forekommer for de maksimale modellerede strømshastigheder for de givne modelscenarier, dog med en lidt større udbredelse af strømshastighedsreduktionen ind i Kalveboderne.

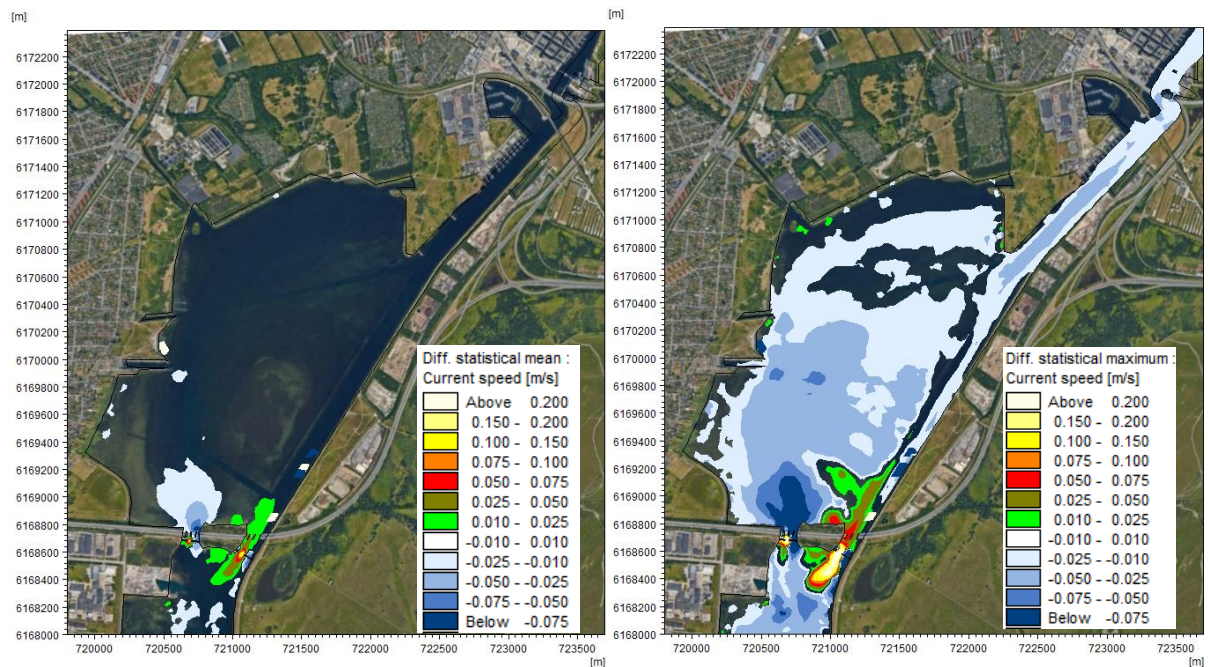


Figur 5-5: Ændring i modelleret, gennemsnitlig strømshastighed (venstre) og maksimal strømshastighed (højre) for Løsningstype B1 Variant A sammenlignet med Baseline 1. Resultaterne i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 1, Vandføringscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Positivt fortegn

indikerer forøgelse af strømhastigheden for den evaluerede løsningstype for stormflodssikring ift. Baseline 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).



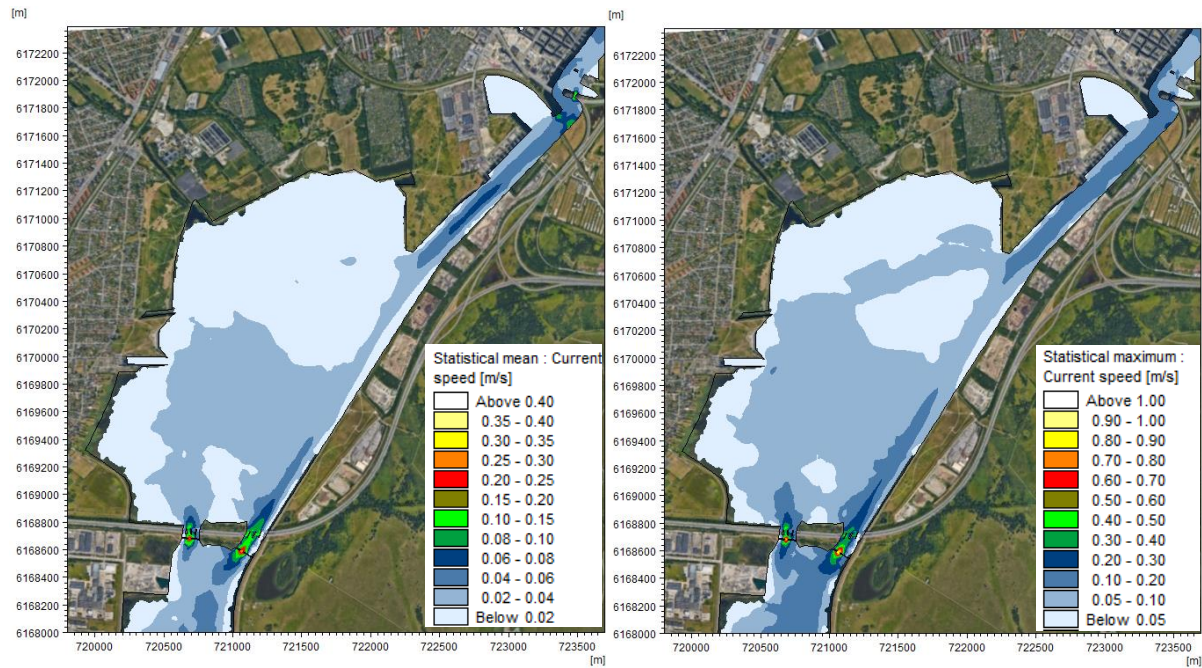
Figur 5-6: Ændring i modelleret, gennemsnitlig strømhastighed (venstre) og maksimal strømhastighed (højre) for Løsningstype B1 Variant A sammenlignet med Baseline 1. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 2, Vandføringscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Positivt fortegn indikerer forøgelse af strømhastigheden for den evaluerede løsningstype for stormflodssikring ift. Baseline 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).



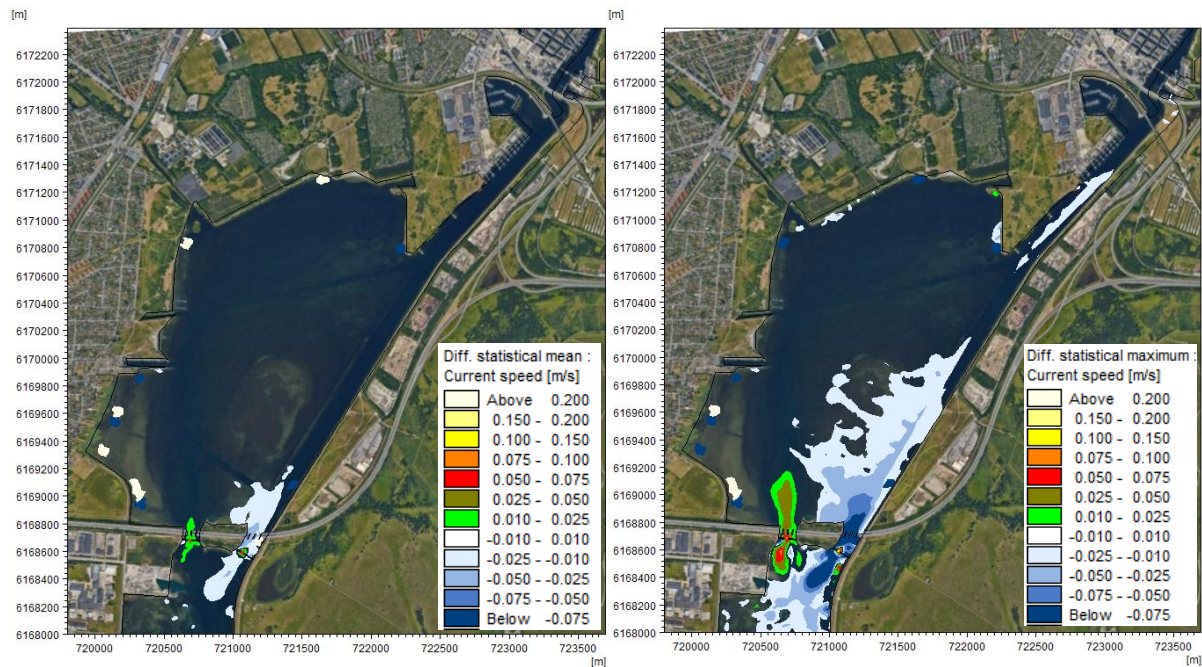
Figur 5-7: Ændring i modelleret, gennemsnitlig strømhastighed (venstre) og maksimal strømhastighed (højre) for Løsningstype B1 Variant A sammenlignet med Baseline 1. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Positivt fortegn indikerer forøgelse af strømhastigheden for den evaluerede løsningstype for stormflodssikring ift. Baseline 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

For Løsningstype B1 Variant B (reduceret portåbning i Kalvebodløbet sammenlignet med Variant A) er de statistiske strømhastigheder vist i figur 5-8 samt ændringen ift. Løsningstype B1 Variant A i figur 5-9, begge for Strømscenarie 3. Af figurerne fremgår det, at der ikke er signifikant forskel på de

modellerede statistiske strømshastigheder for de to varianter af åbningsbredden i Kalvebodløbet, og at påvirkningen er lokal omkring portåbningerne. Dog medfører en reduceret åbningsbredde i Kalvebodløbet, at strømshastigheder øges i Sorterenden sammenlignet med Løsningstype B1 Variant A.



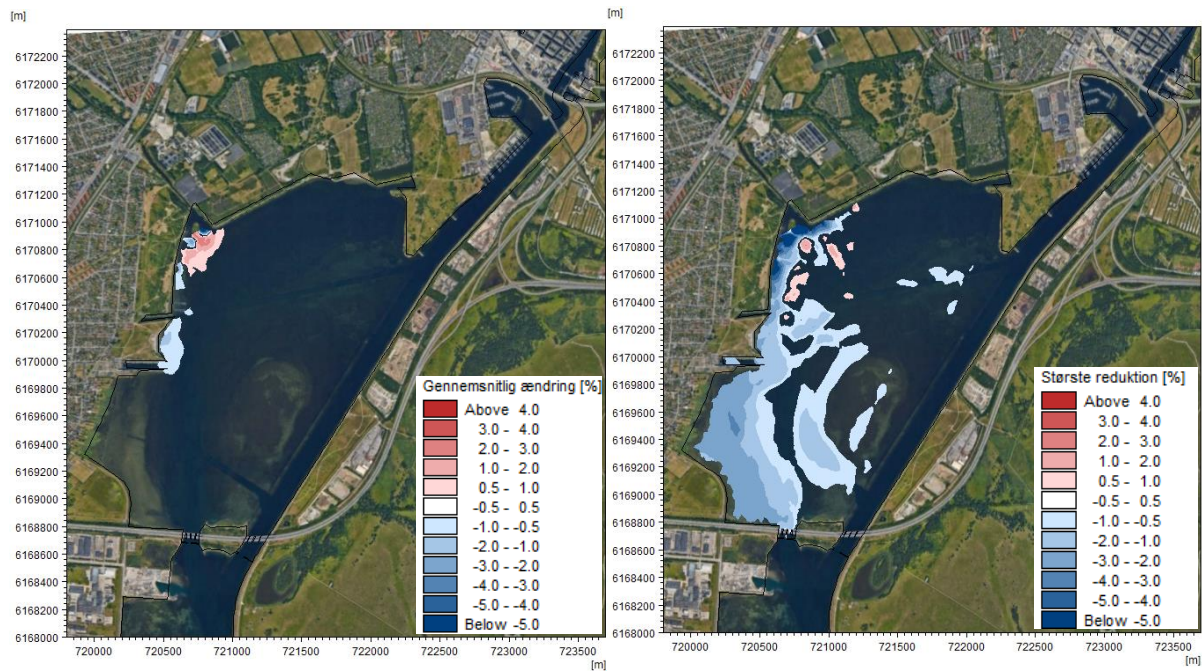
Figur 5-8: Modelleret, gennemsnitlig strømshastighed (venstre) og modelleret maksimal strømshastighed (højre) for Løsningstype B1 Variant B. Resultaterne i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenario 1 og Middelvandstandsscenario 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).



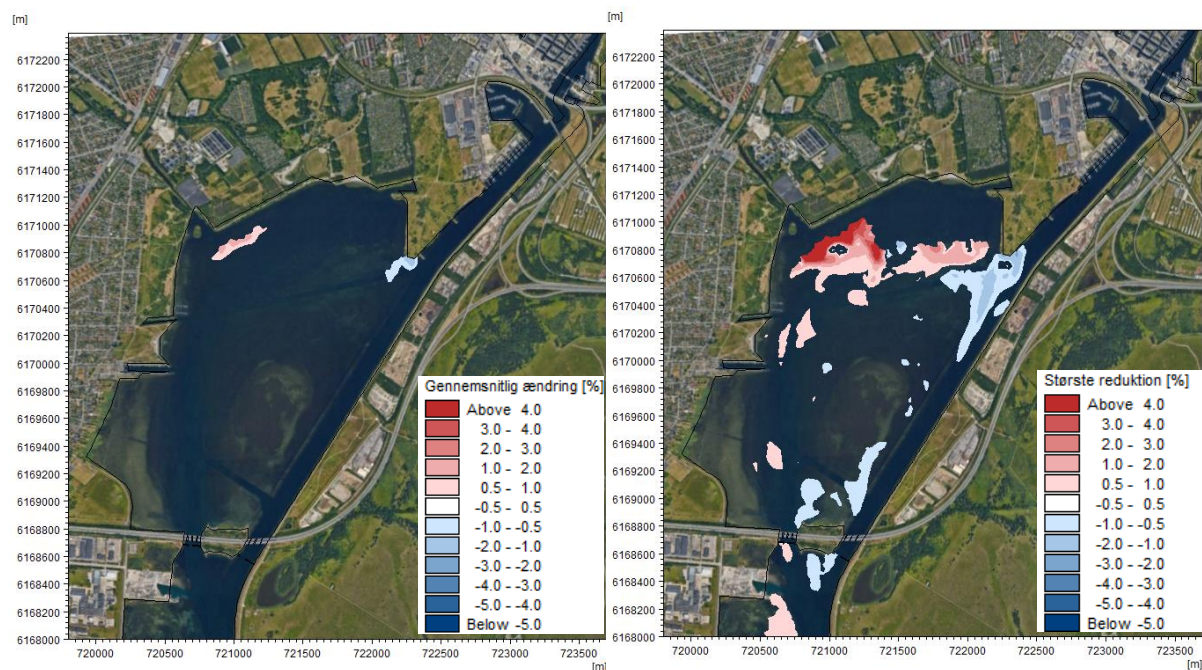
Figur 5-9: Ændring i modelleret, gennemsnitlig strømshastighed (venstre) og maksimal strømshastighed (højre) for Løsningstype B1 Variant B sammenlignet med Løsningstype B1 Variant A. Resultaterne i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenario 1 og Middelvandstandsscenario 1. Positivt fortegn indikerer forøgelse af strømshastigheden for den evaluerede løsning for stormflodssikring ift. Løsningstype B1 Variant A. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

5.2.2 Modelleret påvirkning af salinitet

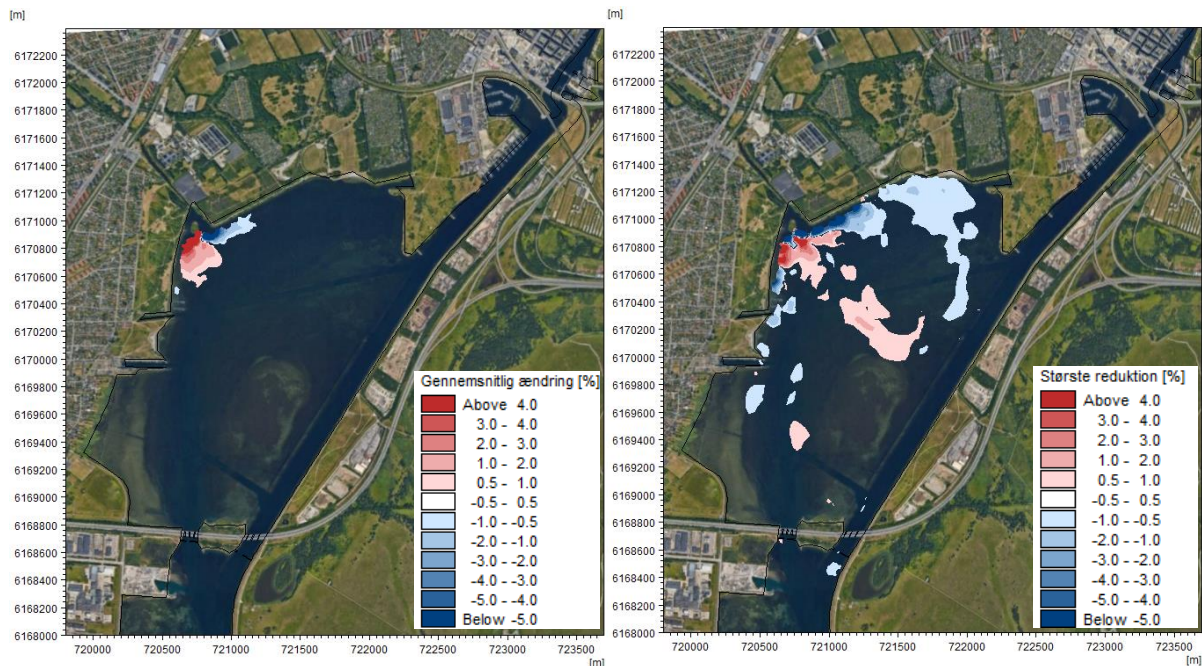
Resultatplots af den procentvise ændring i salinitet for Løsning B1 Variant A sammenlignet med Baseline 1 er vist for de tre Strømscenerier 1, 2 og 3 i figur 5-10 – figur 5-12. Heraf fremgår det, at der generelt ikke opstår en stor påvirkning/ændring af det gennemsnitlige salinitetsniveau i Kalveboderne, men at der i områder kan forekomme en reduktion af det lavest modellerede salinitetsniveau i simuleringsperioden (blå områder). Dette indikerer, at vandet fra Harrestrup Å periodisk udgør en større andel af vandet i området grundet etableringen af en stormflodssikring, hvilket viser sig generelt gældende for alle tre strømscenerier. Dog forekommer der mindst påvirkning af både det gennemsnitlige og de laveste salinitetsniveauer for Strømscenario 2.



Figur 5-10: Procentvis ændring i modelleret salinitetsniveau for Løsningstype B1 Variant A sammenlignet med Baseline 1. I figuren er vist ændring i hhv. gennemsnitlige (venstre) og laveste salinitetsniveau (højre). Resultaterne i figuren repræsenterer: Strømscenario 1, Vandføringsscenario 1 og Middelvandstandsscenario 1. Positiv fortegn indikerer forøgelse af salinitet for den evaluatede løsning for stormflodssikring ift. Baseline 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).



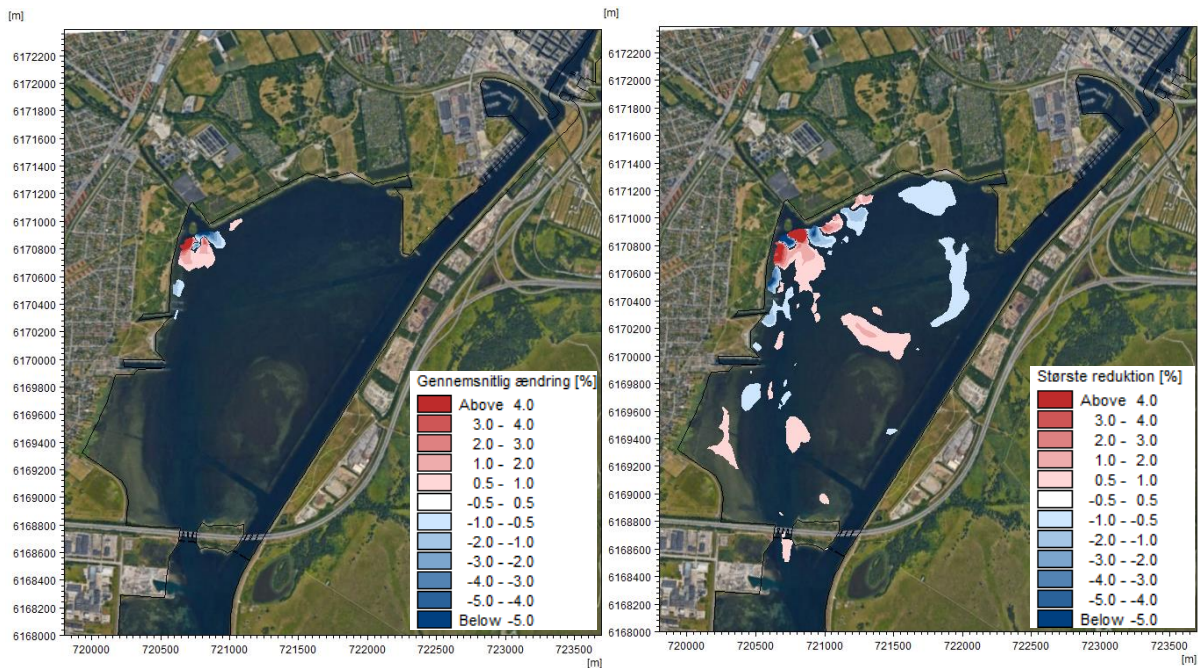
Figur 5-11: Procentvis ændring i modelleret salinitetsniveau for Løsningstype B1 Variant A sammenlignet med Baseline 1. I figuren er vist ændring i gennemsnitlige (venstre) og laveste salinitetsniveau (højre). Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 2, Vandføringsscenario 1 og Middelvandstandsscenario 1. Positivt fortegn indikerer forøgelse af salinitet for den evaluerede løsning for stormflodssikring ift. Baseline 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).



Figur 5-12: Procentvis ændring i modelleret salinitetsniveau for Løsningstype B1 Variant A sammenlignet med Baseline 1. I figuren er vist ændring i gennemsnitlige (venstre) og laveste salinitetsniveau (højre). Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenario 1 og Middelvandstandsscenario 1. Positivt fortegn indikerer forøgelse af salinitet for den evaluerede løsning for stormflodssikring ift. Baseline 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

Baseret på sammenligning af modelresultater for ændringen i salinitetsniveauet i Kalveboderne ifm. Løsningstype B1 Variant A relativt ift. Baseline 1, er det vurderet, at Strømnings-scenario 2 (sydgående strøm) medfører den mindste påvirkning. Dermed er dette strømscenarie ikke det mest kritiske af de tre analyserede perioder, og der vises således i det følgende ikke flere resultater for dette strømscenarie.

Resultater for den procentvise ændring af salinitetsniveauet for Løsning B1 Variant B ift. Baseline 1 er vist for Strømscenarie 3 i figur 5-13. Heraf fremgår det, at der ikke er den store forskel på de to løsningsvarianter A og B ift. påvirkningen af salinitetsniveauet. Samme konklusion haves ift. påvirkningen af strømhastighederne.



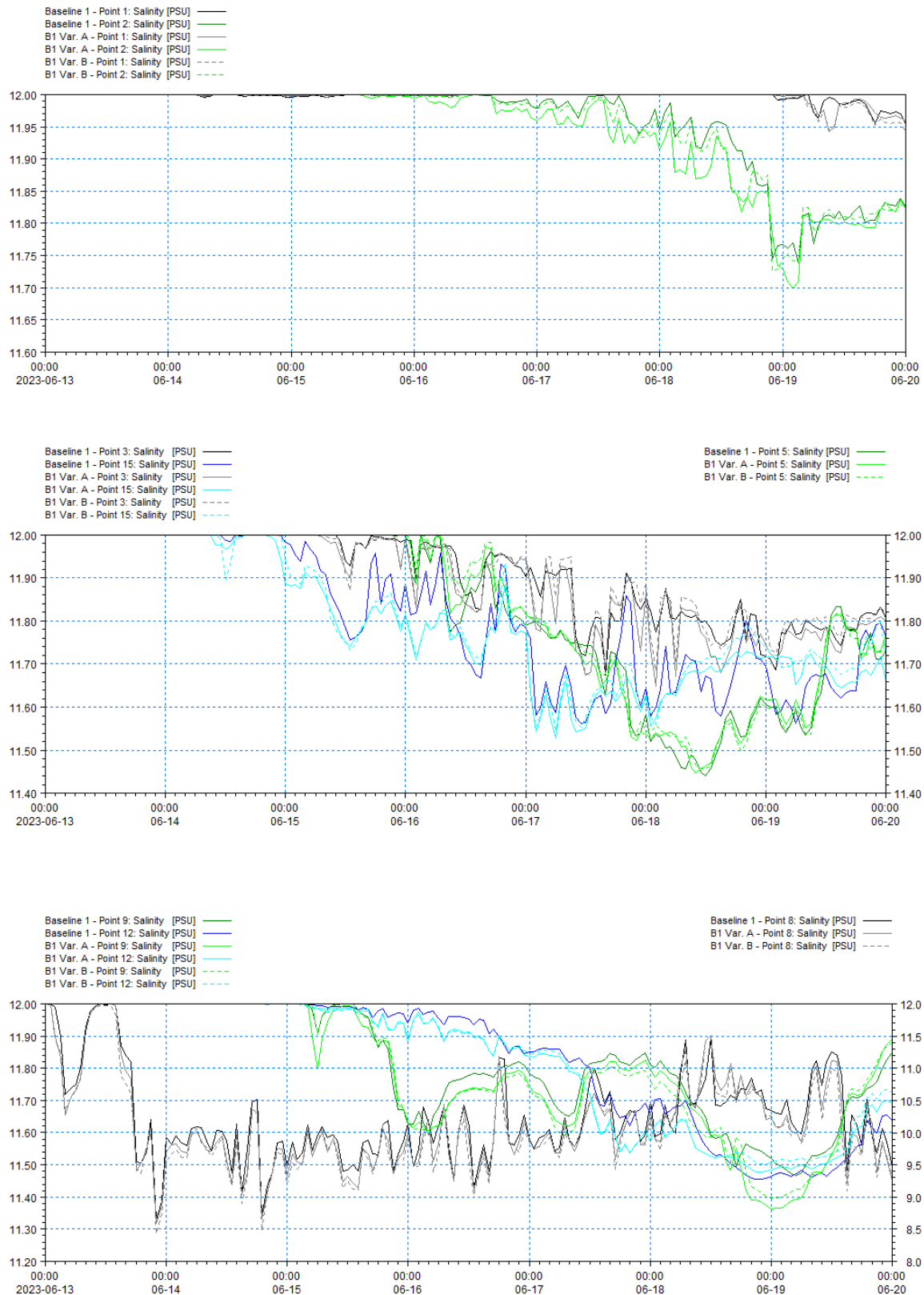
Figur 5-13: Procentvis ændring i modelleret salinitetsniveau for Løsningstype B1 Variant B sammenlignet med Baseline 1. I figuren er vist ændring i gennemsnit- (venstre) og laveste salinitetsniveau (højre). Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Positivt fortegn indikerer forøgelse af salinitet for den evaluerede løsning for stormflodssikring ift. Baseline 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

Med henblik på at analysere eventuel ændring i dynamikker er der for udvalgte positioner i Kalveboderne (jf. figur 5-1) udtrukket tidsserier for modellerede salinitetsniveauer. Det skal bemærkes, at tidsserier udtrukket i et specifikt punkt kun er repræsentativ for det specifikke punkt og ikke nødvendigvis repræsentativ for et større område rundt om.

Tidsserie-plot er vist i figur 5-14 og figur 5-15 og indeholder resultater for både Baseline 1, Løsningstype B1 Variant A (B1 Var. A) og Løsningstype B1 Variant B (B1 Var. B) for Strømscenarie 1 og 3. Plottene er opbygget således, at hvert udtrækspunkt har en farveskala, hvor den mørkeste farve er repræsentativ for Baseline 1, mens lysere farver repræsenterer resultaterne for stormflodssikringsløsningerne. Tilsvarende er resultater for pkt. 2 grøn, hvor mørk grøn er Baseline 1, lys grøn er Løsningstype B1 Var. A, og stiplede grøn er Løsningstype B1 Var. B. I plots, hvor der er resultater for tre punkter, er det tredje udtrækspunkt blå. Bemærk at der af layoutmæssige hensyn er inkluderet signaturforklaringen i både venstre og højre side af plottene, når tidsserieplottet indeholder resultater for tre udtrækspunkter.



Figur 5-14: Tidsserie af modellerede salinitetsniveauer i udvalgte punkter for Baseline 1, Løsningstype B1 Var. A og B. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømsscenario 1, Vandføringsscenario 1 og Middelvandstandsscenario 1. Resultater er vist for hhv. Kalvebodløbet (position 1 og 2) i øverste tidsserie, Sorterenden (position 3 og 15) og centrale del af Kalveboderne (position 5) i midterste tidsserie og vestlige del af Kalveboderne (position 12, 8 og 9) i nederste tidsserie.



Figur 5-15: Tidsserie af modellerede salinitetsniveauer i udvalgte punkter for Baseline 1, Løsningstype B1 Var. A og B. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenario 3, Vandføringscenario 1 og Middelvandstandsscenario 1. Resultater er vist for hhv. Kalvebodløbet (position 1 og 2) i øverste tidsserie, Sorterenden (position 3 og 15) og centrale del af Kalveboderne (position 5) i midterste tidsserie og vestlige del af Kalveboderne (position 12, 8 og 9) i nederste tidsserie.

Tidsserieplottene for de evaluerede scenarier viser generelt, at der forekommer en vis dynamik i salinitetsniveauet i Kalveboderne, og at denne dynamik umiddelbart ikke påvirkes signifikant ved etablering af Løsningstype B1 Variant A eller Løsningstype B1 Variant B, idet disse serier nogenlunde

følger Baseline 1. Etablering af stormflodssikring i form af porte i både Kalvebodløbet og Sorterenden (Løsningstype B1 Variant A eller B) vurderes derfor generelt at medføre en mindre sænkning af salinitetsniveauet ift. Baseline 1.

