

Notat – Besparelseskatalog

Projekt navn **Vores Kyst – Klima- og kystbeskyttelse af Blokhusskoven, Kelstrup Strand og Hejsager Strand**
 Projektnr. **1100060489**
 Kunde **Haderslev Kommune**
 Notatnr. **1100060489-4-02-003**
 Version **1.0**
 Til **Haderslev Kommune**
 Fra **Rambøll A/S**
 Kopi til **-**

Udarbejdet af **PHK**
 Kontrolleret af **AVP**
 Godkendt af **AVP**

Dato 2025/06/29

Indhold

1	Indledning	3
2	Oplæg til besparelspotentialer	3
3	Redegørelse for besparelser	8
3.1	Optimering af design for klitdige og klitrække	8
3.1.1	Grundlag	8
3.1.2	Beregninger	10
3.1.3	Besparelse	10
3.1.4	Risici og usikkerheder.....	11
3.1.5	Anbefaling	12
3.1.6	Drift og vedligehold	12
3.2	Optimering af design og reduktion af sikringsniveauet (svarende til klimatillægget – 29 cm) for klitdige og klitrække	12
3.2.1	Grundlag	12
3.2.2	Beregninger	12
3.2.3	Besparelse	12
3.2.4	Risici og usikkerheder.....	13
3.2.5	Anbefaling	13
3.2.6	Drift og vedligehold	13
3.3	Fravalg af sikring (opfyldning) af skrænten ved Blokhusskoven.....	14
3.3.1	Grundlag	14
3.3.2	Beregninger	14
3.3.3	Besparelse	15
3.3.4	Risici og usikkerheder.....	15
3.3.5	Anbefaling	15
3.3.6	Drift og vedligehold	15
3.4	Reduktion af stenkastning.....	15
3.4.1	Grundlag	16
3.4.2	04A – Fravalg af stenkastning ved Bramsensgårdvej	16
3.4.3	04B – Erstatning af stenkastning med klitrække.....	17
3.4.4	04C – Reduktion af stenkastningens topkote	17
3.4.5	04D – Accept af større skadesniveau	18

Rambøll
 Hannemanns Allé 53
 DK-2300 København S

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

Rambøll Danmark A/S
 CVR NR. 35128417

3.4.6	Besparelse	18
3.4.7	Risici og usikkerheder	19
3.4.8	Anbefaling	19
3.4.9	Drift og vedligehold	20
3.5	Reduktion af klitvegetation	20
3.5.1	Grundlag	20
3.5.2	05A – Ingen klitvegetation på klitrækker	20
3.5.3	05B – Reduceret omfang af klitvegetation	21
3.5.4	05C – Reduceret tæthed af klitvegetation	21
3.5.5	Besparelse	21
3.5.6	Risici og usikkerheder	21
3.5.7	Anbefaling	22
3.5.8	Drift og vedligehold	22
3.6	Jorddige ved Hejsager Strandby	22
3.6.1	Grundlag	22
3.6.2	Beregninger	23
3.6.3	Besparelse	25
3.6.4	Risici og usikkerheder	25
3.6.5	Anbefaling	26
3.6.6	Drift og vedligehold	26
3.7	Reduktion af sikringsniveau (svarende til klimatillægget – 29 cm) for tværdige	26
3.7.1	Grundlag	26
3.7.2	Beregninger	27
3.7.3	Besparelse	27
3.7.4	Risici og usikkerheder	27
3.7.5	Anbefaling	28
3.7.6	Drift og vedligehold	28
3.8	Fravalg af håndtering af overfladevand i Fredskovparken og Hejsager Strandby	28
3.8.1	Grundlag	28
3.8.2	Beregninger	28
3.8.3	Besparelse	29
3.8.4	Risici og usikkerheder	29
3.8.5	Anbefaling	29
3.8.6	Drift og vedligehold	29
4	Referencer	29

1 Indledning

Der er på baggrund af det opdaterede dispositionsforslag og tilhørende anlægsoverslag, se ref. [1], besluttet af Haderslev Kommune, at potentielle besparelser skal undersøges nærmere. Det skyldes primært, at det opdaterede anlægsoverslag ekskl. rådgivning er forøget med ca. 135 % ift. tidligere udarbejdet overslag. Det opdaterede overslag lyder på ca. 102 mio. kr. mod ca. 43 mio. kr. i det tidligere udarbejdede overslag – begge ekskl. moms og rådgivning.

Nærværende notat behandler identificerede, betydende besparelspotentialer, og disse kan efter aftale implementeres i projektet.

Det understreges, at detaljeringsgraden af potentialerne generelt er på et lavt niveau, hvorfor disse er behæftet med usikkerhed. De oplyste besparelser skal derfor alene ses som en indikator for en potentiel besparelse, og denne er ikke at sammenstille med den endelige forventede anlægsøkonomi.

2 Oplæg til besparelspotentialer

I Tabel 2-1 er potentielle besparelser oplistet, og der er givet et estimat på den forventede besparelse. Desuden er det angivet, om besparelsen kan anbefales implementeret i projektet eller ej. Det bør dog noteres, at forslagene til besparelser generelt vil få betydning for bl.a. robustheden og fremtidssikringen af projektet. Der skal derfor i nogen grad efter etablering af projektet forventes større vedligeholdelsesomkostninger samt omkostninger til at øge kystbeskyttelsen ved fremtidige, klimabetingede havspejlsstigninger.

Redegørelse for hvert af besparelspotentialerne sammen med de forventede konsekvenser og eventuelle omkostninger til øget vedligehold er præsenteret i afsnit 3.

Tabel 2-1: Potentielle besparelser i projektet "Vores Kyst".

Nr.	Beskrivelse af besparelspotentiale	Anbefales	Forventet besparelse inkl. tillægssatser
01	Optimering af design for klitdige og klitrække I første omgang er optimeringen alene gennemført for klitdiget ved Kelstrup Strand. Beregningerne viser at klitdigets højde (sikringsniveau) eller bredde kan reduceres, hvilket giver en besparelse på sandmængderne og dermed en økonomisk besparelse. Resultatet for Kelstrup Strand i form af enten reduceret sikringsniveau eller bredde af klitdiget er direkte videreført til øvrige delstrækninger for afdækning af den samlede besparelse. Disse delstrækninger detaljeres først senere ifm. detailprojekteringen. Det er groft estimeret at den samlede besparelse i sand på strækningen fra Kelstrup Bæk (St. 0+550) til Hejsager Strandby (St. 3+250), den del af strækningen som er beskyttet af klitdiger og	Ja Klitdiger og klitrækker bør optimeres ift. indledende forudsætninger.	2.000.000 til 3.000.000 kr.

Nr.	Beskrivelse af besparelspotentiale	Anbefales	Forventet besparelse inkl. tillægssatser
	klitrækker med en samlet længde på 2700 m, beløber sig til mellem 10.000 og 15.000 m³. Det skal bemærkes, at det optimerede klitdige ikke ændrer på risikoen for erosion eller oversvømmelse, idet forudsætningerne for designet er fastholdt. Klitdiger og -rækker vil dog være mindre robuste ved implementering af optimeringen end ved fastholdelse af de indledende antagelser.		
02	Optimering af design og reduktion af sikringsniveauet (svarende til klimatillægget – 29 cm) for klitdige og klitrække Optimering og reduktion af sikringsniveauet giver en betydelig besparelse i sandmængderne, og dermed en betydelig økonomisk besparelse. Der gøres opmærksom på, at en evt. implementering betyder, at kystbeskyttelsen ikke er fremtidssikret for det stigende havvandspejl, hvorfor det anbefales at sikringsniveauet løbende øges i takt med at vandspejlsstigningerne indtræffer. Det kan gøres ifm. den i øvrigt påkrævede vedligeholdelsesfodring. Ved reduktion af sikringsniveauet vil der forekomme større og større risiko for erosion og oversvømmelse i takt med at havniveauet stiger. Som for potentiale nr. 01 er beregningerne alene udført for Kelstrup Strand, og resultatet er videreført til de øvrige delstrækninger. Disse undersøges først nærmere ifm. detailprojekteringen. Det er groft estimeret at den samlede besparelse i sand på strækningen fra Kelstrup Bæk (St. 0+550) til Hejsager Strandby (St. 3+250), den del af strækningen som er beskyttet af klitdiger og klitrækker med en samlet længde på 2700 m, beløber sig til mellem 39.000 og 55.000 m³.	Ja Under forudsætning af at kystbeskyttelsens sikringsniveau øges løbende svarende til havspejlsstigningerne.	7.900.000 til 11.100.000 kr.
	<i>Note:</i> <i>For besparelspotentiale nr. 01 og 02 er det kun muligt at vælge implementering af den ene af disse, da de omhandler den samme besparelse dog med og uden hensyn til klimatillægget.</i>		
03	Fravalg af sikring (opfyldning) af skrænten ved Blokhusskoven Der gøres opmærksom på, at en evt. implementering betyder, at sommerhusene på Blokhusskoven (i alt 6 styk, hvoraf et er flyttet til modsatte side af vejen)	Nej Grundet risikoen for at sommerhuse styrter ned på	Ca. 7.000.000 kr.

Nr.	Beskrivelse af besparelspotentiale	Anbefales	Forventet besparelse inkl. tillægssatser
	fortsat vil være i fare for at styrte ned på stranden ved brud i eksisterende skrænt.	stranden og risiko for personskade.	
04	Reduktion af stenkastning		
04A	Fravalg af stenkastning ved Bramsensgårdvej På denne strækning, som er ca. 160 m, er sommerhusene på Bramsensgårdvej ikke akut truet af erosion, og der kan derfor accepteres fortsat erosion og større skadesniveau ved stormflodshændelser. Der forudsættes dog, at der skal etableres en mindre beskyttelse af nr. 80 og 82, og at etablering af sandstrand op til kote +1,5 m fastholdes. Der er mulighed for yderligere besparelse, hvis stenkastningen ved skrænten foran Kelstrup Klint også udgår. Det er dog vurderet at sommerhusene er væsentligt mere udsat, hvorfor det ikke er anbefalet som en besparelse.	Ja Hvis der kan accepteres større erosion af skrænten.	Ca. 3.500.000 kr.
04B	Erstatning af stenkastning med klitrække Stenkastning langs Kelstrup Klint og Bramsensgårdvej erstattes med en klitrække op til sikringsniveauet tilsvarende løsningen på Kelstrup Skovvej. Det vil resultere i en større besparelse. Der skal dog forventes et større vedligehold af klitrækken (sandet) end ved anlæggelse af stenkastningen.	Ja Hvis der kan accepteres større omkostninger til vedligehold.	Ca. 3.600.000 kr.
04C	Reduktion af stenkastningens topkote Topkoten af stenkastning reduceres til +3,00 m langs med Kelstrup Klint og Bramsensgårdvej. I dispositionsforslaget er der forudsat anvendt en topkote på +4,00 m. Det vurderes, at det er acceptabelt at stenkastningen på denne delstrækning ikke har samme topkote som ved skræntopfyldningen på Blokhusskoven, da eksisterende morænelers skråning kan tolerere større overskylsmængder end opfyldt ved Blokhusskoven. Ved at reducere topkoten af stenkastningen kan der opnås en besparelse, samtidig med at en betydelig beskyttelse bevares.	Ja Hvis der kan accepteres mindre erosionsskader af skrænten umiddelbart over toppen af stenkastningen.	Ca. 1.600.000 kr.
04D	Accept af større skadesniveau Bevarelse af stenkastning, men der accepteres et større skadesniveau og omlejring af dæksten under stormflodshændelser. Ved at tillade et større skadesniveau på stenkastningen kan der anvendes mindre dæksten,	Nej Reduktionen vurderes at være ubetydelig ift. potentielle omkostninger til genopretning af	Ca. 1.300.000 kr.

