

Til  
**Lemvig Kommune**

Dokumenttype  
**Rapport**

Dato  
**December, 2022**

# KYSTEROSION BIDRAG TIL KLIMATILPASNINGS- PLAN



# KYSTEROSION

## BIDRAG TIL KLIMATILPASNINGS-PLAN

Projektnavn **Bidrag til klimatilpasningsplan**  
Projektnr. **1100052133**  
Modtager **Lemvig Kommune**  
Dokumenttype **Rapport**  
Version **1.0**  
Udarbejdet af **JQHN**  
Kontrolleret af **JAK**  
Godkendt af **JQHN**

Rambøll  
Prinsensgade 11  
DK-9000 Aalborg

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

## INDHOLD

|           |                                                                                                                                                                   |          |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1.</b> | <b>Indledning</b>                                                                                                                                                 | <b>3</b> |
| 1.1       | Udvalgte lokaliteter til vurdering af erosionsforhold                                                                                                             | 3        |
| 1.2       | Indhold i nærværende rapport                                                                                                                                      | 4        |
| <b>2.</b> | <b>Ikke-teknisk opsummering</b>                                                                                                                                   | <b>5</b> |
| <b>3.</b> | <b>Forudsætninger for klimaændringer samt indsnævring af Thyborøn kanal</b>                                                                                       | <b>6</b> |
| 3.1       | Opsummering af væsentlige konklusioner fra stormflodssimulering for udvalgte lokaliteter langs Lemvig Kommunes Limfjordskyst (Rambøll, 2022)                      | 6        |
| 3.2       | Forudsætninger for indflydelse fra fremtidige klimaændringer ifm. analyse af erosionsforhold                                                                      | 7        |
| <b>4.</b> | <b>Vurdering af fremtidige erosionsforhold på udvalgte lokaliteter</b>                                                                                            | <b>8</b> |
| 4.1       | Definition af hhv. kronisk og akut erosion                                                                                                                        | 8        |
| 4.2       | Vurdering af erosionsforhold, bølgeopskyl, og bølgeoverskyl langs strækningen; <i>"Vejen mod Thyborøn"</i>                                                        | 9        |
| 4.2.1     | Beskrivelse af strækningen; <i>"Vejen mod Thyborøn"</i>                                                                                                           | 9        |
| 4.2.2     | Vurdering af nuværende- og fremtidige erosionsforhold langs strækningen; <i>"Vejen mod Thyborøn"</i>                                                              | 13       |
| 4.2.3     | Vurdering af fremtidige erosionsforhold og bølgeopskyl med-/uden effekten fra indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m på strækningen; <i>"Vejen mod Thyborøn"</i> | 15       |
| 4.2.4     | Påvirkning fra klimaændringer på bølgeoverskyl langs strækningen; <i>"Vejen mod Thyborøn"</i>                                                                     | 16       |
| 4.2.5     | Opsummering vedr. eksisterende- og fremtidige erosionsforhold, bølgeopskyl og bølgeoverskyl på strækningen; <i>"Vejen mod Thyborøn"</i>                           | 18       |
| 4.3       | Vurdering af erosionsforhold, bølgeopskyl, og bølgeoverskyl langs strækningen; <i>"Plet Enge"</i>                                                                 | 19       |
| 4.3.1     | Beskrivelse af strækningen; <i>"Plet Enge"</i>                                                                                                                    | 19       |
| 4.3.2     | Vurdering af nuværende- og fremtidige erosionsforhold langs strækningen; <i>"Plet Enge"</i>                                                                       | 22       |
| 4.3.3     | Vurdering af fremtidige erosionsforhold og bølgeopskyl med-/uden effekten fra indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m på strækningen; <i>"Plet Enge"</i>          | 23       |
| 4.3.4     | Påvirkning fra klimaændringer på bølgeoverskyl langs strækningen; <i>"Plet Enge"</i>                                                                              | 24       |
| 4.3.5     | Opsummering vedr. eksisterende- og fremtidige erosionsforhold, bølgeopskyl og bølgeoverskyl på strækningen; <i>"Plet Enge"</i>                                    | 25       |

|                   |                                                                                                                                                              |           |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4               | Vurdering af erosionsforhold, bølgeopskyl, og bølgeoverskyl langs strækningen; <i>"Remmer Strand"</i>                                                        | 26        |
| 4.4.1             | Beskrivelse af strækningen; <i>"Remmer Strand"</i>                                                                                                           | 26        |
| 4.4.2             | Vurdering af nuværende- og fremtidige erosionsforhold langs strækningen; <i>"Remmer Strand"</i>                                                              | 30        |
| 4.4.3             | Vurdering af fremtidige erosionsforhold og bølgeopskyl med-/uden effekten fra indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m på strækningen; <i>"Remmer Strand"</i> | 31        |
| 4.4.4             | Påvirkning fra klimæændringer på bølgeoverskyl langs strækningen; <i>"Remmer Strand"</i>                                                                     | 33        |
| 4.4.5             | Opsummering vedr. eksisterende- og fremtidige erosionsforhold, bølgeopskyl og bølgeoverskyl på strækningen; <i>"Remmer Strand"</i>                           | 34        |
| <b>5.</b>         | <b>Konklusioner og diskussion</b>                                                                                                                            | <b>36</b> |
| 5.1               | Diskussion og videre brug af analyser og konklusioner i nærværende rapport                                                                                   | 37        |
| <b>Referencer</b> |                                                                                                                                                              | <b>38</b> |

# 1. INDLEDNING

Nærværende rapport indeholder en screening af kysterosionsforholdene og den forventede påvirkning fra klimaændringer på udvalgte kyststrækninger i Lemvig Kommune. Formålet er at danne grundlag for input til opdatering af Lemvig Kommunes klimatilpasningsplan som jf. *"Vejledning i planlægning for forebyggelse af oversvømmelse og erosion, april 2022"* bl.a. skal indeholde retningslinjer om udpegning af strækninger og/eller områder, der kan blive udsat for erosion.

Dette notat indeholder en screening af kystudviklingen for udvalgte strækninger, udpeget af Lemvig Kommune i samarbejde med Rambøll. Screeningen af erosionsforholdene på de udpegede kyststrækninger gennemføres baseret på foreliggende viden, herunder input fra nationale vejledninger, som leverer regionale/lokale estimater for nuværende- og fremtidige erosionsforhold. I screeningen inkluderes en overordnet vurdering af den lokale effekt fra evt. eksisterende kystbeskyttelse (f.eks. eksisterende skråningsbeskyttelse) på de udpegede kyststrækninger. Det vurderes hvorvidt den eksisterende beskyttelse på de pågældende strækninger kan være tilstrækkelig til at modstå effekten fra øget middelvandstand samt øget stormflodsvandstand.

## 1.1 Udvalgte lokaliteter til vurdering af erosionsforhold

Lemvig Kommune har i samarbejde med Rambøll udpeget tre strækninger langs Limfjordskysten (mod Nissum Bredning), som ønskes screenet ift. nuværende- og fremtidige kysterosionsforhold, og herunder påvirkninger fra klimaændringer:

### #1. – "Vejen mod Thyborøn":

- Der foretages en vurdering af erosionsforhold for diget langs "Vejen mod Thyborøn", dvs. den østvendte kyst langs diget på østsiden af Harboøre Tange mod Limfjorden.

### #2. – Plet Enge:

- Der foretages en vurdering af erosionsforhold for diget ved Plet Enge, beliggende på den østvendte kyststrækning umiddelbart syd for Harboøre tange.

### #3. – Remmer Strand:

- Der foretages en vurdering af erosionsforhold for klitkysten ved Remmer Strand, dvs. den nord- østvendte kystlinje i den østligste del af Nissum Bredning ved sommerhusområdet.

De tre lokaliteter er vist i figur 1 og er nærmere beskrevet i afsnit 4.



**Figur 1: Udvalgte strækninger til vurdering af erosionsforhold i Lemvig Kommune. Strækninger er markeret med hvide linjer på satellitfotoet. (Google Earth, 2022)**

## 1.2 Indhold i nærværende rapport

Mere specifikt er følgende indeholdt i nærværende rapport:

- Afsnit 2 – Ikke-teknisk opsummering:
  - Indledningsvis gives en ikke-teknisk opsummering af rapporten.
- Afsnit 3 - Forudsætninger for klimaændringer samt indsnævring af Thyborøn kanal
  - Der gives en beskrivelse af anvendte forudsætninger for klimaændringer ifm. vurderinger af fremtidige erosionsforhold. Herudover opsummeres væsentlige konklusioner fra (Rambøll, 2022) vedr. nuværende- og fremtidige stormflodsvandstande langs Limfjordskysten i Lemvig Kommune, og herunder indflydelsen fra den planlagte fremtidige indsnævring af Thyborøn Kanal.
- Afsnit 4 - Vurdering af fremtidige erosionsforhold på udvalgte lokaliteter:
  - Der foretages vurdering af nuværende- og fremtidige erosionsforhold på de tre udvalgte strækninger langs Limfjordskysten i Lemvig Kommune.
- Afsnit 5 - Konklusioner og diskussion:
  - Der gives en opsummering af væsentlige konklusioner fra nærværende analyser, samt gives en diskussion af usikkerheder for analyser af erosionsforhold langs de tre udvalgte strækninger.

## 2. IKKE-TEKNISK OPSUMMERING

Lemvig Kommune ønsker en kortlægning af erosionsforholdene på udvalgte strækninger ved kommunens Limfjordskyst, under hensyntagen til påvirkningen fra forventede fremtidige klimaændringer. Kortlægningen er gennemført for en planlægningshorisont på ca. 50 år. Dog er der også inkluderet vurdering af kystudvikling for en længere tidshorisont.

Denne rapport omhandler screening af fremtidige erosionsforhold på tre kyststrækninger langs Lemvig Kommunes Limfjordskyst; "Vejen mod Thyborøn", "Plet Enge", samt "Remmer Strand". De fremtidige erosionsforhold er analyseret med-/uden indvirkningen fra den planlagte indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m. I analyserne inkluderes den forventede indvirkning fra fremtidige klimaændringer.

Screeningerne, der er gennemført i forbindelse med udarbejdelse af denne rapport, viser, at der for de tre udpegede kyststrækninger må forventes en forholdsvis stor kysterosion i fremtiden - primært som følge af klimaændringernes påvirkning af middelvandstanden. Således kan der på de tre kyststrækninger forventes en tilbagerykning på ca. 9 m ved "Vejen mod Thyborøn" og "Plet Enge", og ca. 24 m ved "Remmer Strand". Hertil kan der forventes yderligere ca. 4 m erosion ifm. kraftig storm (100-års returperiode). Sådanne kysttilbagerykninger kan medføre tab af privat ejendom og infrastruktur, samt potentielt oversvømmelse i baglandet.

Det er undersøgt, hvorvidt en indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m kan have en indvirkning på fremtidige erosionsforhold. Hertil er det konkluderet, at der kun på strækningen ved "Remmer Strand" kan forventes en potentiel effekt – og det kun ift. den akutte erosion.

Konklusioner fra nærværende rapport kan anvendes som input til Lemvig Kommunes klimatilpasnings-plan ift. at beskrive fremtidige erosionsforhold og dermed til at planlægge hvorvidt der bør foretages en eventuel opgradering af eksisterende kyst- eller højvandsbeskyttelse. Hvorvidt de vurderede fremtidige erosionsforhold kan accepteres på de tre vurderede strækninger, bør være en afvejning imellem omkostninger til opgradering af kystbeskyttelsen og eventuelle omkostninger for fremtidige erosionsskader.

En opsummering af screening af fremtidige erosionsforhold fremgår af nedenstående tabel. Farver i tabellen illustrerer lav risiko/erosion (grøn), middel (gul), høj (rød).

|                                                                                                      | Vejen mod Thyborøn                  | Plet Enge                                              | Remmer Strand                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fremtidig estimeret samlet erosion i år 2070 ifm. 100-års storm baseret på (Kystdirektoratet, 2022c) | 13 m                                | 13 m                                                   | 28 m                                                                                                                        |
| Risiko for bidrag til erosion fra øget bølgeoverskyl i år 2070                                       | <u>Lav</u>                          | <u>Middel</u><br>(potentielle skader på græsbelægning) | <u>Høj</u><br>(øget bølgeoverskyl kan potentielt medføre beskadigelser på både klitten samt i baglandet pga. oversvømmelse) |
| Forventet effekt fra indsnævring af Thyborøn kanal på erosionsforhold i år 2070                      | <u>Ingen</u>                        | <u>Ingen</u>                                           | Reduktion af akuterrosion under storm, hvilket potentielt kan reducere den samlede erosion til imellem 26 m - 28 m          |
| Foreslået strategi fra Kystdirektoratet i år 2070 (Kystdirektoratet, 2022c)                          | "Acceptér at risikoniveauet stiger" | "Reduktion – Oversvømmelse og Erosion"                 | "Acceptér at risikoniveauet stiger"                                                                                         |

### 3. FORUDSÆTNINGER FOR KLIMAÆNDRINGER SAMT INDSNÆVRING AF THYBORØN KANAL

I dette afsnit beskrives de anvendte forudsætninger ift. klimaændringernes påvirkning af de fremtidige erosionsforhold for de tre udpegede strækninger.

Generelt tages der udgangspunkt i de samme forudsætninger ift. klimaændringernes påvirkning samt den morfologisk udvikling i Thyborøn kanal, som er anvendt ifm. analyser vedr. fremtidige stormflodsvandstande langs Lemvig Kommunes Limfjordskyst (med/uden effekten fra indsnævring af Thyborøn kanal) afrapporteret i (Rambøll, 2022).

I det følgende opsummeres væsentlige konklusioner fra ovenfor nævnte analyse.

#### 3.1 Opsummering af væsentlige konklusioner fra stormflodssimulering for udvalgte lokaliteter langs Lemvig Kommunes Limfjordskyst (Rambøll, 2022)

Der er i (Rambøll, 2022) gennemført en kortlægning af de forventede fremtidige stormflodsvandstande for fem lokaliteter ved kommunens Limfjordskyst.

