

Klimatilpasning i Grenåens opland



C10.3 The River Grenaa Catchment

- Strategic plan for the area and its climate adaptation
- Idea catalogue with possible solutions and assessments for CCA in the project area
- Catalogue with selected solutions and their in-depth analysis

December 2022

Indhold

1. Indledning	8
2. Udfordringer og beskrivelse af området	10
2.1 Udfordringer	10
2.2 Beskrivelse af området	12
3. Metode og delundersøgelser	23
3.1 Måling og dataindsamling	23
3.2 Modelberegninger	24
3.3 Inddragelse af interessenter og borgere	25
4. Klimascenarier	26
4.1 Valg af klimascenarie	27
4.2 Klimaændringer i Grenåens opland	27
5. Modelberegninger	31
5.1 Hydrologisk vandbalancemodel	31
5.2 Scenarier i modellen	34
5.3 Valg af klimascenarie	35
5.4 Saltvandsmodel	36
6. Saltvandsproblematikken	38
6.1 Arbejdshypotese	38
6.2 Hvor dybt ligger det salte grundvand?	39
6.3 Hvor kommer saltet fra?	40
6.4 Undersøgelse af saltvandsindtrængning	41
6.5 Modelling af det salte grundvands udvikling i fremtiden	42
6.6 Etablering af monitoringsboring	45
6.7 Delkonklusion	46
7. Terrænsætning	47
7.1 Hvorfor sker der en terrænsætning?	47
7.2 Delkonklusion	51
8. Resultater	53
8.1 Resultater fra den hydrologiske model	53
8.2 Hverdagssituationen	55
8.3 Hovedpointer ved hverdagshændelser	64
8.4 Ekstremhændelser	65
8.5 Nedbørshændelse	65
8.6 Langvarig regn	68
8.7 Stormflod	70

8.8 Stormflod og langvarig regn	72
8.9 Stormflod og kraftig nedbør	72
8.10 Hovedpointer ved ekstremhændelser	73
8.11 Hovedpointer ved tørke.....	79
9. Løsninger.....	80
9.1 Hvem har ansvaret for klimasikring?.....	80
9.2 Hvordan klimasikres der i dag?.....	80
9.3 Fremtidens klimatilpasning	80
9.4 Business-as-usual.....	81
9.5 Teknisk løsning – sluse/pumpe og dige.....	81
9.6 Hovedpointer ved tekniske løsninger	87
9.7 Naturbaserede løsninger	88
9.8 Sluseløsning med Kragssø som buffer	88
9.9 Sluseløsning kombineret med at pumperne ved Kolindsund slukkes	90
9.10 Kolindsund som sø uden sluse	92
9.11 Kolindsund som sø med sluse	94
9.12 Er Kolindsund som sø en klimatilpasningsløsning?.....	96
9.13 Lavbundsjorder	99
9.14 Hovedpointer ved naturbaserede løsninger	101
10. Borgerinddragelse	102
10.1 Hjemmeside	102
10.2 Styregruppemøder, følgegruppemøder og Workshop	102
10.3 Proces	103
10.4 Aktørkortlægning	104
10.5 Arealanvendelse	109
10.6 Jordfordeling i oplandet.....	110
10.7 Museum Østjylland udstilling om Kolindsund	111
10.8 Delkonklusion.....	112
11. Komplementære projekter	113
11.1 Næse for vand.....	113
11.2 Øvrige projekter.....	114
12. Bilag	115

English Summary

The aim of the climate adaptation project Grenå's catchment area has been to analyze the challenges the catchment area may face in line with the changing climate and to shed light on the resilience of the catchment area. The catchment area is characterized by a hilly landscape that borders the ådalen/Kolindsund to the north and south. The water flows towards the river valley, which lies as a depression in the landscape and carries the water through the system out towards the Kattegat through the town of Grenå. The low-lying areas along the streams and close to the sea are exposed to the changing climate.

The climate in the future is expected to show changed rainfall patterns with more heavy rainfall events and long wet winters. Conversely, it is expected that there will be more dry summers with minimal rainfall. This means that the water balance in the catchment will span greater variations than we know today. At the same time, the sea level around the Kattegat is expected to rise by up to 1 meter towards 2100, which can be particularly important in terms of the risk of flooding during storm surge events.

The catchment's water balance, challenges and resilience have been investigated using various hydrological models set up by GEUS (Geological Surveys of Denmark and Greenland). The models have been tested with different everyday events, extreme events in the form of rainfall and storm surges, as well as different solution options. At the same time, they have set up a saltwater model to investigate how the rising sea level can have an influence on the intrusion of salt water.

The results show that in the everyday situation towards the 2100 century, there will be a slight increase in the ground water close to the ground. However, this is mostly expected to create challenges where there are already challenges today.

In the event of heavy rainfall, the river system in the catchment has a large delay capacity, where much water can be stored, even in extreme events of 200 mm/day, without causing significant problems in the catchment, apart from flooding of areas already abandoned for agricultural production. However, the capacity of the streams depends on the water saturation in the catchment before the rainfall event, combined with the rainfall intensity, duration, pumping up of Kolindsund, etc. In the case of prolonged periods of rain, one must expect a rising ground water table close to the ground, which can thereby also affect the runoff of water from subsequent major precipitation events. Situations can therefore arise where flooding occurs from streams along the North and South Canal, as well as the Grenå. This can, among other things, affect Kolind, Fannerup, Ginnerup etc. Locally, heavy cloudbursts can create challenges in fortified areas in cities, where the water cannot be diverted quickly enough.

The biggest challenge for the catchment area, or at least for Grenå, is the rising sea level, which in case of storm surge events, can create larger and more frequent floods in the city of Grenå than is known from today. To secure Grenå city against flooding from the sea, it is recommended to build a solution with a combination of a dyke, lock and pump. It should be mentioned that this is being worked on in the project "Grenå - Næse for vand". Establishing Kragssø or Kolindsund as a lake or spillway is expected to have only a minimal effect on the back-up of water behind a closed lock, as the watercourse system in the catchment already has a large capacity. However, as a lake or buffer, Kolindsund can increase the buffer capacity in the catchment during rainfall events.

At the other end of the scale, very dry periods can mean that the groundwater level falls in the entire catchment area, which can create an increased need for water for, among other things, agricultural production. It can be locally challenged by the fact that water extraction must not affect targeted watercourse stretches or wet nature.

The result of the salt water model showed that the salt concentration in the catchment is typically due to encroaching salt from the fractured limestone, whereas along the coast it is influenced by the sea. The highest salt concentration in the catchment is found along the streams in the depressions, which have a greater natural inflow of groundwater. Along the sea, the highest salt concentration is found at the outlet of the Grenå. This is also where the greatest increase in salt concentration is expected to take place, in connection with the rising sea level.

Dansk Resume

Formålet med klimatilpasningsprojektet Grenåens opland, har været at analysere de udfordringer oplandet kan stå over for i takt med det ændrede klima samt belyse robustheden af oplandet. Oplandet er karakteriseret ved et bakket landskab, der omgrænser ådalen/Kolindsund mod nord og syd. Vandet løber mod ådalen, der ligger som en lavning i landskabet og fører vandet gennem systemet ud mod Kattegat gennem Grenå by. De lavtliggende områder langs vandløbene og tæt på havet er udsat i forhold til det ændrede klima.

Klimaet i fremtiden forventes at byde på ændrede regnvejrsmønstre med flere kraftige nedbørshændelser og lange våde vintre. Omvendt forventes det, at der vil forekomme flere tørre somre med minimal nedbør. Det betyder, at vandbalancen i oplandet vil spænde over større variationer end vi kender i dag. Samtidig forventes havspejlet omkring Kattegat at stige med op til 1 meter frem mod 2100, hvilket i særlig grad kan få betydning ved risikoen for oversvømmelse ved stormflodshændelser.

Oplandets vandbalance, udfordringer og robusthed er undersøgt ved brug af forskellige hydrologiske modeller opstillet af GEUS (Danmarks og Grønlands geologiske undersøgelser). Modellerne er testet med forskellige hverdagshændelse, ekstremhændelser i form af nedbør og stormflod, samt forskellige løsningsmuligheder. Samtidig har de opsat en saltvandmodel for at undersøge, hvordan det stigende havspejl kan have indflydelse på indtrængningen af saltvand.

Resultaterne viser, at der i hverdagssituationen frem mod det 2100 århundrede vil ske en mindre stigning i det terrænnære grundvand. Dette forventes dog mest at skabe udfordringer, hvor der allerede er udfordringer i dag.

Ved kraftige nedbørs hændelser har å-systemet i oplandet en stor forsinkelseskapacitet, hvor meget vand kan opmagasineres, selv ved ekstreme hændelser på 200 mm/dag, uden at give væsentlige problemer i oplandet, bortset fra oversvømmelse af arealer, som allerede er opgivet i landbrugsproduktionen eller påvirket i dag. Vandløbenes kapacitet afhænger dog af vandmætningen i oplandet før nedbørseventet kombineret med nedbørsintensiteten, varighed, oppumpning af Kolindsund mm. Ved længerevarende perioder med regn, må man forvente et stigende terrænnært grundvandsspejl, der derved også kan påvirke afstrømningen af vand fra efterfølgende større nedbørsevent. Der kan derfor opstå situationer, hvor der forekommer oversvømmelse fra vandløb langs med Nord- og Sydkanalen, samt Grenåen. Dette kan bl.a. påvirke Kolind, Fannerup, Ginnerup mv.

Lokalt kan kraftige skybrud skabe udfordringer på befæstede områder i byerne, hvor vandet ikke kan afledes hurtigt nok.

Den største udfordring for oplandet eller i hvert fald Grenå, er det stigende havspejl, der ved stormflodshændelser, kan skabe større og mere hyppige oversvømmelser i Grenå by end det kendes fra i dag. For at sikre Grenå by mod oversvømmelse fra havet, anbefales det at bygge en løsning med en kombination af et dige, sluse og pumpe. Det skal nævnes, der arbejdes videre med dette i projektet "Grenå – Næse for vand". Etablering af Kragssø eller Kolindsund som sø eller overløb forventes kun at kunne have en minimal effekt på opstuvningen af vand bag ved en lukket sluse, da vandløbssystemet i oplandet i forvejen har en stor kapacitet. Dog kan Kolindsund som sø eller buffer have en øge bufferkapaciteten i oplandet ved nedbørshændelser og fremadrettet når havet stiger væsentligt.

I den anden ende af skalaen kan meget tørre perioder betyde, at grundvandsstanden falder i hele oplandet, hvilket kan skabe et øget vandbehov til bl.a. landbrugsproduktionen. Det kan lokalt blive udfordret af, at vandindvinding ikke må påvirke målsatte vandløbsstrækninger eller våd natur.

Resultatet af saltvandsmodellen viste, at saltkoncentrationen i oplandet typiske skyldes optrængende salt fra den opsprækkede kalk, hvorimod den langs kysten er påvirket af havet. Den højeste saltkoncentration i oplandet findes langs med vandløbene i lavningerne, som har en større naturlig tilstrømning af grundvand. Langs havet findes den højeste saltkoncentration ved Grenåens udløb. Det er også her, den største stigning i saltkoncentration forventes at finde sted, i forbindelse med det stigende havspejl.

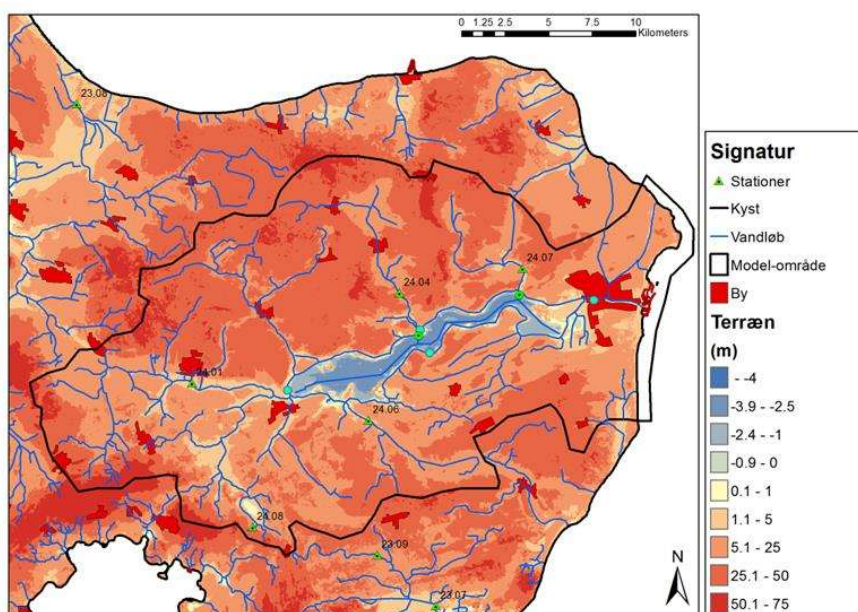
1. Indledning

Klimaet er under forandring. Temperaturen stiger, og vi oplever flere usædvanligt voldsomme regnvejrshændelser, der forventes at intensiveres i fremtiden. Tilsvarende forventes højere vandstand i havet og længere perioder med tørke.

Alle religioner indeholder en syndflod, så voldsomme indvirkninger fra naturen på mennesker er ikke noget nyt, men vores øgede rigdom/infrastruktur og befolkningstæthed har gjort os ekstra udsatte for variationer. På Djursland er vi indtil nu været rimelig forskånet for de helt store ødelæggelser, som opleves andre steder også alligevel. Hvem husker ikke stormen Bodil, som gav store oversvømmelser i bl.a. Grenå og lokalt kan kraftige nedbørshændelser give problemer. Vi må desværre forberede os på, at der kommer flere tilsvarende og voldsommere hændelser i fremtiden. Det er generelt bedre at forebygge end at udbedre, og derfor skal vi tænke i klimatilpasning. Det gælder både i vores planlægning og fysiske tiltag, og i en øget fælles bevidsthed om, hvordan vi fremover skal håndtere de øgede regnmængder. Vi skal fremover acceptere, at vand kræver plads, og at alt regnvandet ikke kan afledes via rør, men også skal tilbageholdes og afledes på terræn. Vi skal tænke i helheder og fælles løsninger, og den enkelte borger såvel som kommunen skal tage ansvar.

Der er ingen tvivl om, at det er en stor økonomisk og teknisk udfordring at tilpasse vores samfund, herunder kloakker, veje og bygninger, til de øgede vandmængder. Det er en udfordring, der vil tage en lang årrække, men vi skal også se klimatilpasning, som en investering i fremtidens samfund og ikke som en omkostning. Klimatilpasning er en ny dimensionsgivende parameter, men den åbner også op for muligheder. Det opnår vi dog kun, hvis politikere, borgerne, virksomhederne, landbruget osv. tager ejerskab, og ser muligheder i fælles løsning. Så spørgsmålet er ikke kun at lave projekter med pumpe, dige og andre løsninger men også at bruge de nye vilkår til at skabe fælles visioner og strategier for vandoplandene.

Nord- og Syddjurs Kommune er påbegyndt denne proces med den fælles klimatilpasningsprojekt "Grenåens opland". Projektet er en del af det regionale EU-Life projekt Coast to Coast Climate Challenge (C2CCC), og er blevet gennemført i perioden fra 2017 til 2022. Projektet omfatter hele det 466 km² store opland til vandløbet Grenåen, som udmunder ved Grenå havn jf. nedenstående kort i Figur 1.1.



Figur 1.1 Kort over Grenåens hydrologiske opland.

Visse dele af oplandet specielt ådalene, Grenå, Kolind og Ryomgård er og bliver udfordret med vandhåndtering. Både i forhold til stigende grundvand, oversvømmelse fra både havet ved stormflod samt længerevarende regn og skybrud i oplandet. Disse hændelser forventes at forekomme oftere i takt med fremtidens klimaforandringer, som bidrager til stigende havvandstand og ændrede vejrmonstre med bl.a. mere regn.

Formålet med projektet er at undersøge udviklingen i vandbalancen i oplandet for at analysere systemets robusthed i forhold til at håndtere de stigende vandmængder, og vandets effekt på omgivelserne for at kunne vurdere hvilke klimatilpasningsstrategier, der er relevante at benytte.

Projektet har via forskellige modelberegninger undersøgt udviklingen knyttet til hverdagshændelser og ekstremhændelser koblet til hverdagsregn/længerevarende regn/skybrud, oplands vandløb/vandføring og havspejlstigning/stormflod. Specielt er ændringer i grundvandsstanden belyst, herunder er det vurderet, om der er steder i området, som er udsat for saltvandsindtrængning i forbindelse med det stigende havspejl og den relativ store oppumpning af grundvand i Kolindsund.

Der er samtidig udført kombinerede beregninger, som analyserer hvordan de forskellige udfordringer påvirker hinanden og den adderende effekt. De forskellige klimaanalyser er blevet vurderet med udgangspunkt i FN's RCP 8,5 klimascenarie med udgangspunkt i nutiden, 2050 og 2100.

Modelberegningerne tester forskellige klimatilpasningsstrategier med udgangspunkt i enten etablering af tekniske anlæg (diger og sluser) eller ved naturbaserede løsninger - det vil sige tilbageholdelse ("parkering") af vand i oplandets terrænlavninger.

En central del af projektet har været at inddrage relevante interessenter ved gennemførelsen af projektet, her kan bl.a. nævnes AquaDjurs A/S, Syddjurs Spildevand A/S, pumpelag i Grenåens opland, Djursland Landboforening, foreningen Kolindsunds Venner og Danmarks Naturfredningsforening.

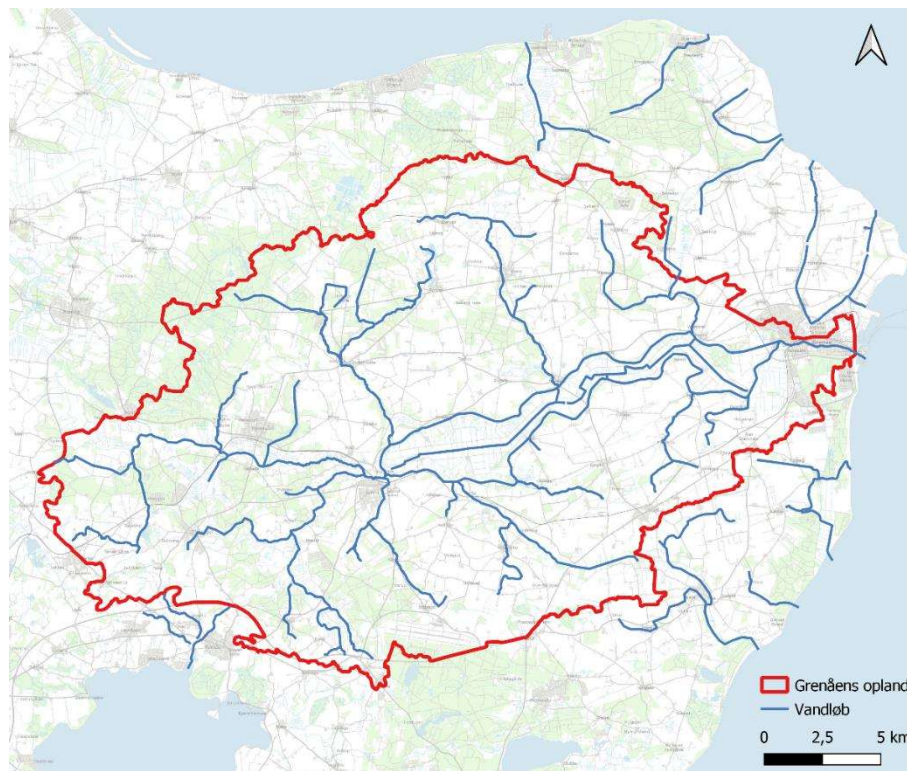
Det har samtidig været muligt at indsende billeder af tidligere oversvømmelse i oplandet eller ideer til løsningsforslag via projektets hjemmeside [Grenåens Opland](#).

Projektets praktiske udførelse er gennemført af relevante vidensmedarbejdere fra Norddjurs og Syddjurs kommuner i et samarbejde med Hydrologisk afdeling ved GEUS (Danmarks og Grønlands geologiske undersøgelser).

Få mere information om Coast 2 Coast Climate Changes og om de andre projekter i Region Midtjylland på hjemmesiden [Coast to Coast Climate Challenge \(c2ccc.eu\)](#).

2. Udfordringer og beskrivelse af området

Projektområdet dækker hele oplandet til Grenåen, og har en størrelse på 466 km². Området strækker sig fra Glesborg i nord til Rønede og Feldballe i syd, fra Pindstrup og Mørke i vest til Grenaa i øst (Figur 2.1).



Figur 2.1 Kort med oversigt over undersøgelsesområdet centralt på Djursland.

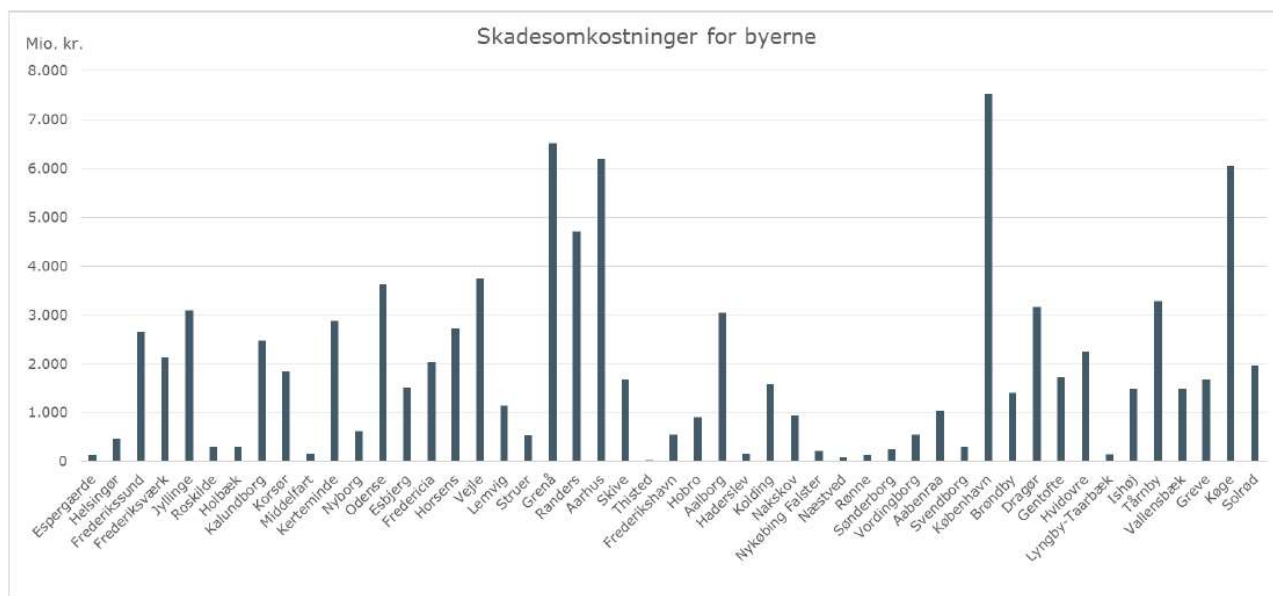
2.1 Udfordringer

På grund af oplands størrelse og forskelligartede topografi, står det over for forskellige udfordringer i fremtiden på grund af det ændrede klima. Denne rapport ønsker at klarlægge, hvilke udfordringer der forventes hvor i oplandet. Et af de steder, hvor der er lavet en økonomisk vurdering af de potentielle skader i fremtiden, er Grenå by.

Grenå by er lokaliseret omkring udløbet af Grenåen ud til havet i forholdsvis lavt terræn. Da hældningen af Grenåen er meget lav fra Kolind vest for Grenå og ud til havet (70 cm), har havvandet ved stormflod meget let ved at trænge op i åen, hvor det vil hæve vandstanden.

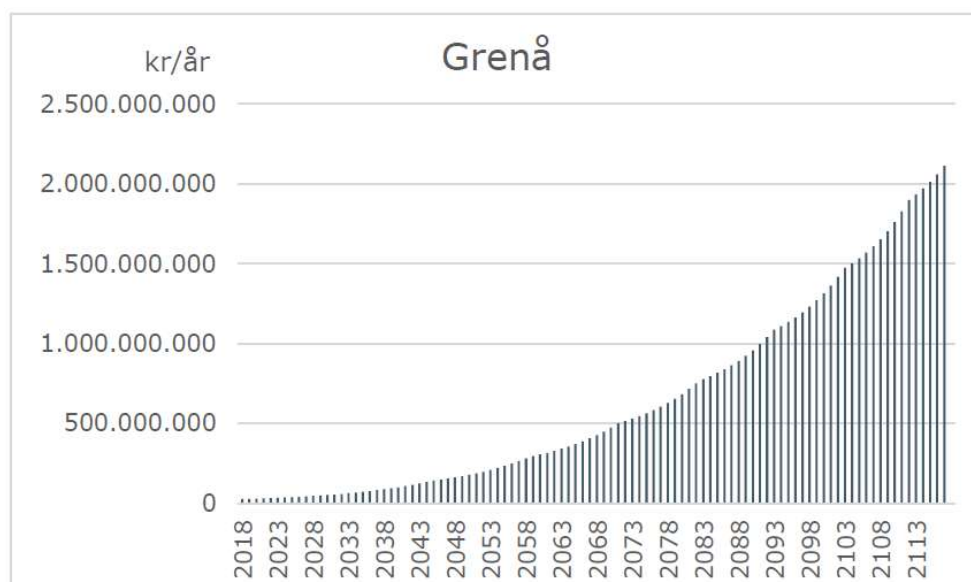
I Realdanias rapport udarbejdet af COWI fra 2017, der klarlægger de socioøkonomiske konsekvenser for 48 kystbyer i Danmark i forhold til udfordringer med det stigende havvand og stormflod, vurderer de, at Grenå er en af de mest udsatte byer i Danmark, når det angår potentielle skader fra stormflod over de næste 100 år.

COWI's beregning tog udgangspunkt i sandsynligheden for oversvømmelse, samt de forventede skadesomkostninger. I rapporten vurderes Grenå at være den by i Danmark med den anden højeste skadesomkostninger på grund af stormflod og havvandsstigninger de næste hundrede år (2017-2117), hvis der ikke skabes nogen form for klimatilpasning (Figur 2.2).



Figur 2.2 Forventede skader som følge af stormflod over de kommende 100 år, for de 48 største byer i Danmark (Realdania, 2017).

De samlede skadesomkostninger for Grenå anslås at være 6.509 mio. kroner, kun overgået af Københavns Kommune med 7.536 mio. kroner. På grund af Grenås langt mindre indbyggertal, bliver skadesomkostningerne per indbygger væsentligt højere med 440.873 mio. kroner per indbygger, sammenlignet med 12.507 mio. kroner per indbygger i Københavns Kommune.



Figur 2.3 *Estimeret udvikling i skader for Grenå by (Realdania, 2017).*

I Realdanias rapport om socioøkonomiske konsekvenser for kystbyerne, er der inddraget en lang række økonomiske parametre i beregningen. Men foruden disse parametre peger rapporten på en række yderligere konsekvenser, som kan være svære at inddrage i en økonomisk beregning, men som også vil få betydning for kystbyerne:

- Manglende genopbygning
- Faldende huspriser
- Skader på løsøre i havne (lystbåde, havnearealer mm.)

Samtidig kan der være skader, som er svære at værdisætte:

- Ødelagt kulturhistorie
- Tab af udsigt ved klimasikring
- Faldende tryghed
- Rekreativ anvendelse af arealer
- Sundhedsmæssige risici og tab af menneskeliv
- Miljømæssige konsekvenser såsom oversvømmelse af forurenede områder.

Ved stormfloden Bodil i december 2013, var der store skader på mange af de danske kystbyer. Ifølge Stormrådets opgørelse blev der anmeldt 44 sager i Norddjurs Kommune med en nyværdi af bygningsskade på 4.862.480 kroner og nyværdi af løsreskade på 1.191.581 kroner.

2.2 Beskrivelse af området

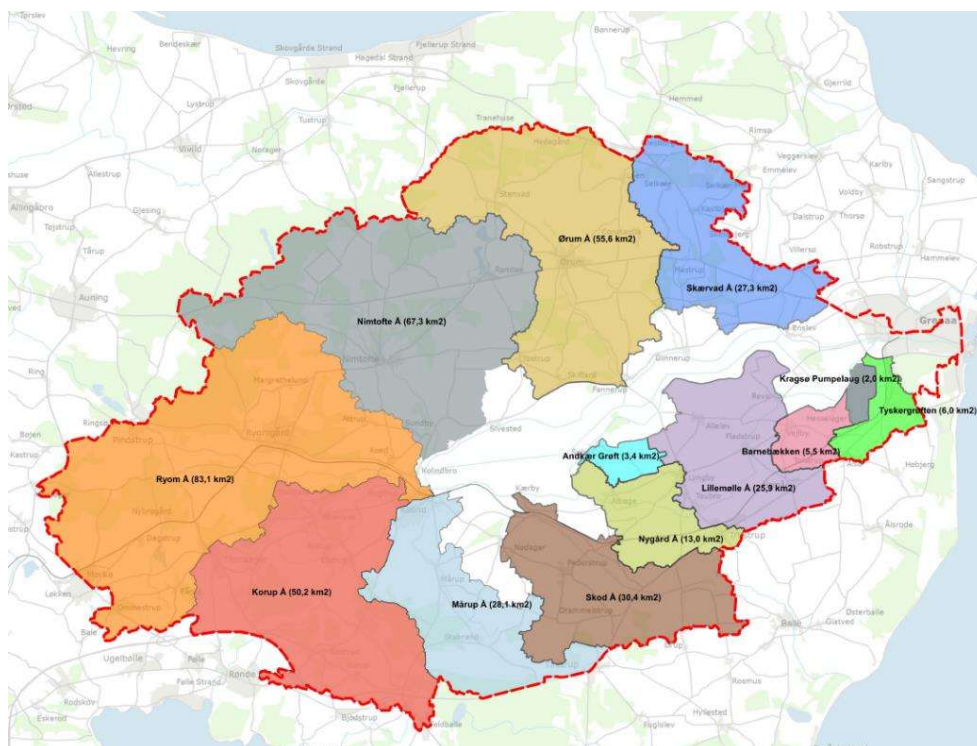
Vandløbssystemet

Hovedvandløbet starter ved Ommestrup i kote 41,5, og har efter ca. 45 km udløb i Kattegat ved Grenå. Hovedløbet omfatter Ommestrup bæk, Ryom Å, Kolindsund Kanal og Grenåen.

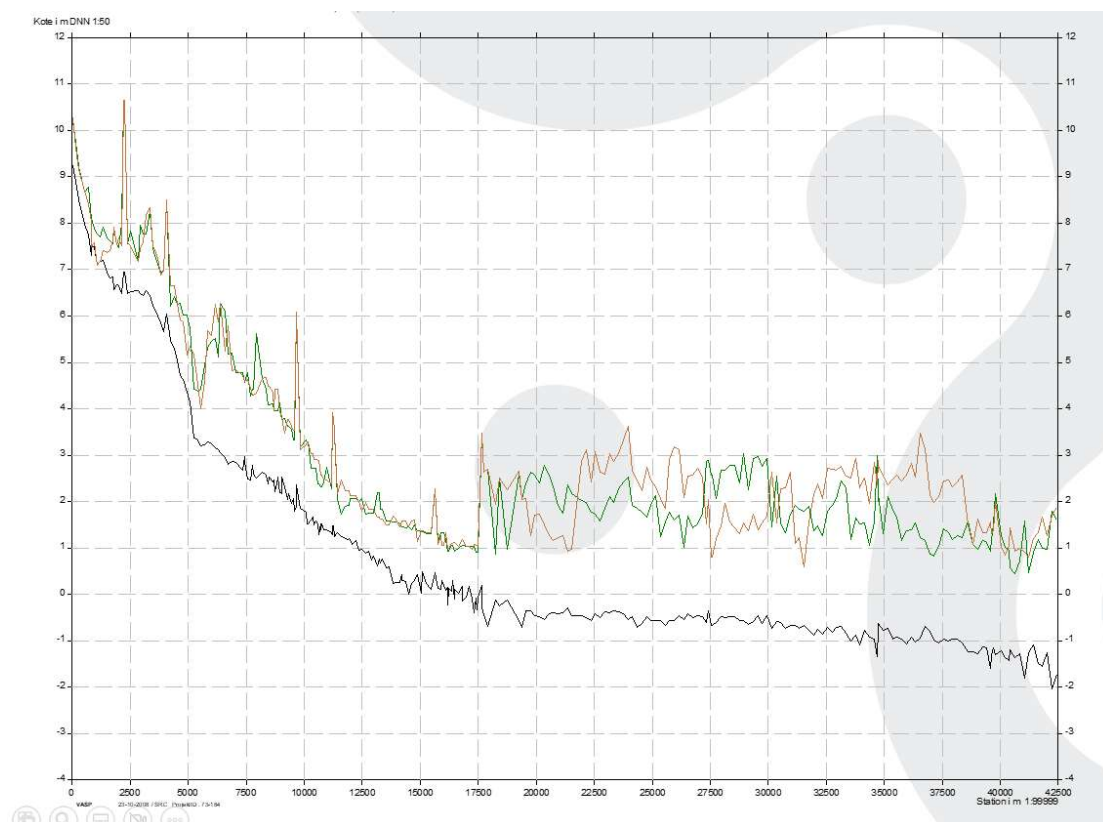
Vandløbssystemet kan opdeles i 2 dele omfatter Grenåen og Kolindsundkanalerne. Det øvrige system er en samling af mindre å-systemer som afvander oplandet til Kolindsund kanalerne. Det drejer sig om Ryom Å, Nimtofte Å, Ørum Å, Skærvad Å, Korup Å, Mårup Å, Skod Å, Nygaard Å, Lillemølle Å og Barnebækken (Figur 2.4). Oplandet ligger både i Norddjurs og Syddjurs kommuner.

Vandløbene Kolindsund Kanalerne og Grenåen er periodevis stuvningspåvirket af havet og pumpning fra Kolindsund. Længden af stuvningszonen afhænger af vandstandsvariationen i Kattegat og pumpeaktivitet. Stuvningszonen ved kraftigt højvande i Kattegat når faktisk opstrøms Kolind, og kan påvirke engene ved Korup Å og Ryom Å. Som det fremgår af længdeprofilen, ligger bundkoten ved Kolind under kote 0, altså under normal vandstand i havet (Figur 2.5). Afstrømningen (m^3/s) i Kolindsund Kanalerne og Grenåen er afhængig af vandstanden i Kattegat, så ved lavvande er afstrømningen stor, mens den aftager ved højvande. Det betyder, at Kattegat har væsentlig indflydelse på, om der sker oversvømmelser langs kanalerne og Grenåen.

For de mindre vandløbssystemer er afstrømningen primært afhængig bl.a. oplandsstørrelse, geologien og topografien samt ikke mindst nedbøren og måden denne falder på. Vandløbets fysiske tilstand; fald, bundbrede, skråningsanlæg og dybde. Infrastruktur - rør og broer med begrænset kapacitet, og endelig



Figur 2.4 Kort over deloplande for de mindre vandløbssystemer i området.



Figur 2.5 Længdeprofil af Ryom Å, Kolindsund Nordkanal og Grenåen. St. 0 er ved Falkær, Dagstrup Enge. Omkring st. 17.500 ligger Kolind. Det fremgår bl.a. også af profilet, at her starter diget til Kolindsund.

strømningsmodstanden udtrykt ved strækningens Manningtal; et resultat af grøden, profilformen og udhængende træer mv.

Flere af vandløbene er regulerede - specielt på strækninger med mindre fald, og kanalerne er kunstige, så deres vandføringsevne er variabel. Der findes ingen generel sammenhæng mellem vandføringens størrelse og størrelsen af vandløb, men det kan som tommelfingerregel siges, at størrelsen af et vandløb i forhold til vandføringen er sådan, at det naturligt vil gå over dets bredder en gang i intervallet hvert andet år. Oversvømmelse er således en naturligt forekommende og ingenlunde sjælden hændelse.

Med klimaændringerne følger, at særligt vintermånederne bliver varmere og vådere, som det skete i vinteren 2019/2020. Risikoen for oversvømmelser i forbindelse med tøbrud ser dermed ud til at være reduceret, men længerevarende kraftig regn kan medføre tilsvarende høje vandføringer på grund af 100 % vandmætning af oplandet.

Selvom der er sket en stor øgning af dræning og befæstelse i oplandet til Grenåen i de sidste 100 år, er det stadig under de forhold, hvor jorden enten er frosset eller 100 % vandmættet fra vedvarende regn, eller højvande i Kattegat, at der opstår de største udfordringer i de større vandløb i Grenå-systemet. Kun 4 % af det samlede opland til Grenåen er befæstet areal, så befæstelsen, der er kommet i oplandet, vurderes ikke at have betydning for vandstanden i Grenåen/kanalerne ved de store hændelser, og vurderes kun at kunne have betydning i øvre del af vandløbene, som det blev påvist ved undersøgelsen i 2008 omkring Ryom Å og lokalt ved skybrud.

Befolkning

I området ligger der flere større og mindre byer. Den største by i området er Grenå med 14.194 indbyggere (2021) herefter Ryomgård med 2.459 indbyggere og Kolind med 1.907 indbyggere.

Disse tre byer samt flere af de mindre byer i oplandet er udsatte overfor oversvømmelse på grund af deres placering tæt på et vandløb eller i ådalen. Udover i byerne (Tabel 2.1, bor der også indbyggere i mere spredt bebyggelse i landområderne og mindre byer. I alt bor der 26.116 indbyggere i hele Grenåens opland.

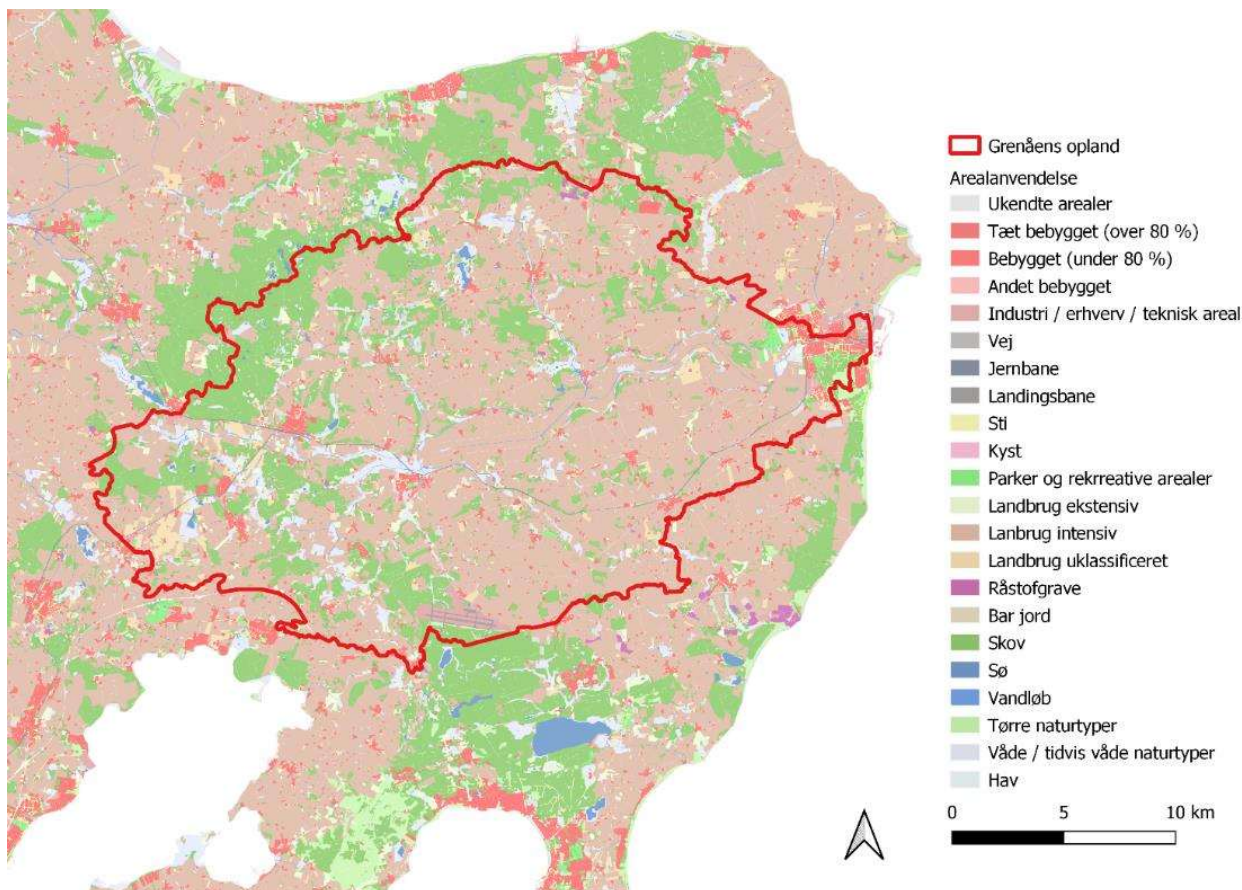
Tabel 2.1 Oversigt over befolkningstal i oplandets største byer, (kilde: Danmarks Statistik).

Byer i oplandet	Befolkningstal 2021
Grenå	14.194
Ryomgård	2.459
Kolind	1.907
Thorsager	1.303
Trustrup	797
Ørum	698
Nimtofte	588
Glesborg	583
Tirstrup	484
Lyngby	308
Stenvad	259
Ramten	220

Arealanvendelse

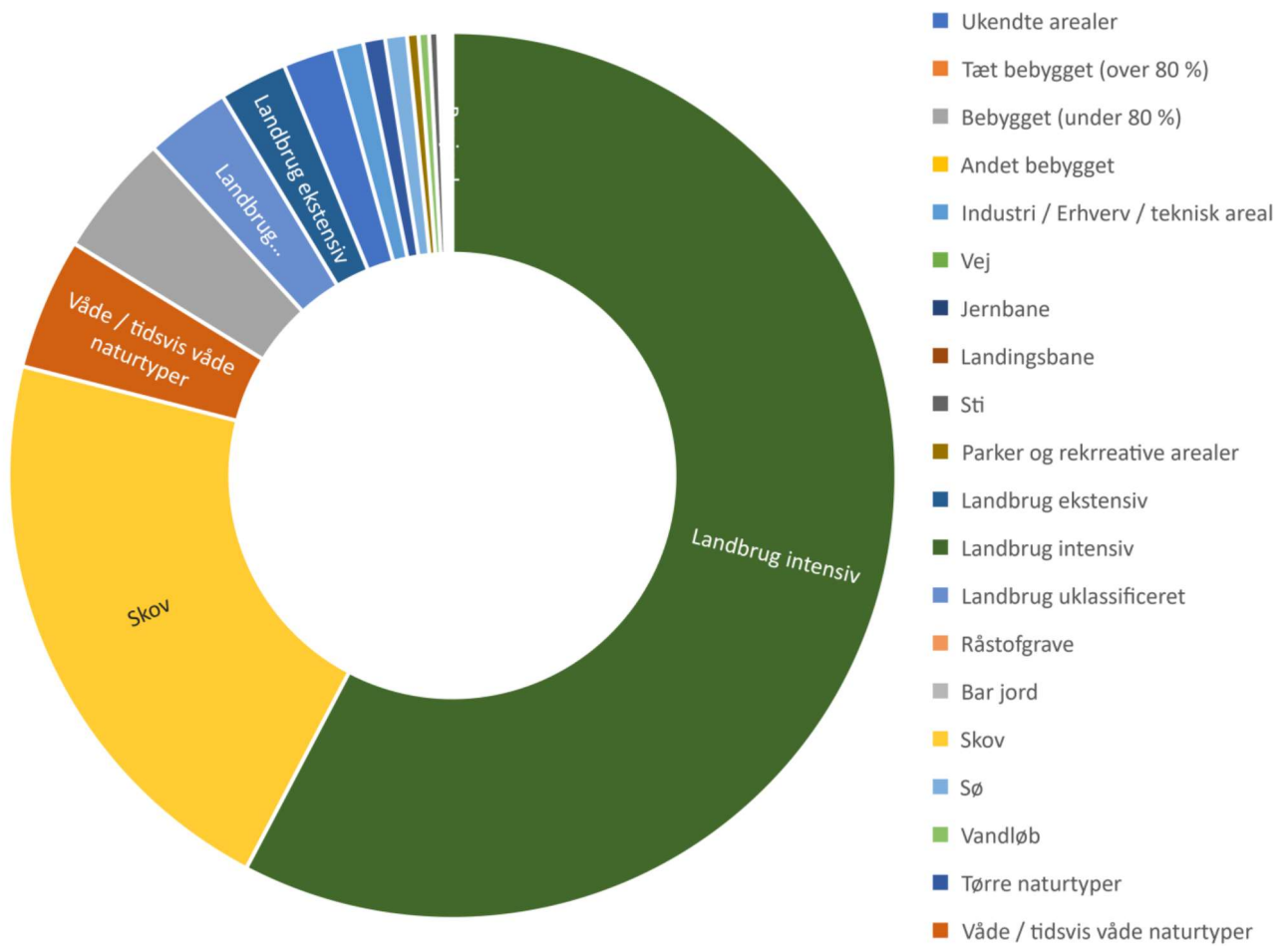
Oplandet består primært af arealer, der dyrkes intensivt (57,7 %), og af arealer med skove (21,3 %) og 4,8 % af våde enge og moser eller tidvis våde områder (Figur 2.6 og Figur 2.7).

Derudover udgør 4 % af oplandet af bebyggelser, hvilket især er centret omkring de førnævnte byer. I området findes der yderligere 2,5 % ekstensivt landbrug og 3,1 % uklassificeret landbrug.



Figur 2.6 Arealanvendelsen i oplandet.

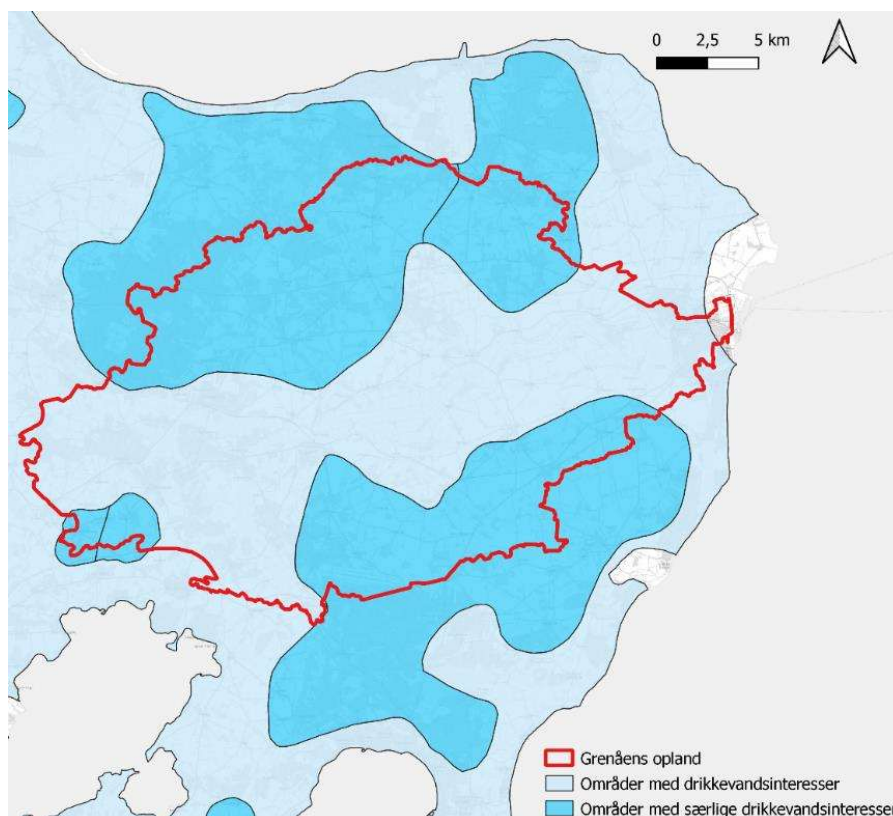
Arealanvendelse



Figur 2.7 Diagram med skematisk oversigt over oplandets arealanvendelse.

Drikkevandsinteresser

Den centrale del af oplandet er registreret som områder med almindelige drikkevandsinteresser, og de højtliggende dele af oplandet ved vandskellene er klassificeret som områder med særlige drikkevandsinteresse (Figur 2.8). Når fremtidens klima ændrer vandbalancen for Grenåens opland, vil det også påvirke mængden af grundvand. Både hvor meget nyt grundvand der dannes, og hvor meget der bliver brugt. I tørre perioder kan der opstå et øget behov for vandforbrug.



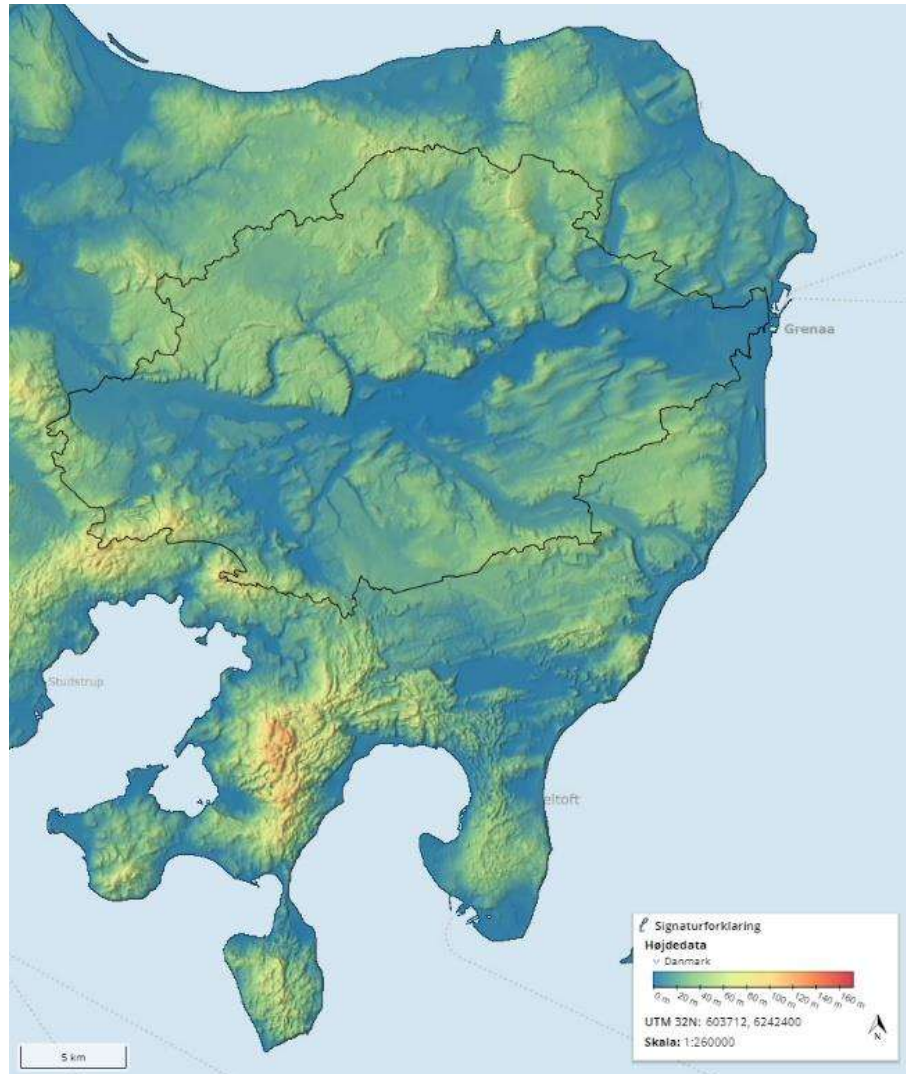
Figur 2.8 Drikkevandsinteresser på Djursland.

Tidevand

Tidevandet ved Grenå svinger med op til omkring 50 cm mellem ebbe og flod (DMI, 2022). Tidevandet er en vigtig faktor i Grenåens afstrømning og dermed oplandets vandbalance. Hovedparten af afstrømningen fra oplandet sker ved ebbe. Tilsvarende vil sammenfaldet mellem tidevandet og en stormflod have stor betydning. Ved stormen Bodil i december 2013 kulminerede vandstanden ved ebbe. Var vandstanden f.eks. kulmineret ved flod seks timer før eller efter, kunne vandstanden have været 32 eller 45 cm højere. Betydningen af tidevandet får endnu større betydning ved stormflod i fremtiden, hvor middelvandstanden ved Grenå forventes at stige med 49 cm (5 – 93 cm).

Landskabet

Terrænmæssigt er landskabet præget af den brede øst/vestgående ådal Kolindsund centralt i projektområdet fra Pindstrup ud mod Grenå, som opsamler vandet fra de omkringliggende vandløb og områder, og leder vandet ud mod Kattegat gennem Grenåen. På terrænkortet (Figur 2.9) er det tydeligt at se vandløbenes forløb og ådalene.

