

SUND OG BÆLT

UNDERSØGELSE AF FREMSKUDT FÆRGEHAVN VED TÅRS

FORUDSÆTNINGSNOTAT

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00
FAX +45 56 40 99 99
WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Indledning	3
2	Numerisk modelsystem	5
2.1	Indledning	5
2.2	Mekanistisk modelsystem	5
3	Numeriske modeller	8
3.1	Indledning	8
3.2	Mekaniske modeller	8
3.3	Konceptuel model	12
4	Strømningsmodstande	16
4.1	Baggrund	16
4.2	Strømningsmodstand for de undersøgte infrastrukturprojekter	16
4.3	Valg af layouts for forbindelserne	19
4.4	Parametrisering i den regionale model	20
5	Klimaændringer	21
5.1	Baggrund	21
5.2	IPCCs klimascenarier	21
5.3	Betragtede klimascenarier	22
5.4	Perioder	23
5.5	Parametre	24
5.6	Downloadet data	24
5.7	Inddeling af Østersen	25
5.8	Tidslig repræsentation af ændringer	25
5.9	Udvalgte resultater	26

PROJEKTNR.

A258774

DOKUMENTNR.

HYD-TEK-02

VERSION

1.0

UDGIVELSESDATO

14 nov. 2024

BESKRIVELSE

Forudsætningsnotat

UDARBEJDET

CRJ/FLJ/MBI

KONTROLLERET

JJU

GODKENDT

JJU

6	Vurderingsgrundlag	37
6.1	Baggrund	37
6.2	Relevante presfaktorer	37
6.3	Anvendte modelscenarier	38
6.4	Valgte kvalitetselementer og deskriptorer	38
6.5	Metode til vurdering af simuleringresultater	41
7	Referenceliste	43

BILAG

Bilag A	Klimafaktorer	
A.1	Temperatur - Landområder	
A.2	Nedbør - Landområder	
A.3	Temperatur - Vandområder	
A.4	Nedbør - Vandområder	
A.5	Afstrømning	
A.6	Vandbalance beregning	

1 Indledning

Dette notat redegør for baggrunden og de væsentligste forudsætninger for de hydrografiske og økologiske modelleringer i forbindelse med undersøgelserne for en fremskudt færgehavn ved Tårs. Delopgaven er specificeret i afgrænsningsnotatet for Tårs projektet (Sund & Bælt, 2024B).

Specifikt skal redegørelsen indeholde følgende:

- Dokumentation for simuleringsværktøjer herunder deres forudsætninger, kvalitet og brug.
 - Mekanistiske modeller (MIKE3 HD FM og ECO Lab), der på baggrund af processernes styrende ligninger simulerer udviklingen over tid for centrale scenarier.
 - Konceptuel model (Fast Track), der tillader hurtig gennemregning af et stort antal scenarier for udvalgte (1-2) fremtidige tidspunkter. Resultaterne fra Fast-Track-modelleringer kan efterfølgende behandles statistisk med en Monte-Carlo metode for at beskrive resultaternes forventede udfaldsrum (frekvensfunktion), deriblandt resultaternes centrale skøn samt deres variationsbredder.
 - Beskrive de hydrauliske/hydrografiske forhold, som hver af de tre mekanistiske modeller skal simulere, f.eks. skal Langelandsmodellen (se Figur 3-2) simulere lokale strømhastigheder i Langelandsbælt. Den lokale model, der omfatter Storebælt, Langelandsbælt, Lillebælt og Femern Bælt (se Figur 3-2) skal simulere påvirkningen på vandgennemstrømningen af den fremskudte havn. Den regionale model (se figur 3-1) skal kunne simulere de hydrografiske forhold i den Centrale Østersø.
- En opsummering af tidligere forbindelsers baggrund og forudsætninger ("Nulløsningen"). Benyttede værdier for påvirkninger på vandgennemstrømningen fra en fremskudt havn ved Tårs og andre mulige infrastrukturprojekter (Østlig Ringvej, Kattegatforbindelsen, en fast forbindelse mellem Als og Fyn samt fra en stormflodssikring af hovedstaden), og hvorledes de parameteriseres i den regionale model.
- Valg af egnede klimascenarier med dertil hørende nedskalering til Østersøområdet under inddragelse af nyere forskningsresultater. Scenarierne implementeres i modellerne med vægt på følgende processer:
 - Vandstandsstigninger med dertil hørende sandsynlighedsfordeling.
 - Vindforhold (ændring i vindstyrke og karakteristisk retning) med dertil hørende sandsynlighedsfordeling. Her fokuseres især på de kraftige vindes ændringer i retning og styrke.
 - Nedbørsændringer med dertil hørende sandsynlighedsfordeling.

- Ferskvandsafstrømning (på baggrund af ændrede nettonedbørsforhold) med dertil hørende sandsynlighedsfordeling.
- Havtemperaturstigning med dertil hørende sandsynlighedsfordeling.

Usikkerheden på ændringerne af disse klimabetingede forhold er stor, hvilket vil blive drøftet, hvorfor ændringerne kun benyttes til at forstå betydningen og størrelsesordenen af ændringerne for hydrografien og miljøfoldene i Østersøen, dvs. sensitiviteten af forhold i Østersøen.

- På baggrund heraf formuleres et opdateret vurderingsgrundlag for den aktuelle trafikforbindelse og dertil knyttede kumulative aspekter ("langsigtet god miljøtilstand i havområdet").
 - Valg af de nødvendige og tilstrækkelige kvalitetselementer/deskriptorer/presfaktorer for Langelandsbælt (se Figur 3-2), lokalområdet (se Figur 3-2) og den indre Østersø (se Figur 3-1), der skal indgå i vurderingen af påvirkningerne.
 - Beskrive en "transparent og forståelig" metode til vurdering af simuleringsresultaterne. Hvordan afvejes forskellige påvirkninger i forhold til hinanden (hvor meget vægtes de respektive påvirkninger relativt til hinanden). Hvordan vurderes en given parameterændring ift. det overordnede mål om "god miljøtilstand".

2 Numerisk modelsystem

2.1 Indledning

Der anvendes i projektet et numerisk mekanistisk modelsystem, nemlig MIKE 3 FM, der er baseret på de grundlæggende styrende ligninger.

Langelands-, lokal-, og regionalmodellen sættes op i det numeriske modelsystem MIKE 3 FM, se Figur 3-1 og Figur 3-2.

I det følgende beskrives grundlaget for MIKE 3 FM.

2.2 Mekanistisk modelsystem

Det numeriske modelsystem MIKE 3 FM indeholder moduler for:

- Hydrodynamik (HD), baroklin hydrodynamisk 3D-modelsystem.
- ECO Lab, Økologisk 3D-modelsystem.

MIKE 3 FM er et 3D modelsystem, der kan beskrive vandstande, strøm, lagdelingen (salt og vandtemperatur), sediment transport, transport af ilt, næringssalte og algedynamik.

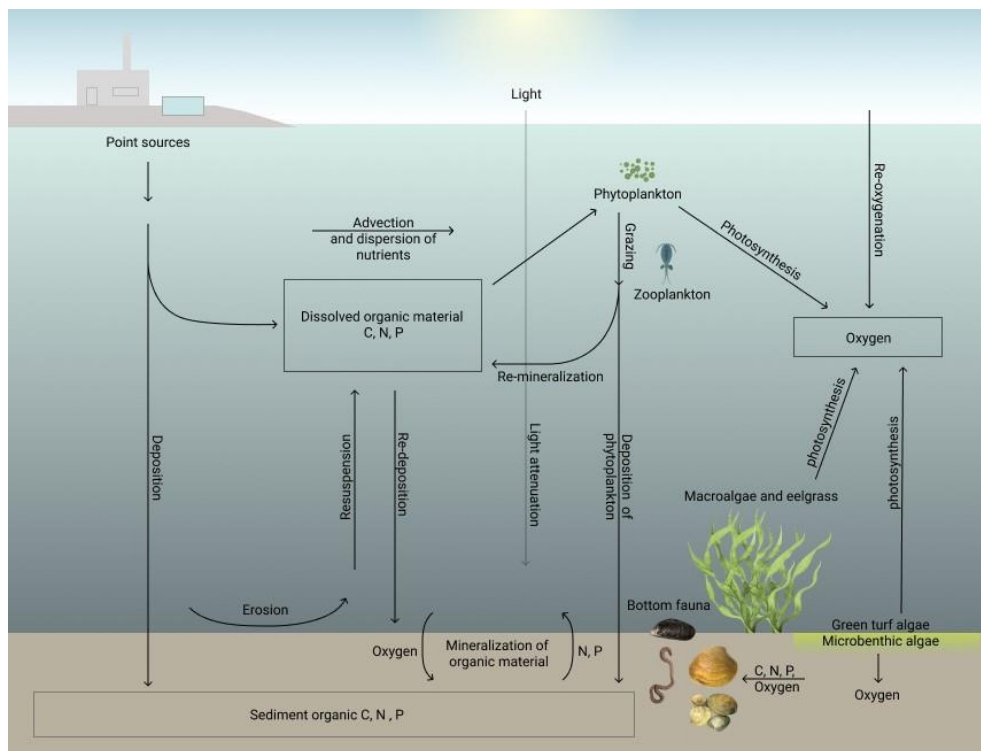
I dette modelsystem løses de grundlæggende styrende ligninger numerisk på et beregningsnet. De styrende ligninger er for eksempel for hydrodynamikken: massebevarelse, impulsbevarelse, transportligningerne for salt og temperatur og en densitetsligning, der relaterer vandets densitet til tryk, salinitet og temperatur. Tilsvarende løses de styrende ligninger for økologien i ECO Lab, se Figur 2-1.

Modelsystemet anvender et fleksibelt net (FM = Flexible Mesh) bestående af trekanter og firkanter, hvorved netstørrelsen gradvist kan forfines tættere på interesseområdet og kystlinjen, dybdekonturer og strukturer kan opløses med høj nøjagtighed. Dermed kan nettet for eksempel forfines tættere på den frem-skudte færgehavn ved Tårs og gøres grovere i indre Østersø.

Det sikres hermed at computerkraften bruges, hvor den gør mest gavn.

Vertikalt anvender modelsystemet en kombination af flere dybdeopløsninger, som kan optimere beskrivelsen af lagdelte vandmasser, som de der findes i Østersøsystemet.

MIKE 3 FM systemet er baseret på kendte styrende ligninger for hydrodynamik og økologi og implementeringen er verificeret. Globalt er der mange modeller, som er baseret på MIKE 3 FM, og som er tilfredsstillende kalibreret og valideret (for eksempel af DHI, men også mange andre rådgivere og universiteter). Til sammen sikrer dette et troværdigt og robust modelsystem.



Figur 2-1 Skematisk tegning der viser overordnede variable og processer, der beskrives i ECO Lab.

Åbne kilder (videnskabelige artikler), hvor modelsystemet er benyttet, kan for eksempel findes i:

- Edelvang, K., H. Kaas, A.C. Erichsen, D. Alvarez-Berastegui, K. Bundgaard, P.V. Jørgensen, 2005: Numerical modelling of phytoplankton biomass in coastal waters. *Journal of Marine Systems* 57(1-2), 13-29.
- Bentzen, T.R., T. Larsen, M.R. Rasmussen, 2008: Wind effects on retention time in highway ponds. *Water Science & Technology* 57(11), 1713-1720.
- Flindt, M.R., E.K. Rasmussen, T. Valdemarsen, A. Erichsen, H. Kaas, P. Canal-Vergés, 2016: Using a GIS-tool to evaluate potential eelgrass reestablishment in estuaries *Ecological Modelling* 338, 122-134.
- Canal-Vergés, P., J.K. Petersen, E.K. Rasmussen, A. Erichsen, M.R. Flindt, 2016: Validating GIS tool to assess eelgrass potential recovery in the Limfjorden (Denmark). *Ecological Modelling* 338, 135-148.
- Pastor, A., P. Mariani, A.C. Erichsen, F.T. Hansen, J.L.S. Hansen (2018) Modeling dispersal and spatial connectivity of macro-invertebrates in Danish waters: An agent-based approach. *Regional Studies in Marine Science* 20, 45-59.
- McLaverty, C., O.R. Eigaard, J. Olsen, M.E. Brooks, J.K. Petersen, A.C. Erichsen, K.v.d. Reijden, G.E. Dinesen, 2023: European coastal monitoring programmes may fail to identify impacts on benthic macrofauna caused by bottom trawling. *Journal of Environmental Management* 334.

Der findes også manualer, der beskriver modulsystemet, som kan fås gennem DHI. For eksempel tekniske manualer for hydrodynamik, bølger og økologi, som

beskriver dynamikken, ligninger og numeriske metoder, og bruger manualer for de forskellige modeller.

3 Numeriske modeller

3.1 Indledning

Der anvendes i projektet to fundamentalt forskellige model typer:

- Mekanistisk model
- Konceptuel model

De mekanistiske modeller er baseret på det mekanistiske modelsystem, MIKE 3 FM, som igen er baseret på de grundlæggende styrende ligninger, og randbetingelser så som for eksempel dybdeforhold. Disse modeller er dermed ikke begrænset af en konceptuel forståelse af Østersøen, og kan derfor beskrive sammenhænge, der ikke er kendt på forhånd.

Den konceptuelle model er begrænset til at beskrive sammenhænge inden for den forståelse af Østersøen, som er inkluderet i modellen. Den konceptuelle model regner hurtigt og kan derfor bruges til at beregne mange forskellige scenarier (mange flere end der kan gennemregnes med de mekanistiske modeller).

De to modeltyper supplerer hinanden.

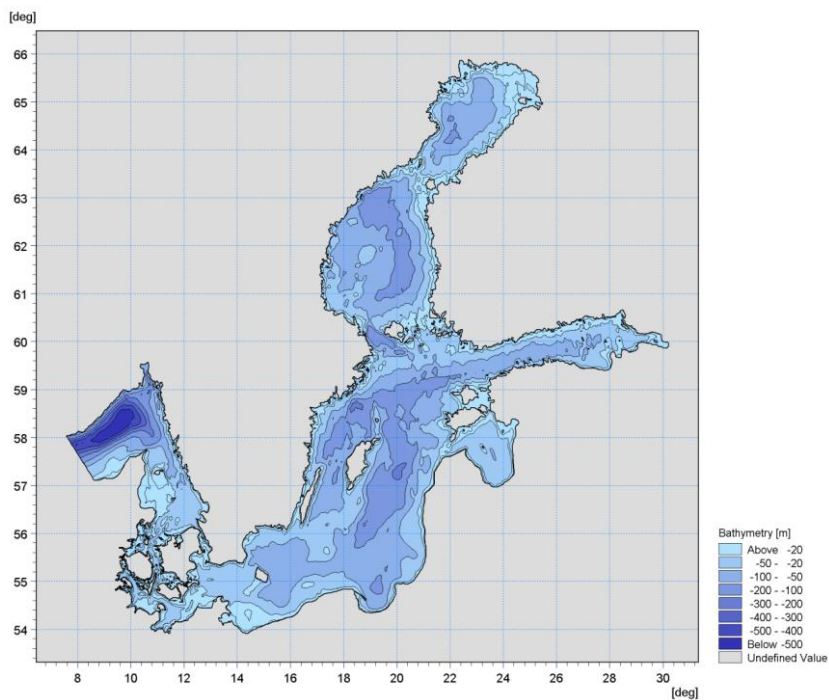
I det følgende beskrives først de tre modeller baseret på det mekanistiske modelsystem og derefter den konceptuelle model.

3.2 Mekaniske modeller

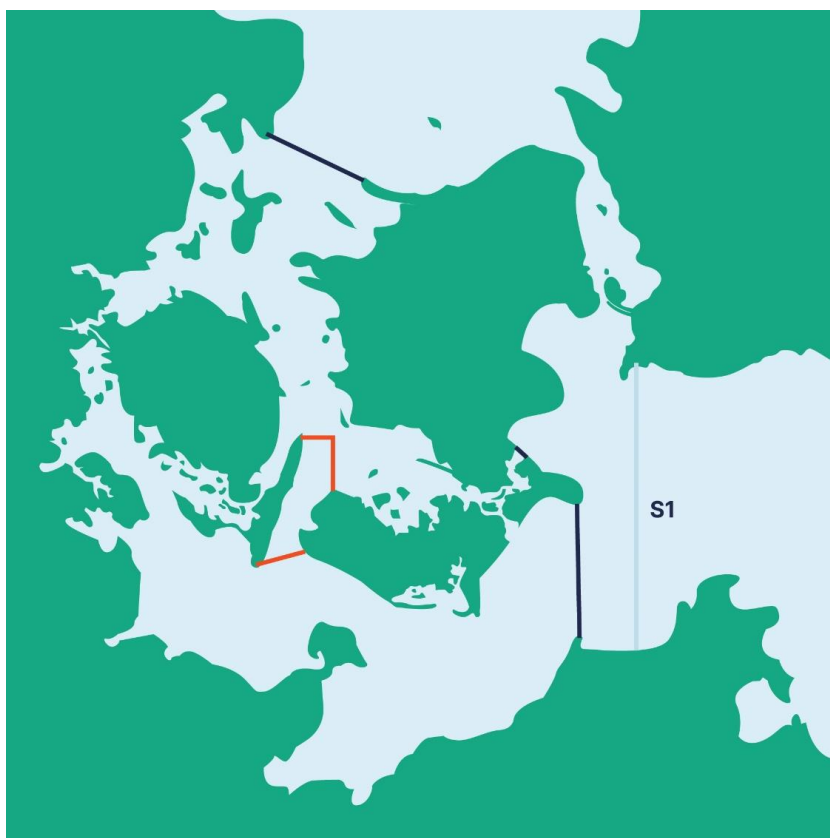
3.2.1 Områder

Tre modeller er sat op i MIKE 3 FM modelsystemet, som dækker hvert sit område og som benyttes til forskellige delopgaver:

- Langelandsmodellen, se Figur 3-2.
Den benyttes til vurdering / påvirkning af:
 - Havnens layout (optimering)
 - Besejlingsforhold
 - Lokal scour og kystpåvirkning
- Lokal model, se Figur 3-2.
Den benyttes til vurdering / påvirkning af:
 - Strømningsmodstand fra havnens layout
 - Vandstandsændringer
- Regional model, se Figur 3-1.
Den benyttes til vurdering af / påvirkning af:
 - Strømningsmodstand fra infrastrukturprojekter
 - Klimaeffekter
 - Miljøforhold i Østersøen



Figur 3-1 Den regionale model domæne omfatter hele Østersøen og Skagerrak (del af Nordsøen). Modellens eneste åbne rand er Skagerraks vestlige rand.



Figur 3-2 Modelområdet for langelandsmodellen er vist med rød streg og modelområdet for den lokale model er vist med sort streg. Linjen S1 vest for Arkona Bassinet vil blive brugt til at vise transport af vand og salt i den regionale model.

En mere detaljeret beskrivelse af hvad modellerne skal benyttes til at vurdere kan findes i projektets afgrænsningsnotat (Sund & Bælt, 2024B). For hver af de tre modeller er der udarbejdet et arbejdsnotat, som giver en mere detaljeret beskrivelse af de tre modeller. De tre modeller vil hver især være vigtigere i nogle faser af projektet end i andre.

3.2.2 Opsætning

Den regionale model er en eksisterende model (DKBS), der køres operationelt på DHI, se fx DHI (2018). Modellen er kalibreret og valideret.

Den lokale model og langlandsmodellen dækker mindre områder i den regionale model. De sættes op som den regionale model, men med højere horisontal opløsning.

3.2.3 Randbetingelser

Randbetingelser til de 3 modeller udtrækkes fra DKBS modellen. Den dækker fra Skagerrak og ind i hele Østersøen, se Figur 3-1. Modellen har simuleret perioden fra omkring 1990 til dags dato, hvor resultater derfra (vandstande, strøm, og lagdelingen (salt og vandtemperatur) er gemt. Resultaterne fra DKBS-modellen benyttes meget ofte af DHI til at generere randbetingelser til mindre modelområder. Det fungerer godt og sparer tid med generering af initiale betingelser, betingelser på åbne rande, og vindfelter.

I de tilfælde, hvor effekten på biokemiske forhold skal vurderes, dvs. i udvalgte simuleringer med regionalmodellen, kan randværdier udtrækkes fra modelleringer udført for Vandområdeplan 3 (VOP3).

3.2.4 Simuleringsperioder

Til simuleringerne med Langlandsmodellen benyttes et typisk år (år 2019), som indeholder både storme og saltvandsindbrud til Østersøen. Simuleringen vil dække omskiftelige forhold, både lagdelte og mere homogene forhold, svage og kraftige strømme, høje og lave bølger fra forskellige retninger, og forskellige vindretninger og vindstyrker. Således dækkes et bredt udfaldsrum.