Nr.	Beskrivelse af besparelspotentiale	Anbefales	Forventet besparelse inkl. tillægssatser
	og dermed opnås en besparelse af stenmængderne, samtidig med at en vis beskyttelse af skrænten bevares.	stenkastningen efter en hændelse.	
	<i>Note: Det skal bemærkes, at samtlige besparelserne ikke direkte kan implementeres i projektet. Hvis der ønskes kombinationer af besparelserne, så skal disse tilpasses den indbyrdes påvirkning. Således kan der ikke forventes den samlede oplyste besparelse.</i>		
05	Reduktion af klitvegetation		
05A	Ingen klitvegetation på klitrækker Klitrækkerne på Kelstrup Skovvej og Kelstrup Kystvej beplantes ikke med klitvegetation, og der plantes således kun vegetation på klitdigerne på Kelstrup Strand, Hejsager Strandvej og Hejsager Strandby. Det vurderes at klitvegetation på klitrækkerne er mindre væsentlig, da de sikrer mod erosion af skrænten, og en del omlejring af sandet er acceptable. Det kan dog give øget sandfygning på disse strækninger.	Ja Da den øgede risiko for sandfygning ikke forventes at påvirke klitrækkens beskyttende effekt.	Ca. 750.000 kr.
05B	Reduceret omfang af klitvegetation Gældende anlægsoverslag medtager beplantning af klitdiger og klitrækker med ca. 4 planter pr. m ² fra kote +2,0 m på forsideskråningen, hen over digekronen og ned på bagsiden. Vegetationen kan begrænses til en højere kote eller til kun at gælde for kronen. Reduktionen kan dog give øget sandfygning. Der er givet besparelspotentialer for hhv. klitvegetation fra kote +2,5 m på forsiden og klitvegetation kun på kronen og bagsiden.	Ja For vegetation fra kote +2,5 m, men det bør undersøges nærmere om vegetation alene på kronen og bagside er acceptable.	Vegetation fra +2,5 m: Ca. 1.000.000 kr. Vegetation på krone og bagside: Ca. 2.100.000 kr.
05C	Reduceret tæthed af klitvegetation Ved at nedsætte plantetætheden på klitdiger og klitrækker, og derved reducere antal planter per kvadratmeter, opnås der lavere etableringsomkostninger. Et mere sporadisk og mindre ensartet plantedække giver dog en forlænget periode med øget risiko for sandfygning. For besparelsen er det antaget at plantetætheden reduceres til 2 planter pr. m ² . Alternativt kan man beplante delområder med ca. 4 planter pr. m ² , mens andre delområder ikke beplantes.	Måske	Ca. 2.300.000 kr.
	<i>Note: Det skal bemærkes, at ved kombination af besparelserne i nr. 05A til 05C så vil de oplyste</i>		

Nr.	Beskrivelse af besparelspotentiale	Anbefales	Forventet besparelse inkl. tillægssatser
	<i>besparelser reduceres, da det samlede besparelspotential reduceres pga. delposternes indbyrdes påvirkning.</i>		
06	Jorddige ved Hejsager Strandby Der foreslås implementering af jorddige ved Hejsager Strandby langs vejen fremfor fremskudt klitdige. Det kan gøres ved at hæve eksisterende dige og ved at anlægge nyt dige på strækningen vest for saunahus. Ved denne løsning flyttes udløbsbygværk, højvandsport og pumpestation til rørunderføringen af Ulvekær Bæk ved vejen. Udover en betydelig besparelse har løsningen betydelige fordele ift. vedligehold, da jorddiget kun kræver slåning af græs, hvorimod klitdiget forventes at skulle vedligeholdelsesfodres løbende og efter større hændelser. Så ift. omkostninger til vedligehold vurderes jorddiget mere økonomisk. Derudover er det sandsynligt, at myndighed vil kræve at direkte og indirekte påvirket §3 beskyttet strandeng på bagside af klitdiget skal erstattes. Det er oplyst af Bygherre, at det er et areal på ca. 2,5 ha. Som minimum skal der forventes, at der skal etableres erstatningsnatur i forholdet 1:2, altså skal der genskabes 5 ha strandeng andetsteds. Omkostningerne hertil er ikke indeholdt i opdateret anlægsoverslag, men det vurderes at etablering af erstatningsnatur er omkostningstung. Jorddiget vil have en væsentlig mindre påvirkning af strandengen, hvorfor omkostninger til erstatningsnatur er væsentligt mindre.	Ja Tilbagetrukket jorddige vil yde tilsvarende beskyttelse mod oversvømmelse som klitdige. Det skal afklares nærmere, om forstranden yder tilstrækkelig bølgedæmpning til, at jorddiget ikke påvirkes af uhensigtsmæssigt store bølger i designsituationen.	Ca. 3.800.000 kr.
07	Reduktion af sikringsniveau (svarende til klimatillægget – 29 cm) for tværdige Sikringsniveauet for tværdiget foreslås reduceret til +2,3 m svarende til at klimatillægget (29 cm) ikke tages i regning. Der forudsættes mindre tilpasning af digets højde, fra ca. kote +2,1 til +2,3 dog uden ændring af for- og bagsidehældning (fodaftryk) som forbliver 1:1,5. Beregninger viser, at diget ikke er stabil under en stormflodshændelse med vandstand til +2,16 m. Det er derfor ikke en gangbar løsning.	Nej Diget er ikke stabilt, og vil skulle forstærkes forventelig svarende til gældende løsning.	0 kr.
08	Fravalg af håndtering af overfladevand i Fredskovparken og Hejsager Strandby	Ja	Ca. 4.600.000 kr.

Nr.	Beskrivelse af besparelspotentiale	Anbefales	Forventet besparelse inkl. tillægssatser
	Der undlades etablering af drænledninger og pumpebrønde i Fredskovparken og Hejsager Strandby. Det noteres, at grunderejerne i fællesskab eller gennem grundejerforeninger kan gennemføre afvandingsprojekt uden for projektet, og at problemet med manglende afvandingen af overfladevand ikke påvirkes af kystbeskyttelsesprojektet. Vand fra Ulvekær Bæk håndteres under stormflod ved udpumpning. Fravalget kan også begrundes med, at der i andre områder i projektet er behov for håndtering af overfladevand, hvor det dog ikke håndteres igennem projektet.	Kan løses af grundejerne udenfor projektet.	

3 Redegørelse for besparelser

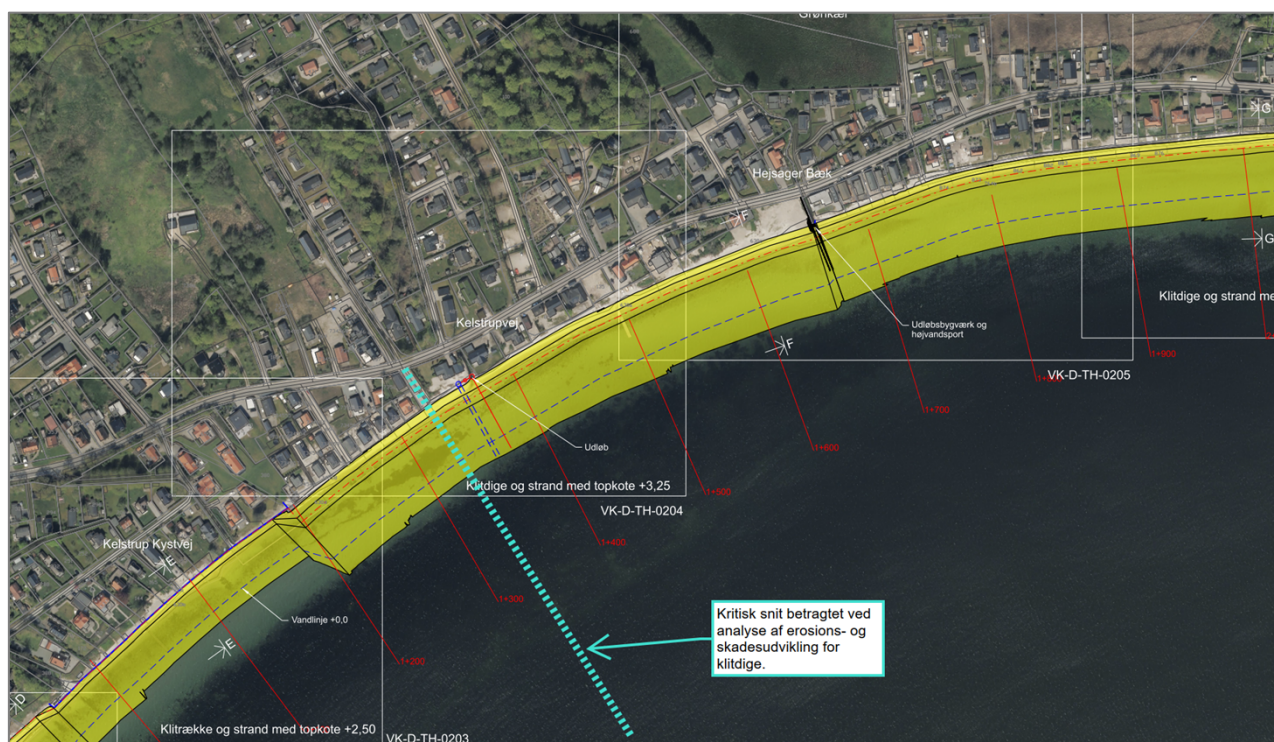
3.1 Optimering af design for klitdige og klitrække

3.1.1 Grundlag

Med henblik på at identificere potentielle optimeringer af klitdigets geometri er der gennemført en række simuleringsskørslers af den forventede erosions- og skadesudvikling under den dimensionsgivende stormflodshændelse (Oktoberstormen 2023). Analysen er foretaget ved anvendelse af det numeriske open source-modelværktøj XBeach, som beskriver samspillet mellem bølger, vandstand og sedimenttransport i kystzonen, og som er særligt velegnet til vurdering af erosion af klitter, diger og strandvolde.

Formålet har været at undersøge, om den oprindeligt foreslåede udformning af klitdige og klitrække kan tilpasses – herunder specifikt gennem reduktion af kronekote (sikringsniveau) og kronebredde – og derved minimere den nødvendige sandmængde uden at forringe den hydrauliske ydeevne og robusthed under ekstreme stormflodshændelser.

Udgangspunktet for analysen er et repræsentativt tværsnit i klitdiget ved Kelstrup Strand (omtrent st. 1+335, se Figur 3-1), som antages at være en af de mest kritiske lokaliteter. Her ligger diget med den højeste kronekote (+3,25 m), samtidig med at det bagvedliggende terræn er blandt det laveste i området. Klitdiget har en initial kronebredde på 10 m, en forsidehældning på 1:10 og en bagsidehældning på 1:3. I analysen fastholdes skråningsanlæg på for- og bagside, og det er således udelukkende optimeringer i kronekote og kronebredde, der undersøges.



Figur 3-1: Placering af kritisk snit i klitdige ved Kelstrup Strand anvendt til optimeringsberegninger i XBeach.

Som beskrevet i Rambølls dispositionsforslag udgøres bredden af klitdigeets krone af flere delbidrag, og omfatter følgende:

- **En minimumsbredde** for at sikre tilstrækkelig vandtæthed og geoteknisk stabilitet under ekstrem højvandstand, så gennembrud af klitdigeet undgås.
- **En sikkerhedsbredde** til at rumme deformation og omlejring af klitprofilen under en designmæssig stormhændelse – her defineret som Oktoberstormen 2023 fremskrevet til forholdene i år 2075.
- **En ekstra bufferbredde**, som håndterer den gradvise omlejring af profilet, som sker under mere normalt forekomne vejrforhold mellem vedligeholdelsesintervaller.