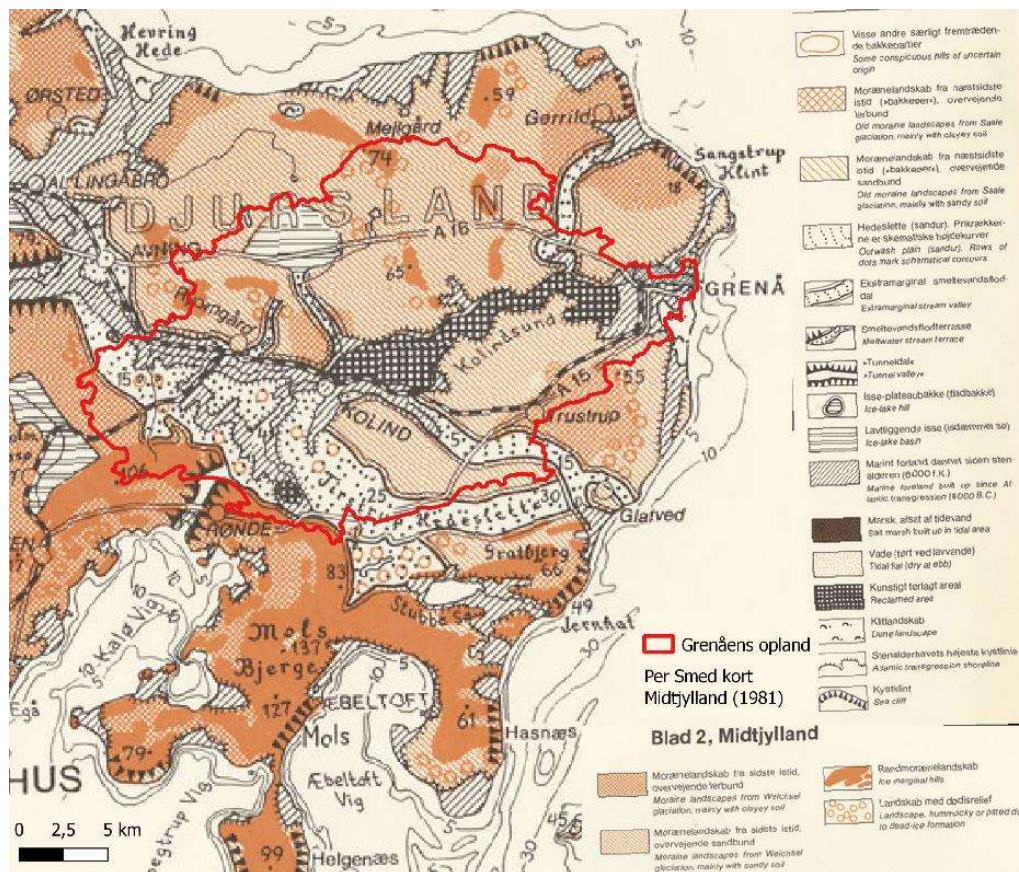


Figur 2.9 Terrænhøjder på Djursland.

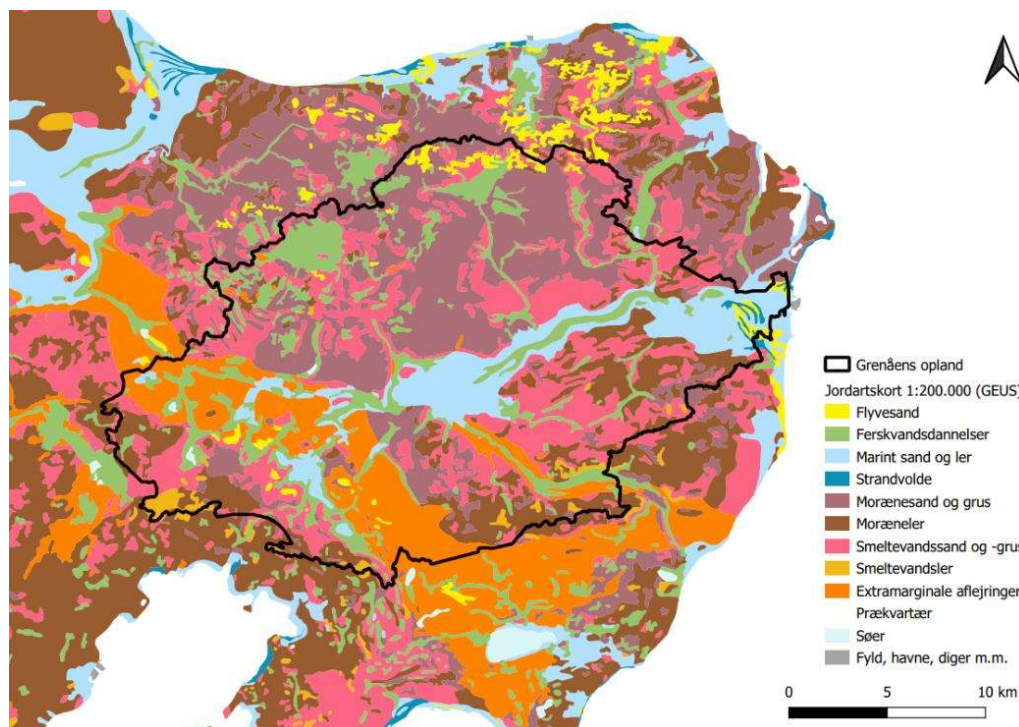
Geologi

Djurslands geologi er i høj grad dannet under den sidste istid, hvor fremstød og tilbagetrækning af det store isskjold har skabt landskabet (Figur 2.10).

I området nord og syd for Kolindsund findes et bakket morænelandskab med overvejende indhold af sand. Nord for Kolindsund findes desuden gamle randmoræner. Disse randmoræner er et resultat af fronten af isskjoldene, der under fremstød fra nordøstlig retning har skubbet de foranliggende sedimentter op til en bakkekam. Det bakkede landskab består primært af morænesand og grus (Figur 2.11).



Figur 2.10 Geomorfologisk landskabskort over Djursland (Kilde: Per Smed, 1981).



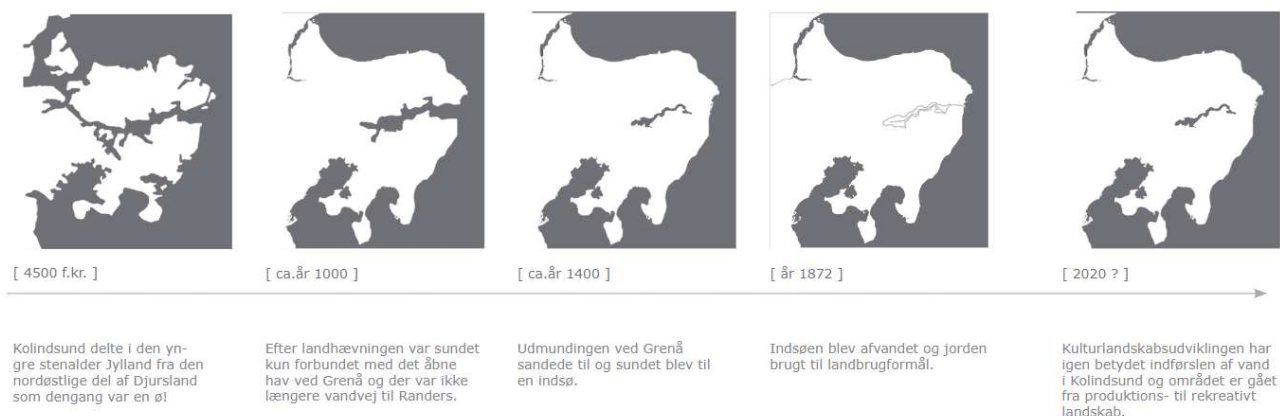
Figur 2.11 Jordartskort (Kilde: GEUS).

Midt i oplandet ligger Kolindsund-lavningen, som blev skabt under og efter sidste istid for ca. 19.000 år siden, hvor isens smeltevand skar sig gennem landskabet og eroderede ned i undergrunden.

Den underliggende kalk består af Danien-kalk, aflejret for ca. 60 millioner år siden i den geologiske palæocæn-periode. I løbet af istiden blev dalen fyldt delvist op med smeltevandssand og -grus med enkelte lerlag.

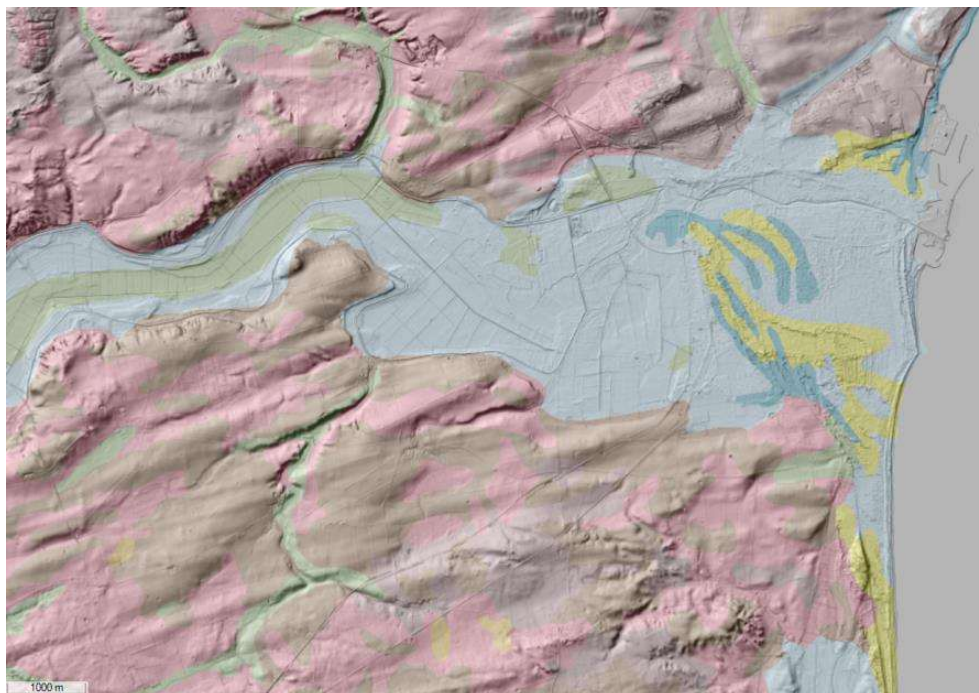
Med det stigende havvandspejl efter istiden for ca. 15.000 år oversvømmede Littorinahavet de lavere dele af Djursland, så Norddjursland blev en ø (Figur 2.12), delt af et sund, der gik fra Grenå til Grund Fjord. Samtidig med isens afsmeltning begyndte landet langsomt at hæve sig igen. Denne proces varer endnu og har foreløbig resulteret i en landhævning på ca. 5 m.

For omkring 4.000 år siden, blev Kolindsund afskåret fra Kattegat på grund af krumodde-vækst syd for Grenå, og blev efterfølgende påvirket af landets generelle hævnings da isen smeltede bort, og Kolindsund udviklede sig til en ferskvandssø.

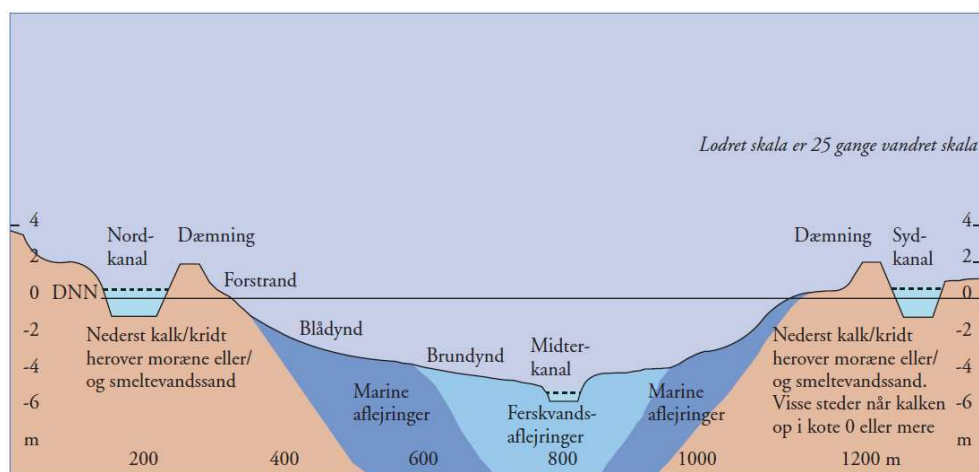


Figur 2.12 Kolindsunds udvikling fra åben fjord og senere til det nuværende landbrugsområde (kilde: Marie Lyster Nielsen, 2008).

Udviklingen efter istidens afslutning fra åbne marine forhold til afsnøret indsø, afspejles særdeles tydeligt i jordlagene (figur 2.14). Nederst ses de gamle havaflejringer, der indeholder mange muslingeskaller. Opadtil afløses de marine aflejringer af mere brakvandsprægede lag for endelig øverst at blive til ferske blødbundsaflejringer. Omkring Grenå by kan man se de gamle systemer af strandvolde og flyvesand (figur 2.13), som har været med til at aflukke den gamle fjord fra havet. Det omgivende opland består hovedsageligt af en blanding af aflejringer af morænesand og ler, samt smeltevandsand og -grus.



Figur 2.13 Sammenstilling af skyggekort og jordartskort ved Grenå og den østlige del af Kolindsund (kilde: arealinfo.dk).



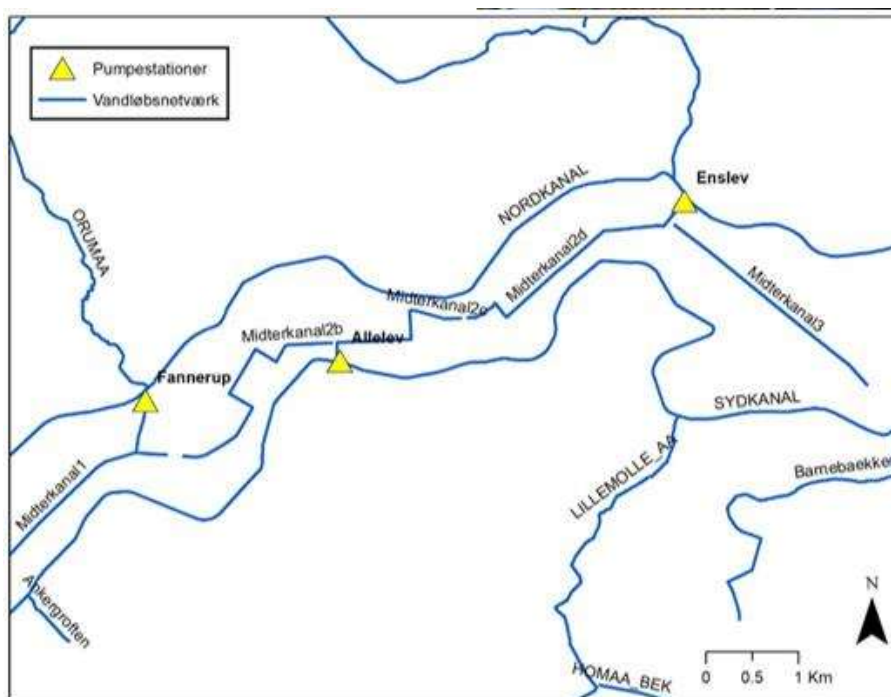
Figur 2.14 Skematisk tværsnit gennem Kolindsund lavningen (kilde: Århus Amt, 2000).

Kolindsund Pumpelag

Et af de områder i oplandet, som har gennemgået markante landskabsmæssige ændringer de sidste 150 år er Kolindsund.

I 1870'erne startede dræningen af Kolindsund til landbrugsjord. Dette blev gjort ved at anlægge en 42 km lang dæmning med Nord- og Sydkanalen udenfor. Der blev etableret en pumpestation med dampmaskiner ved Fannerup (Figur 2.15). Udpumpningen begyndte i maj 1874, men pumpekapaciteten var ikke høj nok. Derfor blev der etableret en yderligere pumpestation ved Revn. Den 2.400 ha store sø var tørlagt i 1880. I 1939 blev Pumpelaget Kolindsund etableret.

I perioden 1936-1939 blev dæmningerne forstærket, kanalsystemet udvidet, samtidig med at der blev bygget nye pumpestationer ved Fannerup og Enslev. Fannerup afvander den vestlige del af Kolindsund, og Enslev den østlige. Begge pumpestationer pumper vand ud i Nordkanalen. Den gamle pumpestation ved Revn blev nedlagt. For at forbedre afvandingen i den midterste del af sundet, blev der i 1987 etableret en yderligere pumpestation ved Allelevsund. Arealet indenfor kanalerne udgør nu et område på 2.600 ha (26 km²).



Figur 2.15 Placering af de tre pumpestationer ved Kolindsund.

Kolindsunds geologiske historie gør, at det som en lavning i landskabet naturligt modtager vand fra det omkringliggende landskab. Men de mange års dræning og udpumpning af vand siden søens tørlægning i 1930'erne, har også haft betydning for sætningen af jorden (se afsnit 7).

Med fremtidens øgede regnmængder, må mængden af vand, der skal pumpes væk også forventes at øges, hvilket gør de lavtliggende landbrugsarealer mere udsatte for oversvømmelse. Samtidig ligger der dybt nede i undergrunden under de tørlagte områder et grundvandsreservoir med saltvand. Ved at forsætte dræningen af området øges risikoen for at det salte grundvand trænger ind i området grundvandsforekomster og ødelægger drikkevandsforsyninger eller muligheden for landbrugsdrift. Denne problemstilling er belyst i afsnit 6

3. Metode og delundersøgelser

Projektet "klimatilpasning af Grenåens opland" er gennemført i perioden fra 2017 til 2022. I løbet af denne periode er der lavet flere forskellige projektførøb med det samlede formål at undersøge, hvordan Grenåens opland bedst rustes til undgå oversvømmelse i fremtidens klima.

Undersøgelsesfasen og analysen af området er gennemført agilt, hvor ny viden har fordret nye spørgsmål og nye forståelser af området. Sådan har projektet givet en fyldestgørende forståelse af vandbalancen i oplandet, som ikke var til stede forud for projektet. Forståelsen af oplandets hydrologiske sammenhænge, har medført en forståelse af at klimatilpasningen ikke nødvendigvis finder sin fulde løsning i det åbne land, men i stigende grad har skabt fokus på den nødvendige klimatilpasning og byudviklingen i byerne.

Projektførøbene har blandt andet drejet sig om at indsamle data og målinger til at opstille en samlet hydrologisk model, som er en kobling af flere forskellige modeller. Både til at kunne vurdere oplandets robusthed i forhold til oversvømmelse, og truslen om saltvandsindtrængning i Kolindsund fra pumpelagets virke og saltvand fra Kattegat. Samtidig har der været fokus på at inddrage interessenter i løsningsforslagene og formidling af projektet.

3.1 Måling og dataindsamling

For at kunne forstå de hydrologiske og hydrogeologiske sammenhænge i så stort et område som Grenåens opland, har det været nødvendigt at indsamle data og foretage målinger i området. Disse data har blandt andet været brugt til at opstille og kalibrere modellen.

Dataindsamlingen har både bestået i at finde tidligere undersøgelser fra området, samt at lave nye målinger i feltet. Samtidig er der i projektperioden udført flere forskellige analyser og rapporter:

Målinger og analyser
Kolindsund – prøvetagning og analyseresultater (chlorid og natrium), 2018
Opmåling af tværprofiler af vandløb 2018
Moniteringsprogram for Kolindsund 2015- 2022, måling af nedbør, vandstand, grundvand
Orbicon – Synkronmåling af vandføringsmålinger i 10 vandløb, 2019
Orbicon – Fastlæggelse af flow ved Fannerup og Enslev pumpestation, 2020
Sweco - Geologi og sætninger ved Kolindsund
Seges – Multifunktionel jordfordeling i oplandet til Grenåen – spørgeskemaundersøgelse af oplandsområdernes potentiale, udsendt til 1272 landmænd, hvor 388 besvarede, 2020

Tidligere undersøgelser af oplandet
Geologisk kortlægning af Kolindsund 1936
Jordbundsforhold i modelområdet og kortlægning af ferske og salte kildevæld – DGU 1936
Afstrømningsrapport for Grenåen 1977, Århus Amt
Udnyttelse af Kolindsunds kilder, Århus Amt 1982
Undersøgelser af afvandingsforholdene i og omkring Kolindsund, forprojekt. Hedeselskabet, 1983
Undersøgelse af afvandingsforholdene i og omkring Kolindsund. Hedeselskabet, 1983
Prøvetagning af vandprøver og analyse for indhold af klorid - Århus Amt 1983
Supplerende tekniske undersøgelser i og ved Kolindsund, 1984
Forbedring af vandføringsevnen i Vandløbssystemet omkring Kolindsund. Hedeselskabet, 1985
Terrænsætninger og afvandingstilstand. Hedeselskabet, 2000
Undersøgelse af afvandingsforholdene i og omkring Kolindsund. Hedeselskabet 2001
Grenåens afvandingssystem - Supplerende undersøgelser. Hedeselskabet 2001
Kolindsunds fremtid - Et debatoplæg om muligheder og konsekvenser (2006)
Ryom Å - Bidragene fra de kloakerede oplande samt Kattegat-vandstandens påvirkning på forholdene i vandløbssystemet. Orbicon 2008
Niras – Masterplan for højvandssikring af Grenå 2016

3.2 Modelberegninger

Formålet med projektet er at vurdere forskellige løsninger til at klimasikre Grenåens opland via modelberegninger. Da Grenåens opland står overfor flere forskellige udfordringer i fremtiden, er der blevet anvendt flere forskellige modeller.

Der er opstillet en kombineret overfladevandsmodel i modelværktøjet Mike Hydro og en 3D-grundvandsmodel i Mike SHE. Modellen skal hjælpe os til at forstå og overskue parametrene i vandbalance/strømning i Grenåens opland, samt belyse problemområder, oplandets robusthed i forhold til oversvømmelse og løsningsmuligheder.

Testninger af tekniske løsninger er undersøgt med en hollandsk overfladevandsmodel benævnt 3DI. Risikoen for saltvandsindtrængning i grundvandet specielt omkring Kolindsund er undersøgt ved brug af et andet grundvandsmodelværktøj i GMS Modflow.

En nærmere beskrivelse af de tekniske modelberegninger og forudsætninger findes i særskilt notat fra GEUS "Climate change and adaptation options in the Grenaa catchment, Denmark".

3.3 Inddragelse af interessenter og borgere

Et af hovedpunkterne i projekt er kommunikation og borgerinddragelse. Både for at udbrede viden om projektet, baggrunden for modelberegningerne, samt inddragelse af interessenternes ideer og synspunkter.

Denne del har været hårdt ramt af Corona, men der er stadig gennemført mange tiltag på området. Der er lanceret en hjemmeside for projektet med opfordring til løbende lokale inputs. Der er nedsat en styregruppe bestående af de to projektledere og teknisk direktør fra hver kommune, samt politikere fra de to kommuners teknik/miljøudvalg, og der er nedsat en følgegruppe med en bred vifte af repræsentanter fra lokalområdet. Der er gennemført en række forskellige initiativer i form af workshops, kortlægning af interessenter/aktører, spørgeskemaundersøgelser, gåture i området for borgere i lokalområderne, dialog med distriktsråd, dialog med Østjyllands museum om udstillingen "Kolindsund - Søen, der deler vandene" osv.

Borgerinddragelsen er uddybet i afsnit 10.

Links:

- <https://www.grenaaensopland.dk/>
- <https://www.facebook.com/Grenaaens.opland>
- <https://www.c2ccc.eu/>

4. Klimascenarier

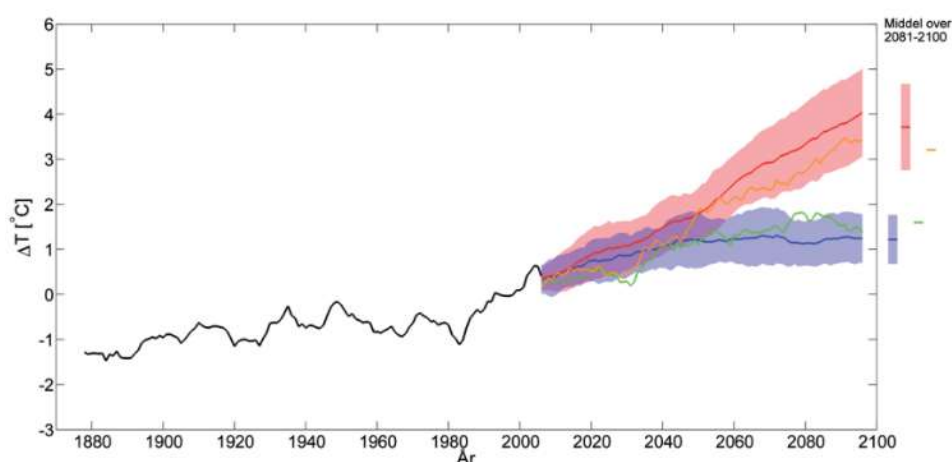
Fremtidens forandringer af klimaet forventes at ændre vandbalancen for Grenåens opland. Ifølge FN's klimapanel (IPCC) klimascenarier forventes der at komme øget nedbør primært om vinteren, hvilket vil skabe mere vand i oplandet og dermed større afstrømning i vandløbene.

Nedbøren forventes at falde som mere intense og ekstreme nedbørhændelser, hvor meget nedbør falder på kort tid ved skybrud.

Samtidig forventes der at komme en højere temperatur (Figur 4.1), hvilket bidrager til en længere vækstsæson og større fordampning, hvilket påvirker vegetationens forbrug af vand fra jorden.

Derudover forventes havvandstanden at stige, hvilket gør de kystnære områder mere udsatte for oversvømmelse og hæver risikoen for vandstuvning i Grenåen ved stormflod. Hvor meget havniveauet vil stige i fremtiden, vil især afhænge af afsmeltningen af sne og is ved Polerne samt oceanernes temperaturstigning, hvilket er forbundet med stor usikkerhed.

Samtidig med at fremtidens vintre forventes at blive vådere, så forventes somrene at blive tørrere, hvilket kan øge behovet for markvandring i vækstsæsonen. Hvor meget og hvordan klimaet vil ændre sig, afhænger især af mængden af drivhusgasser, der udledes til atmosfæren. Derfor tager IPCC's klimascenarier udgangspunkt i forskellige fremskrivning af udviklingen i udledningen i CO₂.

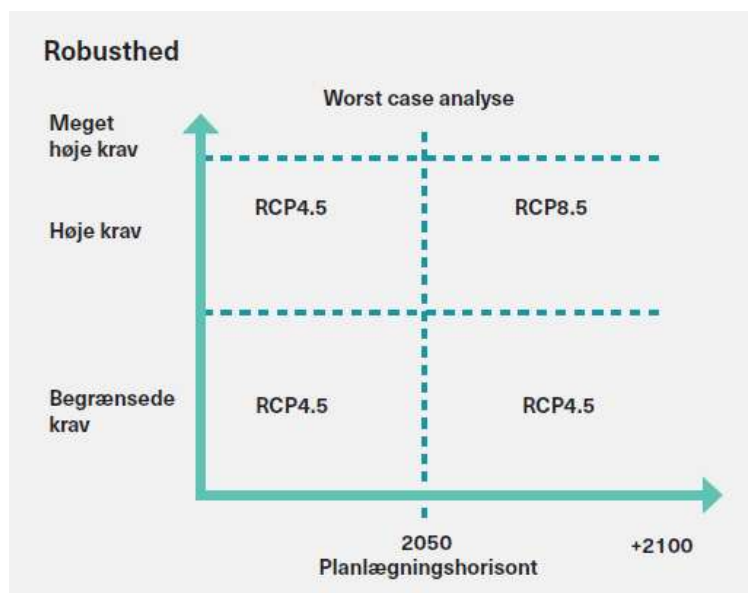


Figur 4.1 Ændring i årlig middeltemperatur i Danmark i forhold til referenceperioden 1986-2005. Sort kurve: Observationer fra 1874 til 2005. Blå og rød kurve: Modelsimulering for perioden 2005-2100 for henholdsvis RCP4.5-scenariet og RCP8.5-scenariet. De farvede faner angiver vurderede usikkerheder på temperaturstigningerne (Centre for Regional Change in the Earth System, 2014).

Det skal bemærkes at alle klimamodeller er forbundet med en vis usikkerhed, da klimaet er påvirket af mange forskellige faktorer. Derfor kombineres mange modeller oftest sammen for at tage højde for flere udfald. Når det skal laves klimatilpasningsprojekter, er det derfor også vigtigt at tage højde for variationen i de forskellige klimaforudsigelser. Dette er blandt gjort ved at teste oplandets robusthed i forhold til forskellige kombinationer af hændelser og klimafremskrivninger.

4.1 Valg af klimascenarie

I IPCC's femte hovedrapport fra 2014 indgår fire forskellige udlednings scenarier. De såkaldte RCP-scenarier (Representative Concentration Pathway) tager udgangspunkt i hvordan udledningen af CO₂ udvikler sig frem mod år 2100 (figur 4.1).



Figur 4.2 Anbefalede scenarier afhængig af planlægningshorisont og krav til robusthed (DMI, 2018).

I dette projekts modelberegninger for Grenåens opland er det valgt at arbejde med RCP8,5 scenariet. Dette er scenariet med den højeste udledning af CO₂, og derfor de største ændringer. RCP8,5 angiver strålingspåvirkningen (watt/m²) i 2100. RCP8,5 angiver en forsat stigende udledning efter 2100 og betragtes som business-as-usual. Ifølge RCP8,5 forventes koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren i 2100 at være omkring 1250 ppm til forskel fra omkring 415 ppm i dag.

RCP8,5 scenariet er valgt i dette projekt, fordi DMI og Miljøstyrelsen anbefaler dette scenarie til planlægning på en tidshorisont udover år 2050, hvor der er høje krav til *robusthed* (Figur 4.2).

RCP8,5 anbefales til større infrastrukturprojekter med en lang levetid, særligt når det kommer til projekter, der er påvirket af havspejlstigninger. Da Grenåens opland på grund af vandløbets lave fald i høj grad er påvirket af havvandsstanden, er det valgt at bruge RCP 8,5.

4.2 Klimaændringer i Grenåens opland

Klimaet ændrer sig meget forskelligt alt efter hvor i verden man befinder sig. Selv indenfor Danmark er der relativ store variationer i, hvordan klimaet forventes at udvikle sig.

Derfor er det vigtigt at kigge på lokalt tilpassede klimamodeller, når man skal vurdere konkrete klimatilpasningsprojekter. Når man prøver at forudsige klimaet i Danmark, kigges der både på globale og regionale klimamodeller. I DMI's Klimaatlas, hvor DMI prøver at forudsige klimaændringerne på forskellige lokale danske skalaer, har man inddraget data fra 57 forskellige klimamodeller, som er blevet sammenholdt

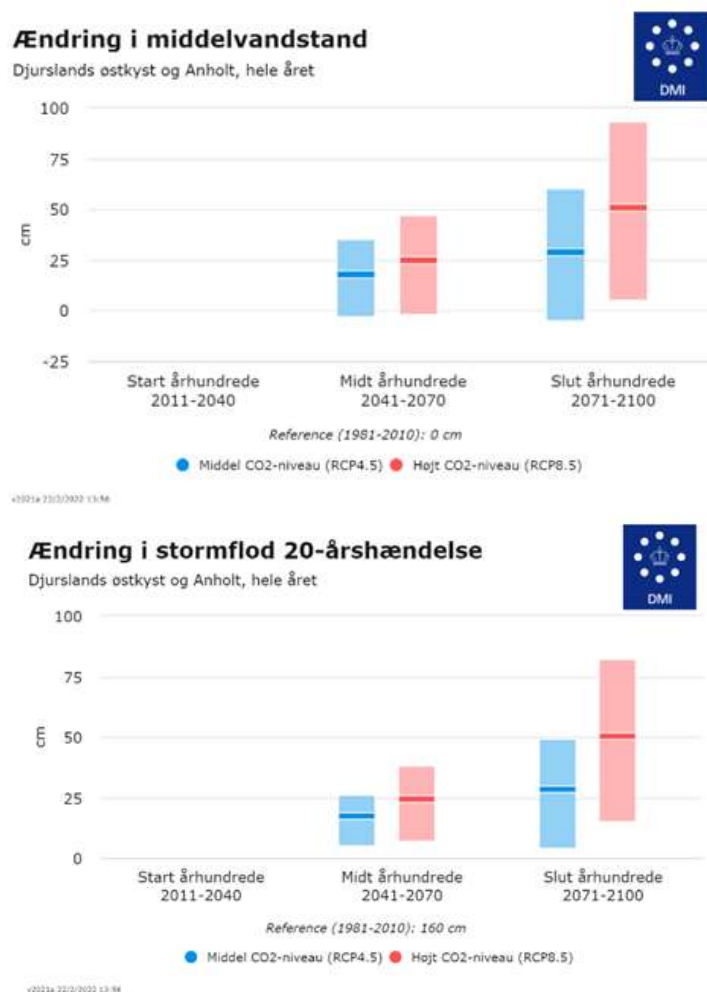
Ifølge RCP8,5 scenariet forventes hav middelvandstanden ved Vandopland Djursland at stige med 49 cm (5-93 cm) frem mod perioden 1970-2100 i forhold til referenceperioden 1981-2010 (Figur 4.3).

Dette betyder samtidig, at ekstremhændelserne i forhold til stormflod bliver værre med højere vandstand og større hyppighed.

Det forventes, at hyppigheden af vandstandsvarslinger stiger fra cirka et årligt (1981-2010) varsel til ti årlige varslinger i 1970-2100 (med et usikkerhedsinterval på 0-120 hændelser/år). Samtidig forventes varslinger for vandstand at dække over en længere tidsperiode, hvilket betyder, at den forhøjede vandstand vil forekomme i en længere tid.



Danmark er inddelt i 23 hovedvandoplande. Et hovedvandland er et landområde, hvor vandet dræner ud i et afgrænset hav- eller fjordområde. Hovedvandopland Djursland består således af de landområder, som dræner ud mod Hevring Bugt, Fornæs, Hjelm Dyb, Ebeltoft Vig samt farvandet omkring Anholt.



Figur 4.3 Ændringer i havets middelvandstand og stormflodshyppigheder i klimascenarie RCP8.5. Diagrammerne er baseret på 57 forskellige klimamodeller (Kilde: DMI, 2022).

Valget af klimascenarie og de forbundne konsekvenser er yderligere beskrevet i:

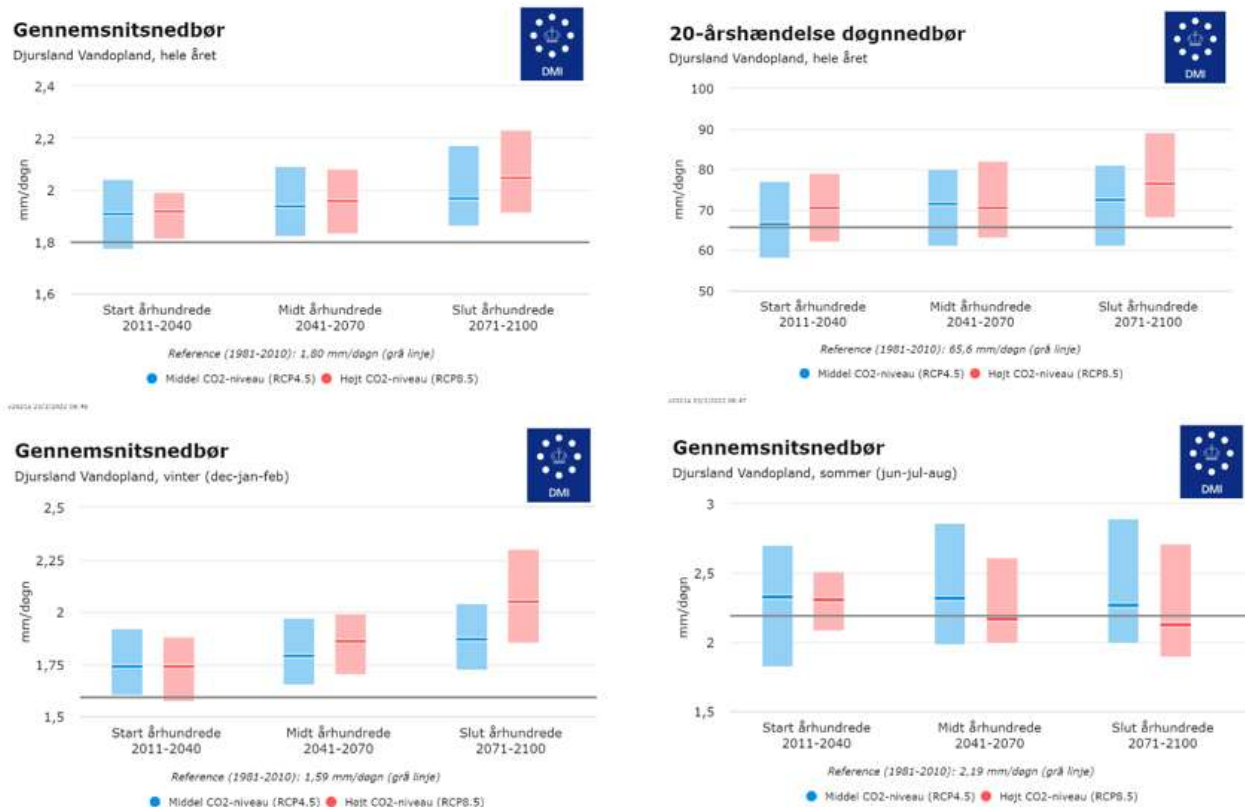
- DMI's og Miljøstyrelsens vejledning til valg af RCP-scenarier.
- DMI's klimaatlas.
- DMI's klimarapport for Syddjurs Kommune.
- DMI's klimarapport for Norddjurs Kommune.

Nedbøren i oplandet forventes i gennemsnit at stige med 13 % i forhold til 1,80 mm/døgn i 1981-2010. I forhold til skybrud, der defineres som hændelser, hvor der falder mere end 15 mm nedbør på 30 minutter, forventes hyppigheden af disse at stige med 80 % i forhold til referencen på 0,34 hændelser/årligt i 1980-2010 (Figur 4.4).

Samtidig vil hændelserne blive voldsommere, så det vi i dag kender som en 20-årig døgnnedbørshændelse vil stige med 19 % i nedbørsmængden (5-36 %). Nedbøren forventes at stige kraftigst om vinteren (december-februar) med 23 % (10 til 41 %), hvorimod det er mere usikkert, om sommeren bliver tørre eller

vådere. Gennemsnitligt vil der være et fald i nedbøren om sommeren (juni-august) på -2 % (-16 til 26%) (Figur 4.4). Dette betyder, at sæsonvariationen i vandbalancen vil ændres.

Gennemsnitstemperaturen i vandområde Djursland forventes ifølge RCP8,5 at stige med 3,4 °C (2,9-4,4°C) frem mod 2100. Dette medfører samtidig en forhøjet fordampning på 5 % (-1 til 10 %), hvilket er med til at påvirke vandbalancen for oplandet.



Figur 4.4 Ændring i gennemsnitsnedbør (a), 20-årshændelse for døgnsnedbør (b), vinternedbør (c) og sommernedbør (d) for Vandområde Djursland. Tallene er baseret på 57 klimamodeller (DMI, 2022).

5. Modelberegninger

En central del af projekt Grenåens opland, har været at belyse oplandets robusthed i forhold til oversvømmelse i fremtidens klima via en række forskellige modelberegninger.

De anvendte modelværktøjer er:

- Mike SHE og Mike HYDRO, der har været anvendt til at fastlægge en vandbalance for Grenåens opland, dvs. hvordan den indbyrdes påvirkning er mellem grundvandet i forskellige geologiske lag, overfladevandet i vandløb og søer, nedbøren og vandindvinding i vandboringer.
- Modelværktøjet 3DI, som benyttes til at beregne konsekvenser for overfladevand og oversvømmelse ved forskellige klimascenarier.
- Modflow GMS, som benyttes til stofbalancemodellering af det dybe saltvands bevægelse ved forskellige klimascenarier.

Endvidere er der gennem projektperioden indsamlet en lang række hydrologiske data til kalibrering af modellerne. En model skal således kalibreres for at sikre at den stemmer overens med virkeligheden. Det gøres ved at modellen justeres med målte data ad vandstanden i vandboringer og brønde samt vandløb.

Du kan læse mere om de udførte modelberegninger og vurderinger i følgende rapporter:

- Monitoringsprogram for grundvandsboringer og nedbøringsmålinger. Udarbejdet af SWECO, 2. december 2022*).
- Climate change and adaptation options in the Grenaa catchment, Denmark. Rapport udarbejdet af GEUS, 2022*).
- Saltwater intrusion in the Grenå catchment, Denmark. Notat udarbejdet af GEUS, 2022*).
- Vandføringsmålinger ved Nordkanalen og Grenåen. Udført af WSP, 2020*).
- Investigation og possible karstification and transient groundwater modellering og Grenaa catchment. Udarbejdet af Jacob Mathias Jensen, Københavns Universitet, maj 2021).
- Vandløbsmodel Mike11 for Ryom Å. Udført af Orbicon, 2008.

*) undersøgelser og vurderinger foretaget i dette C2CC-projekt.

5.1 Hydrologisk vandbalancemodel

Den hydrologiske model har til formål at undersøge oplandets robusthed i forhold til oversvømmelse baseret på oplandets vandbalance. Den opstillede model for Grenåens opland består af to forskellige modeller, som er kørt sammen - en hydrologisk model i modelværktøjet Mike Hydro, som beskriver processerne for overfladevandet, og en grundvandsmodel i programmet Mike SHE, der beskriver vandets strømninger i de dybere jordlag.

Grundvandsmodel (Mike SHE)

Grundvandsmodellen tager udgangspunkt i geologien, hvor den inddrager 13-15 geologiske lag, som har betydning for grundvandets strømninger. Nederst findes kalklagene, hvor vandets strømninger især er knyttet til sprækker og forkastningszoner.

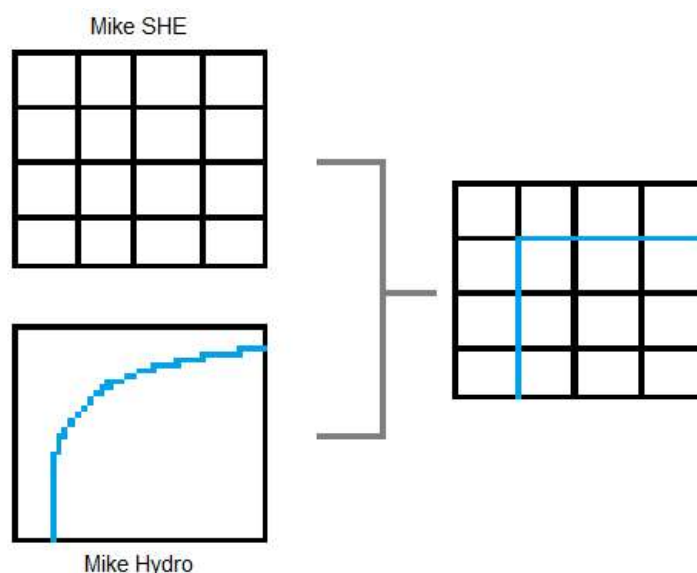
I de øvre jordlag styrer fordelingen af sand, ler og grus permeabiliteten – det vil sige vandets strømningsevne. Oplysninger om grundvandsstanden er trukket ud af 947 borer fra GEUS' s Jupiter databasen. Endvidere er der i et måleprogram indhentet detaljerede oplysninger om grundvandets højde i udvalgte borer.

Som et led i projektet har firmaet Orbicon udført et måleprogram i oplandets vandløb, hvor der blev målt vandføring ved 7 stationer og vandstand ved 9 stationer.

Disse data er inddraget i kalibreringen af modellen. Data over fordampning, luft temperatur og nedbør fra DMI's klimascenarier er også brugt til kalibrering af modellen, for at få den tilpasset de lokale forhold. Data over vegetationstyper herunder afgrødetyper, er inddraget i modellen, da planternes vandforbrug påvirker vandbalancen. Derudover tager modellen hensyn til de drænetværk og de menneskeskabte drænkanaler og pumpestationer ved Kolindsund, som påvirker vandets bevægelse.

Overflademodel (Mike Hydro)

Formålet med overflademodellen er at forstå vandets bevægelser i vandløbene og på terrænoverfladen. For at kunne lave modellen, er der forud for modelleringen blevet opmålt en række tværsnit af vandløbene i oplandet. Disse tværsnit er blevet inddraget i modellen og via en interpolation blevet brugt til den rummelige beskrivelse af hele vandløbssystemet. Derudover er der blevet inddraget informationer om broer i området, som kan fungere som indsnævring for vandløbene, samt oplysninger om oppumpninger af vand.



Figur 5.1 Grundvandsmodellen (Mike SHE) består af grid celler, hvorimod overflademodellen (Mike Hydro) består af linjer i terrænet kreeret af tværsnitsprofiler. Når de kombineres, flyttes vandløbene til mellem cellerne.

Kombineret model

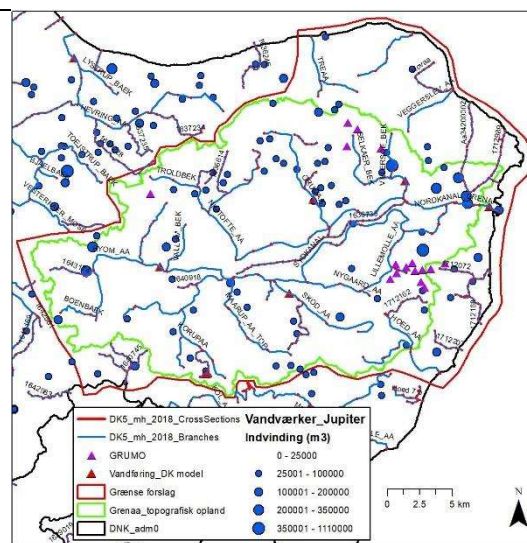
Som ovenfor beskrevet består vandbalancemodellen af to kombinerede modeller; grundvand (Mike SHE) og overflade (Mike Hydro).

Grundvandsmodellen er opbygget som en såkaldt grid model, hvor oplandet er inddelt i et stort antal beregningsceller (grids) på 100•100 meter, hvor hver beregningscelle indeholder en samlet information med relevante hydrauliske parametre.

Overflademodellen (Mike Hydro) er opbygget af vandløbslinjer bygget af tværsnit. Når de to modeller kombineres, placeres vandløbene sig mellem cellerne, hvor de angiver til hvilket af de omgivende celler, at vandet løber til. Det betyder, at vandløbene i nogle tilfælde godt kan blive en smule forskudt i forhold til virkeligheden (figur 5.1).

Opland og modelområde

Grenåens opland består, som nævnt af et område på 466 km². Dette område dækker det topografiske opland, hvilket betyder, at alt nedbør der falder i dette område og afledes som overfladeafstrømningen, vil ledes mod Grenåens udløb. Men det er ikke alt nedbør, som løber af som overfladeafstrømning. Noget vand vil nedsive gennem jorden, ned mod grundvandet. Grundvandets afstrømningsveje afhænger i høj grad af jordtypen, f.eks. om jorden består af ler eller sand. For at forstå vandbalancen for Grenåens opland, indeholder modelberegningen derfor et større område end arealet af Grenåens opland. Grundvandet er nemlig en central del af den ændrede vandbalance, som kan få konsekvenser i fremtiden.



Grenåens topografiske opland og modelområdet (Geus, 2021).

3DI model

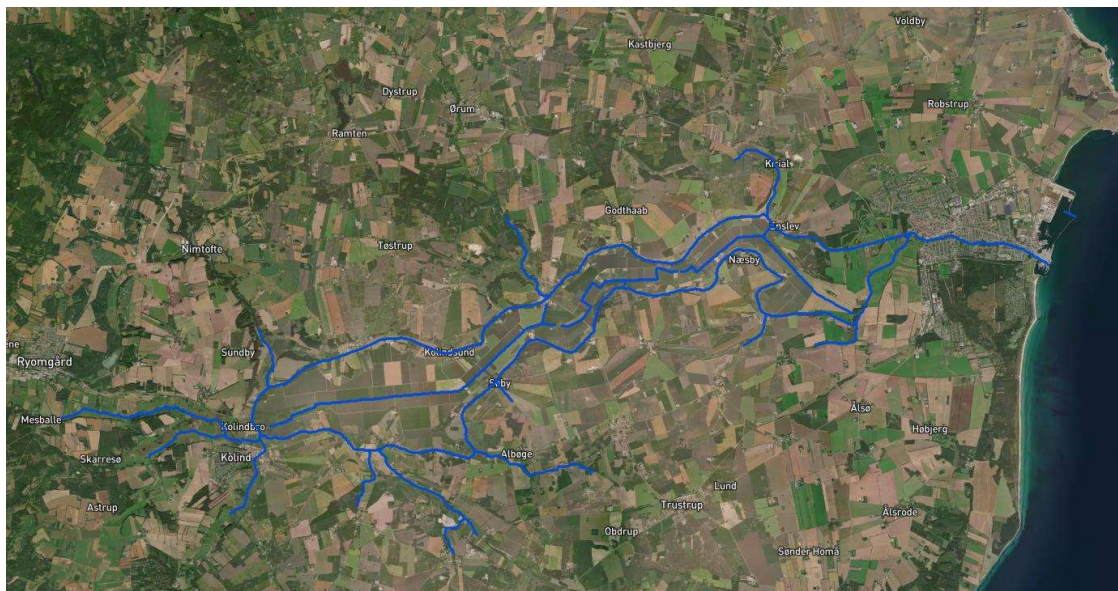
Mike model-værktøjet er velegnet til at vurdere grundvand i alle dybder. Det er dog en stor og beregningstung model, og med en relativ grov opløsning på 100•100 meter, hvilket ikke er ideelt, når der skal modelleres oversvømmelse i Grenå by, hvor mindre afstande kan være væsentlige i forhold til fastlæggelse af risiko for oversvømmelser.

Til at undersøge en eventuel teknisk klimaløsning i Grenå by med en sluse-pumpe løsning, er det derfor valgt at bruge det hollandske 3DI modelværktøj.

3DI modelværktøjet er udviklet af det hollandske firma Nelen & Schuurmans, som har stor erfaring med at analysere og dimensionere dige- og sluse løsninger. Samtidig har 3Di modellen den fordel, at man kan operere modellen live, og lave ændringer som pumper og diger undervejs.

Det gør modellen velegnet til formidling. 3DI-værktøjet har dog den udfordring, at den er fokuseret på overfladevand, og inkluderer derfor ikke grundvand i tilstrækkeligt omfang. Men fordi Mike modellen allerede er opstillet for Grenåens opland, kan den bruge input fra Mike modellen som en forudsætningsbetingelse.

Dette betyder, at selvom den ikke selv kan regne på grundvandsforhold for hele oplandet, så kan den få disse parametre fra Mike modellen. 3DI modellen dækker derfor kun et område, der omkredser Grenå, Kolind, Kolindsund og de omkredsede vandløb, der løber til området (Figur 5.2).



Figur 5.2 Kort over 3DI modelområde.

5.2 Scenarier i modellen

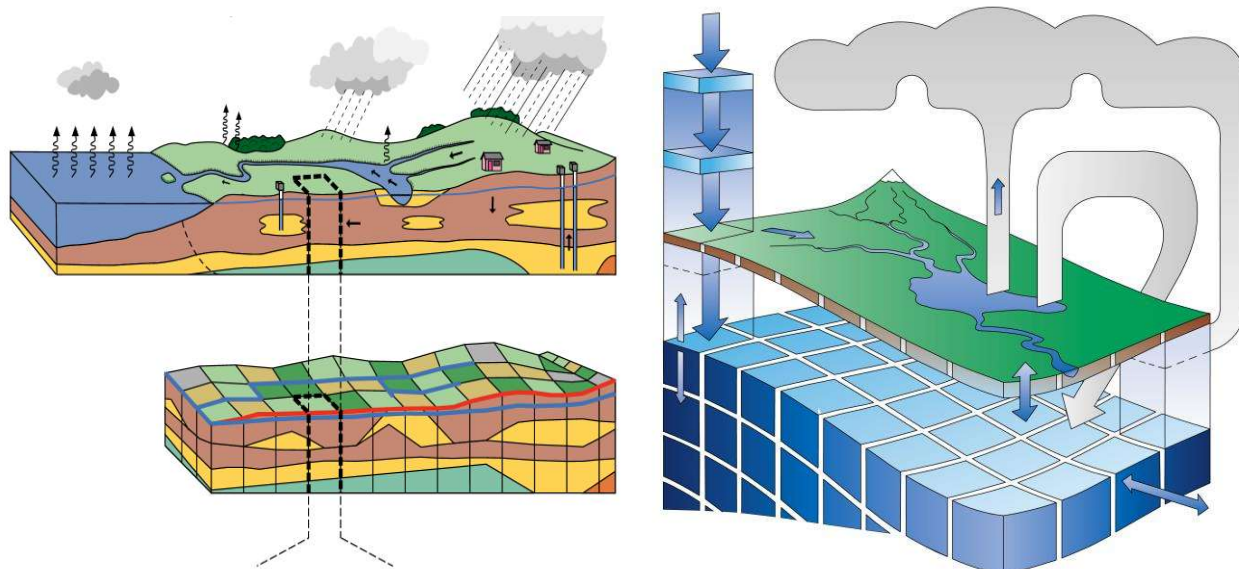
De hydrologiske modeller er brugt til at beregne på forskellige scenarier, som tager udgangspunkt i, hvordan påvirkning fra klimaet forventes at blive i fremtiden i forhold til om man vælger at klimatilpasse eller ej, og hvilke løsninger der vælges (Tabel 5.1). Hvert af scenarierne er udregnet for henholdsvis nutid (2020), og fremtid 2050 og 2100:

Tabel 5.1 Oversigt over beregnede scenerier. Denne rapport vil præsentere et udvalg af scenarierne.