Lokalmodellen simuleres også for et typisk år (år 2019), og resultaterne benyttes til at bestemme påvirkningen af den fremskudte færgehavn ved Tårs på gennemstrømning og lokale vandstandsændringer.

For den regionale model simuleres også et typisk år (år 2019), hvilket gentages cyklisk med de drivende kræfter (vandstand, meteorologi, og afstrømning), indtil en kvasi-stationær situation udvikles. De drivende kræfter (vandstand, meteorologi, og afstrømning) i år 2019 ændres pga. klimapåvirkninger til at repræsentere år 2100, og år 2100 gentages ligeledes cyklisk indtil en kvasi-stationær situation udvikles. Klimaændringerne vil være de forventede klimaændringer i år 2100 (se kapitel 5), og dermed være en mærkbar klimaændring. Modellen køres således for et antal gentagelser af år 2019 med og uden infrastruktur forbindelser og med og uden klimaændringer, og indtil en kvasi-stationær situation udvikles. Da det kun drejer sig om cyklisk brug af 'et repræsentativt år' er der ikke

nogen mellem-årige påvirkninger, og infrastruktur forbindelsernes påvirkning kan derved identificeres i resultaterne.

3.2.5 Kalibrering og validering

Modellerne, som allerede er kalibrerede og validerede på tidligere historiske målinger i forudgående projekter, vil blive optimeret og revalideret ud fra tilgængelige nyere målinger: vandstande, strømmålinger fra Storebælt og Femern Bælt, profiler af salt og temperatur fra NOVANA (Det Nationale Overvågningsprogram for Vandmiljø og Natur (NOVANA)), data fra infrastrukturprojekter, og andre data der kan identificeres; samt viden om den specifikke modstand i Storebælt, Lillebælt og Øresund.

De væsentligste kalibreringsparametre er:

- Bundruhed
- Horisontal og vertikal dispersion

Disse kalibreringer vil blive beskrevet og vist i detaljer i arbejdsnotaterne for hver af de tre modeller.

En sammenligning af målt og beregnet saltholdighed ved Anholt er vist i Figur 3-3.



Figur 3-3 Sammenligning af målt (udtrukket NOVANA målinger) og beregnet salinitet i overflade- og bundvand med DKBS modellen ved Anholt.

3.2.6 Valgte modelparametre

Ud af de parametre omfattet i modellen udvælges et begrænset antal parametre til præsentation af resultater. Kravene til de udvalgte parametre er, at de for det første skal være relevante i den aktuelle sammenhæng og for det andet skal kunne bestemmes med en acceptabel og anvendelig præcision.

Tabel 3-1 Modelparametre for den mekanistiske model.

Parameter	Begrundelse
Saltholdighed og temperatur, Centrale Østersø, øvre lag	Kan modelleres med acceptabel præcision
Saltholdighed og temperatur, Centrale Østersø, nedre lag	Kan modelleres med acceptabel præcision
Tidslig udvikling af saltholdigheds- og temperaturændringer	Kan modelleres med acceptabel præcision
Langsgående transekt af saltholdigheds- og temperaturændringer gennem Østersøen	Kan modelleres med acceptabel præcision
Skillefladedybde og stabilitet, Centrale Østersø	Kan modelleres med acceptabel præcision
Vandføring og salttransport ind til Østersøen over et snit gennem Arkona bassinet ("S1")	Kan modelleres med acceptabel præcision
Opholdstid i Østersøen	Kan modelleres med acceptabel præcision

De ovenfor anførte resultatparametre søges analyseret for derefter at indgå i vurderingen af påvirkningen af kvalitetselementer/deskriptorer. Resultaterne på baggrund af den mekanistiske model sammenlignes desuden med tilsvarende resultater fra den konceptuelle model for at belyse bredden af udfaldsrummet baseret på to uafhængige metoder.

3.3 Konceptuel model

3.3.1 Eksisterende model

En alternativ modeltilgang er gennemført med en konceptuel model. Konceptet består i at beskrive de vigtigste processer i en model til beskrivelse af de grundliggende hydrografiske parametre i Østersøen. Forskellen til den ovenfor beskrevne mekanistiske model ligger i, at den konceptuelle model ikke beskriver alle processer med høj tidslig, horisontal og vertikal opløselighed, men beskriver udvalgte nøgleprocesser under stationære forhold. Dette gøres med reduceret horisontal opløselighed (få delområder) og en reduceret vertikal opløselighed (i to lag). Dermed opnås en regneteknisk stor simplificering, der muliggør væsentlig kortere beregningstider.

Modellen er opstillet af Flemming Bo Pedersen og Jacob Steen Møller i (Pedersen & Møller, 1981). Analysen bygger på formler og værdier, der blev udviklet til en tidligere version af modellen af Jacob Steen Møller (Møller, pers. Com.) i hans civilingeniør eksamensprojekt.

Modellen er en stationær konceptuel model, der beskriver Østersøens indbyrdes afhængige hydrografiske nøgleparametre, og blev udviklet i 1981 med det formål at beskrive effekten på Østersøens hydrografi som følge af reduceret ferskvandstilstrømning til Østersøen. På det tidspunkt diskuterede man en plan for at omdirigere en substantiel del af floden Nevas vandføring til vandingsformål til dels også uden for flodens naturlige opland.

Modellen bygger på en række styrede ligninger, der beskriver den stationære, gennemsnitlige tilstand af saltholdigheder, skillefladedybder og vandføringer. At modellen er stationær betyder, at den beskriver langtidsmiddeltilstande. Det har den fordel, at beskrivelsen er uafhængig af ekstreme enkelthændelser eller af sæsonvariation. Da opholdstiden i de forskellige dele af Østersøen kan være helt op til 30 år, betyder det, at en ny tilstand kan kræve op til flere gange en sådan opholdstid før den nye balance er opnået i en tilstrækkelig grad.

Modellen deler Østersøen op i seks delområder, der med hensyn til de ovennævnte hydrografiske parametre saltholdighed, skillefladedybde og vandføring kan antages at være homogene og forskellige fra naboområderne. For hver af disse seks delområder samt for de fem overgange mellem delområderne er der opstillet ligninger, der styrer de vigtigste hydrauliske processer for horisontal og vertikal transport af vand og salt. Ligningerne omfatter typisk volumenbevarelse, massebevarelse, betingelsen om konstant densimetrisk Froudes tal, konstant flow af massedeficit, empiriske længdeskala, beskrivelse af opadrettet og nedadrettet medrivning samt geometriske relationer for Østersøen.

Ligningerne er delvis ikke-lineære og komplekse. Da der i denne analyse betragtes små afvigelser fra den eksisterende tilstand, kan processerne beskrives med en lineariseret form af ligningerne. Ligningerne lineariseres derfor og indføres i en matrice, der løses med metoder fra den lineære algebra. Ligningerne løses med hensyn til den parameter, hvis effekt på ligevægtstilstande ønskes beskrevet, f.eks. til ferskvandstilstrømningen. Systemet omfatter et ligningssystem med 22 ligninger og 22 ubekendte.

3.3.2 Videreudvikling af modellen

Modellen blev opstillet i 1981 med det formål kun at belyse effekten af reduceret ferskvandstilstrømning til Østersøen. Modellens styrende ligninger blev løst med henblik på at beskrive Østersøens hydrografiske nøgleparametre som funktion af ændret ferskvandstilstrømning alene. Ligningerne er blevet undersøgt, bl.a. med check for trykfejl, gennemgang af de styrende ligninger og fornyet linearisering og løsning af ligningerne. En fejl i en af formlerne er blevet rettet, en trykfejl blev identificeret og mindre afvigelser på enkelte koefficienter blev fundet. Modelresultater er ajourført med de korrigerede værdier og resultaterne sammenlignet med tilsvarende resultater fra andre videnskabelige publikationer samt med egne overslagsberegninger. Ved således at sammenstille resultater fra forskellige og uafhængige analyser, konkretiseres modellens forventelige sikkerhed, eller udtrykt anderledes, resultaternes forventeligt udfaldsrum.

I nærværende analyse skal flere forskellige påvirkninger af hydrografien end påvirkningen fra ferskvandstilstrømning undersøges. Derfor skal modellen videreudvikles til at omfatte ligningssystemer, der er opstillet og løst med hensyn til

de input parametre, der er styrende for den aktuelle anvendelse. Her er det først og fremmest effekten af infrastrukturprojekters påvirkning af gennemstrømning i de danske stræder. Derudover kræver perspektiveringen af disse effekter, at effekterne af klimaændringer ligeledes modelleres. De vigtigste effekter af klimaændringerne på Østersøens hydrografi er øget vandstand og dermed øget gennemstrømning i de danske stræder, øget ferskvandstilstrømning til Østersøen, samt øget vindhastighed. Vinden har flere effekter: 1. Øget vind betyder øget vindbetinget strømning ind og ud af Østersøen over tærsklerne, 2. øget opadrettet medrivning i Bælthavet, Arkona Bassinet og den centrale Østersø. Derfor skal ligningssystemet opstilles og løses for hver af de fire betydende påvirkninger. Det forudsættes her, at konsekvenserne af de forskellige påvirkninger er relative små. Derfor kan konsekvenserne af de forskellige påvirkninger lægges sammen. Konsekvenserne af infrastrukturprojekterne sammenlignes med summen af konsekvenserne af de tre klimapåvirkninger.

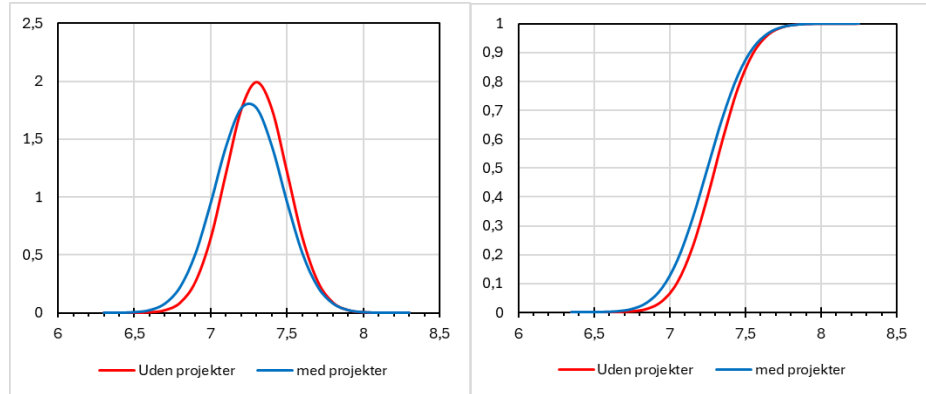
3.3.3 Monte Carlo beregninger

Påvirkninger fra såvel infrastrukturprojekterne som fra de tre klimapåvirkninger kan ikke bestemmes med én eksakt værdi, men er typisk bestemt som et interval af værdier med deres respektive sandsynligheder. Man taler om påvirkningernes sandsynlighedsfordeling. Således vil en ekstrem lav værdi eller en ekstrem høj værdi for en påvirkning være knyttet til en tilsvarende ekstrem lav sandsynlighed (eller risiko), mens centrale værdier vil have relativ høje sandsynligheder. For hver af disse værdier kan der således modelleres/beregnes en specifik løsning, som har en sandsynlighed svarende til sandsynligheden for den aktuelle anvendte inputparameter. Dermed vil inputparameterens fordeling gennem gentagne beregninger/modelleringer transformeres til en fordeling af output parameteren.

Antallet af beregninger/modelleringer afhænger af, i hvor mange delintervaller inputparameteren kan opdeles. Samtidigt afhænger outputparameterens sandsynlighedsfordeling af sandsynlighedsfordelingen af inputparameteren. Den konceptuelle model har den fordel, at den er lineær, dvs. at modelleringer/beregninger simplificeres således, at en dobbelt så stor påvirkning vil give en dobbelt så stor respons.

Monte-Carlo beregninger betegner denne multiple gennemregning af modellen, hvor modelresultaterne vægtes med deres respektive sandsynlighed og dermed angiver en sandsynlighedsfordeling for resultatet. Resultatet kan illustreres som sandsynlighedsfordeling eller som sumkurve, se Figur 3-4.

Arealet under kurven for sandsynlighedsfordelingen illustrerer sandsynligheden for, at en parameter ligger indenfor et bestemt interval. Figuren illustrer den mest sandsynlige værdi (toppunktet) og forventningsintervallets bredde (bredden af "klokken" tæt på x-aksen).



Figur 3-4 Illustration af en tænkt sandsynlighedskurve og den tilsvarende sumkurve for udfaldet af en hydraulisk parameter i Østersøen med og uden infrastrukturprojekter. Begge med klimaeffekter.

Sumkurven illustrerer med hvilken sandsynlighed en bestemt værdi underskrides. Som eksempel kan nævnes, at sandsynligheden for at værdien er under 7,5 er ca. 0,9 (90%) i den blå linje (situationen med projekt), svarende til at risikoen for at værdien overstiger 7,5 er 10%. For den røde linje (situationen uden projekt) er sandsynligheden for at værdien er under 7,5 ca. 0,8 (80%), svarende til at risikoen for at værdien overstiger 7,5 er 20%.

3.3.4 Valgte modelparametre

Ud af de parametre omfattet i modellen udvælges et begrænset antal parametre til præsentation af resultater. Kravene til de udvalgte parametre er, at de for det første skal være relevante i den aktuelle sammenhæng og for det andet skal kunne bestemmes med en acceptabel og anvendelig præcision.

Tabel 3-2 Modelparametre for den konceptuelle model.

Parameter	Begrundelse
Saltholdighed, Central Østersø, øvre lag	Kan modelleres med acceptabel præcision
Saltholdighed, Central Østersø, nedre lag	Kan modelleres med acceptabel præcision
Skillefladedybde og stabilitet, Central Østersø	Kan modelleres med acceptabel præcision
Vandføring ind til Østersøen	Kan modelleres med acceptabel præcision
Opholdstid i Østersøen	Kan modelleres med acceptabel præcision

De ovenfor anførte resultatparametre søges analyseret for derefter at indgå i vurderingen af påvirkningen af kvalitetselementer/deskriptorer. Resultaterne på baggrund af den konceptuelle model sammenlignes desuden med tilsvarende resultater fra den mekanistiske model for at belyse bredden af udfaldsrummet baseret på to uafhængige metoder.

4 Strømningsmodstande

4.1 Baggrund

Der er i de sidste omtrent 100 år bygget flere bro- og tunnelforbindelser i Østersøens overgangsområde. Det vil sige i området med stor modstand for vandudvekslingen mellem Nordsøen og indre Østersø, og hvor forbindelserne derfor kan påvirke vandudvekslingen.

De eksisterende og påbegyndte forbindelser er:

- Gamle Lillebæltsbro, åbnet 1935
- Nye Lillebæltsbro, åbnet 1970
- Storebæltsforbindelsen, åbnet 1997-1998
- Øresundsforbindelsen, åbnet 2000
- Femern Bælt forbindelsen, som er under opførelse og forventes at åbne i 2029

De to Lillebæltsbroer blev bygget uden at betragte deres modstand for gennemstrømningen. Deres samlede strømningsreduktion er senere estimeret til 0,7% i Lillebælt (Jakobsen & Møller, 1996), hvilket svarer til en reduktion på 0,06% i overgangsområdet og er således begrænset (forklaring på reduktion kan findes i afsnit 4.2).

I forbindelse med planlægningen af den nuværende Storebæltsforbindelse blev der fokuseret på at få en forbindelse med begrænset reduktion af gennemstrømningen og at udføre kompensationsafgravninger for at fjerne den resterende reducerende effekt. Ved kompensationsafgravning er det opnået, at Storebæltsforbindelsen ikke har nogen reducerende effekt på gennemstrømningen i Storebælt. Forbindelsen påvirker derved ikke den indre Østersø.

Ved planlægningen af Øresundforbindelsen blev disse principper fastholdt. Øresundforbindelsen har ikke nogen reducerende effekt på gennemstrømningen i Øresund, og som Storebæltsforbindelsen påvirker den derved ikke den indre Østersø.

Femern Bælt forbindelsen er en tunnel og har derfor ingen strømningsreduktion. Femern Bælt forbindelsen påvirker således ikke indre Østersø.

4.2 Strømningsmodstand for de undersøgte infrastrukturprojekter

De undersøgte infrastrukturprojekter, der er inkluderet i denne undersøgelse er:

- Stormflodssikring af hovedstaden (SH), hvor det væsentligste bidrag er fra Lynetteholm, som er miljøvurderet og vedtaget ved anlægslov. Perimeteren for Lynetteholm planlægges færdig i 2026
- Østlig Ringvej, som er under miljøvurdering

- Als-Fyn forbindelsen, som forundersøges
- Fremskudt færgehavn ved Tårs, hvor der gennemføres supplerende hydrografiske analyser
- Kattegatforbindelsen, som har gennemgået en indledende forundersøgelse

Disse projektideer er udviklet i forskellig grad og rummer en række alternative løsninger, hvorfor deres påvirkning af vandgennemstrømningen kendes med forskellig præcision og usikkerhed. En oversigt er præsenteret i Tabel 4-1, baseret på de udvalgte anlægsvarianter.

Tabel 4-1 Oversigt over de infrastrukturprojekternes omtrentlige reduktion af vandgennemstrømningen i det lokale stræde og i det samlede overgangsområde. Lokale reduktioner er udtrukket fra 1: (By & Havn, 2020), 2: (DHI & COWI, 2024), 3: (Sund & Bælt, 2024A), 4: (Sund & Bælt, 2018), og 5: (Sund & Bælt, 2022).

Infrastruktur	Reduktion lokalt (%)	Reduktion overgangs- område (%)
SH / Lynetteholm ¹	0,25	0,07
Østlig Ringvej ²	0	0
Als-Fyn forbindelsen ³	0,04	0,00
Fremskudt havn Tårs ⁴	0,14 – 0,31	0,09 – 0,20
Kattegatforbindelsen ⁵	0,0 – 0,3	0,00 – 0,22
Sum	NA	0,16 – 0,49

Infrastrukturernes reduktion af vandgennemstrømning i de lokale stræder omregnes til de reduktioner, de giver for hele overgangsområdet. Omregningen tager ikke alle dynamiske forhold i betragtning og er derfor kun omtrentlig, men dog tilstrækkelig og retvisende for den samlede påvirkning af vandgennemstrømningen i overgangsområdet. Til omregningen benyttes en vandføringsfordeling mellem Storebælt: Øresund: Lillebælt på 7 : 3 : 1 (Jacobsen, 1980). Fra denne fordeling kan en lokal reduktion omregnes til en reduktion i overgangsområdet:

$$B_o = \frac{\Delta Q_o}{Q_o} = \frac{Q_l \cdot B_l}{Q_o} = \frac{Q_l}{Q_o} \cdot B_l$$

Hvor B er reduktionen af vandgennemstrømningen, Q er vandføring, indeks o er for overgangsområde og indeks l er for lokalt. Vandføringsforholdet (Q_l/Q_o) foran den lokale reduktion bestemmes vha. 7 : 3 : 1 relationen til at være (for eksempel er $Q_o = 7 + 3 + 1 = 11$):

- 1/11 for Lillebælt
- 3/11 for Øresund
- 7/11 for Storebælt
- 8/11 for sydvestlige Kattegat (Lillebælt og Storebælt) eller Femernbælt

Disse forhold er benyttet til at omregne de lokale reduktioner i Tabel 4-1 til en reduktion i overgangsområdet. Det bemærkes at strømningsreduktionerne for de forskellige projekter er simuleret med et modelområde, der er mindre end

hele det stræde, projekterne ligger i. Derfor er de simulerede strømningsreduktioner lidt for store og ligger dermed "på den sikre side" i dette notat.

De lokale reduktioner kan ikke sammenlignes eller adderes, men det kan reduktionerne i overgangsområdet. Den samlede reduktion af de undersøgte infrastrukturprojekter i overgangsområdet er 0,16 – 0,49%.

De to største maksimale reduktioner af vandgennemstrømninger i overgangsområder er fra en mulig Kattegatforbindelse (0,22%) og en mulig Fremskudt havn ved Tårs (0,20%). De bidrager med 86% af den samlede strømningsreduktion i overgangsområdet.

Usikkerheden på de lokale reduktioner er mindst for Lynetteholm, Østlig Ringvej og Als-Fyn og størst for en Fremskudt havn ved Tårs og Kattegatforbindelsen (reduktionen fra Kattegatforbindelsen skal f.eks. beregnes med en hydrodynamisk model, der tager hensyn til lagdelingen). Tabel 4-1 er sat op, så usikkerheden er mindst i øverste række og stigende ned gennem rækkerne, og er således størst for Kattegatforbindelsen. Dermed er usikkerhederne størst for de mest betydende bidrag til den samlede reduktion.