Klitdigeets samlede kronebredde udgøres således af summen af disse delbidrag. På delstrækninger hvor der ikke er behov for højvandssikring, men udelukkende erosionsbeskyttelse (dvs. klitrækken), kan minimumsbredden af hensyn til vandtæthed udelades.

I nærværende analyse undersøges sikkerhedsbredden, dvs. deformationen under Oktoberstormen 2023 fremskrevet til år 2075-forhold. Den tilbageværende minimumsbredde efter stormpåvirkningen er på nuværende tidspunkt ikke undersøgt, men vurderes indledningsvist at skulle udgøre mindst 5 m af hensyn til bl.a. geoteknisk stabilitet. Der undersøges derfor, i hvilken grad kronekote og kronebredde kan reduceres, så længe den tilbageværende bredde efter hændelsen stadig er ≥ 5 m.

Desuden er bufferbredden ikke undersøgt nærmere. I den senere detailprojektering vil denne blive undersøgt ved at designe klitdigeet for to stormflodshændelser indenfor samme sæson, hvoraf den ene er designhændelsen (Oktoberstormen 2023), mens den anden bør være svarende til en 1 – 5 års hændelse. Det forventes, at en sådan hændelse kun medfører begrænset erosion, men det skal endeligt

verificeres, om minimumsbredden på 5 m fortsat er tilstrækkelig under hensyn til krav om vandtæthed og geoteknisk stabilitet..

Det antages, at de relative optimeringsmuligheder, som identificeres for det undersøgte tværsnit på Kelstrup Strand, kan overføres til øvrige relevante delstrækninger af klitdige og klitrække.

3.1.2 Beregninger

Erosions- og skadesudviklingen er vurderet ved hjælp af modellering i XBeach, baseret på en samtidig kombination af modellerede bølger og observeret vandstand under stormen "Babet" i oktober 2023. Den anvendte tidsperiode dækker fra den 19.10.2023 kl. 00:10 til den 21.10.2023 kl. 02:00. Modelleringen er fremskrevet til forholdene i år 2075 og inkluderer en havspejlsstigning på 27 cm (inkl. landhævning).

XBeach-simuleringerne er gennemført som 1D-beregninger i surfbeat-mode.

XBeach modellen er udført med programmets *default*-parametre, da det ved denne indledende analyse ikke har været muligt at kalibrere modellen til observationsdata for den pågældende lokalitet.

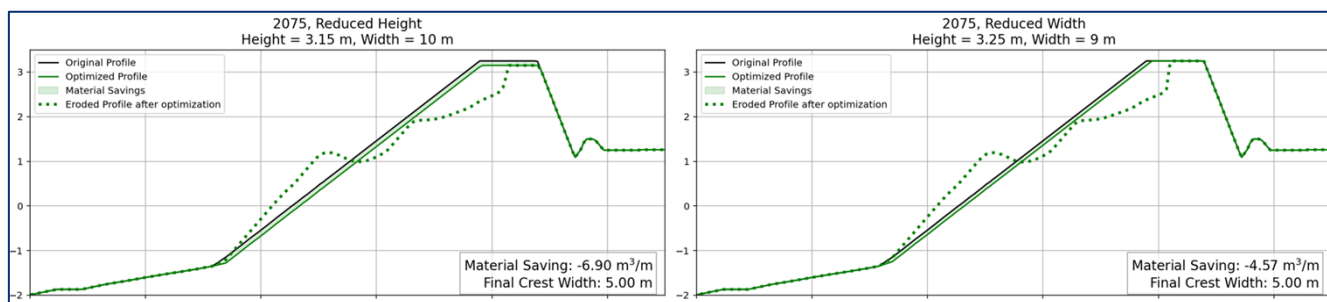
Følgende optimeringsmuligheder er undersøgt:

1. Fastholdt kronebredde (10 m), men kronekote nedjusteres indtil tilbageværende bredde, efter erosion, er 5 m.
2. Fasthold kronekote (+3,25 m DVR90), men kronebredde reduceres indtil tilbageværende bredde, efter erosion, er 5 m.

Resultaterne af de indledende modelkørsler er vist i Figur 3-2. Det fremgår heraf, at:

1. Kronekoten kan reduceres til +3,15 m DVR90 (svarende til en reduktion på 10 cm), eller
2. Kronebredden kan reduceres til 9 m (svarende til en reduktion på 1 m).

I begge tilfælde fastholdes en minimumsbredde på 5 m efter deformationen har indtruffet.



Figur 3-2: Optimering af klitdigets kronekote (til venstre) og kronebredde (til højre) for fremtidige forhold, år 2075.

Det bør bemærkes, at de indledende betragtninger om digets geometri (højde, bredde og hældninger) overordnet tilfredsstillende den nødvendige geometri, idet optimeringspotentialer er begrænset.

3.1.3 Besparelse

I Tabel 3-1 fremgår den reducerede sandmængde, der opnås ved at optimere klitdigets og klitrækkens kronebredde og kronekote på den samlede strækning fra Kelstrup Bæk (St. 0+550) til Hejsager Strandby (St. 3+250), en samlet længde på 2700 m.

Tabel 3-1: Oversigt over besparelser i nødvendige sandmængder for klitrække og klitdige for fremtidige forhold, år 2075.

Delstrækning	Besparelse [m3]
Reduceret kronekote (10 cm), +3,15 m:	
Klitrække (0+550 til 0+950)	2.040
Klitdige, Kelstrup Strand (1+200 til 1+660)	3.240
Klitdige, Hejsager Strand (1+670 til 2+420)	4.950
Klitdige, Hejsager Strandby (2+430 til 3+250)	4.360
Totalt	14.590
Reduceret kronebredde (1 m), 9 m:	
Klitrække (0+550 til 0+950)	1.840
Klitdige, Kelstrup Strand (1+200 til 1+660)	2.060
Klitdige, Hejsager Strand (1+670 til 2+420)	3.150
Klitdige, Hejsager Strandby (2+430 til 3+250)	2.760
Totalt	9.810

Af Tabel 3-2 fremgår det, at der ved optimering af diget kan forventes en besparelse på mellem 2 og 3 mio. kr. afhængig af hvilken parameter der justeres i optimeringen. For nærværende angivelse af besparelspotentialt anvendes intervallet som indikator på den potentielle besparelse.

Tabel 3-2: Anslået økonomisk besparelse, ekskl. moms. Tillægsfaktor dækker det samlede tillæg som anvendt i det opdaterede anlægsoverslag, se ref. [1].

Potentiale 01 - Optimering af dige	Besparelse [m3]	Enhedspris [DKK]	Tillægsfaktor	I alt [DKK]
Reduceret kronekote (10 cm), +3,15 m	14.590	135	1,495	2.950.000
Reduceret kronebredde (1 m), 9 m	9.810	135	1,495	1.980.000

3.1.4 Risici og usikkerheder

Følgende risici og usikkerheder ved de indledende optimeringsberegninger for klitdiget er identificeret:

- **Minimumsbredde efter erosion:** Den tilbageværende minimumsbredde efter stormpåvirkning er foreløbigt skønnet til minimum 5 m. Det bør verificeres, om denne bredde er tilstrækkelig i forhold til krav om vandtæthed, geoteknisk stabilitet samt den gradvise omlejring af profilet under mere hyppigt forekommende vejrforhold mellem vedligeholdelsesintervaller.
- **Manglende kalibrering mod observationsdata:** De gennemførte XBeach-modeller er ikke kalibreret mod målte data. Det bør derfor undersøges, om der kan fremskaffes egnede data til validering af modellens resultater – fx luftfotos før og efter stormhændelser, hvor tilbagetrækning af strandprofilet kan opmåles og sammenlignes med modelresultaterne. Såfremt validering ikke er mulig, anbefales det, at der som minimum udføres sensitivitetsanalyser af centrale modelparametre.
- **Antagelse om sandets kornstørrelse:** Modellen forudsætter mellem- til grovkornet sand med en median kornstørrelse på $d_{50} = 0,5$ mm. Hvis det tilgængelige marine sand er finere, må der forventes øget erosion, og den estimerede besparelse vil dermed være mindre end angivet i nærværende beregning.
- **Overførsel af resultater til andre profiler:** Det er forudsat, at de identificerede reduktioner i kronekote og kronebredde for det analyserede tværsnit kan overføres til øvrige delstrækninger. For at underbygge dette bør der senere gennemføres tilsvarende erosionsberegninger for de resterende sektioner.

3.1.5 Anbefaling

Optimering af klitdiger og klitrækker anbefales optimeret ift. indledende forudsætninger, og optimeringen er allerede planlagt indeholdt i detailprojekteringen.

3.1.6 Drift og vedligehold

Det optimerede profil af klitdiget reducerer den samlede nødvendige sandmængde, men da designforudsætninger om stormflodshændelse, vandstand, mv. ikke ændres, er der ingen forøget risiko for erosion eller oversvømmelse. Selvsagt ville klitdiget dog have ekstra robusthed, hvis profilet ikke optimeres, men der skal grundlæggende ikke forventes øget drift og vedligehold som følge af optimeringen.

3.2 Optimering af design og reduktion af sikringsniveauet (svarende til klimatillægget – 29 cm) for klitdige og klitrække

3.2.1 Grundlag

Der henvises generelt til afsnit 3.1.1 i nærværende notat. Erosions og skadesudvikling analyseres for samme tværsnit og hændelse som tidligere, men der ses bort fra klimatillæg i vandstanden.

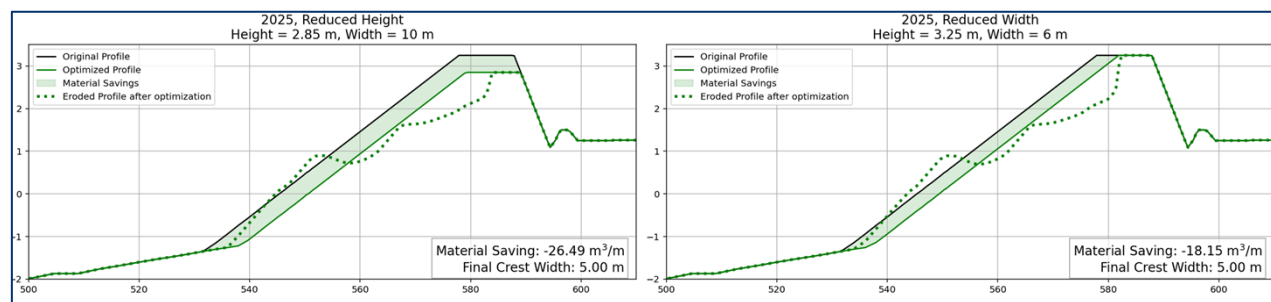
3.2.2 Beregninger

Beregningsmetodik og fremgangsmåde er tilsvarende tidligere analyse, og der henvises derfor generelt til afsnit 3.1.2 i nærværende notat. Til forskel fra tidligere medtages havniveaustigninger ikke i analysen, og analysen repræsenterer derfor skadesudvikling under Oktoberstormen 2023, hvis den havde ramt klitdiget i dag (år 2025).

Resultaterne af de indledende modelkørsler er vist i Figur 3-3. Det fremgår heraf, at:

1. Kronekoten kan reduceres til +2,85 m DVR90 (svarende til en reduktion på 40 cm), eller
2. Kronebredden kan reduceres til 6 m (svarende til en reduktion på 4 m).

I begge tilfælde fastholdes en minimumsbredde på 5 m efter deformationen har indtruffet.



Figur 3-3: Optimering af klitdigts kronekote (til venstre) og kronebredde (til højre) for nutidige forhold, år 2025.

3.2.3 Besparelse

I Tabel 3-3 fremgår den reducerede sandmængde, der opnås ved at optimere klitdigts og klitrækkens kronebredde og kronekote på den samlede strækning (2700 m).

Tabel 3-3: Oversigt over besparelser i nødvendige sandmængder for klitrække og klitdige for nutidige forhold, år 2025.