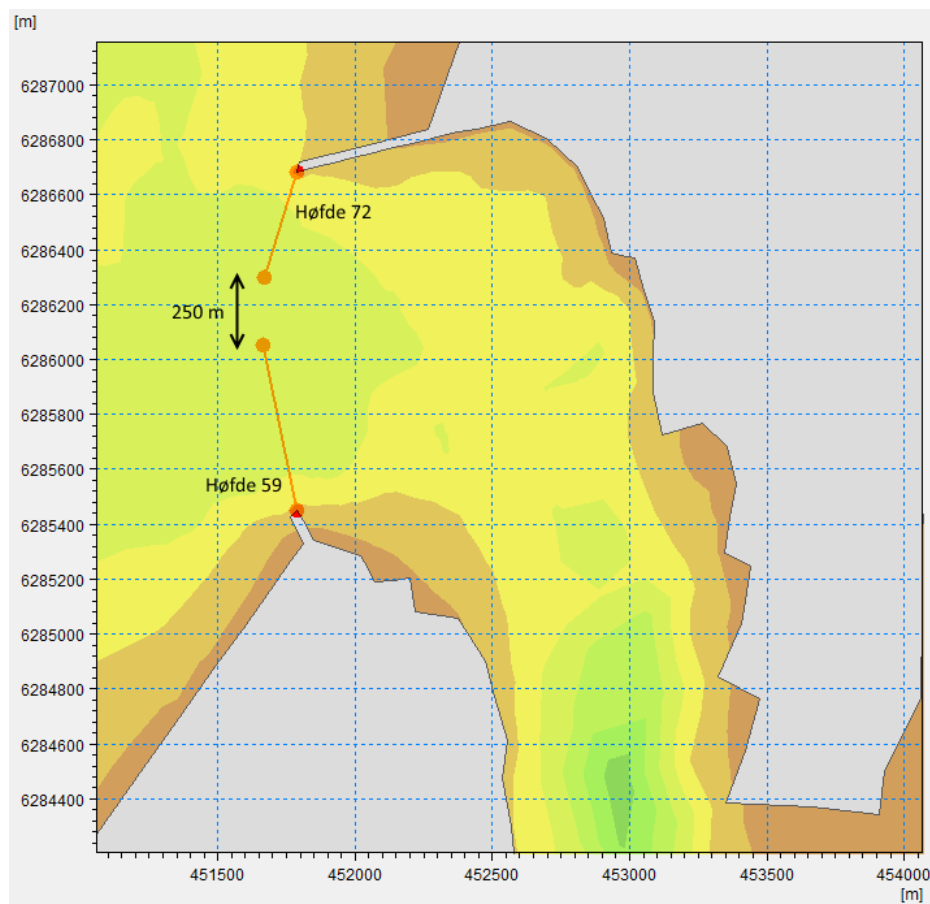
Kortlægningen er gennemført under hensyntagen til bl.a.:

- Prognoser for klimaændringernes påvirkning af primært middelvandstanden.
- Scenarier med-/uden en planlagt indsnævring af Thyborøn Kanal til 250 m (se figur 2), jf. C2CCC-C9-projektet; *"C9 Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord"*.
- Planlægningshorisont på ca. 50 år.
- Naturlig forøgelse af vanddybden i Thyborøn kanal, som følge af ind-/udstrømningen af vand i kanalen.

Resultater fra analyserne i (Rambøll, 2022) viser, at såfremt der ikke etableres en indsnævring af Thyborøn kanal, kan der i slutningen af dette århundrede (år 2071 – 2100) forventes en forøgelse af fremtidige stormflodsvandstande langs Limfjordskysten i Lemvig Kommune på op til ca. 44%. Forøgelsen i stormflodsvandstande er højere end blot klimaændringernes forøgelse af middelvandstanden, hvilket skyldes den morfologiske udvikling i Thyborøn kanal i form af forøget gennemstrømningstværsnit.

En indsnævring af Thyborøn kanal (til 250 m bredde) konkluderes at have en signifikant gunstig effekt på de fremtidige stormflodsvandstande langs Lemvig Kommunes Limfjordskyster. Bl.a. er det i (Rambøll, 2022) konstateret, at såfremt indsnævringen af Thyborøn kanal etableres, kan denne kompensere for klimaændringers effekt på stormflodsvandstanden i Lemvig Havn. Der må således stadig forventes høj vandstand under storm, men stormflodsvandstanden kan, som følge af indsnævringen, forventes at være i samme niveau som under nuværende forhold. Indsnævringen af Thyborøn kanal vil dog ikke modvirke effekten fra de hyppigere storme, og således må det stadig forventes, at ekstremvandstande fremover vil forekomme oftere.





Figur 2: Illustration af den implementerede højdeudvidelse i modellen. (Rambøll, 2022)

### 3.2 Forudsætninger for indflydelse fra fremtidige klimaændringer ifm. analyse af erosionsforhold

På samme vis som til stormflodsanalyserne i (Rambøll, 2022) forudsættes til nærværende vurderinger klimascenariet RCP8.5 med en tidshorisont svarende til slutningen af dette århundrede (2071 – 2100).

Ifølge (DMI, Klimaatlas.dk, 2022b) forventes kun meget små ændringer i ekstremvind, hvorimod prognoserne indikerer store ændringer i middelvandstanden frem mod slutningen af århundredet. Hensynet til klimaændringernes påvirkning er derfor udelukkende inkluderet i form af en stigning i middel-vandstanden, som ved Thyborøn er 57 cm (svarende til "det bedste bud" oplyst på klimaatlas.dk (DMI, Klimaatlas.dk, 2022b) for RCP8.5 i 2071 – 2100). Usikkerhedsintervallet er for RCP 8.5 jf. Klimaatlas.dk 13 – 101 cm.

Vandstandsstigningen forventes at ske relativt lineært indtil slutningen af dette århundrede, hvilket således betyder, at der over den kommende ca. 50-årige periode kan forventes en årlig vandstandsstigning på ca. 1 – 2 cm pr. år (under forudsætning af RCP. 8.5).

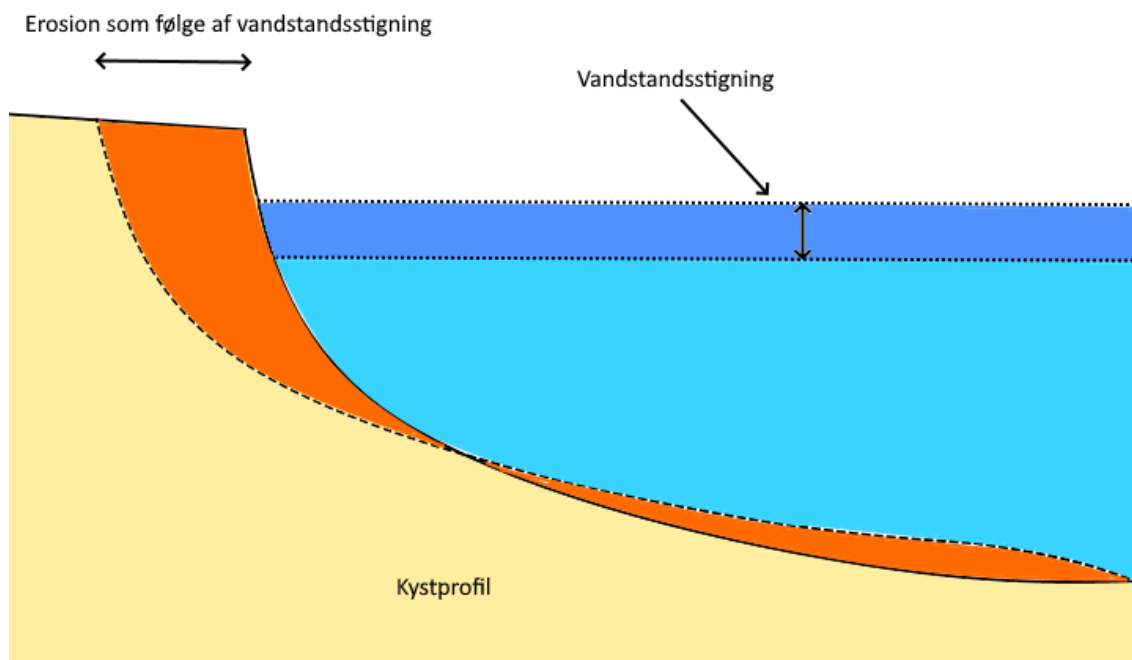
## 4. VURDERING AF FREMTIDIGE EROSIONSFORHOLD PÅ UDVALGTE LOKALITETER

I det følgende er gennemført en screening af de fremtidige kysterosionsforhold for de tre udpegede strækninger jf. figur 1. Indledningsvist diskuteres de overordnede indflydelser på erosionsforhold langs Lemvig Kommunes Limfjordskyst.

### 4.1 Definition af hhv. kronisk og akut erosion

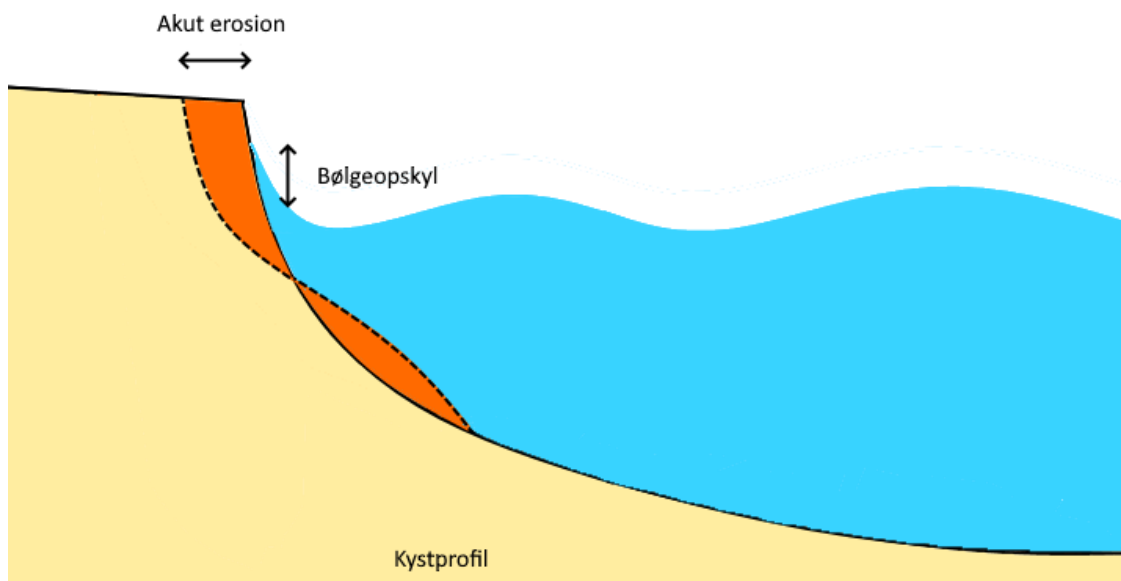
Når strømmen og/eller bølgerne langs en kyststrækning medfører, at der fjernes mere materiale/sand fra et område end der tilføres, opstår der erosion. Erosion opdeles typisk i hhv. "kronisk erosion" og "akut erosion".

Den kroniske erosion skyldes, at der ikke er ligevægt mellem kystprofillet samt effekten fra vandstands-, strøm- og/eller bølgeforholdene. Der vil ofte, selv på en "stabil" kyst, forekomme variationer i kystlinjen fra år til år som følge af vekslende vandstands- og bølgeforhold, men såfremt tendensen over en længere årrække viser et netto-tab af sediment, kan erosionen benævnes som kronisk. Bl.a. kan stigende vandstand som følge af klimæændringer medføre en kronisk erosion, jf. Bruuns regel (Kystdirektoratet, 2021), hvilket er illustreret i figur 3. Stigende vandstand medfører, at bølgerne angriber kystprofillet i en højere kote sammenlignet med tidligere, hvilket medfører erosion.



**Figur 3: Illustration af kronisk erosion som følge af vandstandsstigning pga. klimæændringer.**

Akut erosion, illustreret i figur 4, forekommer i forbindelse med stormflodshændelser, hvor en kombination af vandstands- og bølgeforhold kan give anledning til en pludselig- og signifikant erosion af kysten. Her vil transportretningen være på tværs af kysten og den op-hvirvlede sediment aflejres typisk længere ude i kystprofillet. Den akutte erosion er synlig umiddelbart efter en stormflodshændelse, hvorimod den kroniske erosion er mindre synlig på kort sigt.



**Figur 4: Illustration af akut erosion som følge af bølgeopskyl.**

Der er i nærværende rapport ikke tale om detailanalyse- og tilstandsvurdering af eksisterende erosions- og højvandsbeskyttelse på de pågældende strækninger, med derimod tale om screening af påvirkninger fra klimaændringer på fremtidige erosionsforhold. Screeningen af fremtidige erosionsforhold langs de tre strækninger i figur 1 vil i det følgende fokusere på både den fremtidige kroniske erosion og den fremtidige akutte erosion.

#### **4.2 Vurdering af erosionsforhold, bølgeopskyl, og bølgeoverskyl langs strækningen; "Vejen mod Thyborøn"**

Vurdering af erosionsforhold, bølgeopskyl, og bølgeoverskyl på strækningen; "Vejen mod Thyborøn" beskrives i det følgende. Indledningsvis beskrives eksisterende højdeforhold, kystbeskyttelse, samt geotekniske forhold på strækningen. Herefter gives en opsummering af erosionsforhold på strækningen, baseret på vurderinger fra Kystdirektoratet. Dette er efterfulgt af en vurdering af fremtidige erosionsforhold med-/uden effekten fra indsnævringen af Thyborøn kanal.

##### **4.2.1 Beskrivelse af strækningen; "Vejen mod Thyborøn"**

Et zoom af strækningen "Vejen mod Thyborøn" er vist i figur 5. Strækningen består af to delstrækninger hhv. syd og nord for Cheminova som løber langs rute 181 langs diget på Harbøre Tange mod Thyborøn. De to delstrækninger har en samlet længde på ca. 2,6 km.



**Figur 5: Zoom af strækningen "Vejen mod Thyborøn". (Google Earth, 2022)**

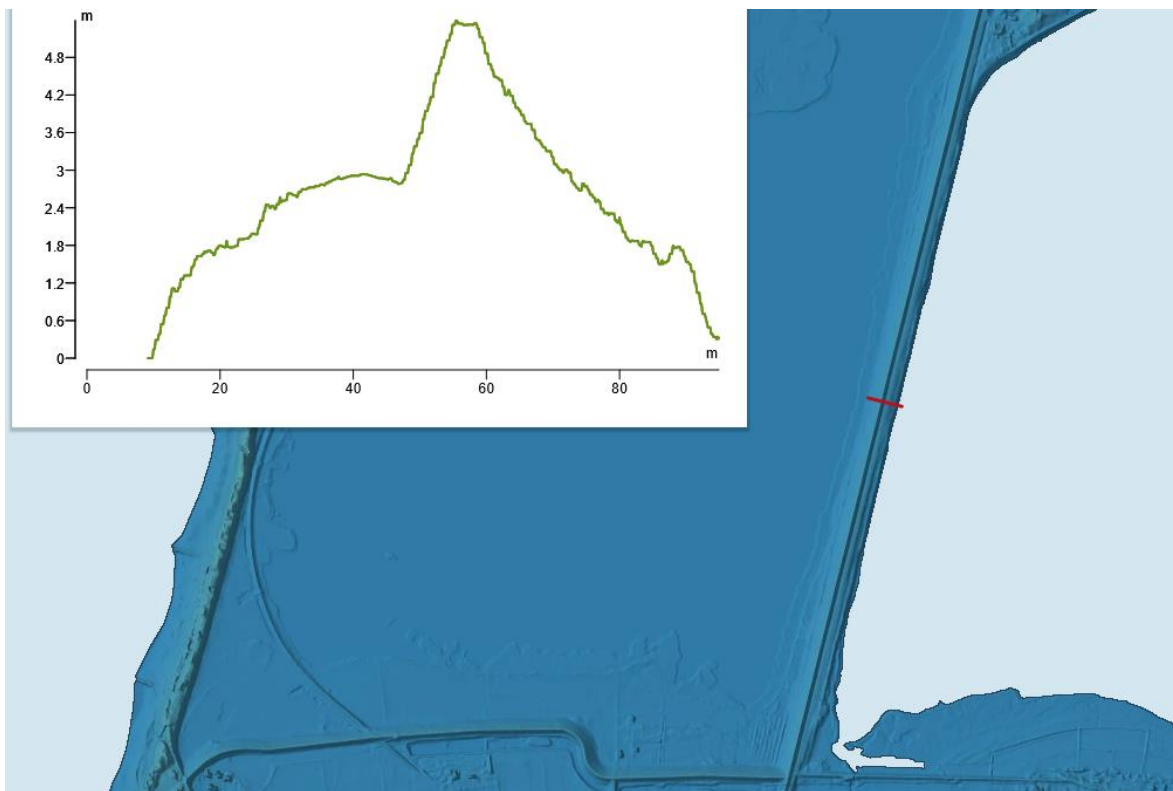
Et foto fra diget på strækningen; "Vejen mod Thyborøn", kan ses i figur 6, hvor Nisum Bredning er til højre i billedet og diget, der beskytter mod høj vandstand i Vesterhavet, er til venstre i billedet.