Der er andre projekter end de nævnte infrastrukturprojekter, der vil kunne yde modstand for gennemstrømningen i overgangsområdet, så som udvidelser af havne og vindmølleparker. Eksempler er:

- Rungsted Havn, hvis lokale reduktion af vandgennemstrømningen er bestemt til omtrent 0,0005% (Rungsted Havn, 2024).
- Malmø Havn, hvor reduktionen fra udvidelsen ved en ingeniørvurdering af layout er vurderet at være ganske begrænset og uden betydning for den overordnede vandgennemstrømning (DHI & COWI, 2024). Udvidelsen kan ses i SVEA HOVRÄTT (2024).
- Lillebælt Syd Vindmøllepark. Den lokale reduktion af vandgennemstrømningen af parken findes til at være mindre end 0,006% og vurderes "som helt uden betydning" for vandgennemstrømningen i Lillebælt (se Lillebælt Vind, 2023).
- Aflandshage / Nordre Flint Vindmøllepark. Begge vindmølleparker giver en lokal reduktion på 0,02%, og således vil de tilsammen give en lokal reduktion af vandgennemstrømningen i Øresund på 0,04% og ændringen konkluderes "at være negligibel" (se HOFOR, 2021).

Disse nævnte undersøgte andre projekter reducerer vandgennemstrømningen i overgangsområdet i så ubetydelig grad, at de ikke har betydning for nærværende notats samlede betragtning og redegørelse for en mulig kumulativ påvirkning af vandudveklingen i overgangsområdet, hvorfor de ikke inddrages.

4.3 Valg af layouts for forbindelserne

De to forbindelser med de største maksimale reduktioner af vandgennemstrømninger i overgangsområdet er:

- Kattegatforbindelsen
- Fremskudt havn Tårs

I simuleringerne benyttes for hver forbindelse det layout, der giver den største modstand for gennemstrømningen ud af de layouts, der stadig er med i overvejelserne for de to forbindelser.

For Kattegatforbindelsen er det løsning 7 i Tabel 4-2:

- KKV-2.1 Højbro/lavbro
- KKØ-4.3 Sænketunnel/lavbro, omfattende nordligt rev og kunstig ø

Tabel 4-2 Løsninger analyseret i forundersøgelser for Kattegatforbindelsen.

Nr.	KKV	KKØ
1	KKV-2.1 Højbro/lavbro	KKØ-2.1 Hængebro, uden kunstige rev
2	KKV-3.1 Højbro/lavbro	KKØ-2.1 Hængebro, uden kunstige rev
3	KKV-3.1 Højbro/lavbro	KKØ-2.1 Sænketunnel
4	KKV-3.1 Højbro/lavbro	KKØ-2.1 Hængebro, omfattende nordligt og sydligt rev
5	KKV-2.1 Højbro/lavbro	KKØ-2.5 Boret tunnel/lavbro, omfattende nordligt rev og kunstig ø
6	KKV-1.2 Sænketunnel/lavbro inkl. kunstig ø	KKØ-2.5 Boret tunnel/lavbro, omfattende nordligt rev og kunstig ø
7	KKV-2.1 Højbro/lavbro	KKØ-4.3 Sænketunnel/ lavbro, omfattende nordligt rev og kunstig ø

For fremskudt færgehavn ved Tårs er det løsning 6, som er vist i Figur 4-1:

- Omtrentlig ellipseformet havn med en nordvestlig orientering.
- 800 m bro yderst ved havnen.
- 600 m bro inderst ved kysten.
- 2100 m dæmning mellem de to broer.
- 3 bropiller med en diameter på 0,8 m på tværs af broerne hver 25 m langs broen.



Figur 4-1 Skitse af løsning 6 for fremskudt færgehavn ved Tårs.

Layouts af fremskudt færgehavn Tårs med mindre modstand kan vurderes ved en 'interpolation' pba. deres mindre modstand, og dermed mindre påvirkning af forholdene i Østersøen.

4.4 Parametrisering i den regionale model

To forskellige metoder kan anvendes til parametrisering i den regionale model:

- En detaljeret geometrisk beskrivelse af forbindelserne, som benyttet i tidligere gennemførte analyser og i nærværende analyse for Tårs, dvs. implementering af bropiller, ramper og øer.
- En beskrivelse af modstanden fra forbindelserne, for eksempel vha. få piller, som skal give en modstand svarende til den fundet i Tabel 4-1.

Detaljeret geometrisk beskrivelse er fremskaffet for alle fem betragtede forbindelser, og disse er implementeret direkte i den regionale model:

- Lynetteholm
- Østlig Ringvej
- Als-Fyn forbindelsen
- Fremskudt færgehavn ved Tårs
- Kattegatforbindelsen

5 Klimaændringer

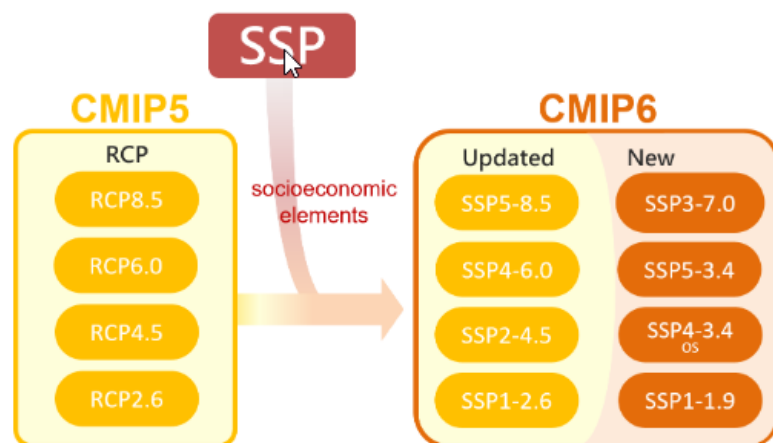
5.1 Baggrund

Formålet med at betragte klimaændringer og deres påvirkning på Østersøens hydrografi er, at sammenholde størrelsen af påvirkningerne fra infrastrukturprojekterne og fra klimaændringer på hydrografien og miljøet.

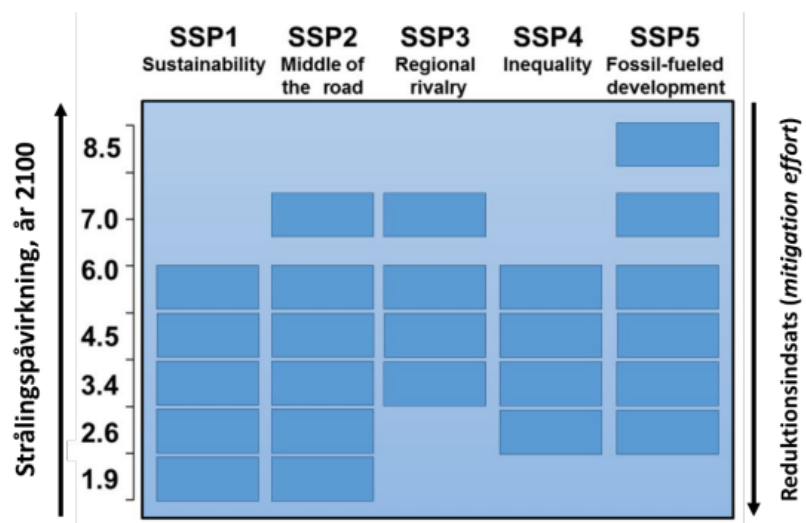
Klimaændringers påvirkning på de hydrografiske forhold i Østersen kan allerede nu observeres og forudsiges om end med stor usikkerhed.

5.2 IPCCs klimascenarier

I den forrige IPCC-rapport blev der brugt RCP (Representative Concentration Pathway) klimascenarier, hvorimod der i den seneste rapport bliver brugt SSP (Shared Socioeconomic Pathway) klimascenarier. Der er ikke en en-til-en relation mellem de gamle og nye scenarier. Den gængse relation mellem nye og gamle scenarier vises i Figur 5-1 og SSP-scenarierne i Figur 5-2.



Figur 5-1 IPCCs klima scenarier og sammenligning af dem (fra TCCIP (nat.gov.tw)).



Figur 5-2 Oversigt over SSP-scenarier (fra KI&DMI, 2024).

I KD&DMI (2024) findes en beskrivelse for de fem overordnede SSP-historiker (oversættelse af "middle of the road" er i nedenstående ændret fra "midtvejs" til "medium"):

- SSP1: Bæredygtighed – den grønne vej (få/begrænsede udfordringer for mitigation og tilpasning)
- SSP2: Medium scenarie (medium udfordringer for mitigation og tilpasning)
- SSP3: Regional rivalisering – en ujævn vej (store udfordringer for mitigation og tilpasning)
- SSP4: Ulighed – en opdelt vej (få/lave udfordringer for mitigation, store udfordringer for tilpasning)
- SSP5: Fossil-drevet udvikling – motorvejen (store udfordringer for mitigation, lave udfordringer for tilpasning)

Da SSP5-8.5 scenariet generelt bliver betragtet som et "meget" ekstremt scenarie foreslås det at betragte SSP3-7.0, som det høje klimascenarie, selvom dette har lidt færre modeller/ensembler, se Tabel 5-1. For de lave klimascenarier foreslås at betragte SSP1-2.6, da SSP1-1.9 kun har få ensembler (og forskellen mellem de to er begrænset).

Tabel 5-1 Antal ensembler for hver parameter (P: nedbør, T: temperatur, E: potentiel fordampning) for hvert klimascenarie.

Scenarie	2021-2040			2041-2060			2081-2100		
	P	T	E	P	T	E	P	T	E
SSP1-1.9	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SSP1-2.6	21	9	15	21	9	15	21	9	15
SSP2-4.5	21	9	15	21	9	15	21	9	15
SSP3-7.0	9	9	9	9	9	9	9	9	9
SSP5-8.5	21	9	15	21	9	15	21	9	15

5.3 Betragtede klimascenarier

Der nedskaleres klimaændringer fra nedenstående tre klimascenarier:

- SSP1-2.6
- SSP2-4.5
- SSP3-7.0

Resultater og nedskalering fra alle tre scenarier vil blive betragtet i vurderingen af klimaændringers betydning.

SSP1-2.6 er det konservative scenarie i den betragtede sammenhæng, da det giver de mindste ændringer i Østersøens hydrografi.

SSP3-7.0 benyttes ofte ved analyser af stormflod, da det i det tilfælde er det konservative scenarie. Derimod er SSP3-7.0 ikke et konservativt scenarie ved sammenligning med infrastrukturforbindelsers påvirkning.

Af de 3 klimascenarier udvælges et scenarie til brug i de numeriske beregninger:

- SSP2-4.5 – der giver større ændringer end SSP1-2.6 og mindre ændringer end SSP3-7.0, og dermed er resultaterne fra SSP2-4.5 velegnet i vurderingen af klimaændringers betydning, hvor alle 3 klimascenarier vil blive betragtet og vurderet.

En mere detaljeret beskrivelse af scenarierne kan findes i afsnit 5.2. SSP2-4.5 kan opsummeres således:

- SSP2-: Medium scenarie (medium udfordringer for mitigation og tilpasning).
- -4.5: Strålingspåvirkning i år 2100 og reduktionsindsats ligger begge centralt blandt de 5 klimascenarier, se Figur 5-2.

SSP2-4.5 befinder sig således midt i et større muligt udfaldsrum.

5.4 Perioder

Klimaændringerne betragtes for tre perioder i fremtiden:

- 2021-2040 (benævnes og betragtes som 2030)
- 2041-2060 (benævnes og betragtes som 2050)
- 2081-2100 (benævnes og betragtes som 2100)

Reference tidspunktet/perioden for klimaændringerne er 1995-2014 (2005).

Af disse perioder udvælges en periode til brug i de numeriske beregninger:

- 2081-2100 (benævnes og betragtes som 2100).

Ændringerne i Østersøens hydrografi og miljø vil øges langsomt over tid (opholdstiden i Østersøen er 30 år) og vil være udviklet og størst i denne periode. Således fås de største signaler at sammenligne.

Der er klimaændringer fra referencetidspunktet i 2005 og frem til 2019. Af denne årsag er klimaændringerne lineært interpoleret mellem 2005 og 2030, og benyttet til at nulstille klimaændringerne i 2019. Dermed er 2019 det nye referencetidspunkt. De bestemte klimaændringer (se Bilag A) skal således påføres forholdene i 2019.

5.5 Parametre

Meteorologiske, hydrologiske og hydrografiske parametre der betragtes er:

1. havvandspejl og landhævning
2. vandtemperatur
3. vind
4. lufttemperatur
5. nedbør
6. fordampning
7. Afstrømning
8. Næringsstofftilførsler

Disse parametre (undtagen landhævning) ændres direkte eller indirekte af klimaændringerne, hvor de fleste af parametrene stiger eller øges på grund af klimaændringerne.

Havspejlsstigning uddrages fra DMIs resultater, se afsnit 5.9.2. Ændringen angives som en øgning i vandstanden i Skagerrak (ved den regionale models åbne rand).

Landhævning implementeres ved at løfte batymetrien (den sænkes i den allersydligste del af den centrale og vestlige Østersø), der benyttes i år 2100. Vandtemperaturens ændring er uddraget fra information fra European Environment Agency (European Environment Agency, 2023).

Resultater fra klimamodeller nedskaleres for lufttemperatur, vind, nedbør, og fordampning. Resultater for lufttemperaturen gives som en ændring i temperaturen (deg. C), og for de øvrige som en skaleringsfaktor.

Klimafaktorerne for lufttemperatur og nedbør indsættes i DHIs Globale Hydrologiske Model (Murray et al, 2023) til at beregne den øgede afstrømning til Østersøen.

Effekten af flere af parametrenes ændring kan sammenlignes med påvirkninger fra infrastrukturprojekterne i de danske farvande, ikke mindst havspejlsstigningen, men der er også flere som ikke kan. Infrastrukturprojekterne vil for eksempel ikke øge vandtemperaturen i Østersøen, som har en stor og betydende effekt på miljøet i Østersøen.

Andre påvirkninger, så som mindre havis, forsuring af havene, tørkeperioder og skovbrande, er ikke medtaget, idet de ikke forventes at have en afgørende indflydelse på Østersøen hydrografiske forhold.

5.6 Downloadet data

IPCC's seneste resultater fra de globale klimamodeller (Global Climate Models (GCMs)) er downloadet fra:

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cmip6?tab=overview>

De downloadede data er processeret og outputtet er ensembler af klimafaktorer (Climate Change Factors (CCF)) for nedbør og absolutte faktorer for luft temperatur.

De downloadede data har en global dækning med en spatial opløsning på $1.0^\circ \times 1.5^\circ$ og en temporær opløsning på månedsbasis.

Der er hentet data for perioderne:

- 2021-2040
- 2041-2060
- 2081-2100

Og for klimascenarierne:

- SSP1-2.6
- SSP2-4.5
- SSP3-7.0

De 3 parametre har forskelligt antal modeller/ensembler:

- Nedbør: 21
- Temperatur: 9
- Potential fordampning: 15

5.7 Inddeling af Østersen

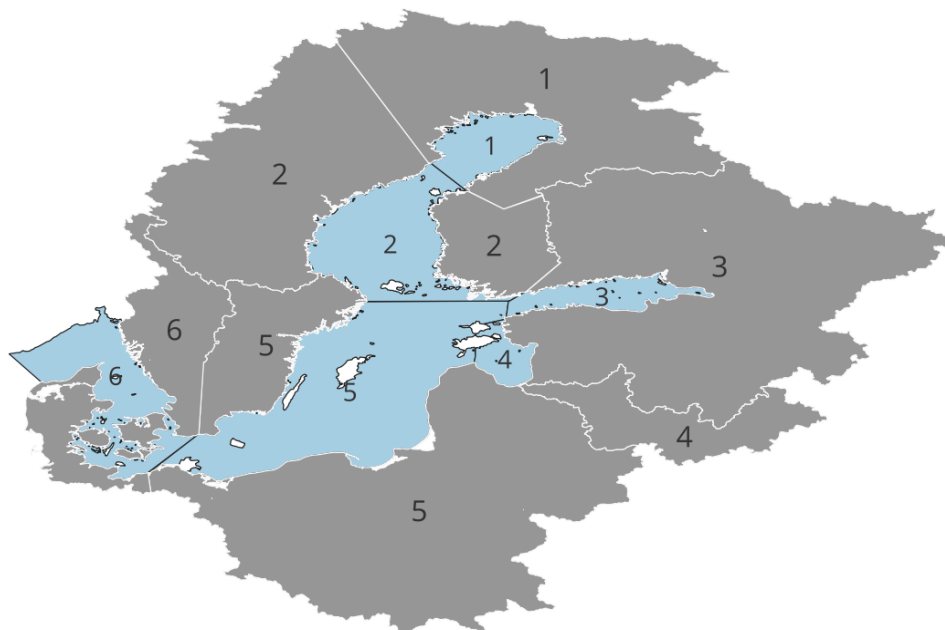
Østersøen og opland er inddelt i seks områder, som følger Østersens opdeling i forskellige havområder, se Figur 5-3.

Parametrenes ændringer bestemmes for hvert af disse delområder, hvor der skelnes mellem land og vand. Således gives der for eksempel for område 2 resultater for to landområder og et vandområde.

5.8 Tidslig repræsentation af ændringer

Ændringerne opløses i tid per måned. Årsvariationen i ændringerne beskrives således, og kan være betragtelig i flere af områderne.

Ændringerne i hver måned gives både som en median og som en spredning.



Figur 5-3 Kort som viser inddelingen af Østersøen i 6 områder: 1 Botniske Bugt, 2 Botniske Hav, 3 Finske Bugt, 4 Riga Bugten, 5 Centrale Østersø, og 6 Bælterne, Kattegat og Skagerrak.

5.9 Udvalgte resultater

5.9.1 Indledning

I nedenstående er vist et lille udsnit af klimafaktorerne for de forskellige parametre.

I Bilag A er klimafaktorer for lufttemperatur og nedbør vist for scenerierne SSP1-2.6, SSP2-4.5 og SSP3-7.0 vist i tabel form og udvalgte beregninger af afstrømning vist grafisk.

5.9.2 Havvandstand

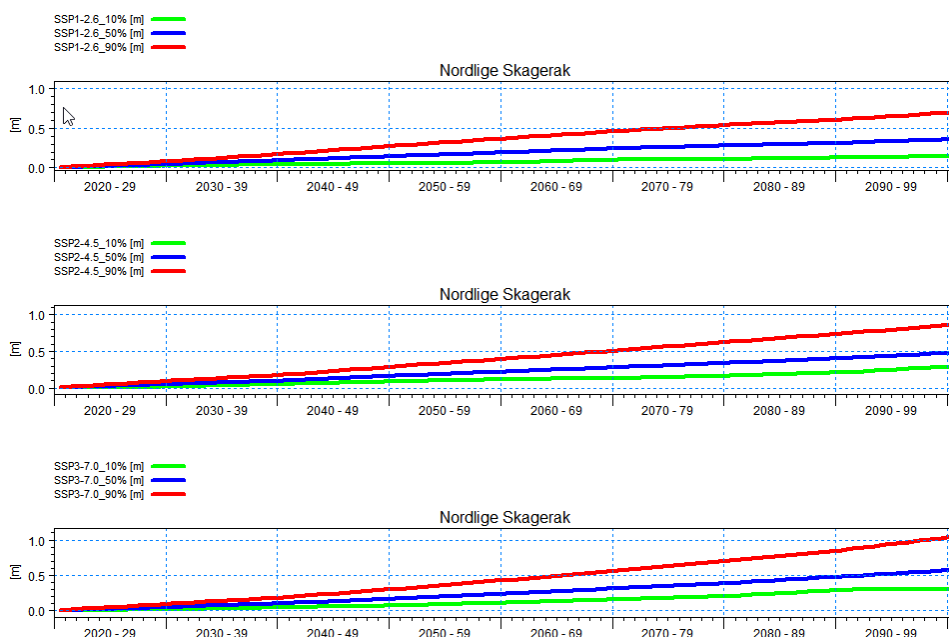
Ændringen i havvandstand ved modelranden i Skagerrak er udtrukket fra DMI's nyeste datasæt:

https://download.dmi.dk/Research_Projects/klimaatlas/v2024a/extended_data-sets/DMI_Klimaatlas_v2024a_Udvidet_havniveau.xlsx

Data er udtrukket for den kyststrækning der er kaldt "Skagerakkyst nordlig (VK6)".

Øgningen i vandstanden påtrykkes på modelranden i Skagerrak i den regionale model, og simuleringresultaterne viser således vandstandsændringerne i Østersøen.

I Figur 5-4 er de fremskrevne vandstandsstigninger vist for de forskellige klimascenarier, samt deres usikkerhedsinterval, og i Tabel 5-2 er median-værdierne for år 2050 og 2100 vist.