Scenarie	Nutid	2050	2100
Hverdag - grundvand	X	X	X
Nedbørsevent	X	X	X
Langvarig regn	X	X	X
Stormflod kote 3 i 1 døgn	X		
Stormflod kote 3 i 5 døgn	X		
Langvarig regn + stormflod kote 3 i 1 døgn	X		
Nedbørsevent + stormflod kote 3 i 1 døgn			X
Lavt grundvandsspejl + nedbørsevent	X		
Tørke	X	X	X
Tekniske løsninger med sluse og dige			X
Sluseløsning med Kragssø som buffer	X		
Kolindsund som sø + Bodil stormflod			X
Kolindsund som sø uden sluse + kote 3 stormflod			X
Kolindsund som sø uden sluse + nedbørsevent + kote 3 stormflod			X
Kolindsund som sø med sluse + kote 3 stormflod			X
Kolindsund hvor pumperne stopper under stormflod			X

Hvordan opstilles en hydrologisk model?

Når man opstiller en hydrologisk model, inddeler man hele modelområdet i celler. Hver enkel celle indeholder oplysninger omkring cellens topografi, jordforhold, grundvandsspejl mm. Herefter kan man "hælde vand" på modellen og udregne i hvilken retning vandet vil bevæge sig, fra celle til celle indtil vandet til sidst ender i havet. I modellen er det herefter muligt at ændre for mængden af nedbør, havspejlet og andelen af menneskeskabte konstruktioner f.eks. diger, pumper eller vandreservoirer. På den måde kan det undersøges, ved hvilke hændelser der kommer problemer med oversvømmelse på overfladen og hvordan forskellige konstruktioner kan løse problemet.



(Geus)

5.3 Valg af klimascenarie

I projektet er det valgt at arbejde med IPCC's RCP8,5 klimascenarie (afsnit 4).

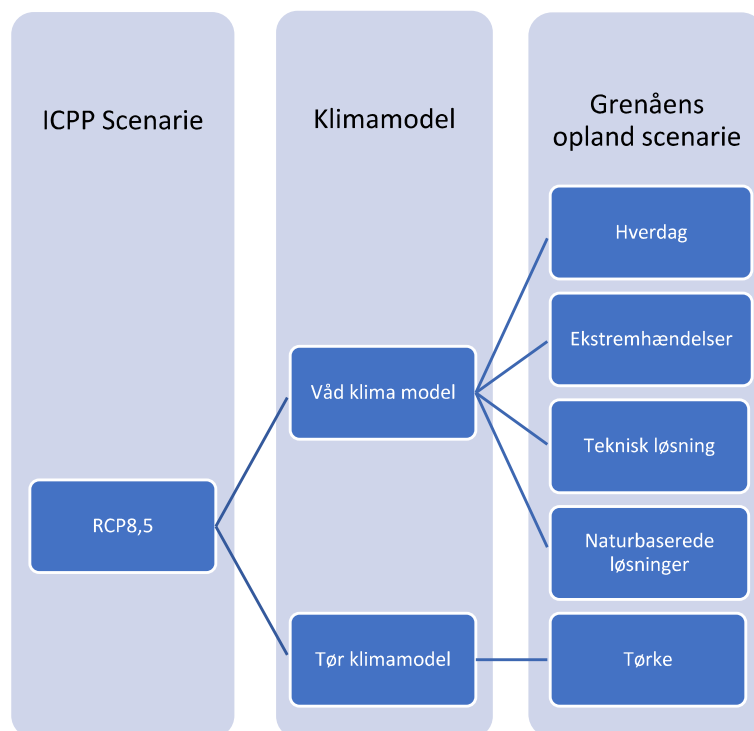
RCP8,5 scenariet består dog ikke af en enkelt forudsigelse af, hvordan fremtidens klima, kommer til at blive. Der findes en lang række forskellige klimascenarier, som udregnes på baggrund af den samme CO₂ koncentration, som beskrevet i RCP8,5. Da der er store usikkerheder forbundet med forudsigelserne, er det i projektet valgt at basere de hydrologiske modeller på to forskellige klimascenarier (Figur 5.3):

- Et vådt klimascenarie.
- Et tørt klimascenarie.

De to klimascenarier er valgt på baggrund af 21 forskellige klimaprognosemodeller fra DMI, som er beregnet for Danmark. Herefter er de to scenarier udvalgt på baggrund af, hvor våd Djursland forventes at blive. Der er taget udgangspunkt i nedbørsmønstre og grundvandsstand.

Det betyder, at det tørre klimascenarie ikke behøver at være tør for hele Danmark, men er tør for Djursland. Det er heller ikke nødvendigvis fordi der er tørt på Djursland hele tiden, men der findes længere perioder især om sommeren, hvor der ikke falder nedbør.

Klimascenarie RCP 8,5 er ligeledes anbefalet og valgt i DK2020 arbejdet og Grenaa-næse for vand, samt øvrige vandprojekter i oplandet.



Figur 5.3 ICPP's RCP8.5 ligger som baggrund for alle beregnede scenarier. Derudover er der brugt en våd og en tør klimamodel.

5.4 Saltvandsmodel

Formålet med saltvandsmodellen er at skabe et overblik over levetiden for landbruget i Kolindsund og drikkevandsforsyningen til Grenå. Det vides fra tidligere undersøgelser, at der ligger salt grundvand i undergrunden under Kolindsund. Samtidig kan det stigende havniveau være en trussel for indtrængende havvand. Dette formål har vist sig vanskeligt i projektet at belyse.

Modellen skulle undersøge, hvor længe man kan blive ved med at pumpe fersk grundvand op fra Kolindsund, uden at det salte grundvand trænger op og skaber problemer for områdets landbrugsproduktion og drikkevandsforsyningen til Grenå. Læs mere om saltvandsproblematikken i afsnit 6.

På trods af at formålet, som oprindeligt var at skabe overblik i balancen mellem saltvand og ferskvand ikke er fuldt ud lykket, har opgaven udmøntet i resultater af opsamling og overblik over tidligere gennemførte undersøgelser og ny sammenstilling af data. Det har medført en øget forståelse af hvorledes geofysiske metoder skal tolkes i sådanne områder.

Opbygning af saltvandsmodellen

Saltvandsmodellen er opstillet i modelværktøjet GMS Modflow (Groundwater modeling system). Saltvandsmodellen bruger dataene fra den hydrologiske Mike model og dækker derfor det samme modelområde.

Modellen tager højde for oplandets topografi, undergrundens vand- ledningsevne, grundvandets strømningsretning og hastighed, overfladeafstrømning, den ændrede fordampning og påvirkningen fra havet. Derudover tager modellen hensyn til de menneskeskabte drænrør, drækanaler og pumpestationer ved Kolindsund, som påvirker vandets bevægelse. Modellen indeholder data fra vandboringer der omgiver Kolindsund, men der er ingen boringer i selve Kolindsund.

Modellen var opsat med en ensartet saltkoncentration på 5 g/l i det dybeste kalklag for hele modelområdet. Havvandets saltkoncentration var sat til 28 g/l. Der er blevet beregnet to modelkørsler. En med det nuværende havspejl, og en med et stigende havspejl på 1 meter.

En uddybende forklar af modelopbygningen kan læses i GEUS's rapport "Saltwater intrusion in the Grenaa catchment, Denmark".

6. Saltvandsproblematikken

6.1 Arbejdshypotese

En væsentlig problemstilling i dette projekt er det salte grundvand i relation til fremtidens klimaforandringer med stigende havspejl og øget behov for indvinding af grundvand.

Projektets arbejdshypotese har været følgende:

Ved fortsat oppumpning af fersk grundvand i det inddæmmede Kolindsund vil på et tidspunkt kunne sænke grundvandsspejlet og dermed øge risikoen for mobilisering af dybtliggende salt grundvand til overfladen. Dette vil kunne give en negativ påvirkning af dyrkningsmulighederne i Kolindsund lavningen og områdets drikkevandsforsyning til især Grenå by.

Det salte grundvand kommer fra mere dybtliggende lag i undergrunden som bliver trukket op til overfladen som følge af den store oppumpning ved Kolindsund Pumpelags pumpestationer fordi grundvandssystemet til stadighed forsøger at skabe ligevægt.

Behovet for fortsat pumpning begrundes i fremtidens øgede nedbørsmængder og stigende havvandsspejl, men de forventede tørre år i fremtiden vil også kunne afstedkomme et behov for øget markvanding, og dermed sænkning af det ferske grundvandsspejl.

Problemstillingen er ikke ny. Daværende Århus Amt og Grenå Kommunale Vandforsyning gennemførte således en række undersøgelser i 1970'erne og 1980'erne med henblik på at undersøge det salte grundvand nærmere.

Denne undersøgelse af saltvandsproblematikken er opdelt i flg. elementer:

- Nærmere afklaring af problemstillingen, herunder om der er tale om marint infiltrationsvand fra Kattegat eller marint residulvand (fra den tidligere fjord Kolindsund).
- Gentagelse af tidligere undersøgelser i 1936 og 1982 med udtagning af vandprøver fra vandboringer, vandløb og kildevæld for at vurdere en eventuel tidslig udvikling.
- Modellering for at afklare problemstillingen og en evt. mulig tidshorisont for saltvandsgennembrud i dyrkningslagene.
- Etablering af monitoringsboring centralt i ådalen til overvågning af det salte vands forekomst og eventuelle udvikling.

Emnet er yderligere belyst i følgende rapporter:

- Saltwater intrusion in the Grenå catchment, Denmark. Notat udarbejdet af GEUS, 2022*).
- Målinger af salt i vandløb og kilder. Syddjurs Kommune 2018*).
- Udnyttelse af Kolindsunds kilder. Rapport udarbejdet af Århus Amt, 1982.
- Målinger af klorid i vandboringer, kilder og vandløb. Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1936.

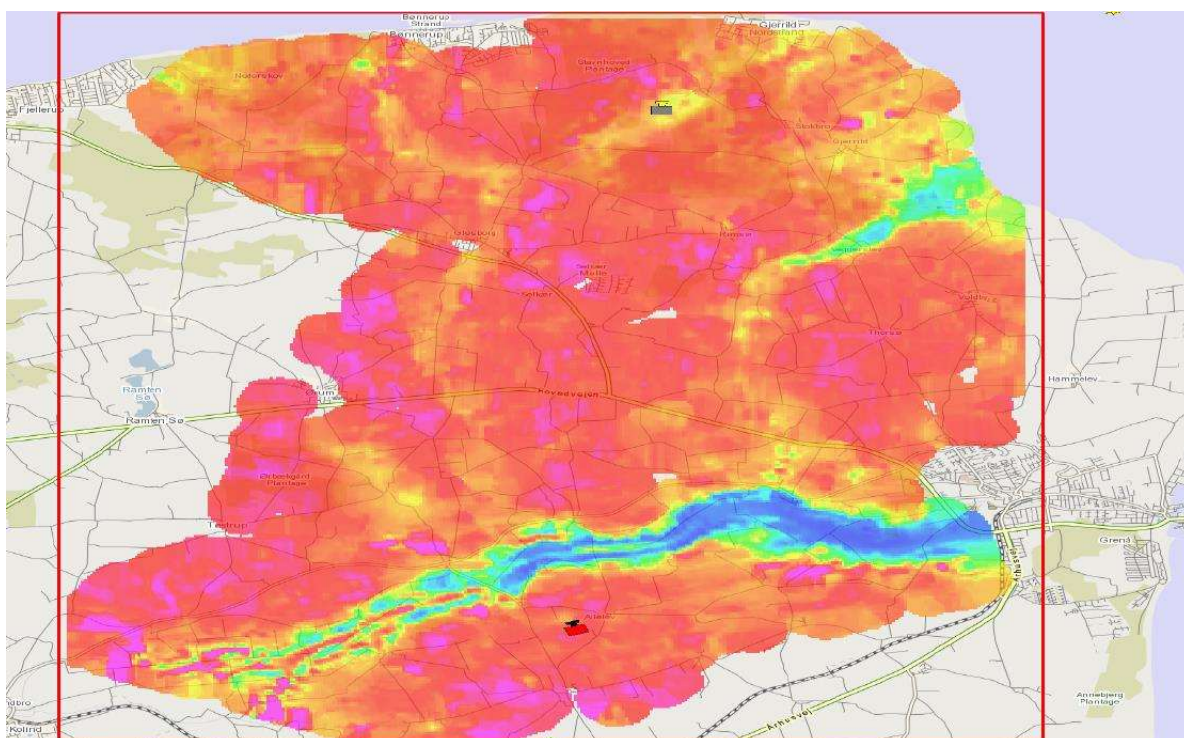
- En hydrologisk-hydrokemisk undersøgelse af det kunstigt afvandede Kolindsund. Tor-Erik Korkman, 1980.
- Hydrokemi - opløsningsprocesser i vestlig Kolindsund. Tor-Erik Korkman, 1979.
- Beskrivelse af kilder og væld. Tor-Erik Korkman, 1980.
- Salt grundvand i kolindsund/Grenå-området. Susie Mielby og Carsten Thøgersen, 1980.

*) undersøgelser og vurderinger foretaget i dette C2CC-projekt.

6.2 Hvor dybt ligger det salte grundvand?

I den østlige del Djursland findes der salt grundvand i varierende dybde. Der er tidligere foretaget to undersøgelsesboringer for at bestemme dybden af det salte grundvand. I en boring nord for Skindbjerg (DGU nr. 71.522) er dybden til det salte grundvand målt til ca. 70 m under havniveau, og i en boring ved Kirial (DGU nr. 71.397) er fundet salt grundvand ca. 50 m under havniveau.

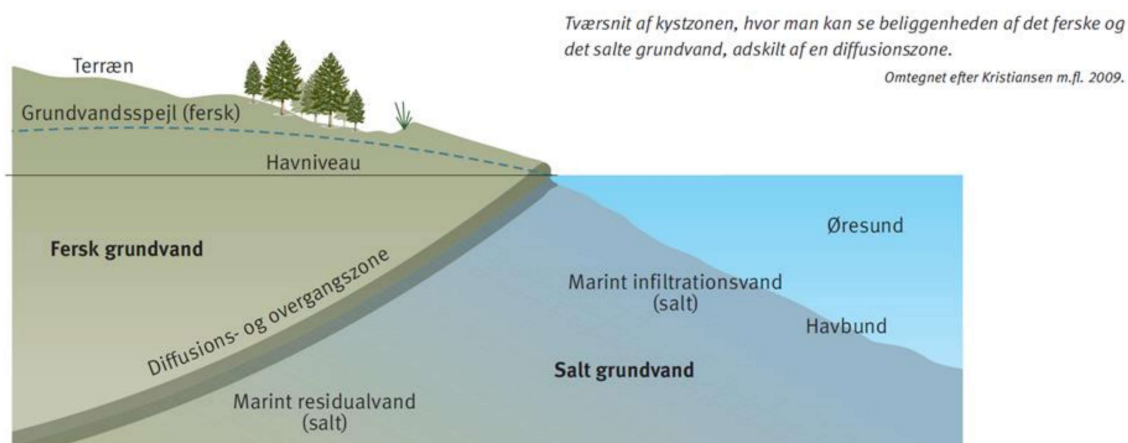
Der er desuden konstateret forhøjede værdier af Na og Cl i enkeltvandsforsyninger i de dybe sidedale til Kolindsund ådal, der formentlig skyldes opvæld i sprækkezoner i kalkundergrunden. Forskellige steder i Kolindsund bryder saltvandspåvirket kildevæld frem. Der findes dog forsat få oplysninger om det salte grundvand i selve Kolindsund-lavningen da der ikke er nogen boringer fra dette område, men nyere geofysiske undersøgelser antyder relativ højtliggende salt grundvandsspejl i Kolindsund-lavningen, se *Figur 6.1*.



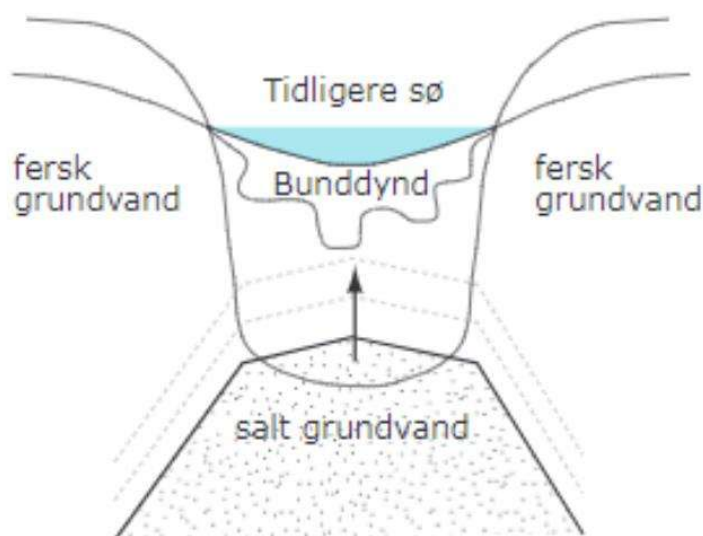
Figur 6.1 Resultat af geofysisk undersøgelse af undergrunden på Djursland, som viser de geoelektriske formationsmodstand omkring kote -40 (40 meter under havniveau). De røde og orange farver viser høje modstande, hvilket kan tolkes som tør kalk, sand eller grus. De blå og grønne farver i Kolindsund lavningen viser lave modstande, hvilket kan tolkes som saltvandførende jordlag og/eller ler (kilde: Miljøstyrelsen).

6.3 Hvor kommer saltet fra?

Forekomsten af det salte grundvand, kan skyldes to forskellige årsager. Da Kolindsund er tidligere havbund (se afsnit 2.2), kan der være tale om residualt havvand fra den gang Kolindsund var fjord. Det salte grundvand kan også være infiltrationsvand, der er trængt ind fra havet (Figur 6.2).



Figur 6.2 Tværsnit af kystzonen, der viser forekomst af residualt saltvand og marint infiltrationsvand fra havet (kilde: Geoviden, geologi og geografi nr. 2, 2012).



Figur 6.3 Skematisk tværsnit nord/syd hen over Kolindsund lavningen. I takt med at det ferske grundvandsspejl sænkes er der risiko for at det salte grundvand trænger længere op (kilde: Marie Lyster Nielsen, 2008).

Dybden til et salte grundvand er blandt andet bestemt af massefyldeforskellen mellem det salte og ferske grundvand. Salt grundvand er tungere end det ferske vand, og jo højere det ferske grundvandsspejl findes, jo dybere vil det salte grundvand være.

Den såkaldte Ghyben-Hertzbergs håndregel siger således, at en meter fersk grundvand over havniveau vil presse det salte grundvand cirka 40 meter ned. Grundvandssænkningen omkring Kolindsund kan derfor være

kritisk i forhold til opstigende saltvand, da den oppumpning fra Kolindsund Pumpelag på ca. 50-60 mio. m³ vand/år kontinuerlig tærer på det overliggende lag af fersk grundvand, der kontrollerer det dybtliggende saltvand.

Vandspejlet i midterkanalen i Kolindsund ligger på nuværende tidspunkt 3-4 meter under havniveau. Den fortsatte store oppumpning af vand, kan derfor medføre, at det underliggende salte vand trænger op og infiltrere det ferske grundvand.

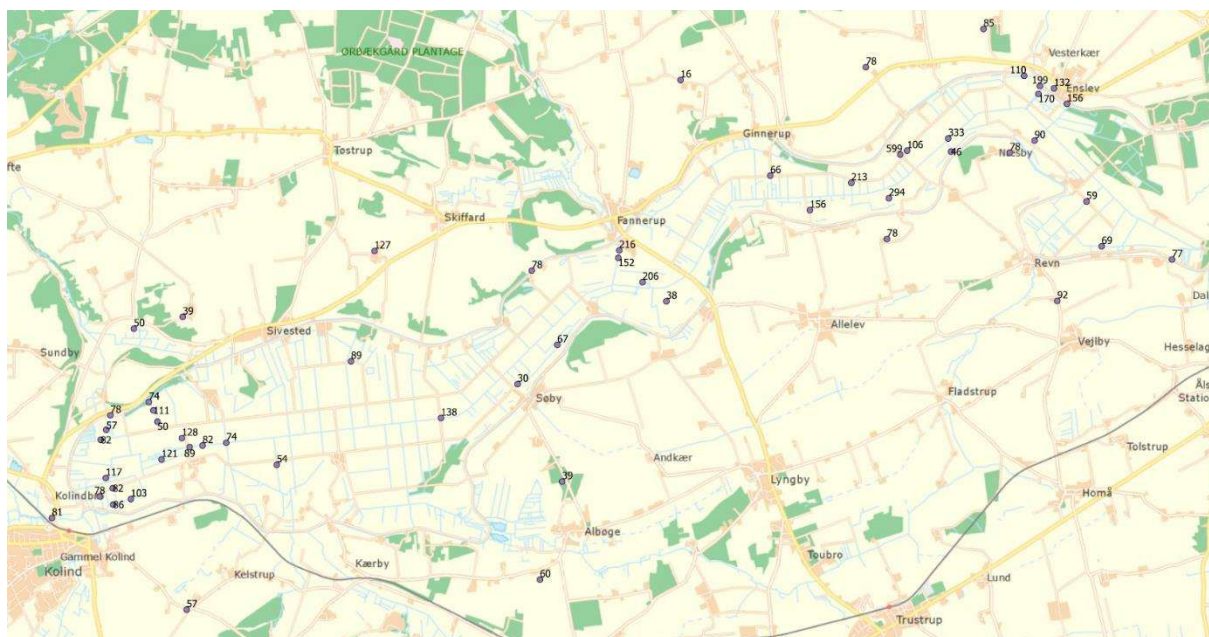
Samtidig kan det stigende havspejl true med en indtrængning af salt havvand ved kysterne, hvor det salte vand trænger ind i ferske grundvand. Kombineret med det sænkede grundvandsspejl i flere områder, øges risikoen for dette.

6.4 Undersøgelse af saltvandsindtrængning

Saltvandsproblematikken for Kolindsund har været kendt i mange år. I 1936 blev der af DGU udført en undersøgelse af jordbundsforholdene i Kolindsund med kortlægning af ferske og salte kildevæld. I 1983 foretog Århus Amt prøvetagninger af vandprøver og analyse i forhold til indholdet af klorid. Prøverne blev taget i borer, vandkanaler eller fra dræn/kilde.

Som et led i projektet er der i 2018 blevet foretaget 20 punkt målinger af klorid i afvandningskanalerne i Kolindsund med udgangspunkt de tidligere undersøgelser udført af DGU i 1936 og Århus Amt i 1982. Dette blev gjort for at følge den tidlige udviklingen i saltindholdet. Alle ældre og nye prøvetagningssteder blev lokaliseret med GPS og indtegnet på nedenstående kort i Figur 6.4.

Det fremgår af kortet, at der er forhøjede værdier af klorid i såvel vandboringer, vandløb og kildevæld forskellige steder i Kolindsund-lavningen mellem Kolind og Grenå by. Indholdet af klorid i vandet er størst omkring de to store pumpestationer ved Enslev og Fannerup – op til en faktor 10 i forhold til et forventet normal indhold på mindre end 40 - 50 mg/l klorid pr. liter vand.



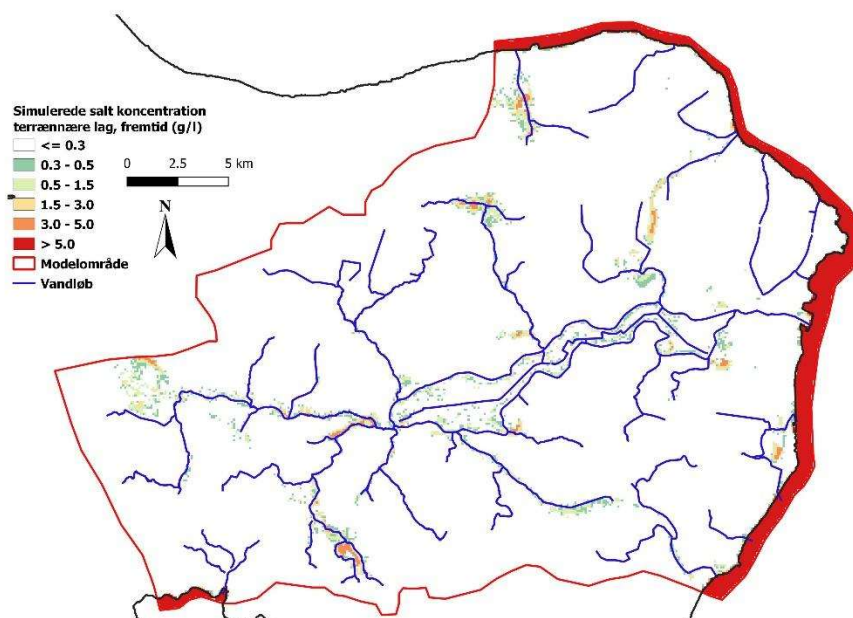
Figur 6.4 Kort med angivelse af samtlige målinger af klorid i vandboringer, vandløb og kildevæld foretaget i 1936, 1982 og 2018 (kilde: DGU 1936, Århus Amt 1982 og Syddjurs Kommune 2018).

Undersøgelsen i 2018 viste, at der gennem årene tilsyneladende er en rimelig stabil udsivning af salt grundvand til områdets vandløb. Udsivningen er formentlig kontrolleret af jordbundens beskaffenhed. Undersøgelsen viste også, at der ikke er tale om ionbyttet vand, det vil sig at kilden til det salte grundvand stammer fra relative unge geologiske lag.

6.5 Modellering af det salte grundvands udvikling i fremtiden

Der er i forbindelse med dette projekt opstillet en hydrogeologisk stoftransportmodel med modelværktøjet Modflow GMS på baggrund af input fra den opstillede vandbalancemodel jf. afsnit 5. Den opstillede model har været anvendt til at vurdere risikoen for saltvandsindtrængning i de øverste jordlag for et fremtidigt klimascenarie i år 2100 med øget nedbør og højere vandstand i Kattegat.

Modellens opsætning, forudsætninger og beregningsresultater er yderligere uddybet i baggrundsnotatet "Éva Sebök og Torben Sonnenborg: Saltwater intrusion in the Grenå catchment, Denmark, GEUS 2022".



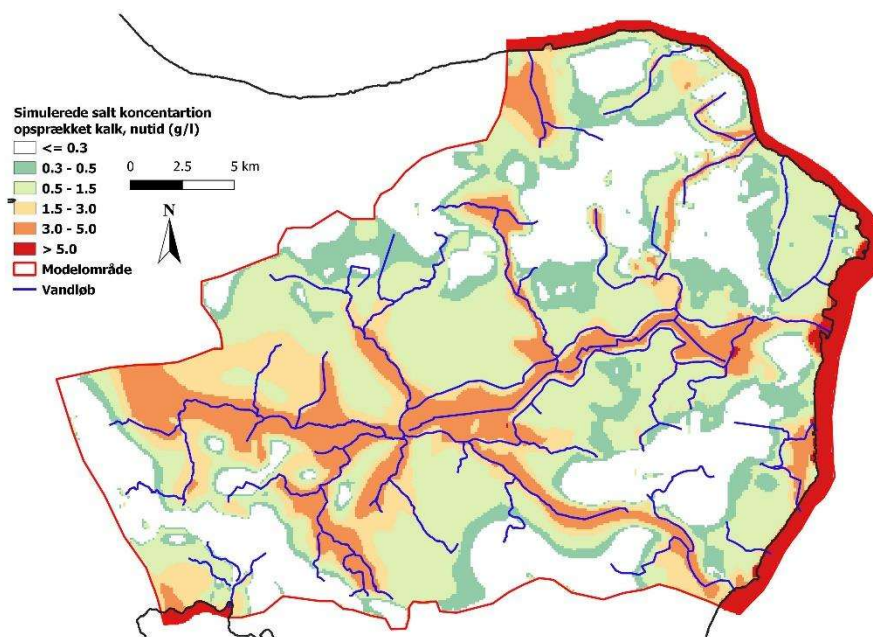
Figur 6.5 Modelsimuleret fordeling af salt i de øverste jordlag ved nuværende havspejlsniveau i Kattegat.

Modelberegningerne antyder en kraftig opadrettet grundvandsstrøm fra undergrunden mod terrænoverfladen og især mod oplandets vandløb. Denne strømningsretning skyldes at hele grundvandssystemet forsøger at kompensere for at skabe ligevægt i forhold til Kolindsunds Pumpelags store oppumpning i de tre pumpestationer. Den opadrettede strømningsretning transporterer saltholdigt grundvand fra dybere lag mod overfladen.

Modellen viser forhøjede saltkoncentrationer i oplandets vandløb på op til 5 g/l (jf. Figur 6.5). Dette ses især i Ryom Å, Korup Å, Nygård Bæk, Villersø Bæk og Ørum Bæk samt omkring Kragssø. Denne modelberegning understøttet af faktiske målinger af saltkoncentrationen i vandløb jf. afsnit 6.4

Det samme mønster kan ses i den øverste del af kalkundergrunden, som især i den nordlige del af oplandet ligger tæt på terræn. I dette dybdeniveau simuleres også de højeste saltkoncentrationer under de største

vandløb, hvor den opadrettede grundvandsstrøm er særlig kraftig. Denne modelberegning understøttes også af faktiske geofysiske målinger jf. Figur 6.1.

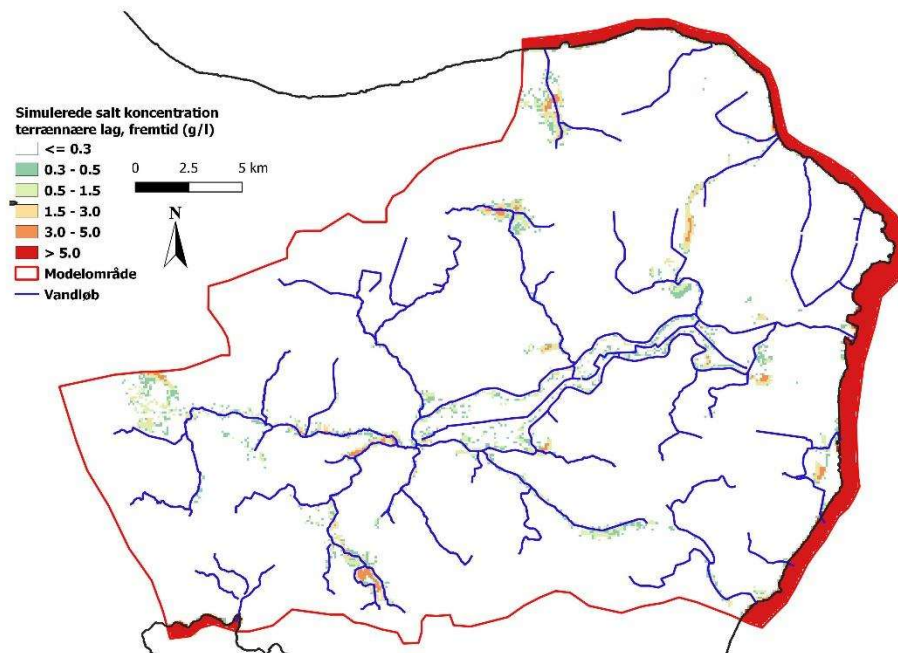


Figur 6.6 Modelsimuleret fordeling af salt i den øverste opsprækkede kalkundergrund ved nuværende havspejlsniveau i Kattegat.

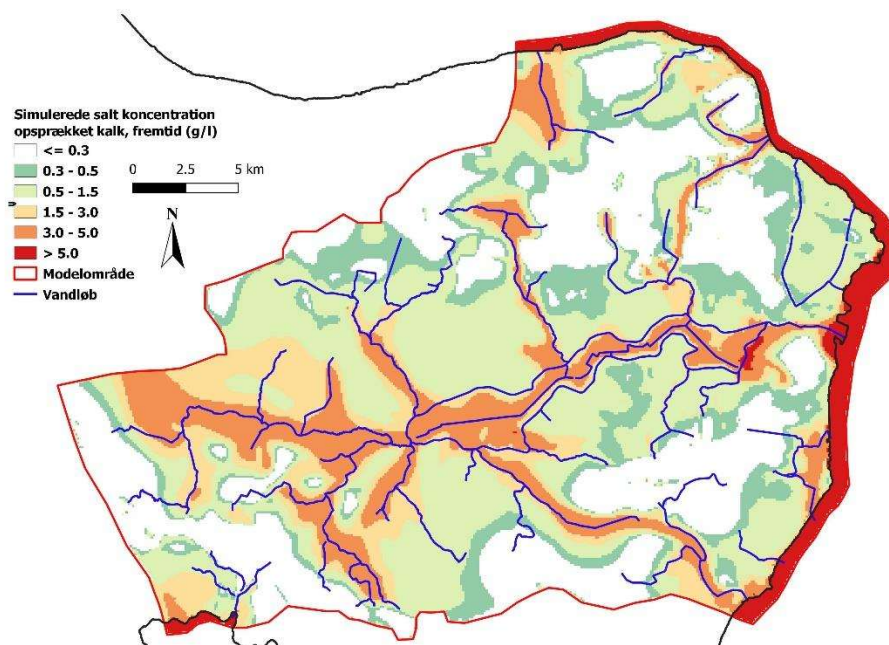
Ved denne modelsimulering skal især nævnes området omkring Kragssø, som antyder opvæld af residult saltvand fra undergrunden og området ved Grenåens udløb ved kysten. Her tyder alt på, at kilden til det salte vand skyldes indtrængende havvand fra Kattegat.

Denne samme modelsimulering er foretaget for en fremtidig situation i år 2100, hvor havspejlet i Kattegat er 1 meter højere (Figur 6.6 og Figur 6.7).

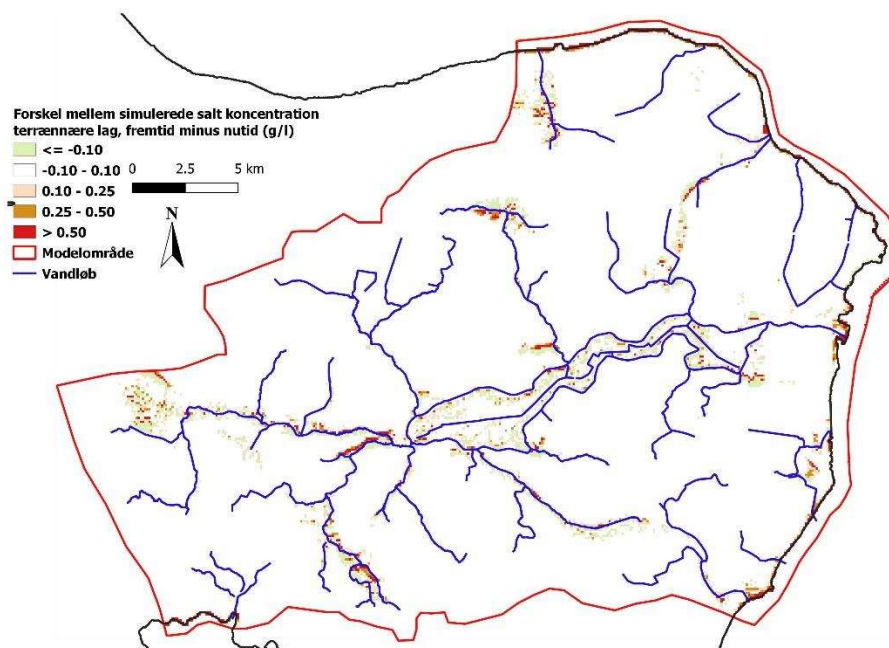
Der ses samme tendenser som for et nutidsklimascenarie. Indstrømningen af saltvand fra Kattegat i den kystnære del af oplandet synes dog at være kraftigere.



Figur 6.7 Modelsimuleret fordeling af salt i de øverste jordlag i år 2100, hvor havspejlsniveauet i Kattegat er 1 meter højere.



Figur 6.8 Modelsimuleret fordeling af salt i den øverste opsprækkede kalkundergrund i år 2100, hvor havspejlsniveauet i Kattegat er 1 meter højere.



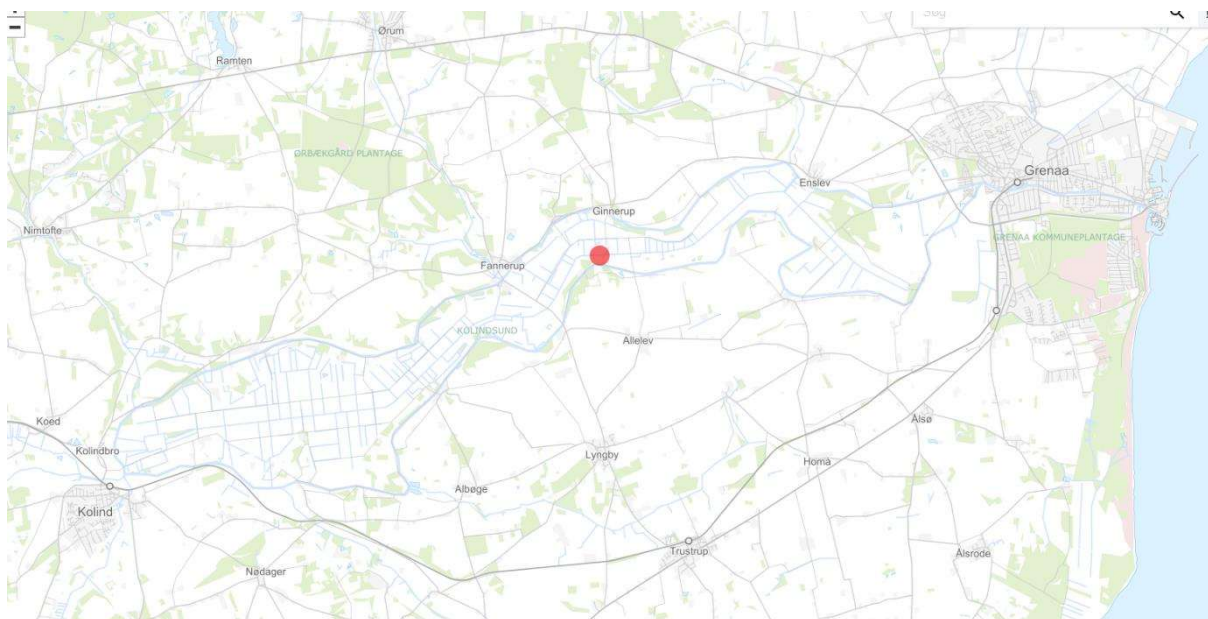
Figur 6.9 Forskelle i saltkoncentrationen mellem nutid og fremtidssituationen i år 2100 i de øverste jordlag.

De gennemførte modelsimuleringer viser at kilden til de salte grundvand i vandløb, borer og kilder skyldes opvæld af saltholdigt grundvand fra den dybe undergrund. Det salte grundvandsspejl er kontrolleret af grundvandets trykforskel mellem de dybe grundvandsforekomster og det terrænnære grundvand.

For et fremtidsscenario i år 2100 (figur 6.9), hvor vandstanden i Kattegat er 1 meter højere, forventes større grad af indtrængende havvand i de kystnære omgivelser. Omvendt antyder modelberegningerne ingen udvikling af saltvandspåvirkningen i resten af oplandet. Det kan dog ikke udelukkes at en kraftig forøgelse af grundvandsindvinding til f.eks. drikkevand eller markvanding lokalt kan gives negative konsekvenser i fremtiden.

6.6 Etablering af monitoringsboring

For at følge udviklingen i det salte grundvand er der etableret en dyb monitoringsboring centralt i Kolindsund lavningen (Figur 6.10). Formålet med denne boring har således været at give informationer om den dybtliggende geologi i Kolindsund lavningen og skabe en platform for overvågning af evt. tidlig udvikling i det salte grundvands bevægelser i undergrunden. Boringen er ført ned til 110 meter under terræn.



Figur 6.10 Kort med placering af dyb monitoringsboring tæt ved Kolindsund Pumpelags Allelev-pumpe.

6.7 Delkonklusion

Der er gennemført en række undersøgelser for at vurdere på risikoen for opvæld af salt grundvand i fremtiden, og dermed om de nuværende landbrugsdyrkede arealer og vandindvinding er truet af saltvand.

Der er tidligere registreret forhøjede saltkoncentrationer i vandboringer, vandløb og søer, og det samme ses fortsat. De gennemførte undersøgelser viser dog ingen entydige udviklingstendens i saltindholdet.

Modellsimuleringer viser, at kilden til de salte grundvand i vandløb, boringer og kilder skyldes opvæld af saltholdigt, residualt grundvand fra den dybe underground. Det salte grundvandsspejl er kontrolleret af grundvandets trykforskel mellem de dybe grundvandsforekomster og det terrænnære grundvand. Den opstillede arbejdshypotese er således blevet verificeret.

For et fremtidsscenarie i år 2100, hvor vandstanden i Kattegat er 1 meter højere kan der forventes en større grad af saltudviklingen fra indtrængende havvand i de kystnære omgivelser. Omvendt antyder modelberegningerne ingen negativ udvikling af saltvandspåvirkningen i resten af oplandet, og dermed påvirkning af dyrkningsmuligheder. Det kan dog ikke udelukkes, at der lokalt kan forventes en negativ påvirkning i en fremtidssituation med en væsentlig indvinding af grundvand til drikkevand eller markvanding.

7. Terrænsætning

Jordens overflade bevæger sig over tid som følge af forskellige processer i undergrunden. Nogle processer er meget langsomme (millioner af år), mens andre er relative hurtige i det geologiske tidsrum (tusinder eller hundreder af år).

I oplandet til Grenåen vil nogle processer føre til en hævnning af landskabet, mens andre omvendt vil føre til en sænkning. Sidstnævnte har betydning for de lavtliggende områder, som kan blive yderlige udsat overfor oversvømmelse fra enten havet eller højtliggende grundvand.

Emnet er yderligere uddybet i følgende:

- Undersøgelser af afvandingsforholdene i og omkring Kolindsund, forprojekt. Hedeselskabet, 1983.
- Supplerende tekniske undersøgelser i og ved Kolindsund. Hedeselskabet, 1984.
- Terrænsætninger og afvandingstilstand. Hedeselskabet, 2000.
- Geologi og sætninger ved Kolindsund. Sweco A/S, 2019*).
- Benyttelse af Lidardata til fastsættelse af indsynkning i Kolindsund. Sweco A/S, 2019*).
- Terrænsætning i Kolindsund. Sweco A/S, 2022*).

*) Undersøgelser og vurderinger foretaget i dette C2C projekt.

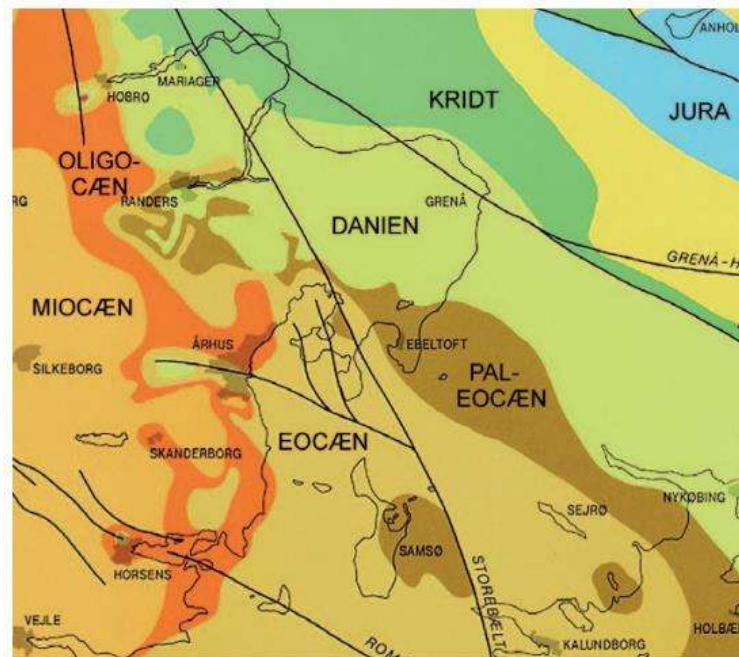
7.1 Hvorfor sker der en terrænsætning?

Følgende processer kan være virksomme i oplandet:

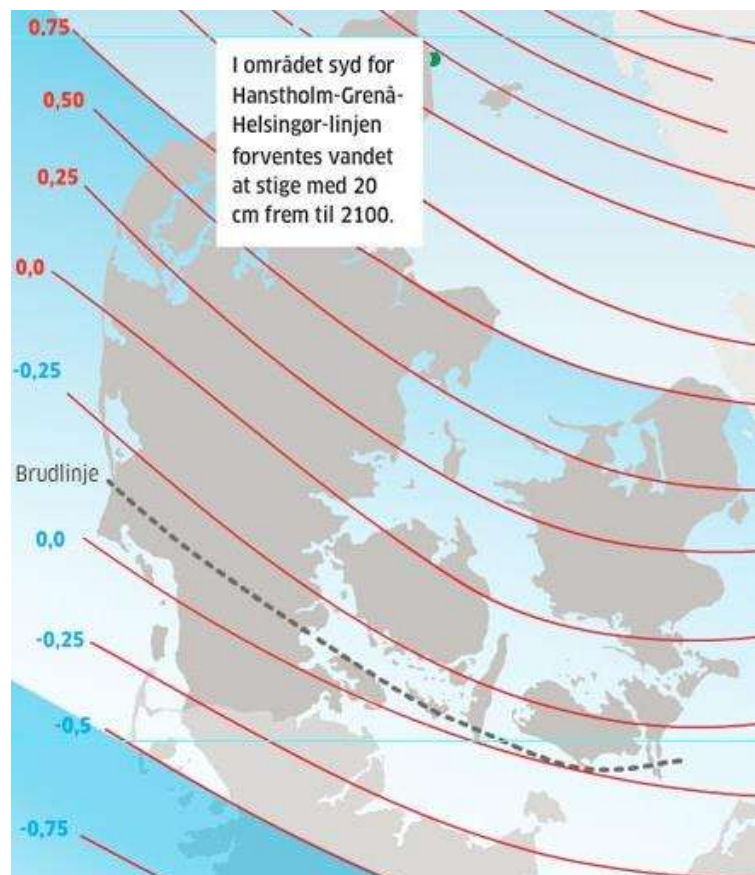
- Geologiske forkastninger i den dybe undergrund, fordi oplandet ligger tæt på den dybe Hanstholm-Grenå-Helsingborg Forkastning. Processen vurderes dog ikke at være relevant for denne undersøgelse.
- Landskabets generelle hævnning som følge af Isskjoldets afsmeltning. Denne proces virker fortsat.
- Landskabet sænkes relativt fordi havet stiger. Denne proces virker også fortsat.
- Konsolidering af de aflejrede jordmasser.
- Iltning af kulstofholdige jordlag i navnlig ådalene, hvorved terrænet sænkes.

Geologiske forkastninger

Nord for Kolindsund skærer en større forkastning sig igennem det nordlige Djursland (Figur 7.1). Det vurderes dog, at dette forkastningssystem har ringe aktivitet. Mellem 1963 og 2015 er der således kun registreret et mærkbart jordskælv på Djursland den 30. maj 1995 (Richter 3,4). Derfor forventes forkastningen ikke at have haft den store betydning for Kolindsund i den undersøgte periode.



Figur 7.1 Geologisk kort over den faststående undergrund under Istidens aflejringer på Djursland. Forkastninger er vist med sort streg (kilde: Varv, 1992).



Figur 7.2 Kort over den resulterende landhævning i Danmark frem til år 2100 (kilde "Ingeniøren", 2022).

Konsolidering af de aflejrrede jordmasser

Jordlagene i ådalene ved Kolindsund og Ryomgaard består af forskellige typer af sen- og postglaciale aflejringer, der er blevet afsat umiddelbart efter Istiden og frem til nu.

I takt med at der aflejres nye lag oven på de ældre, medfører det et øget overlejringstryk. Dette betyder, at de nederste jordlag udsættes for større tryk, som presser porevandet ud, hvorved jordens rumfang bliver mindre i takt med denne kompaktering. Denne proces kaldes en konsolidering.

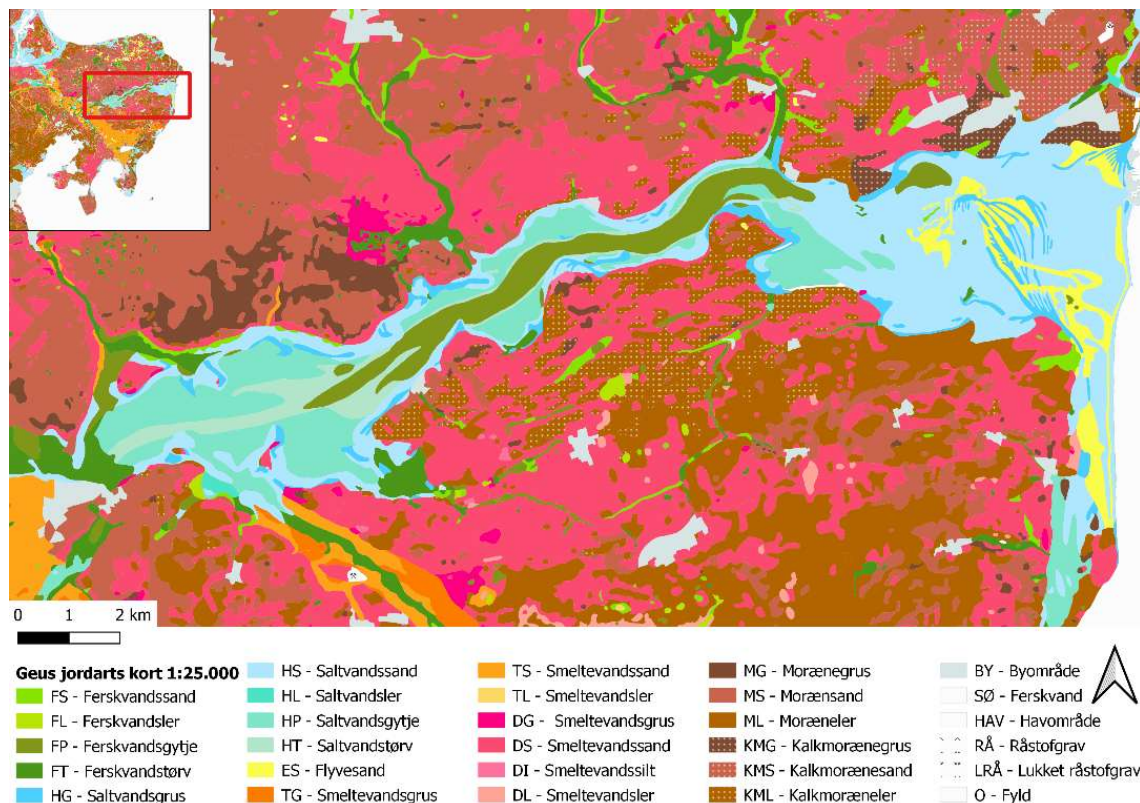
Konsolidering har især betydning, hvor der findes lerlag, fordi konsolideringen sker over meget lang tid (årtier). På grund af lerets lave permeabilitet, vil det tage meget lang tid for vandet at blive presset ud, i modsætning til sandlag, hvor overskydende porevand straks vil dræne væk. Konsolidering kan samtidig forekomme hvor grundvandet sænkes, fordi belastningen fra de overliggende jordlag øges, når der ikke længere er grundvand mellem partiklerne til at bære noget af vægten. Konsolideringen øges derfor også ved dræning af jorden, hvor grundvandsspejlet sænkes, og kan forekomme både over og under drændybden.

Konsolideringsprocessen for ådalens aflejringer vurderes umiddelbart at være foregået for længe tiden, og derfor reelt ikke er virksom mere. Det vurderes dog, at en øget drændybde for at fastholde en afvanding vil kunne genaktivere konsolideringssætninger i jorden.