**Figur 6: Foto taget fra strækningen "Vejen mod Thyborøn". (Google Earth, 2022)**

Den nordlige delstrækning er delvis beskyttet af en dæmning udfor Cheminova, hvorpå der er placeret vindmøller, se figur 8. Dæmningen afskærmer således både diget, samt kysten udfor Cheminova, mod bølger fra øst (fra Nisum Bredning). Topkoten af den søværts dæmning er ca. kote 0,16 mDVR90, jf. (SCALGO, 2022).

Vejen (Rute 181) langs diget (både nord og syd for Cheminova) er beliggende i ca. kote +3 mDVR90, og topkoten for diget er i ca. kote +5,3 mDVR90, hvilket beskytter mod højvandstand fra Vesterhavet. Hældningen af diget mod Nisum Bredning er ca. 1/6. Et højdeprofil fra ca. midt på den sydligste delstrækning er vist i figur 7.



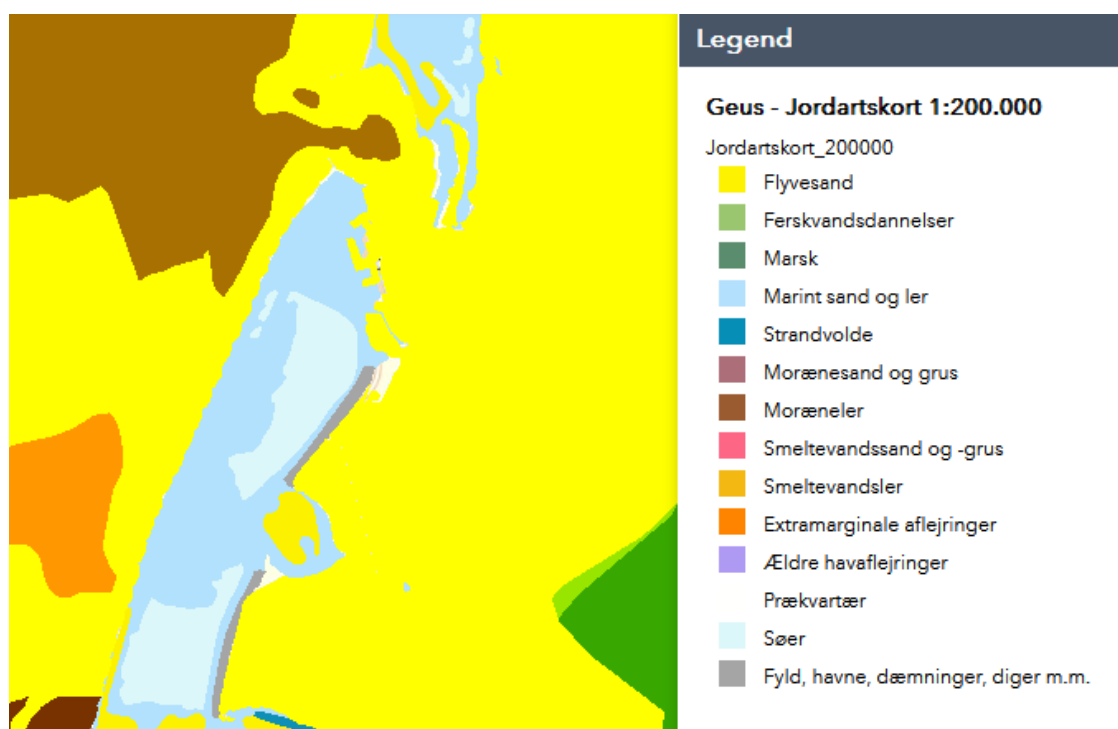
**Figur 7: Højdeprofil fra ca. midt på den sydligste delstrækningen af "Vejen mod Thyborøn". (SCALGO, 2022)**

Kystbeskyttelsesplanlægning på strækningen fremgår af figur 8, hvoraf det ses, at diget på vejstrækningen delvis beskyttet mod erosion i form af skråningsbeskyttelse.



**Figur 8: Placering af kystbeskyttelsesplanlægning på strækningen "Vejen mod Thyborøn". (Kystdirektoratet, 2022b)**

Der haves til nærværende analyser ikke detaljerede informationer af digets opbygning eller af geotekniske boreprofiler fra strækningen, men af GEUS jordartskort fremgår det, at diget består af fyldmateriale, se figur 9. Jf. (Kystdirektoratet, 2022c) er der på strækningen tale om "*sand eller klitkyst*". Pga. forekomsten af marint sand må det således forventes, at diget er delvis eksponeret for erosion (hvilket med stor sandsynlighed også er grunden til, at der forekommer skråningsbeskyttelse på strækningen).



Figur 9: Jordartskort for strækningen. (Kystdirektoratet, 2022b)

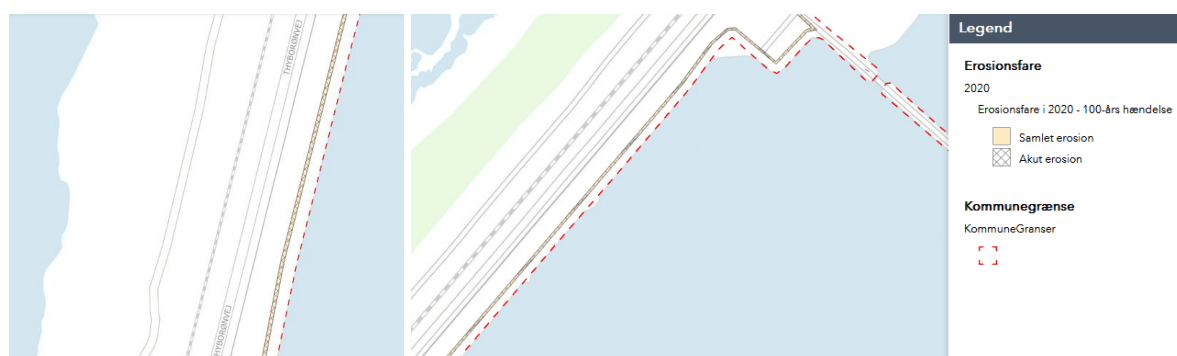
#### 4.2.2 Vurdering af nuværende- og fremtidige erosionsforhold langs strækningen; "Vejen mod Thyborøn"

Estimerede erosionsforhold under stormflodshændelser langs "Vejen mod Thyborøn", baseret på (Kystdirektoratet, 2022c) er vist i figur 10 - figur 12 for en 100-års hændelse i hhv. år 2020, 2070, og 2120. Som det fremgår af figurerne, er det estimeret, at der i år 2020 udelukkende forekommer akut erosion på strækningen, hvorimod den forventede vandstandsstigning forventes at bidrage til både en kronisk erosion, jf. den såkaldte Bruuns regel, samt akut erosion i år 2120. Ift. vandstandsstigning fra klimaændringer er der jf. (Kystdirektoratet, 2021) forudsat klimascenariet RCP 8.5 i estimerer for fremtidige erosionsforhold fra (Kystdirektoratet, 2022c), hvilket er samme klimascenarie som forudsat i nærværende analyser.

Jf. figur 10 - figur 12 kan det ses, at den samlede erosion kan tangere vejen langs diget på både den sydlige- og nordlige delstrækning.

Jf. (Kystdirektoratet, 2021) er det forudsat, at eksisterende hård kystbeskyttelse (som skråningsbeskyttelsen på strækningen) vil blive undermineret og kollapse i løbet af perioden. Derfor er det antaget, at tilbagerykningen af kystskrænten som følge af den kroniske erosion vil være den samme med- og uden den eksisterende hårde kystbeskyttelse. Der er til nærværende vurderinger ikke lavet detaljerede analyser af robustheden af skrånings-beskyttelsen overfor vandstandsstigninger, og således vides det ikke hvorvidt forudsætningen om kollaps er realistisk. I værste fald kan forudsætningen betragtes som konservativ (dvs. medføre øvre-estimat for kysttilbagetrækningen).

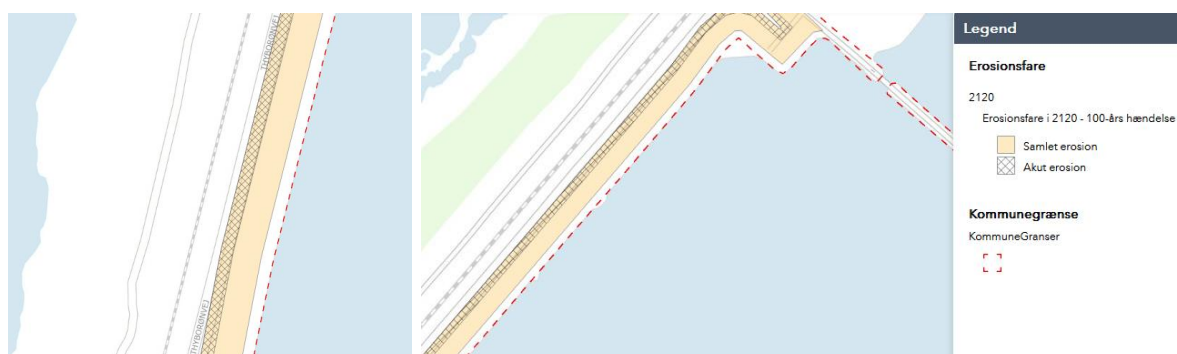




**Figur 10: Estimerede erosionsforhold for en 100-års hændelse i år 2020 på den sydlige delstrækning (venstre) og den nordlige delstrækning (højre) på strækningen "Vejen mod Thyborøn". (Kystdirektoratet, 2022c)**



**Figur 11: Estimerede erosionsforhold for en 100-års hændelse i år 2070 på den sydlige delstrækning (venstre) og den nordlige delstrækning (højre) på strækningen "Vejen mod Thyborøn". (Kystdirektoratet, 2022c)**



**Figur 12: Estimerede erosionsforhold for en 100-års hændelse i år 2120 på den sydlige delstrækning (venstre) og den nordlige delstrækning (højre) på strækningen "Vejen mod Thyborøn". (Kystdirektoratet, 2022c)**

Estimeret erosion i figur 10 - figur 12 på strækningen "Vejen mod Thyborøn" er opsummeret i tabel 1. Den kroniske erosion er baseret på differensen imellem den samlede erosion i figurerne, og den akutte erosion. Som det fremgår af tabellen, er den estimerede erosion baseret på (Kystdirektoratet, 2022c) ens på den sydlige- og nordlige delstrækning. Dette er til trods for den afskærmende effekt fra dæmningen udfor den nordlige delstrækning.



| Estimeret erosion ved en 100-års hændelse på strækningen "Vejen mod Thyborøn" |                     |                      |                     |                      |                     |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| Erosionstype:                                                                 | År 2020             |                      | År 2070             |                      | År 2120             |                      |
|                                                                               | Sydlig delstrækning | Nordlig delstrækning | Sydlig delstrækning | Nordlig delstrækning | Sydlig delstrækning | Nordlig delstrækning |
| Kronisk erosion [m]                                                           | -                   | -                    | 9                   | 9                    | 16                  | 16                   |
| Akut erosion [m]                                                              | 2                   | 2                    | 4                   | 4                    | 7                   | 7                    |

**Tabel 1: Estimeret kronisk- og akut erosion på strækningen "Vejen mod Thyborøn", baseret på (Kystdirektoratet, 2022c).**

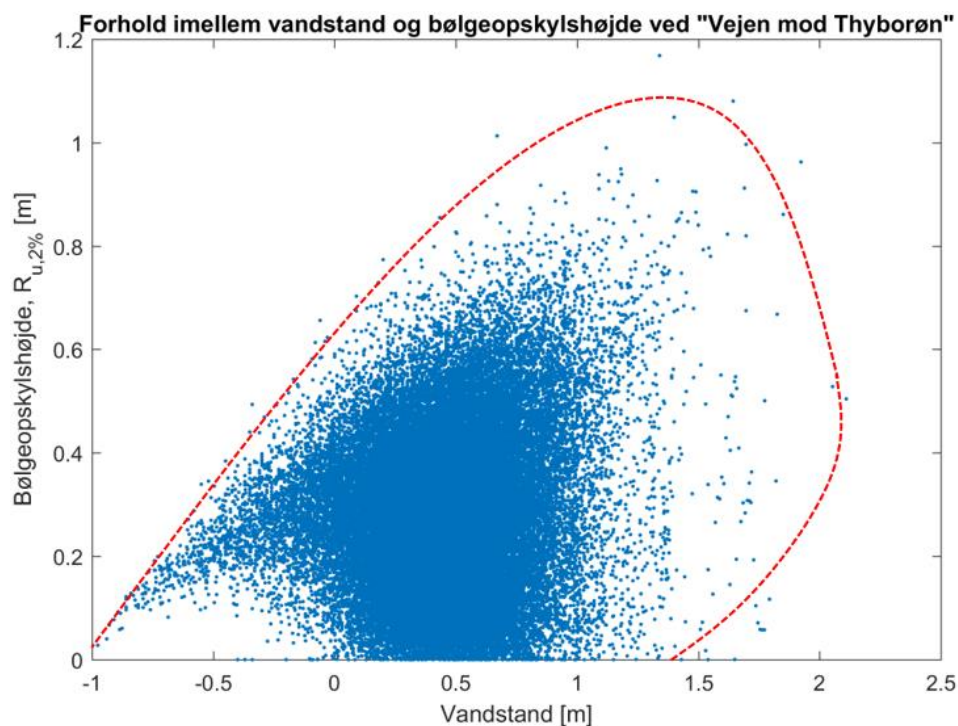
Til trods for den øgede erosion i den kommende 100-års periode er der i (Kystdirektoratet, 2022c) foreslået en strategi om at acceptere en stigning i risikoniveauet på strækningen som følge af den øgede erosion. En sådan strategi kan potentielt betyde, at der må accepteres potentielle periodevis beskadigelser på vejen, som følge af erosion. Herudover må der, såfremt diget foran vejen eroderes, accepteres potentielt bølgeopskyl til vejen under storm, hvilket potentielt kan være til gene for trafikken. Dette diskuteres nærmere i følgende afsnit 4.2.3.

#### **4.2.3 Vurdering af fremtidige erosionsforhold og bølgeopskyl med-/uden effekten fra indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m på strækningen; "Vejen mod Thyborøn"**

Vurderinger i afsnit 4.2.2 er baseret på foreliggende viden, og uden indvirkning fra indsnævringen af Thyborøn kanal til 250 m på lokale erosionsforhold. I det følgende vurderes nærmere på erosionsforhold med-/uden den forventede effekt fra indsnævringen.

Den planlagte indsnævring af Thyborøn kanal vil ikke få nogen effekt på middelvandsandsstigningen i Limfjorden, som følge af klimaændringer, men vil derimod, jf. (Rambøll, 2022), bevirke til en reduktion af ekstremvandstande under storm. Således vil indsnævringen ikke få indflydelse på den kroniske erosion ift. tilpasning af kystprofilet til de nye normale vandstandsforhold, men kan derimod potentielt have indflydelse på akut-erosionen, illustreret i hhv. figur 3 og figur 4. Indsnævringen vil dog udelukkende have indflydelse på akuterrosion såfremt erosionen forekommer samtidig med høj vandstand, hvor indsnævringen kan have en effekt.