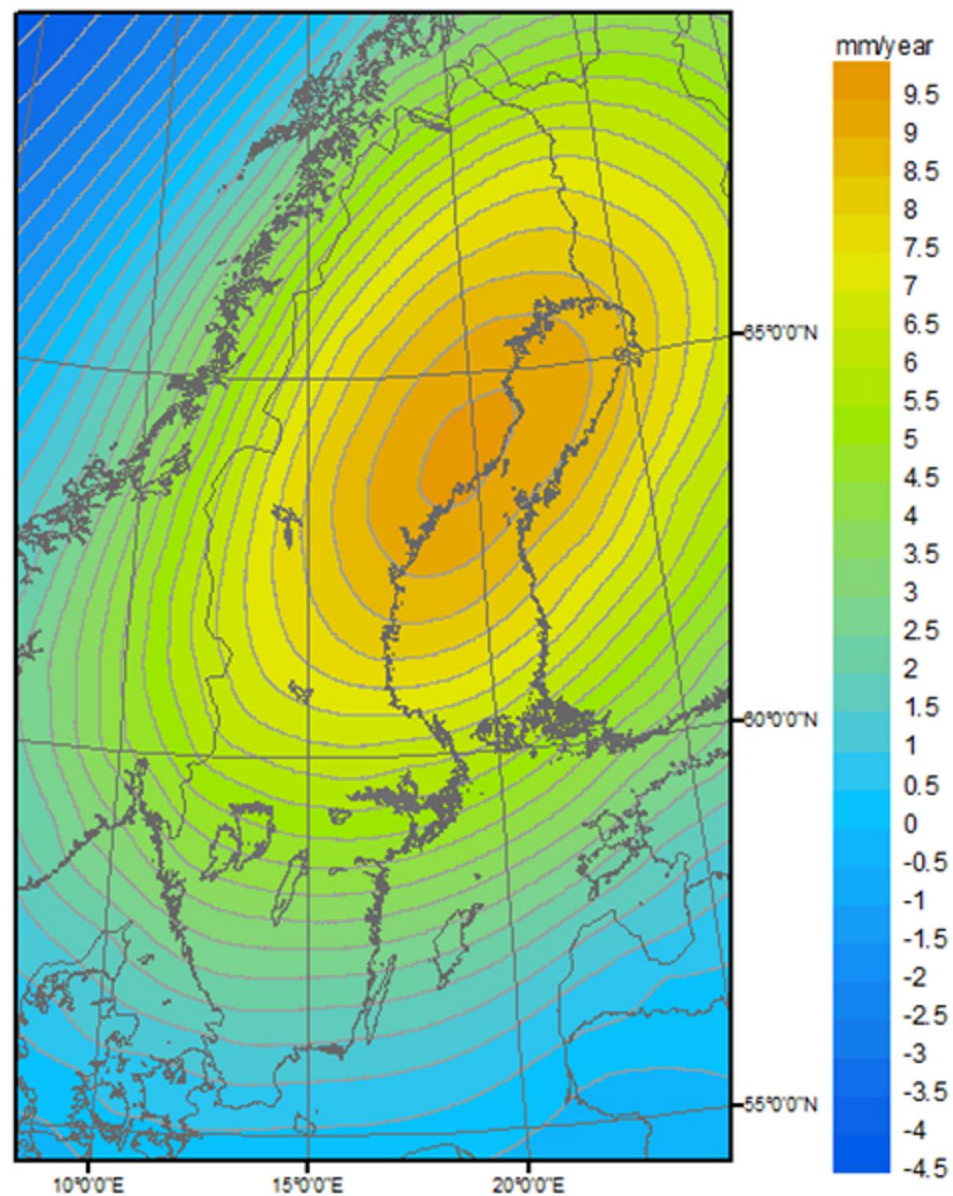
Figur 5-4 Ændring i havvandstand i Skagerak for de 3 klimascenarier SSP1-2.6, SSP2-4.5 og SSP3-7.0.

Tabel 5-2 Havniveaustigning for Skagerrak nordlig del.

Scenarie	Median for havniveaustigning [m]	
	År 2050	År 2100
SSP1-2.6	0.147	0.360
SSP2-4.5	0.166	0.481
SSP3-7.0	0.168	0.573

Landhævning lægges til batymetrien (med fortegn), der benyttes i år 2100 simuleringerne. Den benyttede landhævning per år er vist i Figur 5-5, hvoraf det ses, at områder med landsænkning er begrænset til det sydligste af Østersøen og med en meget begrænset landsænkning vertikalt. Figuren er fra:

<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/vattenstand-och-klimat/landhojning-och-havsvattenstand-1.3437>



Figur 5-5 Landhævning i Østersøen og Skagerrak (isolinjen, der går gennem Bornholm og Fyn, er +0,5 mm).

5.9.3 Vandtemperatur

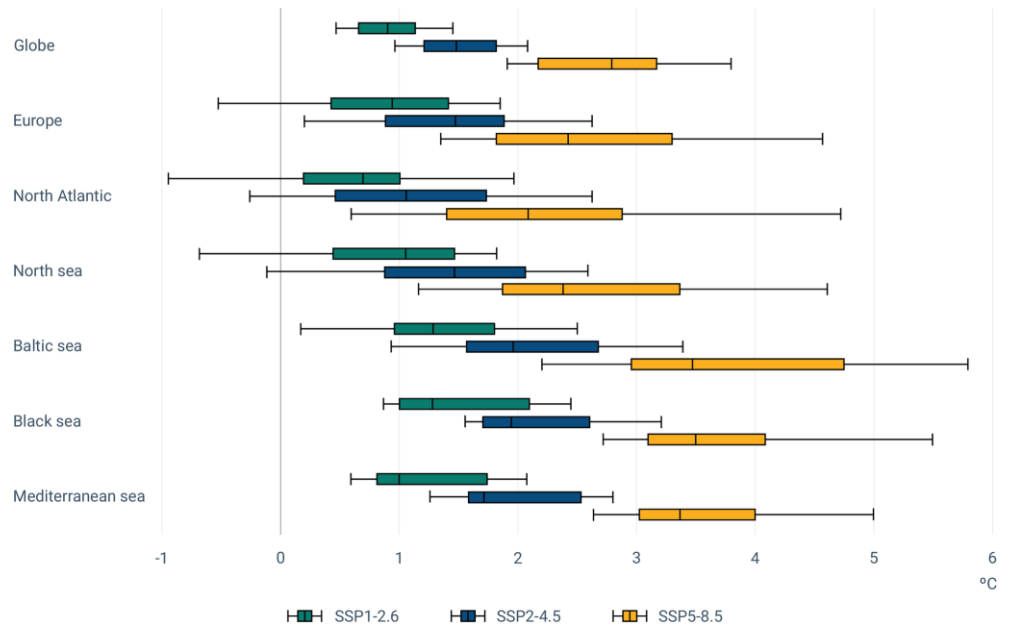
Stigning i vandtemperatur i Nordsøen er udtrukket fra (se Figur 5-6):

<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/european-sea-surface-temperature>

Stigningen i vandtemperatur påtrykkes på modelranden i Skagerrak i den regionale model, og simuleringresultaterne viser da vandtemperaturændringerne i Østersøen.

I Nordsøen er stigningen i vandtemperatur i år 2100 (se Figur 5-6):

- SSP1-2.6: 1.0°C (−0.7 to 1.8°C)
- SSP2-4.5: 1.5°C (−0.2 to 2.6°C)
- SSP5-8.5: 2.4°C (1.2 to 4.6°C)



Figur 5-6 Data for havtemperaturstigninger for år 2100.

5.9.4 Vind

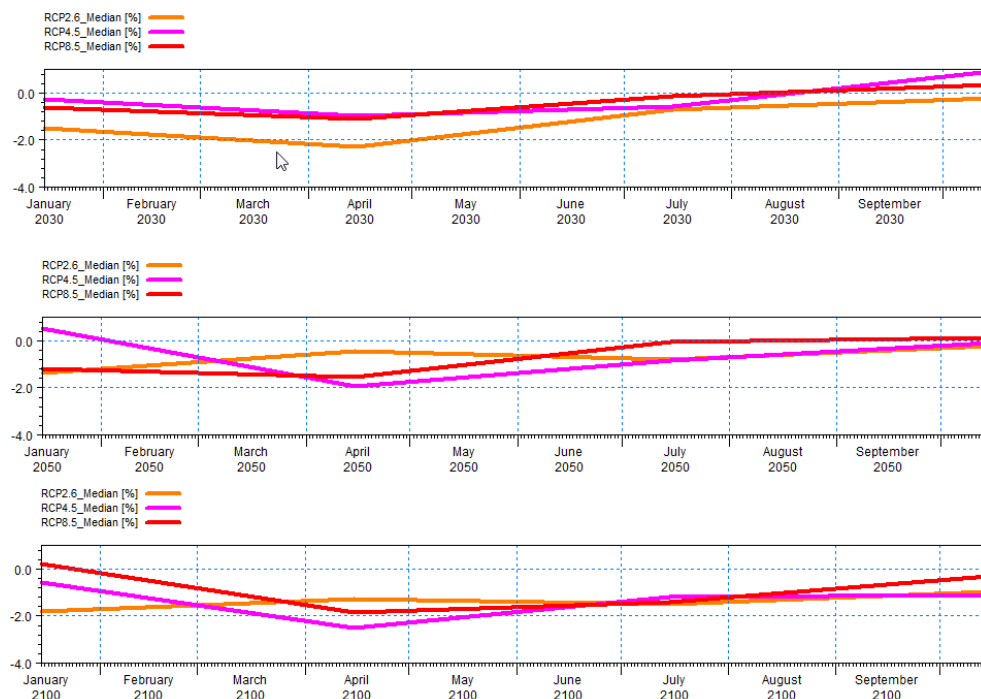
Analysen af klimaændringernes påvirkning af vind viser, at der kun forventes en ganske begrænset formindskelse af vindens middelhastighed, se nedenstående links:

<https://www.eea.europa.eu/publications/europes-changing-climate-hazards-1/wind/wind-mean-wind-speed>

<https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-i-klima-atlas?paramtype=wind&map-type=kom>

Ændringerne er ganske begrænsede og forholdsvis identiske for Nordeuropa, og af denne årsag betragtes DMI's data for Danmark, dvs. området, hvor vinden har størst betydning. Klimafaktorerne er opløst i forår, sommer, efterår og vinter, se Figur 5-7.

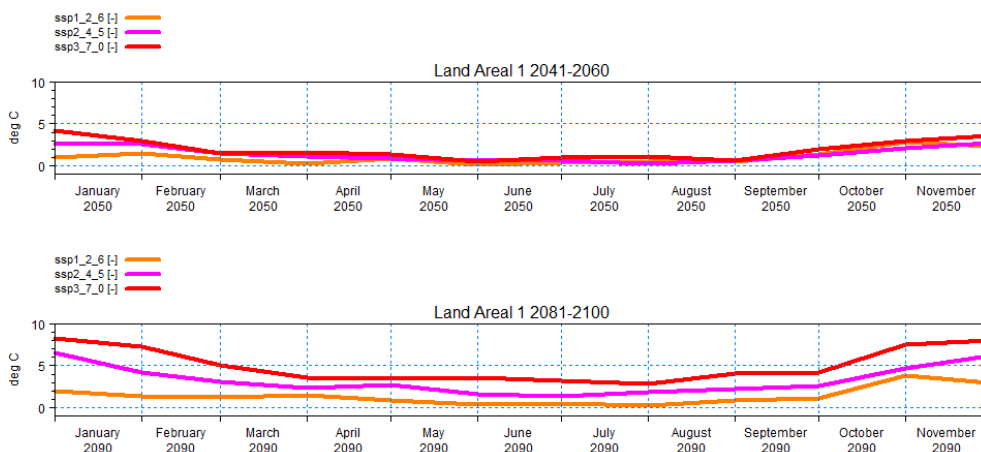
Da ændringerne i vinden er ganske begrænsede og usikre, er det valgt at se bort fra vindændringer.



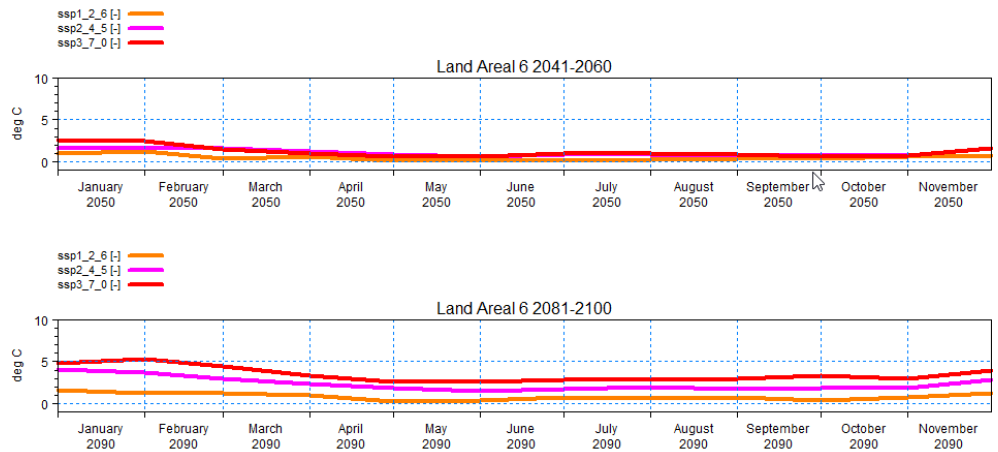
Figur 5-7 Klimafaktorer for vindens middelhastighed (-2% betyder, at vindens hastighed skal ganges med 0,98).

5.9.5 Lufttemperatur

Analyserne viser, at klimaændringerne giver den største øgning i lufttemperaturen i den nordlige del af Østersø området. Figur 5-8 og Figur 5-9 viser forskellen mellem det nordlige landområde (område 1) og landområdet, der indeholder Danmark (område 6). Det er specielt i efterår- og vintermånederne, at forskellen er udtalt.



Figur 5-8 Øgning i lufttemperatur i område 1.



Figur 5-9 Øgning i lufttemperatur i område 6, som inkluderer Danmark.

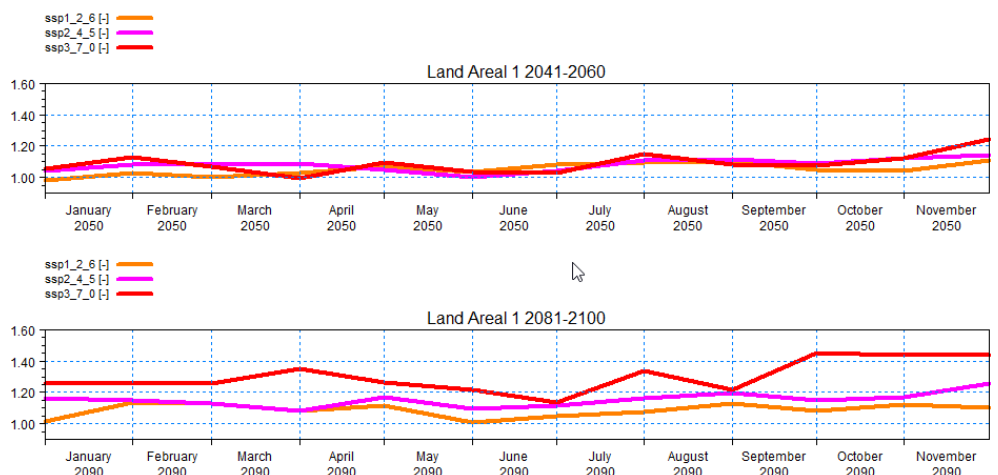
5.9.6 Nedbør

Klimafaktorerne for nedbør er bestemt for områderne vist i Figur 5-3, og opdelt i land og vand. Der er begrænset forskel mellem land og vand, inden for de enkelte områder. I Figur 5-10 og Figur 5-11 vises klimafaktorerne for land for områderne 1 og 6. Det er specielt for det høje klimascenarie, at der er forskelle.

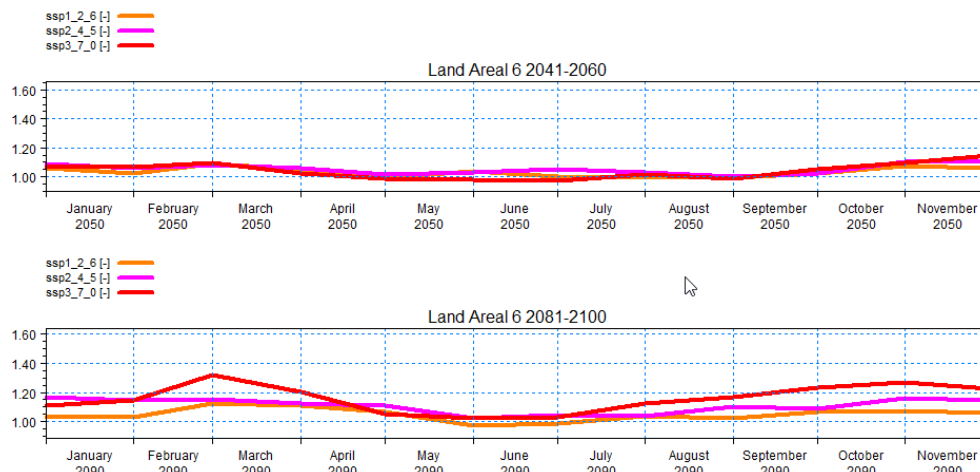
5.9.7 Fordampning

Fordampning fra land beregnes med den Globale Hydrologisk Model og fra vand med den regionale hydrografiske model af Østersøen.

Data for fordampning fra klimamodellerne benyttes således ikke, da de er vurderet at være usikre.



Figur 5-10 Klimafaktorer for nedbør over land for område 1.

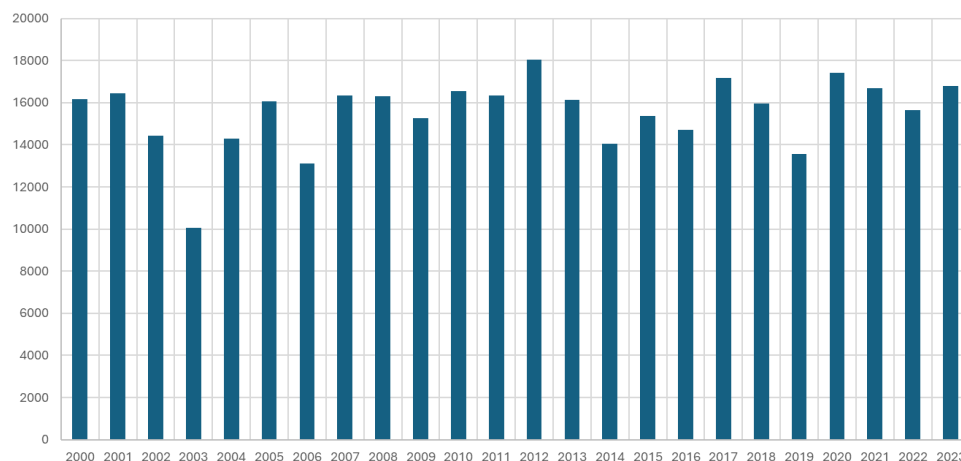


Figur 5-11 Klimafaktorer for nedbør over land for område 6, som inkluderer Danmark.

5.9.8 Ferskvandstilstrømning

Den Globale Hydrologiske Model benyttes til at beregne afstrømning fra land til Østersøen ud fra information om lufttemperatur og nedbør. Afstrømningen beregnes også i år 2100 med den øgede lufttemperatur og nedbør.