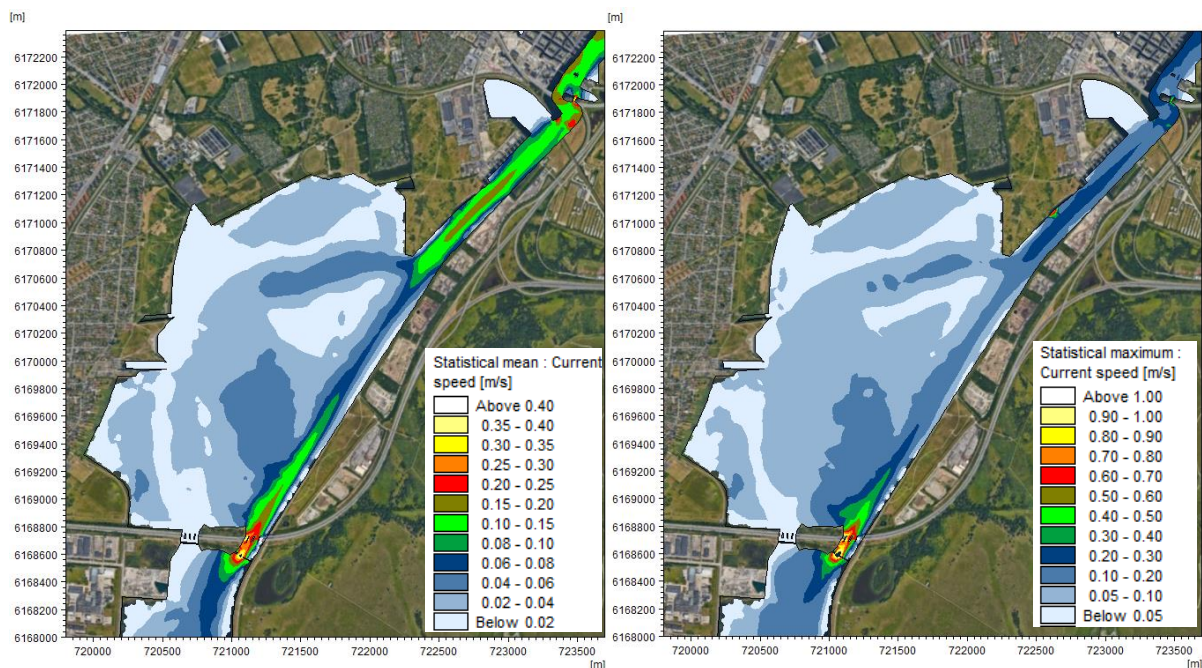
5.3 Modelresultater for Løsningstype B2

Løsningstype B2 inkluderer en port i Kalvebodløbet, mens Sorterenden lukkes af med en dæmningskonstruktion. I det følgende præsenteres udvalgte resultater for de gennemførte modelsimuleringer.

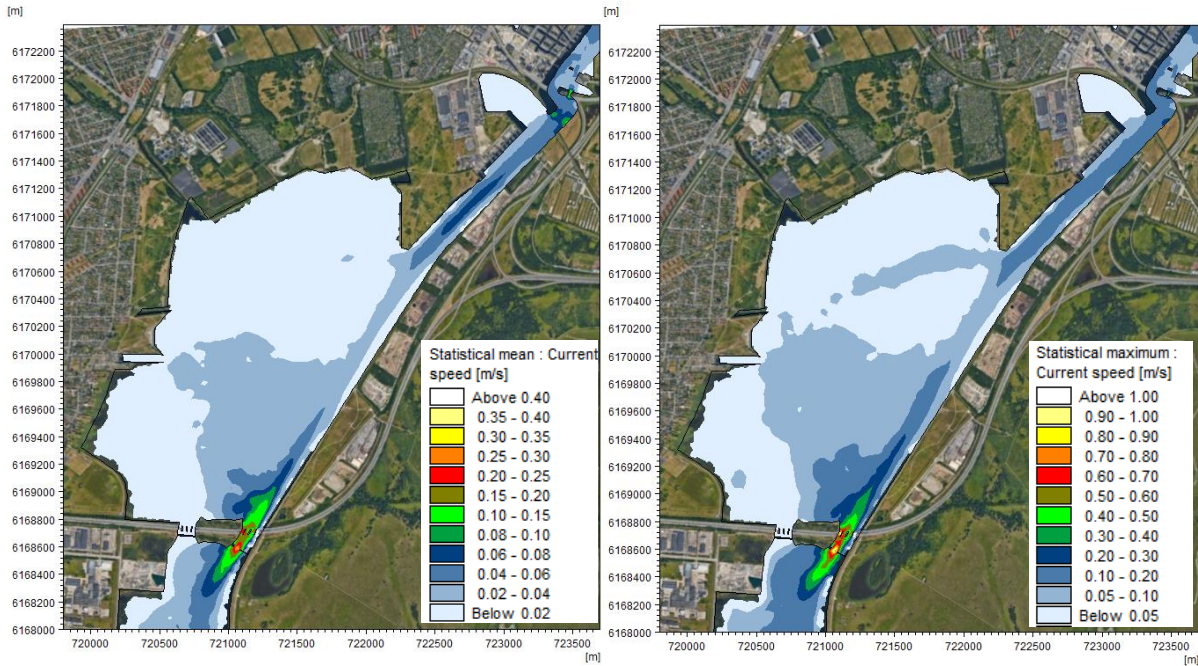
Som nævnt ifm. resultaterne for Løsningstype B1 er Strømscenarie 2 umiddelbart ikke det mest kritisk ift. påvirkning eller reduktion af salinitetsniveauet, og der vises således ikke resultater herfor.

5.3.1 Modelleret påvirkning af strømforhold

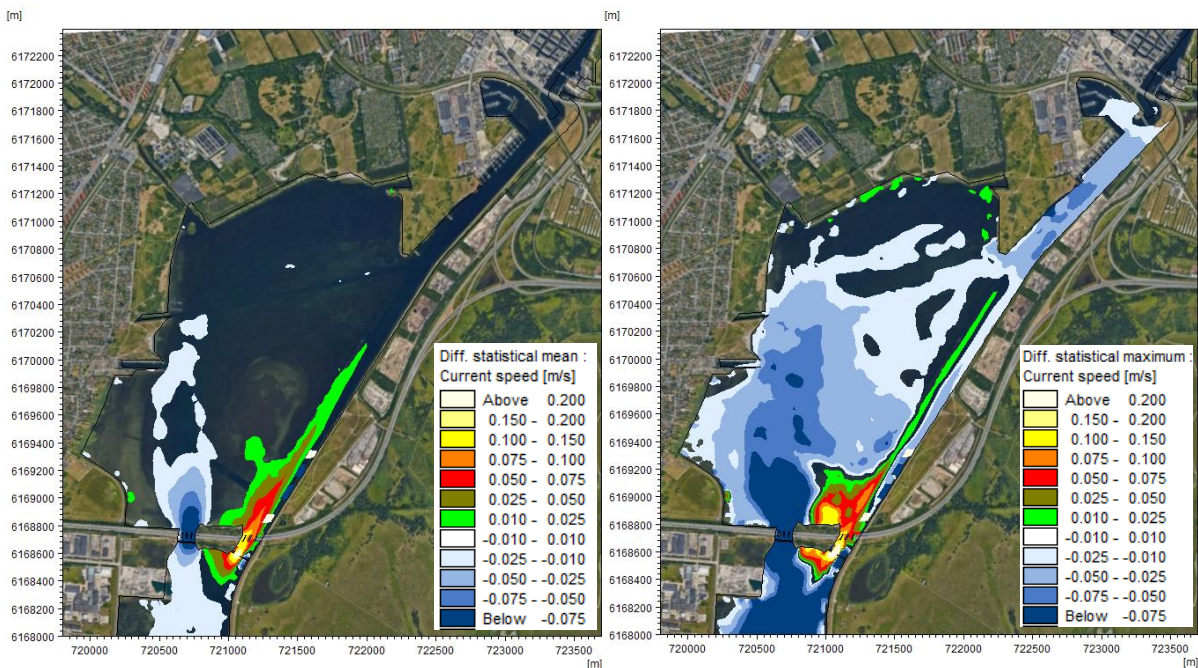
Gennemsnitlige og maksimale strømhastigheder for Løsningstype B2 er vist i figur 5-16 og figur 5-17 for Strømscenarie 1 og 3, mens ændringen ift. Baseline 1 er vist i figur 5-18 og figur 5-19. Af resultaterne fremgår det, at strømhastighederne er højest i Kalvebodløbet og især lokalt i åbningen. Sammenlignet med Baseline 1 ses det, at strømhastighederne reduceres signifikant i Sorterenden, hvor der for denne stormflodsløsning ikke forekommer gennemstrømning, mens strømhastighederne øges i dele af Kalvebodløbet. Dette er gældende for både Strømscenarie 1 og 3.



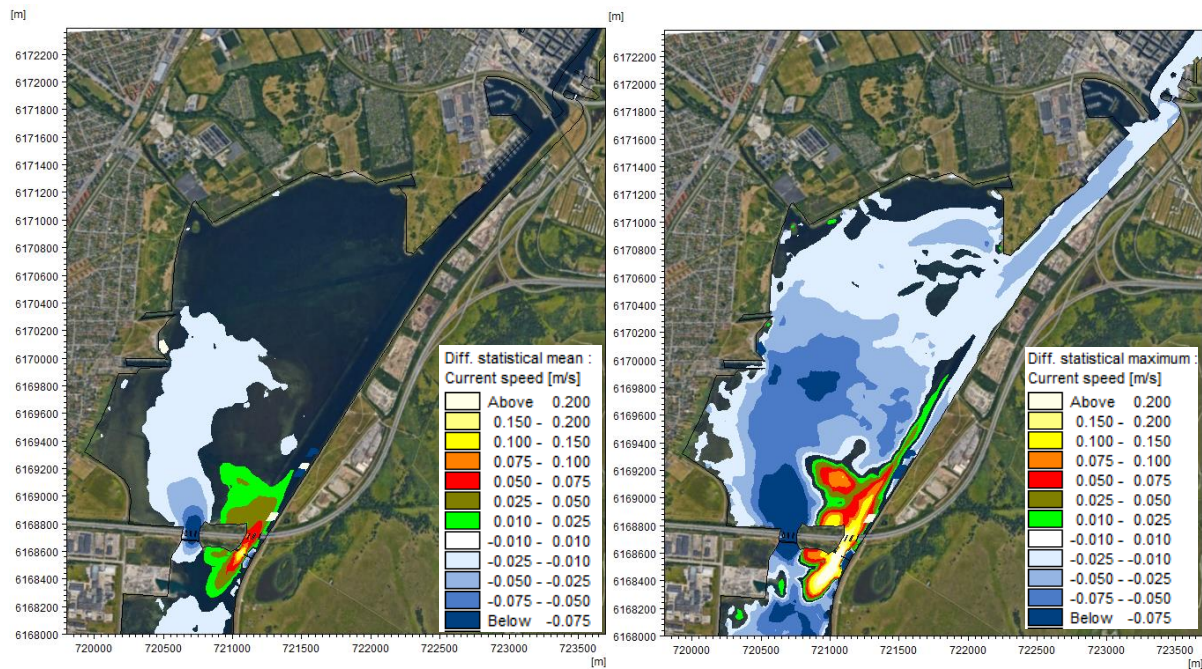
Figur 5-16: Modelleret, gennemsnitlig strømhastighed (venstre) og modelleret, maksimal strømhastighed (højre) for Løsningstype B2. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 1, Vandføringsscenario 1 og Middelvandstandsscenario 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).



Figur 5-17: Modelleret, gennemsnitlig strømshastighed (venstre) og modelleret, maksimal strømshastighed (højre) for Løsningstype B2. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).



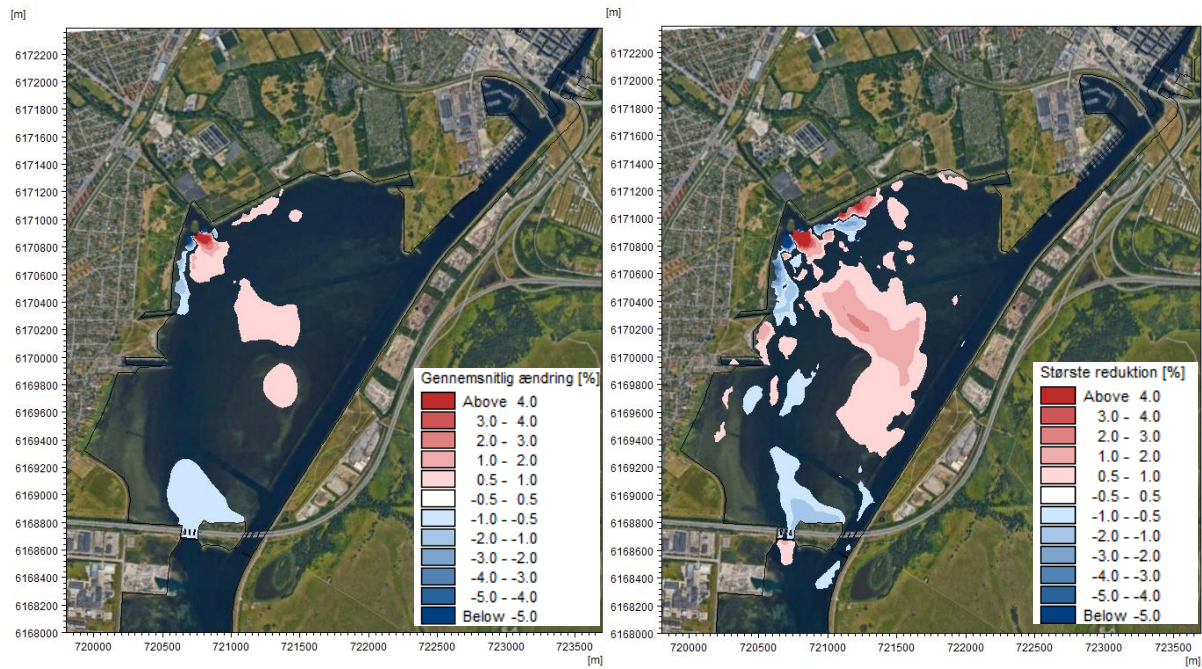
Figur 5-18: Ændring i modelleret, gennemsnitlig strømshastighed (venstre) og maksimal, strømshastighed (højre) for Løsningstype B2 sammenlignet med Baseline 1. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 1, Vandføringscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Positivt fortegn indikerer forøgelse af strømshastighed for den evaluerede løsning for stormflodssikring ift. Baseline 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).



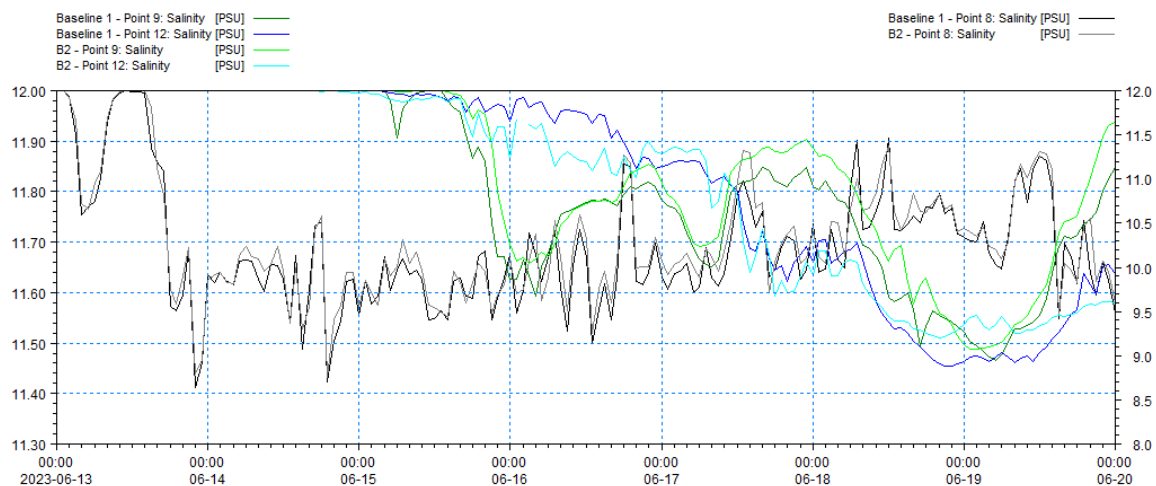
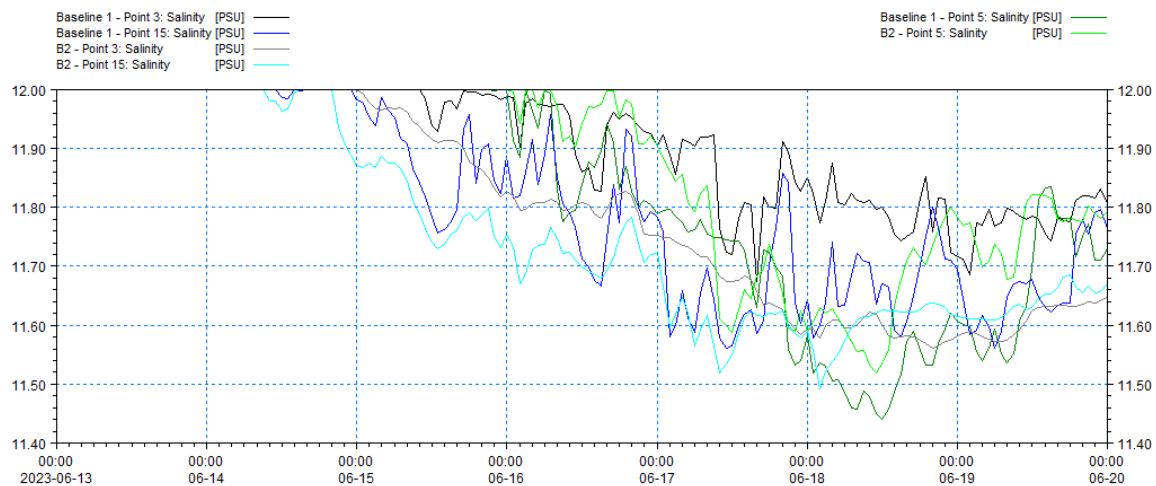
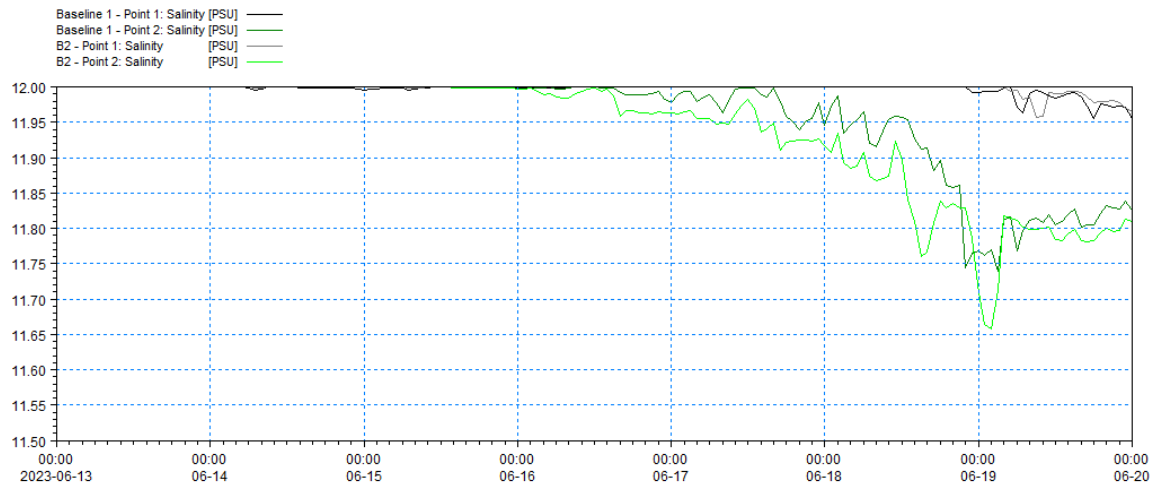
Figur 5-19: Ændring i modelleret, gennemsnitlig strømshastighed (venstre) og maksimal strømshastighed (højre) for Løsningstype B2 sammenlignet med Baseline 1. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenario 1 og Middelvandstandsscenario 1. Positivt fortegn indikerer forøgelse af strømshastighed for den evaluerede løsning for stormflodssikring ift. Baseline 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

5.3.2 Modelleret påvirkning af salinitet

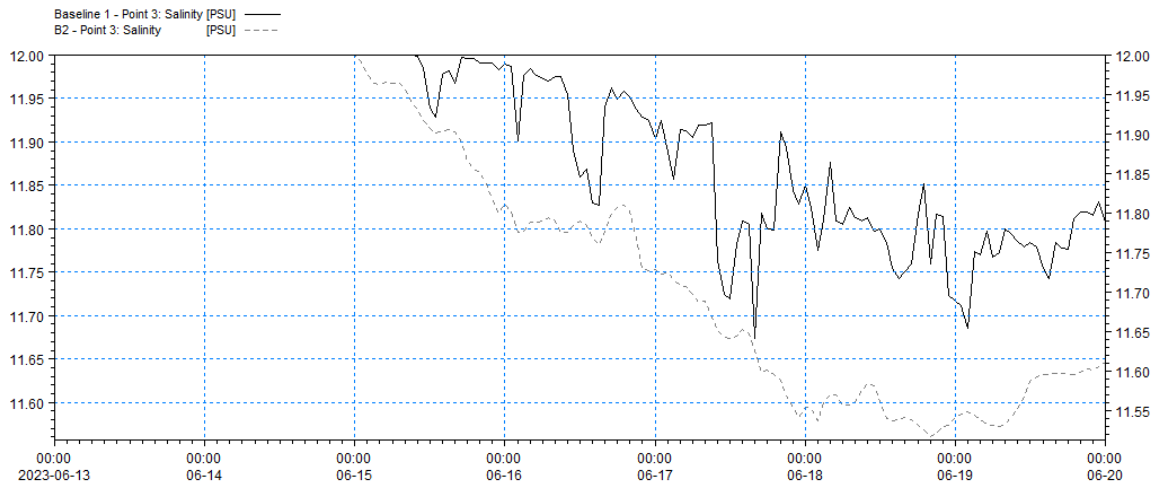
Den gennemsnitlige samt største reduktion af det lavest modellerede salinitetsniveau i simuleringsperioden for Strømscenarie 3 er vist i figur 5-20, mens dynamikken i saliniteten for Baseline 1 og Løsningstype B2 er vist i figur 5-21, ligeledes for Strømscenarie 3. Heraf fremgår det, at der i nogle områder ikke er den store påvirkning, mens der i andre områder forekommer en stigning eller reduktion i saliniteten. Især i Sorterenden (position 3) reduceres saliniteten, som følge af etablering af stormflodssikring Løsningstype B2, der lukker helt af for vandudveksling via Sorterenden. Et separat tidsserieplot af saliniteten i position 3 er vist i figur 5-22, hvoraf det fremgår, at der både sker en sænkning af saliniteten og en ændring af dynamikken ved Sorterenden. Dette indikerer, at dels kommer vandet fra Harrestrup Å til at udgøre en større andel af vandet i området, og dels reduceres vandudskiftningen i området.



Figur 5-20: Procentvis ændring i modelleret salinitetsniveau for Løsningstype B2 sammenlignet med Baseline 1. Figuren viser ændring i gennemsnitlige (venstre) og laveste salinitetsniveau (højre). Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenario 1 og Middelvandstandsscenario 1. Positivt fortegn indikerer forøgelse af salinitetsniveauet for den evaluerede løsning for stormflodssikring ift. Baseline 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).



Figur 5-21: Tidsserie af modellerede salinitetsniveauer for Baseline 1 og Løsningstype B2 for det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Resultater er vist for hhv. Kalvebodløbet (position 1 og 2) i øverste tidsserie, Sorterenden (position 3 og 15) og centrale del af Kalveboderne (position 5) i midterste tidsserie og vestlige del af Kalveboderne (position 12, 8 og 9) i nederste tidsserie.



Figur 5-22: Tidsserie af modelleret salinitetsniveau for modellerne Baseline 1 og Løsningstype B2 for Strømscenarie 3, Vandføringsscenarie 1 og midlevandstandsscenario 1 for pkt. 3 ved Sorterenden.

5.4 Modelresultater for Løsningstype B3

Løsningstype B3 inkluderer en port i Kalvebodløbet og en dæmningskonstruktion i Sorterenden. For at give mulighed for en vis vandudskiftning gennem Sorterenden er der gennemført modelberegninger, hvor der er inkluderet en række rørføringer gennem dæmningskonstruktionen. Forudsætningerne er:

- Cirkulære rør med en diameter på 2 m
- Underkant af rør i kote -2 m
- Rørene er placeret i den midterste del af dæmningskonstruktionen, dvs. hvor den oprindelige vanddybde i Sorterenden var størst.

Der er gennemført simuleringer med to varianter af anlæg med rørføringerne igennem dæmningskonstruktionen:

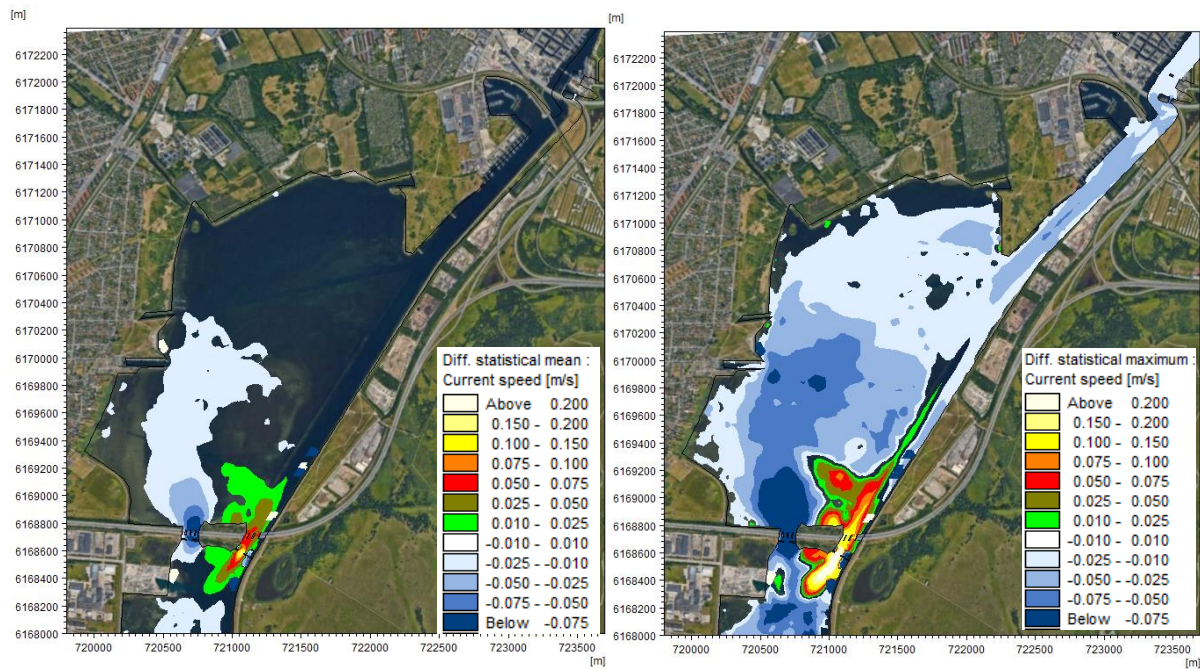
- **Løsningstype B3, Variant A:** Variation af antal rør gennem dæmningen, dvs. variation af gennemstrømningstværsnit i dæmningen. Der er kørt modelberegninger med hhv. fire rørgennemføringer og 10 rørgennemføringer.
- **Løsningstype B3, Variant B:** Variation i retning for vandføring gennem rørene (dvs. styring af strømretning igennem rørene via spjæld/ventil).

Som nævnt er der ikke gennemført simuleringer til optimering af løsninger, heller ikke for Løsningstype B3 med rørføringer gennem dæmningen. Varianterne er alene for at afdække om antallet af rør eller om en evt. styring af vandføringen gennem rørene kan påvirke de hydrauliske forhold og dermed de marinbiologiske vurderinger relateret til løsningstypen.

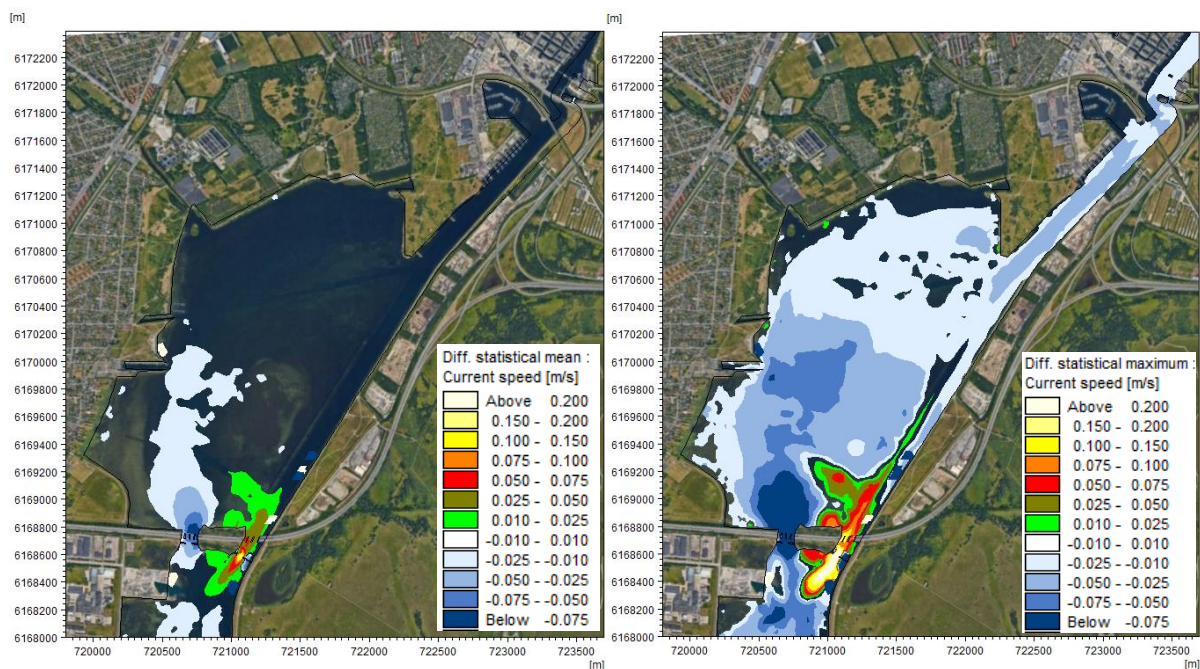
I det følgende vises udvalgte resultater af hhv. strømhastigheder og salinitetsniveauer for udvalgte modelberegninger.