Mineralisering af kulstofholdige jordlag

Når man dræner en jord med et indhold af organiske stoffer som det er gjort i ådalene og ved Kolindsund, er der risiko for at der sker en terrænsætning. Dette forekommer fordi jorden iltes, når grundvandsspejlet sænkes. Dette giver mulighed for biologisk aktivitet, som leder til mineralisering af det organiske materiale. Derfor er det geologiske udgangspunkt vigtigt for, hvor stor en terrænsætning der kan forekomme, da det afhænger af mængden af kulstof i jorden.

De øverste jordlag i Kolindsund ådalen består af sen- og postglaciale aflejringer. Nogle af disse aflejringer indeholder organisk stof og udgøres af marint gytje og ferskvandstørv med et indhold af kulstof jf. Nedenstående jordartsskott (Figur 7.3). De marint aflejrrede lag betegnes også "blådynd" på grund af deres stedvise indhold af muslingeskaller. De ferskvandsaflejrrede lag betegnes også for "brundynd".



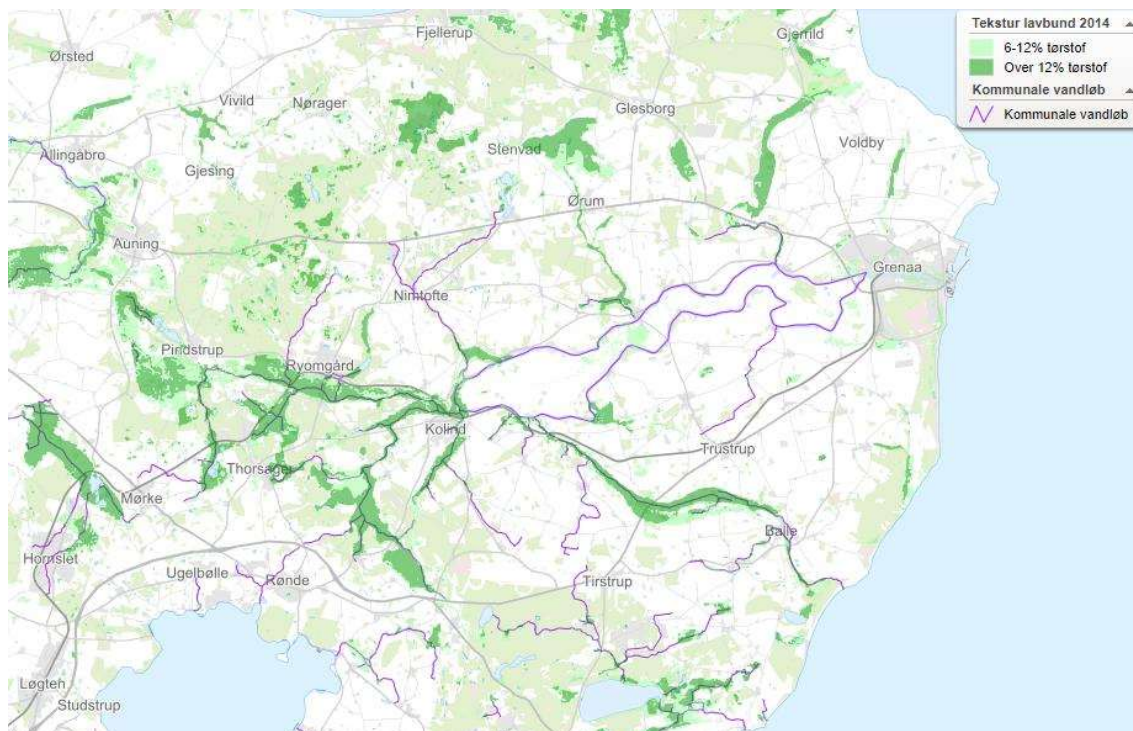
Figur 7.3 Jordartskort fra GEUS som viser de forskellige jordarter i cirka en meters dybde under terræn.

Langs vandløbene i oplandet til Grenåen er en stor del af ådalene klassificeret som lavbundsarealer med højt indhold af organisk stof jf. nedenstående figur, som er udarbejdet af Landbrugsstyrelsen. De grønne arealer er organiske jorder med mere end 6 % kulstof.

Kolindsund består som tidligere anført af områder med ferskvandsgytje og -tørv i den centrale del af sundet, omgivet af marint ler, sand og grus med stedvise indslag af tørv og gytje jf. Figur 7.3.

Det fremgår af lavbundskortet i Figur 7.4, at jordlagenes indhold af kulstof – og dermed potentiale til jordbundssætning via mineralisering – er størst i den vestlige del af ådalen ved Ryomgård, Kolind, Thorsager og Pindstrup. I den østlige del af ådalen ved Kolindsund mellem Kolind og Grenå er indholdet af kulstof markant mindre.

Sætningerne i den inddæmmede del af Kolindsund skabte allerede problemer i løbet af de første 50 år efter tørlæggelsen. Afvandingsdybden blev mange steder for dårlig. Sætninger i digerene kombineret med landkanalernes dårlige vandføringsevne ledte til digebrud og dermed oversvømmelse. I 1936-1939 var det derfor nødvendigt at forstærke digerene og udvide kanalsystemet.



Figur 7.4 Lavbundskort med oversigt over indhold af kulstof i jordlagene (kilde Landbrugsstyrelsen, 2014).

7.2 Delkonklusion

Der er gennemført en vurdering af muligheden for terrænsætninger i ådalen ved Kolindsund. Undersøgelsen har taget udgangspunkt i en kritisk gennemgang af en tidligere undersøgelse af området i 2000, hvor opmålte terrænhøjder fra 1924, 1936 og 1999 er blevet sammenlignet for 5 arealer vest for Kolindsund. Metoden, der blev brugt i 2000, var baseret på en simpel triangulering mellem punkter. Fordi der ikke var regnet med fortegn i beregningerne, vurderes det umiddelbart, at der ikke skal regnes videre på de gamle beregninger, da de er for upræcise.

I stedet er der foretaget en evaluering på de resultater, der blev fundet den gang, og som efterfølgende er blevet sammenlignet med Lidardata (flybårne laseropmålinger) fra 2007 og 2014-2015.

Samtidig er der foretaget sammenligning med opmålte tværprofiler fra Hedeselskabet i 1935 og 1983 med Lidarmålingerne fra 2014-2015.

For at danne sig et billede af de nuværende terrænsætninger med udgangspunkt i den bedre teknologiske udvikling, er det undersøgt om det var muligt at bruge Lidardata fra 2007 og 2015. Arbejdshypotesen har været at trække de to højdemodeller DHM2007 og DHM2015 fra hinanden for at se ændringen i terrænet.

Ideen med at sammenligne højdemodeller fra forskellige år vurderes at være god, men da opløsningen og nøjagtigheden på de to højdemodeller var for forskellig, har et ikke muligt at få et anvendeligt resultat. Det anbefales dog fortsat at afprøve metoden på nyere datasæt om nogle år, når disse foreligger.

De sætninger der er registeret ved Kolindsund de sidste 140 år er primært forbundet med sænkningen af grundvandet. Efter tørlæggelsen af Kolindsund, er vandspejlet faldet yderligere til kote - 2,5 m. I takt med at

jorden i området har sat sig, er grundvandet blevet sænket yderligere for at opretholde en dyrkbar jord. Terrænsætningen i ådalen er vurderet til at være af varierende dybde.

I den østlige del af Kolindsund nær Grenå ses der kun begrænsede sætninger, hvilket vurderes at skyldes forekomsten af overvejende sandede lag uden større indhold af kulstof. Sætningsgraden er større i den vestlige del af ådalen som følge af højere kulstofindhold i de sen- og postglaciale jordlag. I dette område er der tidligere gravet tørv, hvilket kan påvirke vurderingen.

I Hedeselskabets rapport fra 1983 er estimeret en terrænsætning på omkring 2-4 mm/år i perioden mellem 1935 og 1983. Det vurderes umiddelbart, at dette estimat fortsat er gældende. Sætningen kan i områder med kulstofholdige jordlag og med intensiv landbrugsdrift dog godt blive højere – måske op til 4-8 mm/år, mens sætningen omvendt vil være markant mindre i områder uden kulstofholdige jordlag af betydning og med ekstensiv landbrugsdrift - måske i en størrelsesorden på 1-2 mm/år.

Hvis Kolindsund forsat drænes og grundvandsspejlet sænkes yderligere, kan det lede til en forsat terrænsætning. Denne proces fremmes af kalkning og gødsning, idet nedsivende nitrat er et kraftigere iltningsmiddel end den atmosfæriske ilt opløst i porevandet.

Såfremt der på et tidspunkt bliver etableret lavbundsprojekter i den vestlige del af ådalen, vil en kunstig oversvømmelse af disse kulstofholdige tørvejorde for at modvirke CO₂ emissioner nedsætte jordlagenes sætning betydelig.

8. Resultater

En del af projektet har haft til formål at opstille to overordnede modeller. En hydrologisk model til at undersøge Grenåens oplands udfordringer og robusthed i forhold til oversvømmelse i fremtidens klima, og en saltvandsmodel til at undersøge truslen om en saltvandsindtrængning i Kolindsund (Afsnit 5). I den første del af dette afsnit, vil resultaterne for den hydrologiske model blive præsenteret, hvilket er delt op på forskellige scenarier alt efter hvordan klimaet ændre sig. Resultatet af saltvandsmodellen er præsenteret i afsnit 6.

8.1 Resultater fra den hydrologiske model

For at få en forståelse af, hvordan systemet hænger sammen og reagerer, samt hvilke udfordringer og robusthed, der er overfor oversvømmelse af Grenåens opland, er modellen testet med forskellige kombinationer af klimaændringer, havspejlsstigninger og løsningsmuligheder (Tabel 5.1). Forholdene er undersøgt i forhold til en hverdagssituation, ekstremhændelser, tørke, tekniske og naturbaserede løsninger. Hver af disse scenarier er blevet inddelt i flere underliggende scenarier, hvor de forskellige klimatiske parametre er blevet testet i forskellige kombinationer for at skabe en forståelse af de individuelle processer i oplandet. I de følgende afsnit vil udvalgte resultater blive præsenteret.

Resultater og usikkerheder

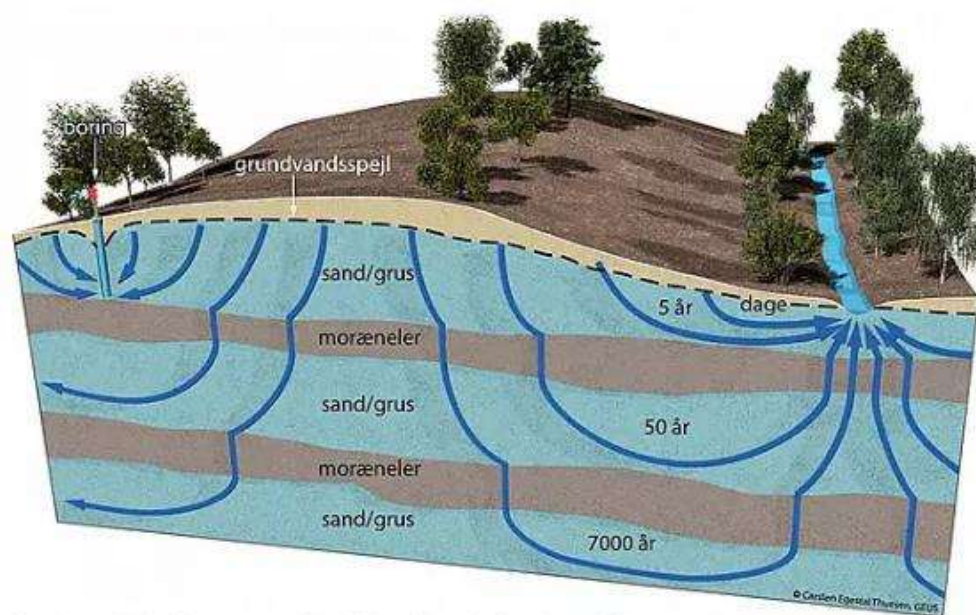
For at skabe et overblik over hvor i oplandet, vi kan forvente at opleve udfordringer med oversvømmelse eller terrænnært grundvand i fremtiden, kan det være ideelt at vise ændringerne på kort. Dog er det vigtigt at huske på, at kortene bare er et øjebliksbillede af, hvordan virkeligheden kan blive i en given situation eller som et gennemsnit over året. Det skal bemærkes, at der ligger en usikkerhed i modellen, da den bygger på nogle antagelser, men uden en model er der meget svært at håndtere de store datamængder, og forstå sammenhængen for et så stort opland som Grenåens opland.

Derudover er der, som beskrevet i afsnit 4, relativ store usikkerhedsintervaller i klimamodellerne. F.eks. forventes havniveauet at stige med mellem 5 og 93 cm frem mod 2100. I modellen er det valgt at regne med 50 cm. Hvor meget havspejlet præcist stiger, kan have stor betydning især i kombination med stormflod. Det kan derfor være svært at forudsige præcist, hvor meget vand på terræn, der vil komme, eller i hvilken kote grundvandet vil ligge. Modellerne kan dog give en forståelse af den rummelige fordeling af vand i oplandet, og hvor vi kan forvente udfordringer. Samtidig kan modellerne bruges til at afprøve forskellige løsninger i forhold til at mindske oversvømmelserne.

Hvor dybt ligger grundvandet?

Når man snakker om grundvand, så tænker man ofte på noget meget gammelt vand, der ligger dybt nede i jorden. Men grundvandet findes i mange forskellige dybder, adskilt af forskellige lerlag. Antallet af lag, afhænger jordens opbygning. Når vi oppumper vand til drikkevand, vil vi gerne borer efter det gamle dybde grundvand, da dette vand er bedre beskyttet mod forurening, og har været i gang med en lang proces gennem jordlagene. Når vi i rapporten beskriver dyden til grundvand, handler det om dybden til det øverste grundvand, hvor jorden er mættet op til en vis dybde. Det terrænnære grundvand, handler om det øverste lag af jorden. I denne rapport fokuseret på de øverste 3 meter. Dette er meget ungt, og kan ændre sin dybde inden for få dage. Det er afhængigt af nedbør, fordampning og planternes vandforbrug.

Ved meget nedbør, kan jorden blive så vandmættet, at der vil forekomme vand på terræn. Det kan enten skyldes jorden er så mættet med vand, at der ikke kan trænge mere vand ned i jorden, eller det kan skyldes at vandtrykket i jorden er så højt, at vandet presses op, på samme måde som når der dannes en sø i en lavning.



Grundvandet kan have mange forskellige aldre alt efter hvor dybt grundvandsmagasinet ligger.

http://www.geus.dk/viden_om/vogv-dk.htm

Terrænnært grundvand

Når der snakkes om klimatilpasning i forbindelse med fremtidens vejrhændelser, forbindes det ofte med voldsomme vandmængder på terræn. Det er dog ikke kun på overfladen, at der kan opleves problemer med vand. Modelberegningerne har vist, at der i fremtiden kan blive problemer med det terrænnære grundvand. Når der falder mere nedbør vil grundvandsstanden stige, fordi mere vand nedsiver i jorden. Det stigende grundvand er et problem, fordi det kan give skader på fundamentere på ejendomme, kældre, kloakledninger, nedsivningsanlæg, veje- og jernbanernes bæreanlæg med mere. Således vil flere mennesker kunne opleve fugtskader på deres huse og vand i kælderen. Samtidig kan højtstående terrænnært grundvand gøre det svært at etablere LAR-løsninger til at lede vandet væk ved regn hændelser, fordi jorden i forvejen er fyldt op. Derudover vil det stigende havniveau gøre det sværere at dræne de kystnære arealer herunder Grenå By.

Nogle steder kan grundvandstilstrømningen være så høj, at jorden vandmættes, og der kommer vand på terræn. En sådan oversvømmelse kan være langvarig, og svær at komme af med. Ved en nedbørshændelse eller stormflod, hvor oversvømmelsen skabes af en kraftig og hurtig tilførsel af vand, vil vandet efter hændelsen oftest have mulighed for at sive væk. Enten gennem jorden eller kloaker, i takt med at disse er blevet tømt. Omvendt kan oversvømmelse på grund af stigende grundvand have svært ved at komme væk. Jorden er allerede mættet, hvorfor vandet ikke har noget sted at sive hen. Der vil samtidig være mere vand i vandløbene, hvorfor vandet vil være svært at aflede.

8.2 Hverdagssituationen

Vi oplever efterhånden flere og flere vejrhændelser med kraftig nedbør eller stormflod, som skaber udfordringer pga. mængden af vand. Men udover de hyppigere og mere kraftfulde ekstremhændelser, skal vi også vænne os til, at hverdagens klima ændre sig i fremtiden. Det betyder, at vi også bliver nødt til at tilpasse os de daglige udfordringer med mere vand i oplandet, for at gøre vores byer, infrastruktur og landbrugsarealer mere robuste over for fremtidens vandbalance.

Fremtidens "hverdagssituation" er undersøgt i forhold til det ændrede klima, stigende havniveau og en kombination af både klima og havniveau. Resultatet for det kombinerede scenarie kan ses på Figur 8.1 og Figur 8.2. Resultater for de øvrige hverdagsscenarier kan ses i bilag 1 og 3. Hverdagsscenarierne viser, hvordan grundvandsstanden vil set ud, hvis der hverken bygges nogle tekniske eller naturbaserede løsninger.

Figur 8.1 viser dybden til grundvandsspejlet i hverdagsscenariet i nutiden og fremtiden. Klimaet og nedbøren er ændret i forhold til RCP 8,5 scenariet. I perioden 2040-2059 er der tilføjet en havspejlsstigning på 25 cm og 50 cm i perioden 2080-2099. På kortet er det valgt at fremhæve de områder, hvor der forekommer terrænnært grundvand, her defineret som grundvand indenfor de øverste 3 meter under terræn. Kortene viser mediagrundvandsspejlet gennem en årrække. Det vil sige, at der både vil forekomme perioder med højere og lavere grundvandsspejl, men at kortet udtrykker den midterste værdi for dybden til grundvandet.

Median:

Medianen er den midterste værdi i et datasæt, hvor data er sorteret efter størrelse. F.eks. er 6 medianen i datasættet 1, 3, 6, 16, 21.

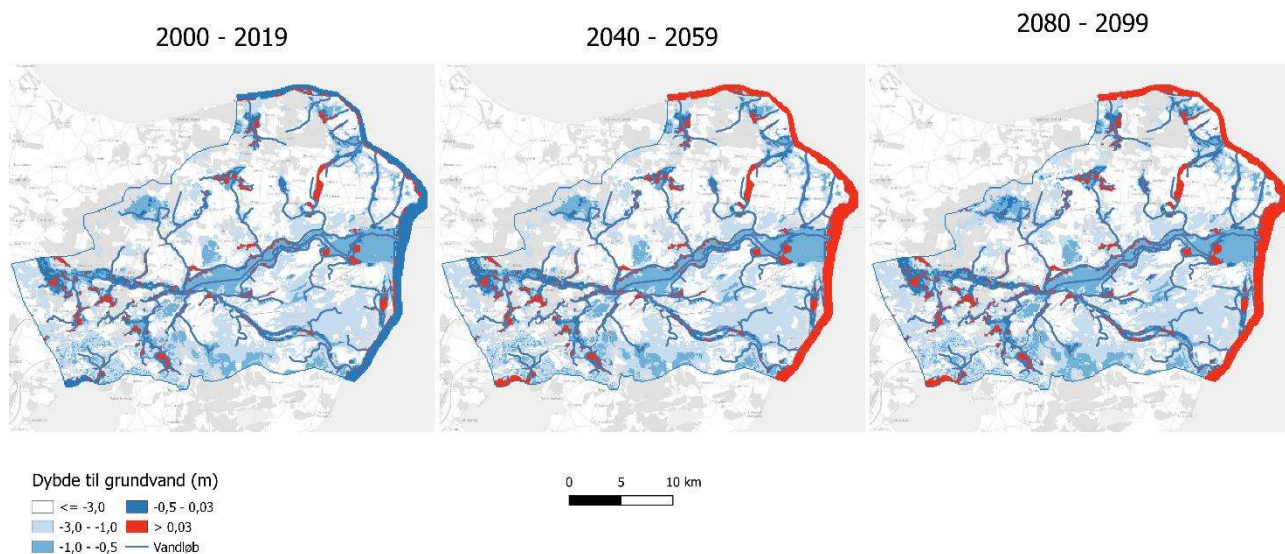
Når mediandybden til grundvandsspejlet er angivet på kortet, fortæller det at det er den midterste af alle værdier. Det kan derfor være svært at se variationen hen over året. Derfor kan være relevant også at kigge på 2-årshændelserne, fordi de siger noget om max dybden hvert andet år, hvilket er en grundvandsstand vi skal forholde os til relativt ofte.

Det kan ses på kortet længst til venstre, at der allerede i nutiden er steder i oplandet, hvor der kan opleves problemer med terrænnært grundvand eller vand på terræn. Det er særligt de lavtliggende områder i oplandet, blandt andet omkring Ryom Å og Kolindsund, samt omkring Kragssø, ved Skindbjerg og nord for Fannerup. Samtidig ligger grundvandet relativt højt i Grenå by omkring -1 til -0,5. Ser man på ændringen i dybden til grundvandsspejlet (for det terrænnære grundvand) (Figur 8.2), kan det ses, at det er generelt for hele oplandet, at der er en lille stigning. Stigning i hverdagssituationen er dog relativt begrænset. Stigningen er lavest i lavningerne, dog er det også disse steder, hvor grundvandet i forvejen står højt. Her stiger det terrænnære grundvand med omkring 10 cm. Længere oppe fra dalbunden er stigningen større. Generelt vil klimaændringerne kun have en minimal indflydelse på det terrænnære grundvand i hverdagssituationen.

Den stigende grundvandsstand i oplandet skyldes hovedsageligt den stigende nedbør, hvorimod området omkring Grenå by er mere påvirket af det stigende havspejl.

Hverdag - Klima og Havniveau

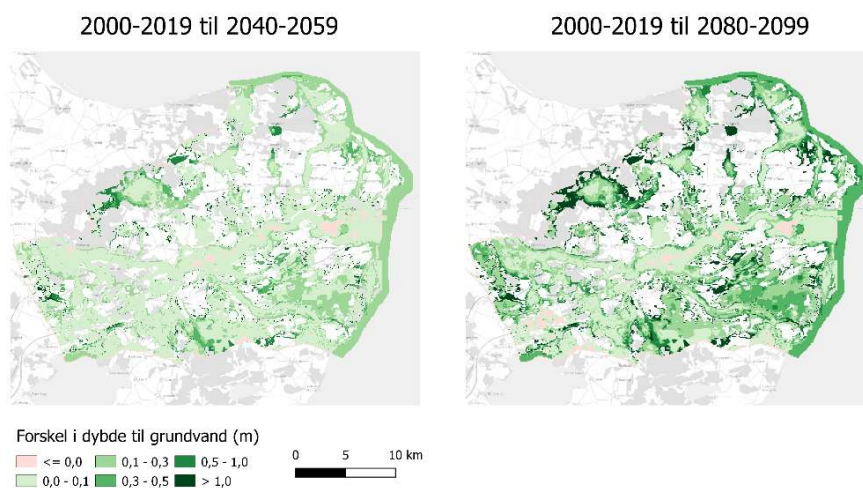
Dybde til grundvand



Figur 8.1 Median dybde til grundvandsspejl i nutiden (2000 – 2019) og de to fremtidsperioder 2040-2059 og 2080-2099. Kortene viser det terrænære grundvand ned til 3 meters dybde. Der vil periodevis være både højere og lavere grundvandsspejl.

Hverdag - Klima og Havniveau

Forskel i dybde til grundvand



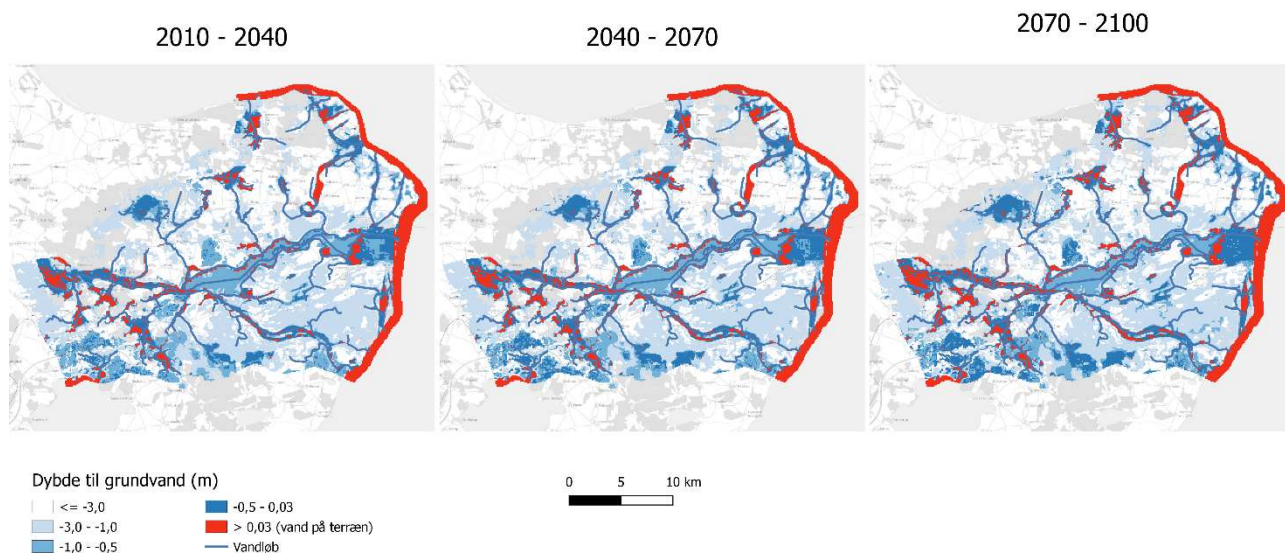
Figur 8.2 Ændringer i mediandybde til grundvandsspejl mellem nutid og de to fremtidsperioder 2040-2059 og 2080-2099. Kortene viser ændringerne i det terrænære grundvand ned til 3 meters dybde.

Ovenstående figur viser mediagrundvandsspejlet (Figur 8.2). Det er dog ikke muligt at se variationen i grundvandsspejlet, og hvor meget af tiden det står i den pågældende dybde. For at forstå variationen i dybden til grundvandsspejlet, er der i den følgende Figur 8.3 vist den maximale grundvandsstand baseret på en 2-årshændelse. Der er ikke tale om en 2-årshændelse i form af en bestemt vejrhændelse, men styret af en årlige variation i grundvandsspejlet. Sammenlignes der med mediandybden til grundvandet, så er det mange

af de samme områder, der vil opleve et terrænnært grundvand men i en lavere dybde (tættere på terræn). Der er flere områder, der med den hverdagsmæssige variation vil opleve, at grundvandet blot står 0,5 meter under terræn. Dette gælder særligt den østlige del af Grenå by, men også områderne tæt på vandløbene. Det er relevant at se på den 2-årige variation i grundvandsspejlet, da det er en udfordring, vi vil stå med i hverdagen relativt ofte.

2 årshændelse - Klima og Havniveau

Dybde til grundvand

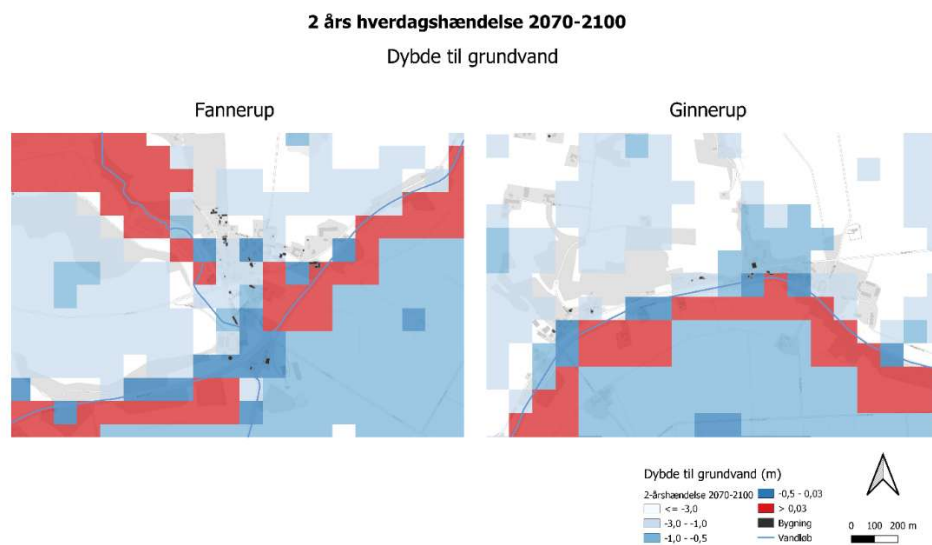


Figur 8.3 Grundvandsspejl ved en 2 årshændelse i nutiden (2000 – 2019) og de to fremtidsperioder 2040-2059 og 2080-2099. Kortene viser det terrænnære grundvand ned til 3 meters dybde. Det er relevant at se på det 2-årige maksimale grundvandsspejl, da det er en udfordring vi vil stå med i hverdagen relativt ofte.

Byerne i det åbne land

Flere byer i oplandet enten har eller får problemer med det stigende terrænnært grundvand i hverdagen. Byer som fx Ginnerup, Fannerup og Grenaa er nogle af disse byer. F.eks. i Ginnerup, hvor flere bygninger kan opleve terrænnært grundvand relativt ofte i fremtiden med en dybde på under 0,5 meter. Figur 8.4 viser en et zoom af en 2-årshændelse i 2070-2100. Det er især langs med Nordkanalen, at grundvandet vil kunne stå højt, fordi vandet strømmer mod lavningerne.

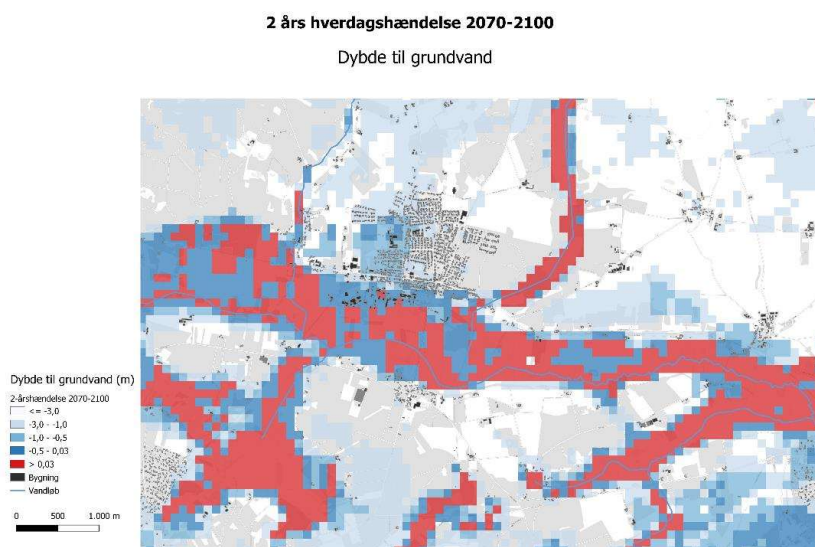
Ved Fannerup, er oversvømmelserne med vand på terræn ligeledes centret omkring vandløbene. Det gælder både ved Nordkanalen og omkring Ørum Å (Figur 8.4). Der vil samtidig kunne opleves perioder med grundvand i under 0,5 meters dybde.



Figur 8.4 Dybde til grundvand og vand på terræn ved Fannerup og Ginnerup ved en 2-års hverdagshændelse i fremtiden (2070-2100). Cellerne fra modellen dækker et 100*100 meter grid.

Ved Enslev, Næsby, Revn og Allelev vil der i hverdagssituationen være begrænset udfordringer, da vandet fra åen ved oversvømmelse lettere løber ind mod Kolindsund end mod byen.

Langs med Ryom Å vil der kunne opleves vand på terræn i dalbunden langs med åen. Dette vil kunne medføre vand på terræn eller terrænnært grundvand langs den sydlige del af Ryomgård og nordlige del af Mesballe, men en grundvandsstand i under 0,5 meter (Figur 8.5).

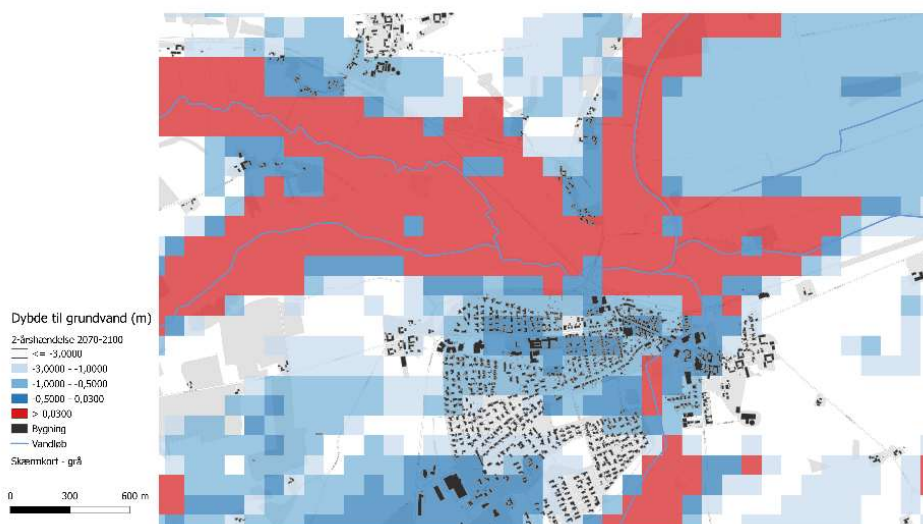


Figur 8.5 Dybde til grundvand og vand på terræn ved Ryom Å by ved en 2-års-hverdags-hændelse.

Ved Kolind by, undgår det meste bebyggelse vand på terræn (Figur 8.6), fordi selve byen er placeret lidt oppe af dalbunden. Dog vil flere af bygningerne kunne opleve et terrænnært grundvand. De store områder med oversvømmelse på terræn findes i dalbunden omkring vandløbene.

2 års hverdagshændelse 2070-2100

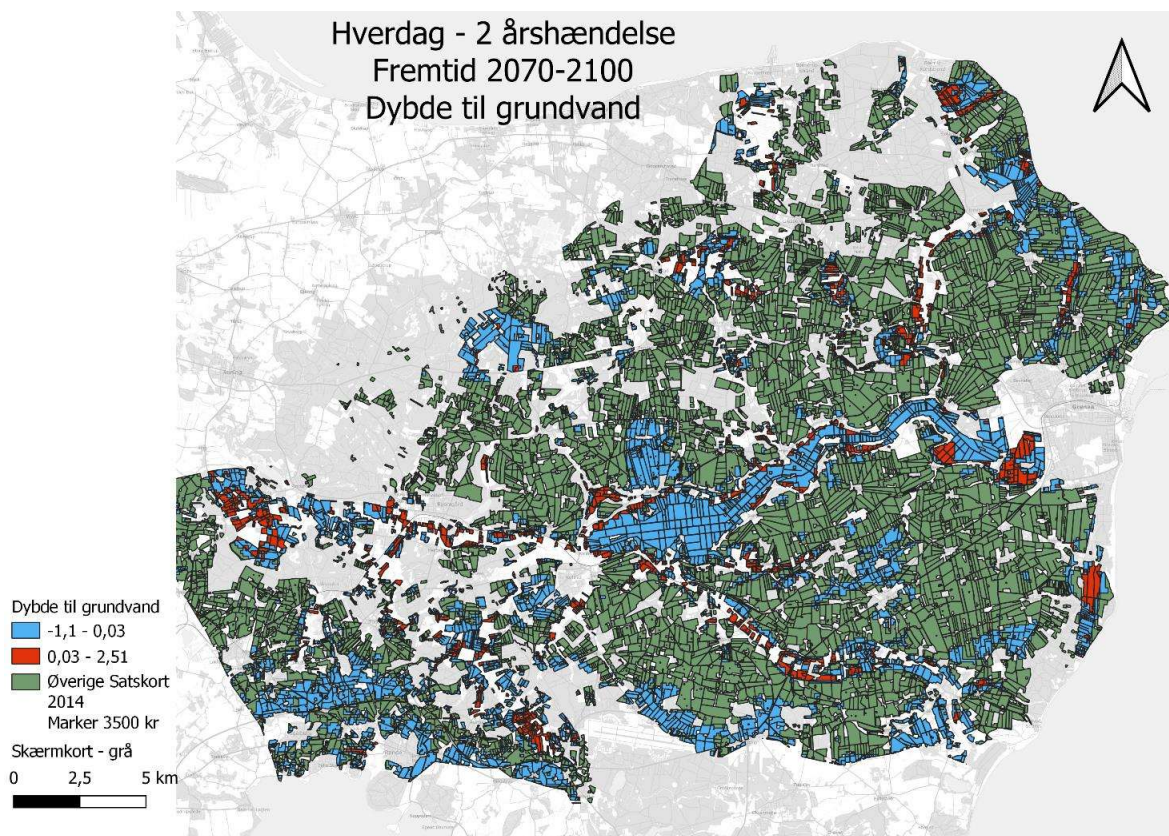
Dybde til grundvand



Figur 8.6 Dybde til grundvand og vand på terræn ved Kolind by ved en 2-års-hverdagshændelse. Det meste af Kolind by ligger hævet fra dalbunden, og får derfor ikke vand på terræn, men kan få udfordringer med terrænnært grundvand.

Landbrug i fremtiden

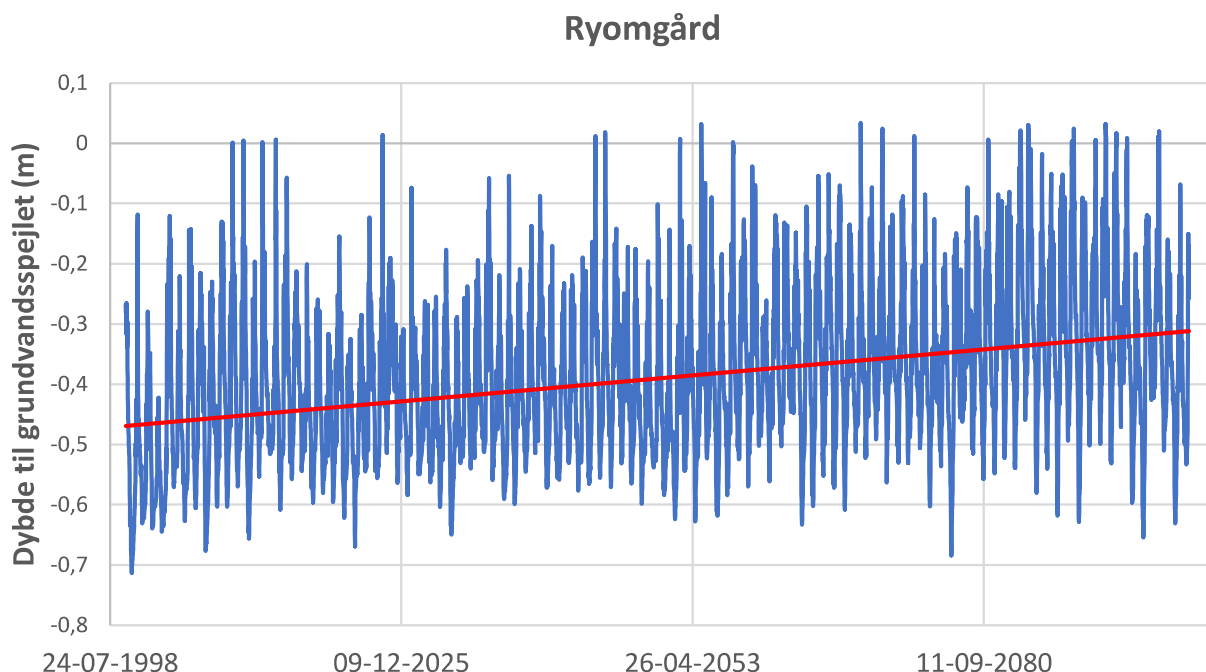
En stor del af Grenåens opland består af intensivt landbrug (57,7 %) (afsnit 3). Det ændrende grundvandsspejl, kan derfor også få betydning for langbrugsområderne. Figur 8.7 viser Satskort 2014s marker med en værdi af 3500 kr. Disse udvalgte marker, er åbendrift marker. Det vil sige, marker hvor jorden bliver pløjet. Marker med permanent græs (1800 kr.) er sorteret fra. Laget bruges til vurdering af hvilken sats en given mark i et vådområdeprojekt er berettiget til at modtage. Satskortet kan give en indikation af hvor i oplandet, der findes god landbrugsjord, og hvordan det påvirkes i fremtiden. På Figur 8.7 ses hvilke marker hvor der ved en hverdags 2-årshændelse i 2070-2100 kan stå vand på terræn (rød), og hvor der kan opleves meget terrænnært grundvand (blå – Grundvandsspejlet ligger mellem terræn og 1,1 meter under terræn). Det er særligt markerne i Kolindsund, som vil opleve terrænnært grundvand. Dog vil en øget pumpekapacitet, med sandsynlighed kunne lede dette grundvand videre nedstrøms i systemet. Derudover er det landbrugsjorderne i lavningerne, som er særligt udsat. Omkring Kragssø, vil der kunne stå vand på terræn på de omkringliggende marker. Det samme gør sig gældende for marker omkring Skærvad Å og Ryom Å.



Figur 8.7 Kort over pløjede marker i Grenåens opland ved en hverdags 2-årshændelse i 2070-2100. Røde marker vil opleve vand på terræn, og blå marker vil opleve meget terrænnært grundvand (>-1.1 meter).

Tidslig variation

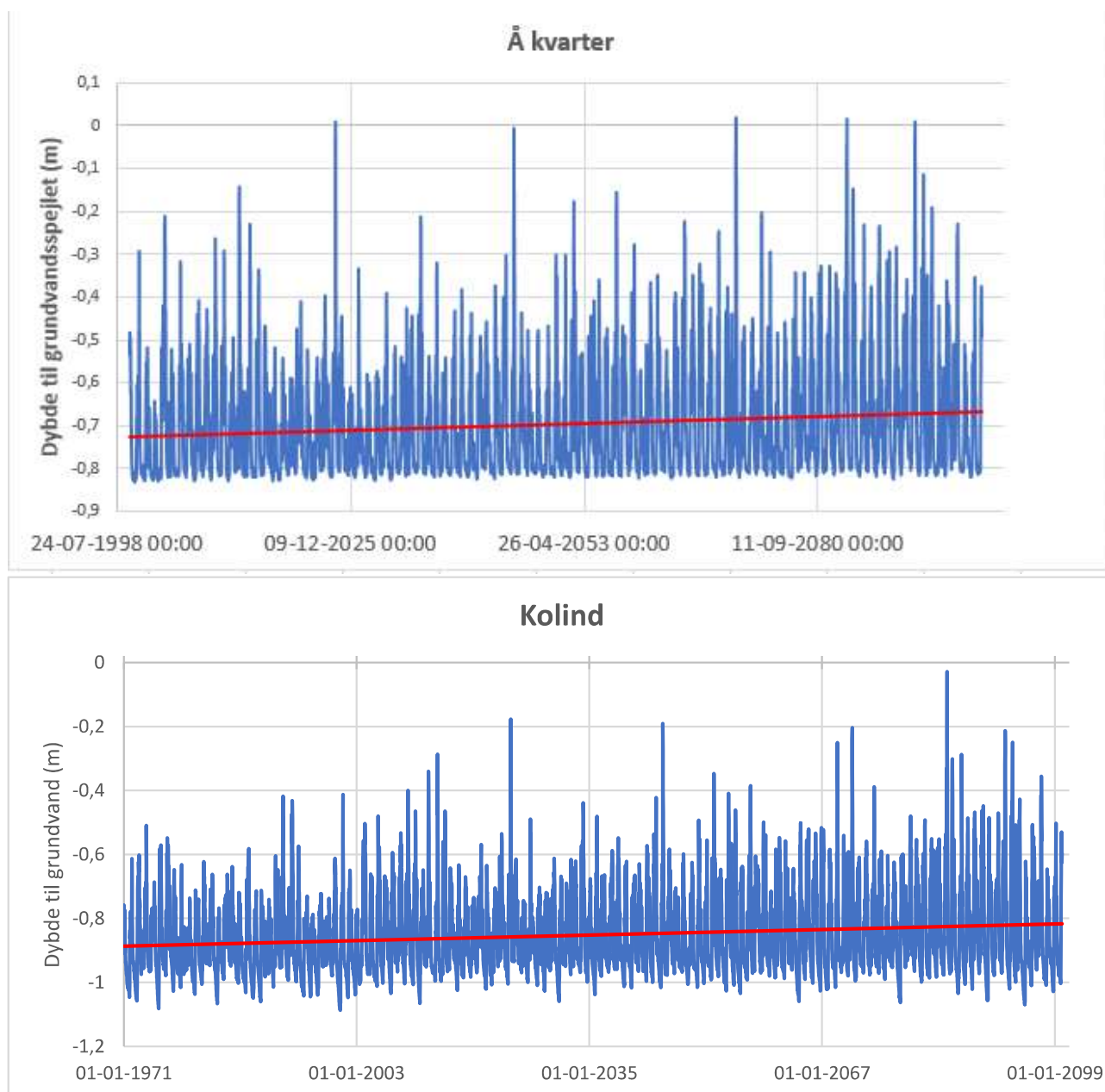
Når man kigger på dybden til grundvandsspejlet, er det vigtigt at huske på, at der er en tidslig variation afhængig af variationen i vejret. Figur 8.8 viser dybden til grundvandsspejlet for et enkelt punkt i Ryomgård i hverdagssituationen. Punket er fra en mark mellem Ryomgård by og Ryom Å (bilag 2). På tendenslinjen kan det ses, at der er et generelt stigende grundvandsspejl frem mod 2100. Selvom gennemsnitsdybden for perioden er $-0,4$ meter, ses det, at variationen gør, at der til tider vil stå vand på terræn eller være meget terrænnært grundvand.



Figur 8.8 Variationen i dybden til grundvandsspejlet på en mark syd for Ryomgård. Tendenslinjen viser et generelt stigende grundvandsspejl frem mod 2100. Grundvandsspejlet ligger generelt terrænnært, med pletvis vand på terræn.

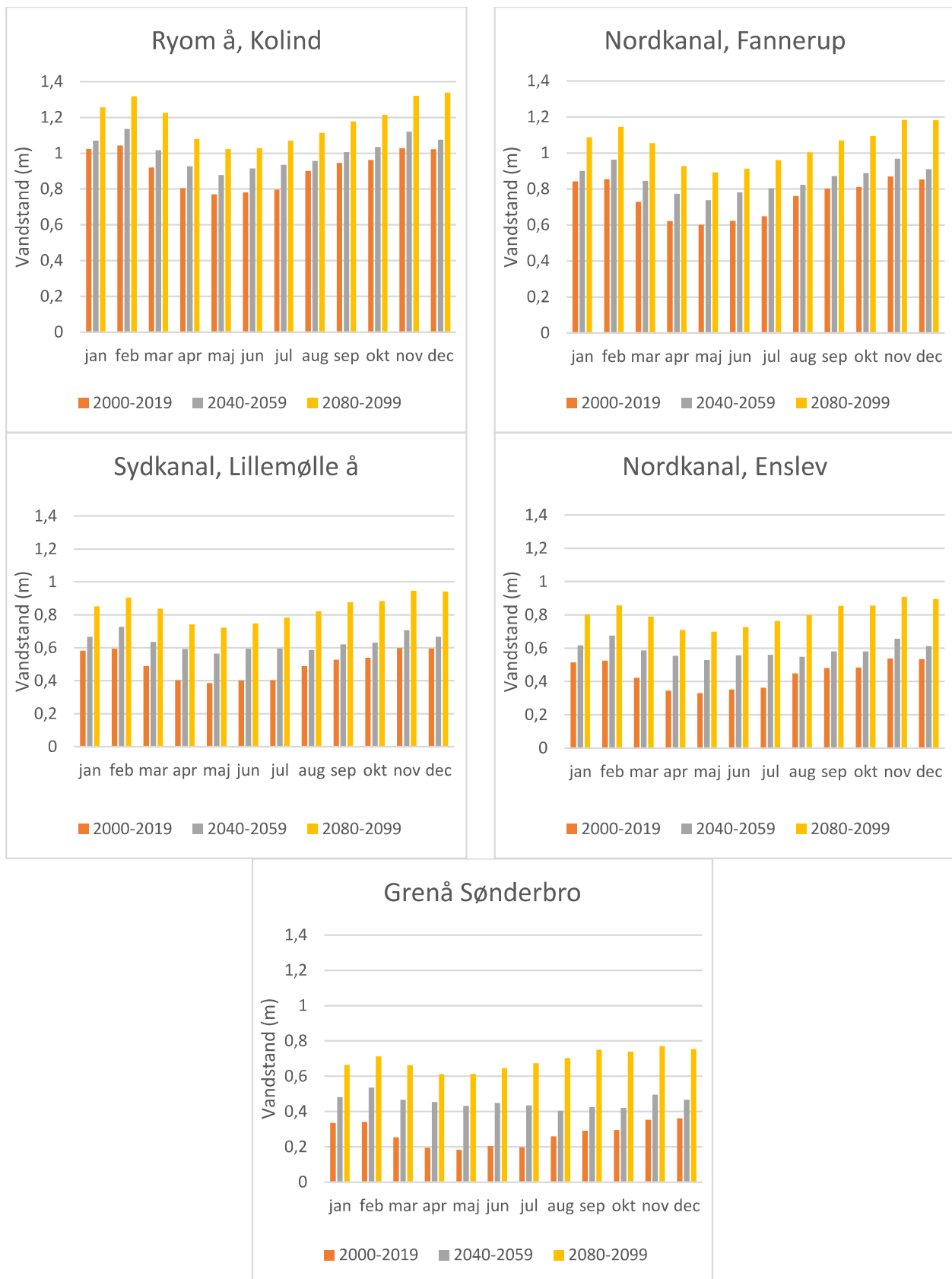
Ved Kolind by er der et svagt stigende grundvandsspejl (Figur 8.9). Punktet i Kolind er aflæst centralt i byen (bilag 2). Som nævnt forudsiges Kolind by ikke at få problemer med vand på terræn, men grundvandet vil både i nutiden og fremtiden ofte ligge tættere end en meter til terræn. Gennemsnitsdybden for hele perioden er omkring -0,8 meter. Dette betyder, at bygninger kan være påvirket af grundvandet.

I Å-kvarteret centralt i Grenå by langs med åen (bilag 2), forventes der også et svagt stigende grundvandsspejl (Figur 8.9). Gennemsnit dybden til grundvandet for hele perioden forventes at være -0,7 meter, hvilket er relativt lidt, for et område, hvor der ligger mange bygninger. En stor del af tiden forventes grundvandet at ligge i mindre end 0,5 meters dybde.



Figur 8.9 Variationen i dybden til grundvandsspejlet i Kolind (øverst) og Å-kvarter (nederst). Tendenslinjen viser et generelt stigende grundvandsspejl frem mod 2100. Grundvandsspejlet ligger generelt terrænnært, med pletvis vand på terræn.

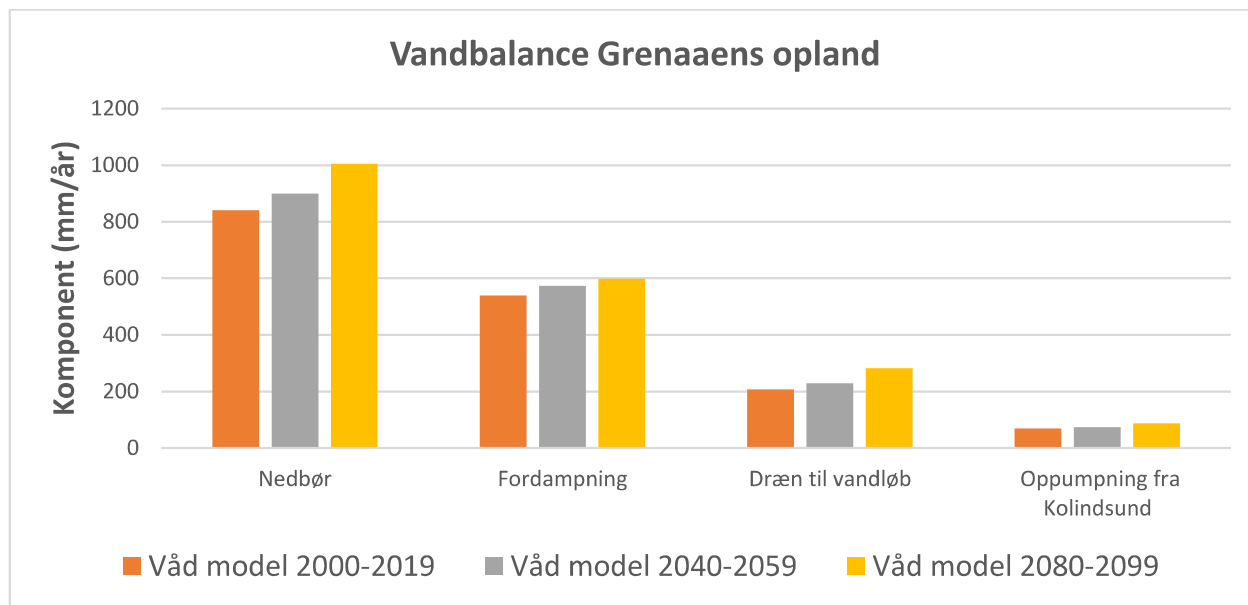
Kigges der på vandstanden i vandløbene, findes der ligeledes en årlig variation, med den højeste vandstand om vinteren (Figur 8.10). Samtidig forventes der en general stigning i vandstanden i vandløbene grundet den øgede nedbør. Det vil betyde større områder langs vandløbene med vandlidende arealer, og det får indflydelse på muligheden for at dræne de vandløbsnære arealer. I byerne med gennemløb af eller ved vandløb kan det påvirke grundene, der ligger tæt på åen, og er der større lavtliggende områder i byerne, som f.eks. ved Grenå kan påvirkningen være mere omfattende.