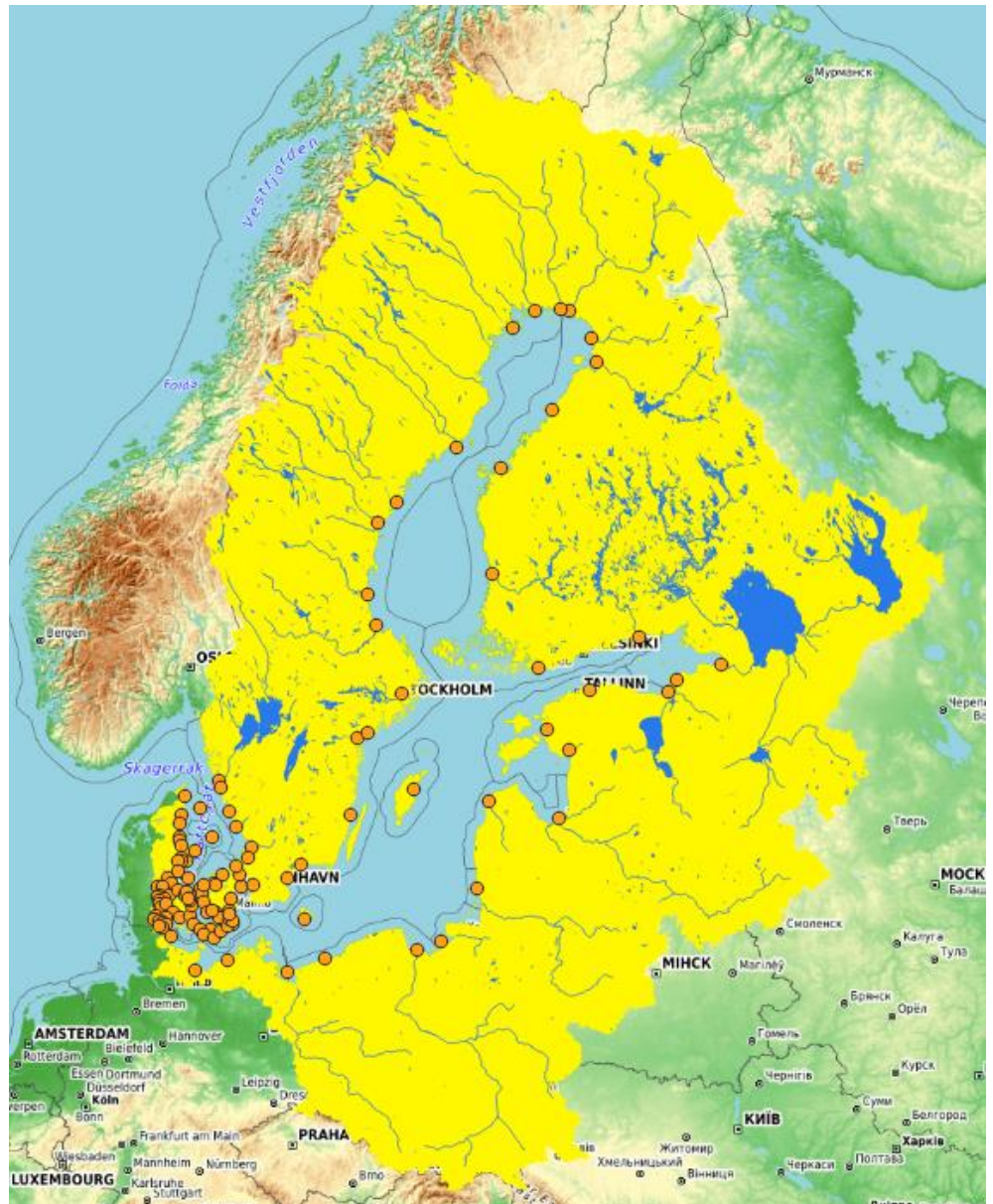
Som et eksempel er den beregnede årlige afstrømning til Østersøen i de seneste 23 år vist i Figur 5-12.



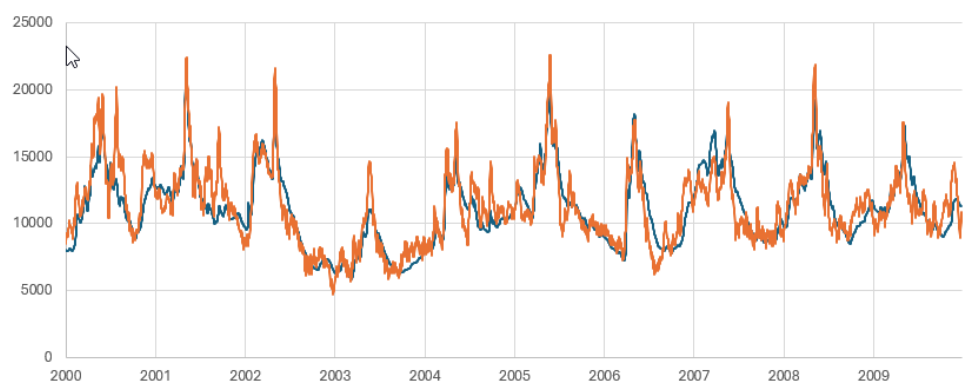
Figur 5-12 Årlig afstrømning (m^3/s) til Østersøen (uden bidrag fra Norge).

Afstrømningen fordeles på 73 tilstrømningspunkter omkring Danmark og 46 tilstrømningspunkter omkring den indre Østersø og vestkysten af Sverige, se Figur 5-13.

Den Globale Hydrologiske Model er valideret vha. 31 målte afstrømninger i perioden 2000-2010, se Figur 5-14. De 31 målinger dækker et afstrømningsareal på 1.318.000 km² af den samlede Østersø afstrømningsareal på 1.757.000 km².

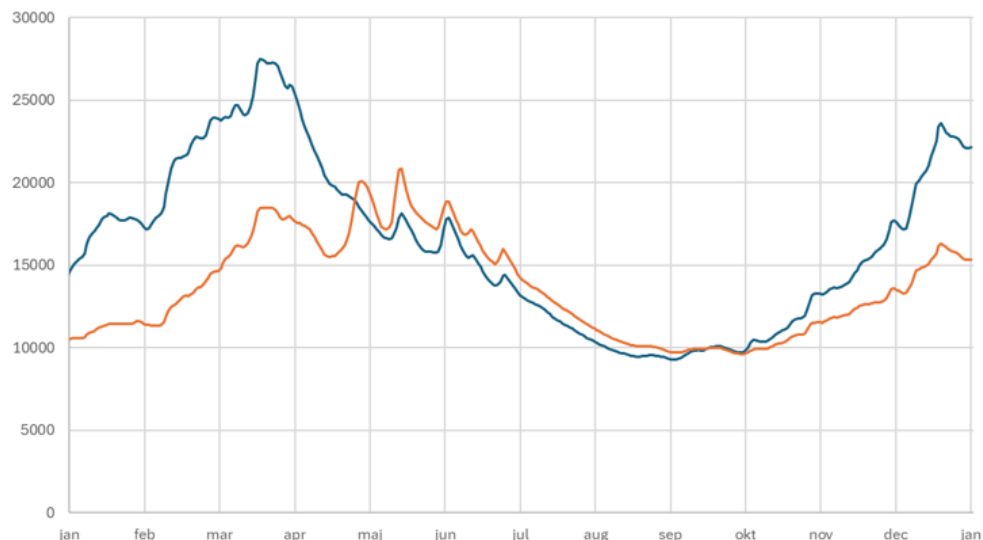


Figur 5-13 Østersøens afstrømningsområde (det gule område) og tilstrømningspunkter til Østersøen langs kysten (orange punkter).



Figur 5-14 Målt og beregnet afstrømning (m^3/s) til Østersøen for 31 målte afstrømnings punkter i årene 2000-2010. Rød kurve er målt og blå kurve er beregnet.

Ved at skalere lufttemperatur og nedbør med de fundne klimaændringer beregner den Globale Hydrologiske Model afstrømning for det valgte klimascenarie. I Figur 5-15 er afstrømningen til Østersøen vist for både år 2019 og år 2100 (SSP2-4.5).



Figur 5-15 Afstrømning (m^3/s) til Østersøen for år 2019 (rød kurve) og 2100 (SSP2-4.5) (blå kurve).

Afstrømningen stiger pga. klimaændringer, og den årlige fordeling ændres, dvs. at den stiger i den kolde periode. I Tabel 5-3 er de gennemsnitlige ændringer for afstrømning, nedbør og potentiel fordampning vist.

Tabel 5-3 Ændring i afstrømning pga. klimaændringer.

Gennemsnit	Afstrømning [m^3/s]	Nedbør [mm]	Potent. fordampning [mm]
2019	13.788	710	601
2100	16.368	790	649
Forskel [%]	18,7	11,3	8

I Bilag A er ændringen i afstrømning vist for udvalgte stationer, samt ændringerne i snemagasiner og temperatur.

I Bilag A er der ligeledes vist en udvidet tabel med data for vandbalance beregningen. Denne viser at:

- Total afstrømning forventes i den betragtede periode at stige med 18.7% fra 13.788 m^3/s til 16.388 m^3/s .
- Målt på specifik afstrømning ($\text{mm}/\text{år}$) forventes en stigning fra 247,5 mm til 293,8 mm (46,3 mm stigning) fordelt ud over hele arealet.
- Nedbøren forventes at stige med 11,3 % fra 710 til 790 mm (80 mm stigning).
- Den potentielle fordampning forventes at stige med 8.0% fra 601 mm til 649 mm (48 mm).

- Den aktuelle fordampning forventes at stige med 7,4% fra 462 mm til 496 mm (34 mm).
- Beregnes vandbalancen for et helt år (specifik afstrømning = nedbør – fordampning) findes en god overensstemmelse med den beregnede afstrømning.
- Nedbørsandelen (q/P i %) forøges fra 35% i 2019 til 37% i 2100.
- Nedbørstigningen på 80 mm giver anledning til en stigning i afstrømning på 46 mm, hvilket svarer til at 57,5% af den forøgede nedbør.

Den beregnede stigning i afstrømning sammenholdt med stigningen i nedbør er i god overensstemmelse med hvad der er beregnet for andre oplande. En stigning af nedbøren giver normalt anledning til større stigning (i %) på afstrømning, idet den forøgede nedbør oftest tilføres magasiner, der er rimelig mættede og derved giver anledning til forøget afstrømning - sammenlignet med tomme magasiner som først skal nærme sig mætning før der kommer signifikant afstrømning.

Det skal bemærkes, at vandbalancen nødvendigvis ikke passer fra år til år, idet magasinindholdet generet fra et års nedbør i nogle tilfælde først ses i afstrømningen det følgende år (som for eksempel akkumuleret sne).

I Bilag A er detaljerede resultater fra NAM modellen fra 4 oplande for 2019 og 2100 vist. Dette inkluderer tidsserier for nedbør, aktuel og potentiel fordampning, afstrømning til floder fordelt på overlandflow, interflow og baseflow (figuren for afstrømning i 2100 inkluderer også tidsserier for simuleret afstrømning for 2019), relativt vandindhold i overflade magasin og rodzone samt temperatur >0 grader og sne magasiner.

5.9.9 Næringsstofftilførsler

Fremtidige næringsstofftilførsler er afhængige af en række faktorer, fx klimarelaterede ændringer i temperatur og nedbør og arealanvendelse, ikke mindst landbrugspraksis, herunder potentiel øgning af skovarealer, udtagning af lavbunds-jorde og implementering af vådområder. Dertil kommer at landbrugspraksis som sådan forventes at være anderledes om 50-100 år sammenlignet med i dag.

Der kan ikke udvikles scenarier, der forholder sig til politiske tiltag, som påvirker fx landbrugspraksis, men der kan udvikles scenarier, som kan beskrive de væsentligste effekter ved klimaændringer, herunder ændringer i afstrømning.

Af afsnit 5.9.8 fremgår, at afstrømningen stiger som funktion af klimaændringerne, samt at den årlige fordeling også ændres, så afstrømningen hovedsageligt stiger i vintermånederne. Ved at anvende tidsserier for de enkelte vandløb/floder/elve med uændrede nutids klimatiske månedskoncentrationer af næringsstoffer, tages der højde for de ændrede tilstrømninger, under antagelse af, at koncentrationer i de respektive oplande ikke ændres markant. Denne tilgang giver øget tilførsel med øget afstrømning uden usikre antagelser vedrørende specifikke dynamikker og arealanvendelser i oplandene og understøttes desuden af korrelationer mellem afstrømning og næringsstofftilførsler til Østersøen. For at udjævne eventuelt afvigende årlige belastninger anvendes kildespecifikke

tidsvarierende belastninger baseret på gennemsnit for perioden 2017-2021 (5 år).

Sammenhængene mellem ændret klima (herunder ændrede nedbørsmønstre) og atmosfærisk kvælstofdeposition er komplekse, og der er ikke noget entydigt svar på om ændret nedbør vil give ændret atmosfærisk kvælstofdeposition.

Til eksempel er oxideringen af NO og NO₂ stærkt afhængig af OH radikaler, der kræver sollys (som der må formodes at være mindre af i forbindelse med regnvejr). Helt generelt vil atmosfærekemien være ændret ved ændret klima, fx ligevægten mellem NH₃ og HNO₃ $\leftrightarrow$ NH₄NO₃, som er stærk temperaturafhængig, og derved bestemmende for om N er på gas- eller partikel / aerosol form.

Den atmosfæriske kvælstofdeposition holdes derfor uændret ift. reference året 2019.

6 Vurderingsgrundlag

6.1 Baggrund

Beskrivelsen af vurderingsgrundlaget har til formål at sikre en vurdering, der forholder sig kvalitativt til den identificerede påvirkning fra den aktuelle trafikforbindelse samt fra den række af infrastrukturprojekter, der kumulativt tages i betragtning i den gennemførte analyse. Derved skal det vurderes om infrastrukturprojekterne compromitterer målet om "langsigtet god miljøtilstand i havområdet".

Kapitlet omfatter:

- 1 Beskrivelse af relevante presfaktorer
- 2 Beskrivelse af scenarier
- 3 Beskrivelse af nødvendige og tilstrækkelige kvalitetselementer og deskriptorer, der skal indgå i vurderingen af påvirkningerne
- 4 Beskrivelse af en "transparent og forståelig" metode til vurdering af simuleringresultaterne.

De udvalgte infrastrukturprojekter, der er blevet eller aktuelt bliver undersøgt omfatter

- Tårs fremskudte færgehavn
- Kattegat forbindelsen
- Københavns stormflodssikring (Lynetteholm)
- Fyns-Als forbindelsen
- Østlig Ringvej

6.2 Relevante presfaktorer

Relevante presfaktorer omfatter:

- Infrastrukturprojekternes påvirkning af vandgennemstrømningen
- Klimaeffekter

Beregningerne gennemføres for det layout af den fremskudte havn, der giver størst påvirkning vandgennemstrømningen, og for de udvalgte infrastrukturprojekter tilsammen.

6.3 Anvendte modelscenarier

Til vurdering af blokeringen fra infrastrukturprojekter, betragtes to scenarier:

- Referencescenarie, dvs. uden den fremskudte havn og uden de planlagte udvalgte større infrastrukturprojekter, der er blevet eller aktuelt bliver undersøgt
- Scenarie med infrastrukturprojekterne.

Klimaeffekter vurderes ved klimascenarier, se kapitel 5, kombineret med modstanden fra den fremskudte færgehavn ved Tårs og de udvalgte større infrastrukturprojekter.

Til vurdering af klimaeffekter, betragtes fire scenarier:

- Referencescenarie, dvs. uden den fremskudte havn og de udvalgte større infrastrukturprojekter og uden klimaændringer
- Scenarie med den fremskudte havn og de udvalgte større infrastrukturprojekter og uden klimaændringer
- Scenarie uden den fremskudte havn og de udvalgte større infrastrukturprojekter og med klimaændringer
- Scenarie med den fremskudte havn og de udvalgte større infrastrukturprojekter og med klimaændringer.

Scenarierne udvides efterfølgende med en økologisk simulering. Modellen simulerer påvirkningen fra ændrede hydrografiske forhold på miljøforhold, baseret på udvalgte nøgleindikatorer.

Resultaterne fra de hydrografiske og økologiske scenarier udgør vurderingsgrundlaget, der sammen med de nødvendige og tilstrækkelige kvalitetselementer/deskriptorer og nøgleindikatorer, sikrer en vurdering der forholder sig kvalitativt til den identificerede påvirkning.

6.4 Valgte kvalitetselementer og deskriptorer

Nødvendige og tilstrækkelige kvalitetselementer/deskriptorer og nøgleindikatorer udvælges i overensstemmelse med gældende lovgivning og relevante direktiver.

Vurderingen vil således ske på grundlag af Havstrategidirektivet og Vandrammedirektivet, herunder:

- Havstrategidirektivets elleve deskriptorer
- Vandrammedirektivets tre kvalitetselementer og to understøttende kvalitetselementer.

Havstrategidirektivet¹ har til formål at fastholde eller etablere "god miljøtilstand" i alle europæiske havområder. Havstrategien for de danske havområder er udarbejdet på baggrund af EU's havstrategidirektiv, som er implementeret i dansk lov via Havstrategiloven, lov nr. 522 af 26. maj 2010. Havstrategien gælder for de havområder, der ikke er omfattet af miljømålsloven (vandramme-direktiv-områderne), hvilket generelt vil sige de havområder, som ligger uden for 1 sømil fra kysten (basislinjen). For alle aspekter, der ikke er omfattet af Vandrammedirektivet, gælder havstrategien dog også for forholdene inden for 1 sømil-grænsen.

De 11 deskriptorer er emner/faktorer, der beskriver væsentlige karakteristika for påvirkninger af havet og dets tilstand og omfatter følgende liste. Kun de for infrastrukturprojekter mest relevante deskriptorer vil blive belyst.

1. Biodiversitet
2. Ikke-hjemmehørende arter
3. Erhvervsmæssigt udnyttede fiskebestande
4. Havets fødenet
5. Eutrofiering
6. Havbundens integritet
7. Hydrografiske ændringer
8. Forurenende stoffer (Miljøfarlige stoffer)
9. Forurenende stoffer i fisk og skaldyr til konsum
10. Affald
11. Undervandsstøj

De 11 deskriptorer i havstrategidirektivet dækker både forhold, der beskriver miljø- og naturtilstanden, og påvirkningen fra menneskelige aktiviteter. EU-kommissionen har fastlagt de kriterier, der præciserer deskriptorerne i havstrategidirektivet.

Vandrammedirektivet (2000/60/EF) har til formål at tilvejebringe en god økologisk tilstand for grundvand, vandløb, søer og kystvande i alle EU-medlemslandene. Den praktiske gennemførelse af Vandrammedirektivet sker i Danmark gennem de statslige vandområdeplaner. Vandområdeplanerne² er

¹ Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2008/56/EF af 17. juni 2008 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets havmiljøpolitiske foranstaltninger Havstrategidirektivet; Danmarks Havstrategi II; 2018-2014 af 2008/56/

² Bekendtgørelse nr. 126 af 26. januar 2017 af lov om vandplanlægning. Fastlægger rammer for beskyttelse og forvaltning af overfladevand og grundvand.

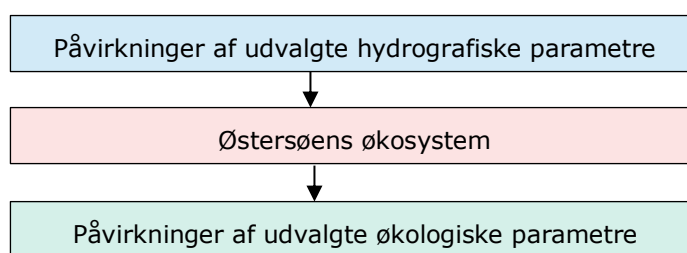
udarbejdet i henhold til Miljømålsloven, som implementerer Vandrammedirektivet i Danmark. Vandområdeplanerne gælder for de vandområder, der er omfattet af miljømålsloven (vandrammedirektivområderne).

For kystvande fastsættes den økologiske tilstand ud fra kvalitetselementerne fytoplankton (klorofyl), rodfæstede bundplanter (eks. ålegræs og vandaks) og bunddyr (benthiske invertebrater), herunder de understøttende kvalitetselementer iltforhold og vandets klarhed.

Vurderingsgrundlaget for de aktuelle infrastrukturprojekter ("langsigtet god miljøtilstand i havområdet") er hierarkisk, så relevante og systembærende deskriptorer (hydrografiske ændringer) og kvalitetselementer (fytoplankton (klorofyl), iltforhold og vandets klarhed) vurderes først og udfaldet heraf bestemmer omfanget af vurderingen af de resterende deskriptorer og kvalitetselementer.

Til eksempel vurderes potentielle ændringer i iltforhold, ved opgørelse af udbredelse (ha), hyppighed (frekvens) og varighed (timer/dage) af iltvindshændelser defineret ved iltkoncentrationer $<2 \text{ mg ilt L}^{-1}$ og $<4 \text{ mg ilt L}^{-1}$, baseret på de mest omfattende undersøgelser af effektive niveauer af lave iltspændinger³. Udfaldet af vurderingen af iltforhold, bestemmer således omfanget og afgrænsning af vurderingen af deskriptorerne Biodiversitet, Erhvervsmæssigt udnyttede fiskebestande, Havets fødenet og Havbundens integritet. Deskriptor 7. Hydrografiske ændringer vil ligeledes indgå i vurderingen. Udfaldsrummet i ændringer af fx saltholdighed og lagdelingens stabilitet opgøres kvantitativt for de beskrevne scenarier, og det vurderes om en eventuel ændring i hydrografi kan betragtes som signifikant.

Ændringerne af de hydrografiske parametre anvendes til at vurdere dem i forhold til deres påvirkning af økologien repræsenteret ved kvalitetselementer og deskriptorer, se Figur 6-1. Vurderingen gennemføres ved såvel modellering som ekspertvurderinger.