5.4.1 Modelleret påvirkning af strømforhold

For modelsimuleringer med hhv. fire og 10 rørføringer gennem dæmningskonstruktionen (Løsningstype B3 Variant A) er ændringen i strømhastigheder ift. Baseline 1 vist i figur 5-23 og figur 5-24 for strømscenarie 3. Heraf fremgår det, at strømhastighederne reduceres signifikant i Sorterenden, hvor der kun er en begrænset vandudveksling mellem Kalveboderne og Køge Bugt. Påvirkningen af strømhastighederne er marginalt reduceret for Løsningstype B3 med 10 rørgennemføringer sammenlignet med fire, men overordnet er ændringen i de statistiske strømhastigheder ikke signifikant anderledes end for Løsningstype B2, hvor der er lukket helt af i Sorterenden.

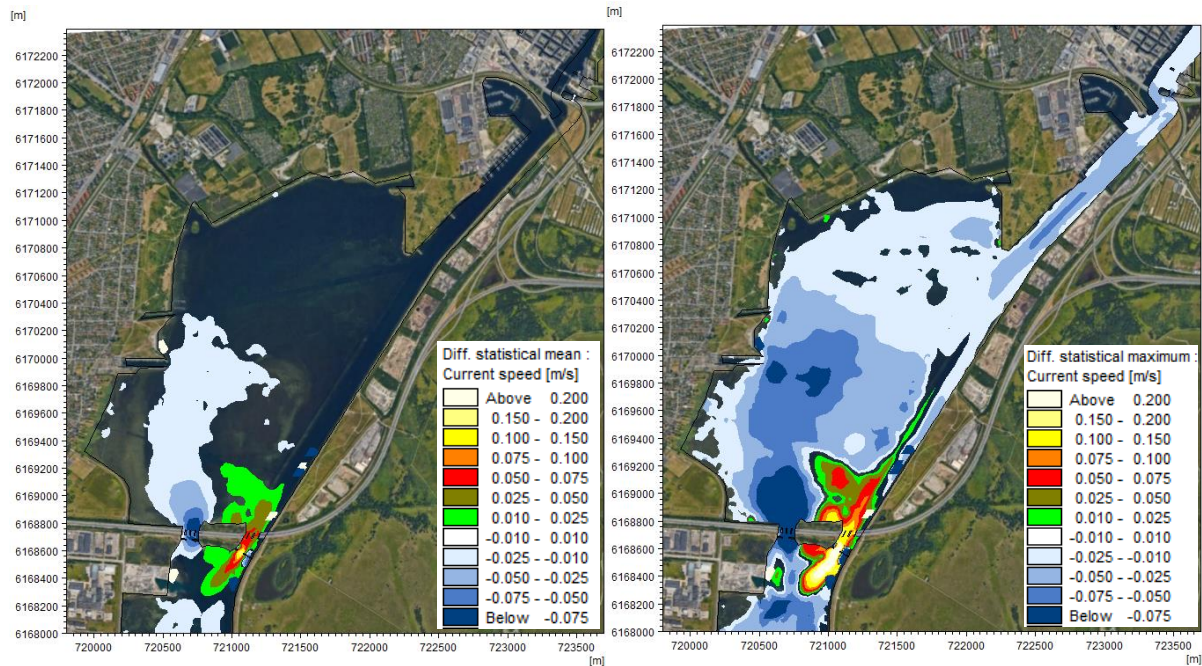


Figur 5-23: Ændring i modelleret, gennemsnitlig strømshastighed (venstre) og maksimal strømshastighed (højre) for Løsningstype B3 med fire rørføringer sammenlignet med Baseline 1. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).



Figur 5-24: Ændring i modelleret, gennemsnitlig strømshastighed (venstre) og maksimal strømshastighed (højre) for Løsningstype B3 med 10 rørføringer sammenlignet med Baseline 1. Resultater i figuren repræsenterer det forcerede hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

Resultater for Løsningstype B3 Variant B, hvor det forudsættes, at vandudvekslingen gennem rørene er styret, så der under normale forhold udelukkende er vandføring i rørene ved nordgående strøm, er vist for modelberegninger med 10 rør i figur 5-25. Under ekstremforhold vil det være nødvendigt at aflukke helt. Som det fremgår af figuren, giver dette scenarie ikke anledning til en signifikant ændring af de statistiske ændringer i strømshastigheder ift. Baseline 1 sammenlignet med resultaterne, hvor der ingen styring er (jf. figur 5-24). Dog ses en lidt øget reduktion af de gennemsnitlige strømshastigheder i Sorterenden og stort set uændrede forhold i Kalvebodløbet.

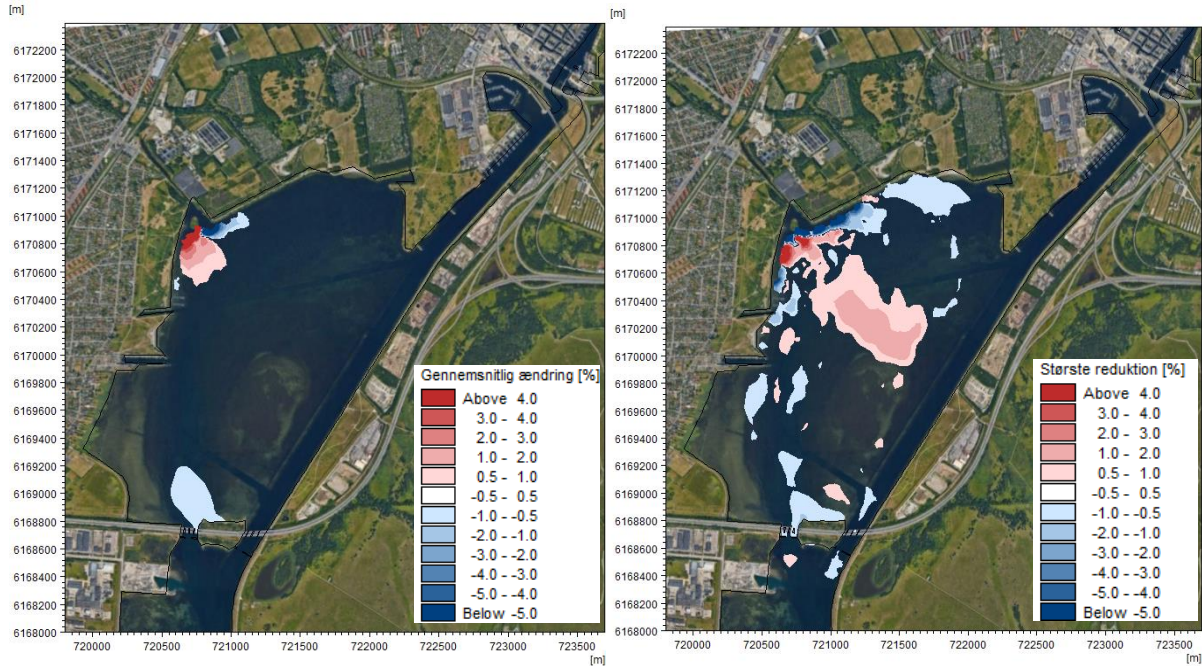


Figur 5-25: Ændring i modelleret, gennemsnitlig strømshastighed (venstre) og maksimal strømshastighed (højre) for Løsningstype B3, med 10 rørføringer og styring så der kun er udveksling ved nordgående flow, sammenlignet med Baseline 1. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenario 1 og Middelvandstandsscenario 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

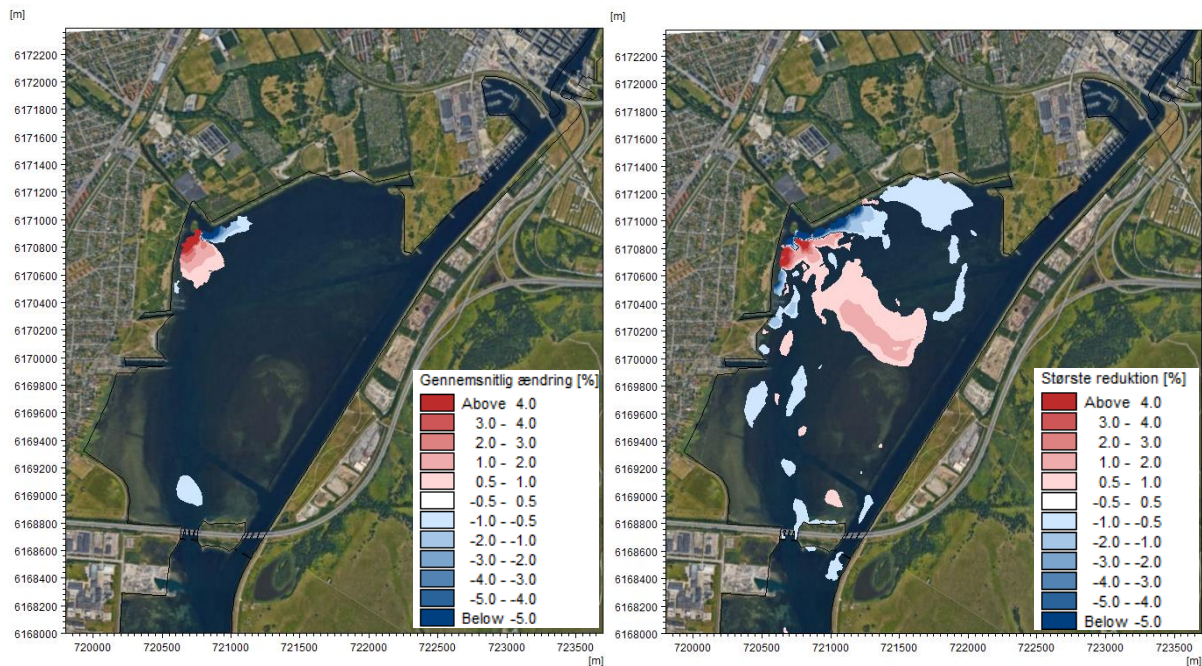
5.4.2 Modelleret påvirkning af salinitet

Den procentvise ændring af det hhv. gennemsnitlige og maksimale salinitetsniveauer for Strømscenarie 3 er vist i figur 5-26 og figur 5-27 for Løsningstype B3 med fire og 10 rørgennemføringer.

Af figurerne fremgår det, at der ikke sker en signifikant ændring af det gennemsnitlige salinitetsniveau, mens der i den nordlige del af Kalveboderne kan forekomme en reduktion af det lavest modellerede salinitetsniveau, svarende til at vandet fra Harrestrup Å udgør en større andel i dette område. Dette er gældende for både fire og 10 rørgennemføringer i dæmningskonstruktionen i Sorterenden. Ændringen/påvirkningen er dog mindre ved 10 rørføringer sammenlignet med fire rørføringer.

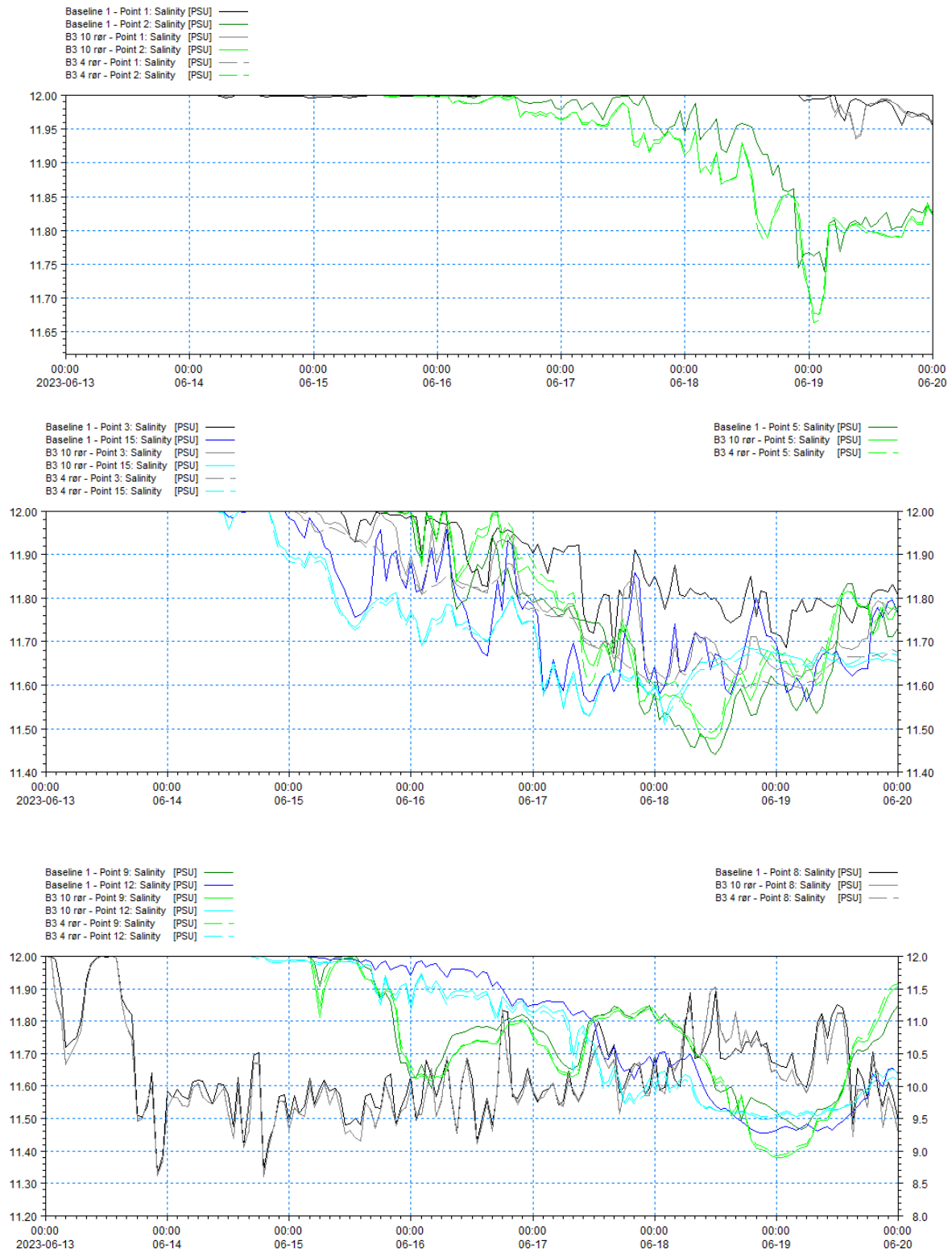


Figur 5-26: Ændring i modelleret salinitetsniveau for Løsningstype B3 med fire rørføringer sammenlignet med Baseline 1. Figuren viser ændring i gennemsnitlige- (venstre) og laveste salinitetsniveau (højre). Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenarie 1 og middelvandstandsscenario 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).



Figur 5-27: Procentvis ændring i modelleret salinitetsniveau for Løsningstype B3 med 10 rørføringer sammenlignet med Baseline 1. Figuren viser ændring i gennemsnitlige (venstre) og laveste salinitetsniveau (højre). Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

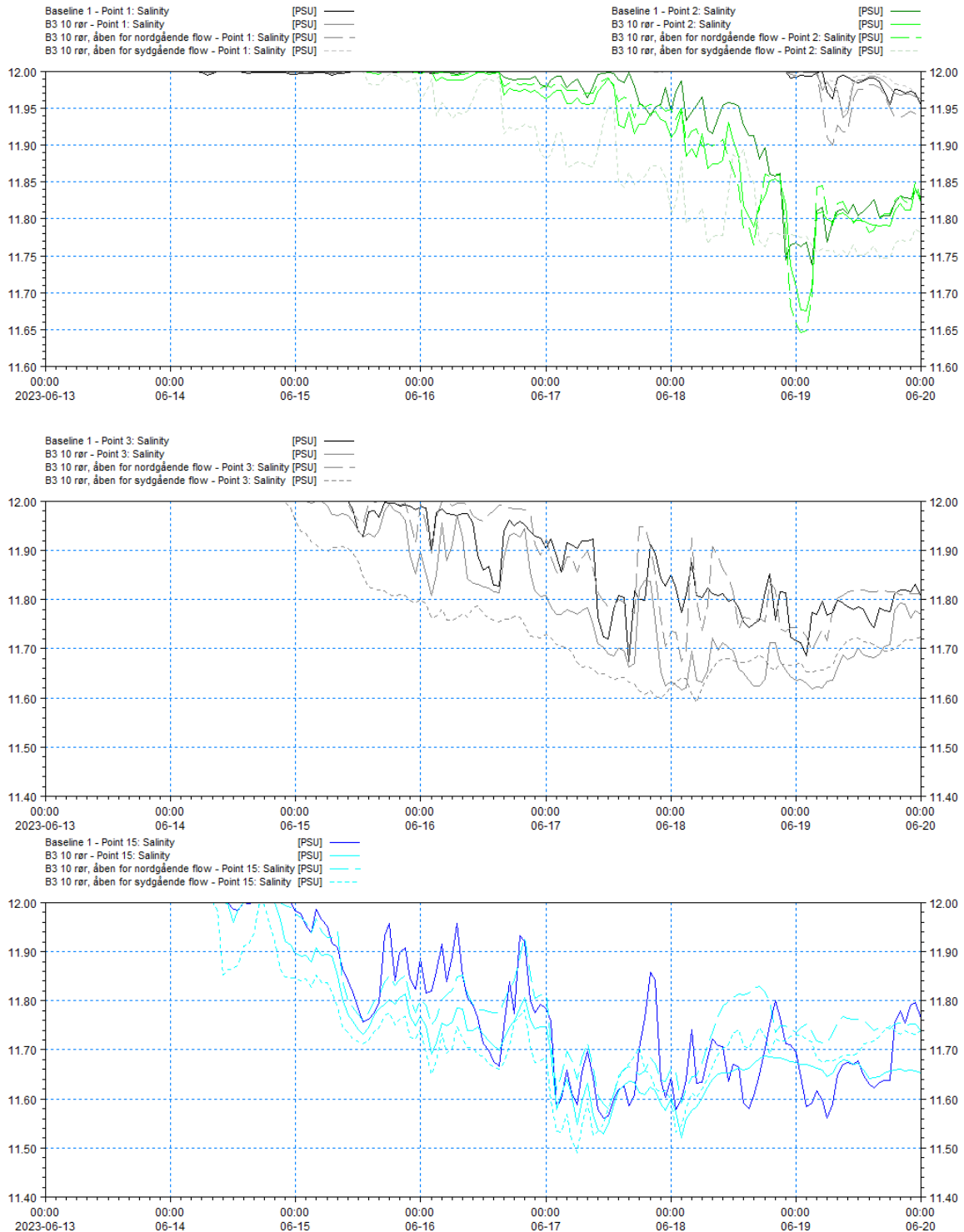
Tidsserieplots af salinitetsniveauet i udvalgte positioner er vist i figur 5-28. Af figuren fremgår det, at der generelt sker en mindre reduktion af saliniteten sammenlignet med Baseline 1, men at dynamikken i flere områder er bevaret. 10 rør medfører en lidt mindre påvirkning sammenlignet med resultaterne for fire, især omkring Sorterenden (position 3) ift. Baseline 1.



Figur 5-28: Tidsserie af modelleret salinitetsniveau for modellerne Baseline 1 og Løsningstype B3 med hhv. fire og 10 rørgennemføringer for det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Resultater er vist for hhv. Kalvebodløbet (position 1 og 2) i øverste tidsserie, Sorterenden (position 3 og 15) og centrale del af Kalveboderne (position 5) i midterste tidsserie og vestlige del af Kalveboderne (position 12, 8 og 9) i nederste tidsserie.

Effekten af at styre vandføringen (Løsningstype B3 Variant B) er vist i figur 5-29 for udvalgte punkter for løsningen med 10 rørføringer. Her er salinitetsniveauet vist for hhv. Baseline 1 samt for scenarierne, hvor rørføringerne hhv. er åbne for vandføring i begge retninger, og hvor der kun tillades udveksling af vand ved enten nordgående eller sydgående strøm.

Af figuren fremgår det, at selve Kalvebodløbet (position 1 og 2) ikke påvirkes signifikant af denne stormflodsløsning. I Sorterenden (position 3 og 15) er der signifikant større dynamik i salinitetsniveauet, hvis der kun tillades indstrømning fra Køge Bugt (nordgående strømninger), og salinitetsniveauet er generelt højere sammenlignet med Løsning B3, hvor rørene altid er åbne eller der kun tillades udstrømning til Køge Bugt.



Figur 5-29: Tidsserie af modelleret salinitetsniveau for modellerne Baseline 1 og Løsningstype B3 med hhv. fire og 10 rørgennemføringer for Strømscenarie 3, Vandføringsscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Resultater er vist for Kalvebodløbet (position 1 og 2) i øverste tidsserie, Sorterenden hhv. position 3 i midterste tidsserie og position 15 i nederste tidsserie.

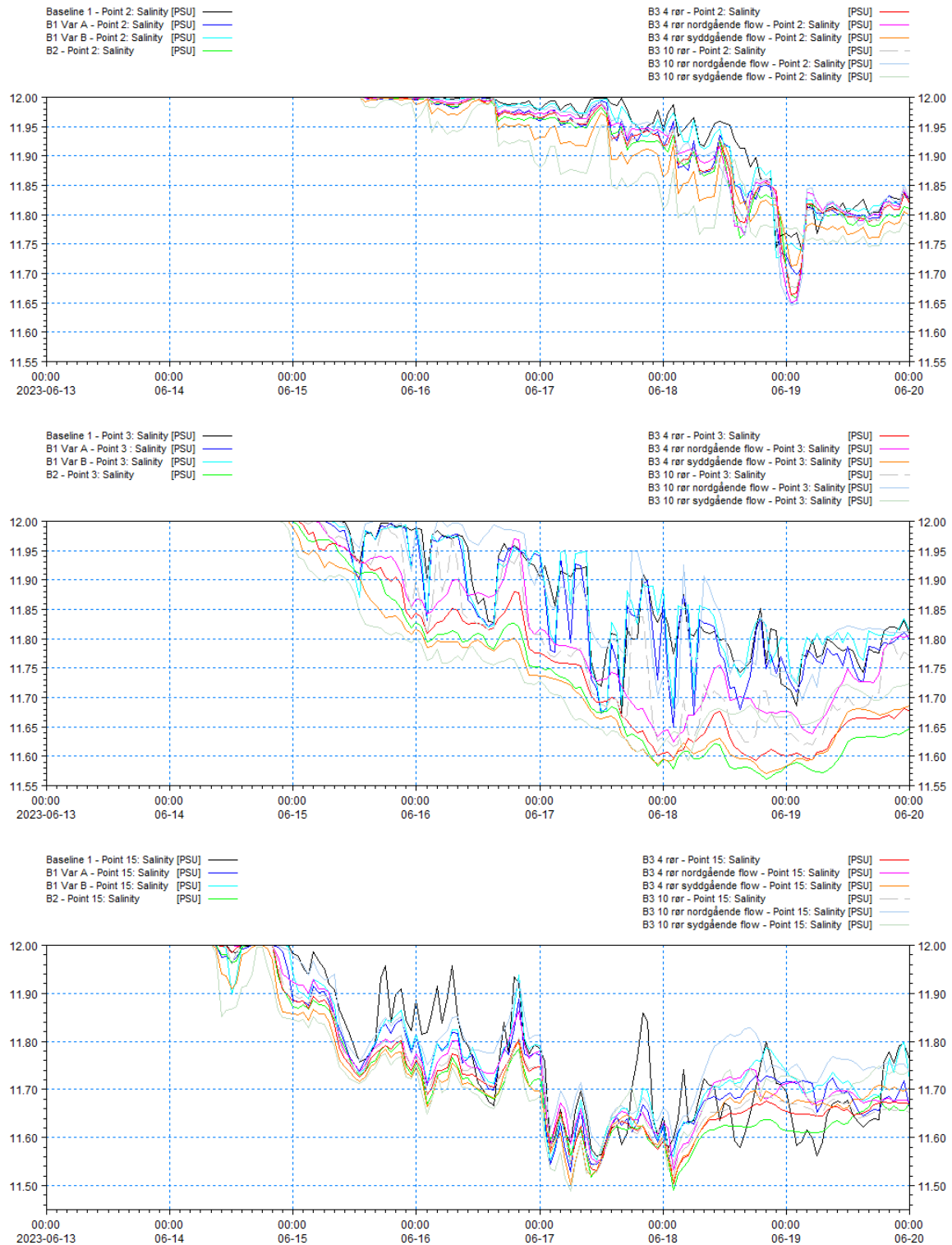
5.5 Opsummering af modelresultater

I tabel 5-1 gives en opsummering af de overordnede påvirkninger af de hydrauliske forhold for hver af de undersøgte løsningstyper.

Tabel 5-1: Oversigt af overordnede hydrauliske resultater for de forskellige løsningstyper ift. Baseline 1.

Løsningstype	Strømforhold	Salinitet
B1	<ul style="list-style-type: none"> Lokal reduktion af strømhastigheden i Sorterenden Lokal forøgelse af strømhastigheden i Kalvebodløbet. Ved at reducere åbningsbredden i Kalvebodløbet bliver reduktionen af strømhastigheden i Sorterenden lidt lavere, mens forøgelse af strømhastigheden i Kalvebodløbet øges lidt. 	<ul style="list-style-type: none"> Den gennemsnitlige vandkvalitet (udtrykt ved ændring i salinitet) påvirkes ikke signifikant, men i den sydlige del af Kalveboderne kan der i perioder forekomme et lavere salinitetsniveau sammenholdt med Baseline 1. De dynamiske forhold er til en vis grad uændrede.
B2	<ul style="list-style-type: none"> Lokal reduktion af strømhastighederne i Sorterenden og forøgelse af strømhastigheden i Kalvebodløbet. Sammenlignet med Løsningstype B1 er påvirkningen af strømhastighed større, dvs. større reduktion i Sorterenden og større forøgelse i Kalvebodløbet. 	<ul style="list-style-type: none"> Lokalt i Sorterenden vil der være en reduktion af saliniteten, da udvekslingen af vand med Køge Bugt er hindret her. I den centrale del af Kalveboderne vil der være en forøgelse af salinitetsniveauet. Især omkring Sorterenden er dynamikken reduceret, hvilket indikerer mere stillestående vand og dermed reduceret vandudskiftning.
B3	<ul style="list-style-type: none"> Lokal reduktion af strømhastighederne i Sorterenden og Kalvebodløbet. Sammenlignet med Løsningstype B1 er påvirkningen i strømhastighed større, dvs. større reduktion i Sorterenden og større forøgelse i Kalvebodløbet, men sammenlignet med B2 er påvirkningen lidt mindre. Antallet af rør har en signifikant påvirkning. 	<ul style="list-style-type: none"> Den gennemsnitlige vandkvalitet (udtrykt ved ændring i salinitet) påvirkes ikke signifikant, men dog kan der forekomme reduceret salinitet ved Sorterende, denne reduktion reduceres dog med antallet af rørgennemføringer. De dynamiske forhold omkring Sorterenden påvirkes, men dog i mindre grad sammenlignet med Løsningstype B2. En styring af vandgennemstrømningen via rørene, så der kun er åbnet for nordgående strømninger, har en positiv påvirkning af dynamikken.

Figur 5-30 viser salinitetsniveauet i Kalvebodløbet (position 2), Sorterenden (position 3 og 15) for Baseline 1 samt de undersøgte løsningstyper. Af figuren fremgår det, at i position 2 medfører en stormflodssikring ikke en signifikant påvirkning af saliniteten og vandudskiftningen. Herudover ses det, at dynamikken er nogenlunde bevaret. Der sker dog en generel parallelforskydning af salinitetsniveauet (reduktion sammenlignet med Baseline 1). Hertil kan det konstateres, at løsningerne B1 (uanset portåbning i Kalvebodløbet) samt B3 med 10 rør og åbent for nordgående strømninger medfører den mindste påvirkning (relativt i forhold til Baseline 1) af saliniteten og dynamikken.



Figur 5-30: Tidsserie af modelleret salinitetsniveau i position 2 (øverste tidsserie), position 3 (midterste tidsserie) og position 15 (nederste tidsserie) for modellerne Baseline 1, Løsningstype B1, Løsningstype B2 og Løsningstype B3 for det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1.

Følsomhedssimuleringer viser, at den relative ændring af de hydrauliske forhold som følge af etableringen af en stormflodssikring ikke er signifikant følsom over for ændringer i hhv. middelvandstandsniveau, vandføring fra Harrestrup Å samt stormflodssikring i Kronløbet. Vurderingerne er alle relaterede til disse indledningsvise screeninger ift. at vurdere egnetheden af overordnede løsningskoncepter. Nærmere beskrivelse og gennemgang af følsomhedsanalyserne findes i B3.