Figur 8.10 Den årlige variation i vandstanden ved Ryom Å, Fannerup, Enslev, Lillemølle å og Grenåen ved Sønderbro (bilag 2). Grafen viser middel vandstanden for nutiden (2000-2019) og de to fremtidsperioder 2040-2059 og 2080-2099. Der er generelt en stigende vandstand for hele året.

Vandbalance

Ser man på vandbalancen for Grenåens opland i fremtiden, forventes der både at komme en øget nedbør og fordampning. Men på trods af den stigende fordampning, forventes der at komme en netto øget vandmængde i oplandet. Det betyder, at dræn til vandløb vil stige, og den oppumpede mængde fra Kolindsund må forventes at skulle øges (figur 8.11).



Figur 8.11 Vandbalance for Grenåens opland i fremtiden.

8.3 Hovedpointer ved hverdagshændelser

- Der vil i hverdagssituationen forekomme en smule stigende og mere terrænnært grundvand. Stigning i forhold til nutiden er dog relativ lille.
- Det kan skabe udfordringer med at holde kældere og fundamenter frie for frugt, særligt i Grenå by og de mindre byer tæt på Kolindsund. Dette drejer sig blandt andet om Fannerup og Ginnerup, Kolind, Søby den sydlige del af Ryomgård og nordlige del af Mesballe.
- Hvorimod Enslev, Næsby, Revn og Allelev ikke ser ud til at få lige så store udfordringer med grundvandet i hverdagssituationen i fremtiden.
- Flere pløjemarken i området vil ofte kunne opleve terrænnært grundvand i en dybde på under 1 meter, hvilket vil kunne påvirke produktionen. Nogle steder vil der også stå vand på terræn i en hverdagssituation. Det er primært marker i dalbundene, som vil få udfordringer med vand.
- Vandstanden i vandløbene vil generelt stige i fremtiden. Det kan påvirke de vandløbsnære arealer og dræningen af disse.
- Grundvandsstanden i oplandet er primært påvirket af den stigende nedbør, hvorimod Grenå by i højere grad er påvirket af det stigende havniveau

8.4 Ekstremhændelser

I fremtiden forventes de ekstreme vejrhændelser både at blive hyppigere og kraftigere. Sammen med et stigende havspejl betyder det, at der oftere vil opstå problemer med oversvømmelser. Vejrhændelser kan dække over mange forskellige ting, som påvirker vandbalancen i oplandet forskelligt. Det kan være en kort kraftig nedbørshændelse, eller langvarig regn i vinter/forår, når grundvandsmagasinerne er fyldt op, eller en stormflod. Det er desuden muligt, at nogle af hændelserne kan forekomme på samme tid, eller kort efter hinanden. Det er derfor valgt at teste forskellige kombinationer af fremtidens vejrhændelser, med udgangspunkt i, hvordan det vil se ud, hvis der ikke laves nogle klimatilpasningsløsninger.

8.5 Nedbørshændelse

Modellen er testet i forhold til hvordan oplandet påvirkes af en kraftig nedbørshændelse i nutiden og fremtiden. I 2014 er modellen kørt med 36 mm/døgn, i 2045 med 148 mm/døgn og i 2084 med 196 mm/døgn. Til sammenligning er den største nedbørsmængde der er faldet indenfor 24 timer 168,9 mm målt i Marstal på Ærø den 8.-9. juli 1931. Ved det kraftige skybrud i København den 2. juli 2011 blev der målt 135,4 mm/døgn i Botanisk Have i København. Nogle steder i København faldt der mere end 50 mm på blot 30 minutter, hvilket skabte kæmpe oversvømmelser og skader.

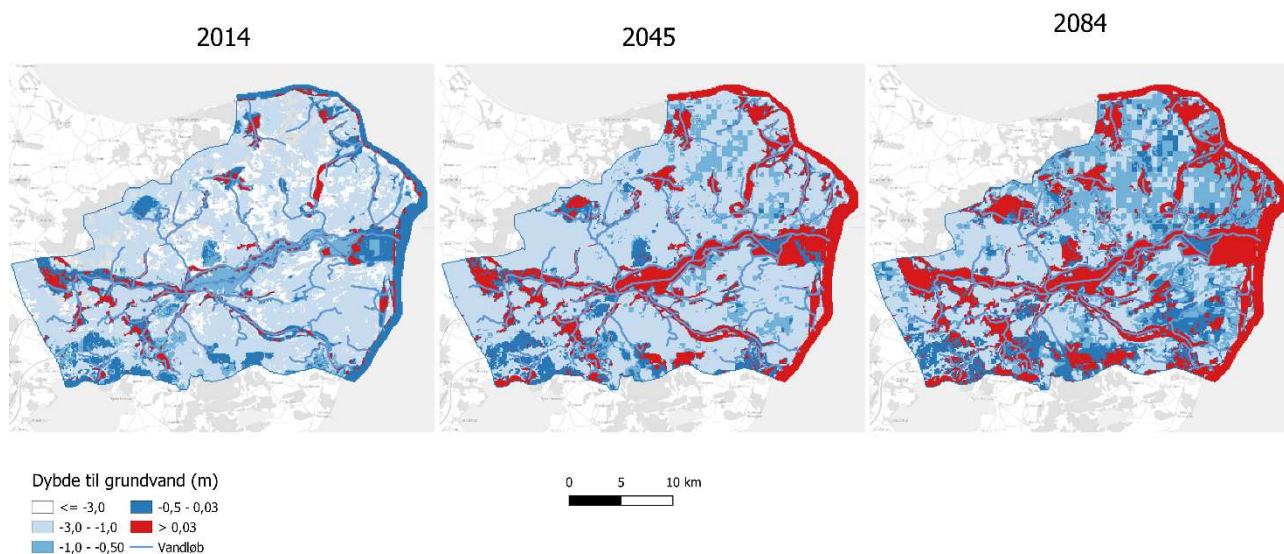
DMI forventer, at en 100-årshændelse i Djursland med døgnnedbør stiger fra 89 mm/døgn i perioden 1981-2010 til 107 mm/døgn i perioden 2071-2100 (89-130 mm/døgn). Når modellen er testet med 196 mm/døgn i 2084, svarer det derfor til mere end en 100-årshændelse. De 196 mm/døgn er valgt med baggrund i, at det ifølge den våde klimamodel kan forekomme i slutningen af århundredet.

Der skal tages højde for, at der i modellering er tilføjet et relativt ensartet nedbørsmønster ud over hele oplandet, kun bestående af 16 grid celler (10.000*10.000) (bilag 4). Normalt vil der forventes at være en større variation i nedbøren alt efter topografien.

Resultatet viser, at der ved en kraftig nedbørshændelse er mange af lavningerne i oplandet, som kan opleve vand på terræn (Figur 8.12). Det drejer sig især om lavningerne omkring Ryomgård, Skod Å, Korup, Kolindsund og store dele af Grenå by og overdrev. I Kolindsund vil der løbe vand til fra det bagvedliggende opland i de følgende dage efter et kraftigt nedbørsevent. I Kolindsund skal pumpekapaciteten forøges, hvis Kolindsund skal holdes tør. Bilag 5 og 6 viser pumpemængden (m³/s) for pumperne ved Enslev, Allelev og Fannerup ved modelkørslen i 2014 og 2045. Figurerne viser, at ved det modellerede hændelse i 2014 kom pumpen ved Allelev og Fannerup op på max kapacitet, hvorimod pumpen ved Enslev stadig kunne følge med. Ved hændelsen i 2045, er det alle tre pumper, der når deres max kapacitet allerede inden starten på hændelsen. Dette indikerer, at pumperne kan få udfordringer med at følge med nedbørsmængderne i både i nutiden og fremtiden.

Terrænnært grundvand og nedbørsevent

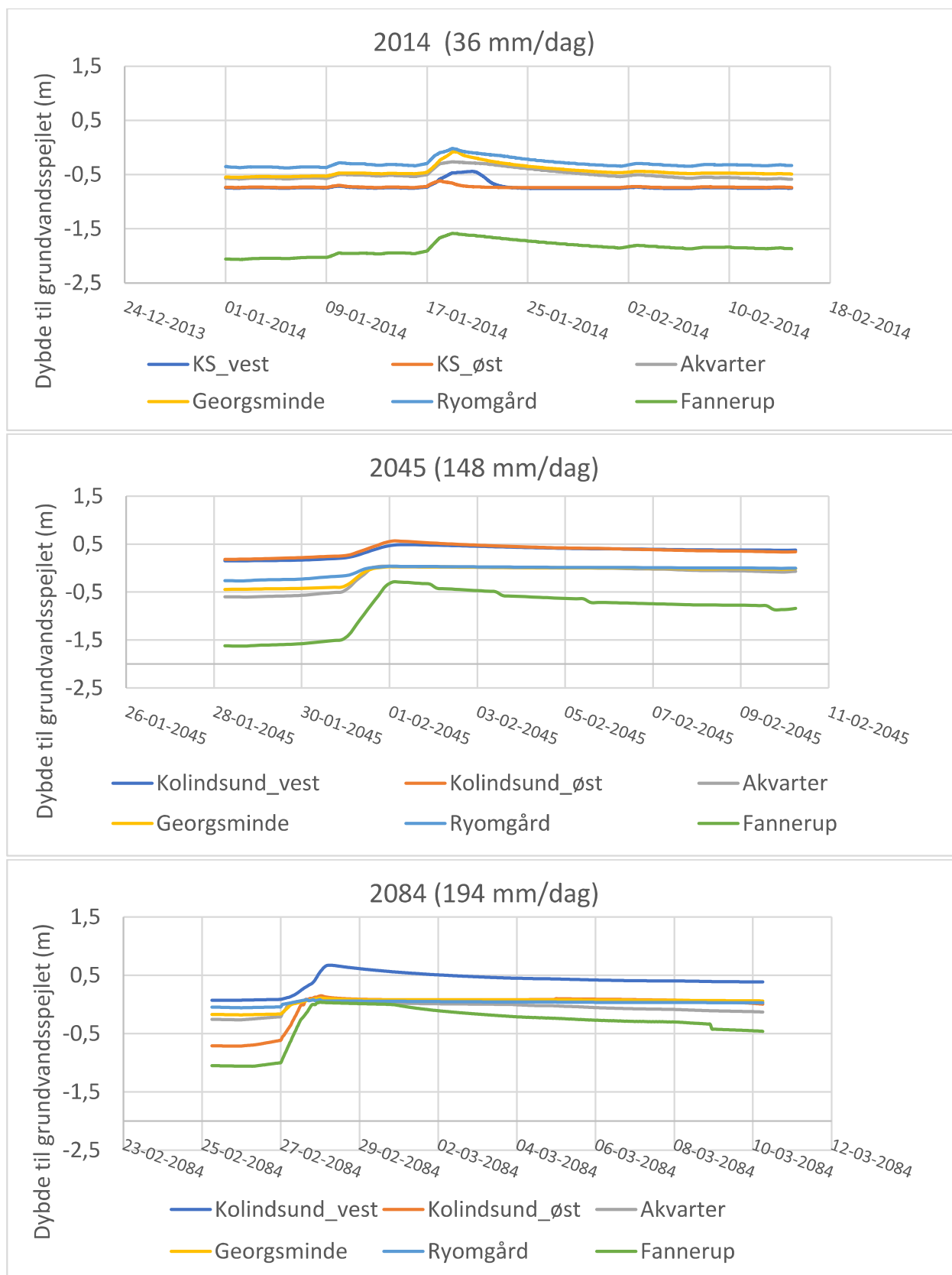
Dybde til grundvand



Figur 8.12 Dybde til grundvand ved en kraftig nedbørshændelse 36 mm/døgn i 2014, 148 mm/døgn i 2045 og 196 mm/døgn i 2084. Røde områder markerer vand på terræn.

Hvor store udfordringer der bliver i oplandet, afhænger især af hvornår nedbørshændelserne forekommer, og hvor højt grundvandsspejlet er i forvejen. Generelt er oplandet relativt robust i forhold til nedbørsevent, fordi meget af vandet naturligt vil samles i ubebyggede områder i lavningerne. Ved meget kraftige nedbørshændelser kan der komme nogle udfordringer med vand på terræn i blandt andet Ginnerup, Fannerup, Kolind og Enslev. Det er primært i de større befæstede områder såsom Grenå by, hvor der kan opstå problemer ved meget kraftig regn, fordi vandet ikke vil kunne indfildres væk hurtigt nok. Modellen tager ikke hensyn til kloaksystemet, men det forventes at det vil kunne have svært ved at følge med, ved meget voldsomme skybrud. I selve Grenå by vil åen gå over sine bredder i både 2045 og 2084, hvor vandstanden i åen stiger til over 1,2 meter (bilag 7). Dog vil den primære grund til oversvømmelse i byen skyldes den kraftige nedbør, hvor nedsivningen ikke kan ske hurtigt nok. Oversvømmelse i forbindelse med skybrud forventes dermed primært at skyldes intensiteten af skybruddene, og ikke oversvømmelse fra vandløbene. For at undgå oversvømmelse i byerne ved kraftig nedbør kræver det derfor primært en udbedring af afledningen af vand fra de befæstede områder, frem for øgningen i vandkapaciteten af vandløbene.

Samtidig vil store dele af oplandet under store nedbørsevent, kunne opleve et højt grundvandsspejl. Figur 8.13 viser dybden til grundvandsspejlet ved udvalgte lokaliteter under de 3 nedbørsevent. Ved eventet i 2014 når grundvandsspejlet tæt på terræn ved observationspunktet ved Ryomgård og Georgsminde. Ved 148 mm/dag eventet i 2045 er der afstrømning fra grundvandet mod overfladen ved begge observationens punkter i Kolindsund, og grundvandsspejlet ligger tæt på terræn ved Ryomgård, Georgsminde og Å-kvarter, hvilket antyder at der sker en grundvandsstrømning mod overfladen i området. Ved det kraftigste nedbørsevent på 194 mm/dag i 2084, stiger grundvandet over terræn ved alle observationspunkterne, hvilket viser at jorden i oplandet er meget vandmættet. Samtidig kan det bemærkes, at det tager længere tid for grundvandsstanden at falde i forhold til overfladevand.



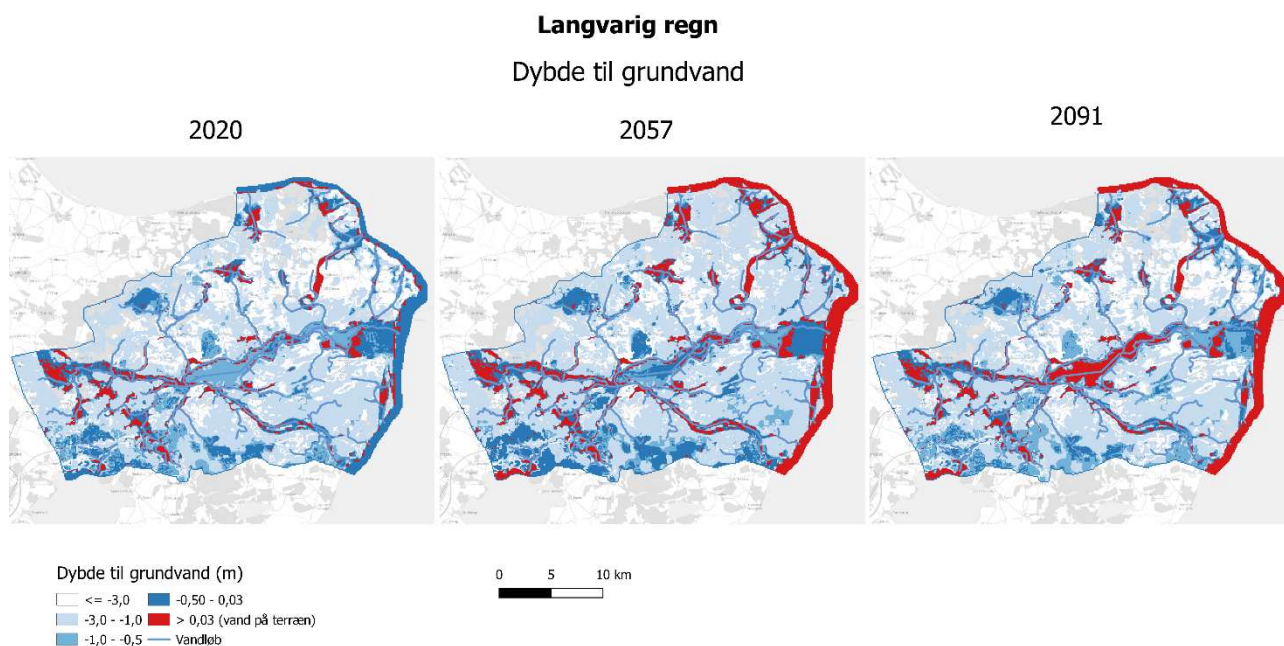
Figur 8.13 Ændringen i dybden til grundvandsspejlet under de 3 modellerede nedbørsevent på 36 mm/dag (øverst), 148 mm/dag (midterst) og 194 mm/dag (nederst). Placeringen af de 6 observationspunkter kan ses i bilag 2. Positive værdier viser vand på terræn.

8.6 Langvarig regn

Et af de scenarier, der er blevet testet, er hvordan oplandet påvirkes af langvarig regn. Når det regner meget i en længere periode, særligt om vinteren og i det tidlige forår hvor fordampningen er lav, bliver grundvandsmagasinerne lettere fyldt helt op. Det betyder, at der er en større chance for at opleve terrænnært grundvand og vand på terræn. Scenariet er testet ved at udvælge vinterperioder i nutiden og fremtiden, hvor der forventes at være en længerevarende nedbør. Der blev udvalgt tre år (2020, 2057 og 2091), hvor der samlet faldt henholdsvis 585, 701 og 644 mm i perioden fra 1. september til 31. marts det følgende år, svarede til en gennemsnits nedbør på 2,75, 3,3 og 3,0 mm/dag.

Resultatet viser, at den langvarige regn øger grundvandsstanden i store dele af oplandet. Det kendes allerede i dag fra de lavtliggende arealer langs vandløbene (figur 8.14). I fremtiden øges påvirkningen og mange af lavningerne også på højjorden vil opleve vand på terræn ved langvarig regn. Oversvømmelsen i fremtiden, kan primært ske omkring Ryom Å og vandløbsnetværket. I Kolindsund vil de nuværende pumper have svært ved at følge med, på grund af det stigende grundvand i det lavtliggende område.

I Grenå by, kan den langvarige regn og det medførte høje grundvandsspejl betyde fugt i kælderen for husejere. Ved modellen for 2057 står grundvandet i Grenå by i under 0,5 meters dybde. Længden af den regnfulde periode vil have betydning for, hvor højt grundvandet kommer, og hvor længe grundejerne vil have udfordringer med fugt i kælderen.



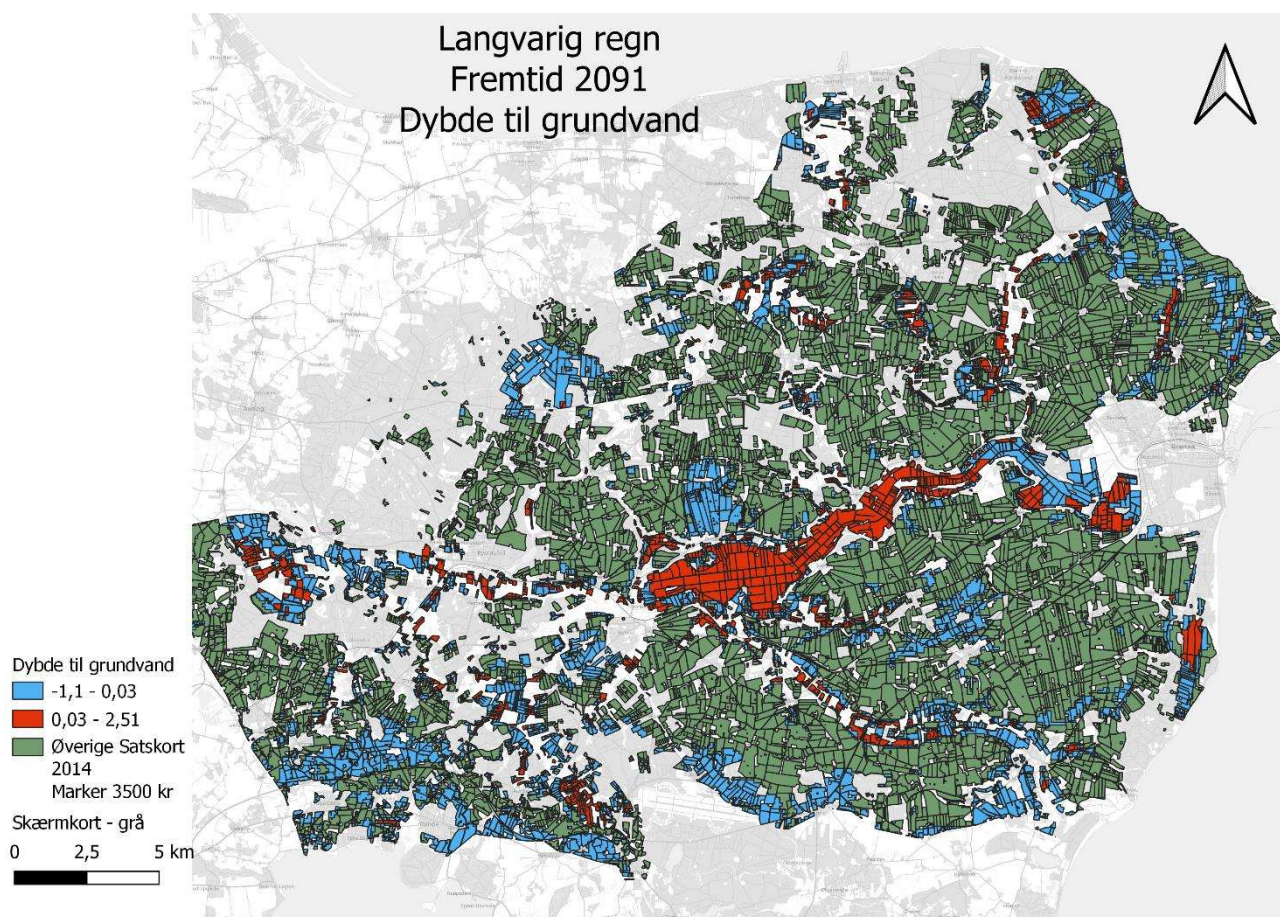
Figur 8.14 Dybde til grundvandsspejlet efter en periode i foråret med langvarig regn i 2020, 2057 og 2091. Kortet viser det terrænnære grundvand ned til 3 meters dybde samt vand på terræn. Generelt stiger grundvandsspejlet ved langvarig regn i fremtiden.

Byerne i det åbne land

Omkring byerne i det åbne land, kan den langvarige regn lede til øget oversvømmelse og øget terrænnært grundvand. Det gælder blandt andet Ginnerup, Ryomgård, Mesballe. I Enslev vil der forsat være begrænsede udfordringer. I Kolind by vil der ved langvarig regn kunne være øgede udfordringer med terrænnært grundvand, men forsat ikke problemer med vand på terræn, på grund af byens topografiske placering.

Landbrug

Perioder med langvarig regn kan også påvirke landbrugsområder. Figur 8.15 viser oversvømmelse og meget terrænnært grundvand på pløjemarken i oplandet for en periode med langvarig regn i 2091. Til forskel til hverdagssceneriet i Figur 8.7, er der ved langvarigt regnvand på terræn i hele Kolindsund. Disse marker vil sandsynligvis kunne drænes ved en øget pumpekapacitet, men det vil stadig betyde, at der skulle håndteres mere vand på den anden side af pumperne. Samtidig vil det kræve et øget strømforbrug.



Figur 8.15 Kort over pløjede marker i Grenåens opland efter en periode med langvarig regn i 2091. De røde marker vil opleve vand på terræn, og de blå marker vil opleve meget terrænnært grundvand (>-1.1 meter).

8.7 Stormflod

Stormflod hvor vandet stuves ind i Kattegat og forvolder en forhøjet vandstand forventes at ske hyppigere i fremtiden (afsnit 4). Sammenholdt med en stigning i havspejlet, kan det skabe udfordringer i især Grenå by.

Modellen er testet med en stormflod i kote 3 meter i et døgn (Figur 8.16). Til sammenligning var koten ved stormen Bodil i 2013 1,6 meter, da stormfloden indtraf ved ebbe. En stormflod i fremtiden på 3 meter tager derfor udgangspunkt i en kombineret havspejlstigning med stormflod.

Denne stormflods modelkørsel er kun kørt for nutiden. Det er gjort, fordi havspejlskoten er så dominerende, at en ændring i de klimatiske forhold kun vil have minimal betydning.

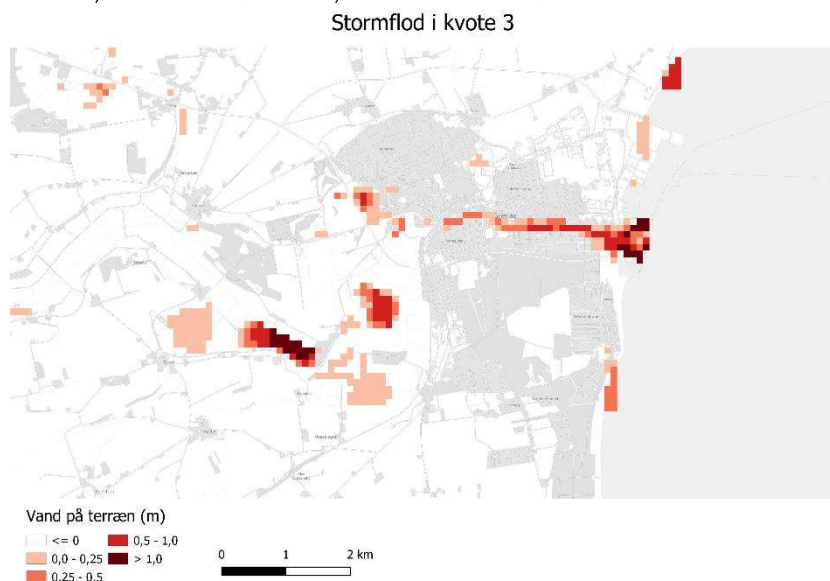
Begrebsforklaring af Kote:

En kote angiver et geografisk punkts højde i terrænet i forhold til havspejlet. Da havspejlet er svingende i forhold til tidevandet, tager man det ud fra det gennemsnitlige tidevand.

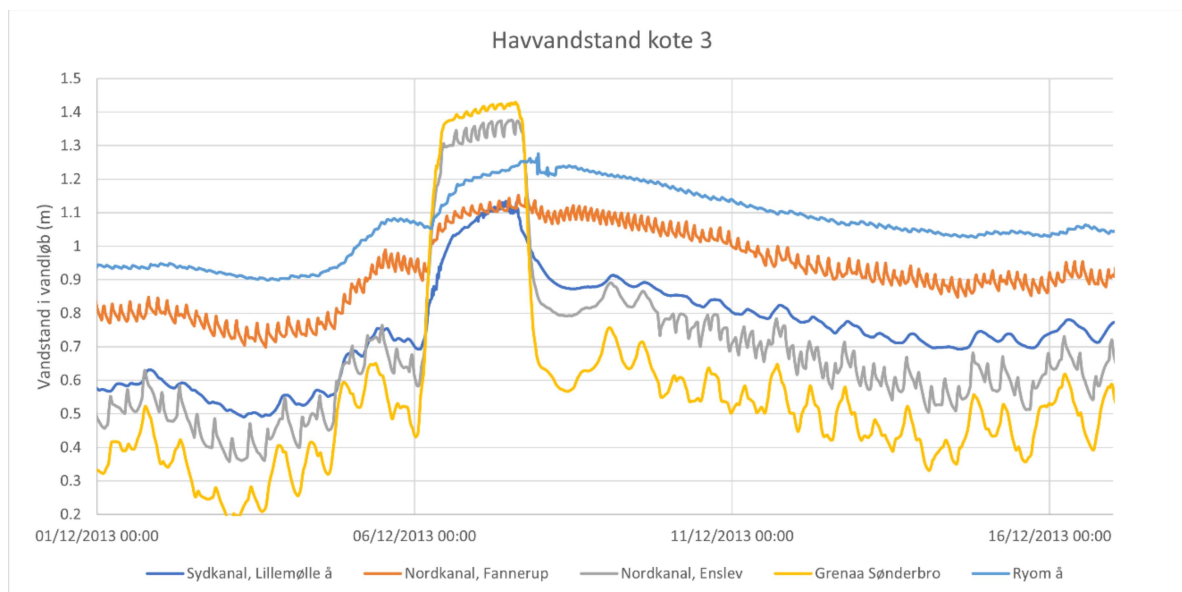
Nå der i denne rapport snakkes om en stormflod i kote 3, udregnes det ud fra det nutidige havspejl. Kote 3 er altså en kombination af den generelle fremtidige havspejlstigning og den ekstra stigning i forbindelse med en stormflod.

Modelberegningerne viser, at når vandet presses ind i Grenåen påvirkes vandstanden helt op til Ryom Å 20-25 km fra havet. Dette kan blandt andet ses ved, at vandstanden stiger helt op omkring Ryom Å (Figur 8.17), hvorefter afstrømningen ud mod havet stiger efterfølgende. Det betyder, at områderne langs med åen er i fare for at blive oversvømmet. Resultaterne viser, at der ved stormflod er en forsinkelse i stigningen i vandstanden på 6-8 timer mellem Grenå by og Ryom Å. Stormfloden trænger ind i systemet, som en bølge der først presser sig ind og skaber en modsatgående strømning, hvorefter bølgen trækker sig tilbage mod havet, når havspejlet falder igen. Vandstanden falder efter stormfloden, men det tager flere dage før vandstanden når sit normale niveau. Dog er stigningen i vandstanden ikke så stor i den opstrøms del af oplandet som tæt på havet. Selve Kolind by er placeret oppe af dalbunden, og er derfor mere sikret mod oversvømmelse. Vandstanden i kanalerne stiger ikke så voldsomt, at det bliver kritisk for de mindre byer opstrøms i oplandet.

Stormfloder er dog primært kritisk i Grenå by. Figur 8.16 viser vand på terræn ved en stormflod med en vandstand i kote 3 i et døgn ved et nutidigt klimascenarie. Det er hovedsageligt bredderne langs med den nedstrøms del af Grenåen, som oversvømmes, sammen med større dele af havnen.



Figur 8.16 Vand på terræn ved en kote 3 stormflod i et døgn. Oversvømmelsen er især koncentrat omkring havnen og Grenåens bredder.



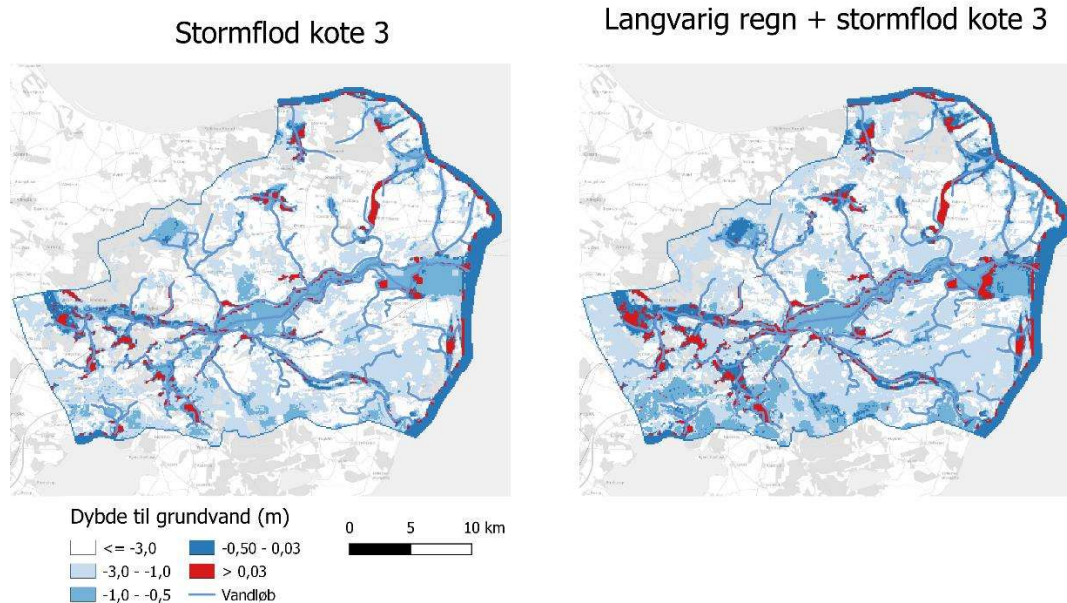
Figur 8.17 Vandstand i vandløb (m) for Sydkanalen, Nordkanalen, Grenå og Ryom Å under en stormflod i kote 3 i et døgn. Placering af målestationer kan ses i bilag 2. Grafen viser at der sker en stigning i vandstanden under stormfloden. Opstrøms i å-systemet tager det længere tid før vandet falder igen.

Da denne stormflod kun står på i en kortere periode, vil indflydelsen på grundvandet være minimal. Det er hovedsageligt omkring vandløbene, at det kan stige smule (Figur 8.18). Dette forekommer f.eks. omkring Å-kvarteret, som er det observationspunkt, der ligger tættest på havet. Dog stiger grundvandet på grund af det indtrængende havvand, men ikke så meget, at der forekommer vand på terræn. Står stormfloden på i en længere periode, vil vandet kunne forårsage oversvømmelse længere opstrøms i oplandet. Det gælder blandt andet Kragssø, udløbet fra Nordkanalen, langs Ryom Å og den vestlige del af Nordkanalen (bilag 8). I bilag 8 er modellen kørt med en kote 3 havvandsstand i 5 døgn. De 5 døgn er måske i sig selv en overdrivelse, men det viser hvordan længere tids stormflod kan presse andre områder.

Stormfloden ved Bodil i 2013

Flere områder af Grenå oplevede oversvømmelse ved stormen Bodil den 5. - 6. december 2013, hvor vandstanden nåede op i 165 cm højde ved Grenå havn. Selvom Bodil ikke er den kraftigste storm vi har oplevet i nyere tid, skabte den store oversvømmelser, fordi vandet blev presset ind i Kattegat af nordenvind og skabte forhøjet vandstand. Samtidig stod stormen på i forholdsvis lang tid. Derfor var der forhøjet vandstand i ca. 24 timer, hvor af maksimale vandstand var omkring 12 timer. Når Danmark rammes af en storm, afhænger oversvømmelsen derfor i høj grad af *vindstyrken, vindretningen og varigheden*. Samtidig spiller *tidevandet* og det normale havspejl ind på hvor meget vandet stiger. Når man laver en model, kan den godt sammenlignes med stormfloden ved Bodil, men der er mange forskellige faktorer, der kan variere fra storm til storm.

Dybde til grundvand



Figur 8.18 Dybde til grundvand for en stormflod kote 3 (venstre) og langvarigregn kombineret med en kote 3 stormflod (højre).

8.8 Stormflod og langvarig regn

For at teste oplands robusthed, er det også undersøgt hvordan oplandet påvirkes af en periode med langvarig regn, efterfuldt af en stormflod. Den langvarige regn forekommer ofte om vinteren og foråret, hvor de kraftige storme også er hyppige.

Resultatet viser, at når en længerevarende regnvejrhændelse kombineres med stormflod, vil store dele af oplandet opleve terrænnært grundvand, samtidig vil der være væsentligt større områder af Grenå by samt området ud mod Kragsø, som vil opleve vand på terræn (Figur 8.18). På grund af det allerede høje grundvandsspejl inden stormfloden indtræffer, sker der også oversvømmelse langs udløbet af Ryom Å, hvilket ikke forekom ved modellen uden langvarig regn. Dette skyldes hovedsageligt nedbøren.

8.9 Stormflod og kraftig nedbør

Det er desuden undersøgt, hvordan oplandet påvirkes, hvis en stormflodhændelse er sammenfaldende med en kraftig nedbørshændelse. Figur 8.19 viser en modelkørsel over fremtiden i 2084 med 194 mm/døgn kombineret med en stormflod kote 3. Modelkørslen er derfor en slags Worst-Case-Scenario (hvad er det værste der kan ske). I tilfælde af meget ekstrem nedbør og voldsom stormflod, vil større dele af oplandet kunne opleve vand på terræn. Det drejer sig f.eks. om området langs med Ryom Å og Kragsø. Samtidig forekommer der oversvømmelse ved Ryomgård by, hvilket ikke er set i andre modelkørsler. Der er også mere oversvømmelse i Kolindsund, hvor der både samles meget vand fra de omkringliggende vandløb, samtidig med stormfloden presser vand ind i systemet. I Grenå by bliver byen ud over vand fra åen ramt af oversvømmelse, som skyldes den voldsomme regn, der ikke kan nå at afledes fra de befæstede områder eller hvis jorden i forvejen er vandmættet. Kombinationen af kraftig regn og stormflod skaber en høj grundvandsstand i hele oplandet, hvilket gør det svært at aflede vandet.

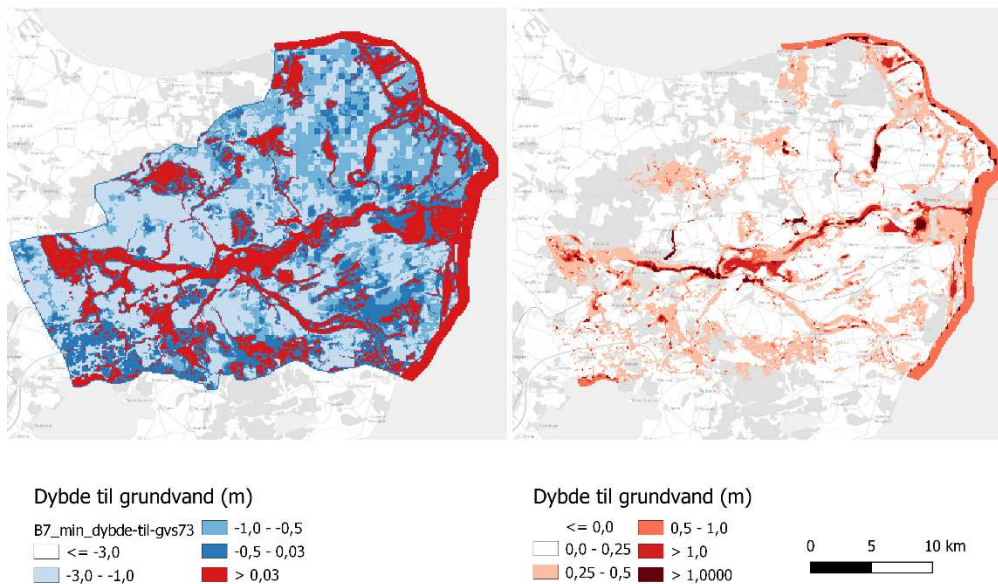
Kombineret nedbørshændelse og stormflod

Dybde til grundvand

Vand på terræn

2084

2084



Figur 8.19 Model over dybde til grundvand (venstre) og vand på terræn (højre) for en kombineret nedbørshændelse med stormflod.

8.10 Hovedpointer ved ekstremhændelser

- I fremtiden vil store nedbørsevent kunne skabe udfordringer med forhøjet grundvandsstand og vand på terræn.
- Ved meget kraftige nedbørsevent kan pumperne i Kolindsund få svært ved at følge med. Hvis de forsat skal kunne Kolindsund tør ved kraftige event, vil pumpe kapaciteten med stor sandsynlighed skulle opgraderes.
- Langvarig regn har især betydning for det terrænnære grundvand, som vil være højt i store dele af oplandet, hvor det kan skabe udfordringer. Dette kan f.eks. skabe problemer med vand i kælderen, og flere marker vil også blive påvirket af terrænnært grundvand og vand på terræn.
- Grenåens opland er dog relativt robust i forhold til nedbørsevent, da der findes en stor kaptitet for opbevaring af vand i vandløbssystemerne i oplandet og de nærliggende engområder.
- Den primære udfordring ved nedbørsevent event, vil derfor være ved høj intensitet af nedbør, hvor de befæstede områder vil have svært ved at aflede vandet hurtigt nok, og kloaksystemet vil have udfordringer med at følge med.
- Den største udfordring i fremtiden vil primært være stormflod, som hovedsageligt skaber oversvømmelse i Grenå by. Vandstanden i kanalerne stiger dog helt op til Ryomgård.

- Ved en længerevarende stormflod, kan der også skabes oversvømmelse i dele af Kolindsund. Særligt omkring Enslev.
- Kombineres langvarig regn med stormflod, bliver oversvømmelserne i Grenå by mere udbredte end ved en almindelig stormflod.
- Oplandets mange lavbundsområder og lave hældninger på vandløb i oplandet skaber megen forsinkelse af vand i oplandet. De store vandløb, herunder Ryom Å og Kolindsund landkanaler ligger med så lille et fald, at vandet bliver væsentligt forsinket i oplandet. Grenaa oplever derfor ikke store ekstreme maksimumsafstrømninger som følger af regn i oplandet.

8.10 Tørt scenarie

Selvom der generelt forventes at falde mere nedbør i fremtiden, forventes nedbøren om sommeren at falde med 2 % (-16 til 26%). Det betyder, at der i fremtiden kan komme flere tørre somre ligesom i 2018, med kun få regnvejrsgage. Samtidig forventes nedbørsmønsteret at ændre sig, så regnen om sommeren oftere vil falde som mere intensive nedbørshændelser, hvilket vil betyde en større overfladeafstrømning, end vi oplever i dag. For at undersøge hvordan en længerevarende tør periode i fremtiden vil påvirke grundvandsstanden i oplandet, er den hydrologiske model kørt med et tørt scenarie. Falder grundvandsstanden, kan det blandt andet have betydning for behovet for markvanding og udbyttet af afgrøder.

Tørt scenarie

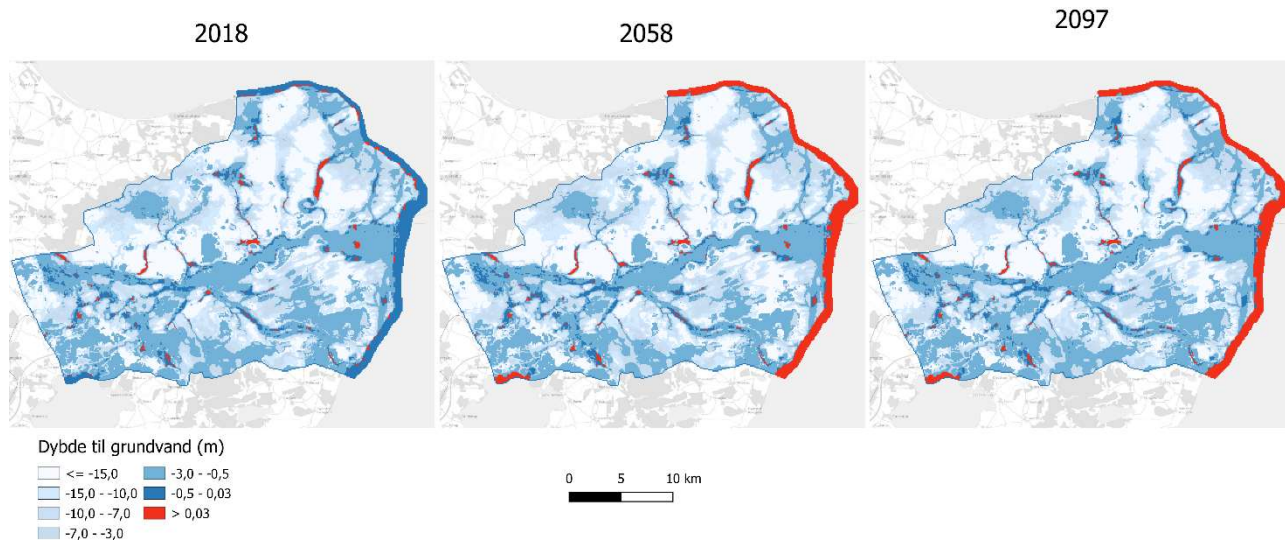
Det tørre scenarie er kørt med en tør klimamodel fra DMI. Den valgte klimamodel er ikke tør for hele Danmark, og den er ikke tør hele tiden. Men den er udvalgt på baggrund af, at den har nogle længerevarende perioder uden regn på Djursland. Den tørre model er udpeget som tør, ud fra data omkring nedbørsmønstre og grundvand. Klimamodellerne er angivet som en tidsserie, hvorfor det har været muligt at vælge tørre perioder inden for de tre klimaperioder.

Figur 8.20 viser resultatet for tørkescenariet. Der er udvalgt tre perioder, hvor den tørre klimamodel forudsiger, at der vil forekomme en længere periode med lav nedbør. Til forskel fra de øvrige figurer, viser disse kort ikke kun det terrænnære grundvand, men også det dybere grundvand. Det skyldes, at i de tørre perioder, er det interessant at se, om grundvandsstanden falder så meget, at det kan være problematisk.

Der skal tages højde for, at kortene udtrykker et øjebliksbillede. Der vil derfor ikke nødvendigvis alle steder i oplandet, der oplever den laveste grundvandsstand på samme tid.

Tørke

Dybde til grundvand

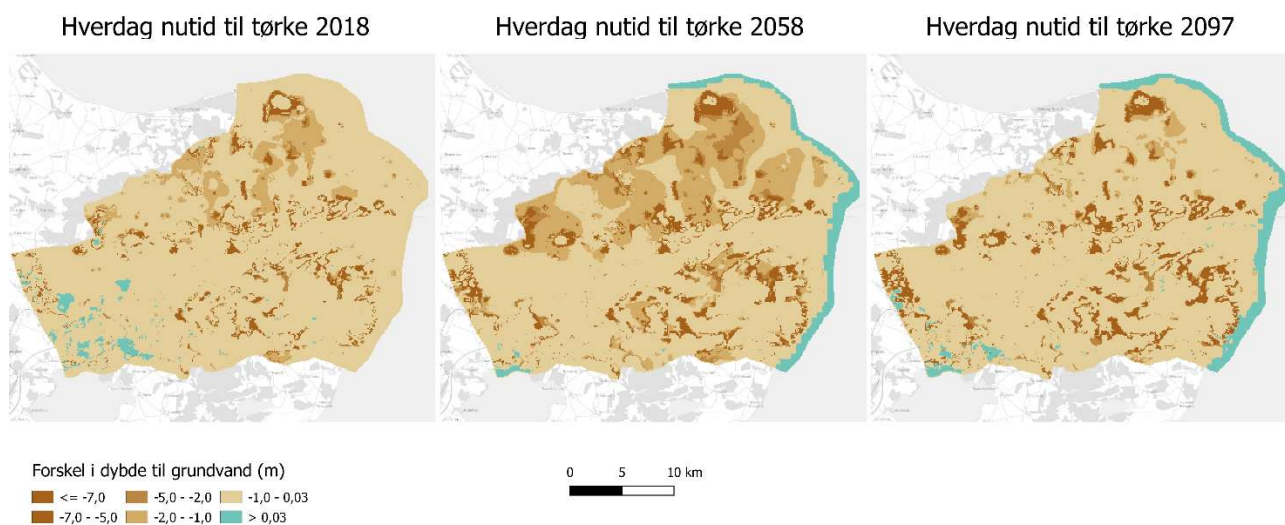


Figur 8.20 Dybde til grundvand for tre længerevarende tørre perioder i 2018, 2058 og 2097 fra den tørre klimamodel. Til forskel fra de andre figurer, viser disse kort ikke kun det terrænnære grundvand, men også det dybere grundvand. Det stigende havspejl er inkluderet, hvorfor vandstanden i havet er markeret med rødt (vand på terræn).

Figur 8.21 viser forskellen i grundvandsspejlet mellem nutiden og de tørre perioder i 2018, 2058 og 2097. Resultatet viser, at store dele af oplandet vil opleve en grundvandssænkning på mellem 0-3 meter i de tørre perioder. Nogle områder vil i fremtiden kunne opleve en sænkning på over 10 meter. Samtidig kan det ses, at vi skal forbedre os på, at de tørre perioder i fremtiden kan blive endnu tørre, end den sommer vi oplevede i 2018. På Bilag 9 kan udviklingen mellem de tørre perioder ses. Da havspejlsstigningen er inddraget, er havet markeret som en stigning.

Forskel Hverdag nutid til Tørke

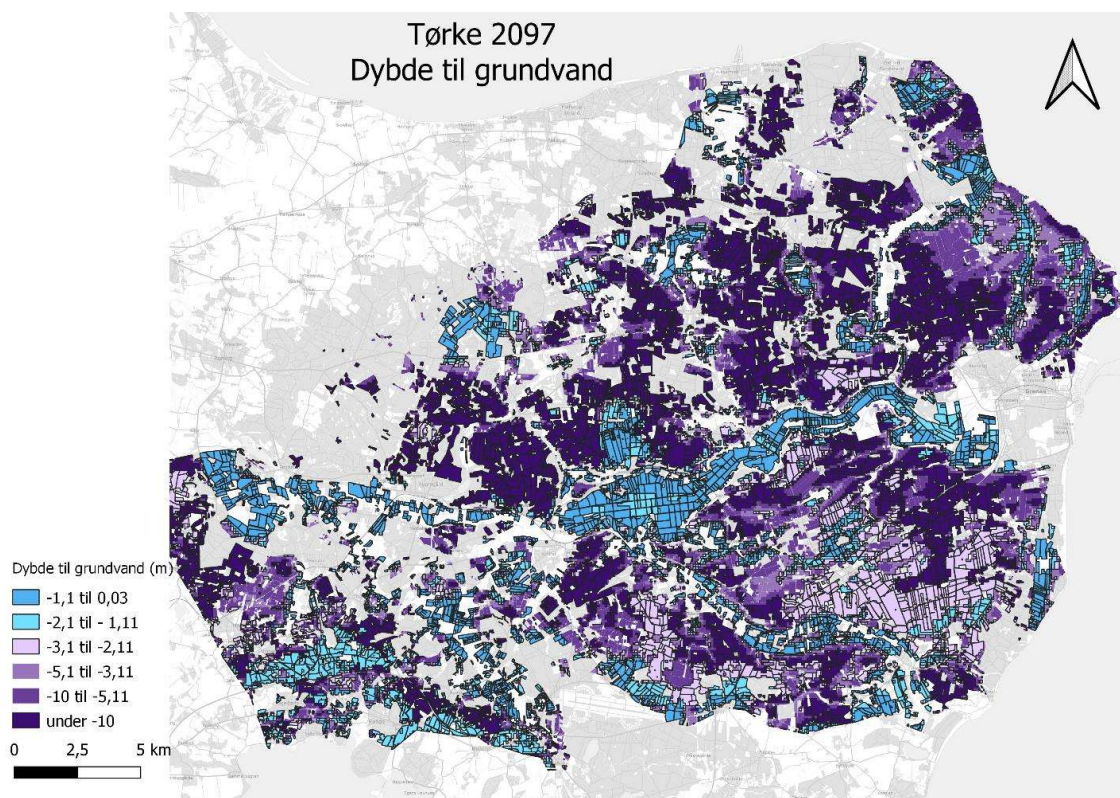
Dybde til grundvand



Figur 8.21 Forskellen i dybden til grundvand mellem nutiden og en tør periode i 2018, 2058 og 2097. Til forskel fra de andre figurer, viser disse kort ikke kun det terrænnære grundvand, men også det dybere grundvand. Det stigende havspejl er inkluderet, hvorfor vandstanden i havet er markeret med blå.

Langbrug og tørke

Et sænket grundvandsspejl under tørre perioder, kan blandt andet komme til at påvirke landbruget. Ligger grundvandet meget dybt, kan det være svært for afgrøderne at trække vand op af jorden, hvilket vil medføre behov for markvanding. Hvor dybt planter har mulighed for at trække vand fra afhænger af deres roddebyde. Figur 8.22 viser dybden til grundvand på pløjemarker i modelområdet under en tør periode i 2097 (ud fra Satskort 2014). Det er her valgt at fokusere på det dybere grundvand. Hvor grundvandet ligger tæt på terræn vil mange planter have mulighed for selv at trække grundvand op. Men som det ses på kortet, er der relativt mange pløjemarker, hvor vandet vil ligge dybere end 3 meter under terræn.