Figur 13 viser forhold (sammenhængen) imellem vandstand ved Thyborøn havn og estimeret såkaldt bølgeopskyl,  $R_{U,2\%}$ , ved "Vejen mod Thyborøn". Bølgeopskyl, som er illustreret i figur 4, er bølgenes opløb på kysten, idet bølgerne påvirker ved at slide på kystens overflade og kan medføre skader som f.eks. erosionshuller. Yderligere kan der ske erosion af materialet under eventuelle dæksten placeret på kysten.



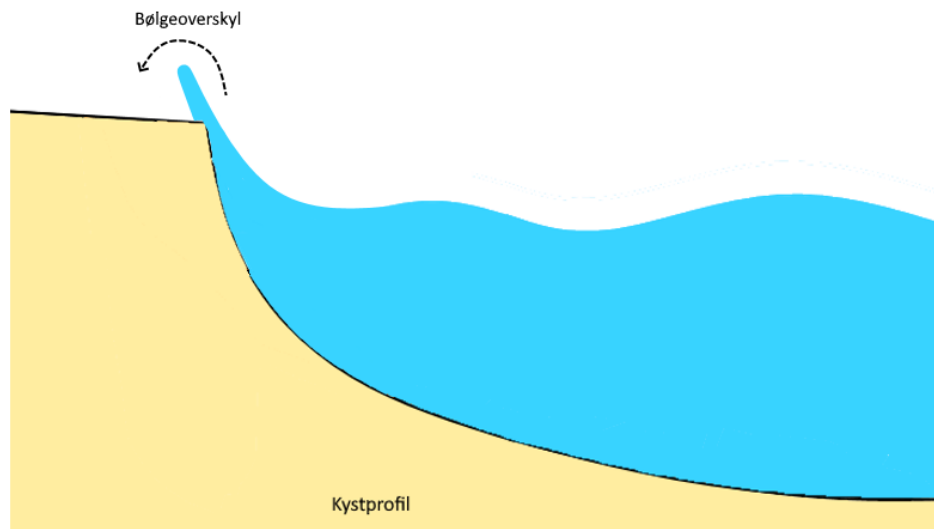
Figur 13: Forhold imellem vandstand ved Thyborøn havn og estimeret bølgeopskyl ved "Vejen mod Thyborøn" i perioden 1976 - 2019. Den stiplede røde linje illustrerer skønnet korrelation imellem ekstrem vandstand og ekstrem bølgeopskylshøjde. Bølgeopskylshøjden er fra bølger alene, og inkluderer ikke vandstandskoten. Vandstandskoten i figuren er inkl. 0,57 m vandstandsstigning.

Af figur 13 fremgår det, at der, baseret på den skønnede sammenhæng imellem ekstrem vandstand og ekstrem bølgeopskylshøjde, umiddelbart ikke forekommer maks. bølgeopskyl under forhold med maks. vandstand. Grunden hertil er, at der ved kraftig vind fra vest, hvilket medfører høj vandstand i Limfjorden, haves lav bølgehøjde ved "Vejen mod Thyborøn", da denne kyst er østvendt. Dermed vurderes det, at indsnævringen af Thyborøn kanal ikke vil have nogen indvirkning på akuterosion langs "Vejen mod Thyborøn".

Bølgeoverskyl i figur 13 er estimeret baseret på estimerede bølger via en såkaldt "fritstræksmetode", som tager højde for det frie stræk (afstand) til modsatte kyst, samt vindhastighed og -retning. Hertil er der gjort brug af målte vindhastigheder fra Thyborøn, station 6052 fra (DMI, 2022a), samt målt vandstand fra Thyborøn Havn, station 4201, fra (Kystdirektoratet, 2022a). Selve bølgeopskyllet,  $R_{u,2\%}$ , er estimeret baseret på metoden for diger i (EurOtop, 2018), hvortil der tages højde for skråt-indkomne bølger.  $R_{u,2\%}$  er et udtryk for middelværdien af de 2% højeste bølger i løbet af ca. 3 timer. Der er ift. bølgeopskyl tale om estimerer, som ikke kan anvendes direkte til eventuelt design, men alene anvendes til vurdering af sammenspil med vandstand til brug i nærværende vurderinger.

#### 4.2.4 Påvirkning fra klimaændringer på bølgeoverskyl langs strækningen; "Vejen mod Thyborøn"

I det følgende vurderes det hvorvidt, og i hvilket omfang, vandstandsstigningen kan give anledning til bølgeoverskyl på strækningen. Bølgeoverskyl er illustreret i figur 14, og opstår når den såkaldte bølgeopskylskote er højere end koten for beliggenheden af vejen. Bølgeoverskyl er relevant ift. indvirkning på klimaændringer og erosion, da overskyllet potentielt kan give beskadigelser på vejbelægningen, og da det kan give udfordringer for trafikken på Rute 181.

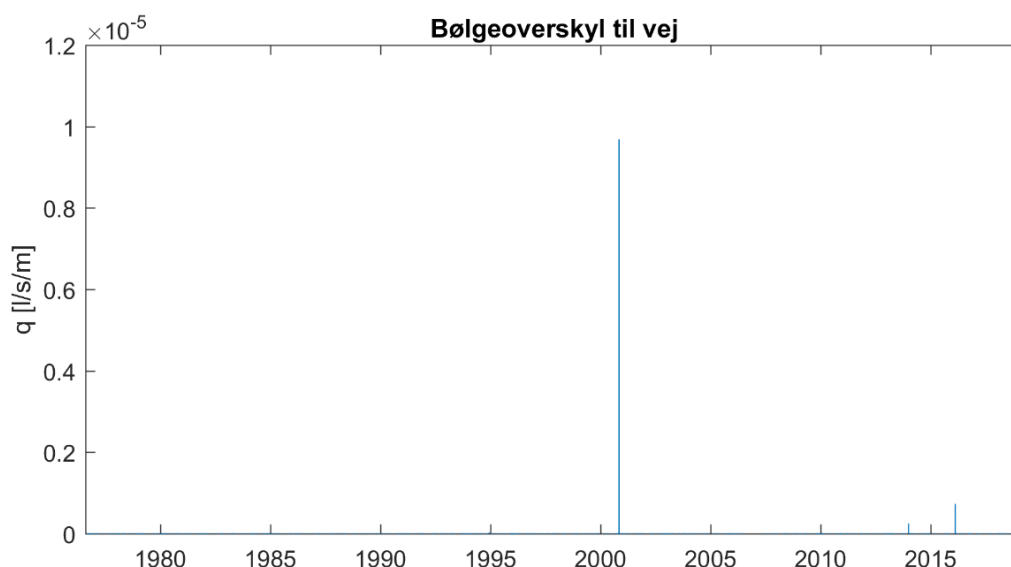


**Figur 14: Illustration af bølgeoverskyl.**

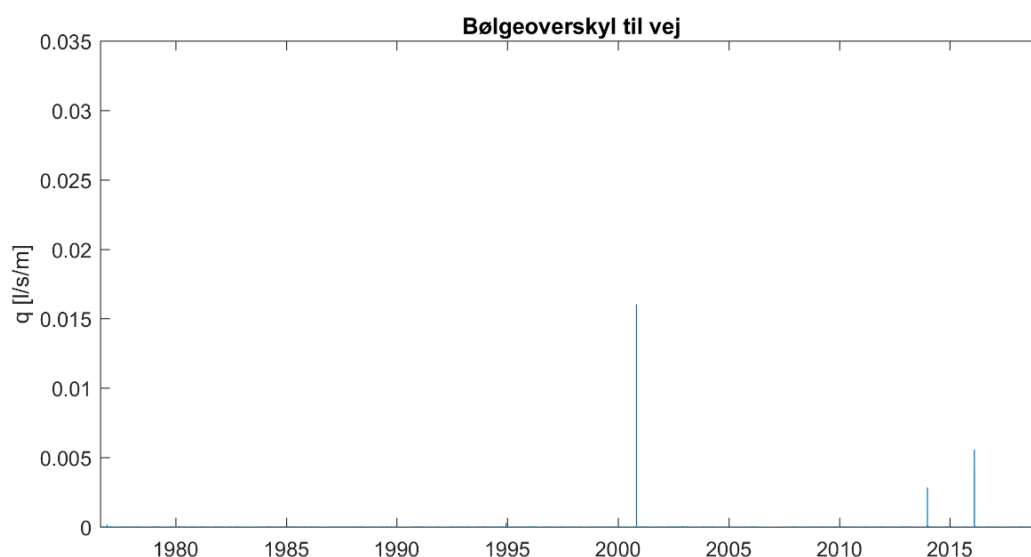
Estimeret bølgeoverskyl i perioden 1976 – 2019 til vejkoten (+3 mDVR90 jf. figur 7) langs strækningen "Vejen mod Thyborøn" er vist i figur 15 og figur 16 for hhv. eksisterende- og fremtidige situation og hhv. med- og uden indvirkning fra klimaændringer. Bølgeoverskyl er estimeret baseret på metoden i (EurOtop, 2018) for overskyl på diger, hvortil der er taget højde for indvirkningen fra skråt indkomne bølger. Til estimering af bølgeoverskyl er der gjort brug af estimerede bølgeforhold efter samme metode som beskrevet i afsnit 4.2.3.

Som det fremgår af figur 15 og figur 16, er den højeste estimerede overskylsmængde i den evaluerede periode øget fra ca.  $1 \cdot 10^{-5}$  l/s/m for eksisterende situation til ca. 0.016 l/s/m for den fremtidige situation, inkl. indflydelse fra klimaændringer. Hertil skal det nævnes, at der ikke er tale om 100-års bølgeoverskyl. Derimod er angivne overskylsmængder et udtryk for højeste overskyl i den betragtede 43 års periode.

Relativt set er der tale om en stor procentvis forøgelse af bølgeoverskyl i den fremtidige situation, men til trods herfor er den fremtidige overskylsmængde stadig lavere end den typisk tolererede grænse for overskyl på veje jf. (EurOtop, 2018), som er 1 l/s/m med forudsætning om krav til sikker personfærdsel på cykelstien langs Rute 181. Hertil skal det dog nævnes, at der ift. estimerede overskyl er tale om estimater, som udelukkende kan anvendes til indikative betragtninger.



Figur 15: Estimeret bølgeoverskyl til vejen (Rute 181) i kote +3 mDVR90 langs strækningen; "Vejen mod Thyborøn" for eksisterende situation uden indvirkning fra klimaændringer på middelvandstanden.



Figur 16: Estimeret bølgeoverskyl til vejen (Rute 181) i kote +3 mDVR90 langs strækningen; "Vejen mod Thyborøn" for fremtidige situation inkl. indvirkning fra klimaændringer på middelvandstanden (+0,57 m middelvandstand).

#### 4.2.5 Opsummering vedr. eksisterende- og fremtidige erosionsforhold, bølgeopskyl og bølgeoverskyl på strækningen; "Vejen mod Thyborøn"

Der er i afsnit 4.2.1 - 4.2.4 vurderet på nuværende- og fremtidige erosionsforhold, samt bølgeopskyl og bølgeoverskyl på den ca. 2,6 km lange strækning; "Vejen mod Thyborøn". Strækningen er karakteriseret ved at have et dige mod vest med topkote i ca. +5,3 mDVR90, og en vej beliggende i kote +3 mDVR90. På strækningen er der tale om en sand/klitkyst som delvis er beskyttet mod erosion mod øst (Nissum Bredning) i form af skråningsbeskyttelse.

Jf. (Kystdirektoratet, 2022c) forventes en tilbagetrækning af den østvendte kyst foran diget på ca. 13 m i år 2070 og 23 m i år 2120 under en 100-års situation, sammenlignet med nuværende situation. Dette er som følge af klimaændringer, jf. RCP 8.5. Hertil er det forudsat, at

eksisterende hård kystbeskyttelse (som skråningsbeskyttelsen på strækningen) vil blive undermineret og kollapse i løbet af perioden.

Til trods for erosionen og tilbagetrækningen af kysten på strækningen er der i den kommende 100-års periode jf. (Kystdirektoratet, 2022b) foreslået en strategi om at acceptere en stigning i risikoniveauet på strækningen som følge af den øgede erosion. Dette vil således betyde, at der må accepteres potentielle periodevise beskadigelser på vejen, som følge af erosion. Alternativt kan erosionsbeskyttelsen opdateres, og bringes til et niveau som kan modstå øget belastning fra effekten klimaændringer. En sådan opdatering, og det specifikke behov for en sådan, kræver mere detaljerede undersøgelser, samt vurderinger af omkostninger for eventuelle skader sammenholdt med omkostninger for opgradering af beskyttelsen.

Der forventes ingen effekt fra den planlagte indsnævring af Thyborøn kanal på erosionsforholdene langs strækningen, da der umiddelbart ikke haves sammenfald imellem maks. vandstand og maks. bølgeopskyl på den østvendte kyststrækning.

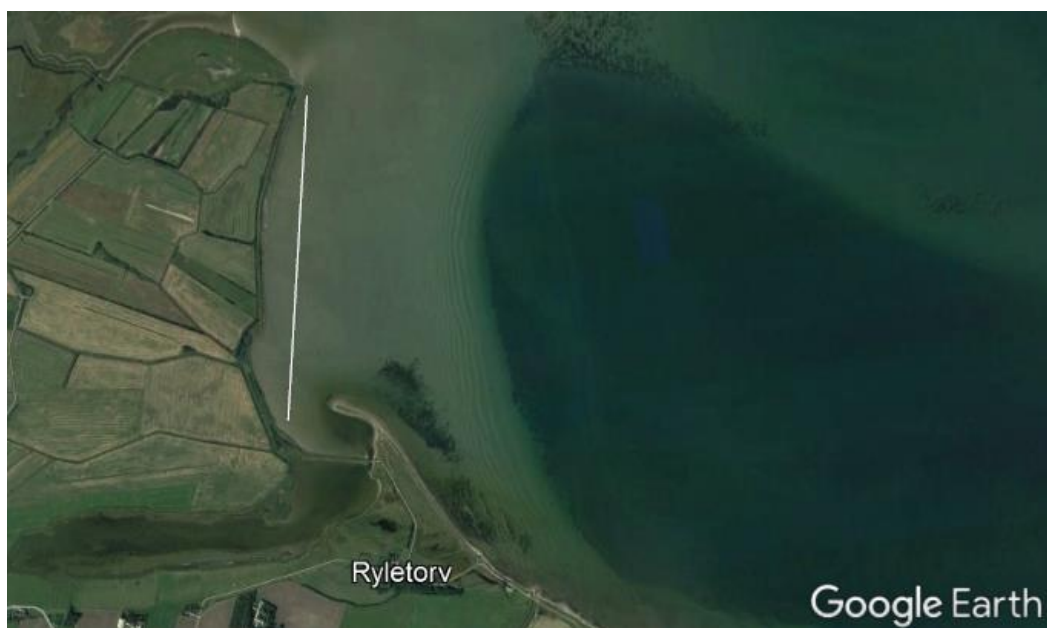
Udover en forventet erosion i den kommende periode kan der, som følge af stigning i middelvandstand pga. klimaændringer, forventes øget bølgeoverskyl til vejen på strækningen. Til trods for en stor relativ ændring i bølgeoverskyl til vejen er den estimerede fremtidige overskylsmængde dog stadig lavere end den typisk tolererede grænse for overskyl på veje jf. (EurOtop, 2018).

#### **4.3 Vurdering af erosionsforhold, bølgeopskyl, og bølgeoverskyl langs strækningen; "Plet Enge"**

Vurdering af erosionsforhold, bølgeopskyl, og bølgeoverskyl langs strækningen; "Plet Enge" beskrives i det følgende. Indledningsvis beskrives eksisterende koteforhold, kystbeskyttelse, samt geotekniske forhold på strækningen. Herefter gives en opsummering af erosionsforhold på strækningen, baseret på vurderinger fra Kystdirektoratet, hvilket er efterfulgt af en vurdering af fremtidige erosionsforhold med-/uden effekten fra indsnævringen af Thyborøn kanal.