6 VURDERING AF POTENTIELLE PÅVIRKNINGER GRUNDET STORMFLODSSIKRING

I det følgende beskrives de potentielle miljøeffekter og mulige påvirkninger på Natura 2000-området ifm. driftsfasen af en stormflodssikring af Kalveboderne. Der vurderes altså ikke på projektets samlede påvirkning eller på anlægsfasen, men alene på forskellen mellem mulige løsningsgeometrier for stormflodssikring af Kalveboderne. Nedenfor nævnte potentielle miljøpåvirkninger er ikke udtømmende og af samme detailniveau som det typisk kræves ift. eksempelvis niveauet i en miljøkonsekvensvurdering, men er inkluderet med henblik på at vælge mest hensigtsmæssige løsninger for stormflodssikring. Det anbefales derfor, at potentielle påvirkninger revurderes ifm. Miljøkonsekvensvurdering.

Ændrede hydrografiske forhold kan muligvis påvirke vandudskiftning, strømforhold, salinitet, vandkvalitet og iltforhold. Nedsætning af vandudskiftningen kan øge opholdstiden og koncentrationen af de næringsstoffer, der tilføres fra land/Harrestrup Å, samt påvirke iltforholdene ved at mindske omrøringen og dermed vil ilttilførsel fra atmosfæren reduceres.

I Tabel 6-1 er vist en oversigt over potentielle effekter og mulige påvirkninger af Natura 2000-området i projektets driftsfasen som følge af etablering af en stormflodssikring af Kalveboderne. I de efterfølgende afsnit beskrives den vurderede følsomhed af de potentielle påvirkninger på det aktuelle Natura 2000-område nærmere.

Tabel 6-1: Potentielle påvirkninger af Natura 2000-område i driftsfasen.

Effekter	Påvirkning
Sedimentation og ændring i sedimentationsrater	Kan primært påvirke ålegræs og bundfauna, her muligvis blåmuslinger ved tildækning.
Sediment i vandsøjlen	Kan påvirke lysforholdene for ålegræs.
Ændrede hydrografiske forhold	Kan muligvis ændre vandudskiftning, strømforhold, salinitet, vandkvalitet og iltforhold.

6.1 Strømforhold og vandudskiftning

Når åbningen mod syd ændres, ændres strømforholdene. Ved en mindre åbning øges strømhastighederne lokalt omkring åbningen, men hastighederne vil falde inde i Kalveboderne. Derudover vil der formentlig også være et generelt fald i den totale vandudskiftning. En begrænsning af vandudskiftning og ændring af strømforhold vil have en lang række af effekter:

- Et skifte til mere stillestående vand vil begrænse floraens og faunas adgang til ilt og føde til den bentiske fauna.
- Øget salinitetsgradienter medfører en mindre opblanding af vandsøjlen, der dermed begrænser iltforsyningen til bunden. Risikoen for iltvind, særligt varme stille sommerperioder vil øges.
- Temperaturen lokalt i Kalveboderne vil på solrige dage kunne blive varmet mere op grundet mindre opblanding med køligere vand fra Øresund/Østersøen.
- Ferskvand fra Harrestrup Å vil tage længere tid om at blive opblandet med saltvandet i Kalveboderne, dermed vil saliniteten variere. Opholdstiden vil som følge deraf blive større for miljøfremmede stoffer og patogener udledt fra Harrestrup Å.

Som eksempel påvirker strømhastighederne vandbevægelserne omkring flora og fauna:

- Jo større strømhastighed jo større er fødetilgængeligheden for filtrerende bunddyr og næringsstoffertilgængelighed for planter.

- Jo mindre strømhastighederne er, jo større er belastningen på bundplanterne fra trådalger og epifytter.

Den kemiske tilstand og vandkvaliteten i Kalveboderne er højst sandsynligt påvirket af tilførsel fra f.eks. Harrestrup Å. Projektet påvirker ikke selve tilførslen og de absolutte mængder, men en påvirkning af vandudskiftning vil kunne medføre en påvirkning af forholdene i Kalveboderne i form af lokal op-koncentrering i Kalveboderne.

Det vurderes ikke umiddelbart sandsynligt, at den reducerede vandudskiftning påvirker sediment og sedimentation - kun i forbindelse med store regnvandshændelser. Derfor indgår det ikke yderligere i studiet, men skal formentlig undersøges videre ifm. Miljøkonsekvensvurdering. Der vil dog formentligt forekomme en midlertidig omlejring af sediment, således vil sediment omkring de indsnævrede render eroderes, uddybes og sedimenteres et andet sted.

6.2 Vandudskiftningens betydning for opfyldelse af vandområdeplanerne

Vandudskiftning har betydning for opfyldelsen af vandområdeplanerne. Vandområdeplanerne vurderes ud fra følgende kriterier:

- Økologisk tilstand, herunder forhold omkring fytoplankton, rodfæstede bundplanter, bunddyr, iltforhold, vandets klarhed og nationalt specifikke stoffer;
- Kemisk tilstand

Vandkvaliteten i Kalveboderne er påvirket af miljøfarlige stoffer fra blandt andet Harrestrup Å-systemet samt fækalierester, der skylles ud ved overløb, se bilag A4 og A5. En nedsat vandudskiftning kan medføre længere opholdstid for høje niveauer af tarmbakterier og miljøfarlige stoffer i Kalveboderne. Det ses under nuværende forhold, at ekstremt høje bakterieniveauer efter regnskyshændelser (overløb) nærmer sig normale forhold efter 2-3 dage, se bilag A3. Desuden kan en mindsket vandudskiftning også medføre et fald i salinitet grundet den længere opholdstid af ferskvandet fra Harrestrup Å, og det i sig selv vil også kunne påvirke vandkvaliteten.

I forbindelse med vandkvaliteten er det her også spørgsmålet om, hvor stor en rolle Harrestrup Å systemet spiller ind på Kalveboderne i forhold til gennemstrømningen fra Køge Bugt. Desuden vil vandløbsprojekter formentlig mindske risikoen for overløb og klimaændringerne vil kunne øge risikoen, men det er muligt at Harrestrup Å-systemet fremover vil betyde mindre for vandkvaliteten i Kalveboderne.

6.3 Vandudskiftningens betydning for Natura 2000: N143 "Vestamager og havet syd for"

Jf. Figur 3-6 er det naturtyperne "sandbanke" og "bugt" fra udpegningsgrundlaget for N143 der vurderes potentielt at blive påvirket. Habitatbeskrivelserne herfor, er omfattet af Habitatdirektivet (Miljøstyrelsen, Beskyttede arter og naturtyper, 2016).

En påvirkning af vandudskiftningen kan potentielt betyde højere sedimentationsniveauer i den udstrækning, at vand fra Harrestrup Å er sedimentholdigt. Men det vurderes ikke umiddelbart, at naturtyperne er særligt sårbar over for sedimentering og sediment i vandsøjlen. Der vil dog i tilfælde af ekstremhændelser i form af skybrud etc. kunne blive skyllet væsentlige mængder af sediment ud med Harrestrup Å. Disse hændelser er dog midlertidige. En mindre vandudskiftning kan dog også potentielt medføre en længere sedimentpåvirkning. Ud over påvirkninger fra Harrestrup Å vil en mindre vandudskiftning i sig selv ikke give højere sedimentniveauer, da ophvirvling af sediment f.eks. reduceres. Et ændret strømmønster vil dog påvirke, hvor sedimentet aflejres, og der vil aflejres sediment med mindre partikelstørrelse, så der må forventes, at der skal indstilles nye ligevægte for hvor sediment aflejres og ophvirvles.

For naturtyperne bugt og sandbanke vurderes det, at ændrede hydrografiske forhold muligvis kan medføre en påvirkning af Natura 2000-området i Kalveboderne. En mindsket vandudskiftning kan

have en væsentlig påvirkning af Natura 2000-området, samt påvirke iltforhold og konkurrenceforholdet mellem bundplanter og trådalger der vokser som epifytter hen over bundplanterne. Stillestående vand kan favorisere trådalgerne i sig selv. Derudover kan den længere opholdstid af åvandet, medføre en mulig øget næringsstofsbelastning, der ligeledes kan favorisere trådalgerne. Iltforholdene kan påvirkes i og med en mindre vandudskiftning vil medføre mere stillestående vand, der dermed medfører ringere iltning fra overfladen. Iltmålinger i Kalveboderne har tidligere vist høje iltkoncentrationer, se evt. afsnit 3.3. Den høje vegetationsdækning vil medføre høje iltniveauer om dagen, men potentielt lave iltniveauer om natten. Disse udsving forstærkes ved en mindre vandudskiftning.

Grundlæggende er spørgsmålet, om ændringen af gennemstrømningen betyder noget for de ændrede strømhastigheder og fortyndinger i forhold til tilstrømningen fra Harrestrup Å. Strømmer vandet fra Køge Bugt eksempelvis så hurtigt igennem Kalveboderne, at tilstrømningen af ferskvand og næringssalte fra åen er ubetydelig, eller opnår vi forhold som en indsø, der helt domineres af åen? Vandudskiftningens betydning på bundflora og fauna

Som nævnt tidligere er hensigten her at gennemføre en indledende screening af indvirkningen fra de forskellige løsningstyper for stormflodsbeskyttelsen for at vurdere hvilken løsningstype, der vil være mest realistisk at inkludere ifm. anlægsoverslag. Bundfloraen i Kalveboderne er generelt påvirket af trådalger og fedtemøg (se afsnit 3.3). Det gør bundfloraen udsat for en mindsket dynamik og strømhastigheder. Strømhastighederne betyder også noget for bundplanternes mulighed for at optage næringsstoffer, risiko for lokalt iltsvind mm. Bundfloraens sårbarhed må derfor vurderes som **høj** i forhold til en reduktion af strømhastigheder og dynamik. Bundfaunaen ernærer sig i høj grad som filtratorer og vandudskiftningen er afgørende for fødetilgængelighed. Også her vurderes sårbarheden til at være **høj**. Sårbarheden er ens for alle løsningstyper.

Geografisk udbredelse, Området, der påvirkes af en reduktion af strømhastigheder og mindsket dynamik, er primært i **nærområdet** omkring Sorterenden og for løsningstype B2 i et større **lokalt** område af Kalveboderne. Den geografiske udbredelse vurderes i det nedenstående for hver løsningstype.

Intensiteten

Intensiteten af reduktion af strømhastigheder og dynamik, varierer for de forskellige løsningsforslag og vurderes hver for sig i det følgende, varierende imellem **lav** og **høj**

Varighed

Varighed af reduktionen af strømhastigheder og dynamik vil for alle løsningstyperne være **permanent**.

6.4 Løsningstypernes påvirkning på natur og miljø

I nedenstående vurderes modelresultaterne fra kapitel 5 i forhold til påvirkningen på strømforhold og dermed vandudskiftningen ved de forskellige løsningsmodeller.

6.4.1 Løsningstype B1, variant A

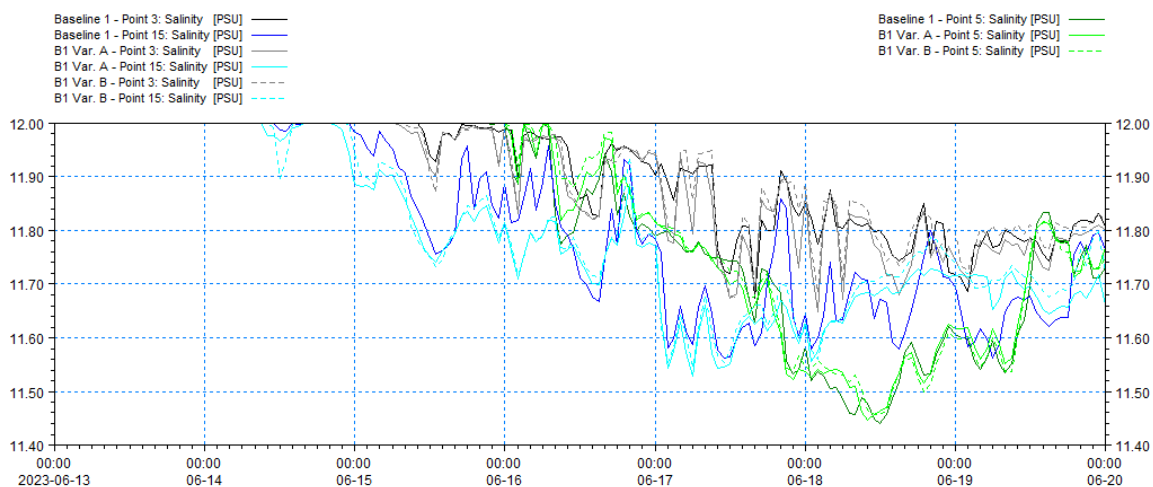
Ved de tre strømscenarier ses de største strømhastigheder ved Strømscenarie 2, sydgående strøm, og de laveste i strømscenarie 3, tidevandsscenarioet. Dermed er den generelle vandudskiftning størst ved sydgående strøm og mindst under tidevandsscenarioet. Det vurderes derfor, at påvirkningen også er mest kritisk under strømscenarie 3, se Figur 5-5, Figur 5-6 og Figur 5-7.

Ændringen af den gennemsnitlige og maksimale strømhastighed for Løsningstype B1 Variant A ift. Baseline 1 er vist i Figur 5-5, Figur 5-6 og Figur 5-7 for de tre strømscenarier, for yderligere forklaring se kapitel 5. Heraf fremgår det, at påvirkningen af den gennemsnitlige strømhastighed

generelt er i **nærområdet** omkring den fremtidige stormflodssikring. Største påvirkning forekommer, som forventet, ved portåbningerne.

Der ses generelt en reduktion i strømhastigheder nord for Sorterenden (Figur 5-2 til Figur 5-4), hvilket medfører en mulig reduktion af strømhastigheder i lige nord for Sorterenden (punkt 3 og 15) og til dels nordvest foran villaerne langs Hvidovre Strandvej (punkt 12), se evt. Figur 5-1 for placering. Lokalt vurderes som særlig påvirket og tillægges således vægt her i vurderingen. I Kalvebodløbet øges strømhastighederne og er dermed ikke påvirket af reduceret vandudskiftning.

Da salinitetsforholdene er særdeles dynamiske i Kalveboderne, er kontinuerlige salinitetsændringer et udtryk for vanddynamik og lokal vandudskiftning. Dynamikken lige nord for Sorterenden (position 3 og 15), er stort set uændret, se evt. Figur 5-15. Salinitetsændringerne er mere eller mindre parallelforskydninger, og dermed vurderes dynamikken at være stort set uændret. Faldet i salinitet er minimalt og i relative tal. Dermed vurderes intensiteten til at være **lav**. Eksempel illustreret i Figur 6-1.



Figur 6-1 Eksempel på forskudte tidsserier af modellerede salinitetsniveauer.

Det fremgår af resultaterne i kapitel 5, at der generelt ikke opstår en stor påvirkning/ændring af det gennemsnitlige salinitetsniveau i Kalveboderne, men at der i områder kan forekomme en reduktion af det lavest modellerede salinitetsniveau i simuleringsperioden for de modellerede scenarier (blå områder på Figur 5-5 - Figur 5-7). Dette indikerer, at vandet fra Harrestrup Å periodisk udgør en større andel af vandet i området ifm. stormflodsbeskyttelsen, hvilket viser sig generelt gældende for alle tre strømscenarier. Dog forekommer der mindst påvirkning af både det gennemsnitlige og de laveste salinitetsniveauer for Strømscenarie 2.

Det vurderes samlet set, at løsningstype B1 variant A er en løsning med en mulig **moderat påvirkning** af Kalvebodernes flora og fauna. Der skal dog vurderes yderligere - herunder også laves en væsentlighedsvurdering i forhold til Natura 2000-området: N143 "Vestamager og havet syd for".

6.4.2 Løsningstype B1, variant B

Der observeres ikke en signifikant forskel på de modellerede strømhastigheder imellem variant A og B. Dog medfører en reduceret åbningsbredde i Kalvebodløbet (fra 50 m til 27,5 m), at strømhastigheder øges i Sorterenden sammenlignet med Løsningstype B1 Variant A. Ej heller er der stor forskel på salinitetsniveauerne imellem variant A og B (Figur 5-9). Løsningstype B1 variant B vurderes at have stort set samme påvirkning på miljøet som variant A med den forskel, at der påvirkes lidt mindre ved Sorterenden. Der er dog for mange variabler til, at det kan afgøres på foreliggende grundlag.

Det vurderes således samlet set, at løsningstype B1 variant B er en løsning med en mulig **moderat påvirkning** af Kalvebodernes flora og fauna.

6.4.3 Løsningstype B2

Af resultaterne i kapitel 5 fremgår det, at strømhastighederne er højest i Kalvebodløbet og især lokalt i åbningen. Sammenlignet med Baseline 1 ses det, at strømhastighederne reduceres signifikant i Sorterenden, hvor der for denne stormflodsløsning ikke forekommer gennemstrømning, mens strømhastighederne øges i dele af Kalvebodløbet. Dette er gældende for både Strømscenarie 1 og 3.

På Figur 5-1 ses position 3 lige nord for Sorterenden hvor dæmningsløsningen vil omdanne den nordlige del af Sorterenden til en fordybning i havbunden med meget reduceret vandudskiftning, ved strømscenarie 3, strømhastighederne er meget lave den maksimale strømhastighed nord for dæmningen er under 0,05 m/s, se Figur 5-17. Vandet vil være stort set stillestående der. Stillestående vand kombineret med en lokal fordybning i havbunden vil højst sandsynligt medføre en sedimentation af organisk materiale hvilket sandsynligt vil forværre iltforhold til skade for både bundfauna og flora. Dynamikken ved position 3 (Figur 5-22) viser også, at dynamikken er væsentligt reduceret og dermed vandudskiftningen, som strømhastighederne også indikerede.

Intensiteten af begrænsningen på vandudskiftning som følge af løsningstype B2, vurderes derfor til at være **høj**. Løsningstype B2 vurderes at have en **væsentlig påvirkning** på flora og fauna i Kalveboderne og kan hermed ikke anbefales.

6.4.4 Løsningstype B3, variant A

Strømhastighederne reduceres signifikant i Sorterenden, hvor der kun er en begrænset vandudveksling mellem Kalveboderne og Køge Bugt. Påvirkningen af strømhastighederne er marginalt reduceret for Løsningstype B3 med 10 rørgennemføringer sammenlignet med fire, men overordnet er ændringen i de statistiske strømhastigheder ikke signifikant anderledes end for Løsningstype B2, hvor der er lukket helt af i Sorterenden.

Intensiteten af begrænsningen på vandudskiftning som følge af løsningstype B3 variant A, vurderes derfor til at være **høj**. Samlet set vurderes løsningen at have en **væsentlig påvirkning** på flora og fauna i Kalveboderne og kan dermed ikke anbefales.

6.4.5 Løsningstype B3, variant B

Resultater for Løsningstype B3 Variant B, hvor det er forudsat, at vandudvekslingen gennem rørene er styret, så der udelukkende forekommer vandføring i rørene ved nordgående strøm, er vist for modelberegninger med 10 rør i Figur 5-25. Som det fremgår af figuren, giver dette scenarie ikke anledning til en signifikant ændring af de statistiske ændringer i strømhastigheder ift. Baseline 1 – sammenlignet med resultaterne, hvor der ingen styring er (jf. Figur 5-24). Dog er der en lidt øget reduktion af de gennemsnitlige strømhastigheder i Sorterenden og stort set uændrede forhold i Kalvebodløbet.

Intensiteten af begrænsningen på vandudskiftning som følge af løsningstype B3 variant B, vurderes derfor til at være **høj**, ligesom løsningstype B2. Samlet set vurderes løsningen at have en **væsentlig påvirkning** på flora og fauna i Kalveboderne.

6.5 Sammenfatning af vurderinger

I Tabel 6-2 ses en opsummering af vurderingerne af de forskellige løsningstyper på den marine flora og fauna i Kalveboderne. Af vurderingen fremgår det, at der vil være mindst påvirkning af løsningstype B1, og at der vil være mulighed for at variere på portåbningernes bredde. Løsningstype B1 variant A har en lidt højere påvirkning lokalt ved Sorterenden end variant B, mens variant B har større påvirkning på strømningsmønstret generelt omkring Kalvebodløbet. Dermed vil påvirkningen på sedimentation og erosionsdynamikkerne være større ved variant B. Det kan umiddelbart være svært at vurdere de mere præcise forskelle på de to varianter på dette undersøgelsesniveau.

Løsningstype B2 har væsentligt højere påvirkning på vandudskiftningen, da Sorterenden blokeres, og denne løsningstype kan ikke anbefales. Løsningstype B3 har også en væsentlig højere påvirkning end B1. Der sås en effekt på vandudskiftningen, når der indsættes rør i Sorterenden i stedet for dæmningsløsningen, men det er tvivlsomt, om løsningen kan anbefales.

Den kemiske tilstand og vandkvaliteten i Kalveboderne er påvirket af tilførsel fra f.eks. Harrestrup Å (Hansen, 2023). Projektet påvirker ikke selve tilførslen og de absolutte mængder, men en påvirkning af vandudskiftning vil kunne medføre en påvirkning af opholdstiden i Kalveboderne og medføre lokal opkoncentrering i Kalveboderne. Dermed kan saliniteten falde, og næringsstoffer og miljøfarlige stoffer kan få en længere opholdstid. Ved store regnvandshændelser, der fører til overløb fra kloaksystemet, kan fækalierester også få længere opholdstid i Kalveboderne.

Tabel 6-2: Oversigt over vurdering af påvirkningerne i driftsfasen fra de forskellige løsningstyper ift. Baseline 1

Løsningstype	Miljøfaktorens sårbarhed	Geografisk udbredelse	Intensitet	Varighed	Konsekvens
Løsningstype B1, variant A Kalvebodløbet: Portåbning 50 m Sorterenden: Portåbning 27,5 m	Høj	Nærområde	Lav	Permanent	Moderat
Løsningstype B1, variant B Kalvebodløbet: Portåbning 27,5 m Sorterenden: Portåbning 27,5 m	Høj	Nærområde	Lav	Permanent	Moderat
Løsningstype B2 Kalvebodløbet: Portåbning 50 m Sorterenden: Dæmningskonstruktion	Høj	Lokal	Høj	Permanent	Væsentlig
Løsningstype B3, variant A Kalvebodløbet: Portåbning 50 m Sorterenden: Dæmningskonstruktion inkl. rørgennemstrømning	Høj	Lokal	Høj	Permanent	Væsentlig
Løsningstype B3, variant B Kalvebodløbet: Portåbning 50 m Sorterenden: Dæmningskonstruktion inkl. rørgennemstrømning og ensrettet styring af nordgående strømning	Høj	Lokal	Høj	Permanent	Væsentlig

7 DISKUSSION OG ANBEFALINGER TIL VIDERE STUDIER

Gennemførte analyser i nærværende rapport skal betragtes som værende på skitseniveau, til anvendelse ved indledende screening af miljøpåvirkning. Anvendte model er kalibreret baseret på tilgængelige vandstandsmålinger ved Stigbordene i Københavns Havn, men der har til nærværende analyser ikke været et datagrundlag til rådighed til gennemførelse af en egentlig kalibrering-/validering af modellerne ved Kalveboderne. Med henblik på at reducere usikkerheder ift. det manglende kalibrerings-/valideringsgrundlag ved Kalveboderne er der i nærværende vurderinger primært gennemført relative sammenligninger af modelscenarier. De relative sammenligninger vurderes til en vis grad at udligne modelusikkerheder. Dog må det påregnes, at der i forbindelse med en senere miljøkonsekvensvurdering, detailoptimering, projektering af stormflodssikring mv., skal gennemføres supplerende modellering af de hydrauliske forhold med et opdateret forudsætnings- samt kalibrerings- og valideringsgrundlag, inkluderende supplerende scenarier.

Der har i forbindelse med de gennemførte modelberegninger ikke forelagt et detaljeret og opdateret dybdegrundlag (pejlinger) for hhv. Kalveboderne, Sorterenden og Kalvebodløbet, hvormed modelgrundlaget er etableret baseret på det tilgængelige datagrundlag. Ændringer i dybdeforholdene kan påvirke fordelingen af vandudvekslingen gennem Sorterenden og Kalvebodløbet og dermed påvirke effekten af de undersøgte løsningskoncepter. Der er i modelopsætningen dog taget udgangspunkt i de dybdeforhold, der indikerede den største vanddybde i Sorterenden, da en hel eller delvis lukning af denne dermed vurderes at give den største negative påvirkning. Dermed er der forventeligt tilføjet en vis konservatisme til anvendte dybdegrundlag i modellen. I forbindelse med yderligere detailanalyser og supplerende modellering bør der indhentes et opdateret grundlag for vanddybder, og det bør desuden vurderes, hvorvidt dybdeforhold er dynamiske (dvs. ændrer sig over tid).

Der har i de gennemførte modelberegninger ikke været fokus på eventuelle ændrede lokale erosions- og sedimentationsforhold som følge af ændring i strømforhold. Dette bør være et fokus i senere supplerende modelanalyser, da ændrede erosionsforhold kan medføre påvirkning af vanddybder, og dermed påvirkninger af vandudvekslingen igennem Sorterenden og Kalvebodløbet. Desuden kan ændrede erosionsforhold potentielt have indvirkning på miljøforhold ved Kalveboderne.

De præsenterede strømhastigheder i nærværende rapport kan alene anvendes til skitse-mæssigt at vurdere relative ændringer ift. Baseline 1 og ikke til at designe en evt. erosions-sikring, vurdere navigationsforhold eller lignende. Dels er modelberegningerne udelukkende gennemført for normalt forekommende hydrodynamiske forhold (ikke statistiske ekstremvejrforhold), og dels er de fremtidige stormflodskonstruktioner ikke implementeret tilstrækkelig nøjagtigt i modellen ift. at modellere de lokale strømhastighedsforhold. Analyser for ekstremforhold bør gennemføres i et senere projektstadiet.

I gennemførte modelberegninger er det generelt forudsat, at Stigbordene også fremover anvender samme indstilling ift. middelvandspejlet svarende til forholdene i dag. Der er således ikke gennemført vurderinger af, om ændret praksis ift. indstillingen af Stigbordene kan påvirke valget af løsningskoncept. Desuden forudsættes det, at Stigbordene vil have samme indvirkning på vandgennemstrømningen i Københavns Havn samt ved Kalveboderne under fremtidige forhold, inkl. middel havniveaustigning, som under nuværende forhold.

Der er gennemført en række følsomhedssimuleringer ift. at vurdere robustheden af de estimerede hydrauliske påvirkninger, som følge af etableringen af en stormflodssikring syd for Kalveboderne. Følsomhedssimuleringerne inkluderer øget udledning fra Harrestrup Å, etablering af en stormflodssikring i Kronløbet ved Lynetteholm, og ændret niveau for middelvandstanden som følge af klimaændringer. Følsomhedssimuleringerne er gennemført for udvalgte løsningskoncepter og kan alene anvendes til at vurdere, hvor følsomme konklusionerne er over for de betragtede input. Den overordnede vurdering heraf er, at løsningernes egnethed ikke er signifikant følsomme over for de

parametre, der har været undersøgt i følsomhedsanalyserne – og det vurderes dermed, at grundlaget for denne indledningsvise screening af løsningsstypernes påvirkning af de hydrauliske påvirkninger er nogenlunde robust. Supplerende scenarier i et senere projektstadium bør dog klarlægge, hvorvidt denne robusthed er generel.

Bortset fra følsomhedssimuleringerne for stormflodssikring i Kronløbet er der i nærværende rapport ikke inkluderet vurderinger af, om etablering af stormflodssikring på andre delstrækninger omkring København kan påvirke de hydrauliske forhold i Kalveboderne. Dette vurderes heller ikke for relevant, medmindre det er løsninger, der påvirker vandføringen ind gennem Københavns Havn eller vandstandsniveauet i Køge Bugt, hvormed de hydrauliske forhold i Kalveboderne kan påvirkes. Det skal dog understreges, at alle vurderinger er baseret på relative ændringer til Baseline 1, hvor eneste forskel er stormflodssikringen. Gennemførte modelberegninger i nærværende rapport vurderes derfor for rimelig robuste over for ændringer uden for området mellem Stigbordene i nord og stormflodssikringen syd for Kalveboderne.

Præsenterede salinitetsniveauer i indeværende rapport skal ikke betragtes som et faktisk salinitetsniveau i Kalveboderne eller i Københavns Havns søområde. Salinitetsniveauet kan alene anvendes til at vurdere ændringer ift. Baseline 1, hvor en reduktion i salinitetsniveau i et område indikerer, at vandet fra Harrestrup Å kommer til at udgøre en større andel, mens en relativ forøgelse af salinitetsniveauet indikerer at vandet fra Harrestrup Å kommer til at udgøre en mindre andel som følge af etableringen af stormflodssikringen.

Til opsummering er der i det følgende givet anbefalinger (ikke udtømmende liste) til at supplere og kvalificere grundlaget for vurderinger af påvirkningerne af de hydrauliske forhold:

- Pejlinger af dybdeforholdene i Kalveboderne, Sorterenden og Kalvebodløbet
- Vurdering af påvirkning på erosions- og sedimentationsforhold
- Måling af strømhastigheder lokalt i Kalveboderne, Sorterenden og Kalvebodløbet
- Supplerende modelscenarier
- Vurdering af mulighed for optimering af indstillinger for Stigbordene

Hertil anbefales det at øge/kvalificere vidensgrundlaget for de marinbiologiske vurderinger og hertil at supplere med yderligere modelberegninger til at øge vurderingsgrundlaget.