Delstrækning	Besparelse [m3]
Reduceret kronekote (40 cm), 2,85:	
Klitrække (0+550 til 0+950)	7.760
Klitdige, Kelstrup Strand (1+200 til 1+660)	12.830
Klitdige, Hejsager Strand (1+670 til 2+420)	19.650
Klitdige, Hejsager Strandby (2+430 til 3+250)	15.010
Totalt	55.250
Reduceret kronebredde (4 m), 6 m:	
Klitrække (0+550 til 0+950)	7.320
Klitdige, Kelstrup Strand (1+200 til 1+660)	8.550
Klitdige, Hejsager Strand (1+670 til 2+420)	12.900
Klitdige, Hejsager Strandby (2+430 til 3+250)	10.510
Totalt	39.280

Af Tabel 3-4 fremgår det, at der ved optimering af diget og ved samtidigt ikke at tage hensyn til klimatillægget kan forventes en besparelse på mellem 8 og 11 mio. kr. afhængig af hvilken parameter der justeres i optimeringen. For nærværende angivelse af besparelspotentialet anvendes intervallet som indikator på den potentielle besparelse.

Tabel 3-4: Anslået økonomisk besparelse, ekskl. moms. Tillægsfaktor dækker det samlede tillæg som anvendt i det opdaterede anlægsoverslag, se ref. [1].

Potentiale 02 - Optimering af dige og reduktion af kronekote	Besparelse [m3]	Enhedspris [DKK]	Tillægsfaktor	I alt [DKK]
Reduceret kronekote (40 cm), +2,85 m	55.250	135	1,495	11.150.000
Reduceret kronebredde (4 m), 6 m	39.280	135	1,495	7.950.000

3.2.4 Risici og usikkerheder

De tidligere nævnte risici og usikkerheder i forbindelse med de indledende optimeringsberegninger for klitdiget, jf. afsnit 3.1.4, er fortsat gældende. Derudover skal følgende forhold bemærkes:

- **Manglende hensyntagen til havniveaustigning:** De udførte beregninger af erosion og skadesudvikling er baseret på nutidige forhold (år 2025), og indregner ikke fremtidige havniveaustigninger. For at sikre klitdigets og klitrækkens langsigtede robusthed anbefales det, at der løbende tilføres supplerende sand som led i den fremtidige vedligeholdelse for at modvirke effekten af stigende havniveau. Den opnåede reduktion i sandmængde bør derfor ikke betragtes som en varig besparelse, men snarere som en reduktion i anlæggets anlægsomkostninger.

3.2.5 Anbefaling

Optimering af klitdiger og klitrækker samt reduktion af sikringsniveauet svarende til klimatillægget kan anbefales implementeret i projektet. Det anbefales dog, at kystbeskyttelsens sikringsniveau øges løbende svarende til havspejlsstigningerne, så der i år 2075 opnås beskyttelse mod en hændelse svarende til Oktoberstormen 2023.

3.2.6 Drift og vedligehold

Det optimerede og klimareducerede profil af klitdiget vurderes ikke at bidrage til ekstra vedligeholdelsesomkostninger ved nutidige forhold, da designforudsætninger for stormflodshændelsen

ikke er ændret. Derved forventes det, at omkostninger til opretninger og vedligeholdelsesfodring svarer til løsningen, hvor klimatillægget er indeholdt i klitdige.

Dog er det anbefalet, at klitdigets sikringsniveau hæves i takt med at klimaændringerne (vandspejlsstigningerne) indtræffer. Derfor er anlægsbesparelserne ikke en varig besparelse, og denne skal løbende investeres i hævnning af klitterne, og største delen af besparelsen, svarende til forskellen mellem besparelserne i potentiale nr. 01 og 02, skal forventes investeret i forhøjelse af klitterne i fremtiden.

3.3 Fravalg af sikring (opfyldning) af skrænten ved Blokhusskoven

3.3.1 Grundlag

Der er i teknisk notat, ref. [2], vedr. eftervisning af stabiliteten af skrænten ved Blokhusskoven og Kelstrup Klint dokumenteret, at skrænten ved Blokhusskoven ikke er stabil, og der er derfor risiko for at sommerhusene styrter ned på stranden ved et dybtliggende brud i skrænten.

3.3.2 Beregninger

Grundet risikoen for at sommerhuse styrter ned på stranden, er der udarbejdet en løsning til sikring af skrænten mod brud. Dette sikres ved at udføre en opfyldning på skrænten med en fladere hældning end eksisterende. Opfyldningen er projekteret og dokumenteret i ref. [2], og er nærmere beskrevet i det opdaterede dispositionsforslag, se ref. [1]. Den berørte strækning og løsningen er vist på hhv. Figur 3-4 og Figur 3-5.



Figur 3-4: Oversigtsplan af opfyldningen (rødbrunt område) ved Blokhusskoven – fra tegning VK-D-TH-0200.

3.3.3 Besparelse

3.3.4 Risici og usikkerheder

- Den mest afgørende risiko er risikoen for at sommerhuse kan styrte ned på stranden ved et dybtliggende brud. Baseret på beregninger er det sandsynligt, at det allerede kan ske med skræntens nuværende stejlehed. Risikoen øges blot ved fremtidig erosion af skræntens fod indtil denne er beskyttet. Hvis der opstår et dybtliggende brud, så er det sandsynligt, at det vil være så stort at sommerhusene helt forsvinder, og der er dermed også risiko for at skade på personer, der måtte opholde sig i huset.

3.3.5 Anbefaling

3.3.6 Drift og vedligehold

3.4 Reduktion af stenkastning

Der er ikke lagt op til besparelser for stenkastningen ved Blokhusskoven, da det er vurderet, at denne skal udføres som beskrevet i dispositionsforslaget af hensyn til sikring af opfyldningen.

3.4.1 Grundlag

I dispositionsforslaget er topkoten af stenkastningen på den samlede strækning estimeret til ca. +4,00 m, primært med henblik på at reducere overskylsmængderne til et acceptabelt niveau for at beskytte skræntopfyldningen ved Blokhusskoven.

I tidligere dispositionsforslag udarbejdet af COWI er skrænten ved Bramsensgårdvej beskyttet af en klitrække. Ved udarbejdelse af det opdaterede anlægsoverslag blev det besluttet at implementere beskyttelse af skrænten med stenkastning som for skrænten ved Blokhusskoven og Kelstrup Klint. Dette for at få en mere sammenhængende løsning på strækningen, og for at sikre det samme beskyttelses- og vedligeholdelsesniveau.

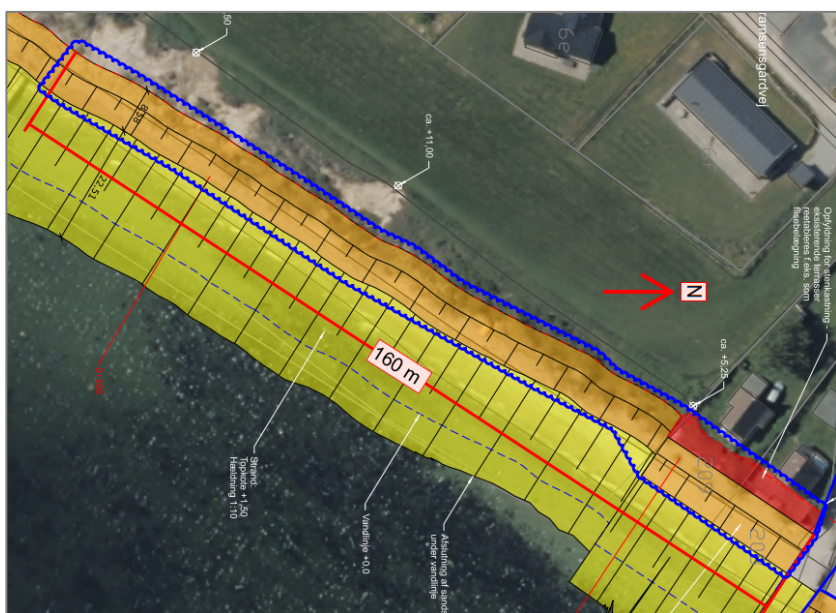
På strækninger, hvor stenkastningen placeres direkte mod eksisterende morænelers skrånninger, vurderes det muligt at reducere topkoten. Det skyldes, at de naturlige skrånninger i moræneler formodes at kunne modstå større overskylsmængder sammenlignet med den mere sårbare opfyldning ved Blokhusskoven.

3.4.2 04A – Fravalg af stenkastning ved Bramsensgårdvej

Der er ikke foretaget undersøgelse af konsekvensen ved at fravælge / undlade etablering af stenkastningen ved Bramsensgårdvej. Den berørte strækning er vist på Figur 3-6. Der skal dog forventes et vist skadesniveau / erosion af skrænten ved stormflod på trods af at skrænten primært udgøres af moræneler. Erosionen forventes dog at være mindre end i dag, da det anbefales at fastholde anlæggelse af strand op til kote +1,50 m, som vil yde en vis beskyttelse af skræntens nederste del samt bryde bølgerne mere end i dag. Dette dog under forudsætning af at stranden vedligeholdes.

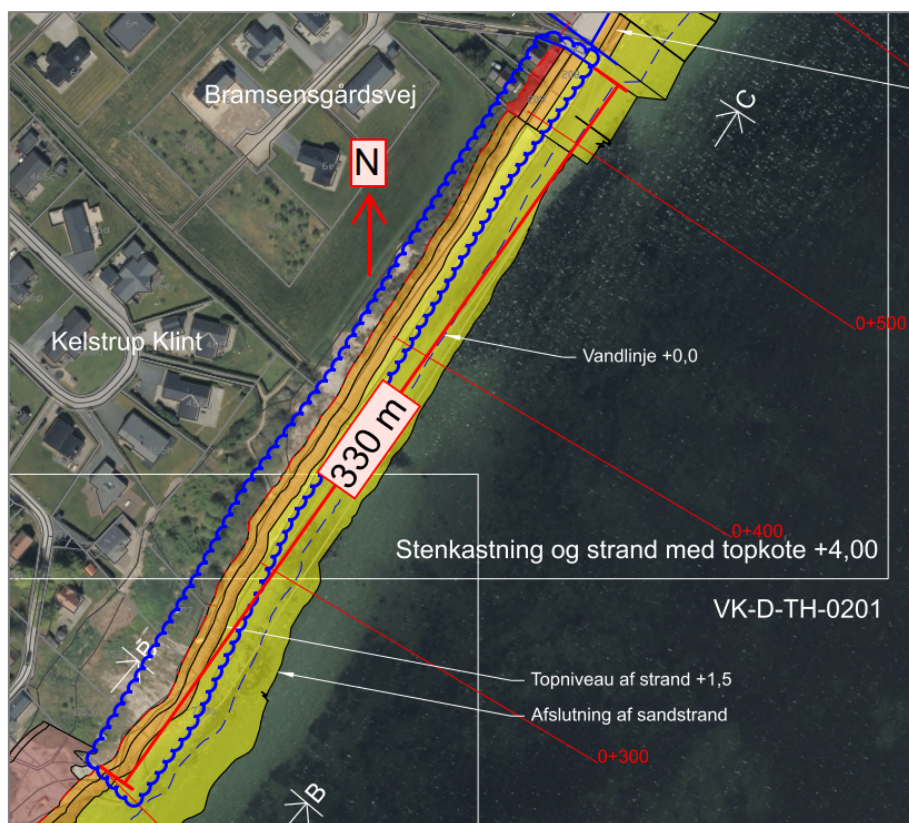
Erosion af skrænten har dog forventeligt ingen alvorlige konsekvenser mange år frem, da sommerhusene og haverne ligger tilbage trukket fra skrænten, og de er ikke i akut fare for at blive påvirket. Hvis stenkastningen undlades, skal der dog foretages en mindre, lokal beskyttelse af nr. 80 og 82.