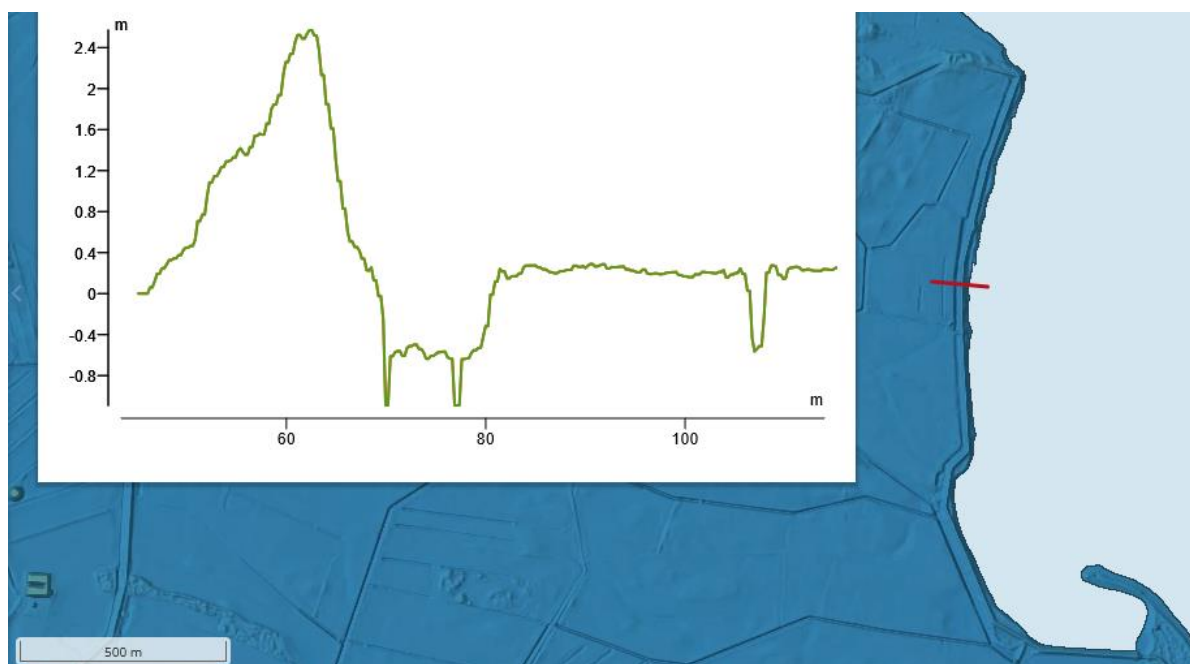
##### **4.3.1 Beskrivelse af strækningen; "Plet Enge"**

Et zoom af kyststrækningen "Plet Enge" er vist i figur 17. Strækningen ved "Plet Enge" er ca. 1,3 km lang og løber langs et østvendt dige. Strækningen er beliggende umiddelbart øst for Harboøre.



**Figur 17: Zoom af strækningen "Plet Enge". (Google Earth, 2022)**

Kyststrækningen er karakteriseret ved et dige med topkote i ca. kote +2,5 til +2,7 mDVR90. Hældningen af diget mod Limfjorden er ca. 16,5%, hvilket ca. svarer til hældning 1/6. Et højdeprofil fra ca. midt på strækningen er vist i figur 18.



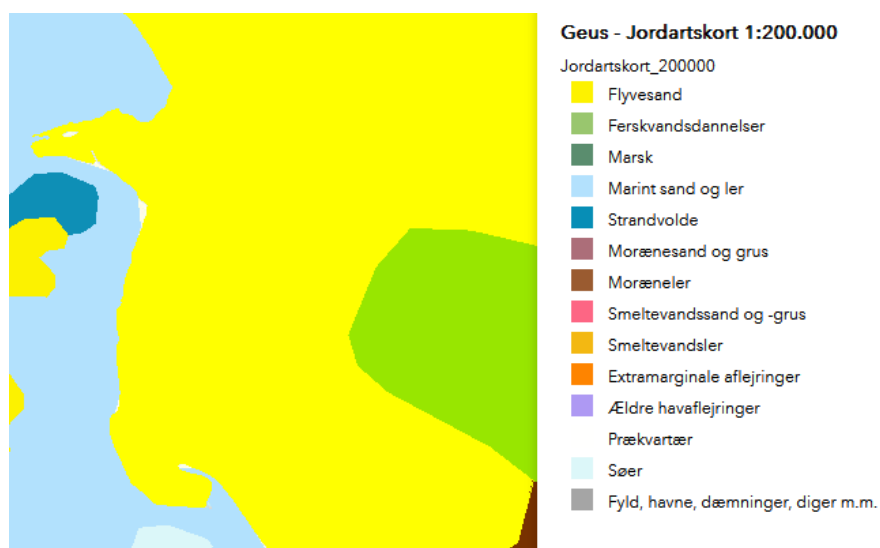
**Figur 18: Højdeprofil fra ca. midt på strækningen; "Plet Enge". (SCALGO, 2022)**

Placering af kystbeskyttelses anlæg på strækningen fremgår af figur 19. Som det ses af figuren, er diget på strækningen delvis beskyttet mod erosion i form af skråningsbeskyttelse i både den nordlige- og sydlige del af strækningen.



**Figur 19: Placering af kystbeskyttelses anlæg på strækningen "Plet Enge". (Kystdirektoratet, Kystatlas, 2022b)**

Der haves til nærværende analyser ikke detaljerede geotekniske boreprofiler fra strækningen, men af GEUS jordartskort fremgår det, at diget består af "Marint sand og ler", se figur 20. Jf. (Kystdirektoratet, 2022c) er der på strækningen tale om "sand eller klitkyst". Pga. forekomsten af marint sand må det således forventes, at diget er delvis eksponeret for erosion (hvilket med stor sandsynlighed også er grunden til at der forekommer skråningsbeskyttelse på strækningen).



**Figur 20: Jordartskort for strækningen. (Kystdirektoratet, Kystatlas, 2022b)**



#### 4.3.2 Vurdering af nuværende- og fremtidige erosionsforhold langs strækningen; "Plet Enge"

Estimerede erosionsforhold langs "Plet Enge", baseret på (Kystdirektoratet, 2022c), er vist i figur 21 - figur 23 for en 100-års hændelse i hhv. år 2020, 2070, og 2120.



Figur 21: Estimerede erosionsforhold for en 100-års hændelse i år 2020 på strækningen "Plet Enge".  
(Kystdirektoratet, 2022c)



Figur 22: Estimerede erosionsforhold for en 100-års hændelse i år 2070 på strækningen "Plet Enge".  
(Kystdirektoratet, 2022c)



**Figur 23: Estimerede erosionsforhold for en 100-års hændelse i år 2100 på strækningen "Plet Enge". (Kystdirektoratet, 2022c)**

Estimeret erosion i figur 21 - figur 23 på strækningen "Plet Enge" er opsummeret i tabel 2. Som det fremgår af tabellen, kan der frem mod år 2120 forventes en akut erosion under en 100-års hændelse på ca. 7 m, hvilket ca. svarer til akuterrosionen for samme returperiode på strækningen ved "Vejen mod Thyborøn". Herudover er det estimeret, at der frem mod år 2120 kan forekomme en kronisk erosion på ca. 16 m.

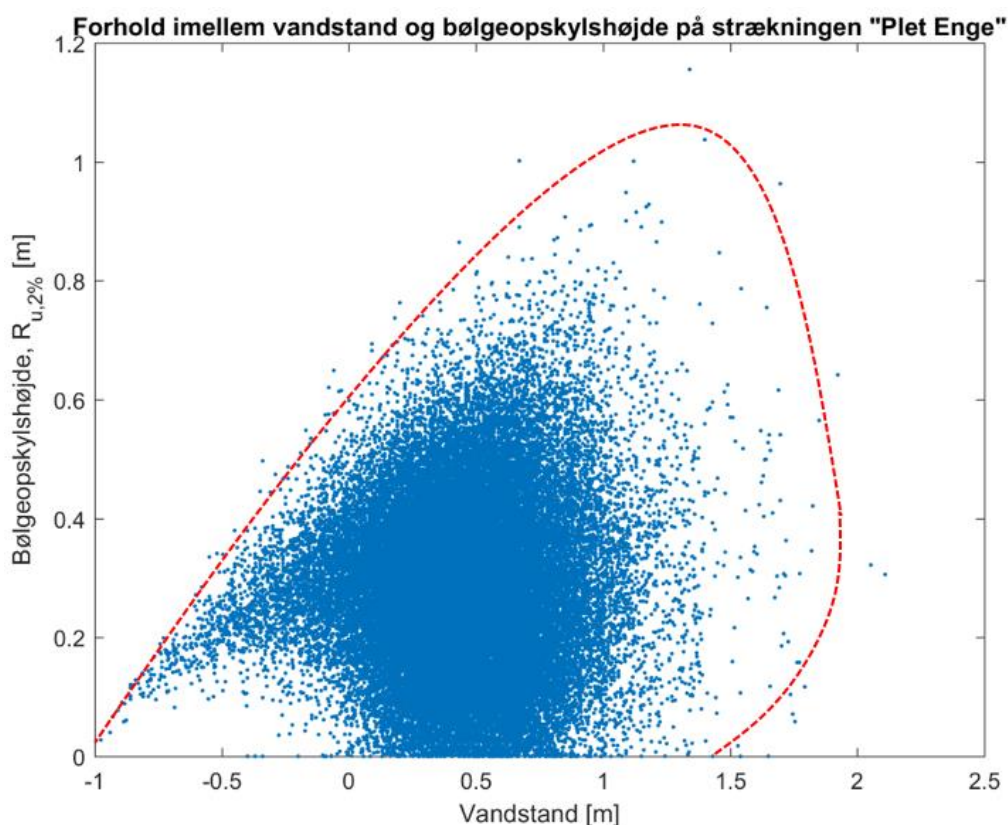
| Erosion ved en 100-års hændelse på strækningen "Plet Enge" |         |         |         |
|------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| Erosionstype:                                              | År 2020 | År 2070 | År 2120 |
| Kronisk erosion [m]                                        | -       | 9       | 16      |
| Akut erosion [m]                                           | 2       | 4       | 7       |

**Tabel 2: Estimeret kronisk- og akut erosion på strækningen "Plet Enge", baseret på (Kystdirektoratet, 2022c).**

Jf. (Kystdirektoratet, 2022c) er lavet strategiforslag om "Reduktion - Oversvømmelse" i år 2020 (nutid), og strategiforslag om "Reduktion - Oversvømmelse og Erosion" i år 2070 og år 2120.

#### **4.3.3 Vurdering af fremtidige erosionsforhold og bølgeopskyl med-/uden effekten fra indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m på strækningen; "Plet Enge"**

Figur 24 viser forhold (sammenhæng) imellem vandstand ved Thyborøn havn og estimeret såkaldt bølgeopskyl,  $R_{u,2\%}$ , ved strækningen "Plet Enge". Der haves ikke langvarige vandstandsmålinger fra Plet Enge, og derfor er det vurderet, at den nærmest beliggende vandstandsmåler ved Thyborøn Havn er mest repræsentativ for historiske vandstandsforhold på strækningen. Bølgeopskyl er estimeret baseret på samme forudsætninger som anvendt i afsnit 4.2.3.



**Figur 24: Forhold imellem vandstand ved Thyborøn havn og estimeret bølgeopskyl ved "Plet Enge" i perioden 1976 - 2019.** Den stiplede røde linje illustrerer skønnet korrelation imellem ekstrem vandstand og ekstrem bølgeopskylshøjde. Bølgeopskylshøjden er fra bølger alene, og inkluderer ikke vandstandskoten. Vandstandskoten i figuren er inkl. 0,57 m vandstandsstigning.

På samme vis som ved "Vejen mod Thyborøn", afsnit 4.2.3, fremgår det af figur 24 at der, baseret på den skønnede sammenhæng imellem ekstrem vandstand og ekstrem bølgeopskylshøjde, ikke forekommer maks. bølgeopskyl under forhold med maks. vandstand. Grunden hertil er, at der ved kraftig vind fra vest, hvilket medfører høj vandstand i Limfjorden, haves lav bølgehøjde på den østvendte strækning. Dermed vurderes det, at der for strækningen ved "Plet Enge" ikke opnås nogen gavnlig effekt fra indsnævringen af Thyborøn kanal på akuterosionen.

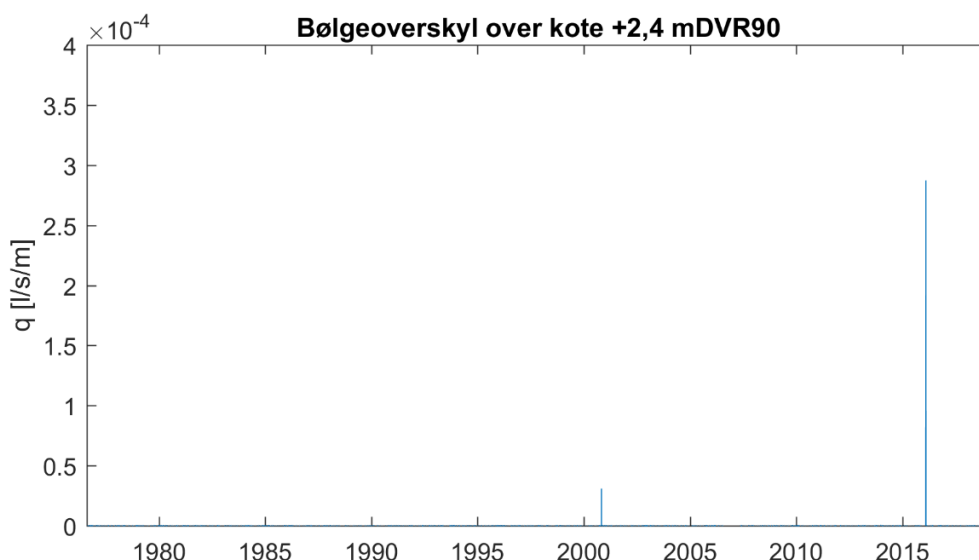
#### 4.3.4 Påvirkning fra klimaændringer på bølgeoverskyl langs strækningen; "Plet Enge"

I det følgende vurderes det hvorvidt, og i hvilket omfang, vandstandsstigningen kan give anledning til øget bølgeoverskyl på strækningen. Bølgeoverskyl er relevant, da overskyllet potentielt kan give beskadigelser på diget, samt bagvedliggende arealer.