Figur 8.22 Kort over pløjede marker i Grenåens opland ved et tørt scenarie. Kortet viser dybden til grundvand.

Tørken i 2018

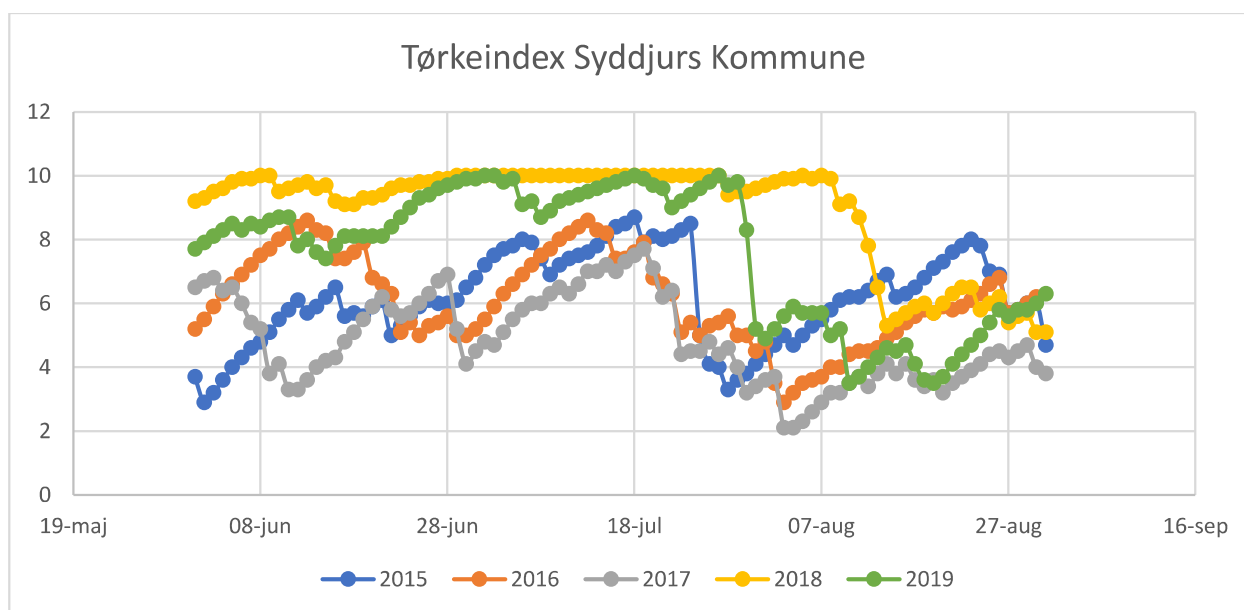
I 2018 oplevede hele Danmark og store dele af Europa en lang tørkeperiode. På Djursland lå tørkeindekset tæt på 10 i lang periode gennem sommeren (Figur 8.23), og var generelt væsentligt højere end de foregående år. Tørken indtraf allerede tidligt på sommeren, hvor mange planter stadig havde et relativt lille rodnet, og derfor svært ved at nå ned til det dybe grundvand. Tørken fik stor betydning mange steder i landet, hvor der blandt andet opstod afbrændingsforbud, og nogle vandværker udstedte generelt vandingsforbud mod vanding i haver på grund af det sænkede grundvandsspejl.

Danmark oplevede rekord mange naturbrænde (over 2.000), hvor også Djursland blev ramt (figur 8.24). Brandene opstod særligt på marker, hvor der skabes friktionsvarme ved brug af langbrugsmaskiner, der antænder det tørre underlag.

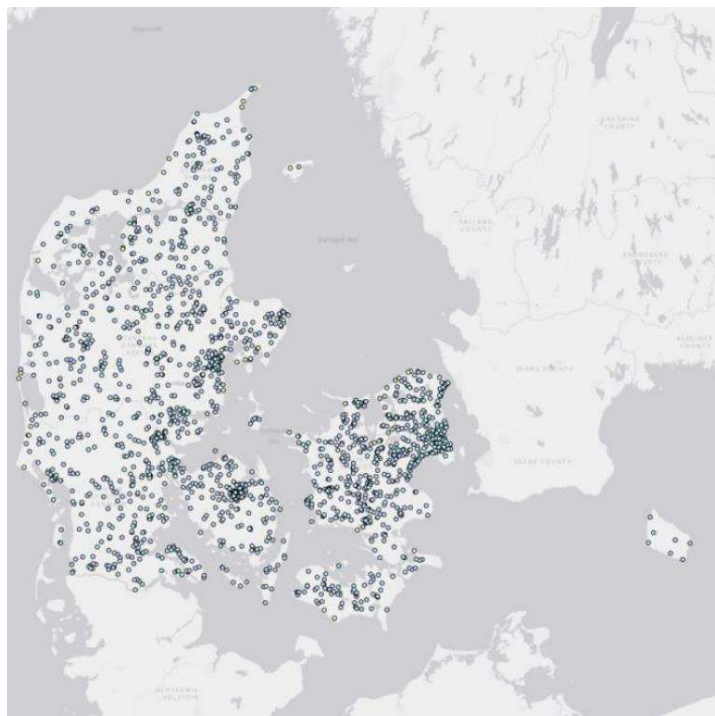
Derudover opstod der mange brænde i naturområder som hede, grøfter og skov. I Sverige er de også særligt udsat på skovbrænde, hvor der blev brug for assistance fra flere nærliggende lande. Ud over brandfaren, fik tørken i 2018 også betydning for høstudbyttet. Danmarks Statistik har således anslået udbyttet af kornhøsten i 2018 var 28 % mindre end i 2017 (figur 8.25), på trods af en 19 % større vandindvinding i 2018 frem for 2019 (bilag 9) (Danmarks Statistik, 2020). På hospitalerne blev der også oplevet en påvirkning af hedebløge, hvor der var rekord mange indlæggelser på grund af dehydrering og hedeslag. Det er estimeret, at varmen i 2018 medvirkede til 250 døde mere end normalt (Beredskabsstyrelsen, 2022). Link til Beredskabsstyrelsens rapport [Nationalt Risikobillede 2022](#).

Tørkeindeks

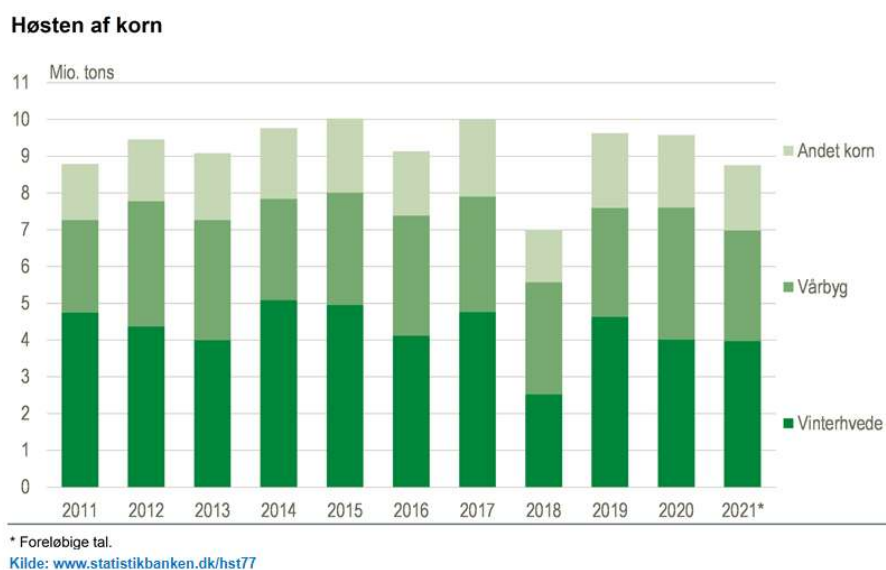
Tørkeindekset angives på en skala fra 0-10, og beskriver mængden af vand i jordvandsmagasinet, som planterne har til rådighed. Ved et indeks på 10, er der ikke mere vand tilbage i jordvandsmagasinet. DMI udregner tørkeindekset, hvor de inddrager nedbør, fordampning og nedsivningen til andre jordlag.



Figur 8.23 Tørke indeks for Syddjurs Kommune i perioden juni-juli for årene 2015-2019. Tørkeindekset beskrives fra 0-10, hvor 10 er total mangel på vand i jordvandsmagasinet (kilde: DMI, 2022).



Figur 8.24 Kort over alle 1-1-2-meldinger om naturbrande i maj til juli 2018. Brandene opstod især på marker og i naturområder (kilde: Beredskabsstyrelsen, 2018).



Figur 8.25 Høstudbyttet i perioden 2011-2021 (Kilde: Danmarks Statistik, 2021).

Tørke i fremtiden

DMI forudsiger, at vi i fremtiden vil opleve flere og længere perioder med tørke i Danmark. Resultaterne af den hydrologiske model viser, at grundvandsstanden ved fremtidens tørkeperioder kan falde yderligere i forhold til 2018.

Det betyder, at når vi skal klimasikre Grenåens opland, bliver vi nødt til at tage hensyn til variationen i fremtidens klima. Vi skal både forbedre os på det vådere og tørre klima. Det vil sige, at vi ikke udelukkende kan basere vores klimatilpasning på løsninger, som kræver meget vand, da det også må forventes at vandstanden i både vandløb, søer og grundvand, vil falde i nogle år. Der kan således opstå udfordringer med at holde de våde områder våde.

I Beredskabsstyrelsen nyeste rapport for Nationalt Risikobillede 2022, har de denne gang tilføjet et afsnit om hedebløge og tørke, da dette vurderes af være en af de væsentlige udfordringer i fremtiden. Beredskabsstyrelsen peger på følgende konsekvenser ved tørke:

- Sundhed: Øget hedeslag og varmekollaps, særligt ved børn og ældre og syge.
- Risiko for brand
- Presset vandforsyning
- Flere trafikuheld på grund af hedebløge
- Konsekvenser for plante og dyreliv, f.eks. fiskedød på grund af for høje vandtemperatur og manglede ilt eller udtørring af planter.

Udover disse man også skulle forholde sig til:

- Øget erosion af den øverste jord, særligt i forbindelse med kraftige nedbørsevent efter en tør periode. Men også øget vindfygning.
- Større risiko for terrænsætning, fordi tidligere mættet jord iltets.

Klimatilpasning kan derfor også handle om at skabe skyggeområder i byer og det åbne land, hvor det er muligt at søge ind under ved hedebløge. Derudover kommer vi til at tænke mere på hvordan vi sikre vores vandforsyningen fra grundvandet i de tørre år, og eventuelt medindtænker alternative løsninger som buffer for vandforsyningen.

8.11 Hovedpointer ved tørke

- Der forventes at opstå flere og kraftigere tørkeperioder i fremtiden.
- Det betyder at grundvandet i nogle år forventes at kunne falde i sommermånederne, hvilket kan påvirke høstudbyttet og behovet for markvanding. Klimatilpasningsløsninger bør derfor tage højde for variationen i klimaet, med skiftevis vådere og tørre år.
- Resultatet viser, at store dele af oplandet vil oplede en grundvandssænkning på mellem 0 – 1 meter i de tørre perioder. Nogle områder vil i fremtiden kunne opleve en sænkning på over 10 meter.
- Klimatilpasning kan også handle om at forberede os til Hedebløge i fremtiden. Dette kan blandt andet handle om at skabe områder i landskabet med mulighed for skygge.

9. Løsninger

Den forventede stigende nedbør både i mængde og intensitet samt den forventede stigende havvandstand betyder, at Grenåens opland kan stå over for udfordringer med stigende grundvandsspejl og oversvømmelse på terræn. Derfor bliver det nødvendigt at skabe klimatilpasningsløsninger, som både beskytter mod de ændrede forhold i hverdagen og ved mere ekstreme vejrhændelser.

9.1 Hvem har ansvaret for klimasikring?

Rent juridisk er det grundejerens eget ansvar at klimasikre sin grund. Det betyder, at det er op til den enkelte grundejer at løse udfordringerne med oversvømmelser, eventuelt i samarbejde med naboer eller grundejerforeningen.

På nuværende tidspunkt er det Beredskabets ansvar at klimasikre samfundsmæssige væsentlige værdier. Dette kan f.eks. dække over udpegede adgangsveje for redningskøretøjer og samfundskritiske hotspots. Dog er det besluttet, at fra 2030 er det kommunerne selv der står for beredskab ved storm og vand hændelser.

Kommunen har ansvaret for fælles anlæg og offentlige arealer, mange veje, kommunale institutioner, samt offentlige ledningsanlæg.

Anlæg til klimatilpasning omfatter ofte større projekter end den enkelte boligejer eller grundejerforening kan lave. Dette gælder f.eks. ved etablering af en sluseløsning i havnen, hvor det går hen og bliver et infrastrukturprojekt. Eller ved de naturbaserede løsninger, som kræver en større jordfordeling.

Begrebsforklaring af løsninger:

Når der snakkes om løsninger eller løsningsforslag, henvises der til klimatilpasningsløsninger for hvordan Grenåens opland kan sikres mod de stigende vandmængder. Løsningerne er delt op i *tekniske løsninger*, hvor der bygges en fysisk konstruktion inde i selve Grenå, og i *naturbaserede løsninger*, hvor vand tilbageholdes i selve oplandet. De naturbaserede løsninger vil dog ofte kræve en byggeteknisk løsning, for at man kan holde på vandet i de områder man ønsker. Samtidig vil det højst sandsynligt blive nødvendigt med en kombination af begge typer af klimatilpasningsløsninger, da de naturbaserede løsninger ikke kan beskytte Grenå fuldstændigt mod stormflod.

9.2 Hvordan klimasikres der i dag?

Konkret klimasikres der i dag ved, at borgere ved stormflodvarsler f.eks. har haft mulighed for at hente sandsække på kommunernes sanddepot. Derudover har Norddjurs Kommune i forbindelse med stormflod afspærret veje i havneområdet i Grenå, for at undgå trafik i de områder, der er i risiko for oversvømmelse.

I Kolindsund kan grundvandsspejlet styres af drænkanalerne og de tre pumpestationer. Ved stigende grundvandsspejl i forbindelse med den daglige regn eller med vejrhændelser, kan pumpestationerne skrue op for pumperne, for at pumpe det yderligere vand ud. Men resultaterne fra modellen peger på, at de nuværende pumper kan få svært ved at følge med ved fremtidens større nedbørshændelser. Det bliver derfor nødvendigt at udskifte pumperne til pumper med større kapacitet.

9.3 Fremtidens klimatilpasning

Formålet med dette projekt har været at afklare, hvordan systemet hænger sammen og hvilke metoder, der kan være mulige løsninger på fremtidens klimatilpasning af Grenåens opland. I det følgende afsnit vil fordele og ulemper ved forskellige løsninger blive fremlagt.

9.4 Business-as-usual

En mulighed kan være ikke at gøre noget. Det vil dog medføre store skadesomkostninger ved fremtidens voldsommere vejr. Som nævnt anslår Realdania, at Grenå i løbet af de næste hundrede år vil komme til at betale 6.509 mio. kroner i skadesomkostninger på grund af det stigende havvand og stormflod (Realdania, 2021). Derudover kommer konsekvenserne ved uerstattelig kulturarv, øget utryghed, øget sundhedsrisiko, faldende huspriser, miljømæssige konsekvenser og faldende høstudbytte.

9.5 Teknisk løsning – sluse/pumpe og dige

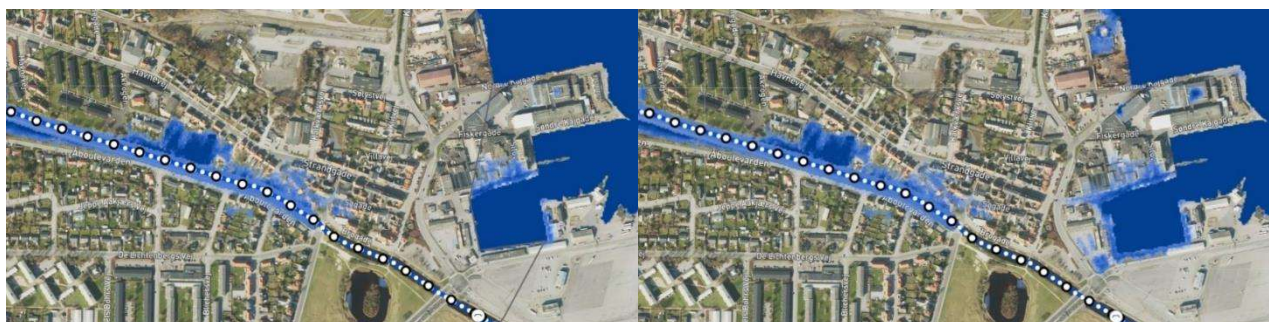
I Grenå by er den største oversvømmelsestrussel fra stormflod. Derfor er en oplagt løsning at bygge en sluse med tilhørende pumper ved Grenåens udløb. Dette gøres for at undgå, at havvandet stuves ind i å-systemet og åen går over sine bredder. Denne løsning er eksempelvis valgt til kystbeskyttelse i Århus og Ribe. Ud fra beregningerne tyder det på, at en pumpekapacitet på 12-15 m³/s kan håndtere de vandmængder, som tilledes Grenåen i ved bl.a. langvarige regnhændelser. Det er muligt med en mindre pumpekapacitet, hvis det ønskes at udnytte en stuvning i kanalerne, og specielt hvis det vælges på et tidspunkt at omdanne Kolindsund til en sø, idet der så kan defineres et max afløb til Grenåen, da der vil være en stor opstuvningskapacitet i Kolindsund.

Afhængig af hvor høj vandstand man ønsker at beskytte imod, vil det dog også kræve, at der bygges et dige langs kysten, da vandet ellers kan trænge ind over land andre steder.

Det er valgt at teste de tekniske løsninger i 3DI modellen, som har en langt højere opløsning end Mike modellen. Denne model er særligt velegnet til urbane område. En uddybende beskrivelse findes i afsnit 5.

Dige

Den første tekniske løsning der blev testet er, om etableringen af et dige langs kysten kan beskytte Grenå by mod havvand og overfladevand. Digerne var testet med en kote 3 stormflod i et døgn, uden sluse eller pumpe. Modellen viser, at det første sted der bliver oversvømmet, er langs Grenåens banker. Her skabes oversvømmelsen, når havspejlet når omkring 1 meter. Figur 9.1 viser udbredelsen af oversvømmelse på det tidspunkt, hvor havspejlet når 1,5 meter for en model henholdsvis uden dige (øverst) og med dige nederst. Her kan det ses, at dele af havnen begynder at blive oversvømmet. Diget holder en del af havnen tør, men oversvømmelsen langs med åen op til Sønderbro er forsat uændret.



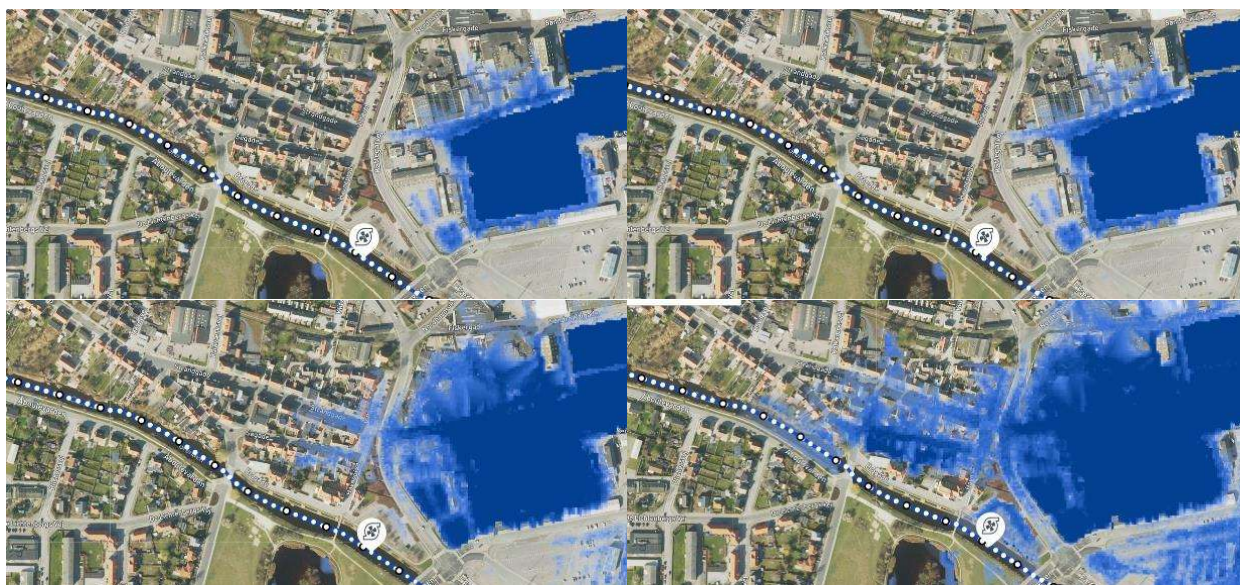
Figur 9.1 Udbredelsen af oversvømmelse ved en stormflod i kote 1,5 uden dige (venstre) og med dige (højre).

Sluse

Overstående resultat viste, at diger ikke er nok til at beskytte Grenå by fra oversvømmelse, da en væsentlig del af oversvømmelsen sker langs med Grenåen. Derfor er modellen også testet med en sluse og pumpe, men uden dige.

Resultatet viser, at med en sluse der lukker ved et havspejl på 1 meter, og med en pumpekapacitet på 10 m³/s er det i starten muligt at undgå oversvømmelse af byen. Men når havspejlet når omkring 1,7 meter begynder havvandet at trænge ind over havnefronten (figur 9.2). Ved et havspejl på 1,95 meter, bliver selve byen også oversvømmet fra havet (figur 9.2). Denne model tager dog ikke højde for vindens effekt og overbelastning af kloaksystemet (figur 9.2 a og b).

Resultatet viser derfor, at for at beskytte Grenå by mod oversvømmelse i fremtiden, er der behov for en løsning der kombinerer en sluse med et dige, da en sluse alene, kun vil kunne beskytte byen til en vis tærskel. Eftersom Bodil havspejlet ved Bodil stormen i december 2013 nåede op på 1,6 meter, og et lignende event forventes at forekomme oftere, anbefales det at etablerer en løsning både med sluse, pumpe og dige.



Figur 9.2 Udbredelsen af oversvømmelse med en havstand på 1.5 m (a), 1.65 m (b), 1.8 m (c) and 1.95 m (d) ved en model uden diger, men en sluse der lukker ved et havspejl på 1 m.

Hvornår har vi brug for en sluse/pumpe/dige løsning?

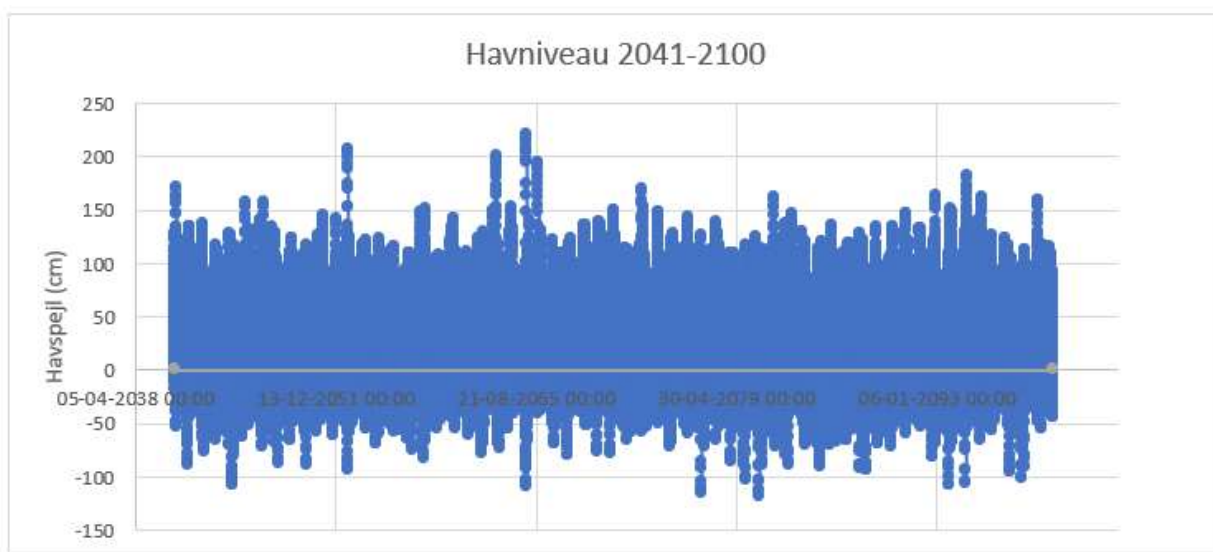
Når fremtidens byudvikling skal planlægges, er det vigtigt at vi gør så det klart, hvornår vi har brug for en sluse og pumpe i Grenå, hvis det er den løsning der vælges. Kan vi nøjes med sandsække og afspærring de næste 20 år, før vi går i gang med at bygge en sluse eller har vi allerede behov for den nu?

GEUS har med udgangspunkt i en af DMI's klimamodeller for havniveau (EC-EARTH-HIRHAM) undersøgt, hvor ofte vi vil opleve en havstand i Kattegat over kote 1, 1,2, 1,5 og 2 meter i fremtiden (Tabel 9.1). Resultatet viser, at vi i perioden 2041-2060 vil opleve en vandstand på 1,5 meter omkring 4 gange. Det svarer til en stormflod, der er en smule mindre end en Bodil (1,6 meter). Derudover vil vi på den 20-årige periode opleve en vandstand på over 1 meter 145 gange.

Tabel 9.1 Hvor ofte havspejlet vil overstige henholdsvis 1, 1,2, 1,5 og 2 meter fordelt på en 20 årsperiode. Data er baseret på EC-EARTH-HIRHAM modellen.

Hvor ofte vil havspejlet være over kote:	1	1,2	1,5	2
2041-2060	145	42	4	1
2061-2080	164	53	5	2
2081-2100	156	39	7	0

Figur 9.3 viser data for den forventede tidlige variation i havspejlet for Kattegat i fremtiden 2041-2100. Det kan ses, at det er forskelligt, hvor hyppigt de høje havspejlsstigninger forventet at komme. Men vi må forvente at opleve flere hændelser med højt havniveau inden 2050.



Figur 9.3 DMIs forudsigelser for havniveau i Kattegat 2041-2100.

Med udgangspunkt i ovenstående anbefales det, at Grenå sikres mod det stigende havvand. Norddjurs Kommune er allerede påbegyndt dette arbejde i det nye komplementære projekt "Næse for Vand". Da der arbejdes videre i "Næse for vand", som kigger på visionen for Grenå By og kigger dybere ind i klimatilpasning og byudvikling er der ikke sat økonomi på tiltag i Grenå, da det gøres i Næse for vand projektet. Læs mere om dette projekt i afsnit 11. Hvor meget det vil koste at klimasikre Grenå by mod oversvømmelse er svært at anslå, da det afhænger af mange forskellige faktorer og hvilken løsning man vælger, og hvor høj en vandstand man vil sikre for.

I Århus valgte man at etablere en sluse/pumpe løsning ved haven ved Aarhus Ås udløb. Slusen er bygget til at lukke automatisk, når vandstanden når 1,4 m over normal vandstand. Slusen er kombineret med 6 pumper, der kan pumpe vand fra åen ud i havnen, når slusen er lukket. Anlægget kan sammenlagt pumpe 18.000 liter vand per sekund. Samtidig er 300 m terræn langs havnen hævet, til at kunne modstå oversvømmelse.

Anlægget er bygget til at modstå en stormflod på op til 2,5 meter i forhold til daglig vand og har kostet 46 millioner kroner (samlet for sluseporte, pumper og dige). Anlægget anslås at kunne spare byen for mange udgifter i fremtiden på grund af mindre skadesomkostninger og alternative klimasikringsmuligheder. Anlægget stod færdigt 2017.

Tekniske løsninger i oplandet

De tekniske løsninger i oplandet er koncentreret omkring byerne, som i variabel grad udfordres. I det åbne land bliver specielt lavbundsarealerne vandlidende, og nogle af lavningerne på højjorden kan kræve øget dræning for at opretholde dyrkning.

Bortset fra Grenå ligger de øvrige byer i projektområdet inde i landet, så de bliver i meget begrænset omfang påvirket af havet. Det er kun Kolind og byerne langs Kolindsundskanalerne, der kan påvirkes af havet, og etableres der på dige/sluse/pumpe løsning i Grenå bliver den påvirkning formodentlig mindre end den er i dag.

Så for byerne i oplandet vil det hovedsagelig være stigende grundvand og skybrud, der udgør en risiko for oversvømmelser/skader. Byerne er udfordret i varierende grad, og det er forskellige risikomomenter og dermed indsatser, der evt skal udføres. Byer som Kolind, Thorsager, ældre del af Ryomgård og Ørum og Fannerup kan blive påvirket af stigende grundvand specielt de ældre bydele ved dalfoden og dalbunden. Vandløbene kan selvfølgelig også udgøre et problem, som de kendes fra Thorsager, hvor der tidligere har været oversvømmelser langs Medkær Bæk. I andre Byer kan det være strømningsveje, som fører store mængder vand/sediment fra det åbne land ind i byen, som både kan give oversvømmelser, men også overløb fra kloaksystem mv. Det kendes bl.a. fra Nimtofte, hvor nedenstående foto stammer fra (Figur 9.4).



Figur 9.4 Erosionsrende efter skybrud ved Nimtofte.

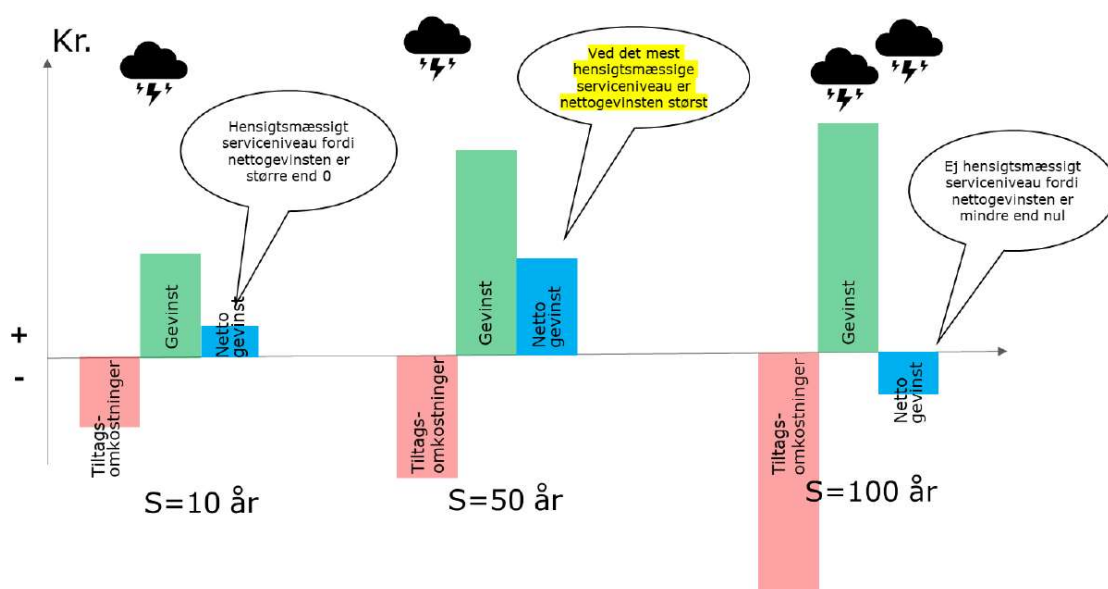
Da udfordringerne både kan være grundvand, strømningsveje, hvor vandet samles mv, skal der selvfølgelig også arbejdes med forskellige løsninger, hvor løsningerne tager afsæt i udfordring, borgerne ønsker/ejerskab (se afsnit 10) og økonomi.

Fra kommunernes side arbejder vi med strømningsvejene. Bl.a. er der netop gennemført et projekt i Thorsager (<https://vandogklimasyddjurs.dk/ulvedalsvej>), som ændrer en strømningsveje af vand, så det løber udenom byen og samtidig virker projektet til trafikdæmpning og derved trafiksikkerhed.

Som tidligere omtalt har kommunen ansvar for at klimatilpasse infrastruktur og øvrige offentlige værdier. Kommunerne laver klimatilpasningsplaner, som skal give et samlet overblik over udfordringer, risiko,

omkostninger og evt. indsatser, hvor den samfundsmæssige værdi står mål med omkostningerne. I øjeblikket er Nord og Syddjurs Kommune ved at lave version 2 af deres klimatilpasningsplan. Hvor resultaterne fra denne undersøgelse også bidrager.

I oplandet til Grenåen kan en måde at klimasikre i byerne på, bl.a. være at kigge på Forsyningsselskabets serviceniveau. Serviceniveauet i de 2 kommuner er normalt, at der maksimalt sker opstuvning af vand til terræn hvert 5 år for separerede spildevandssystemer og 10 år for fælleskloakerede systemer. Der kan kigges på, hvilket serviceniveau der skal være i byerne ud fra en samfundsøkonomiske cost-benefit-analyse, hvor der kigges på serviceniveau for vand på terræn i forhold til skader og omkostninger. Der beregnes nettogevinster, altså en skades gevinst kontra omkostninger til tiltag. Det mest hensigtsmæssige serviceniveau er, når nettogevinsten er størst. Dette serviceniveau er det serviceniveau forsyningsselskabet må finansiere jf. Serviceniveaubekendtgørelsen BEK2276.



Figur 9.5 Illustration af cost-benefit-analyser til tre serviceniveauer (S) og identifikation af det mest hensigtsmæssige serviceniveau, hvor nettogevinsten (forskellen mellem gevinst og omkostning) er størst. (Kilde Niras, Vejledning - BEST)

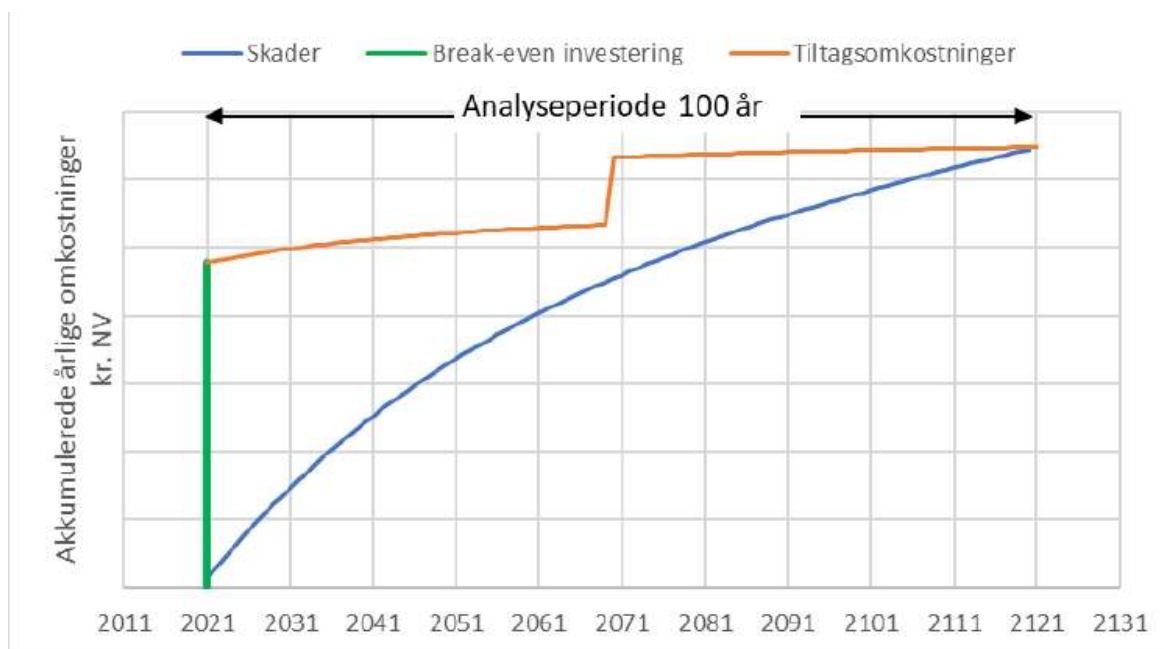
I Figur 9.5 er vist princip skitse for hensigtsmæssigt serviceniveau.

Der er lavet en screening i klimatilpasningsprogrammet BEST for byerne i Grenåens opland. Forudsætningen er oversvømmelseskort i Scalgo Live for en 100-årshændelse, sokkelhøjde = 10 cm uden kælder og 2 cm med kælder, Perimeter = 3 meter.

I Tabel 9.2 er vist resultaterne af screeningen. Det mest hensigtsmæssige serviceniveau ligger generelt højere i alle byen, end det serviceniveau forsyningerne i de 2 kommuner arbejder med. I tabellen er også oplyst skadereduktion i %, hvis det mest hensigtsmæssige serviceniveau vælges. Endelig er oplyst break-even investering, som modsvarer de forventede skadesomkostninger i nutids kroner, og er max investering og kan ses som et prisloft for investering.

Tabel 9.2 screening af serviceniveau, skadesreduktion og break-even for oplands byer i Grenå-systemet

By i Grenåens opland	Mest hensigtsmæssige serviceniveau (år)	Skadesreduktion (%) ved mest hensigtsmæssige serviceniveau	Total break-even investering (mio. kr)
Ørum	14	72	8
Glesborg	13	77	4
Ramten	16	72	2
Trustrup	14	61	8
Mørke	13-24	81-85	27
Thorsager	14-15	81-88	18
Pindstrup	14	73	6
Ryomgård	11-15	70-82	18
Kolind	14-16	77-88	25



Figur 9.6 Princippet for beregningen af "break-even investering". Der foretages en investering i dag, som akkumuleret over 100 år svarer til niveauet for skadesomkostninger uden klimatilpasning. I beregningen antages en 100 % reinvestering efter 50 år og løbende årlige udgifter svarende til 0,5 % af investeringen (Kilde Niras, Vejledning - BEST).

Det skal anføres, at screeningen er af meget overordnet karakter, da den bygger på en del generelle antagelser herunder nogle grove prissætninger, men den giver et bud på størrelsesordener og indikerer problemområderne. Det fremgår klart af tabellen, at af de oplyste byer er det klart i Kolind, Ryomgård, Thorsager og Mørk, at de største værdier er på spil.

Break-even investering (mio. kr.)

- 0 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 2.5
- 2.5 - 5
- 5 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40
- 40 - 50
- 50 - 100
- 100 - 250
- 250 - 500
- 500 - 1000
- > 1000

Beregnet med typekurver
 Beregnet med klimatiltag

Label viser den forventede break-even investering som modsvarer skadesomkostningen (i parentes er vist andel under henriv. over Skrift-27 serviceniveauet)

© SDPE

Screeningen kan ikke stå alene til en politisk beslutning, da der skal laves supplerende og mere nøjagtige analyser, og det skal samstemmes med de øvrige udfordringer der er i forsynings struktur mv. men resultaterne indikerer, at der er værdi i at kigge på differentierede serviceniveauer for byerne i Syddjurs Kommune.

- Etableres der kun et dige langs med kysten uden en sluse, vil der forsat ske oversvømmelse langs med åen, når havspejlet når omkring 1 meter.
- En sluse/pumpeløsning uden dige kan beskytte området langs med floden for oversvømmelse. Men en stormflod på over 1,5 kunne området langs havnen begynde at blive oversvømmet.
- For at beskytte Grenå by mod stormflod, vil det være nødvendigt med en sluse/pumpe løsning i kombination med et dige.
- Projektet "Næse for vand" gå videre med et bud på, hvordan sluse og diger bedst integreres i Grenå by.
- Allerede inden 2050 må vi forvente at opleve flere stormfloder, med en vandstand lignede Bodil i 2013. Det anbefales derfor ikke at vente for længe med at etablerer en sluse med pumpe.
- Det anbefales at kigge på differentierede serviceniveau for Mørke, Thorsager, Ryomgård og Kolind herunder indtænke dræning for at imødegå påvirkningen af stigende grundvand.

9.7 Naturbaserede løsninger

En del af formålet med projektet har været at undersøge, om det er muligt at klimasikre Grenåens opland ved at arbejde med naturbaserede løsninger i supplement med de tekniske løsninger. Da Grenå by i høj grad er udsat over for stormflod fra havet, bliver det nødvendigt at bygge en sluse ved Grenåens udløb, for at beskytte byen.

De naturbaserede løsninger har til formål at forsinke vandet opstrøms i oplandet, så hvis der falder meget nedbør, vil det være muligt at opmagasinere vandet inden det når de kritiske områder.

Et andet formål med de naturbaserede løsninger er at undersøge, om det samtidig er muligt at skabe nogle løsninger, som kan skabe nogle andre værdier. Det kan f.eks. være rekreative områder, øget biodiversitet eller lavbundsprojekter, som kan bidrage positivt til CO₂-regnskabet.

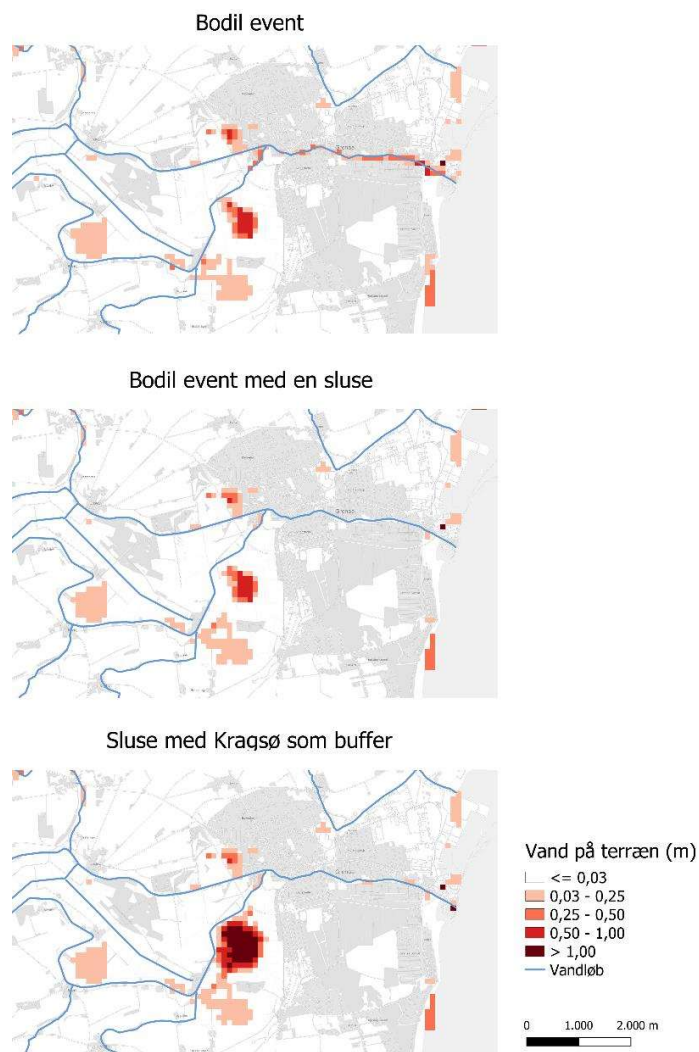
Når der tales naturbaserede løsninger, er det oplagt at kigge Kragssø og Kolindsund som magasiner for vand.

9.8 Sluseløsning med Kragssø som buffer

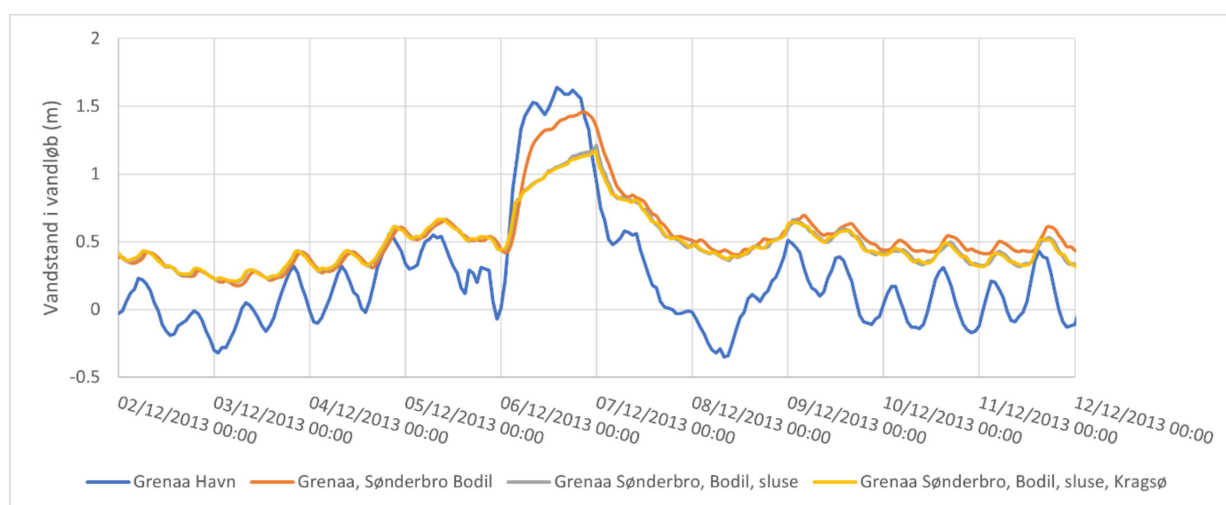
En af de naturbaserede løsninger, der er testet, er muligheden for at bruge Kragssø som buffer ved stormflodsevent. Modellen er konstrueret, så der er lavet en kanal, der forbinder Kragssø med Sydkanalen, for at lede vandet derved. Samtidig er der konstrueret en sluse ved Grenåens udløb, da dette vurderes at være uundgåeligt, for at beskytte mod stormflod. Slusen lukker i Grenå ved et havniveau på 1 meter, og har ikke nogen tilknyttet pumpe. Kragssø som løsning, er testet med en Bodil event, hvor Kragssø ikke er drænet på forhånd, og derfor står med det nuværende vandspejl.

Ideen med modellen var at teste, om Kragssø kunne mindske vandmængden der opstuvet på bagsiden af slusen, når denne lukkes for at undgå oversvømmelse. Resultatet viser, at afledningen af vand til Kragssø kun har en minimal virkning på vandstanden i Grenåen opstrøms for slusen (figur 9.9). Vandstanden ser således kun ud til at falde med få centimeter. Figur 9.9 viser vand på terræn ved en Bodil stormflod uden sluse, med sluse og med sluse og Kragssø som buffer. Som det kan ses, begrænser slusen oversvømmelsen langs med Grenåen, mens kombinationen med Kragssø har en minimal effekt.

Effekten af Kragssø som buffer, vil kunne være større, hvis man vælger at dræne Kragssø enten konstant eller op til et event. Det vil dog kræve en større pumpekapacitet. Samtidig kræver løsningen, at der etableres et tilløb fra Sydkanalen mod Kragssø, for at lede vandet derhen. Effekten af Kragssø som buffer er ikke nok til at undgå en pumpeløsning i forbindelse med slusen i Grenå.



Figur 9.8 Vand på terræn ved en stormflod af Bodil størrelse (1,6 m) uden sluse (a), med sluse (b) og med sluse og Kragssø som buffer (c).

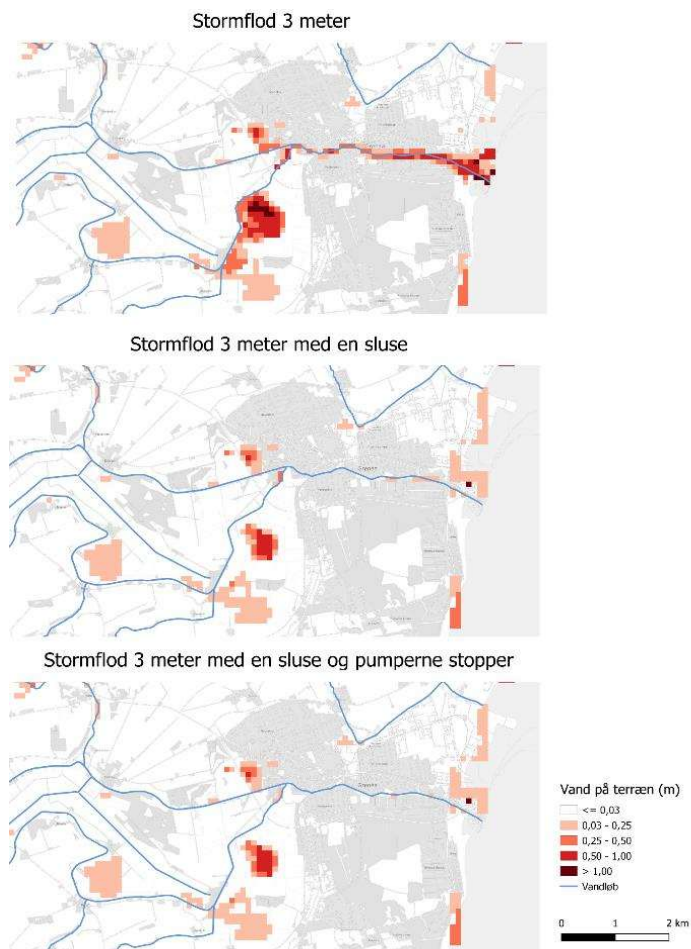


Figur 9.9 Vandstanden i Grenåen ved Sønderbro ved Bodil (orange), ved en Bodil hvor der er bygget en sluse (grå), og hvor sluseløsningen er kombineret med afledning af vand til Kragssø (gul). Forskellen mellem at have afledning af vand til Kragssø er kun få centimeter.

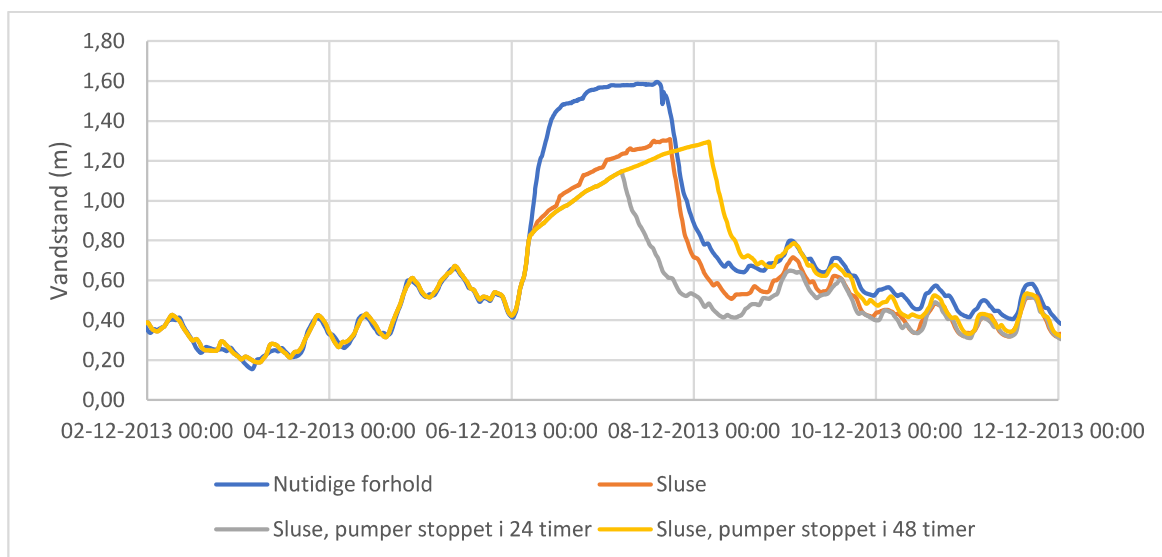
9.9 Sluseløsning kombineret med at pumperne ved Kolindsund slukkes

Det er ligeledes testet, hvad der sker, hvis der etableres en sluse med Grenåens udløb og Kolindsund bruges som buffer. Det betyder, at pumperne ved Kolindsund slukkes i tilfælde af en stormflod. Figur 9.10 viser tre modeller med en stormflod på 3 meter. Den øverste figur viser nutidige forhold, den midterste ved etablering af en sluse, og den nederste en sluse i kombination med at pumperne slukkes. Resultatet viser, at slusen forhindrer en stor del af oversvømmelsen langs Grenåen, hvor vandstanden falder fra ca. 1,3 m til 1,24 m ved Sønderbro (bagved slusen) ved det tilsvarende tidspunkt. Slukkes pumperne i Kolindsund mindskes den simulerede vandstand med omkring 6 cm (figur 9.11). Hvor effektivt det er at slukke pumperne afhænger midlertidigt af størrelsen på afstrømningen, og hvor længe slusen skal være lukket (figur 9.11). Under et stormflodsevent som Bodil stormen i 2013, ville vandstanden bagved en sluse være steget med 1,5 cm/time. Ved at slukke pumperne i Kolindsund samtidig med slusen lukkes, vil stigningen i vandstanden kunne reduceres til 1,3 cm/time.