Ved at undlade stenkastning ved Bramsensgårdvej kan der forventes en betydelige besparelse ift. anlægsomkostningerne.



Som alternativ til stenkastningen kan strækningen ved både Kelstrup Klint og Bramsensgårdvej erstattes af klitrække med et sikringsniveau på +3,35 m. Den berørte strækning er vist på Figur 3-7. Denne løsning vil beskytte skrænten mod fremtidig erosion og skade, hvis klitrækken vedligeholdes.

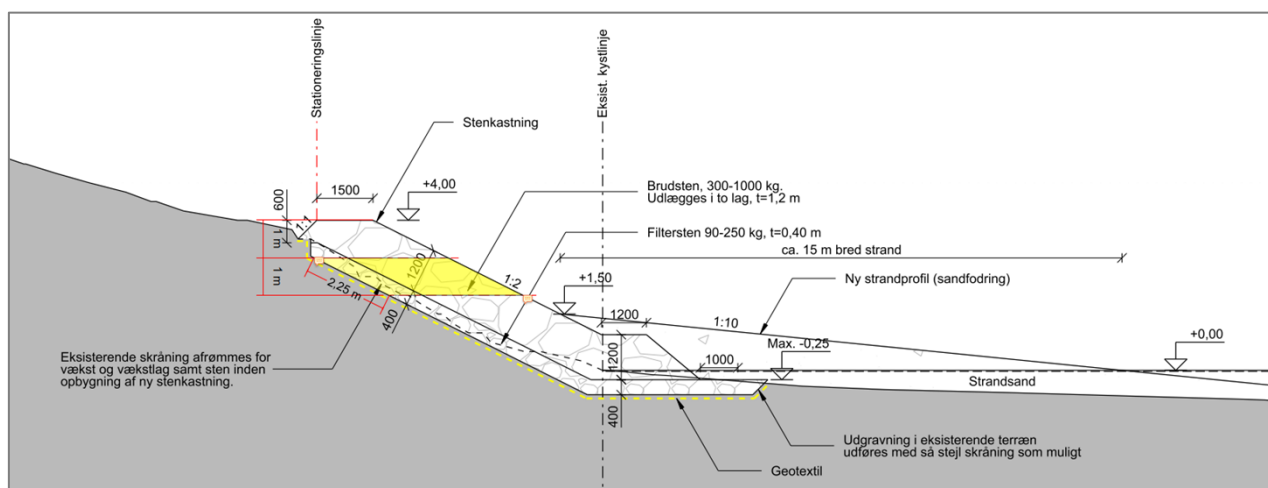
Ved at anlægge klitdige fremfor stenkastning ved Kelstrup Klint og Bramsensgårdvej kan der forventes en betydelige besparelse ift. anlægsomkostningerne. Der skal dog forventes større omkostninger til vedligehold af klitrækken i form af sandfodring og genopretning af profilet efter stormhændelser.



3.4.4 04C – Reduktion af stenkastningens topkote

I denne foreløbige vurdering er det antaget, at topkøten kan reduceres med op til 1 meter – til niveau +3,00 m – for Kelstrup Klint og Bramsensgårdvej. Den acceptable overskylsmængde for morænelersskrånningen bør dog fastlægges på baggrund af mere detaljerede analyser i en senere projektfase. Det forudsættes derfor, at en yderligere reduktion under +3,00 m ikke er realistisk, og det angivne besparelspotentiale skal dermed betragtes som en øvre grænse.

En reduktion af topkoten vil medføre en økonomisk besparelse, samtidig med at en væsentlig beskyttelseseffekt bibeholdes. Besparelespotentialet udgøres af reduceret mængde geotekstil, filter- og dæksten, og omfang er vist på Figur 3-8.



Figur 3-8: Optimering af stenkastning – reduktion af topkote til niveau +3,0 m. Besparelse af materialer svarer til gult markeret område.

3.4.5 04D – Accept af større skadesniveau

Det er også en mulighed at design stenkastningen, så der tillades et større skadesniveau og omlejring af dækstenslaget efter bølgepåvirkning. Ved at tillade et større skadesniveau på stenkastningen kan der anvendes mindre dæksten, og dermed opnås en besparelse af stenmængderne, samtidig med at en vis beskyttelse af skrænten bevares. Det er antaget at dæklagstykkelsen kan reduceres fra 1,2 m til 1,0 m, svarende til at dæksten (300-1000 kg) reduceres i vægt til 150-650 kg.

Ved undersøgelse af besparelspotentialer er det antaget at dækstenenes vægt reduceres på hele strækningen fra Blokhusskoven til Bramsensgårdvej.

3.4.6 Besparelse

I Tabel 3-5 er besparelserne for de fire potentialer vedr. reduktion af stenkastningen præsenteret. Som det ses, er der størst besparelse ved at implementere nr. 04A eller 04B.

Det skal bemærkes, at samtlige besparelserne ikke direkte kan implementeres i projektet. Hvis der ønskes kombinationer af besparelserne, så skal disse tilpasses den indbyrdes påvirkning. Således kan der ikke forventes den samlede oplyst besparelse ved f.eks. at implementere 04A og 04C, da besparelsen af 04C reduceres som følge af at stenkastning udgår på strækningen for Bramsensgårdvej.

Tabel 3-5: Anslået økonomisk besparelse ekskl. moms for potentialerne 04A til 04D. Tillægsfaktor dækker det samlede tillæg som anvendt i det opdaterede anlægsoverslag, se ref. [1].

Potentiale 04 - Reduktion af stenkastning	Besparelse [m]	Enhedspris [DKK]	Tillægsfaktor	I alt [DKK]
04A – Fravalg af stenkastning ved Bramsensgårdvej	160	14.550	1,495	3.500.000
04B – Erstatning af stenkastning med klitrække	330	7.250	1,495	3.600.000
04C – Reduktion af stenkastningens topkote	330	3.150	1,495	1.600.000
04D – Accept af større skadesniveau	550	1.600	1,495	1.300.000

3.4.7 Risici og usikkerheder

Følgende risici og usikkerheder er gældende for ovenstående præsenterede potentialer for besparelse:

- **Fravalg af stenkastning ved Bramsensgårdvej**
 - Der er ift. de øvrige besparelspotentialer øget risiko for erosion af skrænten, som kan føre til brud af denne. Der er dog ikke umiddelbar risiko for skader på sommerhuse eller haver.
 - Der er mulighed for yderligere besparelse, hvis stenkastningen ved skrænten foran Kelstrup Klint også udgår. Det er dog vurderet, at sommerhuse og haver er væsentligt mere udsat, og undladelse af stenkastning på denne strækning vil resultere i væsentlig større risiko for tab af værdier. Derfor er denne strækning ikke inkluderet i besparelspotentialet.
- **Erstatning af stenkastning med klitrække**
 - Risikoen for erosion af skrænten er tilsvarende løsningen med stenkastningen. Derimod er der en betydelig risiko for, at vedligeholdelsesomkostningerne til klitdiget stiger betragteligt. Særligt i tilfælde af større stormfloder fra øst, hvor klitdiget skal forventes kraftigt eroderet.
- **Reduktion af stenkastningen topkote:**
 - Den maksimalt tilladelige overskylsmængde for morænelersskrånningen er endnu ikke endeligt fastlagt. Det er derfor risiko for at der ikke kan opnås den fulde besparelse.
 - Hvis overskylsmængden overstiger skrånningens kapacitet, kan der forekomme erosion af den bagvedliggende morænelersskrånning. Dette kan i et vist omfang medføre sætninger eller omlejring af stenkastningens øverste del, men vurderes ikke at føre til totalt kollaps af selve stenkastningen. Da dette primært vil være relevant under en designhændelse, vurderes både konsekvens og risiko som relativt begrænsede.
- **Accept af større skadesniveau**
 - Der er betydelig risiko for, at stenkastningen ved større stormfloder fra øst vil blive beskadiget, og der derfor er behov for at reetablere stenkastningen og udbedre skaderne.
 - Der er en lidt højere risiko for erosion af skrænten end hvis stenkastningen designes for et minimalt skadesniveau. Dette som følge af omlejring af sten i stenkastning, hvorved der er risiko for at denne ikke beskytter skrænten mod erosion, særligt i toppen af kastningen.

3.4.8 Anbefaling

Implementering af enten 04A, 04B eller 04C, samt mulige kombinationer heraf, kan anbefales, hvis følgende kan accepteres:

- 04A – Større erosion af skrænten og dermed mulig tilbagetrækning af denne.
- 04B – Større omkostninger til vedligehold af klitrække end for stenkastningen.
- 04C – Mindre erosionsskader af skrænten umiddelbart over toppen af stenkastningen.

Særligt gælder der for 04A, at projektets forudsætninger ændres, så der tillades erosion af skrænterne ved hændelser op til designhændelsen.

Besparelspotentiale 04D kan ikke umiddelbart anbefales, da omkostninger til opretning af stenkastning ved skader forventes at overstige den potentielle besparelse. Dette afhænger selvfølgelig af antallet af større hændelser, som indtræffer indenfor anlæggets levetid.

3.4.9 Drift og vedligehold

Ved implementering af **besparelspotentiale 04A** forudsættes det, at der accepteres skader og erosion på skrænten ved Bramsensgårdvej, og at disse ikke udbedres. Derfor har potentialet ingen konsekvens for drift og vedligeholdelsesomkostninger.

For **besparelspotentiale 04B**, hvor der anlægges klitrække, vil der være et større behov for vedligeholdelse end for stenkastningsløsningen. Den ekstra vedligeholdelse vil kunne håndteres sammen med vedligeholdelse af øvrige klitstrækninger. Der er ikke udført beregninger på hvad den forventede vedligeholdelse af klitter er, men som det fremgår af Tabel 3-5, så er anlægsbesparelsen på ca. 3,6 mio. kr., hvilket svarer til ca. 25.000 m³ indvundet og udlagt sand i nutidspriser. Det er ca. den mængde sand, der skal anvendes til etablering af klitrækken på strækningen ved Kelstrup Klint og Bramsensgårdvej. Det vurderes, at der over beskyttelsens levetid på 50 år vil skulle anvendes langt mindre sand til vedligeholdelse, hvorfor det økonomisk giver mening at implementere klitrækken ift. vedligehold.

Det skal i den sammenhæng nævnes, at vedligeholdelsen og tilhørende omkostninger vil være tilsvarende de øvrige strækninger med klitrækker og -diger, så det må antages at vedligeholdet og omkostningen til klitrækken generelt er acceptabel, da det er en forudsætning for gennemførelse af projektet med klitter.

Som for besparelspotentiale 04A, så forudsættes det ved implementering af **besparelspotentiale 04C**, at der accepteres skader og erosion på skrænten umiddelbart over toppen af stenkastningen ved Klestrup Klint og Bramsensgårdvej, og at disse ikke udbedres. Derfor har potentialet ingen konsekvens for drift og vedligeholdelsesomkostninger.

For **besparelspotentiale 04D**, hvor dækstenene gøres mindre, forventes der et uforholdsmæssigt stort behov til vedligehold, der over beskyttelsens levetid på 50 år overstiger besparelspotentialet. Det skyldes, at genplacering af sten, som falder ud af stenkastningen ved bølgepåvirkning, er omkostningstung, og udbedring af skader forventes at skulle foretages flere gang i løbet af levetiden.

3.5 Reduktion af klitvegetation

I dette afsnit præsenteres tre forskellige besparelspotentialer for reduktion af vegetationen på klitdiger og klitrækker på Kelstrup Strand og Hejsager Strand.

3.5.1 Grundlag

Det opdaterede anlægsoverslag indeholder beplantning af klitdiger og klitrækker med ca. 4 planter pr. m² fra kote +2,0 m på forsideskråningen, hen over digekronen og ned på bagsiden.