REFERENCER

- By & Havn. (2024). *Målte strøm- og vandstandsdata i perioden marts 2022 – marts 2024*.
- COWI. (2016). *EKSISTERENDE MARINBIOLOGISKE OG HYDROGRAFISKE FORHOLD VED AVEDØRE HOLME - 2*.
- COWI. (2020). *Stormflodssikring mod syd - udvalgte løsninger (samlerapport)*.
- Danmarks Miljøportal. (2023). *Miljødata*. Hentet 2023 fra <https://miljoedata.miljoeportal.dk/>
- DHI. (2015). *Stormflodsstyring i Københavns Sydhavn - Undersøgelse af stigbordes og skibsslusens betydning for vandstand og strømforhold*.
- DHI. (2018). *Marine vegetation*. Hentet 2023 fra Funded by Velux foundation: <https://marine-vegetation.satlas.dk/>
- DHI. (2020). *Anlæg af Lynetteholm - VVM – Teknisk Baggrundsrapport nr. 1, Hydrauliske undersøgelser*.
- DHI. (2021). *Strømningsforhold i Kalveboderne i forbindelse med etablering af stormflodssikring mod syd*.
- DMI. (2024). <https://www.dmi.dk/frie-data>.
- EMODnet. (2024). *EMODnet, European Marine Observation and Data Network*, <https://emodnet.ec.europa.eu/geoviewer/>.
- GEUS. (2014). *Havbundes overfladesedimenter*. Hentet 2023 fra <https://www.geus.dk/mineralske-raastoffer/raastoffer-i-danmark/havbundens-overfladesedimenter>
- Google Earth. (2024).
- Hansen, J. L. (2023). *HÅV Miljøkosekvensrapport*. WSP.
- Kystdirektoratet. (2024). *Delundersøgelse af sikringsniveauer for stormflodssikring af København - Arbejdsgruppe Sikringsniveauer*.
- Miljødata. (2024). Hentet fra <https://miljoedata.miljoeportal.dk/>
- Miljøministeriet. (2012+2018). *Hav - Danmarks Havstrategi*. Hentet 2023 fra <https://mst.dk/erhverv/rig-natur/naturen-i-danmark/vandmiljoe/havet/danmarks-havstrategi-ii>
- Miljøministeriet. (2023). *Bekendtgørelse om basisanalyser, BEK nr. 795 af 13/06/2023*.
- Miljøministeriet. (2023). *Vandområdeplanerne 2021-2027*.
- Miljøstyrelsen - MiljøGIS. (2022). *MiljøGIS for Vandområdeplanerne 2021-2027*. Hentet 2023 fra <https://miljoegis.mim.dk/spatialmap?profile=vandrammedirektiv3-2022>
- Miljøstyrelsen. (2016). *Beskyttede arter og naturtyper*. Hentet fra Habitatbeskrivelser, årgang 2016: <https://edit.mst.dk/media/pj3afex3/habitatbeskrivelser-2016-ver-105.pdf>
- Miljøstyrelsen. (2017-21). *Miljøgis*. Hentet fra NOVANA det nationale overvågningsprogram: <https://miljoegis.mim.dk/cbkort?profile=novana2017-21>
- Miljøstyrelsen. (2021, revideret). *Natura 2000-basisanalyse 2022-2027: Vestamager og havet syd for. Natura 2000-område nr. 143, Habitatområde H127, Fuglebeskyttelsesområde F111*. Hentet fra <https://mst.dk/media/194306/n143-basisanalyse-2022-27-vestamager-og-havet-syd-for.pdf>.
- Miljøstyrelsen. (2022). *Vandplandata*. Hentet 2023 fra <https://vandplandata.dk/vp3endelig2022/vandomraade>
- Miljøstyrelsen. (2023). *Natura 2000-plan 2022-2027: Vestamager og havet syd for. Natura 2000-område nr. 143, Habitatområde H127*.
- Miljøstyrelsen, Miljøministeriet. (2023). *NOVANA overvågning af Natur og Vandmiljø*. Hentet fra <https://mst.dk/erhverv/rig-natur/naturen-i-danmark/novana-overvaagning-af-natur-og-vandmiljoe>
- Nørgaard, J. E. (2024). *Stormflodssikring ved Kalveboderne, modelleringsrapport*. Rambøll.
- Rambøll. (2024). *TMA hovedrapport - Teknik, Miljø og Anlægsøkonomi*.
- Rambøll. (2023). *Forudsætningsnotat vedr. stormflodssikring i Kalveboderne*.
- Transportministeriet. (2022). *Hovedkommissorium - Forundersøgelse af stormflodsplan for København*.
- Vandportalen. (2024). *Data download*. Hentet fra www.vandportalen.dk
- WSP. (2022). *Havbiologisk baselineundersøgelse Københavns havn*. WSP.

A. BILAG VEDR. NATUR OG MILJØFORHOLD

A1. Måledata vedr. Kemisk tilstand, Nordlige Øresund

Her ses målinger i Nordlige Øresund, målingerne der giver anledning til manglende opfyldelse er markeret med **fed** (Miljøstyrelsen - MiljøGIS, 2022).

Målestation	Parameter	Matrice	Niveau	Værdi	Enhed	MKK
DKMONCW97120111	Benz(a)pyren (CAS 50-32-8)	Biota	Analysedata	1,2	µg/kg VV	5
DKMONCW97230007	Naphthalen (CAS 91-20-3)	Biota	Aggregerede data	2,5	µg/kg VV	2400
DKMONCW97210020	Naphthalen (CAS 91-20-3)	Sediment	Analysedata	0,0629	mg/kg TS	0,138
DKMONCW97120110	Hexachlorbenzen (CAS 118-74-1)	Biota	Analysedata	0,1	µg/kg VV	10
DKMONCW97210020	Antracen (CAS 120-12-7)	Sediment	Analysedata	0,0414	mg/kg TS	0,0048
DKMONCW97230007	Antracen (CAS 120-12-7)	Biota	Aggregerede data	0,4	µg/kg VV	2400
DKMONCW97210020	Octylphenoler (CAS 140-66-9)	Sediment	Analysedata	0,0067	mg/kg TS	0,112791
DKMONCW97120111	Fluoranthen (CAS 206-44-0)	Biota	Analysedata	4	µg/kg VV	30
DKMONCW97120110	Perfluorooctansulfonsyre (PFOS) (CAS 1763-23-1)	Biota	Analysedata	1,03	µg/kg VV	9,1
DKMONCW97120111	Bly (CAS 7439-92-1)	Biota	Analysedata	830	µg/kg VV	110
DKMONCW97210020	Bly (CAS 7439-92-1)	Sediment	Analysedata	14	mg/kg TS	163
DKMONCW97120110	Kviksølv (CAS 7439-97-6)	Biota	Aggregerede data	533,2	µg/kg VV	20
DKMONCW97200045	Cadmium (CAS 7440-43-9)	Biota	Analysedata	270	µg/kg VV	160
DKMONCW97210020	Cadmium (CAS 7440-43-9)	Sediment	Analysedata	0,46	mg/kg TS	3,868
DKMONCW97210020	Nonylphenoler (CAS 25154-52-3)	Sediment	Analysedata	0,0809	mg/kg TS	0,07175
DKMONCW97120110	BDE, sum (CAS 32-04-2)	Biota	Aggregerede data	0,132	µg/kg VV	0,0085
DKMONCW97120110	HBCDD, sum (CAS 33-57-8)	Biota	Aggregerede data	0	µg/kg VV	167
DKMONCW97120110	Dioxiner, sum (CAS 33-58-9)	Biota	Aggregerede data	0,00434	µg/kg VV	0,0065

A2. Prøvedata vedr. Miljøfarlige stoffer i muslinger i Kalveboderne

18/9 2015 fandtes følgende stoffer i muslinger fra Kalveboderne, et eksempel på prøver fra Kalveboderne, her ses kviksølv som værende over grænseværdien.

Stof		Værdi	Enhed	Grænseværdi
Zink	=	145	mg/kg TS	
Tørstof,total	=	12,29	pct	
Triphenyltin(TPhT)	<	5,9	µg/kg VV	
Tributyltin (TBT)	=	5,124	µg/kg VV	
Sølv	<	0,1	mg/kg TS	
Pyren	=	2,1	µg/kg VV	
Phenanthren	<	1	µg/kg VV	
Perylen	=	0,5	µg/kg VV	
Nikkel	=	2,8	mg/kg TS	
Naphtalen	=	1,1	µg/kg VV	2400
Monobutyltin	<	1,48	µg/kg VV	
Kviksølv	=	0,527	mg/kg TS	0,002
Kobber	=	11,1	mg/kg TS	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	=	1,1	µg/kg VV	
Fluoranthren	=	1,7	µg/kg VV	
Fedt	=	1,112	pct	
Dimethylphenanthren	<	0,5	µg/kg VV	
Dibutyltin	=	2,548	µg/kg VV	
Dibenzothiophen	<	0,4	µg/kg VV	
Dibenz(ah)anthracen	<	0,2	µg/kg VV	
Crysen/triphenylen	=	2,1	µg/kg VV	
Chrom	=	0,9	mg/kg TS	
Cadmium	=	1,24	mg/kg TS	3,868
Bly	=	2	mg/kg TS	163
Benzo(e)pyren	=	0,7	µg/kg VV	5
Benzfluranthen b+j+k	=	5,5	µg/kg VV	
Benz[a]pyren	<	0,3	µg/kg VV	
Benz(ghi)perylene	=	1,3	µg/kg VV	
Benz(a)fluoren	=	0,3	µg/kg VV	
Benz(a)anthracen	=	1,5	µg/kg VV	
Arsen	=	5,9	mg/kg TS	
Antracen	=	0,2	µg/kg VV	4,8
Acenaphthylen	<	0,3	µg/kg VV	
Acenaphthen	=	1,9	µg/kg VV	
2-Methylphenanthren	=	1,4	µg/kg VV	
1-Methylpyren	=	0,2	µg/kg VV	

A3. Måledata vedr. Badevandskvalitet

I forbindelse med overløb blev der den 7. august 2023 målt følgende bakterie niveauer i Kalveboderne, grænseværdien er 500 for E. Coli og 200 for enterokokker:

Dato	Station	Bakterie stamme	Antal/100 ml
07-08-2023	Byskoven Badezone	Intestinal enterokokker	140
07-08-2023	Gåsebæk, lagunen	Intestinal enterokokker	19000
07-08-2023	Mørtelrenden	Intestinal enterokokker	1600
07-08-2023	Stranden ved Valbyparken	Escherichia.coli	2400
07-08-2023	Hvidovre Havn	Intestinal enterokokker	530
07-08-2023	Lodsparken	Escherichia.coli	35000
07-08-2023	Mørtelrenden	Escherichia.coli	24000
07-08-2023	Byskoven Badezone	Escherichia.coli	290
07-08-2023	Hvidovre Havn	Escherichia.coli	6100
07-08-2023	Stranden ved Valbyparken	Intestinal enterokokker	700
07-08-2023	Lodsparken	Intestinal enterokokker	2700
07-08-2023	Gåsebæk, lagunen	Escherichia.coli	35000
08-08-2023	Stranden ved Valbyparken	Intestinal enterokokker	270

Den 10. august 2023 blev der målt følgende værdier i Kalveboderne:

Dato	Station	Bakterie stamme	Antal/100 ml
10-08-2023	Hvidovre Havn	Intestinal enterokokker	15
10-08-2023	Stranden ved Valbyparken	Escherichia.coli	15
10-08-2023	Mørtelrenden	Escherichia.coli	15
10-08-2023	Mørtelrenden	Intestinal enterokokker	15
10-08-2023	Byskoven Badezone	Escherichia.coli	15
10-08-2023	Byskoven Badezone	Intestinal enterokokker	15
10-08-2023	Hvidovre Havn	Escherichia.coli	15
10-08-2023	Lodsparken	Escherichia.coli	15
10-08-2023	Lodsparken	Intestinal enterokokker	15
10-08-2023	Stranden ved Valbyparken	Intestinal enterokokker	15

A4. Måledata vedr. Vandkemi i Harrestrup Å, Damhusåen Målestation

Stedtekst	Dato	Stofparameter	Resultat	Enhed
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	17-10-2022	Suspenderede stoffer	5,4	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	31-10-2022	Suspenderede stoffer	1,2	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	15-11-2022	Suspenderede stoffer	5,9	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	28-11-2022	Suspenderede stoffer	3,2	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	08-12-2022	Suspenderede stoffer	3,7	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	20-12-2022	Suspenderede stoffer	35	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	04-01-2023	Suspenderede stoffer	63	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	18-01-2023	Suspenderede stoffer	5,6	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	02-02-2023	Suspenderede stoffer	8,4	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	21-02-2023	Suspenderede stoffer	7,8	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	07-03-2023	Suspenderede stoffer	10	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	20-03-2023	Suspenderede stoffer	13	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	11-04-2023	Suspenderede stoffer	7	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	03-05-2023	Suspenderede stoffer	5	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	06-06-2023	Suspenderede stoffer	64	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	03-07-2023	Suspenderede stoffer	2,2	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	08-08-2023	Suspenderede stoffer	8,5	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	08-09-2023	Suspenderede stoffer	3,6	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	19-09-2023	Suspenderede stoffer	5,5	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	05-10-2023	Suspenderede stoffer	27	mg/l
DAMHUSÅEN, LANDLYSTVEJ	18-10-2023	Suspenderede stoffer	9,8	mg/l

A5. Måledata vedr. Miljøfarlige stoffer i Harrestrup Å, Damhusåen Målestation

De kemiske stoffer der giver anledning til klassificeringen "ikke god tilstand" er markeret med fed.

Parameter	Matrice	Niveau	Værdi	Enhed	MKK
Naphthalen (CAS 91-20-3)	Sediment	Analysedata	0,052	mg/kg TS	0,138
Naphthalen (CAS 91-20-3)	Vand	Aggregerede data	0,06	µg/l	2
Naphthalen (CAS 91-20-3)	Vand	Aggregerede data	0	µg/l	130
Antracen (CAS 120-12-7)	Sediment	Analysedata	0,083	mg/kg TS	0,024
Simazin (CAS 122-34-9)	Vand	Aggregerede data	0	µg/l	4
Simazin (CAS 122-34-9)	Vand	Aggregerede data	0,03	µg/l	1
Octylphenoler (CAS 140-66-9)	Sediment	Analysedata	0,03	mg/kg TS	3,6156
Diuron (CAS 330-54-1)	Vand	Aggregerede data	0,03	µg/l	0,2
Diuron (CAS 330-54-1)	Vand	Aggregerede data	0,02	µg/l	1,8
Atrazin (CAS 1912-24-9)	Vand	Aggregerede data	0	µg/l	2
Atrazin (CAS 1912-24-9)	Vand	Aggregerede data	0,03	µg/l	0,6
Chlorpyrifos (CAS 2921-88-2)	Vand	Aggregerede data	0,01325	µg/l	0,03
Chlorpyrifos (CAS 2921-88-2)	Vand	Aggregerede data	0,03	µg/l	0,1
Bly (CAS 7439-92-1)	Vand	Aggregerede data	0,02	µg/l	1,2
Bly (CAS 7439-92-1)	Sediment	Analysedata	96	mg/kg TS	163
Bly (CAS 7439-92-1)	Vand	Aggregerede data	0,1	µg/l	14
Kviksølv (CAS 7439-97-6)	Biota - fisk	Aggregerede data	26	µg/kg VV	20
Nikkel (CAS 7440-02-0)	Vand	Aggregerede data	4,3	µg/l	4
Nikkel (CAS 7440-02-0)	Vand	Aggregerede data	12,2	µg/l	34
Cadmium (CAS 7440-43-9)	Vand	Aggregerede data	0,02	µg/l	0,9
Cadmium (CAS 7440-43-9)	Sediment	Analysedata	1,1	mg/kg TS	3,95
Cadmium (CAS 7440-43-9)	Vand	Aggregerede data	0,012	µg/l	0,15
Nonylphenoler (CAS 25154-52-3)	Vand	Aggregerede data	0,2875	µg/l	0,3
Nonylphenoler (CAS 25154-52-3)	Vand	Aggregerede data	0,9	µg/l	2
Isoproturon (CAS 34123-59-6)	Vand	Aggregerede data	0	µg/l	1
Isoproturon (CAS 34123-59-6)	Vand	Aggregerede data	0,03	µg/l	0,3

A6. Vurderingskriterier

De enkelte miljøpåvirkninger, som en realisering af planen forventes at medføre, vurderes systematisk på grundlag af følgende kriterier, der danner grundlaget for en samlet vurdering af den sandsynlige påvirkning på miljøet.

- Miljøemnets sårbarhed
- Intensitet af miljøpåvirkningen
- Geografisk udbredelse af miljøpåvirkningen
- Varighed af miljøpåvirkningen

A6.1 Miljøemnets sårbarhed

Der foretages indledningsvist en beskrivelse af sårbarheden af miljøemnet, f.eks. en vandforekomst, en artsgruppe eller en specifik dyreart, som udsættes for en miljøpåvirkning. I vurderingen af "sårbarhed" ses der på miljøemnets generelle sårbarhed over for en påvirkning af en given karakter, f.eks. forurening, støj og lignende. Sårbarheden vurderes ud fra følgende klasser:

Meget høj:	Et miljøemne, som er følsom over for en given påvirkning af en relativ lav intensitet, som ikke kan gendannes til dets oprindelige tilstand.
Høj:	Et miljøemne, som er følsom over for en given påvirkning af en relativ lav intensitet, men som er i stand til at gendannes til dets oprindelige tilstand.
Medium:	Et miljøemne, der tåler en given påvirkning i relativ høj intensitet uden, at den tager væsentlig skade og/eller kan gendannes eller naturligt vende tilbage til dets oprindelige tilstand over tid eller kan erstattes.
Lav:	Et miljøemne, der er resistent over for en given påvirkning af relativ høj intensitet eller som naturligt og hurtigt vil vende tilbage til dets oprindelige tilstand, når aktiviteterne ophører eller kan erstattes.

A6.2 Geografisk udbredelse af miljøpåvirkningen

Ved påvirkningens "geografiske udbredelse" forstås størrelsen af det geografiske område, som en miljøpåvirkning forventes at berøre. Påvirkningens geografiske udbredelse vurderes ud fra følgende kategorier:

Global:	Påvirkningen har en global effekt (f.eks. klimaeffekt).
National/ International:	Påvirkningens udbredelse omfatter et område svarende til en større del af Danmark (både hav og land) dækkende mere end en radius af 50 km eller et tilsvarende større område, der også rækker ud over Danmarks grænser.
Regional:	Påvirkningens udbredelse omfatter et område inden for en radius af 10-50 km fra planen eller dens aktiviteter.
Lokal:	Påvirkningens udbredelse omfatter et lokalt område inden for en radius af 2-10 km fra planen eller dens aktiviteter.
Nærområde:	Påvirkningens udbredelse er begrænset til et lille område inden for en radius af 0-1 km umiddelbart fra en specifik aktivitet.

A6.3 Intensitet af miljøpåvirkningen

Ved "intensitet" forstås den kraft, en miljøpåvirkning påvirker et miljøemne med, f.eks. et støjniveau i decibel eller et vist niveau af forurening. Intensiteten vurderes ud fra følgende kategorier:

Meget høj:	Påvirkningen er meget kraftig og kan f.eks. resultere i meget omfattende fysisk eller kemisk påvirkning af omgivelserne.
-------------------	--

Høj:	En kraftig påvirkning, der kan resultere i f.eks. betydelig fysisk eller kemisk påvirkning af omgivelserne.
Middel:	Påvirkningens kraft er moderat, f.eks. moderat fysisk eller kemisk påvirkning af omgivelserne.
Lav:	Påvirkningens kraft er lav, f.eks. resulterende i begrænset fysisk eller kemisk påvirkning af omgivelserne.
Ubetydelig:	Påvirkningens kraft er i praksis uden betydning for omgivelserne.

A6.4 Varighed af miljøpåvirkningen

Ved påvirkningens "varighed" forstås, hvor lang tid planens påvirkning af et miljøemne strækker sig over. Påvirkningens varighed vurderes ud fra følgende kategorier:

Permanent:	Påvirkningen er vedvarende.
Lang:	Påvirkningen vil forekomme i ét til flere år.
Mellemlang:	Påvirkningen vil forekomme i en til flere måneder.
Kort:	Påvirkningen vil kun forekomme i forbindelse med en afgrænset og kortvarig aktivitet i én til flere uger.
Meget kort:	Påvirkningen vil kun forekomme i forbindelse med en afgrænset og kortvarig aktivitet fra timer og dage og op til en uge.

A6.5 Samlet sandsynlig påvirkning på miljøet

Den samlede sandsynlige påvirkning af miljøpåvirkningen af et miljøemne vurderes ud fra sårbarheden og den samlede påvirknings karakter, der sammenholdes med miljøemnets forventede tilstand i referencescenariet, som er en fremskrivning af miljøstatus, når planen ikke gennemføres. Det er dermed den grad af skade eller forbedring, som skyldes planens specifikke miljøpåvirkninger, der vurderes.

En sandsynlig påvirkning kan være både positiv og negativ, og den vurderes ud fra følgende:

Meget væsentlig:	Planen vil medføre en permanent eller langvarig påvirkning og ødelægger eller forbedrer miljøemnets struktur og/eller funktion.
Væsentlig:	Miljøemnet påvirkes i væsentligt omfang i et stort område og/eller langvarigt eller vedvarende karakter, som kan medføre irreversible skader eller forbedre miljøemnet i betydeligt omfang.
Moderat:	Miljøemnet påvirkes i moderat omfang, og der forekommer påvirkninger, som typisk enten har et relativt stort omfang eller langvarig karakter, og som kan give visse irreversible, men lokale skader eller forbedre miljøemnet i moderat omfang.
Begrænset:	Miljøemnet påvirkes i begrænset omfang med en vis varighed ud over helt kortvarige effekter, men medfører med stor sandsynlighed ikke irreversible skader eller kun mindre forbedringer af miljøemnet.
Ingen/ ubetydelig:	Der forekommer mindre påvirkninger af miljøemnet, som er lokalt afgrænsede, ukomplicerede, kortvarige eller uden langtidseffekt og helt uden irreversible effekter. Eller der forekommer ingen påvirkning.

Ved vurderingen af den sandsynlige påvirkning er der ikke tale om en matematisk sum af de nævnte vurderingskriterier, men om en individuel, faglig vurdering for hvert enkelt miljøemne ud fra miljøpåvirkningens karakter og omfang. Den sandsynlige påvirkning vurderes for situationen både før

og efter gennemførelse af afværgetiltag, så det tydeligt fremgår, hvilken effekt afværgetiltagene har for påvirkningen af miljøet. Den endelige vurdering sker ud fra den påvirkning på miljøet, som en realisering af planen vil have efter implementering af de afværgetiltag, der skal gennemføres.

Miljøhensyn, der er indarbejdet som en del af planens udformning, anses ikke for afværgetiltag, og deres effekt indgår implicit i den vurdering, der sker af planens miljøpåvirkninger og samlede sandsynlige påvirkning på miljøet.

I det sammenfattende afsnit efter gennemgangen beskrives miljøpåvirkningerne i et opsamlingskema, der anfører vurderingerne af sårbarhed, geografisk udbredelse, intensitet, varighed og væsentlighed af den sandsynlige påvirkning på miljøet for hver af de identificerede miljøpåvirkninger ved realisering af planen.

Påvirkningen på miljøet vurderes ud fra en væsentlighedsbetragtning, som gradueres for at give et nuanceret overblik. Påvirkningerne angives desuden som både positive og negative.

B. BILAG VEDR. HYDRODYNAMISK MODELLERING

B1. Beskrivelse af modelopsætning og -domæne

Modelberegninger baseres på numeriske simuleringer med MIKE 3 Flow Model, et state-of-art modelleringssoftware, udviklet af DHI. MIKE 3 Flow Model er et tredimensionelt (3D) modulbaseret modelleringsværktøj udviklet til at simulere f.eks. hydrodynamiske forhold, vandtemperatur og salinitet, sedimenttransport og -spredning, spredning af partikler eller opløst stof, afhængig af hvilke moduler, der anvendes og/eller kobles sammen.

I indeværende modelleringsopgave anvendes det hydrodynamiske modul MIKE 3 HD til simulering af strømforhold, vandstandsvariationer samt ændring af salinitet. Det hydrodynamiske modul, MIKE 3 HD, er udviklet til anvendelse ved offshore og kystnære områder, hvor der hersker en fri overfladestrømning. Strømmen i modellen genereres af de påførte forceringsdata, herunder randbetingelser. I beregningerne tages der højde for effekten fra:

- Vindpåvirkning
- Vandstandsvariation
- Dybdeforhold
- Bundruheder
- Udtørring og/eller oversvømmelse af områder
- Densiteten af vandet, der simuleres som en funktion af saliniteten

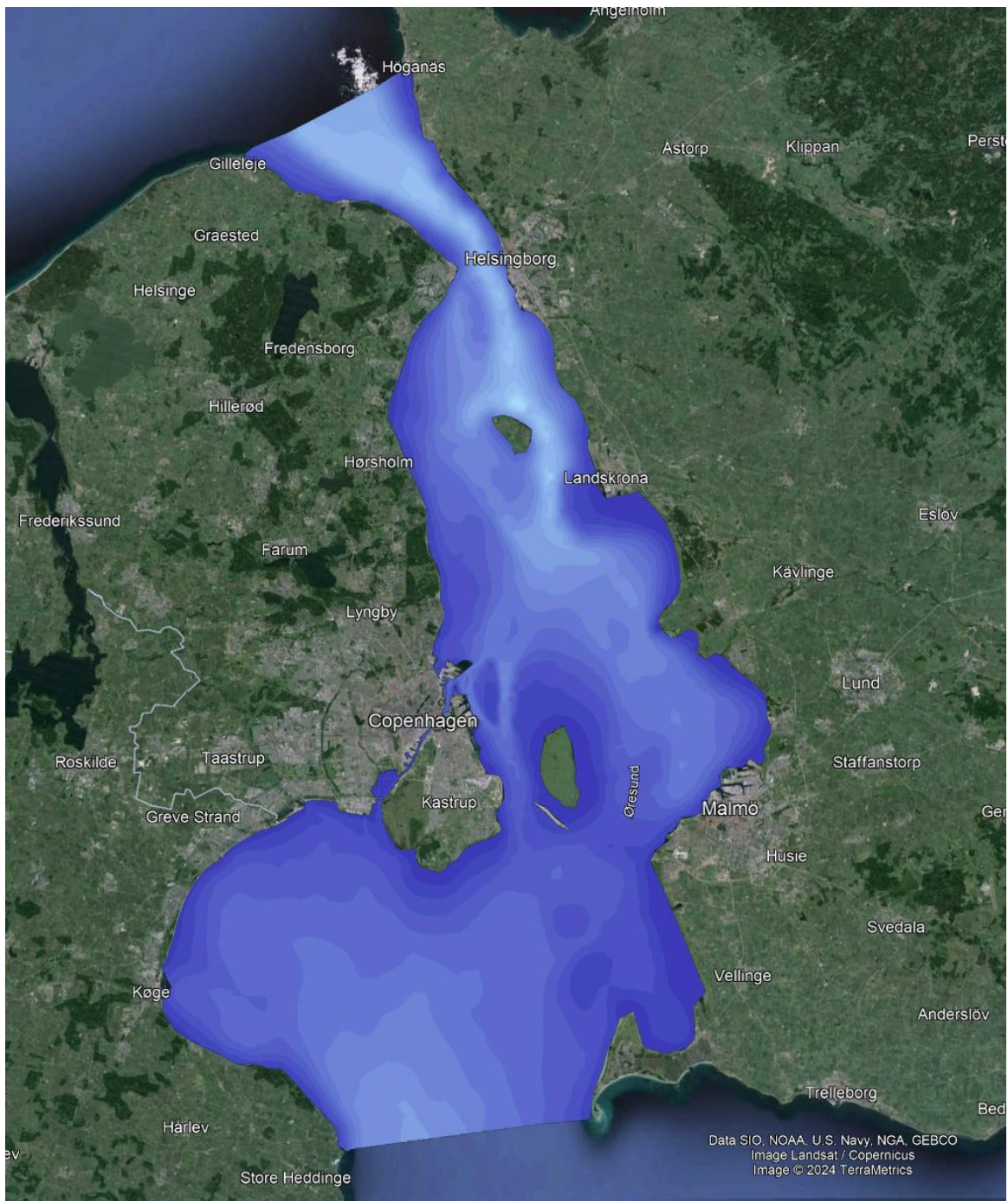
Input til modelopsætningen er angivet i tabel b1-1 og udvalgte input er nærmere beskrevet i indeværende afsnit.

Tabel B1-1: Overblik over anvendte parametre i modelopsætningen, hvor der ikke anvendes standardindstillinger.

Parameter	Value
Basic equation	Shallow water equations
Solution technique	Higher order, critical CFL number = 0,8
Density	Function of salinity
Eddy viscosity	Horizontally; Smagorinsky constant = 0,28 Vertically; two-equation turbulence model
Bed Resistance	Roughness height – constant = 0,05 m
Coriolis forcing	Varying in domain
Wind forcing	Varierende i tid, konstant i domænet, se mere i afsnit 4.2
Sources	Vandføring fra Harrestrup Å
Structures	Weir – Stigbordene. Culverts – udvalgte broer i Københavns Havn samt rørgennemføringer i løsningstype B3 andre konstruktioner er inkluderet i mesh-filen, herunder broer, dæmning og indsnævninger ifm. portløsninger.
Boundary conditions	Tidsvarierende vandstande på nord- og sydranden, se mere i afsnit 4.2. Konstant salinitet på nord- og sydranden.