Ved stormflod, kan der derfor tilbageholdes noget vand i Kolindsund, ved at stoppe pumperne midlertidigt. Dette kan f.eks. være relevant for at afværge ved meget kraftig stormflod, hvor der er brug for større kapacitet i oplandet, f.eks. udenfor vækstsæsonen, hvor markerne er mindre påvirkede af oversvømmelse. Selvom faldet i vandstanden er relativt lille, kan det have betydning for afledningen af vand fra byen, når kloakerne har svært ved at følge med.



Figur 9.10 Vand på terræn ved en stormflod på 3 meter (øverst), en stormflod på 3 meter med en sluseløsning (midterst) og en stormflod på 3 meter med en sluseløsning for pumperne i Kolindsund slukkes under stormfloden.



Figur 9.11 Vandstanden i Grenåen ved Sønderbro ved 3 meters stormflod nutidige forhold (blå), ved 3 meters stormflod hvor der er bygget en sluse (orange), ved en 3 meters stormflod med en sluse hvor pumperne er stoppet i 24 timer (grå) og 48 timer (gul).

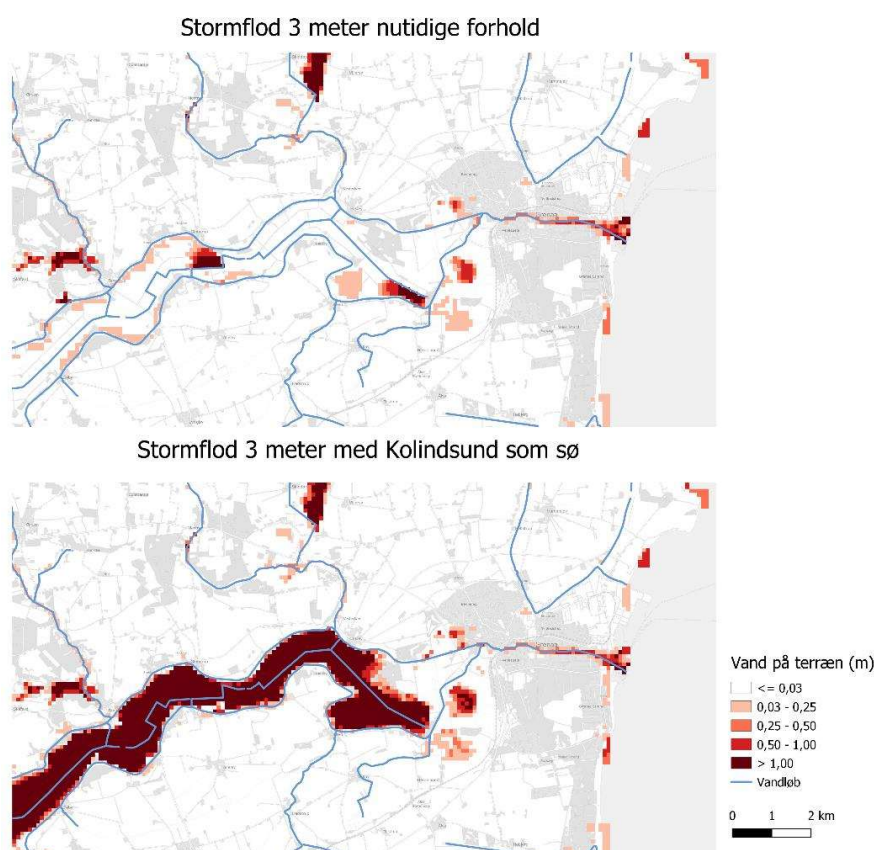
9.10 Kolindsund som sø uden sluse

Som en del af projektet er det blevet undersøgt, om genetableringen af Kolindsund som sø, kan fungere som en buffer for oversvømmelse af oplandet og Grenå by.

Modellen er opbygget ved, at Nord- og Sydkanalen er fjernet, og Ryom Å er i stedet tilkoblet til Midterkanalen. Digerne findes stadig, og fungerer som afgræsning af søens udbredelse. Pumperne er slukket for at oversvømme området.

Modellen med Kolindsund som sø er testet med flere forskellige ekstremhændelser (svarene til de samme som tidligere).

- Stormfloden Bodil
- En kote 3 stormflod
- Nedbørsevent nutid (63 mm/dag)
- Nedbørsevent fremtid (194 mm/dag)
- Nedbørsevnet fremtid (194 mm/dag) + kote 3 stormflod

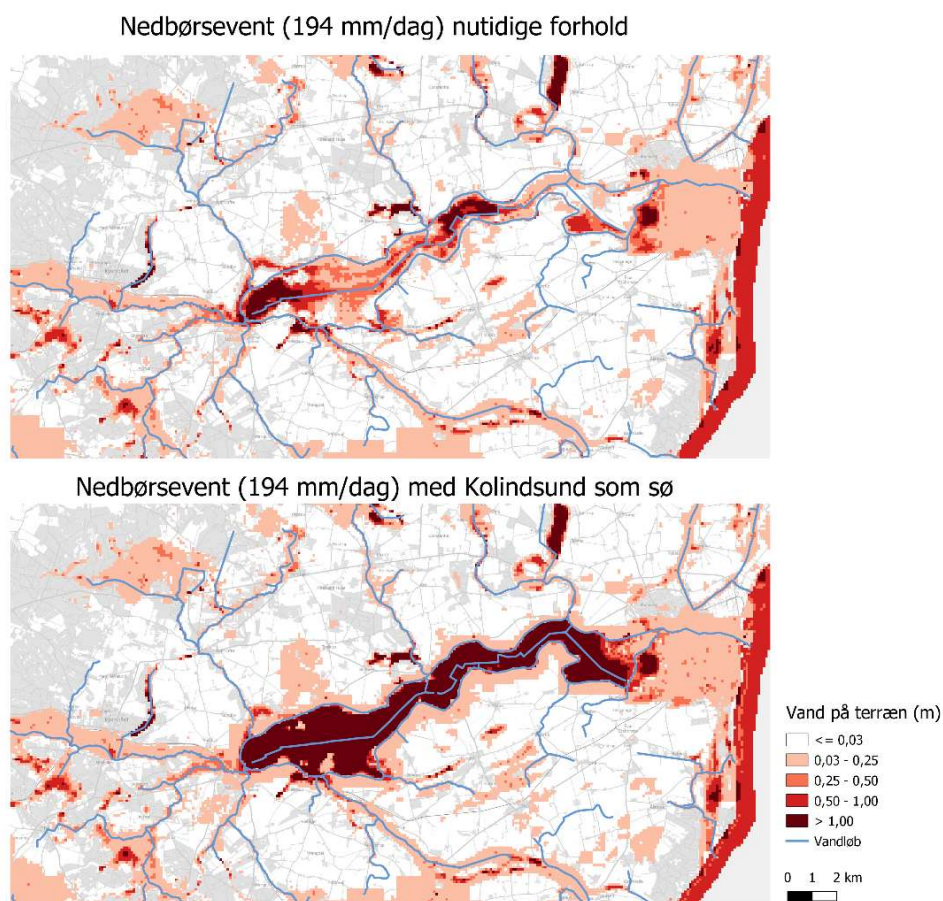


Figur 9.12 Vand på terræn ved en kote 3 stormflod med og uden Kolindsund genetableret som sø. Resultatet viser, at der forsat vil være store oversvømmelser i Grenå by.

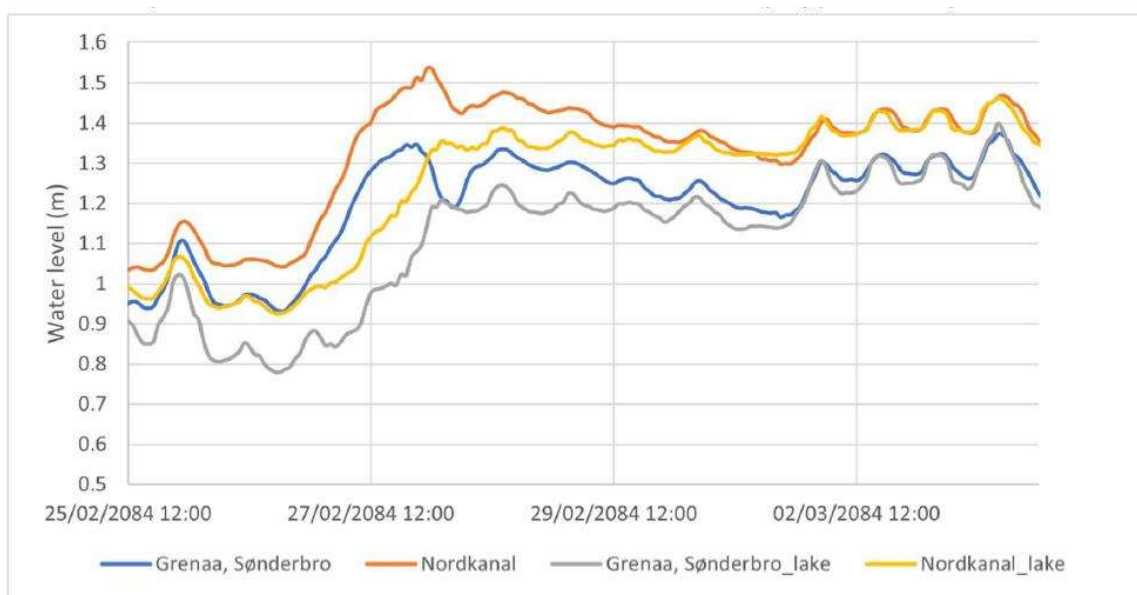
Resultatet af modellen viser, at Kolindsund som sø vil have en begrænset effekt på klimasikringen af Grenåens opland. Ved en stormflod vil Grenå by stadig blive oversvømmet (figur 9.12). Dette skyldes, at oversvømmelse langs Grenåen hovedsageligt skyldes det indtrængende vand fra havet, og ikke vandpresset fra åen. Samtidig er der dele af Grenå havn, som oversvømmes direkte fra havet og ikke selve systemet. Søen vil dog kunne mindske mængden af vand, som trænger helt op til Kolind. For at beskytte Grenå by, vil det derfor være nødvendig med en sluse/pumpe løsning i kombination med højvandsikring.

Ved en kraftig nedbørshændelse (194 mm/dag) ses der en minimering i mængden af vand på terræn, ved etableringen af Kolindsund som sø. Det drejer sig om oplandet vest for Kolindsund omkring Ryom Å, samt omkring Veggerslev Å (figur 9.13).

Ser man på afstrømningen af vand gennem Grenåen under det kraftige nedbørsevent med og uden sø vil søen skabe en forsinkelse i afstrømningen (figur 9.14). Figur 9.14 viser, at det tager længere tid før vandstanden inde i Grenå By stiger ved etableringen af søen, og at vandstanden ikke bliver lige så høj.



Figur 9.13 Vand på terræn ved et nedbørsevent på 194 mm/dag ved nutidige forhold (øverst) og med Kolindsund genetableret som sø (nederst). Enkelte områder kan opleve mindre oversvømmelse.

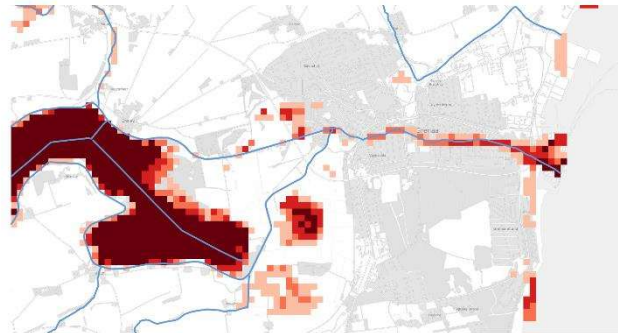


Figur 9.14 Vandstand i Grenå ved Sønderbro og i Nordkanalen ved et nedbørsevent på 194 mm/dag i fremtiden med og uden Kolindsund som sø.

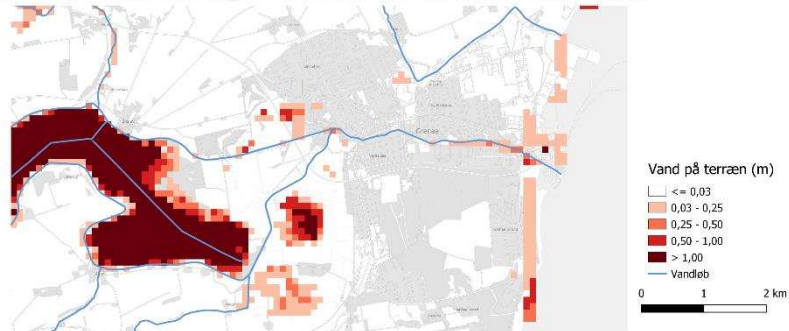
9.11 Kolindsund som sø med sluse

Etableres Kolindsund som sø i kombination med en sluse kan det mindske oversvømmelsen langs med Grenåen (figur 9.15). Den primære årsag er dog effekten af slusen. Figur 9.15 viser, hvordan Kolindsund som sø uden en sluse kan mindske vandstanden i Grenå ved Sønderbro, men at en sluse alene uden en sø er mere effektiv. Efter noget tid vil vandstanden bag ved slusen stige, dog er der i denne modellering ikke inddraget en pumpe ved slusen. Ved at etablerer søen, skal man være mere opmærksom på, hvornår slusen lukkes, da det ved stormflod vil være nødvendigt at lukke slusen tidligere. Det skyldes, at søen fungerer som en prop, hvor vandet har svært ved at komme videre. Lukkes der for meget vand ind i å-systemet, har det svært ved at komme væk, og vil blive fanget mellem søen og havet, når vandstanden stiger eller slusen lukkes (figur 9.16). Lukkes slusen derfor for sent, kan det skabe mere oversvømmelse mellem søen og slusen. Samtidig skal man være opmærksom på påvirkningen af det stigende grundvand.

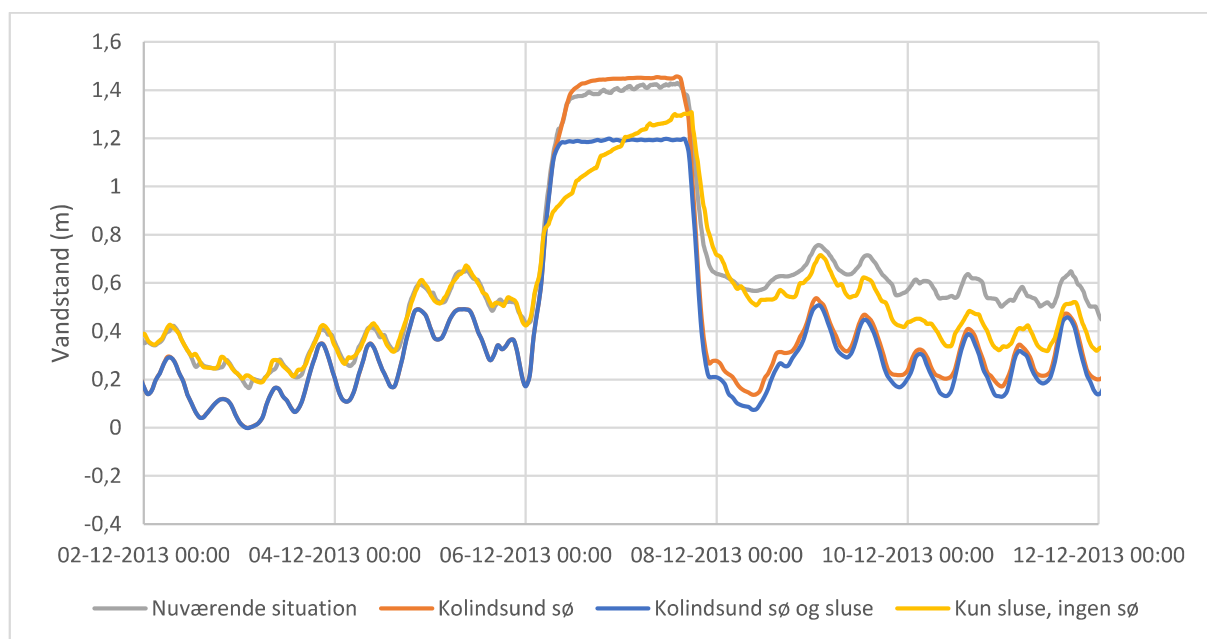
Stormflod 3 meter ved brug af Kolindsund som et reservoir uden en sluse



Stormflod 3 meter ved brug af Kolindsund som et reservoir med en sluse



Figur 9.15 Stormflod i 3 meter ved brug af Kolindsund som sø uden en sluse (øverst) og med en sluse (nederst).



Figur 9.16 Vandstand i Grenå ved Sønderbro ved den nuværende situation (grå), Kolindsund som sø (orange), Kolindsund som sø med en sluse (blå) og kun en sluse uden en sø (gul).

9.12 Er Kolindsund som sø en klimatilpasningsløsning?

Resultaterne af den hydrologiske model viser, at genetablering af Kolindsund som sø ikke kan beskytte Grenå mod stormflod, men den vil have en effekt i Grenå i forhold til at minimere oversvømmelser, og den kan også bruges til at drosle vandføringen ned, men effekten er mindre end det antages i det offentlige rum, og vurderes ikke at være så stor, at omkostningerne til etablering af søen kan berettiges alene ud fra klimatilpasning. Det skyldes bl.a., at som det fremgår af afsnit 8, at der vurderes at være en stor forsinkelse i oplandet til Grenå, hvilket bl.a. resulterer i, at selv meget kraftige regnhændelser bortset fra lokale skybrud ikke vurderes at være et stort problem i Grenåens opland. Det skal dog anføres, at bliver middelvandstanden i Kattegat højere end antages får Kolindsund en øget effekt i klimatilpasning, da søen jo kan udjævne afstrømningen yderligere, og ved en høj middelvandstand i Kattegat kan Grenåen føre mindre vand end antaget.

Den primære udfordring i byerne ved nedbørseventene i oplandet er regnhændelser med stor intensitet (skybrud). De kan bl.a. medføre, at kloakkerne ikke kan håndtere regnen, lokale oversvømmelser, erosion på marker, langs veje mv. og disse gener vil en genetableret sø ikke afhjælpe.

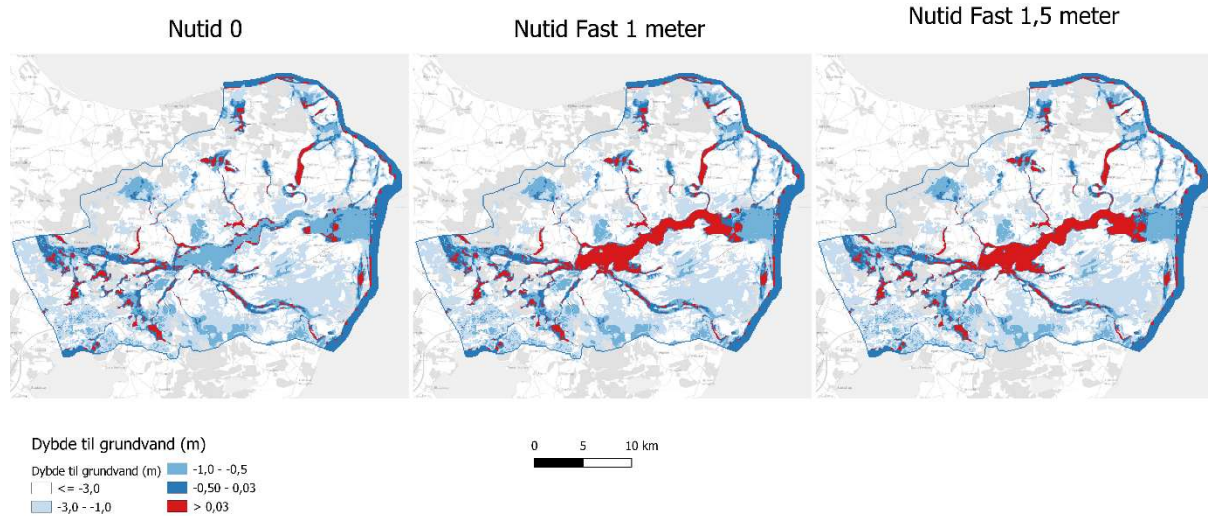
Der vil dog være andre effekter af Kolindsund, som sammen med klimatilpasningsdelen kan berettige investeringen i af genskabe Kolindsund som sø. Søen vil kunne have en landskabelig værdi, der vil kunne være positiv for rekreative-, bosætningsmæssige og turistmæssige formål, og dermed en økonomisk og erhvervsmæssig betydning for området. Mulige rekreative aktiviteter kan være, sejlads, fiskeri, fugle kiggeri, gå og cykelture. Samtidig forventes der at ske en reduktion i tilførslen af næringsstoffer til Kattegat fra oplandet. Men der vil skulle være et øget fokus på mængden af tilført fosfor. Derudover vil søen betyde en mindre CO₂ udledning, da pumpedrift og landbrugsproduktion ophører.

Omvendt er der også konsekvenser ved at genoprette Kolindsund som sø. Bl.a. vurderes jorden i Kolindsund at være meget produktiv, derudover vil produktionen i Kolindsund ikke blive påvirket af tørke, da de altid bare kan justere på pumpeaktiviteten. Da vi jo i Danmark har planlagt for 1,4 gange vores areal, og da vi samtidig får nogle af de bedste produktionsbetingelser for afgrøder, skal det vurderes, om Kolindsund ud fra et samfundsmæssigt synspunkt er så vigtigt som produktionsjord, at pumpelaget skal opretholdes. Derudover forventes etablering af sundet at indvirke på ørredbestanden i systemet, og der går noget kulturhistorie tabt. Endelig skal det undersøges, hvordan søens økologiske tilstand vil blive. Etablering af søen kan bl.a. aflede øgede investeringer i separatkloakering af oplandet. Alle disse vurderinger ligger udenfor dette projekt, og der går ikke dybere ind i dette.

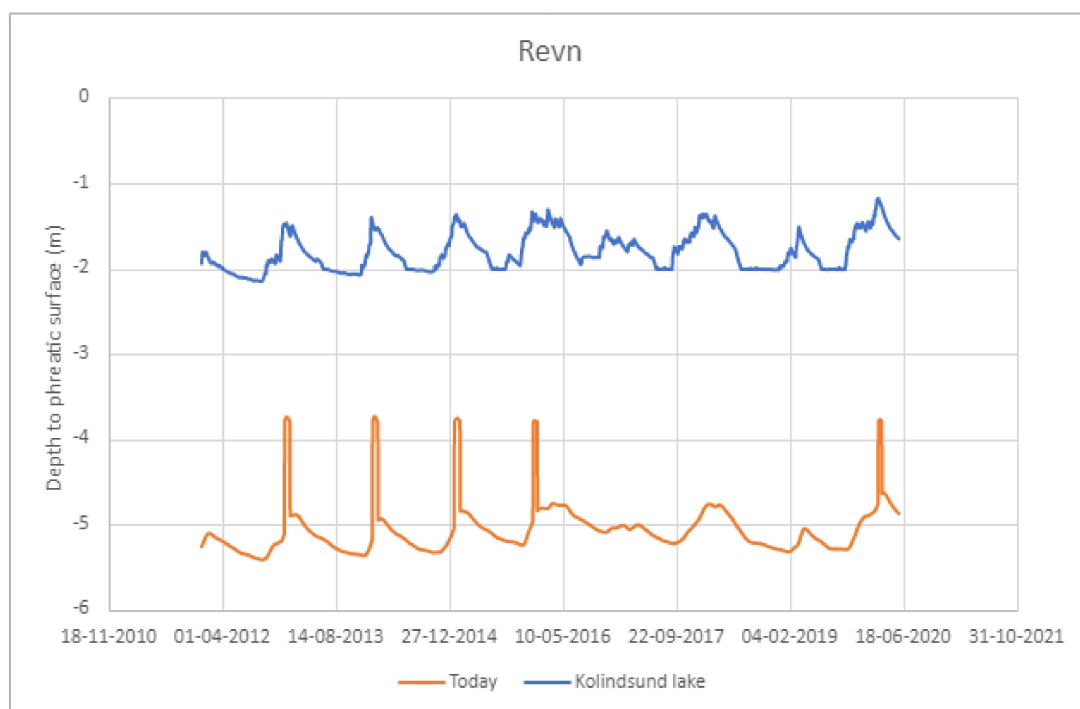
Det er undersøgt, hvordan genetablering af Kolindsund vil ændre oplandets hydrologiske kredsløb, fra det den er i dag. I dag drænes vandet væk i ned til kote -5 m via pumper. Stoppes pumperne så sundet genetaberes vil det påvirke den omkring liggende grundvandsstand. Figur 9.17 viser dybden til grundvand for oplandet i nutiden, og hvis søen etableres med en fast vandstand på henholdsvis 1 og 1,5 meter. Figur 9.19 viser ændringen i grundvandsspejlet fra i dag og hvis sundet etableres med en fast vandstand på 1 og 1,5 meter. Området der dækker Kolindsund er markeret med en rød omkreds. Figuren viser, at der vil komme en høj stigning på op til flere meter i grundvandet tæt på søen (dette er vist i figur 9.19) specielt mod øst og grundvandsstanden vil blive påvirket op til 5 km eller mere fra søen. Konkret betyder det, at byerne der ligger omkring sundet i dag, vil opleve et stigende grundvand, hvilket i nogle områder kan skabe problemer især i kombination med den øgede nedbør.

Fast vandstand i Kolindsund

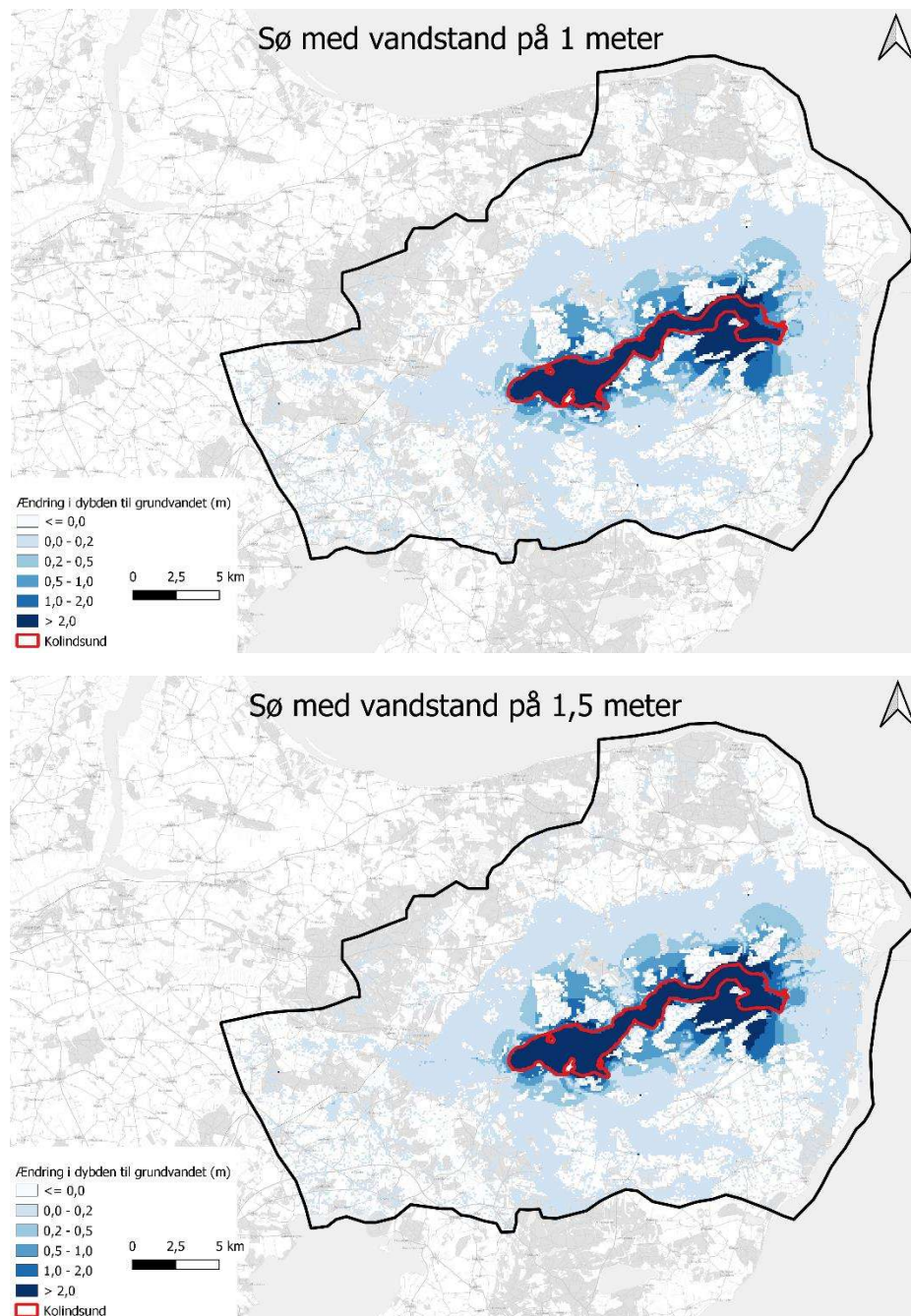
Dybde til grundvand



Figur 9.17 Dybde til grundvandsspejlet i Grenåens opland ved den nuværende situation, en sø med en vandstand på 1 m og en sø med en vandstand på 1,5 m. Alle scenarier er beregnet med nutidens klima.



Figur 9.18 Ændring i Grundvandsstand ved Revs, hvis sundet etableres.



Figur 9.19 Ændring i grundvandsspejlet ved etablering af en sø med en vandstand på 1 m (øverst) og 1,5 m (nederst). Grundvandsstanden vil blive påvirket over 5 km fra søen.

9.13 Lavbundsjorder

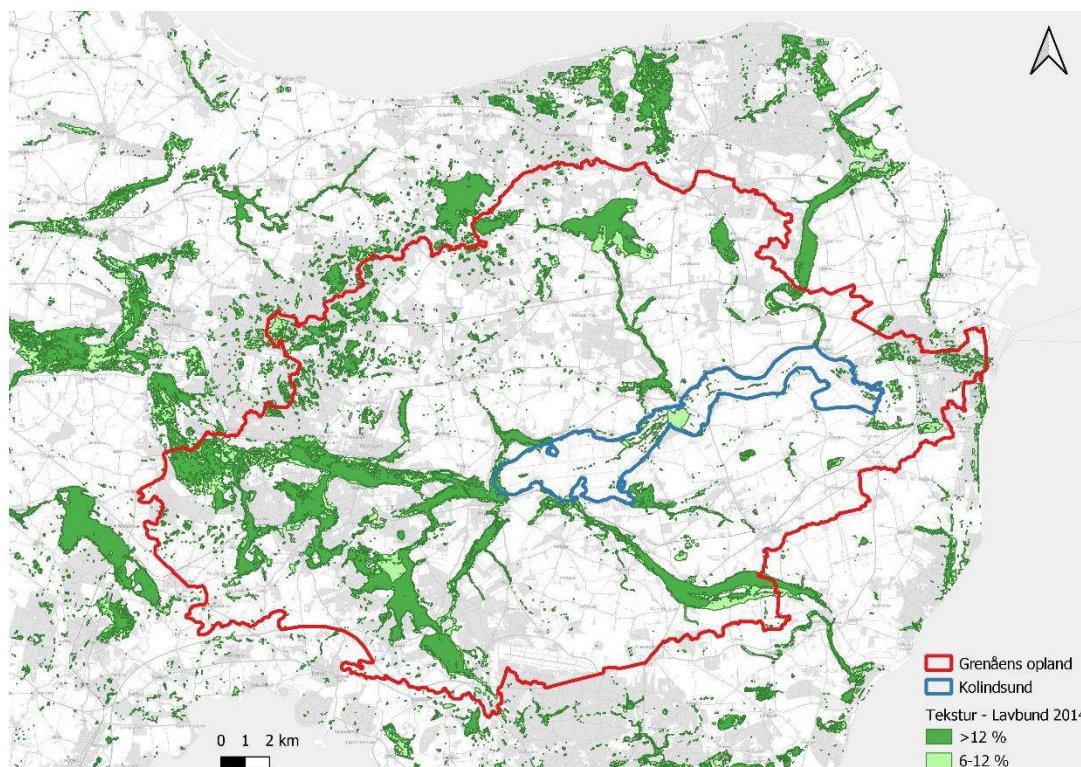
En yderligere måde at forsinke vandet i oplandet på er at stoppe dræning af lavbundsjorder. En del af lavbundsjorderne i oplandet bliver dog i forvejen oversvømmet ved meget store regnhændelser, som her ved Kolind.



Figur 9.20 Oversvømmelse ved Kolind. Fotograferet fra Sivestedvej

Men stoppes dræningen af lavbundsarealer vil de holde længere tid på vandet, større arealer vil bidrage ved forsinkelse, og faktisk vil de have en positiv effekt på vandbalancen i perioder med tørke. Derudover vil stopning af dræning på lavbundsarealer bidrage til at mindske udledningen af CO₂. Når grundvandsstanden på lavbundsjorden hæves, kan der ikke trænge ilt ned i jordlagene, og derved bremses eller helt ophører nedbrydningen af det organiske materiale i jorden. Stoppe dræning af lavbundsjorder er et meget vigtigt virkemiddel for at nå reduktionsmålet i CO₂ udledning fra det åbne land. Staten finansierer derfor projektet, der stopper dræningen af lavbundsarealer. Et af kriterierne for at få finansieret projekterne er, at de udføres på arealer med et kulstofindhold på mindst 6% i jorden. Staten har derfor klassificeret kulstofindholdet i lavbundsjorder i 3 intervaller mindre end 6 %, mellem 6-12 % og større end 12 % organisk kulstof. Det er de 2 sidste kategorier, som staten finansierer projekter på.

I Grenåens opland (466 km²) er der ca. 65 km² lavbundsjord, der kan opnå finansiering fra staten. Arealernes placering fremgår af figur 9.21. De kulstofrige lavbundslande findes ofte i lavningerne i landskabet, da det er tidligere oversvømmelse områder, hvor de iltfattige forhold har begrænset nedbrydningen af den organiske materiale (planter og dyr). Der er i stedet blevet dannet kulstofrig tørv. Da man senere har haft brug for at finde flere områder til dyrkning af afgrøder, har man drænet disse jorde, hvorefter jorden er blevet iltet, hvilket har øget nedbrydningen af det organiske materiale og dermed frigivelse af CO₂.



Figur 9.21 Lavbundslande i Grenåens opland. Fordelt på jorde med 6-12 % kulstof og jorde med over 12 % kulstof. Kilde - Tekstur2014 udarbejdet af staten.

Emissionsraten af CO₂ fra lavbundsarealer er afhængig af mange forhold, som dybde til grundvand, hvordan arealerne drives, kemiske og fysiske forhold mv. Der er dog nogle generelle emissionsfaktorer for organiske jorder, som er anvendt i den nationale opgørelse. De er angivet i tabel 9.3.

De 65 km² lavbundsland fordeler sig med ca. 29 km² med kulstofindhold 6-12 % (heraf er ca. 21,5 km² omdriftsarealer), og ca. 36 km² med kulstofindhold >12 % (heraf er ca. 32,5 km² omdriftsarealer). Med udgangspunkt i tallene fra tabel 9.3 og arealopgørelse er der potentielt mulighed for at reducere udledning af CO₂ udledning fra lavbundsarealer i Grenåens opland med ca. 55.000 t, hvis dræningen af alle arealerne stoppes.

Tabel 9.3 Generelle emissionsfaktorer for organiske jorder anvendt i den nationale opgørelse, ton C per ha per år (Kilde: Bestemmelse af drivhusgasemissionen fra lavbundsarealer, Århus Universitet).

Landbrugsarealer og græs i omdrift		Vedvarende græs		Naturarealer	
		C, ton per år	CH ₄ , kg per år	C, ton per år	CH ₄ , kg per år
Danske data > 12 % OC	11,5 (SE = ±2,0)	8,4 (SE = ±1,0)	16	3,5	39
Danske data 6-12 % OC	5,75	4,2	8	1,75	19,5
IPCC 2014a, Boreal og Temperate, > 12 % OC	7,9 (CI = 6,5-9,4)	3,8-6,1 (CI = 5,0-7,3)	16	Dårligt drænet græs 3,6 (CI = 1,8-5,4)	39

Ud over den betydelige reduktion i CO₂ udledningen og den forsinkende effekt på afstrømningen bidrager naturlig hydrologi på lavbundsarealerne også til en reduktion i kvælstofudledningen fra omkringliggende landbrugsarealer, og de minimerer transport af sediment. Det forventes, at de mere intense regnhændelser vil give øget erosion på specielt marker, og her er Djursland udsat, med de store ændringer i topografien og ofte relativt stejle skråninger ned til ådalene. Erosionsmaterialet vil fanges i lavbundsområdet, hvis grøfter og dræn er stoppet. Det vil minimere påvirkning af recipienten med fosfor fra sedimentet, omvendt vil vådlægning af arealerne ændrer redoxforholdene, hvilket kan medføre en frigivelse af fosfor fra jorden. Disse forhold kortlægges og belyses inden det besluttet om et projekt kan opnå finansiering.

Endelig skaber vådlægning af arealerne også en øget biodiversitet fordi dyrkning opgives.

Både Nord- og Syddjurs Kommune er opmærksomme på potentialet i lavbundsprojekter, og i begge kommuner arbejdes der med lavbundsprojekter. Det anbefales, at dette arbejde intensiveres, der er dog nogle udfordringer, som der skal afklares jf. afsnit 10 om Mårup Å, Frelling og Bugtrup Bæk lavbundsprojektet, der blev opgivet.

Pt. undersøger staten mulighederne for et lavbundsprojekt i Ryom Å dal.

9.14 Hovedpointer ved naturbaserede løsninger

- Kragssø som buffer vil kun have minimal betydning for opstuvningen af vand bag ved en lukket sluse, og dermed klimasikringen af Grenå by.
- At genetablere Kolindsund som sø vil have en begrænset klimatilpasningseffekt. Ifølge modellen vil søen ikke kunne beskytte Grenåen by fra oversvømmelse ved stormflod. Dette skyldes, at oversvømmelse langs Grenåen hovedsageligt skyldes det indtrængende vand fra havet, og ikke vandpresset fra åen. Dog kan søen ved nedbørshændelser minimerer mængden af vand på terræn ved lavninger omkring Ryom Å og Veggerslev Å.
- Etableres der sluse og pumpe i Grenåens udløb i Kattegat kan etablering af Kolindsund udjævne afstrømning og pumpemængder til Kattegat, men det vurderes ikke, at omkostninger til etablering af Kolindsund kan berettiges ud fra klimatilpasning, men det vil være en god merværdi, hvis det besluttet at etablere sundet af andre årsager.
- Det anbefales at intensivere arbejdet med vådlægning af lavbundsarealer, da det er værdiskabende på flere parametre. Bl.a. er der potentiale til at reducere udledning af CO₂ med 55.000 tons, hvis alle lavbundsarealer i oplandet vådlægges.

10. Borgerinddragelse

Et af hovedpunkterne i projekt er kommunikation og borgerinddragelse. Både for at formidle den tekniske viden, der er opbygget gennem projektet, men også for at få borgernes input samt skabe ejerskab til projektet i lokalområderne.

10.1 Hjemmeside

Projektet har sin egen hjemmeside [Grenaaensopland](https://www.grenaaensopland.dk/), hvor det har været muligt at følge projektets udvikling. Hjemmesiden indeholder projektbeskrivelse, rapporter, data og målinger samt nyhedsbreve. Samtidig har det via hjemmesiden været muligt at indsende billeder af oversvømmelse i oplandet, ideer eller holdninger til løsningsforslag.

10.2 Styregruppemøder, følgegruppemøder og Workshop

I forbindelse med projektet har der været en styregruppe, som løbende har holdt møder om projektets udvikling. Styregruppen har bestået af de to projektledere og teknisk direktør fra hver kommune, samt politikere fra de to kommuners teknik/miljøudvalg.

Derudover er der nedsat en følgegruppe, som der er afholdt flere forskellige møder og workshops med. Følgegruppen bestod af interessenter fra blandt andet AquaDjurs A/S, Syddjurs Spildevand, Danmarks Sportsfiskerforening, Dansk Ornitologisk forening, Destination Djursland, Djursland Landbrugsforening, Danmarks Naturfredningsforening, Kolindsunds Venner, LAG Djursland, Museum Østjylland, Pumpelaget Kolindsund, Region Midt, Ryom Ålaug, GEUS og relevante fagpersoner og politikere fra Nord – og Syddjurs Kommune.

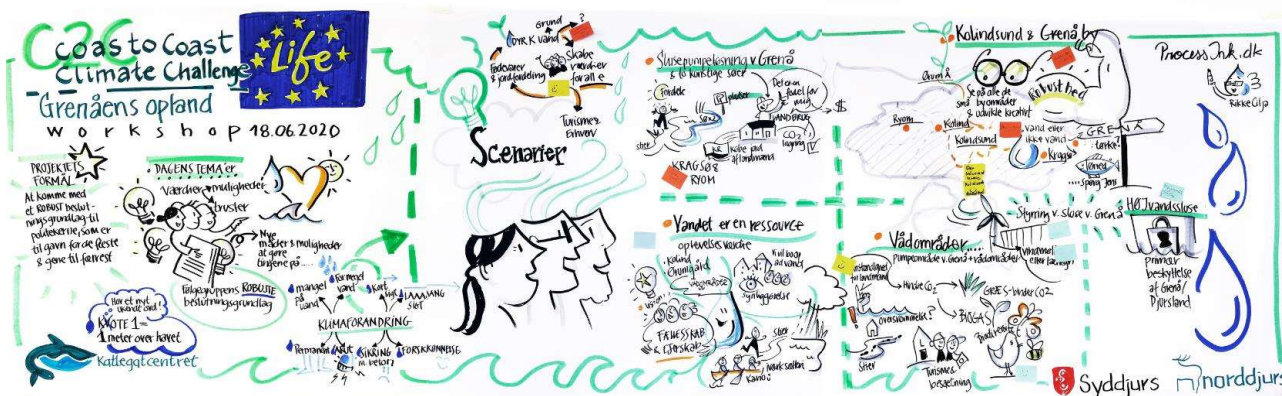
Formålet med følgegruppen og de gennemførte workshops var at udbrede viden om projektet, baggrunden for modelberegningerne, samt inddragelse af interessenterne ideer og synspunkter, men også at have en tættere dialog med en udvalgt skare, som kan udbrede kendskabet til projektet i deres bagland, og skabe en dialog og input til projektet i lokalområdet. Der har været afholdt 5 følgegruppemøder igennem projektperioden. Nedenstående er et af outputtene fra mødet sommeren 2020. Deltagerne kom på mødet med flere input til emner og ideer så som "Vandet er en ressource"... "Tørre somre er også en klimaforandring – så måske skal vi være bedre til at holde på vandet, når det regner"... "Kan vi dyrke vand?". Emner og idéer blev samlet i en stor planche med tegninger og ord.

Link til projekthjemmeside:
<https://www.grenaaensopland.dk/>

Link til projektets Facebook side:
<https://www.facebook.com/Grenaaens.opland>

Link til information om Følgegruppemøder:
<https://www.grenaaensopland.dk/arrangementer/foelgegruppemoeder>

Link til referater fra Styregruppemøder:
<https://www.grenaaensopland.dk/materiale/styregruppemoeder>

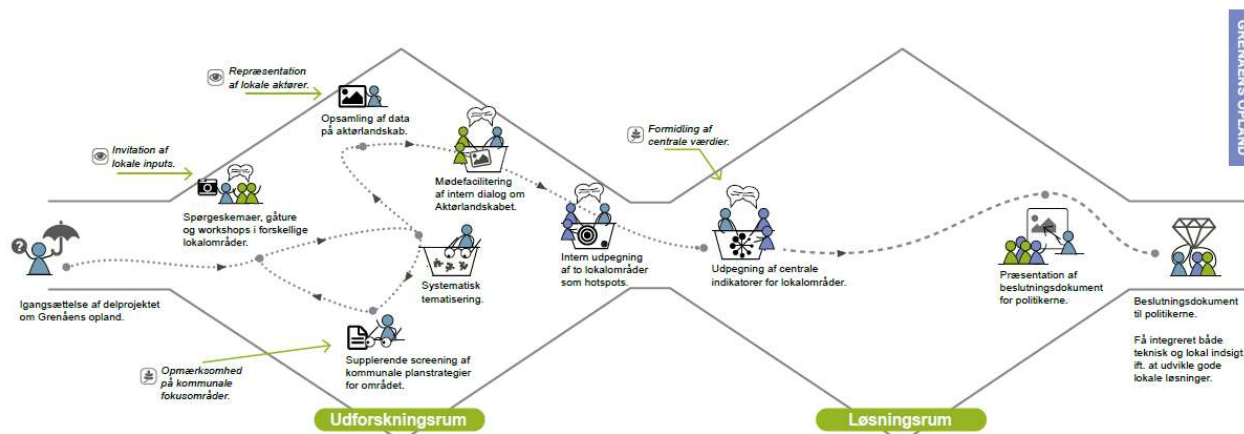


Figur 10.1 Grafisk referat fra workshop d. 18. juni 2020, hvor der blev arbejdet med interesser og værdier i hele oplandet. Vi arbejder på at forme noget visuelt til jer i et lignende format, som skaber overblik i projektet i forhold til de værdier og de folk, som oplandet omfatter og repræsenterer.

10.3 Proces

Projektet vægter, at der på den ene side arbejdes teknisk med viden om vandet via den udviklede hydrauliske model for vandbalancen, og samtidig inddrages lokalsamfundet og øvrige aktører med deres input/viden og for at skabe ejerskab til projektet.

Nedenstående er processen for projektet illustreret, og nogle af delprocesserne er efterfølgende beskrevet. Som det fremgår af illustrationen er borgerinddragelse en central og vigtig del af projektet.

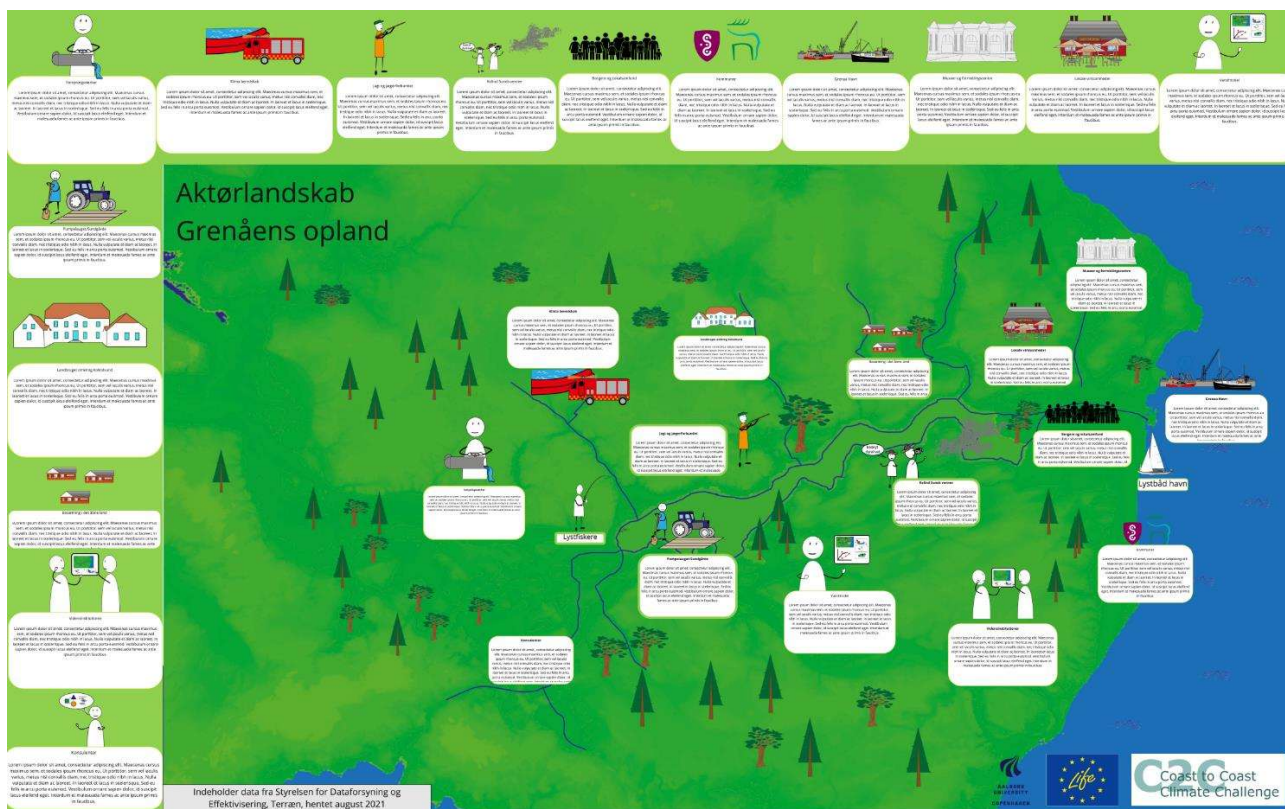


Figur 10.2 Illustration over indsatsområderne i delprojektet om Grenåen opland.

I udforskningsrummet forsøger projektmedarbejderne at forstå problemer, interesser og værdier bedre og der fastlægges nogle fokuspunkter. I udforskningsdelen kortlægges aktørerne, der indsamles viden fra bl.a. eksisterende planer mv, spørgeskemaer, gåture i lokalområdet, workshop osv, der kigges på muligheder. I løsningsrummet defineres løsninger, der snakkes visioner og værdiskabelse mv.

10.4 Aktørkortlægning

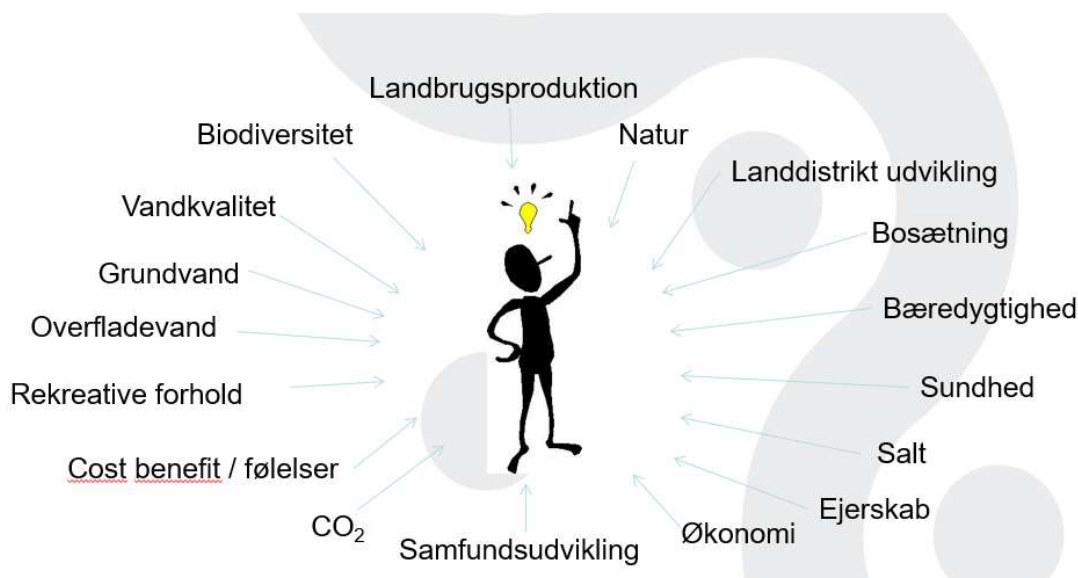
Projektområdet er præget af mange forskellige lokalsamfund, hvor det har været vigtigt at kortlægge og skabe overblik over aktørerne og deres værdier. Dette arbejde er foretaget i samarbejde med Institut for Planlægning, Aalborg Universitet. I nedenstående kort er nogle af de væsentligste aktører visualiseret på kort.