Klitvegetation har ikke en kritisk funktion i forhold til klitternes stabilitet under en ekstrem stormflodshændelse. Vegetationens primære formål er således at begrænse sandfugning og erosion fra mindre bølger og regnhændelser.

3.5.2 05A – Ingen klitvegetation på klitrækker

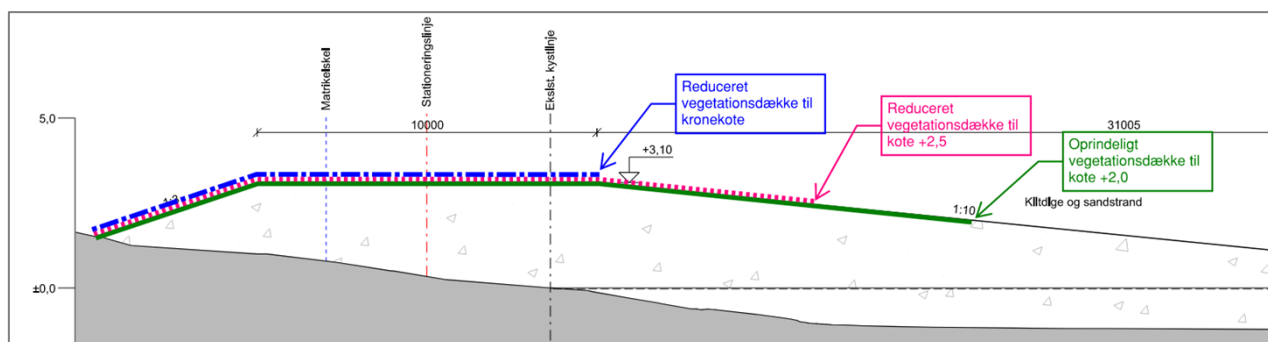
Dette potentiale ligger op til, at der ikke etableres klitvegetation på klitrækker ved hhv. Kelstrup Skovvej og Kelstrup Kystvej. Det vurderes, at klitvegetation på klitrækkerne er mindre væsentlig, da de alene sikrer skrænterne mod erosion, og en del omlejring af sandet er acceptabelt bl.a. som følge af sandfugning.

Ved ikke at beplante klitrækkerne reduceres det samlede areal til beplantning med ca. 10.000 m².

3.5.3 05B – Reduceret omfang af klitvegetation

Omfanget af vegetationen kan reduceres ved at lade den starte ved en højere kote på forsiden, f.eks. +2,5 m, eller ved kun at etablere den på klitternes krone og bagside. Det vil være et acceptabelt valg, da vegetationen typisk holdes uden for den bølgepåvirkede del af forsidesskråningen. Det vurderes dog, at den bølgepåvirkede del af forsidesskråningen under normale forhold ligger under +2,0 m, hvorfor en ændring kan give øget sandfygning på forsiden af klitten.

Der er beregnet besparelspotentialer for hhv. klitvegetation fra kote +2,5 m på forsiden og for klitvegetation kun på kronen og bagsiden. Det giver en reduktion af det samlede areal til beplantning på hhv. ca. 14.000 og 29.000m². Illustration af hvilke dele af klitdiget der beplantes, er vist på Figur 3-9.



Figur 3-9: Illustration af beplantet dele af klitdige for de forskellige forslag.

3.5.4 05C – Reduceret tæthed af klitvegetation

Omfanget af vegetationen kan reduceres ved at nedsætte tætheden af planter fra 4 til 2 planter pr. kvadratmeter. Det giver en betydelig besparelse i antallet af planter, men et mere sporadisk og mindre ensartet plantedække giver dog en forlænget periode med øget risiko for sandfygning.

Alternativt kan man beplante delområder med ca. 4 planter pr. m², mens andre delområder ikke beplantes.

3.5.5 Besparelse

I Tabel 3-6 er besparelserne for de tre potentialer vedr. reduktion af klitvegetation præsenteret. Som det ses, er der størst besparelse ved at implementere nr. 05C, men det er også denne som vurderes at resultere i mest sandfygning samlet set, samt giver planterne de sværeste vækstbetingelser.

Det skal bemærkes, at ved kombination af besparelserne i nr. 05A til 05C så vil de oplyste besparelser reduceres, da besparelspotentialet reduceres pga. deres indbyrdes påvirkning.

Tabel 3-6: Anslået økonomisk besparelse ekskl. moms for potentialerne 05A til 05C. Tillægsfaktor dækker det samlede tillæg som anvendt i det opdaterede anlægsoverslag, se ref. [1].

Potentiale 05 - Reduktion af klitvegetation	Besparelse [m ²]	Enhedspris [DKK]	Tillægsfaktor	I alt [DKK]
05A – Ingen klitvegetation på klitrækker	9.750	50	1,495	750.000
05B – Reduceret omfang af klitvegetation	13.600 / 28.600	50	1,495	1.000.000 / 2.100.000
05C – Reduceret tæthed af klitvegetation	60.850	25	1,495	2.300.000

3.5.6 Risici og usikkerheder

Følgende risici og usikkerheder bør overvejes ved reduktion af klitvegetation:

- **Øget risiko for sandflugt:** Uden vegetation er overfladen mere udsat for vindpåvirkning, hvilket kan medføre sandflugt
- **Risiko for højere vedligeholdelsesbehov:** Uden vegetation vil sandoverfladen generelt være mere flygtig og lettere at erodere. Dette kan potentielt forøge vedligeholdelsesindsatsen på delstrækningen.
- **Manglende visuel integration med eksist. områder:** Klitterne vil fremstå visuelt anderledes end eksist. nabostrækninger med vegetationsbeklædt klitter, hvilket kan opfattes som usammenhængende.

3.5.7 Anbefaling

For besparelspotentiale 05A og 05B kan et reduceret omfang af klitvegetation anbefales, hvis ekstra sandfygning, særligt de første år efter anlæggelsen, kan accepteres. For potentiale 05C er det uklart om det er anbefalsværdigt at reducere plantetætheden. Hvis dette ønskes implementeret, skal der søges viden fra erfarede anlægsgartner, hvilket ikke har været muligt at finde med kort varsel.

3.5.8 Drift og vedligehold

Generelt vurderes reduktionen af klitvegetation ikke at bidrage til vedligeholdelsesomkostningerne. Den forholdsvist begrænsede erosion som følge af sandfygning, ift. den som sker ved bølgepåvirkning, forventes at kunne indeholdes i vedligeholdelsesfodringen uden særlig meromkostninger.

3.6 Jorddige ved Hejsager Strandby

3.6.1 Grundlag

Tidligere i projektet har der været dialog om evt. fordele ved implementering af et jorddige langs Hejsager Strandby fremfor det i projektet indeholdt klitdige på forstranden. Jorddiget blev dog ikke undersøgt nærmere, da det var ønsket at fastholde løsningen med klitdiget. I processen med identificering af potentielle besparelser er jorddigeløsningen blevet bragt op igen, og det er besluttet at besparelspotentialet skal undersøges nærmere.

Undersøgelse af omkostningerne forbundet med etablering af jorddiget er udført på et overordnet skitseniveau af tidsmæssige hensyn. Der er derfor risiko for, at de skitserede løsninger og tilhørende mængder samt estimat af anlægsøkonomien er behæftet med fejl. Hvis løsningen ønskes implementeret i projektet, så anbefales det, at der foretages en egentlig skitseprojektering for tydeliggørelse af omfanget af løsningen.

Udbredelsen af jorddiget langs Hejsager Strandvej ses af Figur 3-10, og strækningen er ca. 820 m.



Figur 3-10: Udbredelse af jorddige (ca. 820 m) langs Hejsager Strandby er vist med rød og orange streg. De blå streger angiver placering af tværsnitsudtræk fra Scalgo.

For beregning af nærværende besparelespotentialer er der gennemført én tværsnitsberegning af jorddigets stabilitet i programmet GeoStudio Slope/W 2024, og der er bestemt mængder af jorddiget fra tværsnitsudtræk fra Scalgo.com, som er behandlet analytisk.

Udgangspunktet for beregninger er et repræsentativt tværsnit i jorddiget med nedenstående geometri. Det tager i nogen grad hensyn de faktiske forhold, men det understreges at særligt eksisterende mindre skrånning foran eksisterende jorddige ikke er modelleret. Det kan have en negativ konsekvens på stabiliteten, som vil skulle undersøges nærmere. I den sammenhæng skal det nævnes, at der for den samlede strækning på ca. 820 m bør gennemføres flere tværsnitsberegninger for de forskellige terrænforhold.

Beskrivelse af jorddigets geometri og opbygning:

- Topkote: +2,6 m
- Kronebredde: 1 m
- For- og bagsidehældning: 1:3
- Inderst en kerne bestående af sand
- Kernen er overlejret af 300 mm tyk lermembran for tæthed af diget
- Dige afsluttes med 100 mm muldrag, som vækstlag for græsser

Terrænet langs siden af vejen, se rød streg i Figur 3-10, varierer fra ca. +2,0 m i vest ned til ca. +1,25 m i øst. På strandengen foran vejen, se orange streg i Figur 3-10, varierer terrænet fra ca. +1,75 m ned til ca. +0,5 m, altså er der en højdeforskel mellem vej og strandeng på mellem 0,25 og 0,75 m.

For beregningerne er der anvendte tilgængelig geotekniske oplysninger, hvor der er taget udgangspunkt i et konservativt profil, som øverst er bestående af muld og herunder postglacialt sand.

Designparametre ses herunder i Tabel 3-7. Hvis diget skal implementeres i projektet, gøres der opmærksom på, at der bør gennemføres supplerende geotekniske undersøgelser for at få afdækket jordbundsforholdene på hele strækningen.

Tabel 3-7: Rumvægte samt karakteristiske styrkeparametre for jordaflejringer og digematerialer.

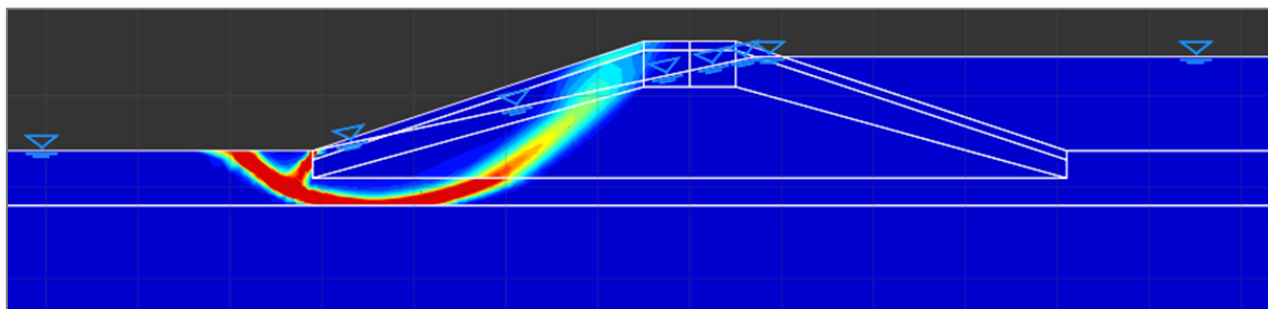
Jordart [-]	Lagtykkelse [m]	γ/γ' [kN/m ³]	C_{uk} [kPa]	ϕ'_{plik} [°]	c'_k [kN/m ²]
Muld	0,6	16/6	-	25	0
Postglacialt sand	2,0	19/10	-	33	0
Sandkerne, dige	-	19/10	-	34	0
Lermembran, dige	-	20/10	60	25	3

Designvandspejl anvendt i beregning er +2,43 m.