B1.1. Modeldomæne og vanddybder

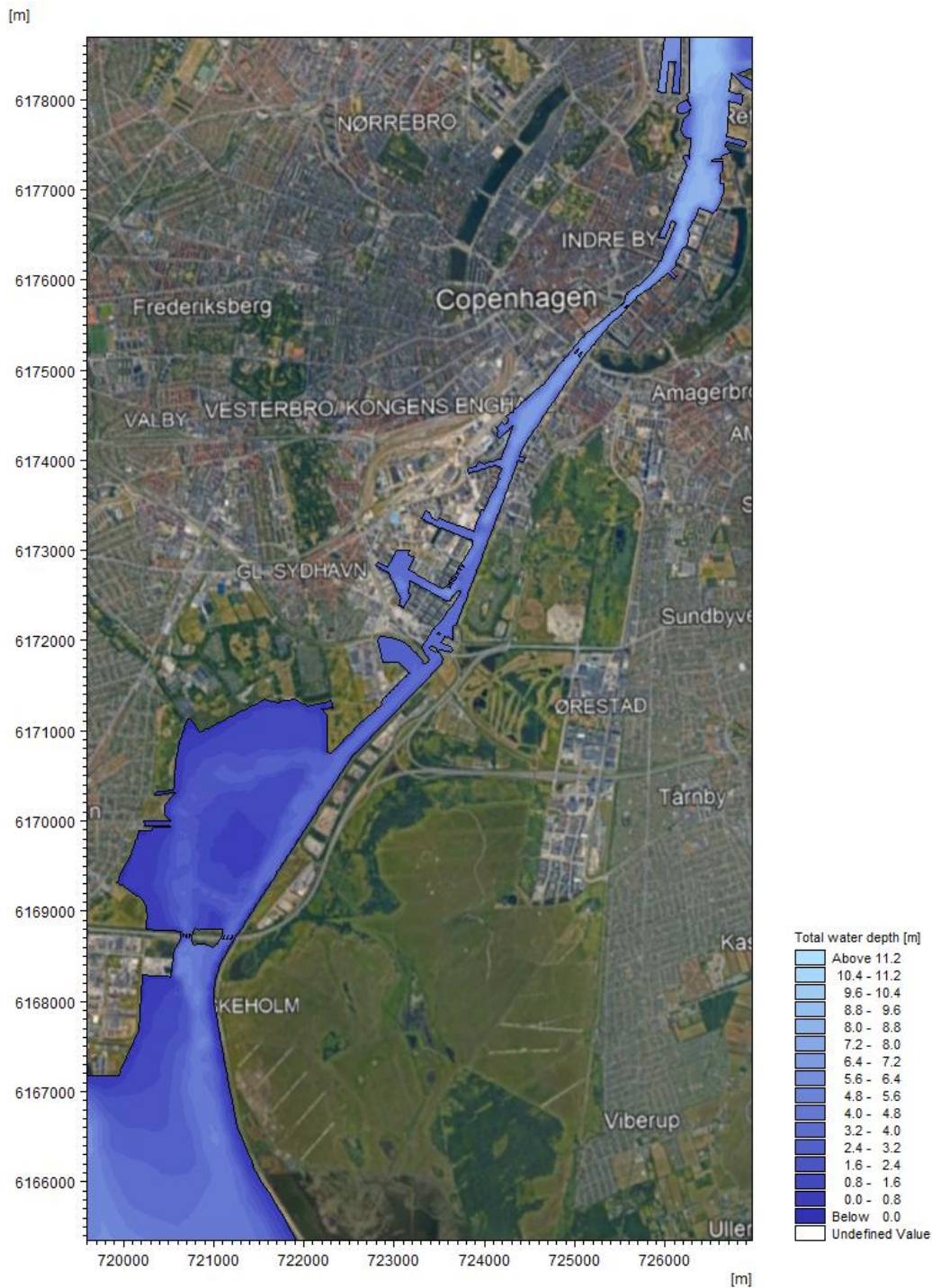
Anvendte modeldomæne i MIKE 3 HD-modellen er illustreret i figur b1-1. Som det fremgår af figuren, udstrækker modellen sig fra den sydlige modelrand syd for Køge Bugt til den nordligste del af Øresund.



Figur B1-1: Anvendte modeldomæne i MIKE 3 HD-modellen. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

Vanddybder i modellen er som udgangspunkt baseret på SDFEs farvandsopmålinger suppleret med oplysninger fra Søkort samt data fra European Marine Observation and Data Network (EMODnet, 2024). Herunder er datasættet suppleret med pejlinger modtaget fra By & Havn for området lokalt ved Lynetteholmen-Toldboden samt i den sydlige del af Havneløbet ned mod Kalveboderne. Et udsnit for vanddybder i modellen for Kalveboderne og havnegennemstrømningsløbet er vist i figur b1-2. I nærværende analyse foreligger der ikke lokale pejlinger for hele Kalveboderne, herunder i Sorterenden og Kalvebodløbet, og derfor er vanddybder i disse områder skønnet baseret på bl.a. søkort. Dette medfører en vis usikkerhed, hvilket er yderligere diskuteret i kapitel 6.

Som det fremgår af figur b1-2, er vanddybden i Kalveboderne forholdsvis begrænset med en vanddybde på ca. 0,5 – 1,5 m i de lavvandede områder og ca. 2,5 m – ca. 3,5 m i renderne.



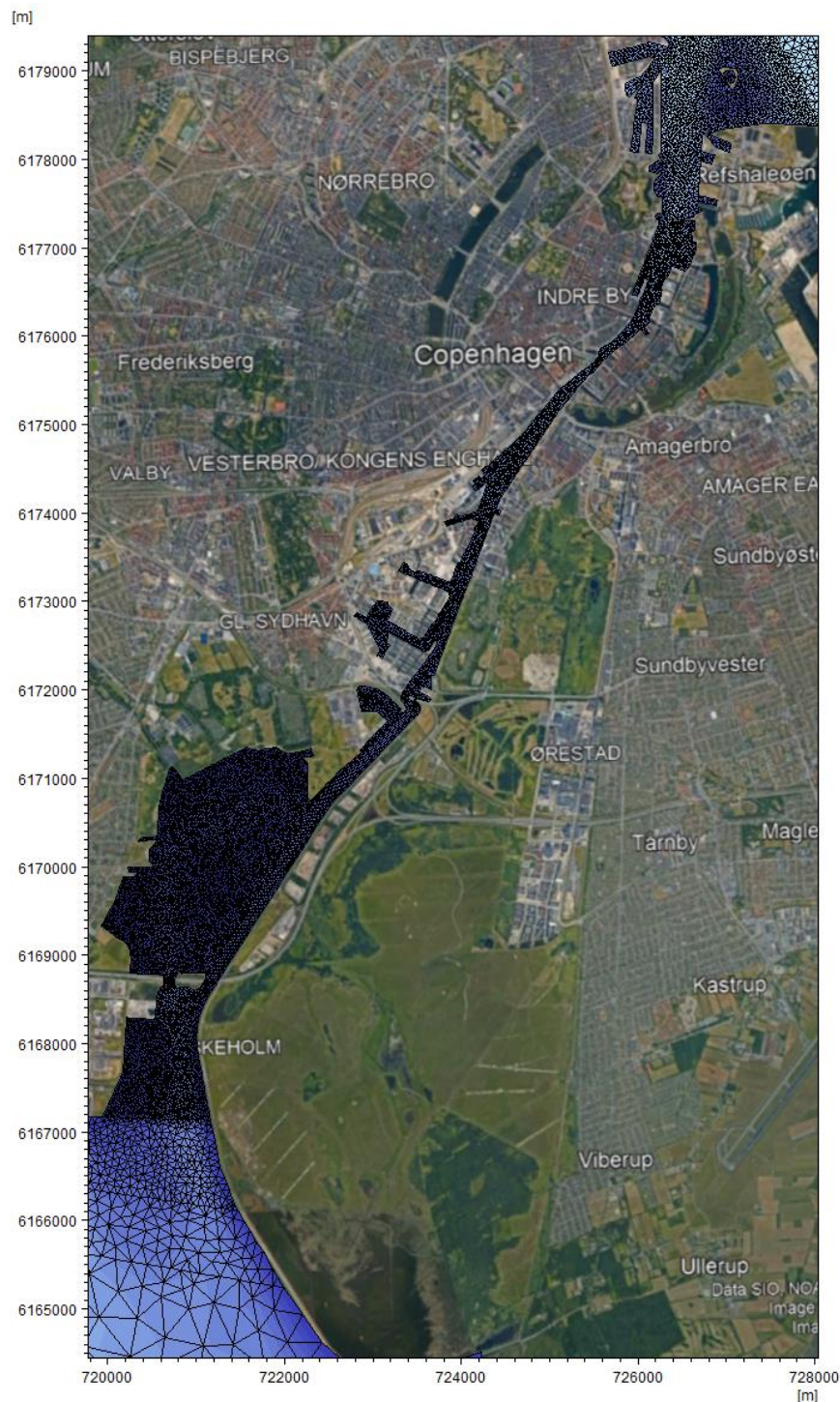
Figur B1-2: Anvendte vanddybder i modellen ved Kalveboderne samt i Havnsløbet. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

B1.2. Modeldiskretisering

Et udsnit af anvendte rumlige model-diskretisering i dele af Københavns Havn og Kalveboderne er vist i figur b1-3. Der anvendes i modellen varierende diskretisering afhængig af behovet for detailgrad. Generelt anvendes et finere beregningsnet lokalt ved Kalveboderne og i havnegennemstrømningsløbet, hvor højere detailgrad for strøm/salinitet er ønsket. Ift. at simulere potentiel lagdeling af strøm og salinitet er der inkluderet fem såkaldte sigmalag i modellen, hvilket betyder at lagtykkelsen tilpasses vanddybden i modellen under simulering.

I forbindelse med model-opsætningen er forskellige diskretiseringer (både horisontalt og vertikalt) af beregningsnettet undersøgt. Anvendte model-diskretisering i modellen er optimeret baseret på

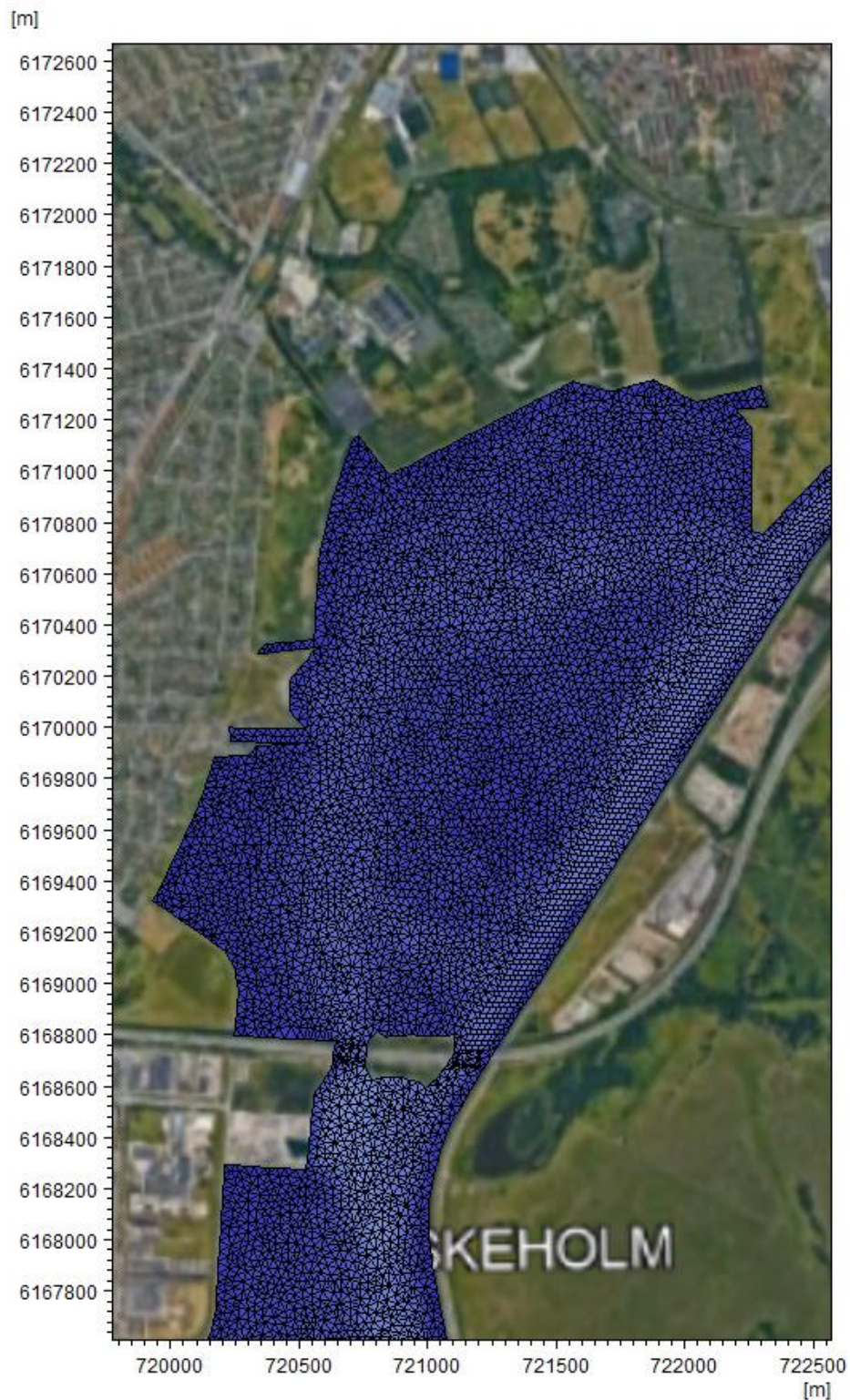
konvergensanalyse samt kalibrering og valideringsstudier. Kalibrering og validering af modellen er nærmere beskrevet i kapitel B2. I alt består modelområdet af ca. 31.000 modelementer i hvert vertikale lag – dvs. i alt ca. 5 x 31.000 modelementer i det samlede beregningsnet.



Figur B1-3: Illustration af udsnit af beregningsnettet i Kalveboderne samt Havneløbet. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

Et zoom af model-diskretiseringen lokalt ved Kalveboderne er vist i figur b1-4. Som det fremgår af figuren, er der i modellen anvendt firkantede modelementer i sejløb, med henblik på at optimere simulering af den primære strømvej igennem havneløbene. Det er desuden sikret, at der haves en relativt detaljeret diskretisering af åbningerne ved motorvejsbroerne i Sorterenden og Kalvebodløbet, samt Kalveboderne generelt. Der er flere broer op gennem Havneløbet i Københavns Havn, enkelte af disse er implementeret i mesh-filen, mens andre er implementeret ved anvendelse af såkaldte

structures i setup filen. For mere information se tabel B1-1 i afsnittet omkring modeldomæne og vanddybder.



Figur B1-4: Illustration af udsnit af beregningsnettet lokalt ved Kalveboderne. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

B1.3. Modelforcering

Den hydrauliske model forceres med følgende randbetingelser:

- **Vandstand:** Modellen forceres med målte vandstandsvariationer ved Hornbæk (tæt ved den nordlige modelrand) og Rødvig (tæt ved den sydlige modelrand). Målte vandstande ved Hornbæk og Rødvig viser generelt stor lighed med målte vandstande ved Vedbæk og Køge (som er nærmere beskrevet i afsnit 2.1). Vandstandsvariationerne inkluderes i modellen som varierende i tid baseret på de målte vandstandstidsserier.
- **Vind:** Modellen forceres med målte vinddata ved DMI-måler 6181, se nærmere beskrivelse af data i afsnit 2.2. Vindforholdene inkluderes i modellen som varierende i tid (både vindhastighed og vindretning) baseret på de målte vindtidsserier. Vinden påføres med samme hastighed-/retning i hele modelområdet.
- **Vandføring i Harrestrup Å:** Der inkluderes vandføring i modellen ved Harrestrup Å, baseret på vandføringsstatistikken i afsnit 2.1.4. Vandføringen inkluderes i modellen som konstant, hvortil der undersøges forskellige scenarier for hhv. gennemsnitlig- og høj vandføring (se afsnit 4.3. Ved model-kalibreringen anvendes tidsvarierende vandføring fra Harrestrup Å.
- **Salinitetsforhold:** Der anvendes i modellen en konstant salinitet på 12 PSU på både den sydlige- og nordlige modelrand, hvilket ca. svarer til den gennemsnitlige dybdemidlede salinitet, jf. afsnit 2.3. Initialbetingelsen for salinitet i havneløbet er også valgt til 12 PSU, hvorimod saliniteten er 0 PSU for ferskvandstilførslen fra Harrestrup Å.

Forskellige forcerende randbetingelser afdækkes i modellen i relation til at identificere om forskellige hydrodynamiske forhold har indflydelse på påvirkningen fra de tre løsningstyper for stormflodssikring. Scenarierne repræsenterer ikke statistiske ekstremforhold, men derimod typiske repræsentative forhold i normale vinter- og sommerperioder.

Modelscenarier opbygget omkring forcerende randbetingelser for strømforhold, vandføring i Harrestrup Å samt middel havniveau er opsummeret i det følgende. De forskellige scenarier kombineres med de planlagte løsningstyper for stormflodssikring, som tidligere beskrevet i kapitel 4, afhængig af analysebehov. Således gennemføres ikke nødvendigvis simuleringer for alle kombinationer af hydrodynamiske scenarier og løsningstyper for stormflodssikring, såfremt de relative udfald for enkelte kombinationer kan vurderes ugunstige allerede på forhånd.

Det er i modelopsætningerne generelt forudsat, at der ved Kalveboderne forekommer en god vertikal opblanding, grundet dybdeforholdene, den forholdsvis høje vandudskiftning, samt de smalle passager for vandudveksling til- og fra Kalveboderne. Der haves dog ikke lokale målinger til at understøtte denne forudsætning og der er derfor kørt følsomhedssimuleringer for at afdække om den vertikale opblanding har en afgørende betydning for vurderingerne af løsningstypernes egnethed.

Det bemærkes derud over at alle simuleringer køres med en modelopvarmningsperiode på ca. to døgn, dvs. simuleringerne startes to døgn før ovenfor nævnte perioder for at sikre modelstabilitet ift. vandstands- og strømforhold. Resultater vurderes alene for førnævnte analyseperioder, dvs. forholdene efter de hydrauliske forhold er indstillet. Vindhastigheder påføres modellen svarende til perioden for strømscenariet.

B2. Kalibrering og validering af model

I det følgende præsenteres kalibrering og validering af den hydrauliske model. Modellen kalibreres og valideres op mod tilgængelige målte vandstandsdata ved Stigbordene – stillet til rådighed fra (By & Havn, 2024), se evt. afsnit 2.1.3. Grundet usikkerheder ift. strømmålingerne ved Stigbordene gennemføres kalibrering udelukkende baseret på målte vandstande ved Stigbordene samt målt vandstandsdifferens hhv. nord-syd for Stigbordene. Som nævnt i afsnit 0 er strømforholdene i havnegennemstrømningsløbet primært styret af vandstandsdifferens nord-syd for København, og dermed er der en god overensstemmelse imellem målt- og modelleret vandstande også et udtryk for modellens evne til at simulere strømforholdene.

Kalibreringen og valideringen gennemføres baseret på forskellige perioder og er gennemført for nuværende forhold – dvs. ekskl. effekten fra Lynetteholmen (Baseline 0). I kalibrerings- og valideringsperioderne, som præsenteres i det følgende, påføres varierende målte tidsserier for vandføring i Harrestrup Å samt varierende målte tidsserier for vind og vandstande.

Formålet med kalibrering af modellen er at sikre, at modellen til en acceptabel grad er i stand til at gengive et spektrum af forskellige hydrodynamiske forhold i havnegennemstrømningsløbet samt ved Kalveboderne, som kan forekomme i løbet af et normalt vejr år. Der accepteres modelusikkerheder til en vis grad, da vurderingerne af indflydelse fra stormflodssikring baseres på relative betragtninger, ved sammenligning af modelresultater for baseline med modelresultater for den fremtidige situation inkl. stormflodssikring, hvormed modelusikkerheder til en vis grad udlignes. Hovedfokus i kalibreringen/valideringen er at sikre, at modellen er i stand til at genskabe overordnede tendenser og variationer i strøm- og vandstandsforhold.

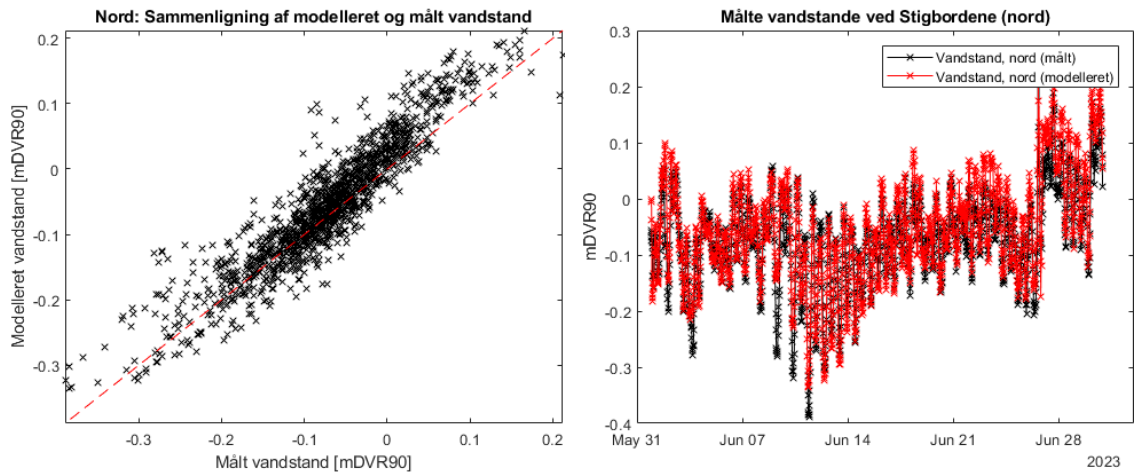
Der haves ikke lokale målinger ved Kalveboderne, og derfor er modellen ikke specifikt kalibreret i dette område. Det forventes dog, at en god repræsentation af strømforhold i havneløbet også bevirker til en relativt god repræsentation af strømforhold og vandudskiftning i Kalveboderne.

B2.1. Modelkalibrering

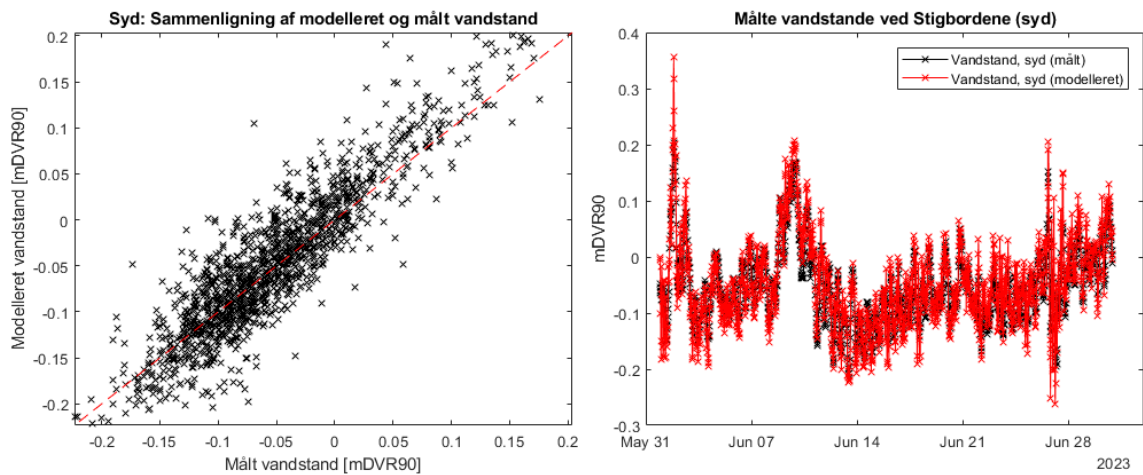
Modellen er indledningsvist kalibreret ift. Baseline 0 og i en sommermåned (juni 2023), hvor strømforholdene i havnegennemstrømningsløbet primært er tidevandsdomineret. Det bemærkes at Strømscenarie 3 er indeholdt i kalibreringsperioden.

Sammenligning af målt- og modelleret vandstand hhv. nord og syd for Stigbordene samt vandstandsdifferens er præsenteret i figur b2-1 - figur b2-3. Kalibreringen er primært gennemført ved at ændre på bundruheder (ikke signifikant betydning for forholdene ved Stigbordene) samt modstanden for vandgennemstrømning ved Stigbordene.

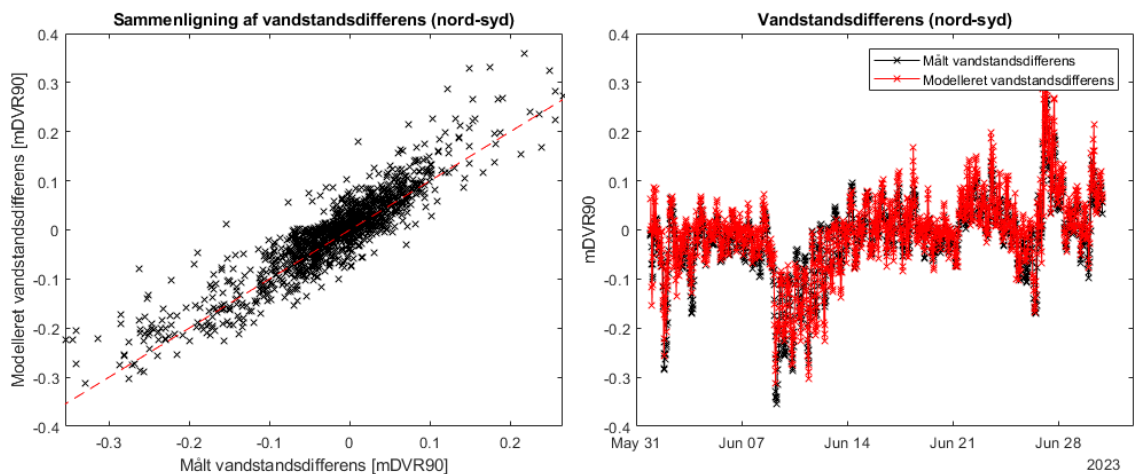
Som det fremgår af figurerne (figur b2-1 - figur b2-3) opnås en relativ god overensstemmelse imellem målte- og modellerede vandstande hhv. nord og syd for Stigbordene samt ved estimering af vandstandsdifferensen hen over Stigbordene. Det er derfor indledningsvist vurderet, at modellen er kalibreret i tilstrækkelig grad til at genskabe overordnede tendenser i vandstandsforhold ved Stigbordene, hvilket jf. afsnit 2.1.3 er styrende for strømforholdene i havnegennemstrømningsløbet – og derved også delvist et udtryk for den styrende hydrodynamik i Kalveboderne.



Figur B2-1: Kalibrering: Sammenligning af målte- og modellerede vandstande nord for Stigbordene i juni 2023.



Figur B2-2: Kalibrering: Sammenligning af målt- og modelleret vandstand syd for Stigbordene i juni 2023.



Figur B2-3: Kalibrering: Sammenligning af målt- og modelleret vandstandsdifferens (nord-syd) ved Stigbordene i juni 2023.

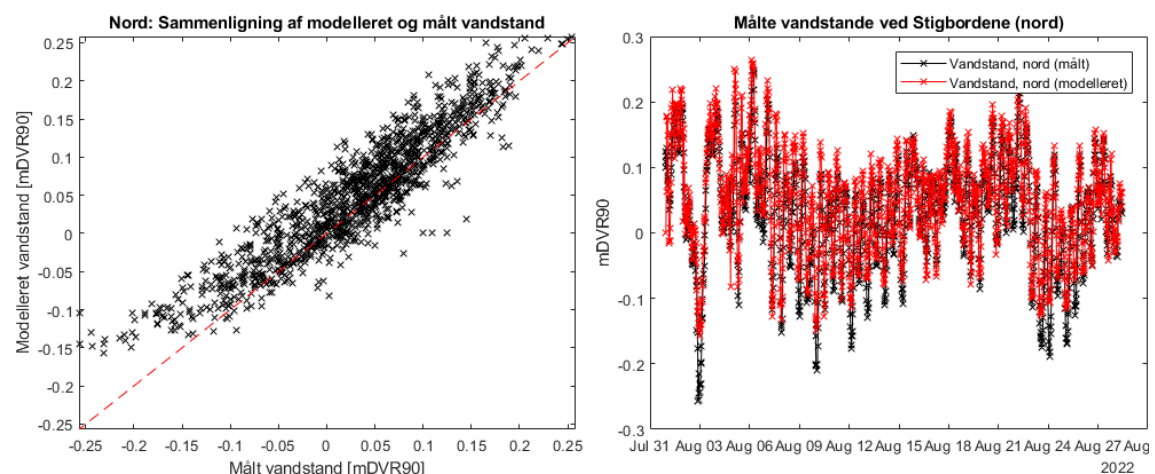
B2.2. Modelvalidering

Validering af modellen gennemføres for følgende perioder, med udgangspunkt i Baseline 0-modelopsætningen:

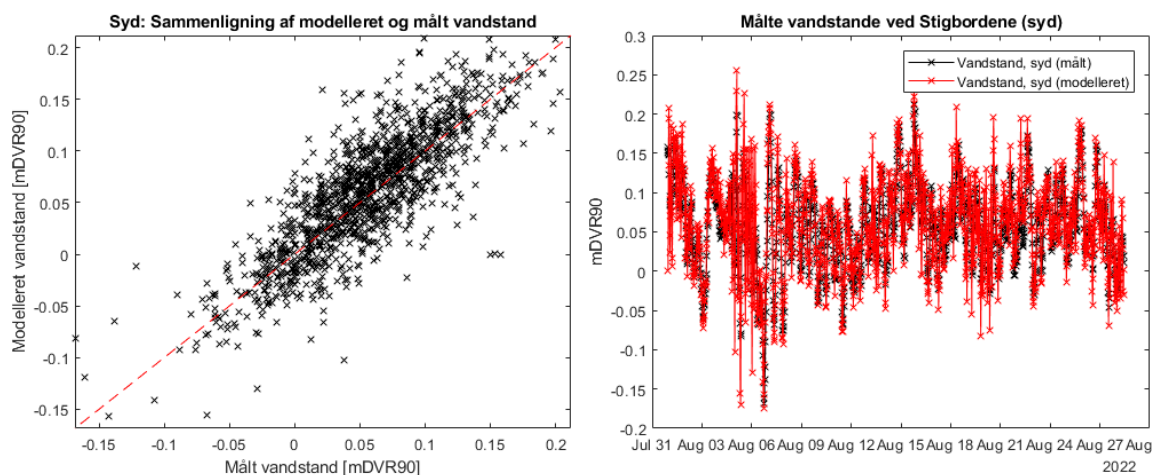
- August måned 2022 – primært domineret af tidevand
- December måned 2022 – primært domineret af nordgående strøm
- December måned 2023 – primært domineret af sydgående strøm

B2.2.1. Validering af model for tidevandsdomineret periode (august 2022)

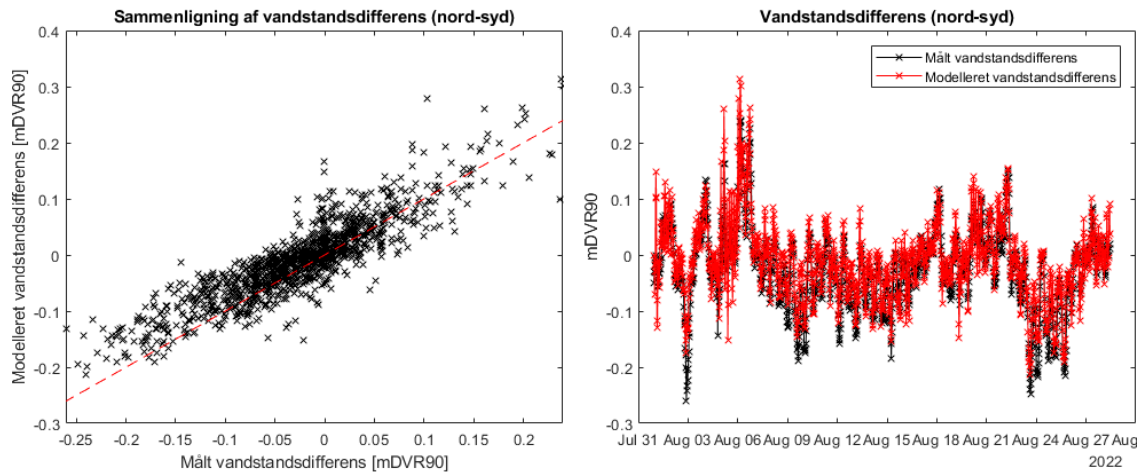
Sammenligning af målt- og modelleret vandstand (august 2022) hhv. nord og syd for Stigbordene samt vandstandsdifferens er præsenteret i figur b2-4 - figur b2-6. Der er ifm. valideringen af modellen ikke foretaget justering af modelparametre. Som det fremgår af figureerne, haves relativt god overensstemmelse imellem målte- og modellerede vandstande, samt vandstandsdifferens nord og syd for Stigbordene i den tidevandsdominerede periode.