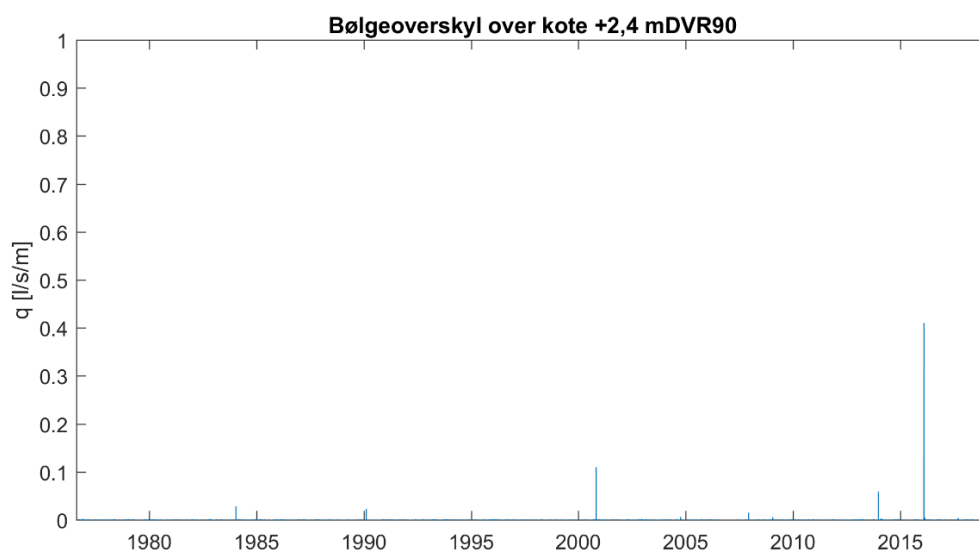
Estimeret bølgeoverskyl i perioden 1976 – 2019 til kronekoten af diget (+2.4 mDVR90 jf. figur 18) langs strækningen "Plet Enge" er vist i figur 25 og figur 26 for hhv. eksisterende- og fremtidige situation og hhv. med- og uden indvirkning fra klimaændringer. Bølgeoverskyl er estimeret baseret på samme forudsætninger som beskrevet i afsnit 4.2.4.

Som det fremgår af figur 25 og figur 26, er den højeste estimerede overskylsmængde i den evaluerede periode øget fra ca.  $2,8 \cdot 10^{-4}$  l/s/m for eksisterende situation til ca. 0.4 l/s/m for den fremtidige situation, inkl. indflydelse fra klimaændringer. Hertil er der, på samme vis som i afsnit 4.2.4, ikke tale om 100-års bølgeoverskyl, men højeste overskyl i den betragtede 43 års periode.

Jf. (EurOtop, 2018) kan et overskylsvolumen på over 0,1 l/s/m, som er tilfældet for den fremtidige situation på strækningen, medføre beskadigelse af græslaget på kronen af diget samt bagsiden. Sådanne beskadigelser kan i værste fald medføre så store erosionsskader, at de i sidste ende kan bevirke til kollaps af diget.



Figur 25: Estimeret bølgeoverskyl til vejen i kote +2,4 mDVR90 langs strækningen; "Plet Enge" for eksisterende situation uden indvirkning fra klimændringer på middelvandstanden.



Figur 26: Estimeret bølgeoverskyl til vejen i kote +2,4 mDVR90 langs strækningen; "Plet Enge" for fremtidige situation inkl. indvirkning fra klimændringer på middelvandstanden (+0,57 m middelvandstand).

#### 4.3.5 Opsummering vedr. eksisterende- og fremtidige erosionsforhold, bølgeopskyl og bølgeoverskyl på strækningen; "Plet Enge"

Der er i afsnit 4.3.1 - 4.3.4 vurderet på nuværende- og fremtidige erosionsforhold, samt bølgeopskyl og bølgeoverskyl på den ca. 1,3 km lange strækning; "Plet Enge". Strækningen er karakteriseret ved at have et dige mod vest med topkote i ca. kote +2,5 – 2,7 mDVR90. På strækningen er der tale om en sand-/klitkyst som er delvis beskyttet mod erosion fra øst (Nissum Bredning) i form af skråningsbeskyttelse.

Jf. (Kystdirektoratet, 2022c) forventes en akut erosion af den østvendte kyst ca. 4 m i år 2070 og 7 m i år 2120 under en 100-års situation, sammenlignet med nuværende situation. Dette er som følge af klimaændringer, jf. RCP 8.5. Hertil er det forudsat, at eksisterende hård kystbeskyttelse (som skråningsbeskyttelsen på strækningen) vil blive undermineret og kollapse i løbet af perioden. Desuden forekommer der frem mod år 2120 en forventet kronisk erosion på ca. 16 m.

Jf. (Kystdirektoratet, 2022c) er der for strækningen foreslået en strategi om "*Reduktion - Oversvømmelse*" i år 2020 (nutid), og strategiforslag om "*Reduktion - Oversvømmelse og Erosion*" i år 2070 og år 2100. Den estimerede akuterrosion og kronisk erosion i år 2120 kan medføre, at foden af diget eroderes. Desuden viser højvandssimuleringer i (SCALGO, 2022), at vandet løber bagom diget fra nord og syd. Derfor virker strategiforslagene fra (Kystdirektoratet, 2022b) om at reducere oversvømmelse og erosion umiddelbart fornuftig. Det reelle behov for forstærkning af diget kræver mere detaljerede undersøgelser, samt vurderinger af omkostninger for eventuelle skader sammenholdt med omkostninger for opgradering af beskyttelsen.

Der forventes ingen effekt fra den planlagte indsnævring af Thyborøn kanal på erosionsforholdene langs strækningen, da der umiddelbart ikke haves sammenfald imellem maks. vandstand og maks. bølgeopskyl på den østvendte kyststrækning.

Udover en forventet erosion i den kommende periode kan der, som følge af stigning i middelvandstand pga. klimaændringer, forventes øget bølgeoverskyl på diget. Det øgede bølgeoverskyl i år 2120 kan jf. (EurOtop, 2018) potentielt medføre beskadigelser på diget. Disse beskadigelser skal betragtes som et ekstra bidrag til erosion/bskadigelser udover akuterrosionen.

#### **4.4 Vurdering af erosionsforhold, bølgeopskyl, og bølgeoverskyl langs strækningen; "*Remmer Strand*"**

Vurdering af erosionsforhold, bølgeopskyl, og bølgeoverskyl på strækningen; "*Remmer Strand*" beskrives i det følgende. Indledningsvis beskrives eksisterende højdeforhold, kystbeskyttelse, samt geotekniske forhold på strækningen. Herefter gives en opsummering af erosionsforhold på strækningen, baseret på vurderinger fra Kystdirektoratet, hvilket er efterfulgt af en vurdering af fremtidige erosionsforhold med-/uden effekten fra indsnævringen af Thyborøn kanal.

##### **4.4.1 Beskrivelse af strækningen; "*Remmer Strand*"**

Et zoom af kyststrækningen "*Remmer Strand*" er vist i figur 27. Strækningen ved Remmer Strand er ca. 1,8 km langt og løber langs en nordøstvendt kyst. Strækningen er beliggende ved sommerhusområdet Remmer Strand umiddelbart vest for Remmer Strand havn.



**Figur 27: Zoom af strækningen "Remmer Strand". (Google Earth, 2022)**

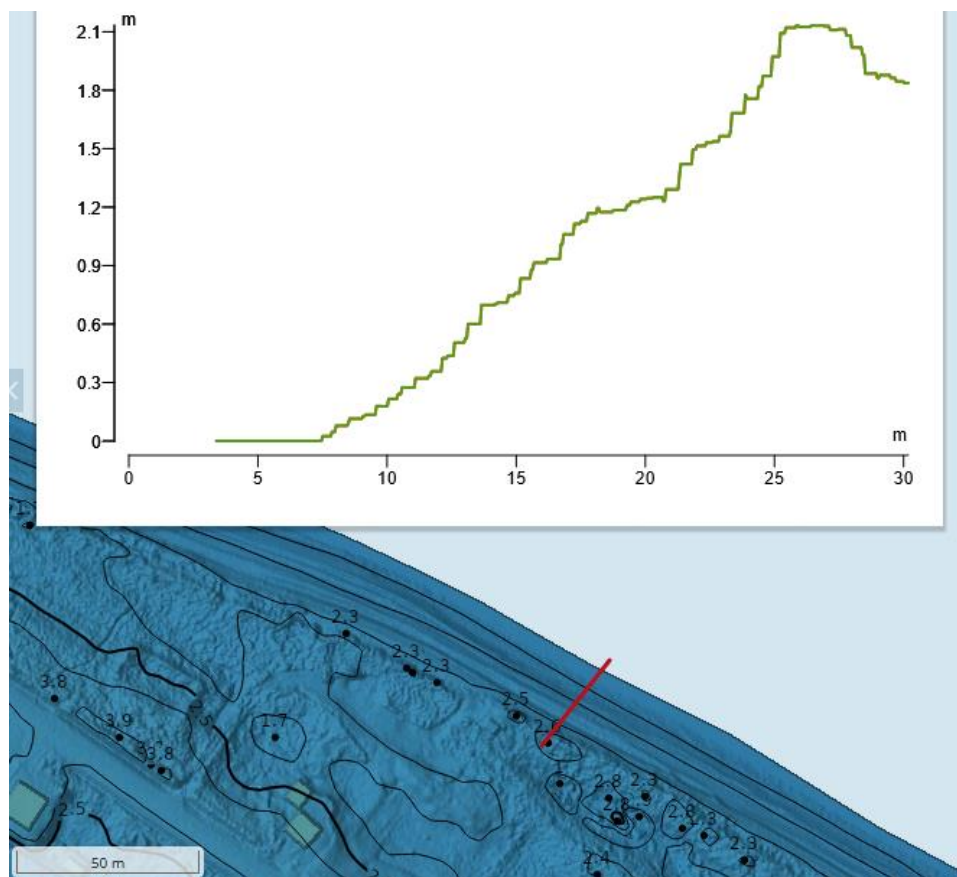
Et foto fra strækningen kan ses i figur 28. Som det fremgår af fotoet, er det tale om en naturlig klitkyst.



**Figur 28: Foto taget fra strækningen "Remmer Strand". (Google Earth, 2022)**

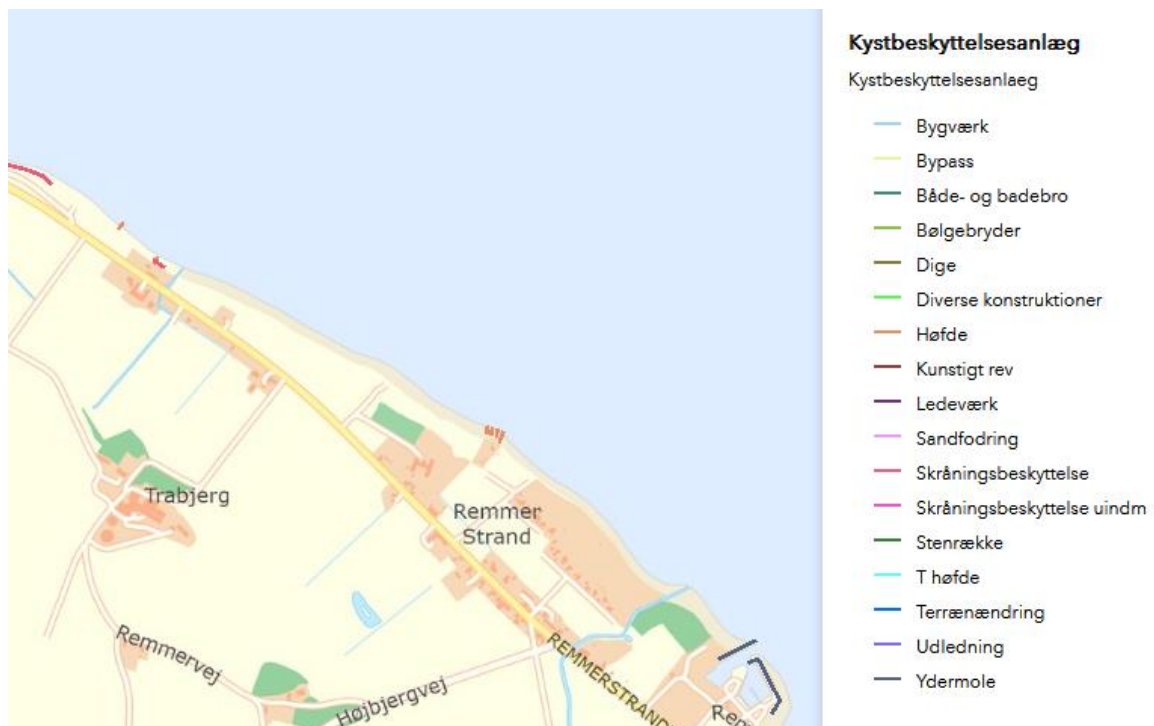
Klitten langs kyststrækningen har topkote i ca. kote +2,1 mDVR90, hvilket beskytter mod højvandstand fra havet. Hældningen af diget mod Limfjorden er ca. 10%, hvilket ca. svarer til hældning 1/10. Et højdeprofil fra ca. midt på strækningen er vist i figur 29. Baglandskoten varierer og er ned til ca. 1,3 mDVR90 ca. midt på strækningen.





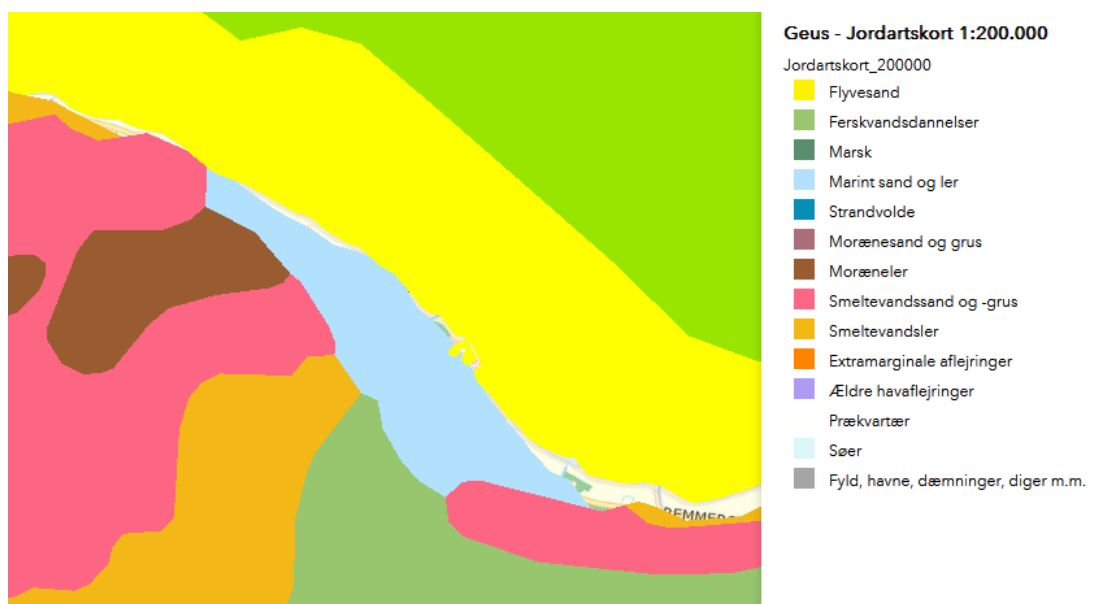
**Figur 29: Højdeprofil fra ca. midt på strækningen; "Remmer Strand". (SCALGO, 2022)**

Placering af kystbeskyttelses anlæg på strækningen fremgår af figur 30. Som det ses af figuren, er kyststrækningen delvis beskyttet mod erosion i form af skråningsbeskyttelse i den nordvestlige del af strækningen samt beskyttet af høfder umiddelbart midt på strækningen.



Figur 30: Placering af kystbeskyttelsesplan på strækningen "Remmer Strand". (Kystdirektoratet, 2022b)

Der haves til nærværende analyser ikke detaljerede geotekniske bopreprofiler fra strækningen, men af GEUS jordartskort fremgår det, at kyststrækningen består af *marint sand og ler* på størstedelen af strækningen, samt *smeltevandssand og -grus* på den nordvestligste del, se figur 31. Jf. (Kystdirektoratet, 2022b) er der på strækningen tale om "*sand eller klitkyst*". Pga. forekomsten af marint sand må det således forventes, at strækningen er delvis eksponeret for erosion (hvilket med stor sandsynlighed også er grunden til at der forekommer skråningsbeskyttelse og høfder).