3.6.2 Beregninger

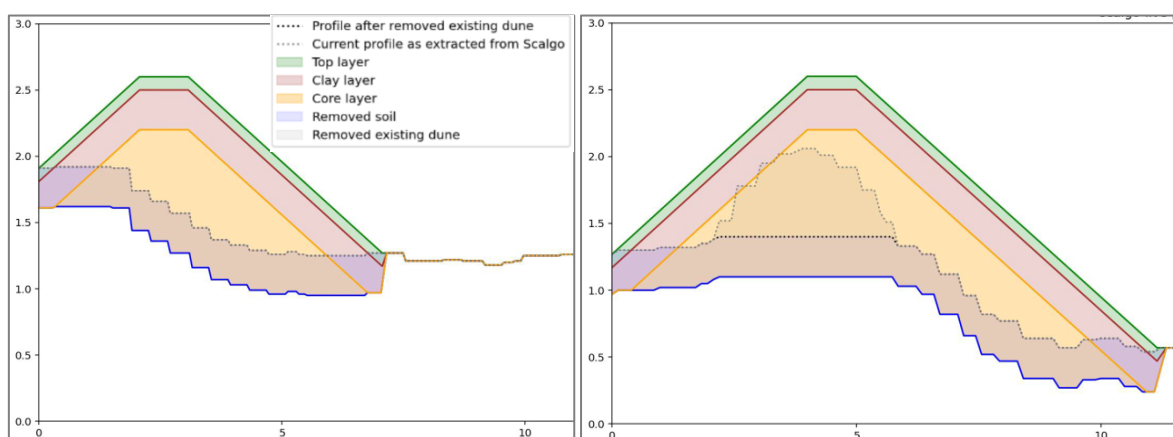
Beregning af jorddigets stabilitet viser, at dette er stabilt ved anvendelse af ovenstående grundlag. Den samlede sikkerhedsfaktor mod brud er 1,17, og denne skal være større end 1,00 for at dige er stabilt. Det ses således, at der er en vis ekstrakapacitet i designet, og det vurderes derfor at mindre, negative påvirkninger vil kunne håndteres med den anvendte geometri og materialer.

I løsningen er der forudsat at de øverste 300 mm af muldraget afgraves for at øge tætheden af diget under stormflod.



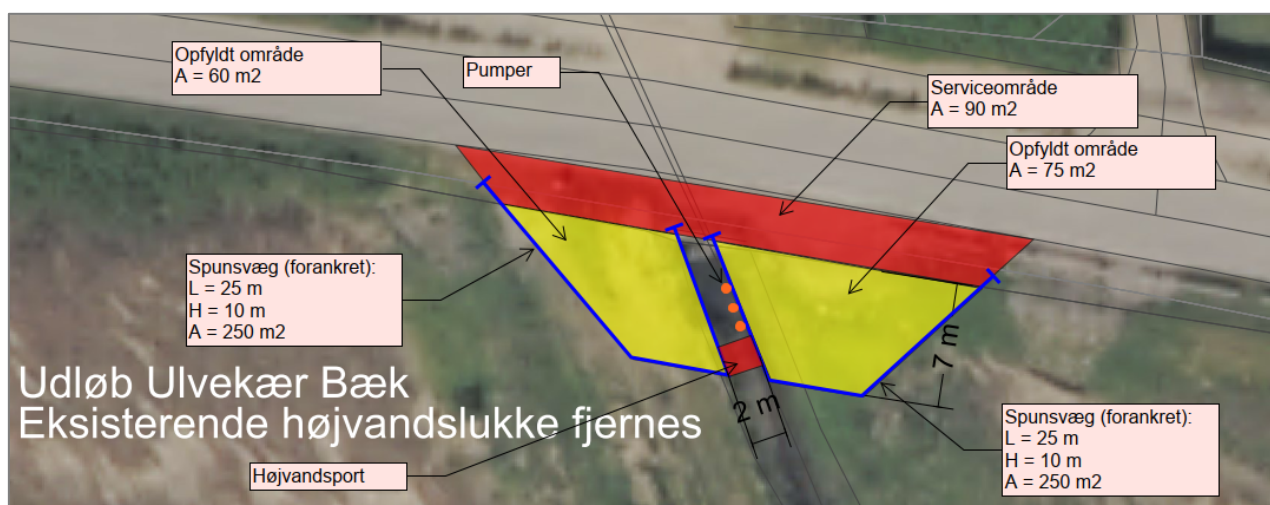
Figur 3-11: Beregningstværsnit af jorddige langs Hejsager Strandby. Sikkerhedsfaktor 1,17 > 1,0 OK.

For bestemmelse af omkostninger til etablering af diget er der beregnet mængder for kernemateriale (sand), lermembran og muldlag samt udgravningen på 300 mm. Dette er gjort ved modellering af diget i ni tværsnit. Tværsnittenes placering fremgår af Figur 3-10. Eksempler på det modellerede dige ses af Figur 3-12.



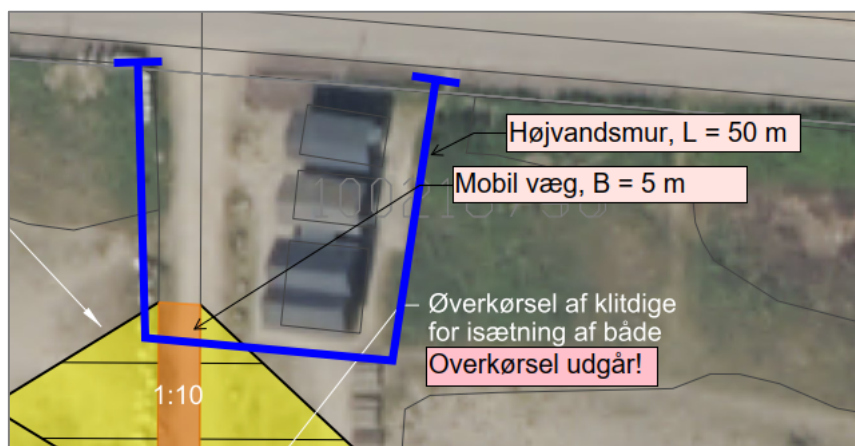
Figur 3-12: Digeprofil ved tværsnit 3 og 8. Eksist. dige genanvendes i løsningen.

Ved anlæggelse af jorddiget langs vejen skal udløbsbygværk, højvandsport og pumper placeres ved Ulvekær Bæks underføring af vejen. Dette er der taget højde for i besparelspotentialet, og skitse af løsningen er vist i Figur 3-13.



Figur 3-13: Oversigtskitse af udløbsbygværk mv. for Ulvekær Bæk ved vejunderføringen.

For at tage hensyn til beskyttelse af Saunahuset, som ligger udenfor digets beskyttelse, skal der laves en lokal løsning. Dette kunne løses ved at lade diget løbe søværts rundt om saunahuset. Det vurderes dog, at det arealmæssigt ikke er en optimal løsning. Derfor er der i stedet foreslået etableret en højvandsmur i beton, som placeres som vist på Figur 3-14. For adgang til bådlandingen skal der udføres en åbning i væggen, og denne udføres som mobil vægløsning af aluminiumsplanker.



Figur 3-14: Oversigtsskitse af højvandsmur ved Saunahuset.

3.6.3 Besparelse

For bestemmelse af potentiel besparelse ved etablering af jorddiget er der i Tabel 3-8 præsenteret de samlede omkostninger til anlæggelse af klitdige, udløbsbygværk inkl. spunsdæmning mv. og den del af tværdiget, som er placeret syd for Ulvekær Bæk. Omkostningerne er taget fra det opdaterede anlægsoverslag præsenteret i ref. [1], og de beløber sig til ca. 16 mio. kr.

De estimerede, samlede omkostninger til anlæggelse af jorddige, udløbsbygværk mv. og højvandssikring af saunahuset er beregnet til ca. 12 mio. kr. Besparelspotentialet ved at udføre jorddige fremfor klitdige ved Hejsager Strandby er således opgjort til 3.850.000 kr. ekskl. moms.

Tabel 3-8: Anslået økonomisk besparelse, ekskl. moms, ved udførelse af jorddige langs Hejsager Strandby fremfor klitdige. Det bemærkes at omkostninger til etablering af tværdige ikke er indeholdt da denne post skal udføres i begge tilfælde.

Potentiale 06 – Jorddige ved Hejsager Strandby	I alt (inkl. tillægsfaktor) [DKK]
Anlægsoverslag fra dispositionsforslag for klitdige, tværdige (kun på tværs af strandeng) og udløbsbygværk mv. ved Hejsager Strandvej	15.750.000
Anlægsoverslag for jorddige langs Hejsager Strandby og flyttet udløbsbygværk	11.950.000
Samlet estimeret besparelse	3.800.000

3.6.4 Risici og usikkerheder

Følgende risici og usikkerheder bør overvejes og undersøges nærmere for jorddiget langs Hejsager Strandby:

- **Sikringsniveau og bølgepåvirkning:** Sikringsniveauet er estimeret under antagelse af at forlandet foran dige bryder bølgerne inden de når diget. Det skal undersøges nærmere om niveauet er tilstrækkelig til at undgå overskyl og skade på jorddiget grundet for høj bølgepåvirkning, særligt i den vestlige ende, hvor forlandet er mindre bredt end mod øst.

- **Jordbundsforhold:** Jordbundsforholdene er ikke afdækket tilstrækkeligt, særligt for udløbsbygværk mv., og der bør derfor foretages supplerende geotekniske undersøgelser for normmæssig opfyldelse af undersøgelseskrav. Omkostninger hertil estimeres til < 100.000 kr.
- **Dokumentation:** Beregningsdokumentationen af dige og udløbsbygværk er udført på et meget overordnet skitseniveau, og skal dokumenteres yderligere.
- **Mængder:** Bestemmelse af mængder er baseret på simple tværsnitsprofiler, og der bør gennemføres en detaljeret 3D-modellering for bestemmelse af disse.

3.6.5 Anbefaling

Det kan anbefales at implementere jorddige langs vejen ved Hejsager Strandby fremfor fremskudt klitdige, idet et tilbagetrukket jorddige vil yde tilsvarende beskyttelse mod oversvømmelse som klitdiget. Dette er underantagelse om at bølgebrydning på eksisterende forland og klit er tilstrækkelig til at dæmpe bølgeenergien i tilstrækkelig grad således overskyl begrænses og skade på jorddiget undgås. Det er væsentligt at undersøge dette forhold hvis klitdiget erstattes af et bagvedliggende jorddige.

Derudover er det sandsynligt, at myndighed vil kræve at direkte og indirekte påvirket §3 beskyttet strandeng på bagside af klitdiget skal erstattes. Det er oplyst af Bygherre, at det er et areal på ca. 2,5 ha. Som minimum skal der forventes, at der skal etableres erstatningsnatur i forholdet 1:2, altså skal der genskabes 5 ha strandeng andetsteds. Omkostningerne hertil er ikke indeholdt i opdateret anlægsoverslag, men det vurderes at etablering af erstatningsnatur er omkostningstung. Jorddiget vil have en væsentlig mindre påvirkning af strandengen, hvorfor omkostninger til erstatningsnatur er væsentligt mindre.

3.6.6 Drift og vedligehold

Udover en betydelig anlægsmæssig besparelse forventes løsningen også at medføre økonomiske fordele ift. vedligehold. Vedligehold af jorddiget omfatter hovedsageligt slåning af græsset på diget samt jævnlige inspektioner for at forhindre vækst af buske og træer, som kan have en negativ effekt på digets funktion. Derudover kan der forekomme mindre udgifter til opretninger som følge af mindre sætninger og opståede huller, men samlet set vurderes omkostninger til vedligehold at være væsentligt mindre end til vedligehold af klitdiget. For klitdiget skal der forventes større omkostninger til vedligeholdelsesfodring samt genopbygning af klitdiget efter større stormflodshændelser og bølgepåvirkning.