Figur B2-4: Validering: Sammenligning af målt- og modelleret vandstand nord for Stigbordene i august 2022.



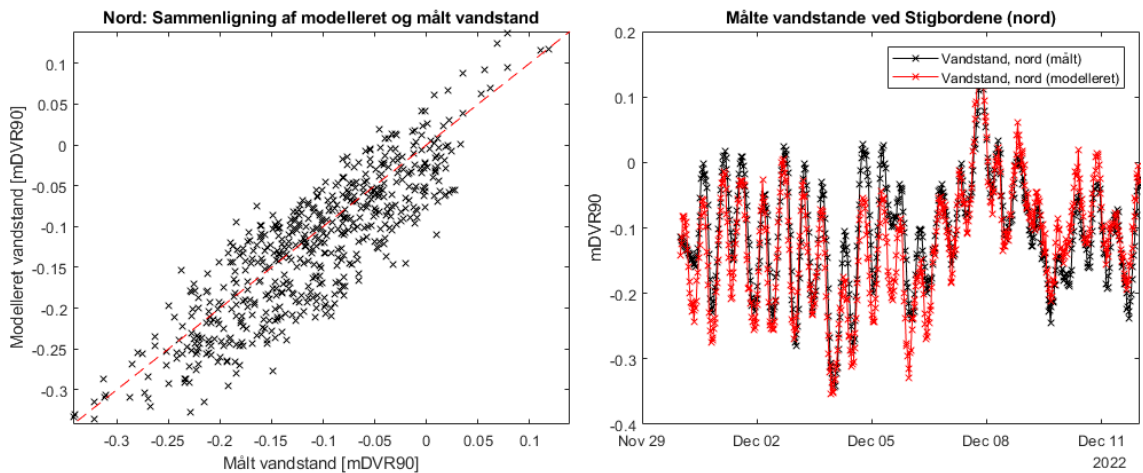
Figur B2-5: Validering: Sammenligning af målte- og modellerede vandstande syd for Stigbordene i august 2022.



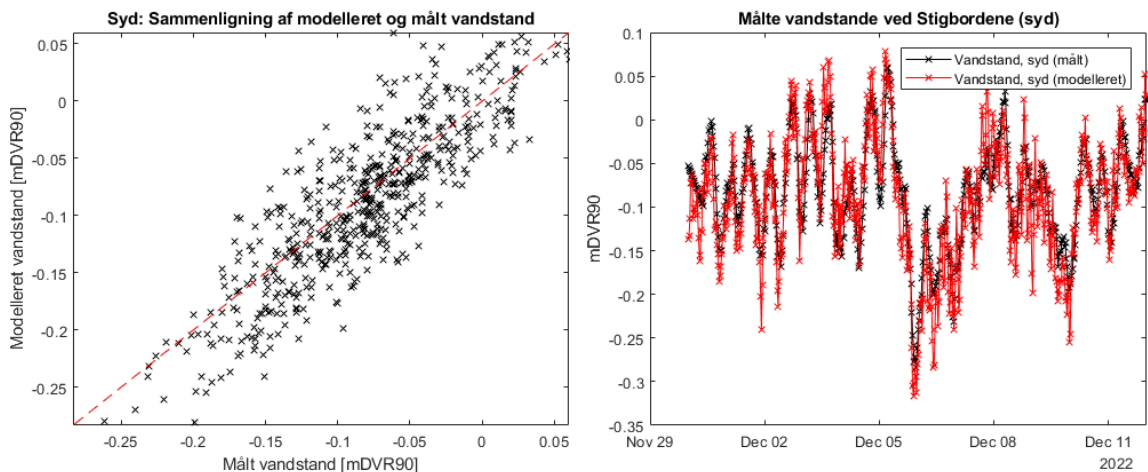
Figur B2-6: Validering: Sammenligning af målt- og modelleret vandstandsdiiferens (nord-syd) ved Stigbordene i august 2022.

B2.2.2. Validering af model for periode med netto-nordgående strøm (december 2022)

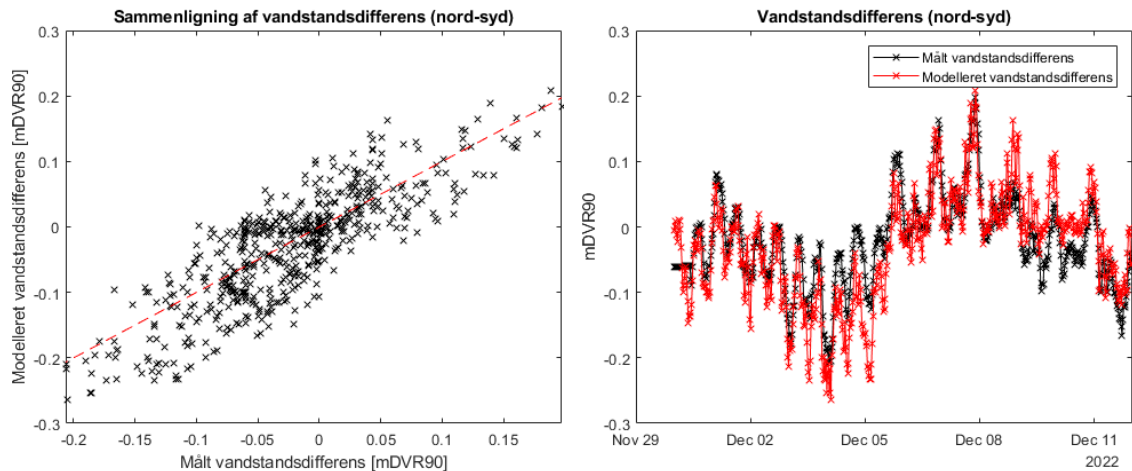
Sammenligning af målt- og modelleret vandstand (14 dage i december 2022) hhv. nord og syd for Stigbordene samt vandstandsdiiferens er præsenteret i figur b2-7 - figur b2-9. Som det fremgår af figurerne, haves relativt god overensstemmelse imellem målte- og modellerede vandstande samt vandstandsdiiferens nord og syd for Stigbordene i perioden med netto-nordgående strøm.



Figur B2-7: Validering: Sammenligning af målte- og modellerede vandstande nord for Stigbordene i december 2022.



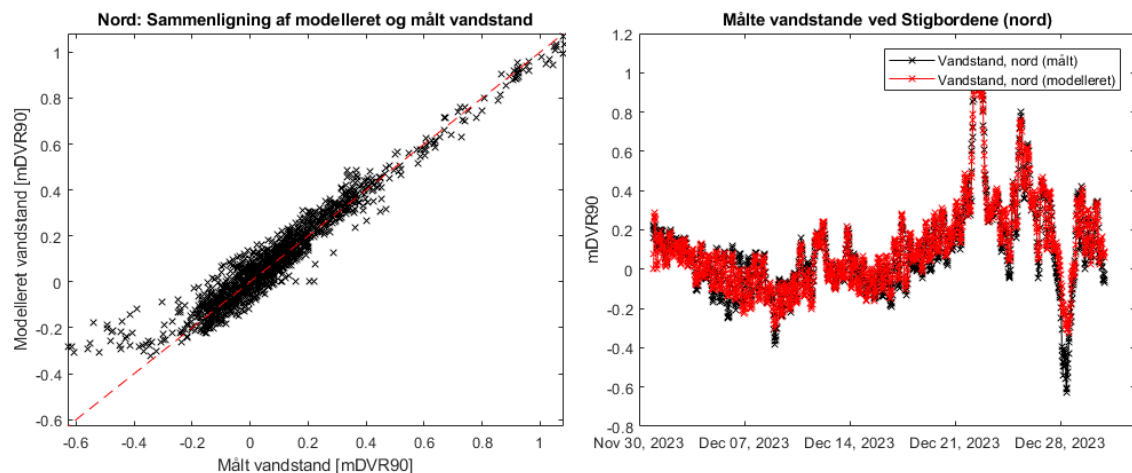
Figur B2-8: Validering: Sammenligning af målte- og modellerede vandstande syd for Stigbordene i december 2022.



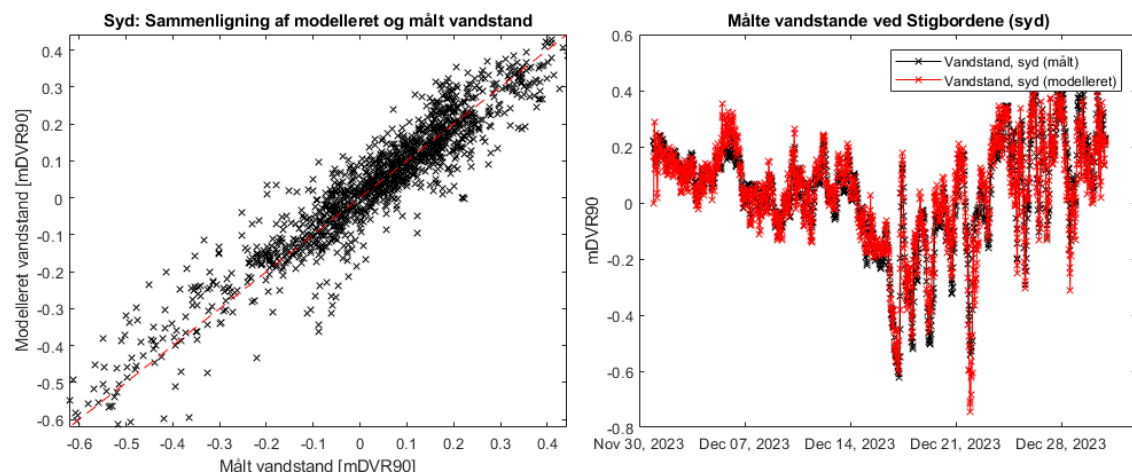
Figur B2-9: Validering: Sammenligning af målt- og modelleret vandstandsdifferens (nord-syd) ved Stigbordene i november 2022.

B2.2.3. Validering af model for periode med netto- sydgående strøm (december 2023)

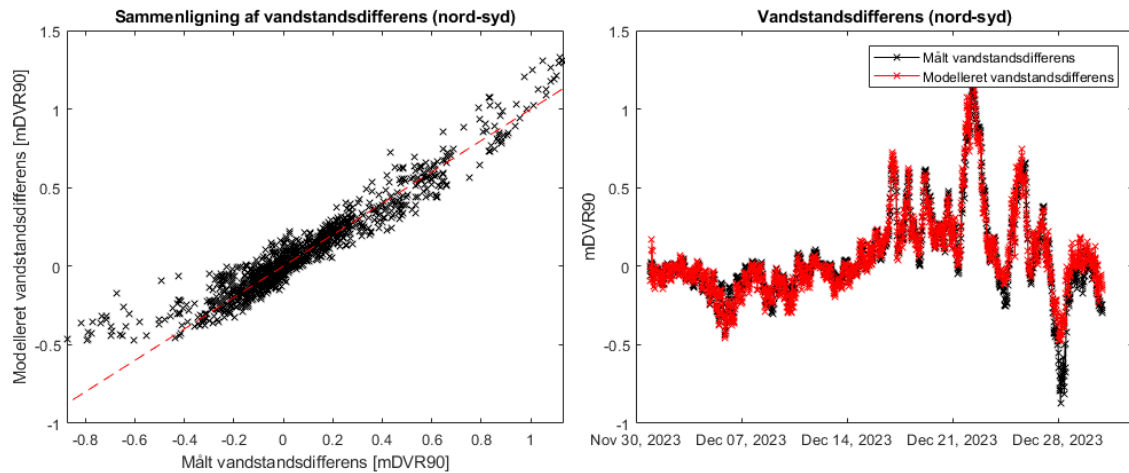
Sammenligning af målt- og modelleret vandstand (december 2023) hhv. nord og syd for Stigbordene, samt vandstandsdifferens er præsenteret i figur b2-10 – figur b2.2.3-3. Som det fremgår af figurerne, haves relativt god overensstemmelse imellem målte- og modellerede vandstande, samt vandstandsdifferens nord-syd for Stigbordene i perioden med netto-nordgående strøm.



Figur B2-10: Validering: Sammenligning af målte- og modellerede vandstande nord for Stigbordene i december 2023.



Figur B2.2.3-2: Validering: Sammenligning af målte- og modellerede vandstande syd for Stigbordene i december 2023.



Figur B2.2.3-3: Validering: Sammenligning af målt- og modelleret vandstandsdiiferens (nord-syd) ved Stigbordene i december 2023.

Generelt kan det konkluderes at der, baseret på kalibrering og valideringsstudier af modellen, haves god overensstemmelse imellem målte- og modellerede vandstande ved Stigbordene, hvormed det forventes at der også haves en relativ god beskrivelse af de overordnede strømforhold og vandudskiftning ved Kalveboderne. Der er naturligt visse modelusikkerheder, hvilket dog delvist vil udlignes ved at lave relative modelbetragtninger med og uden stormflodssikring i modellen.

B3. Resultater for udvalgte følsomhedssimuleringer

Der er gennemført supplerende følsomhedssimuleringer for udvalgte varianter af model forudsætninger med henblik på at vurdere robustheden af resultaterne og dermed konklusionerne baseret herpå. Følsomhedssimuleringerne inkluderer analyser relaterede til klima, anlæg og modelopsætning:

- Variation af Vandførings-scenarie 2: Vurdering af påvirkning fra øget udledning fra Harrestrup Å.
- Variation af Middelvandsstandsscenario 2: Vurdering af påvirkning fra øget middel havniveauet.
- Stormflodssikring ved Kronløbet: Vurdering af påvirkning fra en højvandsport inkl. spuncelledæmninger, der indsnævrer gennemstrømningsarealet mellem Nordhavn og Lynetteholm jf. afsnit 4.2.2.
- Reduceret vertikal opblanding: Indflydelse fra vertikal dispersion i modellen

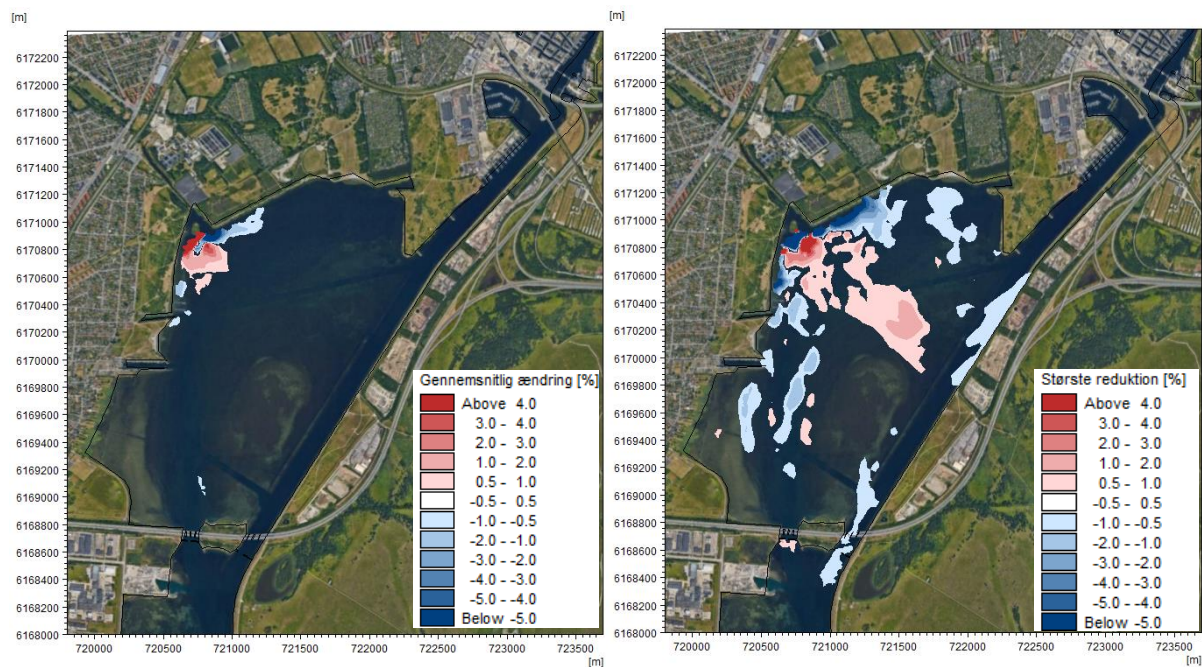
Følsomhedssimuleringerne er kun gennemført for udvalgte løsningstyper med henblik på vurdering af påvirkningen af salinitetsniveauet.

B3.1. Følsomheder overfor modelforudsætning for vandføring i Harrestrup Å

Modelberegningerne præsenteret tidligere for de forskellige løsningstyper er baseret på Vandførings-scenarie 1, dvs. konstant vandføring fra Harrestrup Å svarende til den gennemsnitlige vandføring i sommerhalvåret (250 l/s) jf. afsnit 2.1.4. I perioder kan vandføringen være både højere og lavere, hvorfor der er gennemført supplerende følsomhedssimuleringer med øget vandføring fra Harrestrup Å svarende til 500 l/s i modelleringsperioden. Modelberegningerne er gennemført for udvalgte løsningstyper og strømscenarier og i det følgende er resultater vist for Strømscenarie 3 og Løsningstype B1 Variant A.

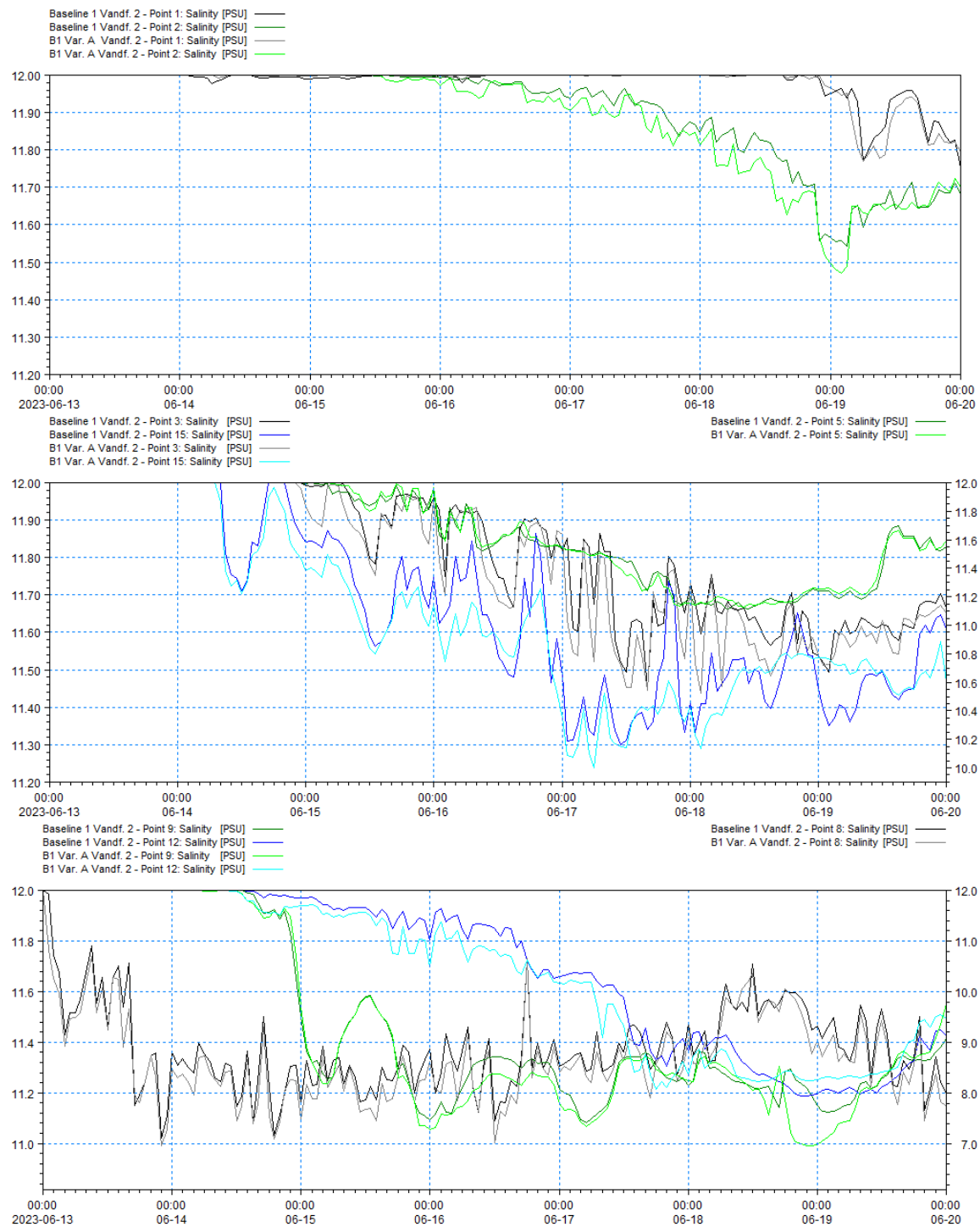
Figur B3.1-1 viser ændringen af det gennemsnitlige salinitetsniveau og reduktion af det laveste modellerede salinitetsniveau ift. Baseline 1, hvor både Baseline 1 og Løsningstype B1 Variant A er gennemført for Vandførings-scenarie 2. Ved sammenligning med resultater for Vandførings-scenarie 1

(figur 5-7) fremgår det, at der kun er marginale ændringer af påvirkningen af de statistiske salinitetsniveauer, som følge af øget vandføring fra Harrestrup Å.



Figur B3.1-1: Procentvis ændring i modellerede salinitetsniveauer for Løsningstype B1 Variant A sammenlignet med Baseline 1. Figuren viser ændringer i gennemsnitlige (venstre) og laveste salinitetsniveau (højre). Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenario 2 og Middelvandstandsscenario 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

Tidsserieplot for udvalgte punkter er vist i figur b3.1-2, hvoraf det fremgår at tendensen er den samme som for Vandføringsscenario 1 (jf. figur 5-15). Etableringen af en stormflodssikring som Løsningstype B1 Variant A vil bevirke til en mindre reduktion af salinitetsniveauet ift. Baseline 1, men det er generelt en parallelforskydning, hvormed de dynamiske variationer bibeholdes. Øget udledning fra Harrestrup Å vil dog generelt sænke salinitetsniveauet lidt i Kalveboderne idet ferskvandstilførslen øges.



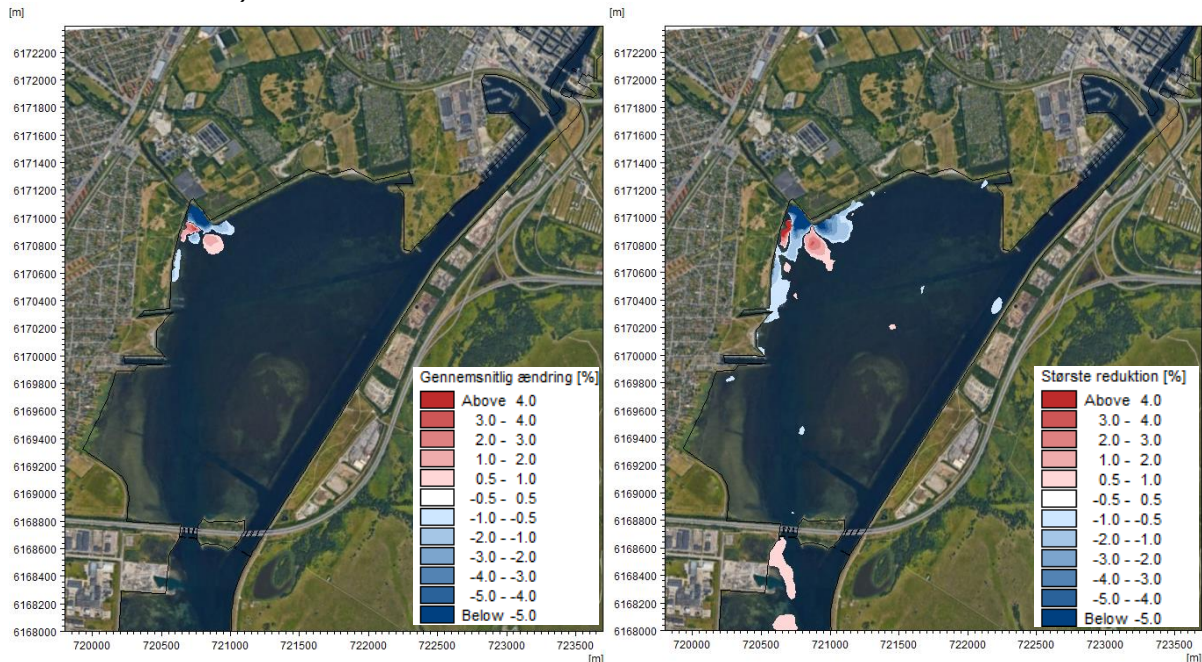
Figur B3.1-2: Tidsserie af modelleret salinitetsniveau for modellerne Baseline 1, Løsningstype B1 Var A. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 1, Vandføringsscenario 2 og Middelvandstandsscenario 1. Resultater er vist for hhv. Kalvebodløbet, position 1 og 2 (øverste graf), Sorterenden, position 3 og 15 og centrale del af Kalveboderne, position 5 (midterste graf) og vestlige del af Kalveboderne, position 12, 8 og 9 (nederste graf).

Ændrede vandføringsforhold fra Harrestrup Å vurderes jf. ovenstående ikke at påvirke konklusionerne ift. påvirkningsniveauet fra de enkelte stormflodsløsningskoncepter, når der anvendes samme udlædningsforhold for de sammenlignede modeller, eksempelvis Baseline 1 og Løsningstype B1 Variant A. Sker der ændringer i vandføringen for Harrestrup Å i fremtiden kan det påvirke forholdene i Kalveboderne (men dette vil være en form for Baseline påvirkning), og ændringen vurderes ikke at være signifikant afhængig af den valgte stormflodssikring.

B3.2. Følsomheder overfor modelforudsætninger for ændrede middel havniveau

Effekten af klimaændringerne forventes jf. afsnit 2.4 at medføre en stigning i middel havniveauet. Ift. at vurdere indflydelsen herfra på påvirkning fra de forskellige løsninger for stormflodssikring er der gennemført modelberegninger som inkluderer en forøgelse af middel havniveauet til 0,6 m, svarende til den forventede stigning i 2075. Dette gøres alene for Løsningstype B1 og B3, da Løsningstype B2 ikke vurderes relevant.