Figur 6-1 Illustration af vurderingsprocessen for de økologiske parametre. Vedr. forståelsen af økosystemet henvises til bl.a. Figur 2-1.

De til denne analyse udvalgte vurderingskriterier/indikatorer, til vurdering af potentiel påvirkning af miljøforhold baseret på de hydrografiske og økologiske simuleringer, fremgår af Tabel 6-1.

³ 19. Vaquer-Sunyer R & Duarte CM (2008) Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. PNAS 15(40): 15452–15457.

Tabel 6-1 Valgte indikatorer til vurdering af de biologiske/økologiske påvirkninger i en centrale Østersø.

Indikatorer	Vurderingskriterier
Saltholdighed i overfladen (‰)	Indikator for potentiel påvirkning af havmiljøet
Saltholdighed ved bunden (‰)	Indikator for potentiel påvirkning af havmiljøet
Lagdeling (‰)	Indikator for potentiel påvirkning af havmiljøet
Fytoplankton ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Koncentration i øvre vandmasser
Ilt i bundvandet (mg l^{-1})	Udbredelse, hyppighed og varighed af iltsvindshændelser defineret ved iltkoncentrationer $<2 \text{ mg l}^{-1}$ og $<4 \text{ mg l}^{-1}$
Vandets klarhed, Secchidybde (m)	$\pm 0,01$ (måles med $\pm 0,1 \text{ m}$ nøjagtighed – ca. 10% $\rightarrow 0,01 \text{ m}$)

6.5 Metode til vurdering af simuleringresultater

Følgende forhold er af særlig relevans i den foreliggende vurdering.

6.5.1 Fra acceptkriterie til sandsynlighedsfordeling

En simuleret, fremtidig tilstand af havet efter gennemførelse af et større infrastrukturprojekt bliver traditionelt sammenlignet med en referencetilstand, der forefindes inden et projekt gennemføres. Den således fundne tilstandsændring vurderes typisk i forhold til kriterier, der er specifikke for de aktuelt relevant kvalitetselementer eller deskriptorer. Sådanne kriterier kan være specifikke (overskridelseskriterier) eller kvalitative (f.eks. "ingen negativ effekt på en arts livsgrundlag"). Sådanne kriterier kan anvendes i stationære systemer, og i systemer, hvor en relativ sikker relation mellem påvirkning og miljøparameter kan opstilles ("dose-response" relationen).

I den foreliggende analyse foreligger de to grundlæggende antagelser ikke, idet Østersøens hydrografi og økosystem forandrer sig betydende på grund af forskellige andre påvirkninger (klimaændringer, næringsbelastning, overfiskeri, miljøfremmede stoffer, etc.). Tilstanden forventes i høj grad at være ikke-stationær og forandres progressivt, dvs. ikke kun lineært med tiden men derudover tiltagende.

Derudover kan kun få processer i Østersøen simuleres med acceptabel sikkerhed for rimelige tidslige afstande fremover. Processerne er desuden kendetegnet ved stor variabilitet. Resultaterne har derfor et relativt bredt udfaldsinterval. Derfor er det nødvendigt at behandle resultaterne ikke blot som enkelte tal, men som et interval i hvilket de forskellige værdier har deres specifikke sandsynlighed. At gå fra et enkelt tal til en sandsynlighedsfordeling repræsenterer et betydende metodisk skift. På denne måde nærmer miljøvurderingen sig en risikovurdering, som man kender fra bl.a. industrien.

Den foreliggende analyse vil derfor angive et udfaldsrum for forskellige parametre, som kan sammenlignes med udfaldsrummet, som andre processer vil give anledning til. Derudover kan udfaldsrummene sammenstilles med

kriterieværdier, for at illustrere hvordan den fremtidige udvikling vil påvirke de udvalgte kvalitetselementer og deskriptorer. Den slags påvirkningsfordelinger kan opstilles for situationen uden infrastrukturprojekter og for situationen med infrastrukturprojekter. Dermed kan projekternes påvirkning vurderes i forhold til, hvad der ellers sker med Østersøen. Derudover kan det vurderes, til hvilken grad forskellige projekialternativer vil ændre på udviklingen af Østersøens hydrografiske tilstande.

En veldefineret referencetilstand, som den er krævet i en traditionel miljøvurdering, kan ikke længere defineres på grund af klimaændringerne. En vurdering af et projekts virkning på miljøforholdene skal derfor tage hensyn til denne tidlige udvikling. Dermed taber tidligere anvendte faste kriterier relevans i takt med at miljøforholdene udvikler sig. Beslutningsprocessen ændres derfor mod, i hvilken grad udviklingen, der er styret af andre ydre kræfter, påvirkes af et givent projekt og om disse påvirkninger vil have en betydende virkning på kvalitetselementer og deskriptorer. Det særlige i nærværende vurderinger er dermed, at den sigter mod påvirkningen af en (dynamisk) udvikling. Tidligere vurderinger sigtede mod påvirkninger af en (stationære) tilstand.

6.5.2 Tidsperspektiv

Det kan forventes, at de her betragtede infrastrukturprojekter har en levetid på flere hundrede år. Ved vurdering af påvirkninger af Østersøen, der har en hydrografisk reaktionstid (opholdstid) på ca. 30 år, og hvor visse dele af økosystemet kan have en reaktionstid på op til flere hundrede år, er det afgørende at inddrage tidsperspektivet for klimaændringerne i vurderingen. Der henvises i øvrigt til kapitel 5.

Valget af året 2100 for fremtidsscenarierne er derfor kun en punktvis illustration af en ikke-lineær udvikling. Det påpeges, at der ved betragtning over længere perioder end til året 2100 bør inkluderes risikoen for pludselige dramatiske regimeskift.

6.5.3 Scenarie perspektiv

Alle modellerede IPCC-scenarier har en specifik sandsynlighed, om end det er svært at vurdere deres numeriske sandsynlighed objektivt. Af praktiske årsager kan kun ét scenarie simuleres med mekanistiske modeller i den nærværende analyse. At basere analysen på resultater af et enkelt scenarie vil derfor kun give en delvis beskrivelse af de forventede fremtidspåvirkninger med høj risiko for at give en utilstrækkelig prognose. Alle scenariers samlede udfaldsrum vil derfor resultere i et endnu bredere udfaldsrum for de udvalgte parametre. En sådan perspektivering af resultaterne af det udvalgte scenarie vil blive gennemført kvalitativt.

7 Referenceliste

- Bentzen, T.R., T. Larsen, M.R. Rasmussen, 2008: Wind effects on retention time in highway ponds. *Water Science & Technology* 57(11), 1713-1720.
- By & Havn, 2020: Anlæg af Lynetteholm. VVM – Teknisk Baggrundsrapport nr. 1. Hydrauliske undersøgelser. Udarbejdet for Udviklingsselskabet By og Havn I/S af DHI.
- Canal-Vergés, P., J.K. Petersen, E.K. Rasmussen, A. Erichsen, M.R. Flindt, 2016: Validating GIS tool to assess eelgrass potential recovery in the Limfjorden (Denmark). *Ecological Modelling* 338, 135-148.
- DHI, 2018: DKBS2. Hydrodynamic model setup and validation. Teknisk note udarbejdet af DHI (projekt nummer 11091910).
- DHI & COWI, 2024: Ingeniørvurdering af layout.
- DMI, 2024: Klimaatlas. [Data i Klimaatlas | DMI](#).
- Edelvang, K., H. Kaas, A.C. Erichsen, D. Alvarez-Berastegui, K. Bundgaard, P.V. Jørgensen, 2005: Numerical modelling of phytoplankton biomass in coastal waters. *Journal of Marine Systems* 57(1-2), 13-29.
- European Environment Agency, 2023: European sea surface temperature. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/european-sea-surface-temperature>. Publiceret 29 juni 2023.
- Flindt, M.R., E.K. Rasmussen, T. Valdemarsen, A. Erichsen, H. Kaas, P. Canal-Vergés, 2016: Using a GIS-tool to evaluate potential eelgrass reestablishment in estuaries *Ecological Modelling* 338, 122-134.
- HOFOR, 2021: Aflandshage / Nordre Flint Vindmøllepark. Baggrundsrapport for kystmorfologi, klapning, hydraulik mv. Udarbejdet for HOFOR Vind A/S af NIRAS.
- Jacobsen, T.S., 1980: The Belt Project. Sea water exchange of the Baltic. Measurements and methods. The National Agency of Environmental Protection, Denmark. ISBN 87-503-3532-4.
- Jakobsen, Fl., J.S. Møller, 1996: Transporten gennem Lillebælt (in Danish). *Vand & Jord*, No. 6, pp. 252, 253 & 259.
- KD & DMI (2024): Delundersøgelse af sikringsniveauer for stormflodssikring af København. Arbejdsgruppe Sikringsniveauer. Udarbejdet af Kystdirektoratet med bidrag fra Danmarks Meteorologiske Institut. Februar 2024.
- Lillebælt Vind, 2023: Lillebælt Syd Vindmøllepark. Miljøkonsekvensrapport for vindmøllepark til havs. Bilag F1 Hydrografi og Vandkvalitet. Udarbejdet for Lillebælt Vind A/S af COWI.

- McLavery, C., O.R. Eigaard, J. Olsen, M.E. Brooks, J.K. Petersen, A.C. Erichsen, K.v.d. Reijden, G.E. Dinesen, 2023: European coastal monitoring programmes may fail to identify impacts on benthic macrofauna caused by bottom trawling. *Journal of Environmental Management* 334.
- Murray, A.M., Jørgensen, G.H., Godiksen, P.N., Anthonj, J., & Madsen, H. (2023). DHI-GHM: Real-time and forecasted hydrology for the entire planet. *Journal of Hydrology*, 620, Part A, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129431>.
- Pastor, A., P. Mariani, A.C. Erichsen, F.T. Hansen, J.L.S. Hansen (2018) Modeling dispersal and spatial connectivity of macro-invertebrates in Danish waters: An agent-based approach. *Regional Studies in Marine Science* 20, 45-59.
- Pedersen, F.B., Møller, J.S., 1981: Diversion of the River Neva How will it Influence the Baltic Sea, the Belts and Kattegat. *Nordic Hydrology*, 12, 1981, 1-20.
- Rungsted Havn, 2024: Strømningsmodstand fra udvidelse af Rungsted Havn. Udarbejdet for Rungsted Havn af DHI.
- Sund & Bælt, 2018: Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs. Udarbejdet for Sund & Bælt Holding A/S af COWI.
- Sund & Bælt, 2022: Forundersøgelse af en Kattegatforbindelse, kyst-kyst. Miljøundersøgelser - vej. Udarbejdet for Sund & Bælt Holding A/S af Rambøll.
- Sund & Bælt, 2024A: Hydrografisk undersøgelse af Als-Fyn forbindelsen. Beregning af gennemstrømningsmindskelsen for en bro- og for en bro-ø-tunnel løsning. Udarbejdet for Sund & Bælt Holding A/S af DHI.
- Sund & Bælt, 2024B: Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs. Afgrænsningsnotat. Udarbejdet for Sund & Bælt Holding A/S af COWI og DHI.
- SVEA HOVRÄTT (2024) DOM dateret 2024-01-26. Mål nr. M 2327-22.

Bilag A Klimafaktorer

A.1 Temperatur - Landområder

Temperatur [deg. C] / Landområder / 2050 / ssp1_2_6								
	1	2_1	2_2	3	4	5_1	5_2	6
Jan	1.03	1.11	1.88	1.10	1.01	1.07	0.50	0.99
Feb	1.48	1.34	1.62	0.86	0.78	1.53	0.46	1.18
Mar	0.70	1.25	1.06	0.53	0.74	0.58	0.54	0.40
Apr	0.27	0.84	0.45	0.93	0.67	0.74	0.48	0.57
Maj	0.89	0.93	0.49	0.84	0.72	0.50	0.59	0.09
Jun	0.10	0.07	-0.18	0.70	0.53	-0.08	0.31	0.08
Jul	0.35	0.15	0.15	0.46	0.35	0.11	0.37	0.06
Aug	0.54	0.26	0.14	0.45	0.54	0.19	0.60	0.23
Sep	0.52	0.17	0.37	0.46	0.42	0.24	0.56	0.31
Okt	1.34	0.84	0.61	0.94	0.71	0.44	0.57	0.40
Nov	2.81	2.10	1.68	1.82	0.91	0.88	0.66	0.58
Dec	2.33	2.46	2.56	1.89	1.11	1.15	0.48	0.68
Avg	1.03	0.96	0.90	0.91	0.71	0.61	0.51	0.46
Std	0.84	0.76	0.85	0.49	0.23	0.48	0.10	0.36

Temperatur [deg. C] / Landområder / 2050 / ssp2_4_5								
	1	2_1	2_2	3	4	5_1	5_2	6
Jan	2.64	2.50	2.83	1.66	0.96	2.10	0.82	1.61
Feb	2.53	2.65	2.18	1.82	1.05	1.82	1.04	1.55
Mar	1.46	1.75	2.27	0.85	0.81	1.65	0.76	1.59
Apr	1.15	1.34	1.54	0.84	0.82	1.44	0.69	1.20
Maj	0.91	1.38	0.45	0.85	0.74	0.89	0.75	0.79
Jun	0.57	0.92	0.30	1.08	0.82	0.64	0.55	0.58
Jul	0.58	0.52	0.37	0.57	0.67	0.71	0.75	0.81
Aug	0.26	0.37	0.25	0.61	0.91	0.59	0.93	0.81
Sep	0.61	0.30	0.41	0.78	0.90	0.59	1.18	0.78
Okt	1.28	0.88	1.01	0.91	0.92	0.89	0.80	0.86
Nov	2.13	1.61	1.67	1.40	1.07	0.90	0.80	0.76
Dec	2.76	3.30	3.29	2.67	1.10	2.21	1.15	1.55
Avg	1.41	1.46	1.38	1.17	0.90	1.20	0.85	1.07
Std	0.89	0.96	1.07	0.62	0.13	0.61	0.19	0.40

Temperatur [deg. C] / Landområder / 2050 / ssp3_7_0								
	1	2_1	2_2	3	4	5_1	5_2	6
Jan	4.17	3.68	4.34	1.91	1.08	3.14	1.10	2.63
Feb	2.97	3.33	2.52	2.26	1.52	2.87	1.47	2.41
Mar	1.51	1.47	2.15	0.84	0.62	1.46	0.73	1.51
Apr	1.63	2.12	1.51	1.11	0.77	1.52	0.84	0.97
Maj	1.40	1.29	0.87	0.93	0.70	0.97	0.72	0.59
Jun	0.47	0.60	0.44	0.90	0.66	0.52	0.68	0.63
Jul	0.92	0.81	0.74	1.03	1.04	0.67	1.02	1.01
Aug	1.13	0.55	0.50	0.85	1.18	0.88	1.29	1.01
Sep	0.56	0.56	0.53	0.81	0.85	0.60	1.06	0.81
Okt	1.98	1.31	1.05	1.15	0.70	0.63	0.76	0.67
Nov	3.00	1.90	1.87	1.54	0.79	0.94	0.75	0.76
Dec	3.52	4.29	3.58	2.66	1.33	2.21	1.13	1.62
Avg	1.94	1.83	1.68	1.33	0.94	1.37	0.96	1.22
Std	1.21	1.29	1.28	0.62	0.29	0.91	0.26	0.69

Temperatur [deg. C] / Landområder / 2100 / ssp1_2_6								
	1	2_1	2_2	3	4	5_1	5_2	6
Jan	2.01	1.90	2.43	1.61	1.12	1.90	0.76	1.57
Feb	1.38	1.16	1.94	0.86	0.51	1.36	0.63	1.25
Mar	1.23	1.50	1.54	1.16	0.66	1.57	0.70	1.22
Apr	1.42	2.04	1.30	1.11	1.04	1.43	1.02	0.96
Maj	0.82	1.34	0.17	0.86	0.75	0.38	0.75	0.23
Jun	0.40	0.58	0.04	0.98	0.82	0.36	0.67	0.40
Jul	0.47	0.31	0.39	0.49	0.97	0.66	0.86	0.72
Aug	0.25	0.30	0.18	0.63	0.96	0.44	1.01	0.59
Sep	0.84	0.46	0.57	0.84	0.80	0.46	0.91	0.67
Okt	1.09	0.64	0.44	0.87	0.65	0.33	0.54	0.37
Nov	3.80	2.78	2.61	1.95	1.00	1.24	0.79	0.73
Dec	3.01	2.75	2.91	1.99	1.37	1.41	0.94	1.25
Avg	1.39	1.31	1.21	1.11	0.89	0.96	0.80	0.83
Std	1.07	0.90	1.05	0.49	0.24	0.57	0.15	0.42

Temperatur [deg. C] / Landområder / 2100 / ssp2_4_5								
	1	2_1	2_2	3	4	5_1	5_2	6
Jan	6.57	5.63	6.85	3.15	1.59	5.00	1.38	4.05
Feb	4.16	4.65	4.12	3.24	2.14	4.53	1.72	3.67
Mar	3.08	3.77	4.06	2.46	1.89	3.47	1.58	2.92
Apr	2.32	2.36	3.26	2.09	1.81	2.97	1.69	2.28
Maj	2.71	2.55	2.33	2.09	1.52	2.00	1.44	1.81
Jun	1.59	1.57	1.27	1.73	1.47	1.36	1.38	1.46
Jul	1.39	1.49	1.07	1.61	1.76	1.48	1.74	1.69
Aug	1.81	1.80	1.51	1.79	1.76	1.87	2.10	1.98
Sep	2.23	1.78	1.86	1.68	1.70	1.76	1.72	1.74
Okt	2.53	1.80	2.28	2.04	1.77	1.91	1.82	1.82
Nov	4.63	3.41	3.54	2.47	1.52	2.15	1.53	1.83
Dec	6.21	6.24	6.26	4.39	2.15	4.09	1.86	2.83
Avg	3.27	3.09	3.20	2.40	1.76	2.72	1.66	2.34
Std	1.75	1.65	1.88	0.83	0.22	1.26	0.21	0.84

Temperatur [deg. C] / Landområder / 2100 / ssp3_7_0								
	1	2_1	2_2	3	4	5_1	5_2	6
Jan	8.29	7.28	9.15	4.88	2.75	5.93	2.45	4.82
Feb	7.32	7.26	7.30	4.78	2.64	6.21	2.80	5.32
Mar	5.10	5.03	5.90	3.57	2.96	4.62	2.67	4.39
Apr	3.58	3.79	5.03	2.82	2.51	3.60	2.44	3.33
Maj	3.45	3.08	3.26	3.23	2.35	2.62	2.33	2.61
Jun	3.58	2.97	3.11	2.74	2.37	2.61	2.51	2.54
Jul	3.24	3.22	3.27	3.12	3.19	2.82	3.16	2.78
Aug	2.84	2.78	2.77	2.47	2.56	2.73	2.84	2.78
Sep	4.06	3.62	3.47	3.19	3.01	3.03	2.94	3.00
Okt	4.17	3.56	4.05	3.46	2.94	3.22	2.90	3.32
Nov	7.54	5.70	6.17	4.64	3.07	3.70	2.74	2.95
Dec	7.99	6.90	8.33	4.94	3.11	5.41	2.90	3.98
Avg	5.10	4.60	5.15	3.65	2.79	3.88	2.72	3.49
Std	2.07	1.75	2.20	0.91	0.30	1.33	0.25	0.93

A.2 Nedbør - Landområder

Nedbør []/ Landområder / 2050 / ssp1_2_6								
	1	2_1	2_2	3	4	5_1	5_2	6
Jan	0.98	1.03	1.00	1.06	1.07	1.14	1.08	1.06
Feb	1.03	0.99	1.02	0.99	1.02	1.09	0.98	1.02
Mar	1.00	0.99	0.98	1.02	1.05	1.08	1.06	1.09
Apr	1.03	1.08	1.07	1.06	1.05	1.12	1.06	1.06
Maj	1.07	1.09	1.03	1.08	1.08	1.04	1.08	1.00
Jun	1.03	1.00	1.02	1.04	1.03	1.03	1.04	1.04
Jul	1.08	1.06	1.02	1.05	1.03	1.05	1.03	1.00
Aug	1.10	1.11	1.05	1.07	1.03	1.07	1.05	1.00
Sep	1.10	1.07	1.05	1.08	1.04	1.06	1.01	0.99
Okt	1.05	1.03	1.03	1.04	1.05	1.04	1.01	1.02
Nov	1.04	1.07	1.01	1.06	1.08	1.08	1.03	1.07
Dec	1.11	1.06	1.09	1.06	1.04	1.08	1.05	1.06
Avg	1.05	1.05	1.03	1.05	1.05	1.07	1.04	1.03
Std	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03