Så ift. omkostninger til vedligehold vurderes jorddiget mere økonomisk end klitdiget.

3.7 Reduktion af sikringsniveau (svarende til klimatillægget – 29 cm) for tværdige

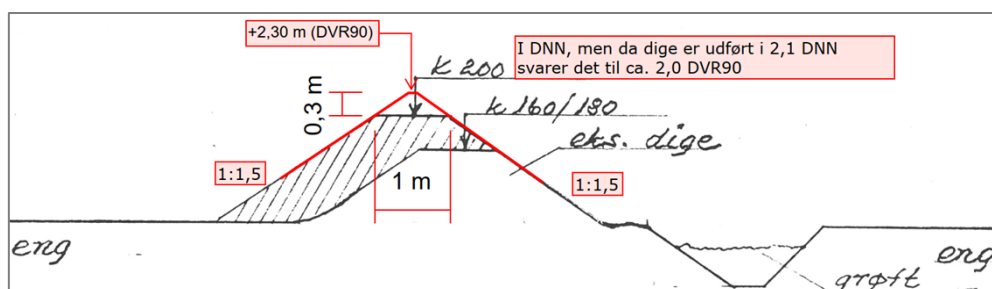
3.7.1 Grundlag

I det opdaterede dispositionsforslag er det forudsat, at eksisterende tværdige øst og nord for strandgrillen ved Hejsager Strandby udvides både i højde og bredde. Dette for at kunne modstå et fremtidigt vandstands niveau i år 2075 svarende til designhændelsen (VS +2,43 m). Sikringsniveauet, eller topkoten, af diget er bestemt til +2,60 m, og både for- og bagsidehældning er antaget at være 1:3.

For nærværende besparelspotentiale foreslås det dog, at der ikke tages højde for klimatillægget, hvorfor digets topkote kan reduceres til ca. +2,30 m.

Topkoten af det eksisterende tværdige er i dag mellem +2,0 og +2,1 m, og det skal således forhøjes mellem 0,20 og 0,30 m.

Der er taget udgangspunkt i tegninger af eksisterende dige, se Figur 3-15.

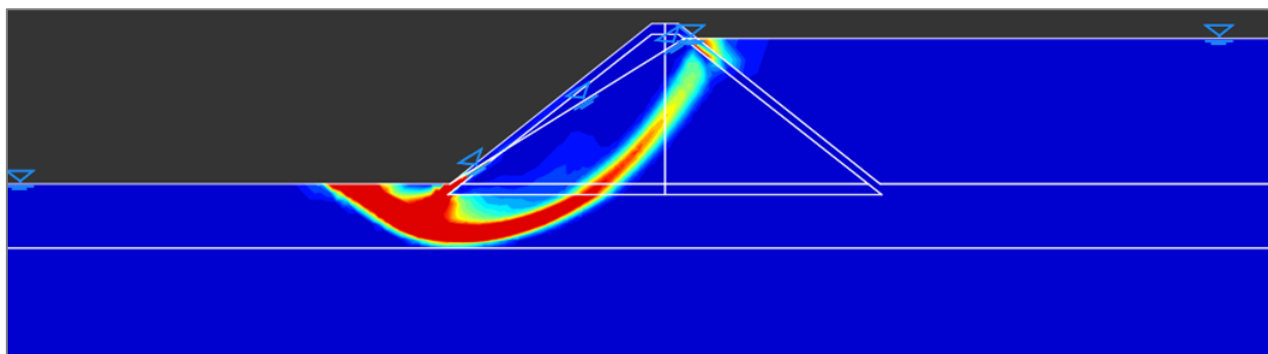


Figur 3-15: Tværsnit af forhøjet eksisterende tværdige.

3.7.2 Beregninger

For at sikre, at det forhøjede eksisterende tværdige har tilstrækkelig med bæreevne og stabilitet overfor et vandspejl i kote +2,16 m (ekskl. klimatillæg), er der foretaget én kontrolberegning af stabiliteten. I beregningen er der anvendt jordparametre fra den netop afleverede geotekniske rapport af jordbundsforholdene langs eksisterende tværdige.

Beregningerne viser, at diget ikke er stabilt overfor et vandspejl i kote +2,16 m, og at der derfor er risiko for brud af diget. Sikkerhedsfaktoren mod brud er 0,76, og denne skal være større end 1,0 for at diget er stabilt.



Figur 3-16: Beregningstværsnit af forhøjet eksisterende tværdige, hvor de gule og røde farver viser bruddet i diget. Sikkerhedsfaktor 0,76.

3.7.3 Besparelse

Da eksisterende dige ved forhøjelse ikke er stabil, kan dette besparelspotentiale ikke implementeres i projektet.

3.7.4 Risici og usikkerheder

Følgende risici og usikkerheder er identificeret:

- Ved en evt. forhøjelse af diget for beskyttelse mod oversvømmelse af designhændelsen (nutidig) er der stor risiko for, at der sker brud på diget med store oversvømmelser til følge.
- Det bemærkes i øvrigt, at eksisterende dige, som det står i dag, forventeligt ikke kan eftervises, og der er derfor behov for at forstærke dette ved at gøre siderne fladere, som også indeholdt i det opdaterede dispositionsforslag.

3.7.5 Anbefaling

Det kan ikke anbefales at forhøje diget uden yderligere tiltag.

3.7.6 Drift og vedligehold

Ikke relevant.

3.8 Fravalg af håndtering af overfladevand i Fredskovparken og Hejsager Strandby

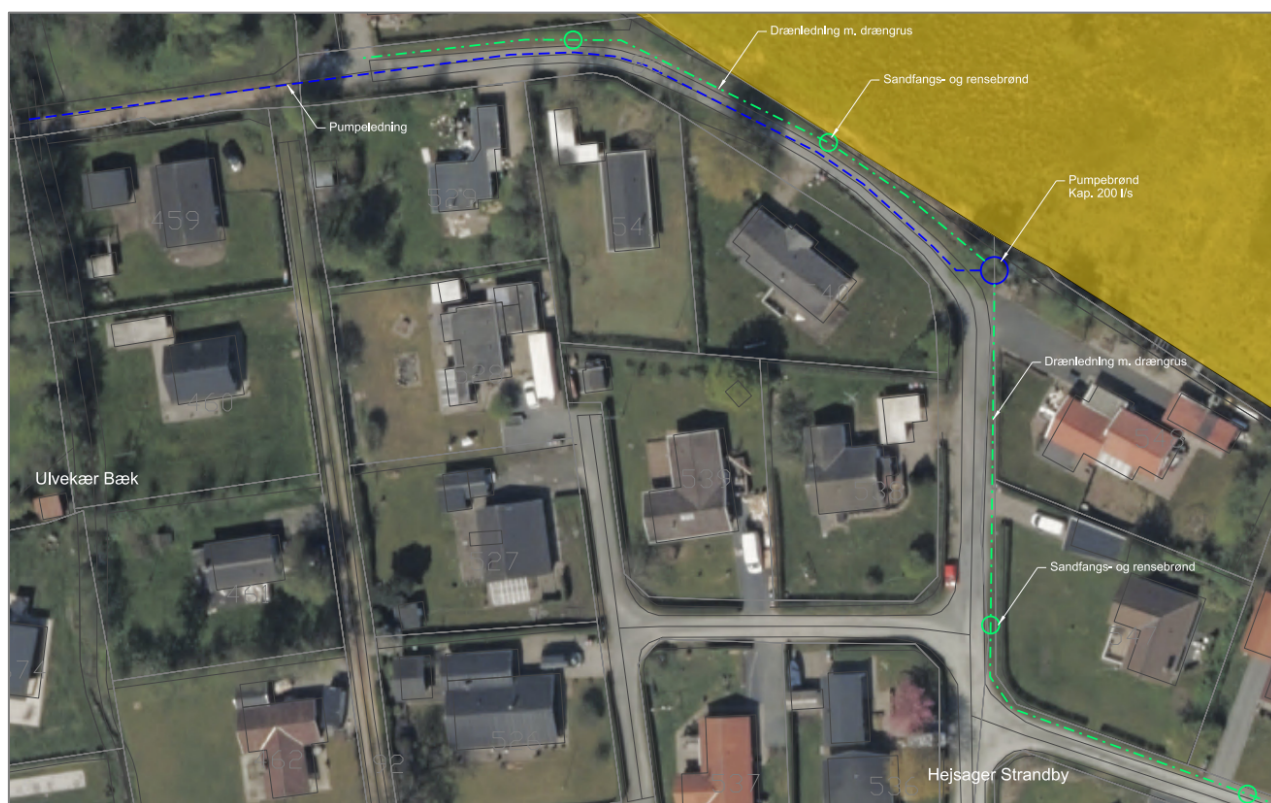
3.8.1 Grundlag

Der er i det opdateret dispositionsforslag, ref. [1], præsenteret løsninger for håndtering af overfladevand i Fredskovparken og Hejsager Strandby ved brug af drænledninger og pumpebrønde med udpumpning til Ulvekær Bæk.

3.8.2 Beregninger

Der er ifm. udarbejdelsen af det opdaterede dispositionsforslag foretaget analyse af de naturlige afstrømningsforhold i de to berørte områder. På baggrund af analyserne er der udarbejdet forslag til, hvordan overfladevandet kan håndteres, men der er ikke gennemført egentlige beregninger af afvandingssystemerne. Forslagene er vist på hhv. Figur 3-17 og Figur 3-18.

Derfor skal løsningerne behandles yderligere i detailprojekteringsfasen, og der skal gennemføres en dialog med borgerne i området, ift. om de mener, løsningerne kan være med til at forbedre forholdene.



Figur 3-17: Oversigtsplan af afvandingssystem for Hejsager Strandby – fra tegning VK-D-TH-0211.



Figur 3-18: Oversigtsplan af afvandingsystem for Fredskovparken – fra tegning VK-D-TH-0211.

3.8.3 Besparelse

Ved at undlade at etablere drænelinger og pumpebrønde i Fredskovparken og Hejsager Strandby kan der opnås en betydelig besparelse.

I henhold til post 12. i det opdaterede anlægsoverslag, ref. [1], vil der ved at undlade at etablere afvandingsystemerne kunne opnås en besparelse på ca. 4.600.000 kr. inkl. tillæg for arbejdsplads, korrektionstillæg og uforudsete udgifter.

3.8.4 Risici og usikkerheder

Følgende risici og usikkerheder er identificeret:

- Ved ikke at gennemføre afvandingsystem til håndtering af overfladevand vil borgerne i Fredskovparken og Hejsager Strandby fortsat opleve mindre oversvømmelser fra regnvand, som ikke naturligt kan afstrømme fra de lavest liggende områder.

3.8.5 Anbefaling

Det kan anbefales at undlade etablering afvandingsystemet i de to områder, da grundejerne i fællesskab eller gennem grundejerforeninger kan gennemføre selvstændigt afvandingsprojekt uden for projektet. Hertil skal det bemærkes, at det eksisterende problem med manglende afvandning af overfladevand ikke forværres af kystbeskyttelsesprojektet, og at vand fra Ulvekær Bæk håndteres under stormflod ved udpumpning. Derfor er problemet med overfladevand isoleret ift. kystbeskyttelsesprojekt.

Anbefalingen kan også understøttes af, at der i andre områder i projektet er behov for håndtering af overfladevand, men hvor det er valgt, at det ikke skal håndteres.

3.8.6 Drift og vedligehold

Ikke relevant.

4 Referencer

- [1] Vores Kyst – Opdateret Dispositionsforslag; Rapportnummer 1100060489-4-030-001; Version 1.0; Rambøll; 2025/05/28
- [2] Teknisk notat – Eftervisning af skrænten ved Blokhusskoven; Notatnummer 1100060489-4-011-011; Version 1.0; Rambøll; 2025/05/19