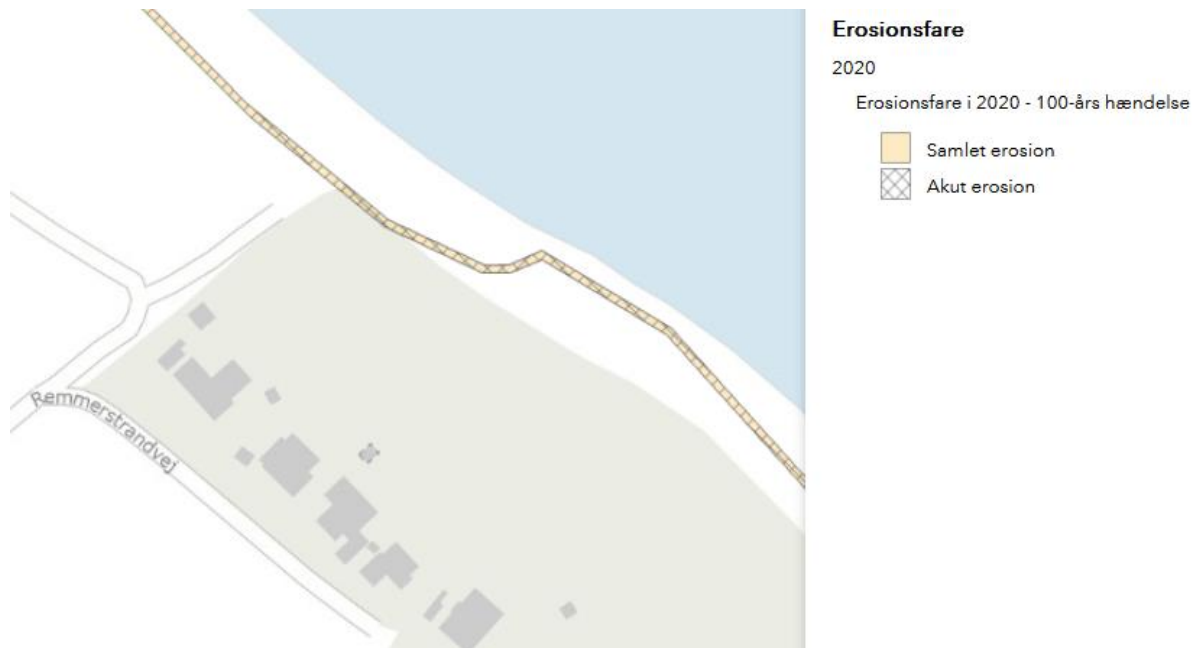


Figur 31: Jordartskort for strækningen. (Kystdirektoratet, 2022b)

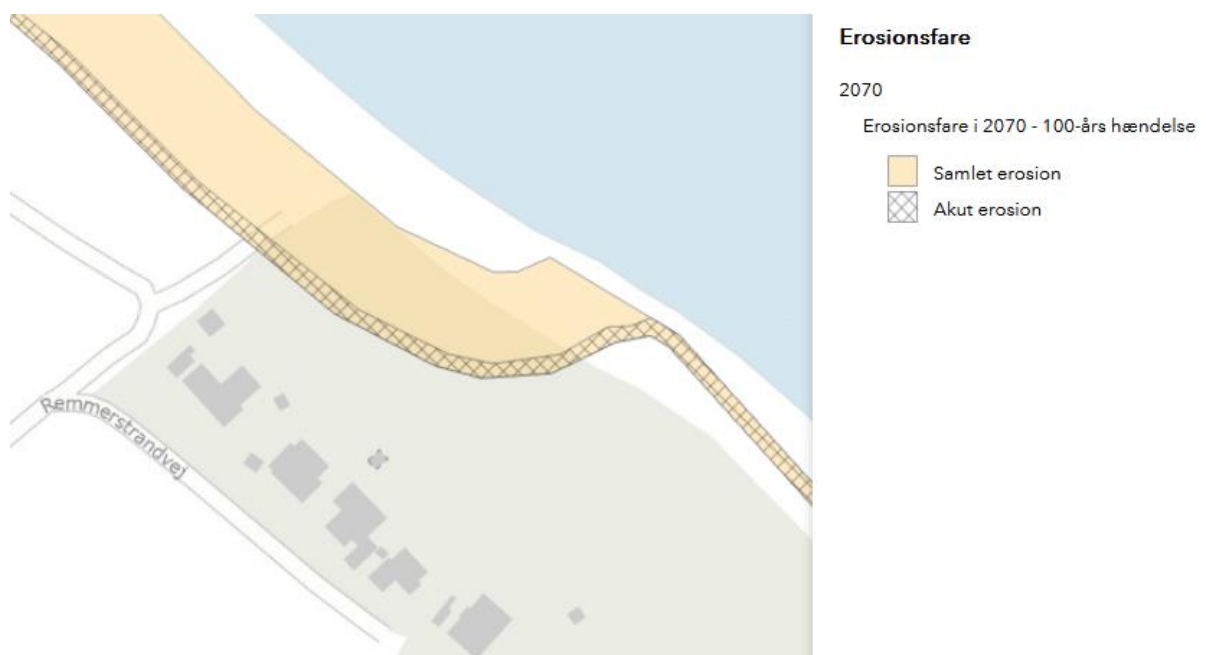


#### 4.4.2 Vurdering af nuværende- og fremtidige erosionsforhold langs strækningen; "Remmer Strand"

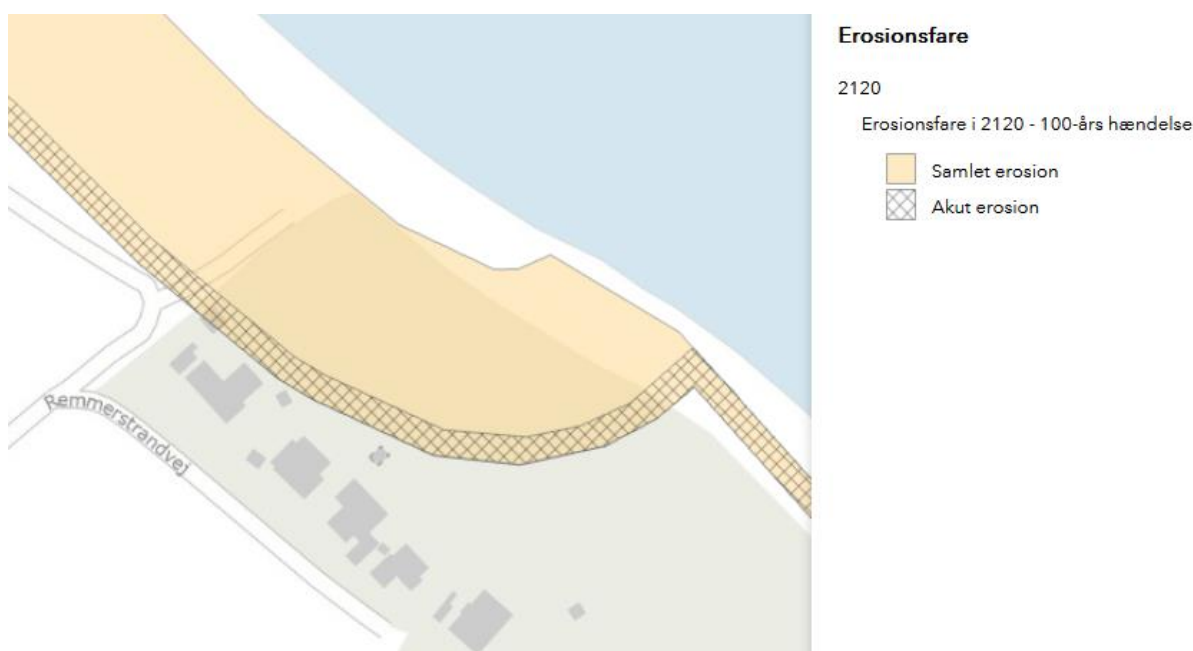
Estimerede erosionsforhold langs strækningen "Remmer Strand", baseret på (Kystdirektoratet, 2022c), er vist i figur 21 - figur 23 for en 100-års hændelse i hhv. år 2020, 2070, og 2120. Som det fremgår af figurerne, er det estimeret at der i perioden forekommer både akut- og kronisk erosion (år 2070 og 2120).



Figur 32: Estimerede erosionsforhold for en 100-års hændelse i år 2020 på strækningen "Remmer Strand". (Kystdirektoratet, 2022c)



Figur 33: Estimerede erosionsforhold for en 100-års hændelse i år 2070 på strækningen "Remmer Strand". (Kystdirektoratet, 2022c)



**Figur 34: Estimerede erosionsforhold for en 100-års hændelse i år 2100 på strækningen "Remmer Strand". (Kystdirektoratet, 2022c)**

Estimeret erosion i figur 21 - figur 23 på strækningen "Remmer Strand" er opsummeret i tabel 3. Som det fremgår af tabellen, er der på strækningen estimeret en forholdsvis signifikant kronisk erosion i år 2120 på ca. 44 m, hvilket formentlig skyldes den relativt signifikante langsgående sandtransport som følge af bølger fra vest, samt som følge af den østgående netto-strøm i Limfjorden. De eksisterende høfder på strækningen er højest sandsynligt etableret med et formål om at reducere den langsgående sandtransport, men jf. (Kystdirektoratet, 2021) er der gjort en forudsætning om at eksisterende kystbeskyttelse på strækningen vil undermineres ifm. vandstandsstigning.

| Erosion ved en 100-års hændelse på strækningen "Remmer Strand" |         |         |         |
|----------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| Erosionstype:                                                  | År 2020 | År 2070 | År 2120 |
| Kronisk erosion [m]                                            | -       | 24      | 44      |
| Akut erosion [m]                                               | 2       | 4       | 7       |

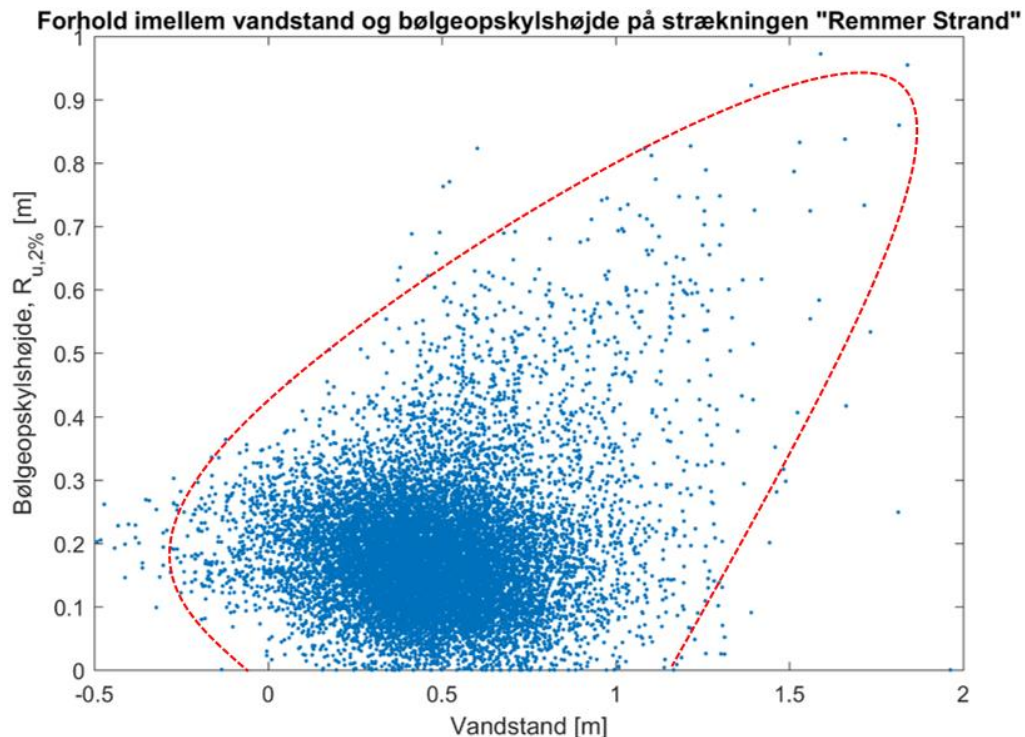
**Tabel 3: Estimeret kronisk- og akut erosion på strækningen "Remmer Strand", baseret på (Kystdirektoratet, 2022c).**

Til trods for den øgede erosion i den kommende 100-års periode er der i (Kystdirektoratet, 2022c) foreslået en strategi om at acceptere en stigning i risikoniveauet på strækningen som følge af den øgede erosion. Dette vil således betyde, at der må accepteres potentielle periodevise beskadigelser på privat ejendom samt på vej, som følge af erosionen.

#### **4.4.3 Vurdering af fremtidige erosionsforhold og bølgeopskyl med-/uden effekten fra indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m på strækningen; "Remmer Strand"**

Figur 24 viser forhold imellem vandstand ved Lemvig Havn og estimeret såkaldt bølgeopskyl,  $R_{U,2\%}$ , ved strækningen "Remmer Strand". Der haves ikke langvarige vandstandsmålinger fra Remmer Strand og derfor er det vurderet, at den tættest beliggende vandstandsmåler ved Lemvig Havn er mest repræsentativ for historiske vandstandsforhold på strækningen. Hertil skal det

nævnes, at ekstremvandstanden ved Remmer Strand er lidt højere sammenlignet med ved Lemvig Havn, jf. (Rambøll, 2022). Vandstandsmålinger fra Lemvig Havn er justeret for målefejl, hvilket er nærmere beskrevet i (Rambøll, 2022). Bølgeopskyl er estimeret baseret på samme forudsætninger som anvendt i afsnit 4.2.3 og afsnit 4.3.3.



**Figur 35: Forhold imellem vandstand ved Thyborøn havn og estimeret bølgeopskyl ved "Remmer Strand" i perioden 2001 - 2019. Den stiplede røde linje illustrerer skønnet korrelation imellem ekstrem vandstand og ekstrem bølgeopskylshøjde. Bølgeopskylshøjden er fra bølger alene, og inkluderer ikke vandstandskoten. Vandstandskoten i figuren er inkl. 0,57 m vandstandsstigning.**

Af figur 35 er der i modsætning til strækningerne "Vejen mod Thyborøn" og "Plet Enge" en tendens til at der med stor sandsynlighed forekommer maks. bølgeopskyl under forhold med maks. vandstand. Grunden hertil er, at der ved kraftig vind fra vest og nordvest både haves relativ høj vandstand ved Remmer Strand, samt relativt store bølger grundet det lange frie stræk mod vest og nordvest.

Grundet sammenhængen imellem bølgeopskylshøjden og højvandstanden under storm kan det forventes, at der ved en reduktion af højvandstanden, som er tilfældet ifm. etablering af indsnævringen af Thyborøn kanal til 250 m bredde, vil opnås en reduktion i akuterosionen.

Jf. (Rambøll, 2022) medfører indsnævringen af Thyborøn kanal en forventet reduktion af ekstremvandstanden under storm til et niveau ca. svarende til den nuværende situation – dvs. ekskl. effekten fra klimaændringer. Til trods for at den fremtidige højvandstand reduceres til et nuværende niveau, er dette ikke nødvendigvis ensbetydende med at også akuterosionen (som afhænger af højvandstanden) reduceres til det nuværende niveau, da stigningen i middelvandstand (som indsnævringen af Thyborøn kanal ikke vil modvirke) vil medføre at bølger angriber højere i kystprofilen, hvilket øger erosionen. Således vurderes det, at indsnævringen af Thyborøn kanal kan reducere akuterosionen til et niveau svarende til imellem år 2020 (nutid) og år 2120 i tabel 3.