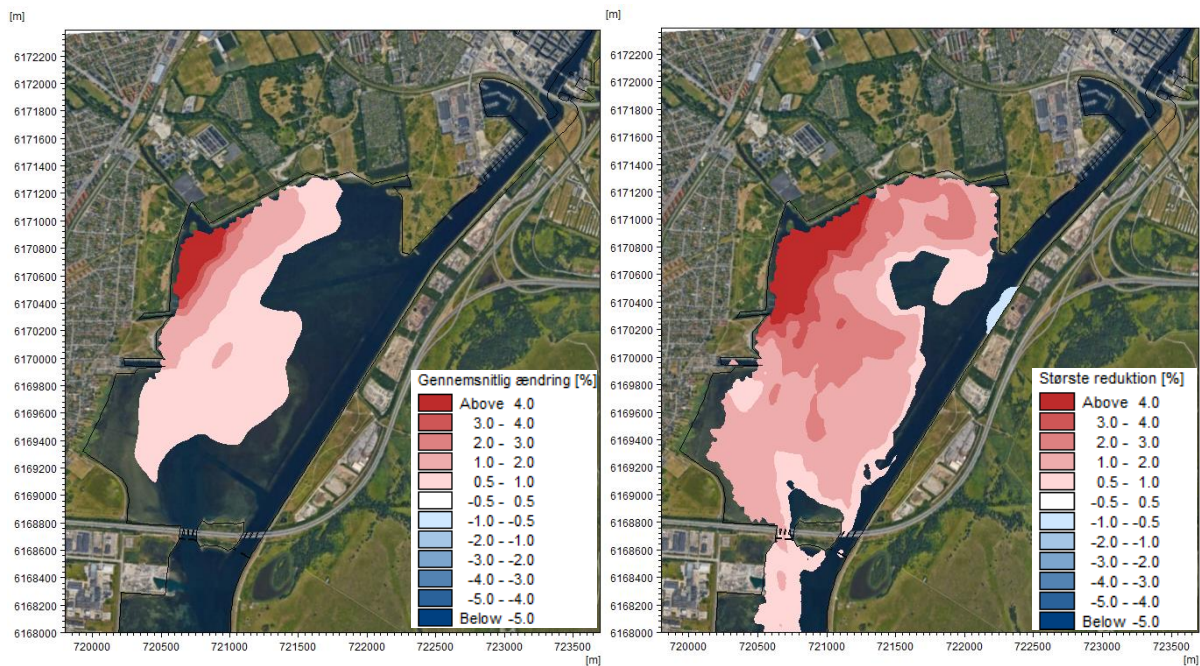
Figur B3.2-1 viser ændringen af de statistiske salinitetsniveauer for Løsningstype B1 Variant A ift. Baseline 1 for Middelvandstandsscenario 2, hvoraf det fremgår, at der ikke sker en signifikant ændring af de statistiske salinitetsforhold, og at ændringerne ikke er større eller signifikant anderledes sammenlignet med dem vist i figur 5-12 for Middelvandstandsscenario 1 (svarende til nuværende forhold).



Figur B3.2-1: Procentvis ændring i modelleret salinitetsniveau for Løsningstype B1 Variant A sammenlignet med Baseline 1. Figuren viser ændring i gennemsnitlige- (venstre) og laveste salinitetsniveau (højre). Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 2. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

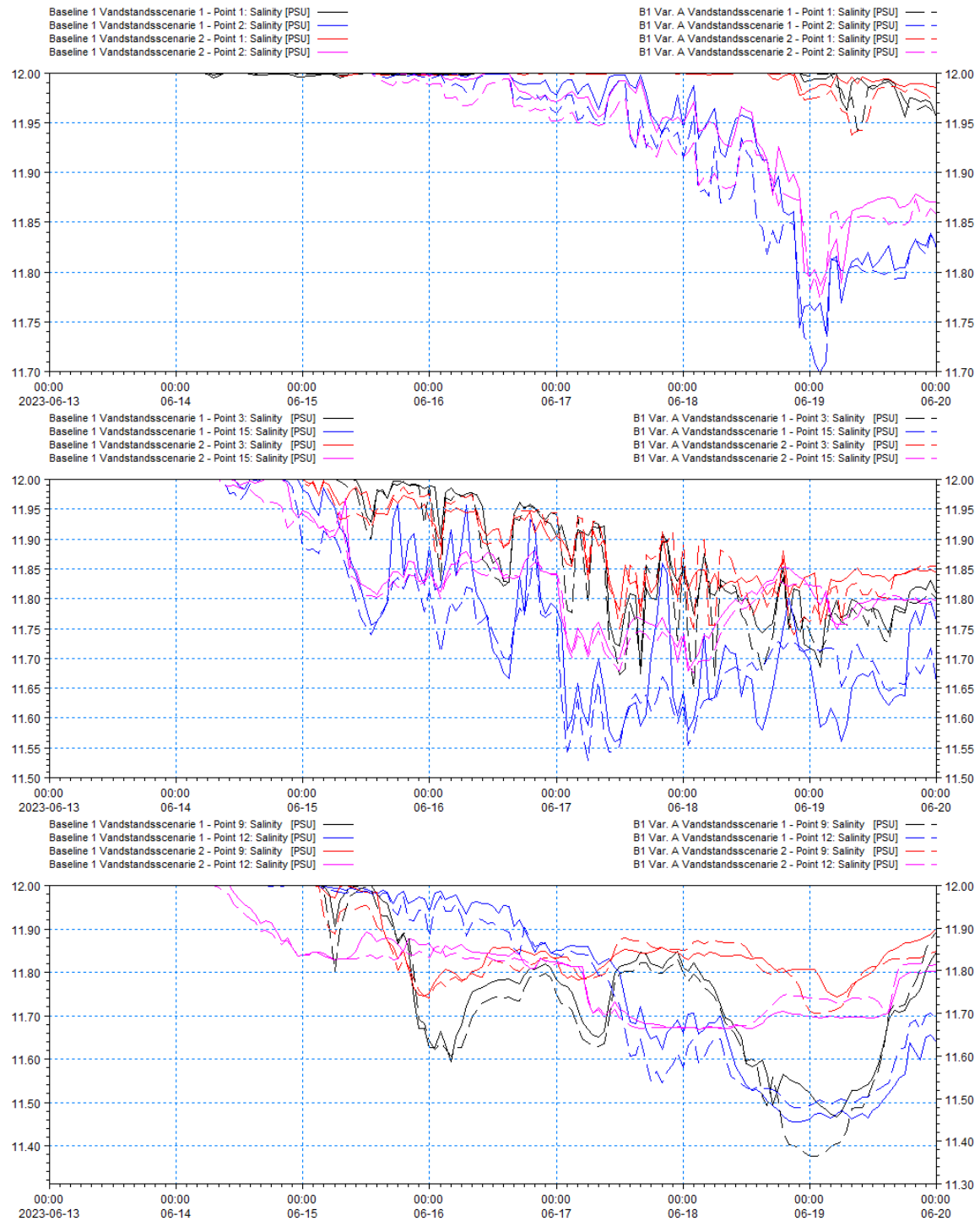
Figur B3.2-2 viser ændringen i de statistiske salinitetsniveauer for Løsningstype B1 Variant A (Middelvandsstandsscenario 2) sammenlignet med Baseline 1 (Middelvandstandsscenario 1). Denne sammenligning er for at vise ændringen i salinitetsniveau i fremtiden inkl. en etableret stormflodssikring ift. forholdene i dag.

Sammenligning af resultater viser, at en stigning af middel havniveauet vil medføre at salinitetsniveauet generelt stiger sammenlignet med nuværende forhold – Baseline 1 – også selv om der sker en begrænsning af vandudskiftningen gennem Kalvebodløbet og Sorterenden.

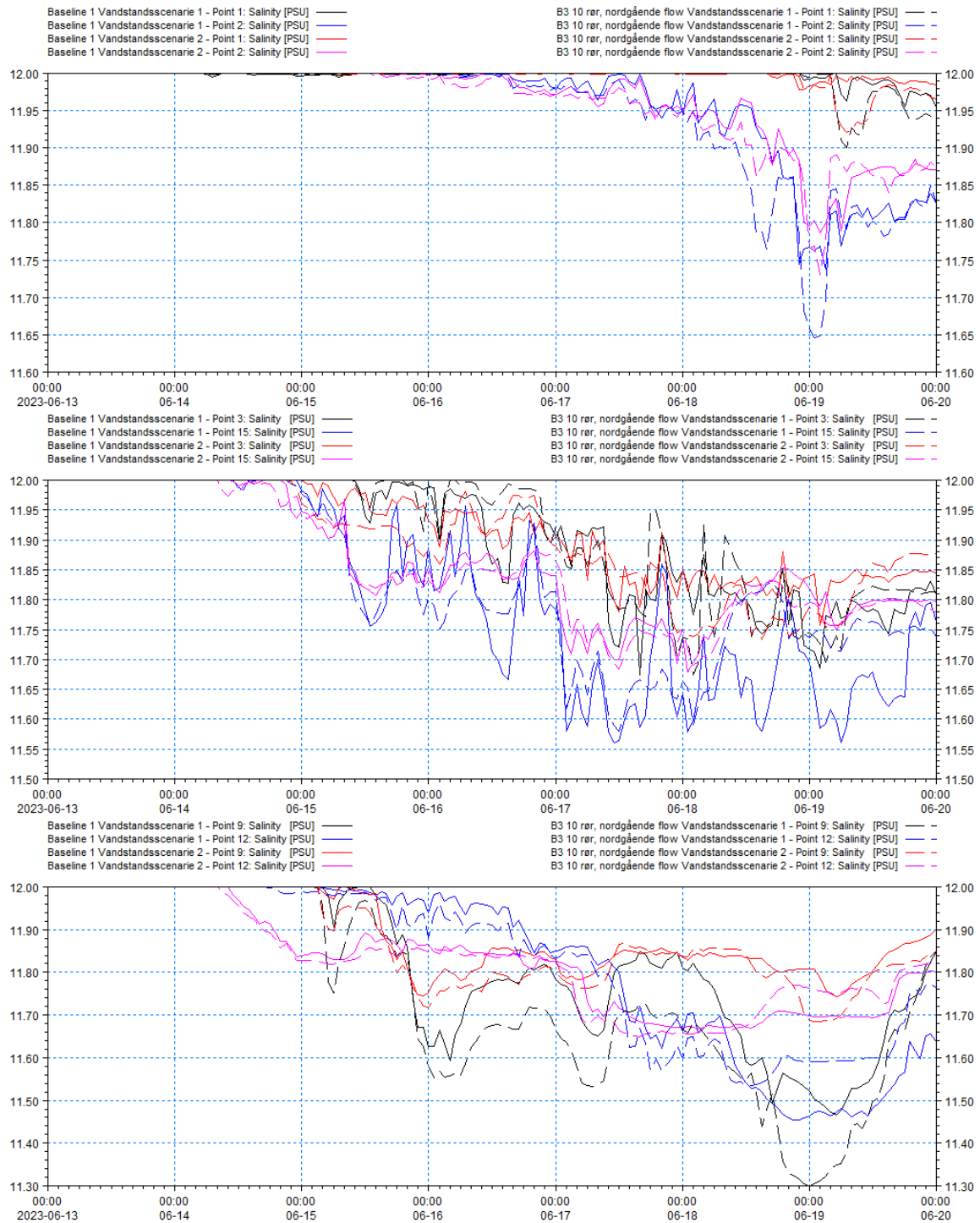


Figur B3.2-2: Procentvis ændring i modelleret salinitetsniveau for Løsningstype B1 Variant A sammenlignet med Baseline 1. Figuren viser ændringer i gennemsnitlige- (venstre) og laveste salinitetsniveau (højre). Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenario 1 og middelvandstandsscenario 1 for Baseline og middelvandstandsscenario 2 for Løsningstype B1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

Figur B3.2-3 viser tidsserier for Baseline 1 og Løsningstype B1 Variant A for Middelvandstandsscenario 1 og 2. Heraf fremgår det, at den overordnede påvirkning af Løsningstype B1 Variant A ikke er følsom overfor middelvandstands niveauet. Tilsvarende tidsserieplot for Løsningstype B3 med 10 rør i dæmningskonstruktionen, der udelukkende tillader nordgående vandføring, er vist i figur b3.2-4 og tilsvarende tendenser opnås for den løsningstype. Generelt betyder ændringen i middel havniveauet at ferskvandstilførslen fra Harrestrup Å udgør en mindre andel af vandet i Kalveboderne.



Figur B3.2-3: Tidsserie af modelleret salinitetsniveau for modellerne Baseline 1 og Løsningstype B1 Var A, for Strømscenarie 3, Vandføringsscenarie 1 og middelvandstandsscenarie 1 og 2. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 1, Vandføringsscenarie 1 og Middelvandstandsscenarie 1 eller 2. Resultater er vist for hhv. Kalvebodløbet, position 1 og 2 (øverste tidsserie), Sorterenden, position 3 og 15, position 5 (midterste tidsserie) og vestlige del af Kalveboderne, position 12 og 9 (nederste tidsserie).

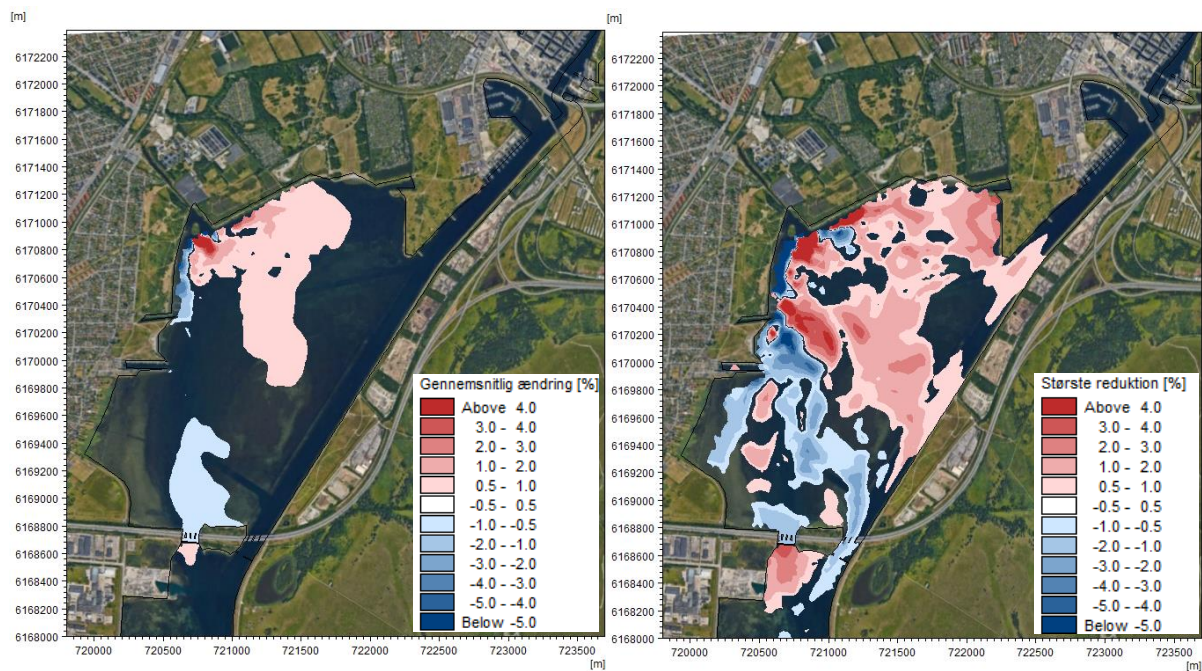


Figur B3.2-4: Tidsserie af modelleret salinitetsniveau for modellerne Baseline 1 og Løsningstype B3 10 rør nordgående flow. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 1, Vandføringsscenarie 1 og Middelvandstandsscenarie 1 eller 2. Resultater er vist for hhv. Kalvebodløbet, position 1 og 2 (øverste tidsserie), Sorterenden, position 3 og 15, position 5 (midterste tidsserie) og vestlige del af Kalveboderne, position 12 og 9 (nederste tidsserie).

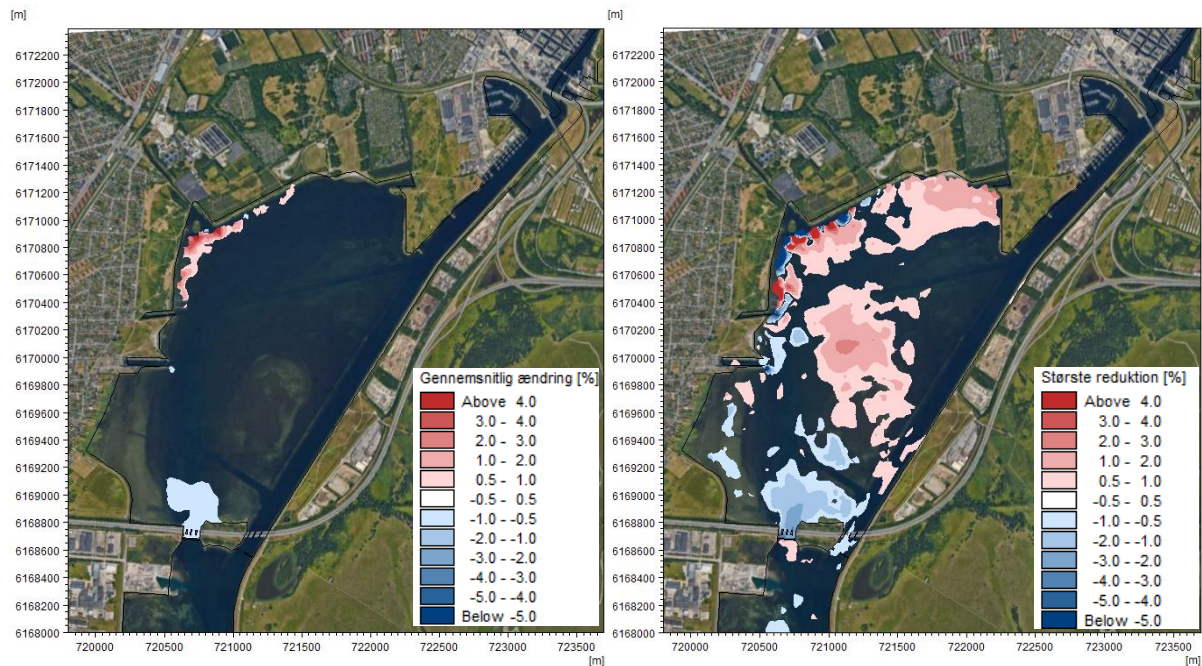
B3.3. Følsomheder overfor modelforudsætning for vertikal opblanding i modellen

Det er i modellen generelt forudsat, at der ved Kalveboderne forekommer en god vertikal opblanding jf. afsnit 4.2. Idet der ikke haves lokale målinger til at understøtte denne forudsætning eller ift. at vurdere om påvirkningerne er følsomme overfor den forudsætning er der i det følgende gennemført følsomhedssimuleringer, hvortil der er antaget en reduceret opblanding. Reduceret vertikal opblanding i modellen medfører øget lagdeling ved Kalveboderne som følge af tilstrømningen af ferskt vand fra Harrestrup Å med ændret densitet.

Ændringen i salinitetsforhold for hhv. den øvre del af vandsøjlen og midt i vandsøjlen vist i figur b3.3-1 og figur b3.3-2 for Løsningstype B2 relativt ift. Baseline 1. Heraf fremgår det, at den største påvirkning er i de øvre lag, men at tendensen er den samme i øvre- og midterlag, dvs. øget salinitet i den nordlige del af Kalveboderne og reduceret salinitet ved Sorterenden, hvor vandudvekslingen med Køge Bugt er hindret.



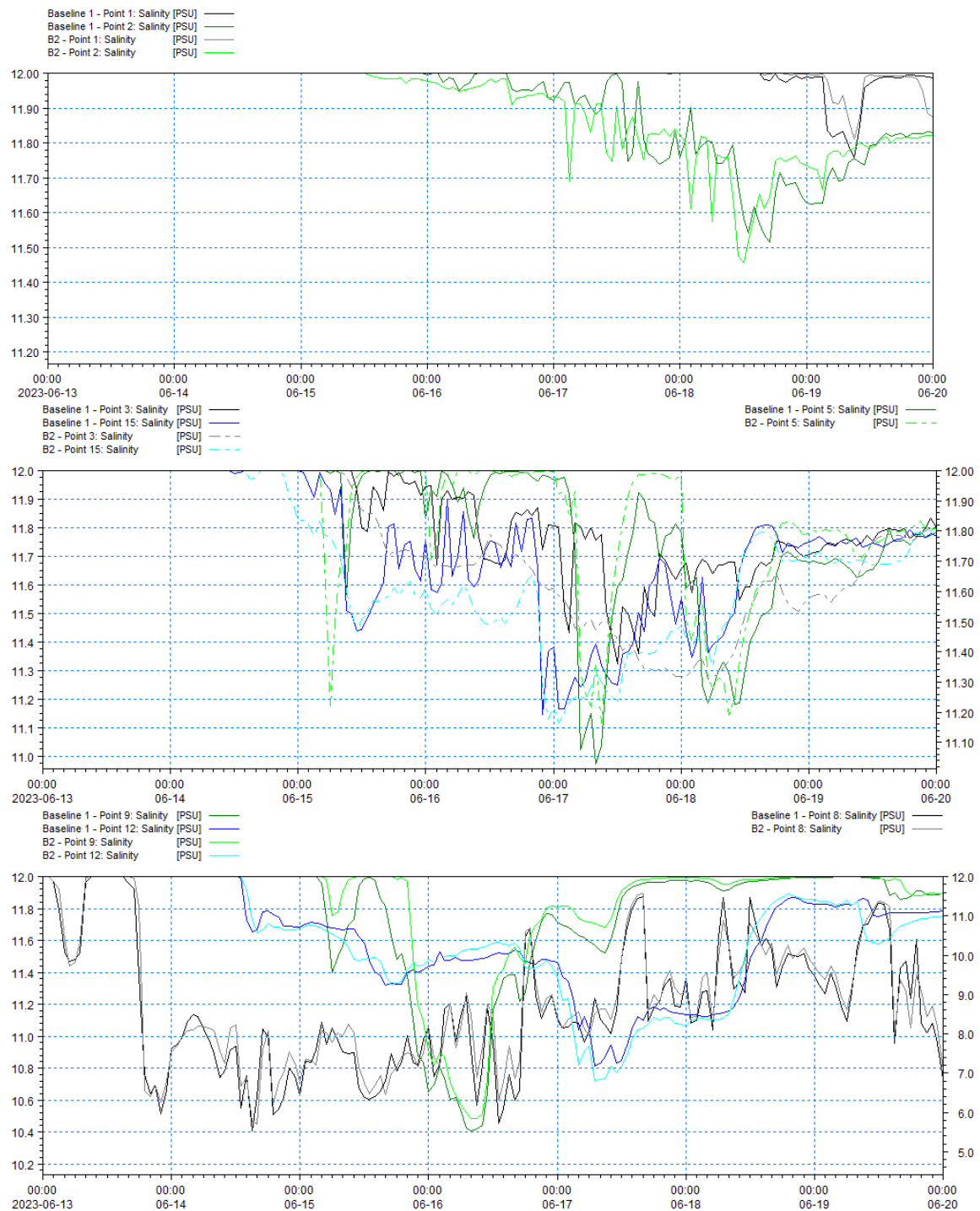
Figur B3.3-1: Procentvis ændring i modelleret salinitetsniveau i toppen af vandsøjlen for Løsningstype B2 sammenlignet med Baseline 1. Figuren viser ændring i gennemsnitlige- (venstre) og laveste salinitetsniveau (højre) for en model, hvor der ikke er antaget fuld vertikal opblanding. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringscenarie 1 og midlevandstandsscenario 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).



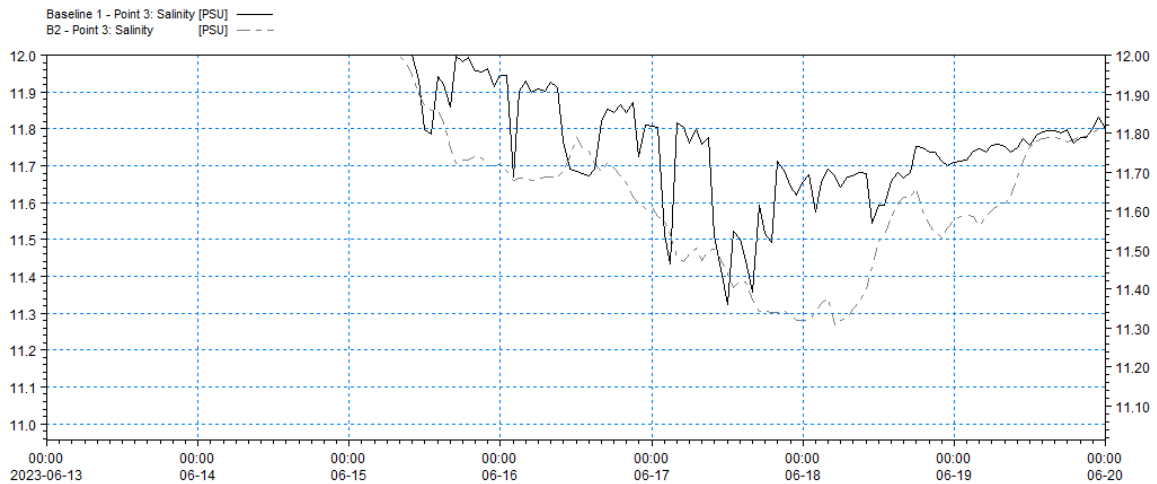
Figur B3.3-2: Procentvis ændring i modelleret salinitetsniveau i midten af vandsøjlen for Løsningstype B2 sammenlignet med Baseline 1. Figuren viser ændring i gennemsnitlige (venstre) og laveste salinitetsniveau (højre) for en model, hvor der ikke er antaget fuld vertikal opblanding. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringscenarie 1 og middelvandstandsscenario 1. Baggrundsfoto er fra (Google Earth, 2024).

Figur B3.3-3 viserer dynamikken i salinitetsniveau i den øvre del af vandsøjlen for udvalgte punkter. Heraf fremgår det, at Løsningstype B2 ikke medfører en signifikant ændring af salinitetsniveauet i de øvre lag ift. Baseline 1.

I pkt. 3 viste Løsningstype B2 (fuld vertikal opblanding) tendens til signifikant reduceret dynamik – dette er også tendensen i perioder med mindre vertikal opblanding, dog ikke helt så signifikant, se figur b3.3-4 der kan sammenlignes med figur 5-22. Den overordnede vurdering er dermed, at reduceret vertikal opblanding ikke vil ændre signifikant på vurderingen af løsningstypernes egnethed – og tendensen er, at fuld opblanding medfører en større påvirkning, hvormed konklusionerne baseret på denne forudsætning vurderes at være repræsentativ i denne indledende vurdering.



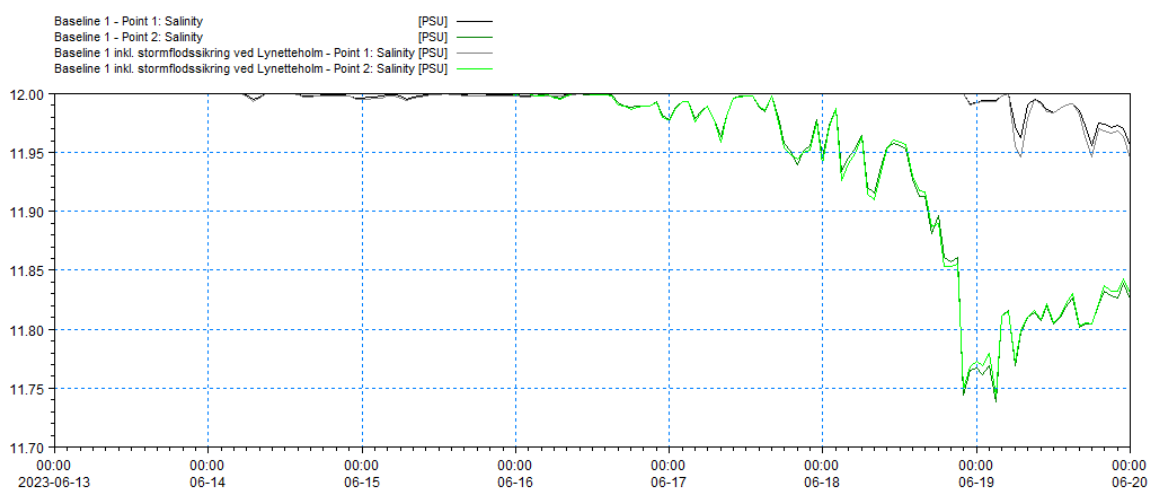
Figur B3.3-3: Tidsserie af modelleret salinitetsniveau i toppen af vandsøjlen for modellerne Baseline 1 og Løsningstype B2, for Strømscenarie 3, Vandføringscenarie 1 og middelvandstandsscenario 1. Resultater i figuren repræsenterer det forcerende hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 1, Vandføringscenarie 1 og Middelvandstandsscenario 1. Resultater er vist for hhv. Kalvebodløbet, position 1 og 2 (øverste tidsserie), Sorterenden, position 3 og 15, position 5 i den centrale del af Kalveboderne (midterste tidsserie) og vestlige del af Kalveboderne, position 12, 8 og 9 (nederste tidsserie).



Figur B3.3-4: Tidsserie af modelleret salinitetsniveau i toppen af vandsøjlen for modellerne Baseline 1 og Løsningstype B2, for Strømscenarie 3, Vandføringsscenarie 1 og midlevandstandsscenario 1 under antagelse af reduceret vertikal opblanding.

B3.4. Følsomheder overfor modelforudsætning for tilstedeværelsen af en højvandsport ved Kronløbet

Stormflodssikringen syd for Kalveboderne er, som tidligere nævnt, kun en del af den samlede stormflodssikring af København idet der også skal etableres en stormflodssikring langs andre kyststrækninger og åbne vandområder, som området omkring Kronløbet, imellem Nordhavn og kommende Lynetteholm (Kronløbet). Den overordnede vurdering er, at en stormflodssikring i Kronløbet ikke vil have en signifikant betydning for vandkvaliteten mv. i Kalveboderne, da Stigbordene bevirker den største modstand og dermed er definerende for vandføringen og -udvekslingen. Dette er yderligere valideret ved en følsomhedssimulering, hvor der er etableret en stormflodssikring i Kronløbet med en portåbningsbredde på ca. 80 m, jf. afsnit 4.2.2. En tidsserie, der viser salinitetsniveauet i den nordlige og den sydlige ende af Kalvebodløbet, er vist i figur b3.4-1, hvoraf det fremgår at der ikke er en signifikant påvirkning af salinitetsniveauet ved ind- og udløb til Kalveboderne. Det vurderes dermed, at en stormflodssikring i Kronløbet ikke vil ændre på vurderingerne af påvirkningsniveauet og dermed egnetheden af Løsningstype B1, B2 og B3 ved Kalveboderne, forudsat at Stigbordene forbliver det kritiske snit ift. at definere vandføringen til Kalveboderne.



Figur B3.4-1: Tidsserie af modelleret salinitetsniveau for modellerne Baseline 1 med og uden stormflodssikring i Kronløbet for det forcerede hydrodynamiske scenarie: Strømscenarie 3, Vandføringsscenarie 1 og Midlevandstandsscenario 1.