Nedbør []/ Landområder / 2050 / ssp2_4_5								
	1	2_1	2_2	3	4	5_1	5_2	6
Jan	1.04	1.08	1.11	1.08	1.03	1.08	1.05	1.09
Feb	1.08	1.07	1.11	1.08	1.04	1.01	1.01	1.06
Mar	1.08	1.05	1.10	1.06	1.10	1.07	1.11	1.08
Apr	1.09	1.07	1.10	1.07	1.02	1.08	1.01	1.06
Maj	1.05	1.09	1.09	1.08	1.06	1.03	1.05	1.02
Jun	1.00	0.98	1.02	1.02	0.98	1.02	0.99	1.03
Jul	1.04	1.04	1.03	1.07	1.08	1.09	1.07	1.05
Aug	1.11	1.12	1.04	1.09	1.07	1.09	1.01	1.03
Sep	1.11	1.08	1.04	1.09	1.00	1.07	1.00	1.00
Okt	1.09	1.00	1.02	1.05	1.04	1.03	1.02	1.02
Nov	1.12	1.09	1.07	1.07	1.03	1.13	1.04	1.11
Dec	1.14	1.09	1.09	1.07	1.05	1.09	1.06	1.10
Avg	1.08	1.06	1.07	1.07	1.04	1.07	1.03	1.05
Std	0.04	0.04	0.04	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04

Nedbør []/ Landområder / 2050 / ssp3_7_0								
	1	2_1	2_2	3	4	5_1	5_2	6
Jan	1.05	1.04	1.20	1.07	1.01	1.06	1.02	1.07
Feb	1.13	1.17	1.09	1.11	1.09	1.09	1.08	1.07
Mar	1.07	1.06	1.08	1.03	1.05	1.05	1.09	1.10
Apr	1.00	1.05	1.03	1.03	1.04	0.98	1.02	1.02
Maj	1.10	1.07	1.03	1.01	0.93	0.95	0.98	0.99
Jun	1.04	0.99	0.99	1.09	0.99	1.00	1.04	0.98
Jul	1.03	1.09	0.99	1.06	1.04	0.98	1.02	0.97
Aug	1.15	1.13	1.14	1.07	1.02	1.10	0.99	1.02
Sep	1.08	0.99	1.09	1.01	0.99	0.98	0.94	0.98
Okt	1.07	1.03	1.06	1.03	1.04	1.05	1.01	1.05
Nov	1.12	1.08	1.11	1.08	1.08	1.11	1.09	1.10
Dec	1.24	1.13	1.17	1.07	1.01	1.18	1.06	1.15
Avg	1.09	1.07	1.08	1.05	1.02	1.05	1.03	1.04
Std	0.07	0.06	0.07	0.03	0.04	0.07	0.05	0.06

Nedbør []/ Landområder / 2100 / ssp1_2_6								
	1	2_1	2_2	3	4	5_1	5_2	6
Jan	1.01	1.05	1.00	1.06	1.06	1.05	1.07	1.03
Feb	1.14	1.08	1.06	1.10	1.07	1.08	1.03	1.03
Mar	1.13	1.09	1.14	1.08	1.07	1.14	1.07	1.13
Apr	1.08	1.09	1.16	1.04	1.05	1.16	1.04	1.11
Maj	1.11	1.10	1.08	1.08	1.07	1.07	1.07	1.07
Jun	1.01	1.01	0.96	1.03	0.99	0.98	1.00	0.97
Jul	1.05	1.04	1.01	1.08	1.09	1.08	1.05	0.99
Aug	1.07	1.11	1.08	1.07	1.04	1.10	1.01	1.04
Sep	1.13	1.09	1.03	1.06	1.03	1.07	1.00	1.03
Okt	1.08	1.01	1.03	1.06	1.05	1.03	1.04	1.07
Nov	1.12	1.13	1.06	1.11	1.06	1.13	1.06	1.08
Dec	1.10	1.11	1.03	1.10	1.07	1.07	1.09	1.06
Avg	1.09	1.08	1.05	1.07	1.05	1.08	1.04	1.05
Std	0.04	0.04	0.06	0.02	0.02	0.05	0.03	0.04

Nedbør []/ Landområder / 2100 / ssp2_4_5								
	1	2_1	2_2	3	4	5_1	5_2	6
Jan	1.16	1.06	1.18	1.12	1.06	1.16	1.09	1.16
Feb	1.15	1.12	1.14	1.19	1.08	1.22	1.08	1.15
Mar	1.13	1.07	1.11	1.17	1.14	1.15	1.15	1.15
Apr	1.08	1.16	1.16	1.13	1.05	1.18	1.09	1.13
Maj	1.17	1.19	1.14	1.11	1.05	1.12	1.06	1.11
Jun	1.10	1.01	1.06	1.05	1.02	1.03	1.06	1.02
Jul	1.11	1.05	1.07	1.11	1.08	1.05	1.06	1.04
Aug	1.16	1.14	1.10	1.11	1.07	1.07	1.07	1.04
Sep	1.20	1.16	1.14	1.11	1.04	1.14	1.02	1.10
Okt	1.15	1.09	1.10	1.09	1.08	1.11	1.10	1.09
Nov	1.17	1.12	1.08	1.15	1.12	1.22	1.11	1.16
Dec	1.25	1.17	1.16	1.19	1.14	1.20	1.13	1.15
Avg	1.15	1.11	1.12	1.13	1.08	1.14	1.08	1.11
Std	0.05	0.06	0.04	0.04	0.04	0.06	0.04	0.05

Nedbør []/ Landområder / 2100 / ssp3_7_0								
	1	2_1	2_2	3	4	5_1	5_2	6
Jan	1.26	1.13	1.25	1.16	1.09	1.09	1.08	1.11
Feb	1.26	1.12	1.27	1.16	1.12	1.14	1.11	1.15
Mar	1.26	1.20	1.30	1.15	1.12	1.23	1.15	1.32
Apr	1.35	1.29	1.29	1.18	1.12	1.22	1.11	1.20
Maj	1.26	1.22	1.18	1.17	1.08	1.12	1.07	1.05
Jun	1.22	1.13	1.02	1.15	0.99	1.02	1.08	1.03
Jul	1.14	1.13	1.12	1.09	1.08	1.05	1.11	1.03
Aug	1.34	1.25	1.33	1.22	1.10	1.14	1.08	1.13
Sep	1.22	1.15	1.21	1.10	1.08	1.14	1.03	1.17
Okt	1.45	1.37	1.26	1.22	1.11	1.22	1.11	1.23
Nov	1.44	1.34	1.36	1.24	1.20	1.34	1.19	1.27
Dec	1.44	1.37	1.29	1.30	1.14	1.29	1.24	1.22
Avg	1.30	1.23	1.24	1.18	1.10	1.17	1.11	1.16
Std	0.10	0.10	0.10	0.06	0.05	0.09	0.06	0.09

A.3 Temperatur - Vandområder

Temperatur [deg. C] / Vandområder / 2050 / ssp1_2_6						
	1	2	3	4	5	6
Jan	1.16	1.33	1.21	1.16	0.71	0.70
Feb	1.40	1.31	0.91	1.66	1.05	0.75
Mar	1.18	1.06	0.79	1.29	0.89	0.69
Apr	0.63	1.01	0.92	1.09	0.78	0.48
Maj	0.80	0.95	0.98	0.67	0.49	0.20
Jun	0.06	-0.09	0.50	-0.05	0.13	0.22
Jul	0.29	0.17	0.43	-0.03	0.04	0.20
Aug	0.53	0.20	0.29	0.25	0.33	0.32
Sep	0.47	0.21	0.25	0.37	0.33	0.32
Okt	1.18	0.62	0.81	0.74	0.59	0.49
Nov	2.85	1.78	1.87	1.26	0.91	0.55
Dec	2.90	2.24	2.08	1.92	1.07	0.54
Avg	1.12	0.90	0.92	0.86	0.61	0.45
Std	0.91	0.71	0.57	0.64	0.35	0.20

Temperatur [deg. C] / Vandområder / 2050 / ssp2_4_5						
	1	2	3	4	5	6
Jan	2.67	2.59	1.93	1.80	1.51	1.19
Feb	2.93	2.57	2.01	2.10	1.62	1.28
Mar	1.82	2.16	0.95	1.37	1.13	1.24
Apr	1.62	1.83	0.96	1.56	1.32	1.07
Maj	1.16	1.38	1.18	1.09	0.99	0.78
Jun	0.64	0.79	1.13	0.99	0.77	0.61
Jul	0.51	0.51	0.47	0.62	0.78	0.76
Aug	0.23	0.38	0.62	0.58	0.68	0.77
Sep	0.31	0.23	0.50	0.57	0.71	0.78
Okt	1.08	0.82	0.85	0.75	0.84	0.87
Nov	1.95	1.45	1.60	1.12	1.06	0.71
Dec	3.24	3.30	3.33	2.70	1.93	1.05
Avg	1.51	1.50	1.29	1.27	1.11	0.92
Std	1.04	1.00	0.82	0.67	0.40	0.23

Temperatur [deg. C] / Vandområder / 2050 / ssp3_7_0						
	1	2	3	4	5	6
Jan	4.85	4.30	2.31	2.42	2.07	2.13
Feb	3.30	3.69	2.91	3.16	2.41	2.14
Mar	1.69	2.03	0.86	1.33	1.11	1.43
Apr	1.85	2.46	1.19	1.72	1.40	0.96
Maj	1.59	1.02	1.54	1.11	0.99	0.67
Jun	0.36	0.48	0.70	0.41	0.60	0.73
Jul	0.84	0.88	1.05	0.77	0.77	1.04
Aug	1.00	0.50	0.74	0.87	0.99	1.11
Sep	0.59	0.55	0.60	0.55	0.70	0.91
Okt	1.73	1.13	1.15	0.77	0.71	0.72
Nov	2.53	1.81	1.58	1.46	1.03	0.74
Dec	3.99	4.18	3.39	2.61	1.80	1.21
Avg	2.03	1.92	1.50	1.43	1.21	1.15
Std	1.40	1.44	0.91	0.88	0.59	0.51

Temperatur [deg. C] / Vandområder / 2100 / ssp1_2_6						
	1	2	3	4	5	6
Jan	2.25	1.95	1.70	1.32	1.47	1.22
Feb	1.47	1.48	0.56	1.02	1.00	1.01
Mar	1.34	1.47	1.55	1.41	1.21	1.05
Apr	1.67	2.09	1.12	1.51	1.22	0.98
Maj	0.93	1.23	1.08	0.78	0.55	0.41
Jun	0.46	0.41	1.01	0.59	0.53	0.56
Jul	0.35	0.39	0.35	0.58	0.71	0.83
Aug	0.28	0.30	0.52	0.56	0.71	0.79
Sep	0.77	0.41	0.59	0.53	0.66	0.69
Okt	0.88	0.45	0.57	0.38	0.45	0.43
Nov	3.67	2.81	2.00	1.41	1.09	0.70
Dec	2.98	2.72	2.19	2.32	1.45	0.96
Avg	1.42	1.31	1.10	1.04	0.92	0.80
Std	1.07	0.93	0.63	0.57	0.37	0.25

Temperatur [deg. C] / Vandområder / 2100 / ssp2_4_5						
	1	2	3	4	5	6
Jan	6.55	6.47	3.65	3.66	3.00	2.69
Feb	4.38	4.90	3.73	4.24	3.62	3.32
Mar	3.31	4.22	2.88	3.37	2.81	2.74
Apr	2.57	3.21	2.37	2.89	2.67	2.25
Maj	2.68	2.60	2.76	2.13	2.04	1.72
Jun	1.63	1.45	1.71	1.50	1.42	1.60
Jul	1.34	1.31	1.58	1.60	1.58	1.84
Aug	1.82	1.72	1.77	1.84	1.94	2.03
Sep	1.90	1.73	1.69	1.78	1.74	1.87
Okt	2.07	1.73	2.04	2.00	2.00	1.83
Nov	4.24	3.28	2.81	2.46	2.02	1.78
Dec	6.38	6.10	5.11	4.63	3.33	2.21
Avg	3.24	3.23	2.68	2.68	2.35	2.16
Std	1.79	1.82	1.07	1.07	0.72	0.52

Temperatur [deg. C] / Vandområder / 2100 / ssp3_7_0						
	1	2	3	4	5	6
Jan	8.15	7.56	5.66	5.49	4.18	3.56
Feb	7.34	7.39	5.31	5.20	5.13	4.71
Mar	5.62	5.88	4.07	4.00	3.85	4.29
Apr	3.29	4.48	3.22	3.65	3.42	3.39
Maj	3.17	3.12	3.54	2.61	2.63	2.74
Jun	3.29	2.84	2.75	2.37	2.53	2.56
Jul	3.32	3.23	3.08	3.21	3.06	3.02
Aug	2.85	2.71	2.50	2.63	2.71	2.85
Sep	3.95	3.60	3.20	3.19	3.06	2.92
Okt	3.88	3.65	3.55	3.07	3.19	3.27
Nov	6.99	5.81	4.82	4.34	3.53	2.83
Dec	7.89	7.27	5.54	5.38	4.37	3.33
Avg	4.98	4.79	3.94	3.76	3.47	3.29
Std	2.07	1.88	1.12	1.12	0.79	0.64

A.4 Nedbør - Vandområder

Nedbør []/ Vandområder / 2050 / ssp1_2_6						
	1	2	3	4	5	6
Jan	0.99	1.00	1.06	1.05	1.10	1.07
Feb	0.97	1.01	1.04	1.05	1.02	1.01
Mar	0.99	1.03	1.05	1.07	1.06	1.08
Apr	1.09	1.09	1.05	1.06	1.08	1.06
Maj	1.09	1.09	1.09	1.08	1.05	1.01
Jun	0.97	0.97	1.00	1.00	0.99	1.06
Jul	1.09	1.03	1.02	1.05	1.03	0.99
Aug	1.13	1.09	1.11	1.05	1.03	1.00
Sep	1.09	1.05	1.06	1.01	1.03	0.98
Okt	1.01	0.97	1.02	1.01	1.02	1.03
Nov	1.04	1.03	1.05	1.04	1.04	1.07
Dec	1.08	1.04	1.09	1.05	1.06	1.05
Avg	1.05	1.03	1.05	1.04	1.04	1.03
Std	0.06	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03

Nedbør []/ Vandområder / 2050 / ssp2_4_5						
	1	2	3	4	5	6
Jan	1.06	1.06	1.09	1.07	1.07	1.05
Feb	1.06	1.05	1.14	1.04	1.02	1.06
Mar	1.08	1.06	1.08	1.10	1.10	1.11
Apr	1.03	1.10	1.08	1.05	1.02	1.04
Maj	1.09	1.11	1.08	1.08	1.03	1.05
Jun	0.98	0.98	0.98	0.96	0.99	1.02
Jul	1.06	1.06	1.08	1.07	1.04	1.03
Aug	1.10	1.12	1.08	1.05	1.06	1.03
Sep	1.07	1.07	1.09	0.99	1.00	1.01
Okt	1.03	0.99	1.05	1.00	1.00	1.02
Nov	1.11	1.09	1.06	1.07	1.12	1.12
Dec	1.10	1.12	1.11	1.09	1.09	1.11
Avg	1.06	1.07	1.08	1.05	1.05	1.05
Std	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04

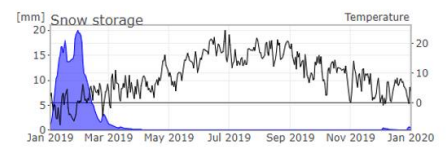
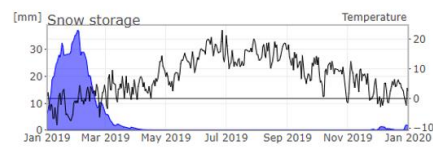
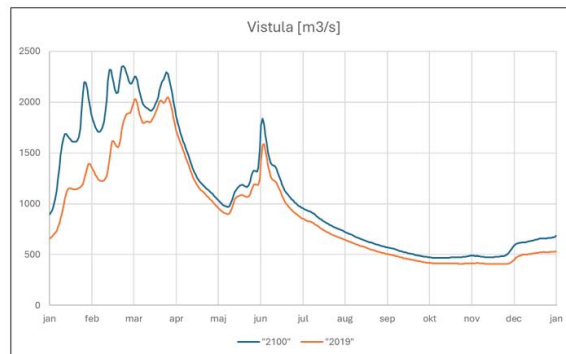
Nedbør []/ Vandområder / 2050 / ssp3_7_0						
	1	2	3	4	5	6
Jan	1.08	1.06	1.11	1.11	1.04	1.03
Feb	1.14	1.12	1.11	1.10	1.09	1.06
Mar	1.04	1.09	1.09	1.10	1.08	1.10
Apr	1.00	1.07	1.00	1.07	1.00	1.04
Maj	1.16	1.05	1.04	1.00	1.00	1.02
Jun	1.08	0.98	1.06	0.95	0.98	0.97
Jul	1.05	1.04	1.08	1.04	0.99	0.96
Aug	1.20	1.13	1.06	1.03	1.06	1.00
Sep	1.09	1.01	0.98	0.90	0.96	1.00
Okt	1.08	1.00	0.98	1.01	1.04	1.04
Nov	1.14	1.09	1.11	1.05	1.12	1.07
Dec	1.17	1.13	1.12	1.07	1.14	1.11
Avg	1.10	1.06	1.06	1.04	1.04	1.03
Std	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05

Nedbør []/ Vandområder / 2100 / ssp1_2_6						
	1	2	3	4	5	6
Jan	0.98	1.00	1.05	1.05	1.02	1.03
Feb	1.09	1.04	1.13	1.03	1.05	1.02
Mar	1.13	1.09	1.12	1.10	1.13	1.11
Apr	1.05	1.10	1.05	1.03	1.10	1.09
Maj	1.13	1.10	1.10	1.06	1.06	1.06
Jun	0.98	0.96	1.01	0.98	0.98	0.99
Jul	1.04	1.05	1.05	1.10	1.07	1.01
Aug	1.09	1.09	1.08	1.03	1.05	1.01
Sep	1.07	1.06	1.06	0.97	1.04	1.03
Okt	1.02	1.00	1.03	1.02	1.04	1.06
Nov	1.13	1.09	1.10	1.09	1.08	1.08
Dec	1.10	1.07	1.10	1.11	1.11	1.06
Avg	1.07	1.05	1.07	1.05	1.06	1.05
Std	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04

Nedbør []/ Vandområder / 2100 / ssp2_4_5						
	1	2	3	4	5	6
Jan	1.14	1.13	1.06	1.10	1.11	1.14
Feb	1.13	1.15	1.22	1.13	1.13	1.12
Mar	1.09	1.10	1.22	1.20	1.13	1.16
Apr	1.13	1.21	1.16	1.12	1.09	1.13
Maj	1.17	1.20	1.14	1.10	1.10	1.12
Jun	1.04	1.05	1.06	1.02	1.03	1.04
Jul	1.13	1.08	1.08	1.14	1.04	0.99
Aug	1.19	1.14	1.13	1.09	1.07	1.03
Sep	1.16	1.11	1.08	1.02	1.07	1.09
Okt	1.12	1.09	1.06	1.08	1.10	1.09
Nov	1.10	1.17	1.13	1.18	1.17	1.19
Dec	1.15	1.18	1.20	1.19	1.15	1.15
Avg	1.13	1.14	1.13	1.11	1.10	1.10
Std	0.04	0.05	0.06	0.06	0.04	0.06

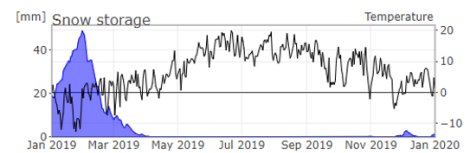
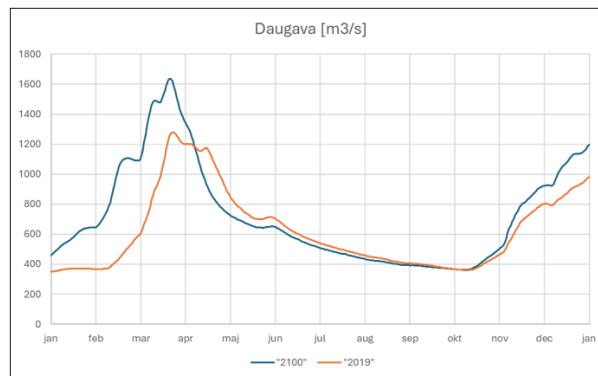
Nedbør []/ Vandområder / 2100 / ssp3_7_0						
	1	2	3	4	5	6
Jan	1.17	1.16	1.18	1.09	1.06	1.10
Feb	1.14	1.21	1.25	1.17	1.12	1.13
Mar	1.20	1.30	1.22	1.22	1.17	1.27
Apr	1.34	1.34	1.29	1.26	1.22	1.19
Maj	1.23	1.17	1.16	1.09	1.11	1.06
Jun	1.07	1.09	1.07	1.01	1.02	1.04
Jul	1.14	1.08	1.05	1.11	1.08	1.02
Aug	1.26	1.17	1.14	1.15	1.14	1.12
Sep	1.20	1.18	1.07	1.08	1.13	1.17
Okt	1.39	1.29	1.14	1.14	1.18	1.18
Nov	1.37	1.32	1.21	1.25	1.31	1.23
Dec	1.46	1.30	1.36	1.30	1.29	1.18
Avg	1.25	1.22	1.18	1.16	1.15	1.14
Std	0.12	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08