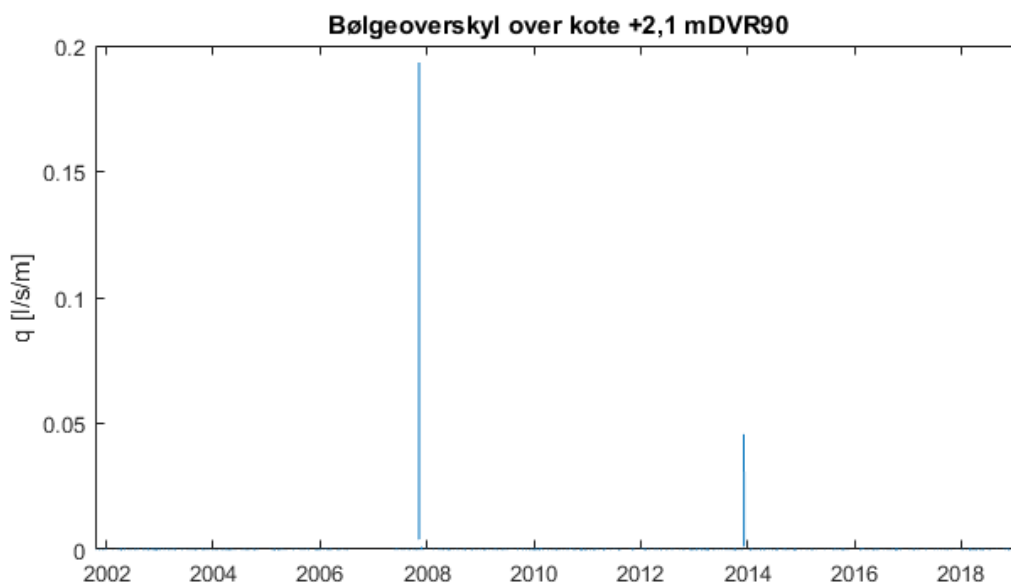
#### 4.4.4 Påvirkning fra klimaændringer på bølgeoverskyl langs strækningen; "Remmer Strand"

I det følgende vurderes det hvorvidt, og i hvilket omfang, vandstandsstigningen kan give anledning til øget bølgeoverskyl på strækningen. Bølgeoverskyl er relevant, da overskyllet potentielt kan give beskadigelser på diget, samt bagvedliggende arealer.

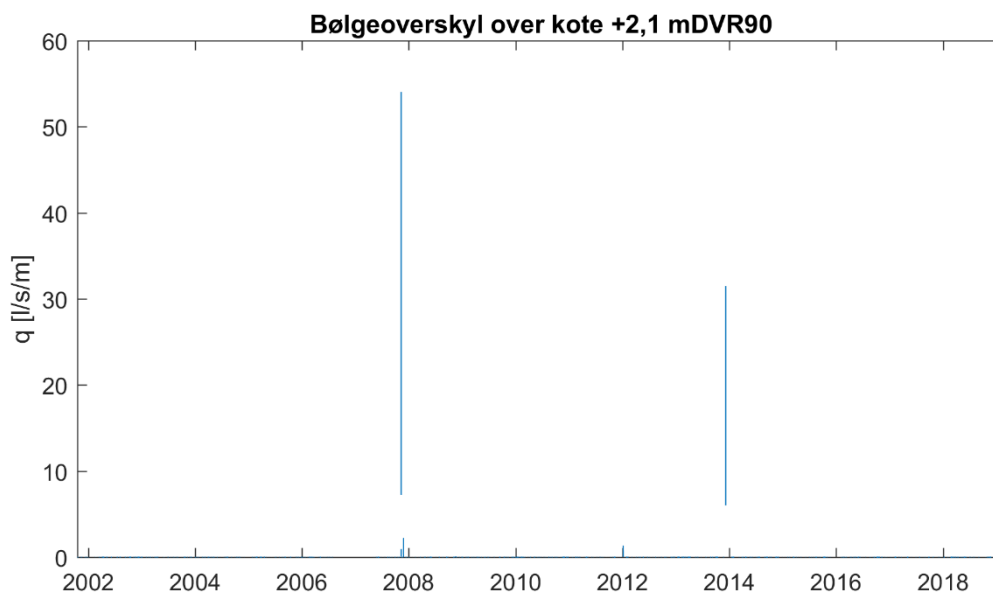
Estimeret bølgeoverskyl i perioden 2001 – 2019 til højeste kote langs kyststrækningen (+2,1 mDVR90 jf. figur 7) er vist i figur 25 og figur 26 for hhv. eksisterende- og fremtidige situation og hhv. med- og uden indvirkning fra klimaændringer. Bølgeoverskyl er estimeret baseret på samme forudsætninger som beskrevet i afsnit 4.2.4 og afsnit 4.3.4.

Som det fremgår af figur 25 og figur 26, er den højeste estimerede overskylsmængde i den evaluerede periode øget fra ca. 0,18 l/s/m for eksisterende situation til ca. 54 l/s/m for den fremtidige situation, inkl. indflydelse fra klimaændringer. Hertil er der, på samme vis som i afsnit 4.2.4, ikke tale om 100-års bølgeoverskyl, men højeste overskyl i den betragtede 18 års periode.

Som tidligere nævnt kan et overskylsvolumen på over 0,1 l/s/m jf. (EurOtop, 2018), som er tilfældet allerede i den eksisterende situation på strækningen, medføre beskadigelse af græslaget på klitten (både kronen samt for- og bagside). Et fremtidigt overskylsvolumen på ca. 54 l/s/m kan potentielt øge denne erosion betragteligt, og kan samtidig bevirke til oversvømmelse i baglandet.



Figur 36: Estimeret bølgeoverskyl til vejen i kote +2,1 mDVR90 langs strækningen; "Remmer Strand" for eksisterende situation uden indvirkning fra klimaændringer på middelvandstanden.



Figur 37: Estimeret bølgeoverskyl til vejen i kote +2,1 mDVR90 langs strækningen; "Remmer Strand" for fremtidige situation inkl. indvirkning fra klimaændringer på middelvandstanden (+0,57 m middelvandstand).

#### 4.4.5 Opsummering vedr. eksisterende- og fremtidige erosionsforhold, bølgeopskyl og bølgeoverskyl på strækningen; "Remmer Strand"

Der er i afsnit 4.4.1 - 4.4.4 vurderet på nuværende- og fremtidige erosionsforhold, samt bølgeopskyl og bølgeoverskyl på den ca. 1,8 km lange strækning; "Remmer Strand". Strækningen er karakteriseret ved at have en naturlig klit mod nord øst med topkote i ca. kote +2,1 mDVR90. På strækningen er der tale om en sand/klitkyst som delvis er beskyttet mod akut erosion i form af skråningsbeskyttelse og kronisk erosion i form af hølfer.

Jf. (Kystdirektoratet, 2022c) forventes en akut erosion af den nordøstvendte kyst på ca. 4 m i år 2070 og ca. 7 m i år 2120 under en 100-års situation, sammenlignet med nuværende situation. Den forventede kroniske erosion på strækningen er relativt signifikant – ca. hhv. 24 m og 44 m i år 2070 og år 2120. Dette er som følge af klimaændringer, jf. RCP 8.5. Hertil er det forudsat, at eksisterende hård kystbeskyttelse (som skråningsbeskyttelsen på strækningen) vil blive undermineret og kollapse i løbet af perioden.

Jf. (Kystdirektoratet, 2022c) er der til trods for den relativt signifikante erosion på strækningen som følge af klimaændringer foreslået en strategi om at acceptere en stigning i risikoniveauet på strækningen som følge af den øgede erosion. Dette vil således betyde, at der må accepteres potentielle periodevis beskadigelser på privat ejendom samt vej i baglandet, som følge af erosionen. Alternativt kan erosionsbeskyttelsen opdateres, og bringes til et niveau som kan modstå øget belastning fra effekten klimaændringer. En sådan opdatering, og behovet herfor, kræver mere detaljerede undersøgelser, samt vurderinger af omkostninger for eventuelle skader sammenholdt med omkostninger for opgradering af beskyttelsen.

Grundet sammenhængen imellem bølgeopskyls-højden og højvandstanden under storm på strækningen kan det forventes, at der ved en reduktion af højvandstanden, som er tilfældet ifm. etablering af indsnævringen af Thyborøn kanal til 250 m bredde, vil opnås en reduktion i akuterrosionen. Således vurderes det, at indsnævringen af Thyborøn kanal kan reducere akuterrosionen til et niveau svarende til imellem år 2020 (nutid) og år 2120 i tabel 3.

Udover en forventet erosion i den kommende periode kan der, som følge af stigning i middelvandstand pga. klimaændringer, forventes øget bølgeoverskyl på klitten. Det øgede bølgeoverskyl kan jf. (EurOtop, 2018) potentielt medføre beskadigelser på både klitten samt i baglandet (pga. oversvømmelse). Disse beskadigelser skal betragtes som et ekstra bidrag til erosion/beskadigelser udover akuterosionen.

## 5. KONKLUSIONER OG DISKUSSION

Der er i nærværende rapport gennemført screening af kystforhold for tre udvalgte kyststrækninger i Lemvig Kommune mod Limfjorden. Formålet har været at danne grundlag for input til opdatering af Lemvig Kommunes klimatilpasningsplan, hvori der indgår retningslinjer om udpegning af strækninger og områder som kan være særligt udsatte for erosion.

Screeningen af erosionsforholdene i Lemvig Kommune er hovedsageligt gennemført baseret på foreliggende viden - herunder input fra nationale vejledninger for regionale/lokale estimater vedr. nuværende- og fremtidige erosionsforhold. Dette er suppleret med vurderinger af bølgeoverskyl, baseret på estimerede overskylsvolumener fra estimerede bølger samt vandstande fra nærmeste beliggende vandstandsmåler.

Konklusioner fra screeningen vedr. erosion, og effekter fra klimaændringer herfor, på de tre udvalgte kyststrækninger i Lemvig Kommune, er opsummeret i tabel 4. Som det fremgår af tabel 4, kan der på de tre strækninger forventes en forholdsvis signifikant erosion i år 2070, som følge af klimaændringer.

|                                                                                                      | Vejen mod Thyborøn                  | Plet Enge                                              | Remmer Strand                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fremtidig estimeret samlet erosion i år 2070 ifm. 100-års storm baseret på (Kystdirektoratet, 2022c) | 13 m                                | 13 m                                                   | 28 m                                                                                                                        |
| Risiko for bidrag til erosion fra øget bølgeoverskyl i år 2070                                       | <u>Lav</u>                          | <u>Middel</u><br>(potentielle skader på græsbelægning) | <u>Høj</u><br>(øget bølgeoverskyl kan potentielt medføre beskadigelser på både klitten samt i baglandet pga. oversvømmelse) |
| Forventet effekt fra indsnævring af Thyborøn kanal på erosionsforhold i år 2070                      | <u>Ingen</u>                        | <u>Ingen</u>                                           | Reduktion af akuterrosion under storm, hvilket potentielt kan reducere den samlede erosion til imellem 26 m - 28 m          |
| Foreslået strategi fra Kystdirektoratet i år 2070 (Kystdirektoratet, 2022c)                          | "Acceptér at risikoniveauet stiger" | "Reduktion – Oversvømmelse og Erosion"                 | "Acceptér at risikoniveauet stiger"                                                                                         |

**Tabel 4: Opsummering af konklusioner fra screeningen vedr. erosion, og effekter fra klimaændringer herfor, på de tre udvalgte kyststrækninger i Lemvig Kommune. Farver i tabellen illustrerer lav risiko/erosion (grøn), middel (gul), høj (rød).**

På strækningerne; "Vejen mod Thyborøn" og "Remmer Strand" foreslår Kystdirektoratet (Kystdirektoratet, 2022c), at man til trods for den fremtidige estimerede erosion accepterer et øget risikoniveau for strækningerne. Potentielt kan en sådan strategi dog betyde, at der kan forekomme tab på infrastruktur (veje) samt privat ejendom. Hvorvidt de pågældende fremtidige erosionsforhold accepteres på strækningerne bør indgå i en mere specifik risikovurdering for strækningerne.

På strækningen "Plet Enge" foreslår Kystdirektoratet (Kystdirektoratet, 2022c) at der i år 2070 etableres reduktion af oversvømmelse og erosion. Dette kan evt. være i form af hård kyst-/højvandsbeskyttelse, eller sandfodring (potentielt en kombination heraf).



Et eventuelt afværgetiltag, som kompensation for klimaændringers bidrag til øget erosion, kan være at foretage indsnævring af Thyborøn Kanal til 250 m. Effekten herfra vil dog begrænses til reduktion af akut erosion på strækningen ved "Remmer Strand", hvortil den skønnede effekt desuden er forholdsvis begrænset. Således kan det umiddelbart konkluderes, at hovedformålet med indsnævring af Thyborøn kanal bør være med henblik på at reducere ekstremvandstande i den vestlige Limfjord, jf. (Rambøll, 2022), og i mindre grad erosionen.

### **5.1 Diskussion og videre brug af analyser og konklusioner i nærværende rapport**

Nærværende rapport har til formål at gennemføre en screening af udvalgte strækninger i Lemvig Kommune. De udvalgte strækninger er udpeget med baggrund i at disse forventes at være særligt udsatte for eventuel øget erosion som følge af klimaændringer. Hertil er det dog ikke undersøgt hvorvidt, og i hvilket omfang, der kan forekomme strækninger i Lemvig Kommune som er mere udsatte for fremtidig erosion pga. klimaændringer.

Screeninger af fremtidige erosionsforhold er baseret på (Kystdirektoratet, 2022c) med udgangspunkt i regionale forhold. Hertil er der ift. fremtidige erosionsforhold gjort en forudsætning om at eventuelle eksisterende hårde kystbeskyttelseskonstruktioner på strækningerne vil kollapse som følge af øget middelvandstand. Hvorvidt denne forudsætning er realistisk, kræver mere detaljerede analyser. I værste fald kan forudsætningen betragtes som konservativ (dvs. medføre et øvre estimat for erosionen på strækningen).

Estimerede bølgehøjder, run-up højder og overskylsrater i nærværende rapport er baseret på relativt simplificerede betragtninger, og kan derfor alene anvendes til vurdering (screening) af fremtidige erosionsforhold og f.eks. ikke design af eventuelle fremtidige kyst-/højvandsbeskyttelsesforanstaltninger.

## REFERENCER

- DMI. (2022a). Hentet fra <https://www.dmi.dk/frie-data/>
- DMI. (2022b). *Klimaatlas.dk*. Hentet fra <https://www.dmi.dk/klima-atlas/>
- EurOtop. (2018). *Manual on Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures, 2nd Edn.*
- Google Earth. (2022).
- Kystdirektoratet. (2021). *Metoderapport for Kystplanlægger*.
- Kystdirektoratet. (2022a). Data hentet fra <https://kyst.dk/soeterritoriet/maalinger-og-data/vandstandsmaalinger/>.
- Kystdirektoratet. (2022b). *Kystatlas*. Hentet fra [www.kystatlas.dk](http://www.kystatlas.dk)
- Kystdirektoratet. (2022c). *Kystplanlægger*. Hentet fra <https://kystplanlægger.dk/>
- Rambøll. (2022). *Vandstandsstatistik i Lemvig Kommune - Input til klimatilpasningsplan*.
- SCALGO. (2022). Hentet fra <https://scalgo.com/>