Figur 10.3 Kategorisering af forskellige aktører og forklaring af deres kendetegn

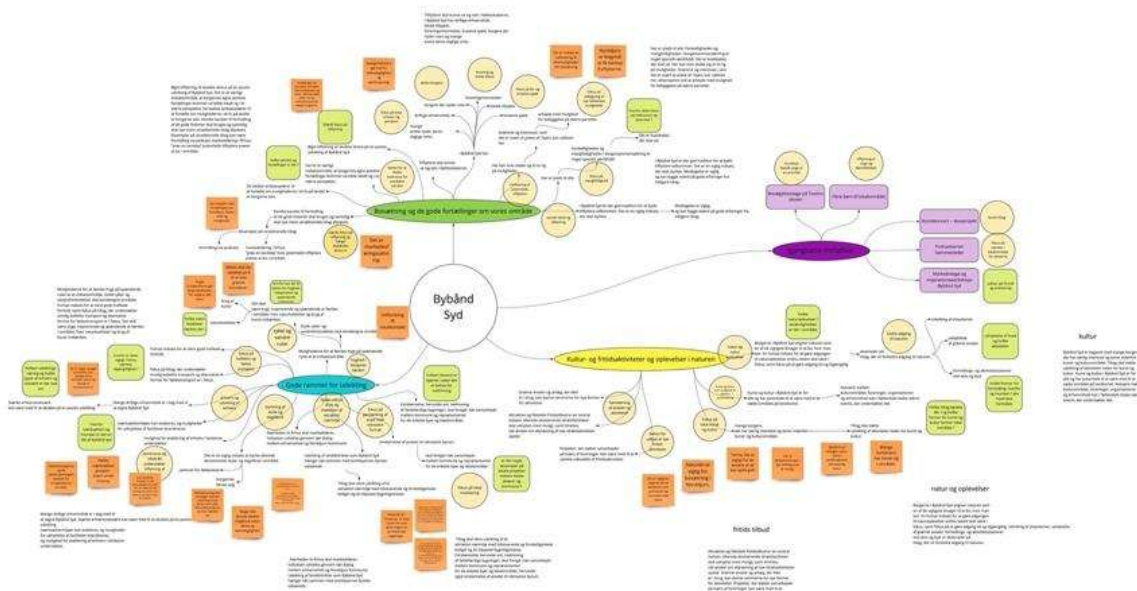
Et væsentligt moment med aktørkortlægningen var at sikre inddragelse af relevante aktører og lokale aktører og få koblet det tekniske projekt med lokaludvikling. Der har været fokus på både at have en dialog, der handler om meget specifikke problemområder, men også en dialog der i højere grad orienterer sig ift. bredere gevinster. Det er vigtigt, at vi folder klimatilpasning ud, så det tænkes som en investering i fremtidens samfund og ikke bare som en omkostning i pumper, diger og beton. Klimaændringerne er en ny dimensionsgivende parameter, som kan betyde, vi skal gøre tingene anderledes, end vi er vant til.

Når vi samtidig også fremadrettet ønsker et bæredygtigt åbnet land, som skal favne landbrugsproduktion, forpligtigelser indenfor CO₂, bæredygtighed, biodiversitet, direktiver, sundhed, give plads til energianlæg, skove, rekreative faciliteter osv., som anført i nedenstående figur, skal vi tænke intelligent og multifunktionelt i vores arealanvendelse, så vi træffer beslutninger ud fra en helhedsbetragtning, hvor der gerne skal være værdiskabelse på flest mulige parametre.



Figur 10.4 Nogle af nøgleordene i den værdiskabende dialog.

Som opfølgning på dette blev der i Norddjurs Kommune udvalgt to lokalområde Ørum-Skærvad og Bybånd Syd – som ligger Syd for Grenå og bl.a. indeholder landsbyerne Homå, Trustrup mf. I disse to områder blev der udarbejdet en kortlægning af, hvilke værditemaer der var relevant for disse lokalsamfund. Der er gjort via udarbejdet lokaludviklingsplan, øvrige dataindsamling og samtaler med centrale aktører i området. Nedenstående figur viser de opsamlende resultater, og udpeger nogle forskellige overordnede temaer af særlig betydning for lokalområdet. Nedenstående er resultaterne vist for Bybånd Syd



Figur 10.5 viser det opsamlende resultat af en Screening af en lokal udviklingsplan for Bybånd-Syd. Den udpeger nogle forskellige overordnede temaer af særlig betydning for dette lokalområde

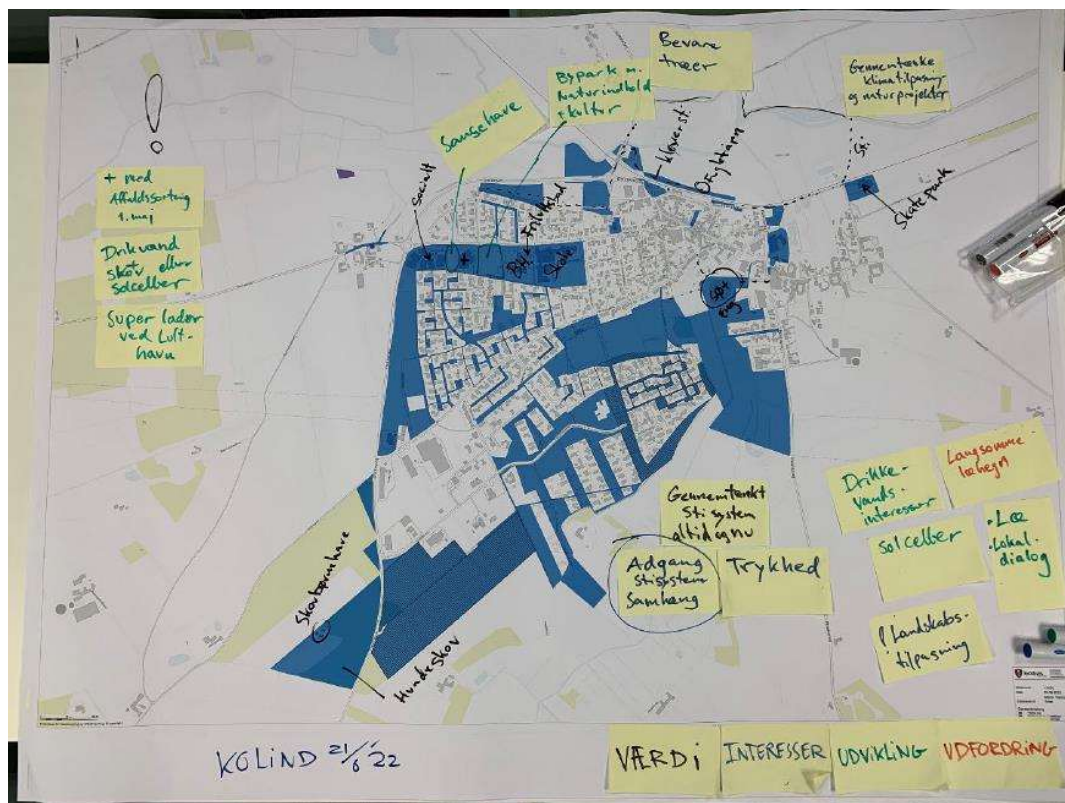
I forbindelse med arbejdet udarbejdede universitetet en Værdidiamant, som er en systematisk tematisering, der fremhæver og formidler de mest centrale værdier for lokalområdet på en simpel oversigt. Værdidiamanten giver en ensartet måde at repræsentere forskellige lokalsamfunds værdier.



Figur 10.6 Værdidiamanter for Bybånd-Syd. De mest centrale værdier for de to områder er markeret med cirkler.

Der pågår pt. en dialog med lokalsamfundet om deres lokale udvikling, som tager afsæt i værdidiamanten, men også bl.a. vandhåndtering afledt af resultaterne fra modellen.

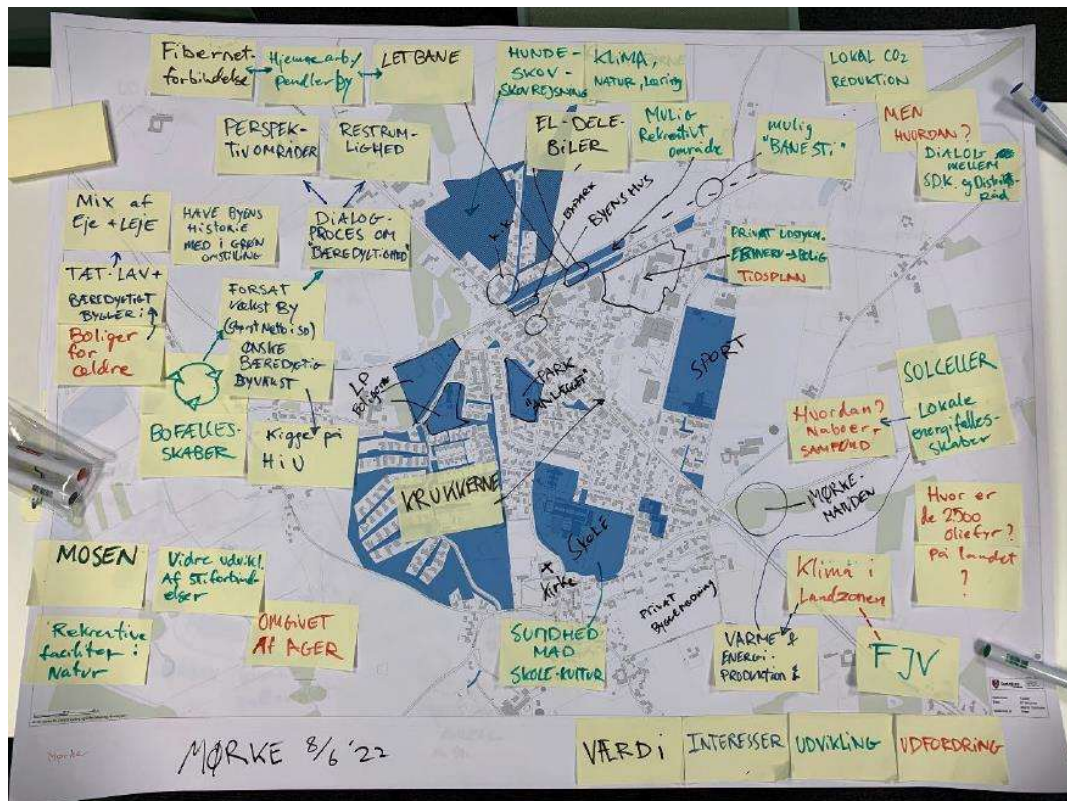
I Syddjurs Kommune er lokalsamfundene repræsenteret via distriktsråd. Kommunen har de sidste par år arbejdet med klimahandlingsplan, så der blev afholdt møder med de relevante distriktsråd, hvor temaet var klimadebatten, altså hvad er vigtigt for lokalsamfundet i forhold til fx skovrejsning, dele-Elbiler, vand- og klimatilpasningsprojekter, mere bynatur osv. Vedr klimatilpasning tog det selvfølgelig afsæt i viden fra den hydrauliske model. Indenfor Grenåens Opland, blev der holdt møder med distriktsrådene for Mørke, Nimtofte, Ryomgård og Kolind. Nedenstående er outputs fra møderne. Sammenfatning af møderne kan ses her [klimakaffe](#).



Figur 10.7 Visuelt output af møde med Kolind Distriktråd



Figur 10.8 Visuelt output af møde med Ryomgård Distriktråd

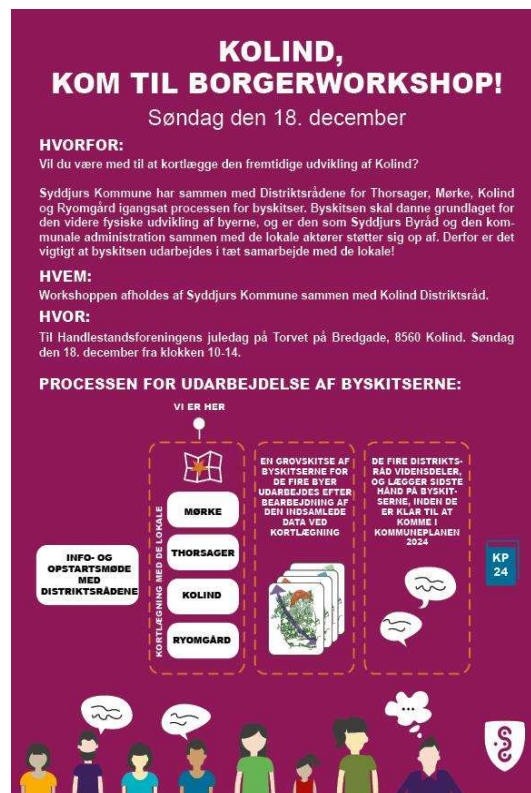


Figur 10.9 Visuelt output af møde med Mørke Distriktråd.



Figur 10.10 Visuelt output af møde med Nimtofte Distriktråd.

Bl.a. på baggrund af outputs fra møderne med distriktsrådene afholder Syddjurs Kommune borgermøder i de enkelte byer, hvor borgerne inviteres til at medvirke til at kortlægge den fremtidige udvikling af deres by. Nedenstående er invitationen til Mødet vedr. Kolind i december 2022.



Figur 10.11 Invitation til borgerne om udvikling af Kolind.

10.5 Arealanvendelse

I Danmark er der planlagt for knap 140% af Danmarks areal i 2050, og samtidig gør klimæændringer Danmark mindre. Desuden er vores buffersystemer overfor vand i vores infrastruktur opbrugt, så vi skal skabe mere plads til vandet. Samtidig ønsker vi også fremadrettet et bæredygtigt åbnet land, som skal favne landbrugsproduktion, forpligtigelser indenfor CO₂, bæredygtighed, biodiversitet, direktiver, give plads til energianlæg, skove, rekreative faciliteter osv.,

Mulighederne handler i høj grad om, hvordan vi bruger vores landskaber og arealer. Vi skal tænke intelligent, helhedsorienteret og multifunktionelt i vores arealanvendelse. En helheds- og multifunktionel tankegang, som understøtter de forskellige forpligtigelser samfundet efterspørger, skaber win-win for landbrug og samfund, skaber bæredygtig vækst og fremtidssikrer investeringerne i området, så der skabes robusthed, der er nødvendig for en grøn omstilling og klimatilpasning i det åbne land.

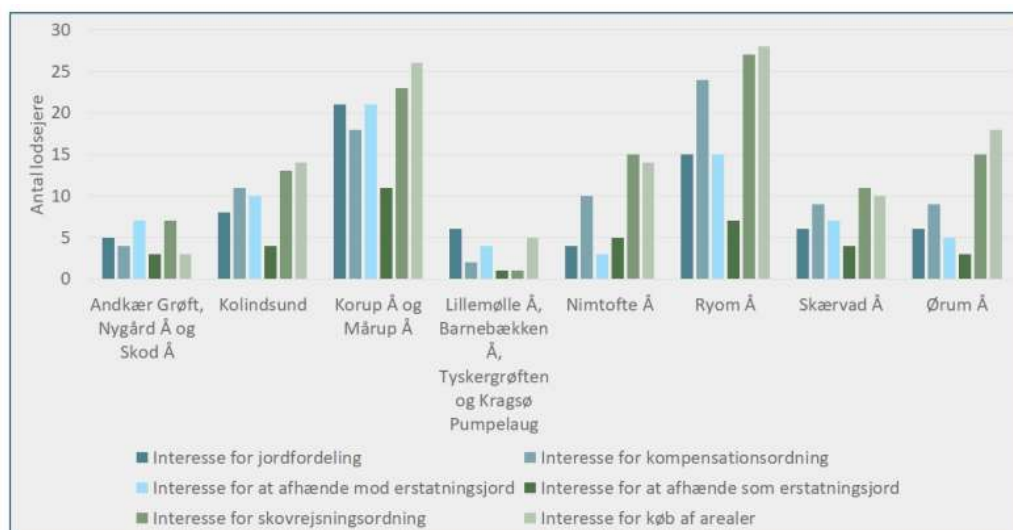
Danmark antages at blive det land i Europa, der ud fra forudsigelserne om klimæændringer får de bedste produktionsforhold af afgrøder, da vores produktionsarealerne trods udfordringerne påvirkes mindst af tørke. På sigt skal landbrugsarealet måske reduceres, hvis vi skal i mål med alle de ønsker, der er til det åbne land, men det betyder ikke nødvendigvis, at produktionen skal falde. Tværtimod kan de bedste landbrugsjorder muligvis producere bedre end i dag, hvis der skabes rammer for dette, så det stadig er bæredygtigt, og samtidig sikrer en robusthed i fremtidige investeringer i bl.a. landbruget.

10.6 Jordfordeling i oplandet

Derfor er det vigtigt, at lokalsamfundet og ikke mindst ejerne af jorden inddrages i drøftelserne om en intelligent arealanvendelse. Specielt i Grenåens Opland, hvor der ikke er langt fra by til land.

Der blev derfor udført en spørgeskemaundersøgelse blandt alle lodsejere (1.272 stk) i oplandet med arealer over 5 ha. 388 lodsejere svarede på spørgsmålene. Lodsejerne blev spurgt til, hvorvidt de generelt var interesseret i Multifunktionel jordfordeling, samt hvilken form for ordning de eventuelt ville være interesseret i (kompensation, afhænde mod erstatningsjord, salg af areal som erstatningsjord, skovrejsning og/eller køb af jord).

Undersøgelsen vurderer, at interessen for multifunktionel jordfordeling i høj grad er til stede. Det anbefales at fokusere på omlandene omkring Ryom Å, Korup Å og Mårup Å, da interessen her er særlig stor, samtidig med at der findes store områder med tørrejord langs med vandløbene. Undersøgelsen fandt samtidig, at det omkring Skærvad Å, kan være særlig interessant at kigge på muligheden for skovrejsning, da der ligger store grundvandsinteresser og at lodsejerne havde en udpræget interesse heri (Seges, 2020).



Figur 10.12 Antallet af lodsejere med interesse for de forskellige ordninger af jordfordeling i de respektive oplandsområder (Seges, 2020).

Afløst af resultaterne fra undersøgelsen, som indikerede en interesse for et projekt ved Mårup Å-systemet blev der igangsat en forundersøgelse af et kombineret lavbunds-, natur-, rekreativt- og klimatilpasningsprojekt i og omkring ådalen ved Mårup Å, Bugtrup og Frelling Bæk. Projektområdet (se figur 10.13) udgjorde ca. 200 ha.

Projektet gik ud på at genskabe naturlig hydrologi i ådalen. Ved at stoppe dræning af arealerne og genskabe vandløbets naturlige leje vil grundvandsstanden i området stige, hvilket vil stoppe mineralisering af jorden, og dermed reducere udledningen af CO₂, og samtidig binde mere CO₂ i jorden.

Derudover vil oversvømmelse af de vandløbsnære lavbundsarealer ved store vandføringer i vandløbet forsinke afstrømningen, og dermed minimere risikoen for oversvømmelser i Kolind By langs Mårup Å.

Endelig ville projektet inddrage dalfoden og skråningen for at sikre og forbedre betingelserne for den gode naturkvalitet, der stedvis er i området, og endelig ville projektet give mulighed for etablering af rekreative tiltag i området.



Figur 10.13 Projektområde.

Projektet havde ophæng i lavbundsordningen, da vådlægning af lavbundsarealer kan bidrage med en stor del af finansieringen, da det er et væsentligt virkemiddel for staten til at nå reduktionsmålet for CO₂ i det åbne land. Desværre blev projektet opgivet i 2022 grundet manglende lodsejer tilslutning.

Begrundelsen var uklarhed om kompensation på §3 arealer, samt den nye landbrugsreform 2023-2027, hvor nogle af lodsejerne ønskede at anvende lavbundsjorden til at opfylde 4 % brak (eller ikke-produktive arealer), og andre ønskede at anvende ekstensivering på lavbund, som giver samme kompensation som lavbundsprojektet, men vådlægger ikke arealet.

10.7 Museum Østjylland udstilling om Kolindsund

Fra juni 2022 og et år frem fremviser Museum Østjylland udstillingen "Kolindsund - Søen, der deler vandene" i deres afdeling i Grenå. Udstillingen fortæller om historien, landskabet og menneskerne i Kolindsund fra tørlæggelsen og frem til i dag.



Figur 10.14 Billeder fra udstillingen på Museum Østjylland.

Som et led i udstillingen deltager projektet om Grenåens opland, hvor der på kreativ vis vil blive fortalt om projektet. Der vil blive fremvist kort og film fra den hydrologiske model for at vise et udpluk af de resultater, som projektet er nået frem til. Projektets del af udstillingen vil gennem rekvisitter og billeder sætte fokus på, hvad fremtidens Kolindsund står overfor af udfordringer i forhold til vand.

10.8 Delkonklusion

Der er stor interesse for at se klimatilpasning og multifunktionalitet som en katalysator for områdeudvikling i Grenåens Opland.

Kortlægning af aktørlandskabet er vigtigt i den inkluderende proces. Projektområdet er komplekst og mangeartet, så for at skabe ejerskab og lokalforandring skal det deles op i relevante delområder.

11. Komplementære projekter

Formålet med projekt Grenåens opland har været at undersøge oplandets robusthed i forhold til fremtidens ændrede vandmængder ved opstilling af den hydrologiske model, samt undersøge konsekvenserne af forskellige løsningsmuligheder. Efter projektets afslutning, vil den politiske proces gå i gang, hvor de to byråd i Syddjurs – og Norddjurs Kommune skal beslutte, hvordan man ønsker at klimasikre Grenåens opland. Det betyder samtidig, at processen omkring klimatilpasning af Grenåens opland langt fra er slut. Projekt Grenåens opland vil aflede nye komplementære projekter, som vil kunne tage udgangspunkt i de faglige resultater, som projektet har medført. I det følgende afsnit vil komplementære projekter, der allerede er planlagt, blive præsenteret.

11.1 Næse for vand

Kernen i anlægsprojektet Næse for Vand er at vende vandet til byens fordel, og se muligheder i vandet frem for ulemper. Via samarbejde på tværs af kommune, boger og erhverv indarbejdes klimatilpasningen ind i byfornyelsen, og byfornyelsen ind i klimatilpasningen. Dvs. kort sagt; ”at invitere vandet indenfor – på den gode måde”.

Med afsæt i omfattende borgerinvolvering har Norddjurs kommune i foråret 2022 udbudt et konkurrenceprogram, hvor hovedopgaven er centeret omkring tilblivelsen af en fysisk og bæredygtig skarp vision på strategisk udvikling for området langs Grenåen samt Sydhavnen. Det er de områder, der under stormflod og oversvømmelse er de mest udsatte. Gennem anlæggelsen stiler man helt konkret efter at kunne skabe en bedre oplevelse for borgere og turister, samtidig med investeringen i bedre infrastruktur øger adgang til byens rum og aktivitetsmuligheder, dog uden at lægge pres på trængslen. Sammen med de naturfremmende, kreative løsninger og byens maritime DNA skal alle disse parametre løftes, og påvirke hinanden gensidigt positivt, så man vægter byens brand i retningen af øget tilflytning, investering og rentabel vækst.

Blå og grøn profil til en by i udvikling

I forvejen er den blå profil, dvs. havet, byens maritime miljøer, strand og kyststrækninger mv., en stor del af Grenaas Plan -og udviklingsstrategi fra 2019, hvor flora, fauna, lokale spiseoplevelser, grøn omstilling og klimatiltag, repræsenterer det grønne område. Næse for Vand spiller direkte ind her, hvor man netop gennem de blå og grønne åndehuller styrker udbuddet af byens oplevelsesmuligheder, og derigennem mulighed for at skabe nye kommercielle forretningsmuligheder til gavn for både turisterne, besøgende og de lokale erhvervsdrivende. Gennem projektet udnytter man altså den oplagte mulighed for at tænke rekreativ infrastruktur ind, som en del af byens udvikling. Sammen med f.eks. det nye Pingvinanlæg i Kattegatcentret (2022), byens styrkeposition i forhold til outdoor-oplevelser og den generelle udvikling der sker på Djursland i øvrigt, kommer projektet derfor også til at være en del af løsningen på det fysiske og mentale løft, byen gerne vil.

Samskabelse i fokus

Den anden centrale grundpille i Næse for Vand er fokus på vigtigheden af samskabelse. Planlægning og udviklingsstrategien er i høj grad styret af at skabe et nytænkende bud på samarbejde omkring klimatiltag og klimaløsninger, fordi man fra tidligere projekter i bl.a. andre kommuner ved, at aktiv samskabelse giver de mest tilfredsstillende resultater for både kommune og borger.

Et eksempel på et af disse tiltag er platformen KlimaBussen, der fra August 2022 og året ud fungerer som mobil enhed og bindeled mellem borger og kommune. Arbejdsstationer og frirum for både børn og voksne er bygget

ind i bussen, så borgere, interessenter og andre relevante frit kan deltage og skyde ind med egne ideer, ønsker og tanker på hver deres måde. Her er inspirationsboard, grafisk facilitering og ikke mindst repræsentation af konkurrenceprogrammets vindende team med til at samle et mere helstøbt billede af, hvad man kan, og hvad man hver især ønsker for byens udvikling og fremtid. I bussen har man også gjort plads til at eksterne samarbejdspartnere har muligheden for at udstille respektive tiltag. På den måde kan den lokale samtale om klima, klimалøsninger og grønne omstillingsprocesser understøttes yderligere - også når bussen i løbet af efteråret køres rundt til kommunens andre byer og centrale træfpunkter. Dertil kommer, at de samskabelsesprocesser og de borgerinddragelseserfaringer man gør sig gennem de forskellige udviklingsfaser i Næse for Vand, med fordel kan formidles videre til andre kommuner, der også arbejder med at beskytte deres havne og kystnære byer mod oversvømmelser og mere komplekse vandudfordringer. I alt løber projekt Næse for Vand over 6 hovedfaser:

Fase 1 sept.-dec. 2021, fastlæggelse af fundamentet for projektet og den videre udviklingsstrategi -særligt med forståelse for både tekniske, sundhedsmæssige og samfundsmæssige udfordringer.

Fase 2 jan.-maj 2022, udarbejdelse af konkurrenceprogram, udbudt og prækvalifikation af deltagende teams.

Fase 3 jan.-maj 2022, fokus på borgerinddragelse gennem synlighed og samtale om mulighederne i Grenaa.

Fase 4 og Fase 5 juli-dec. 2022, udviklingsplan og skitseforslag del 1 og del 2, med fokus på hhv. kreative ideudviklingsprocesser samt kåring af konkurrenceprogrammets vinderteam og skitsering af løsningsforslag.

Fase 6 frem mod dec. 2022, den strategiske udviklingsplan realiseres, og igangsætning af 1. etableringsfase i samråd med bygherrerådgivning.

11.2 Øvrige projekter

Som omtalt under borgerinddragelse har C2C projektet Grenåens opland bidraget i mange sammenhænge, og medvirket til at sætte klimatilpasning på dagsordenen, så den bliver en parameter i udvikling af visionerne for udviklingen af lokalsamfundene.

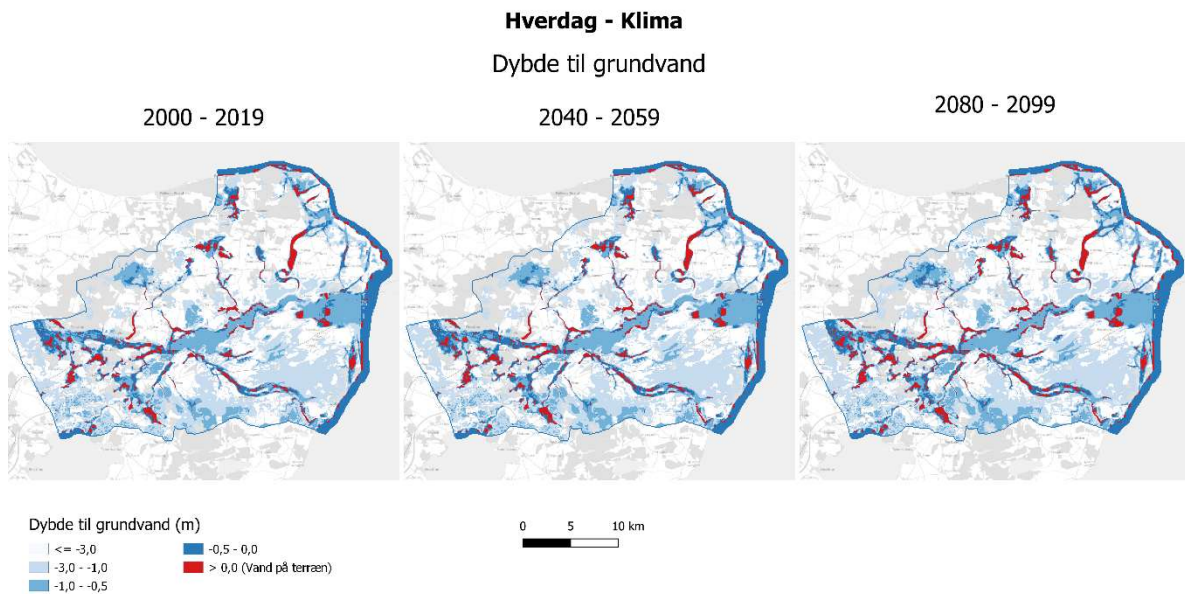
Pt. arbejder Nord- og Syddjurs Kommune sammen med Djursland Landboforening på et ideoplæg om intelligent arealanvendelse i det åbne land med afsæt i Grenåens opland. Som tidligere omtalt bliver Danmark det land i Europa, der ud fra forudsigelserne om klimæændringer får de bedste produktionsforhold af afgrøder, da vores produktionsarealerne trods udfordringerne påvirkes mindst af tørke. Omvendt skal vi også brige arealer til den grønne omstilling mv. Den grønne omstilling vil dog kunne tiltrække yderligere investeringer til udvalgte landbrugsarealer, samtidig med at andre arealer optimeres ift. landbrug og fødevareproduktion. Men for at kunne prioritere, må vi tage springet mod at synliggøre interesserne i det åbne land og lave de helhedsvurderinger, der skal gå forud for de væsentlige prioriteringer.

Konkret skal der ske en kortlægning af synergier, hvor flere interesser kan "dyrkes" samtidig, så monokultur kan erstattes af multifunktion. Det udføres som en positiv udpegning omfattende muligheder for ændret arealanvendelse som klimatilpasning, grundvandssikring, vedvarende energi, råstof interesser, naturgenopretning, byudvikling/infrastruktur og lokal samfund/sundhed.

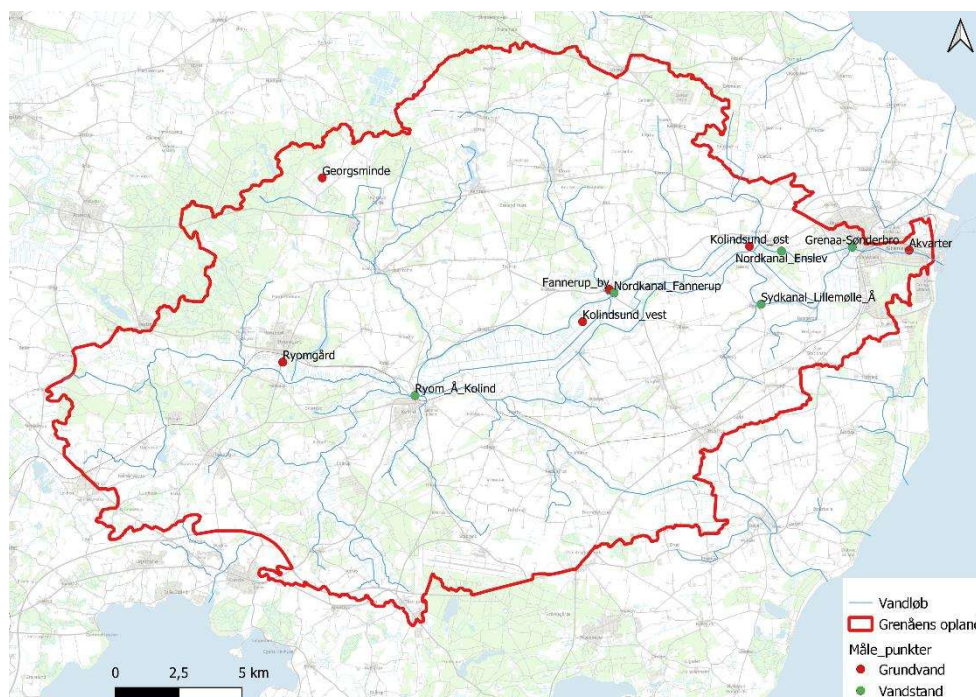
Der skal også være en drøftelse af, hvad er god landbrugsjord. Med alle de interesser, der er i det åbne land, er det vigtigt at kortlægge god eller særlig værdifuld landbrugsjord, så dette sikres til landbrugsproduktion. I den forbindelse er det væsentligt, at forskellige jordtyper er gode til forskellige afgrøder. Det forventes, at det ikke er jordtypen, der er et kvalitetsparameter i sig selv, men også mulighed for dræning/afvanding, markvanding, adgangsforhold, mv.

12. Bilag

Bilag 1: Ændringer i dybde til grundvand for hverdagssituationen, hvis der kun ændres på klimaparametrene og ikke havspejlet.



Bilag 2: Placering af punkter for dataudtræk dækkende dybde til grundvand og vandstand i vandløb.



Bilag 3: Ændringer i dybde til grundvand for en 50-årig hverdagssituationen, hvis der ændres på klimaparametrene og havspejlet.

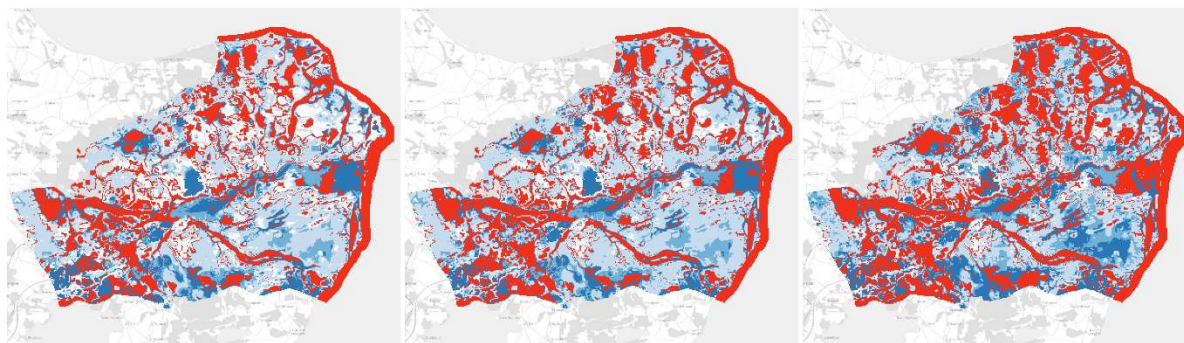
50 årshændelse - Klima og Havniveau

Dybde til grundvand

2010 - 2040

2040 - 2070

2070 - 2100

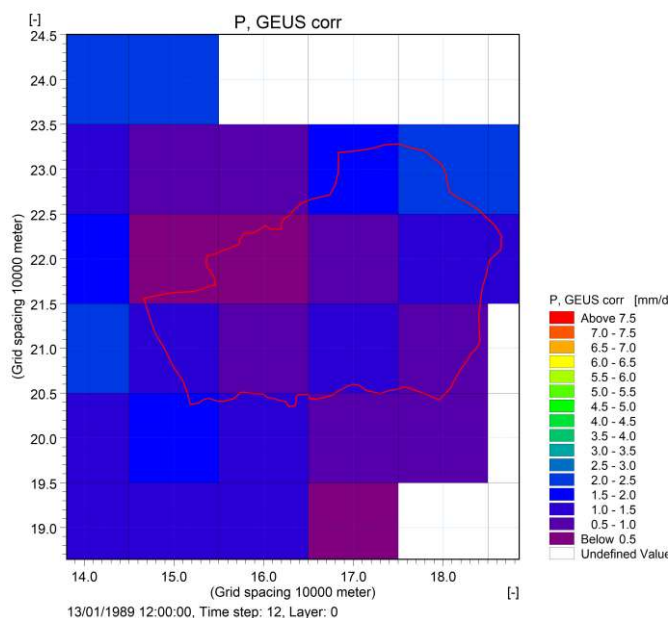


Dybde til grundvand (m)

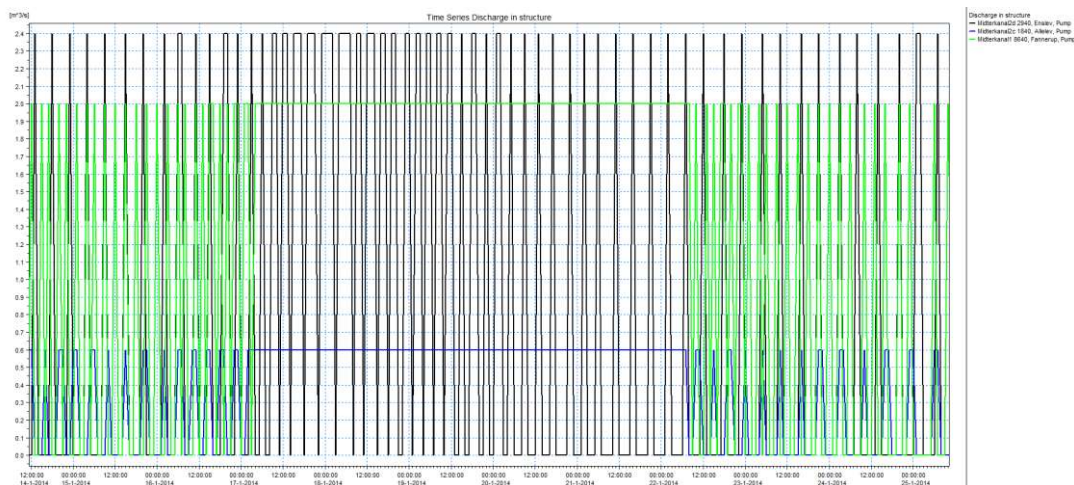


0 5 10 km

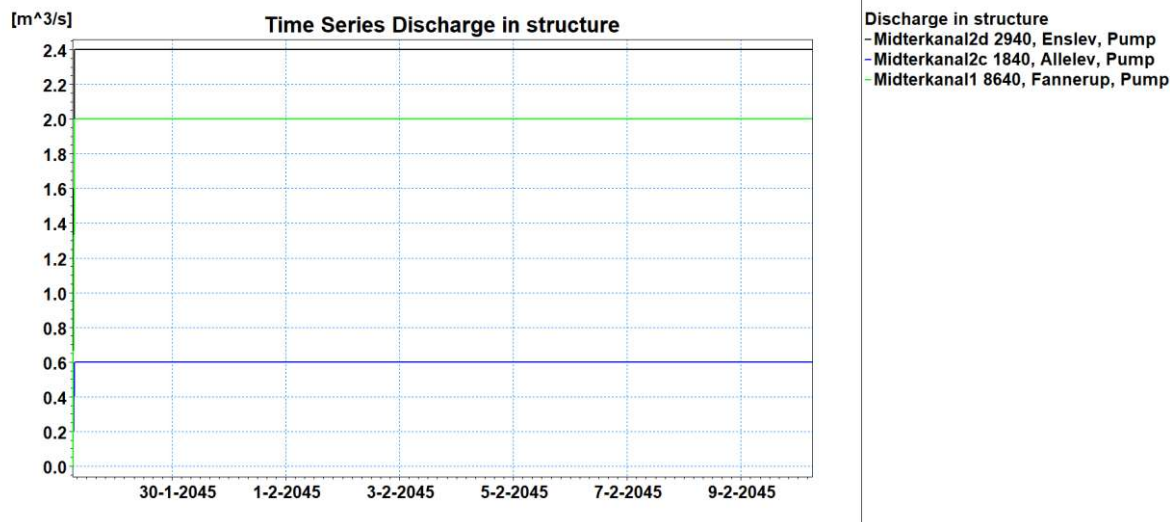
Bilag 4: Grenåens opland er dækket af 16 grid celler, som indeholder hver deres værdi for en nedbørsmængde (mm/døgn). Hver celle har en opløsning på 10.000 * 10.000 meter. Det betyder, at man indenfor hver celle antager, at der falder den samme mængde nedbør.



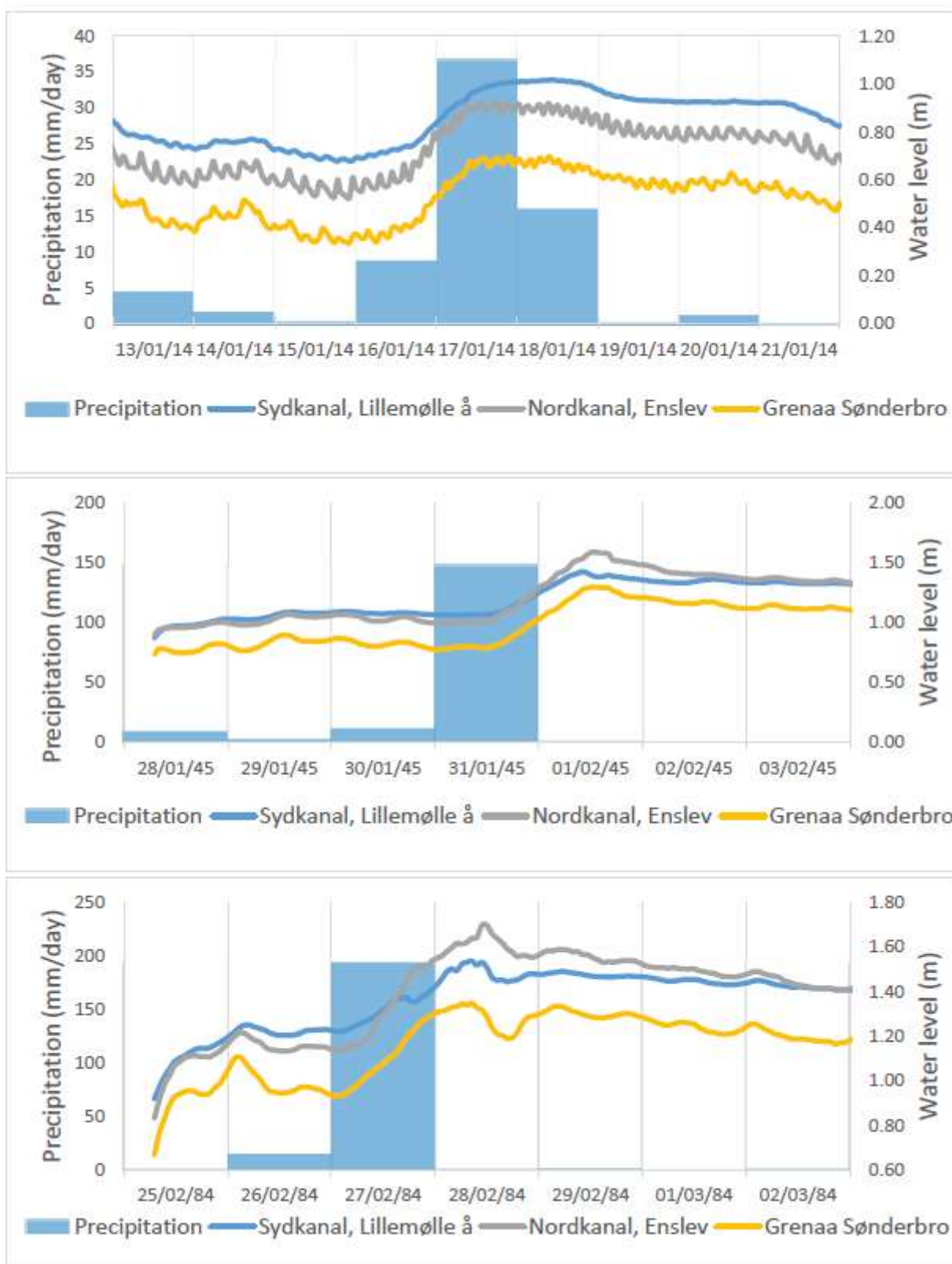
Bilag 5: Viser pumpemængden (m^3/s) for pumperne ved Enslev (sort), Allelev (blå) og Fannerup (grøn) ved modelkørslen i 2014 for en nedbørshændelse med 36 mm/døgn. I 2014 kom pumpen ved Allelev og Fannerup op på max kapacitet, hvorimod pumpen ved Enslev stadig kunne følge med.



Bilag 6: Viser pumpemængden (m^3/s) for pumperne ved Enslev (sort), Allelev (blå) og Fannerup (grøn) ved modelkørslen i 2045 for en nedbørshændelse med 148 mm/døgn. I 2045 kom alle tre pumper op på deres max kapacitet. Det samme var gældende for modelkørselen for 2084 med 196 mm/døgn.

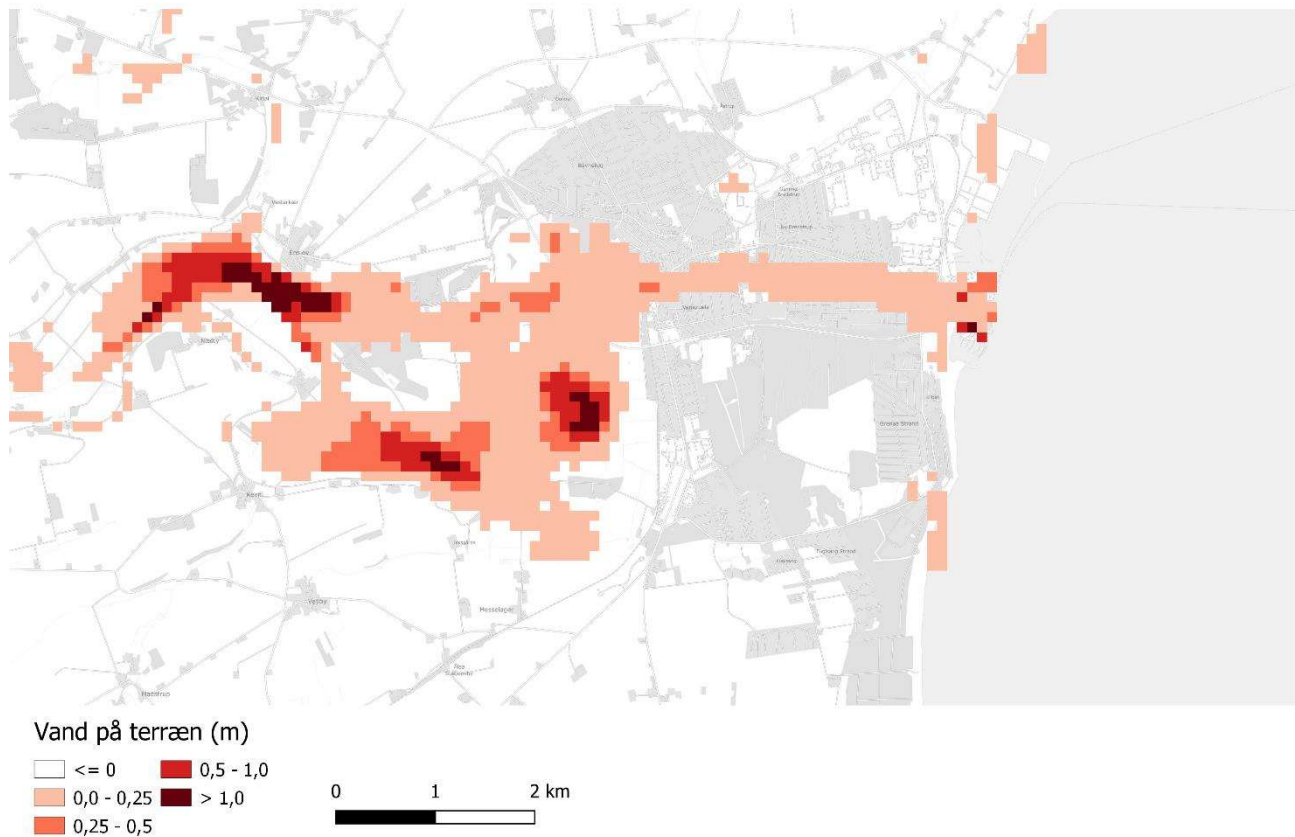


Bilag 7: Vandstand i Sydkanal, Nordknaal og Grenå Sønderbro under tre nedbørsevent 36 mm/dag, 148 mm/dag og 194 mm/dag.



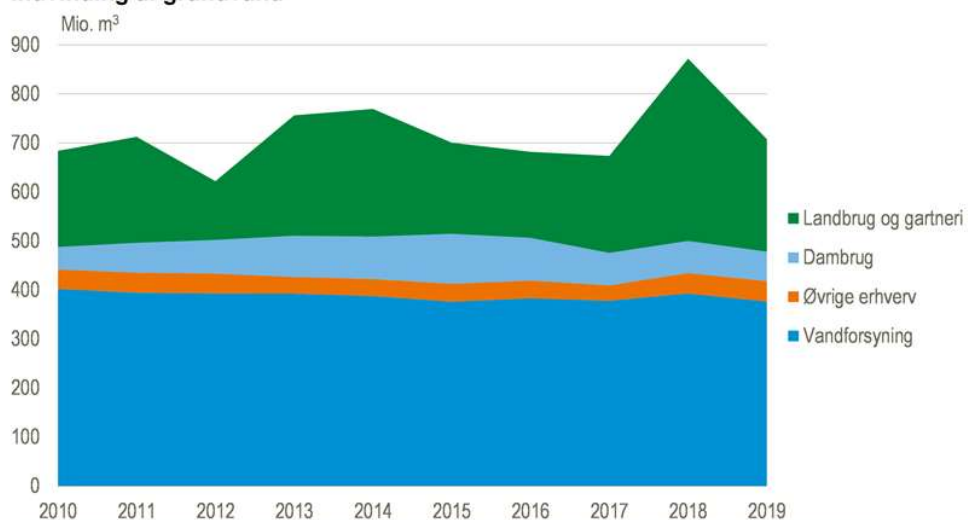
Bilag 8: Vand på terræn ved Stormflod kote 3 i 5 døgn.

Stormflod kote 3 i 5 døgn



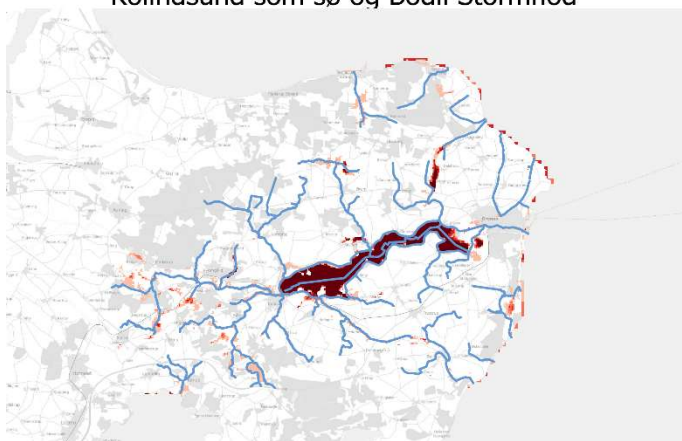
Bilag 9: Indvinding af grundvand i perioden 2010 – 2019. Landbruget vandindvind var ekstra høj i 2018. (Danmarks Statistik, 2020).

Indvinding af grundvand

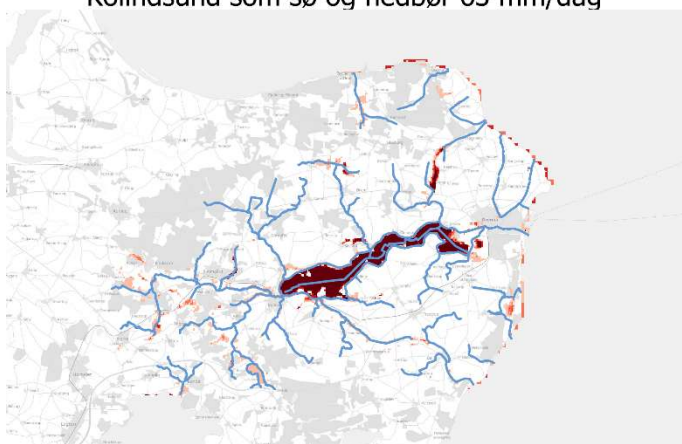


Kilde: www.statistikbanken.dk/vandrg1.

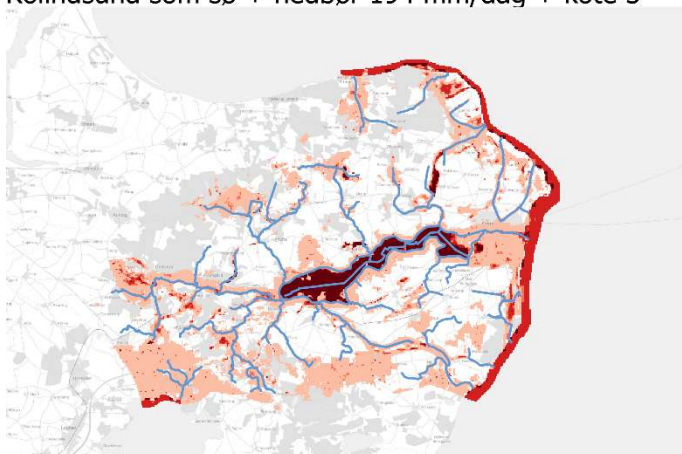
Bilag 10: Vand på terræn ved øvrige modelkørsler
Kolindsund som sø og Bodil Stormflod



Kolindsund som sø og nedbør 63 mm/dag



Kolindsund som sø + nedbør 194 mm/dag + kote 3



Vand på terræn (m)

- $\leq 0,03$
- 0,03 - 0,25
- 0,25 - 0,50
- 0,50 - 1,00
- $> 1,00$
- Vandløb

0 5 10 km