A.5 Afstrømning



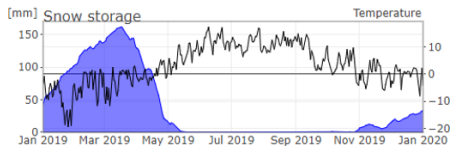
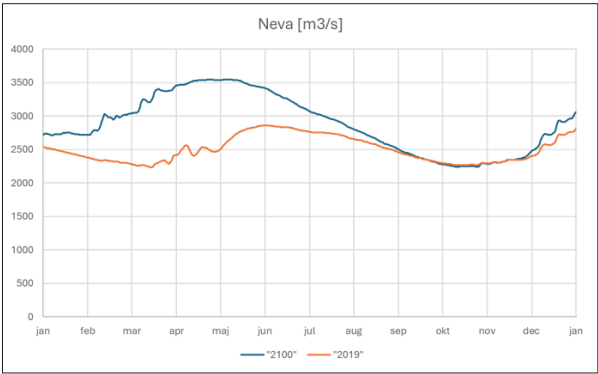
2019

2100

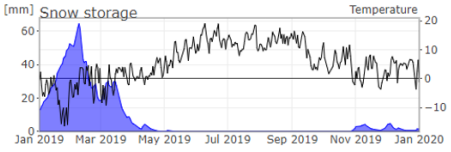


2019

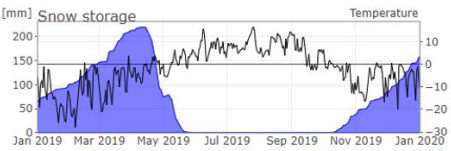
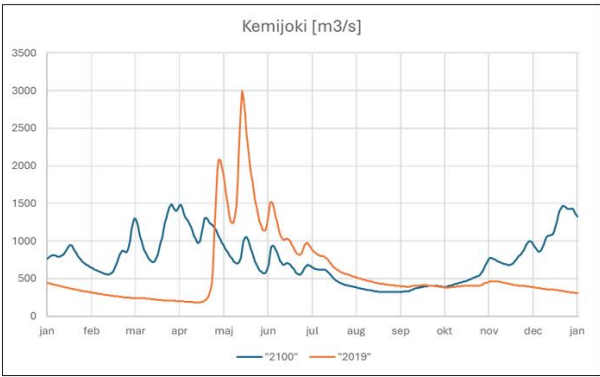
2100



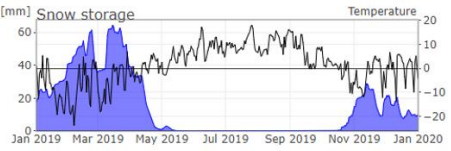
2019



2100



2019



2100

A.6 Vandbalance beregning

Gennemsnit	Afstrømning Q [m³/s]	Specifik afstømning q [mm]	Nedbør P [mm]	Potent. for- dampning Epot [mm]	Akt. Fordamp- ning Eact [mm]	WBL: P-Eact [mm]	q/P=nedbørsan- del [%]
2019	13.788	247,5	710	601	462	248	35
2100	16.368	293,8	790	649	496	294	37
Forskel [mm]	---	46,3	80	48	34	46	---
Forskel [%]	18,7	18,7	11,3	8,0	7,4	18,5	---

Areal = 1.757.000 km²

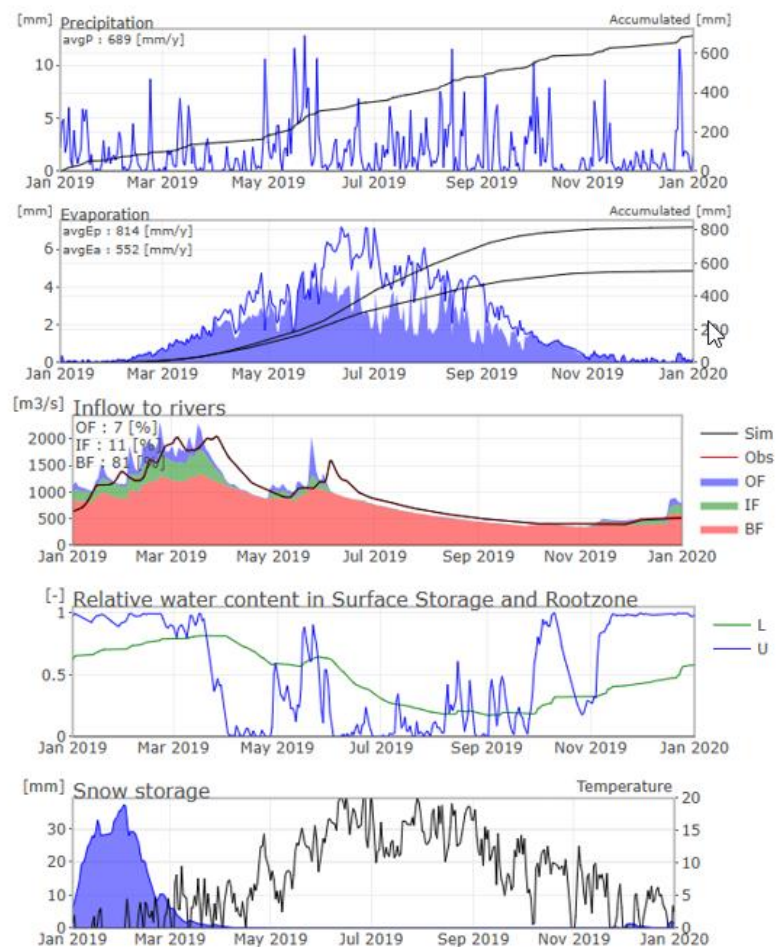
Specifik afstrømning q [mm]:

$$q = \frac{Q * (365 * 24 * 60 * 60)}{\text{Areal} * 1000^2} * 1000$$

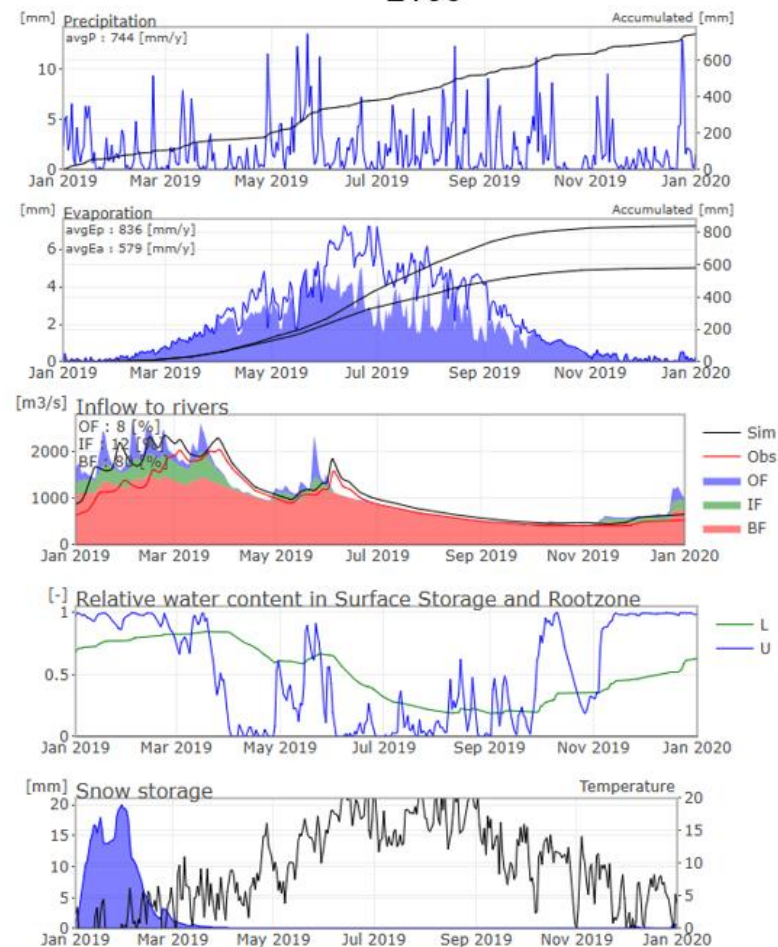
Q [m³/s]

Vistula

2019

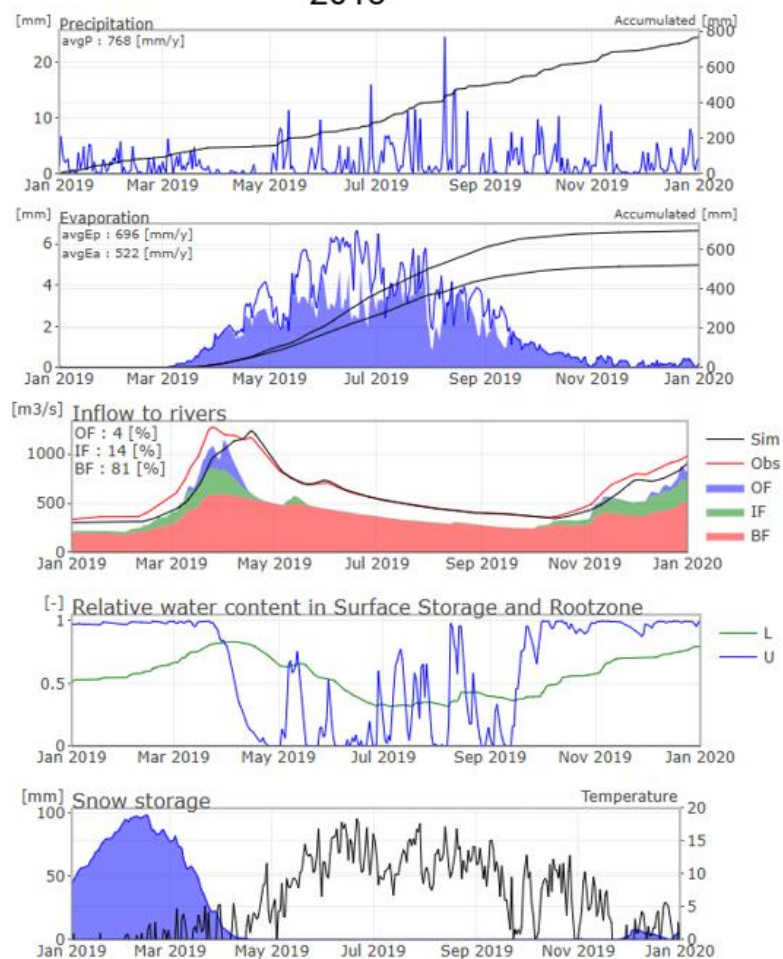


2100

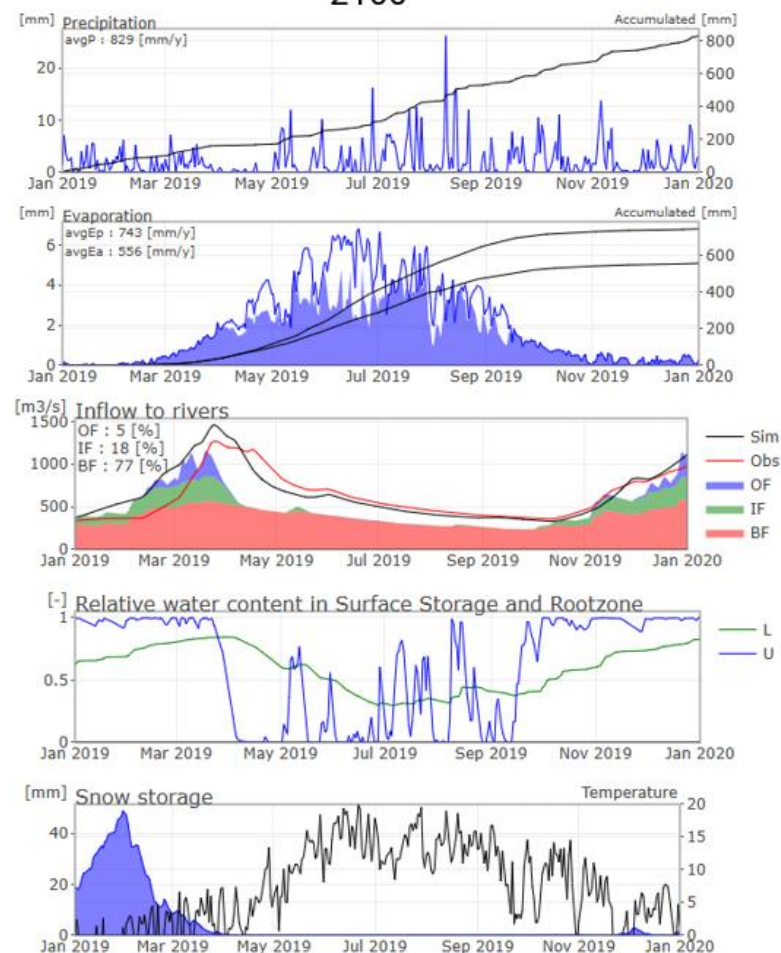


Daugava

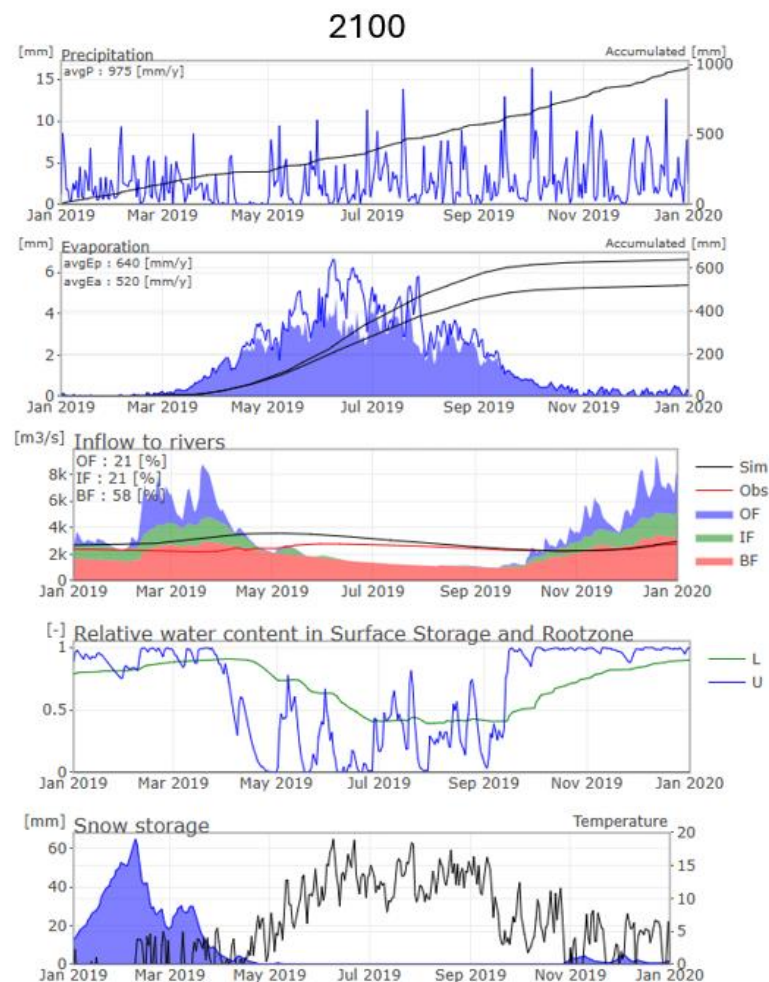
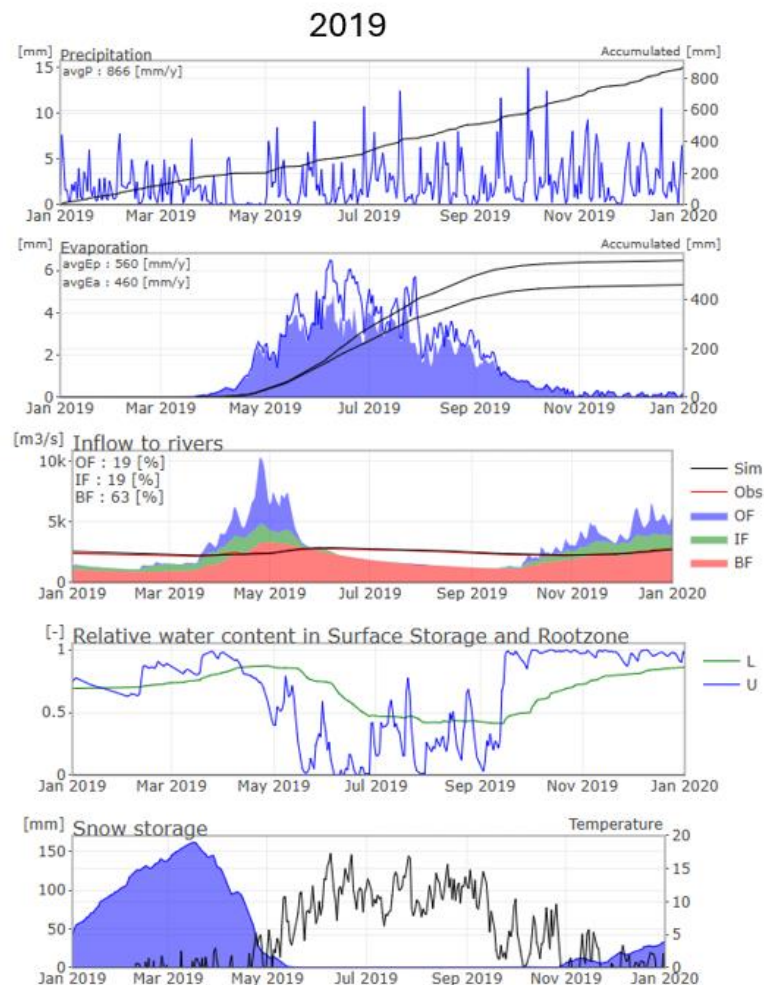
2019



2100

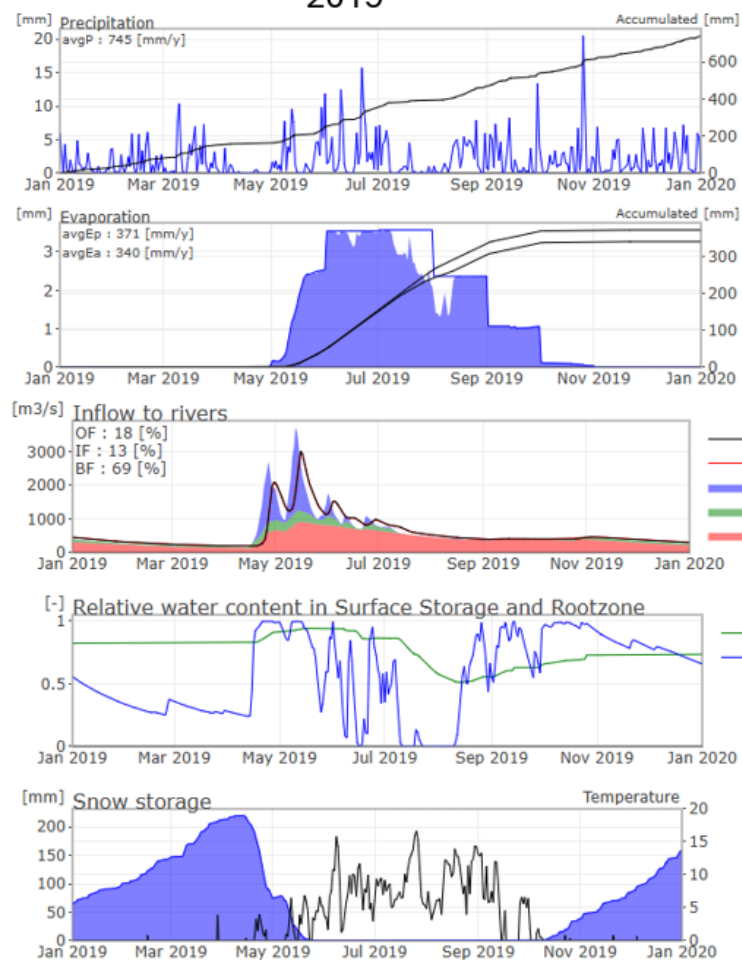


Neva



Kemijoki

2019



2100

