

Højvandsbeskyttelse
af Frederiksværk

Myndighedsprojekt

HALSNÆS KOMMUNE

06. OKTOBER 2021

Indhold

1	Indledning	3
2	Formål	4
3	Beskrivelse af forhøjet dige	5
3.1	Plan og snit	5
3.2	Fremtidig forhøjelse af Classens Dige	8
3.3	Mængder og anlægsoverslag	8
4	Eksisterende forhold	11
4.1	Besigtigelse	11
4.2	Geotekniske forhold	15
4.2.1	Geoteknisk arkivsøgning	15
4.2.2	Feltundersøgelser	15
4.2.3	Materialelegnanvendelse	17
4.3	Ledningsforhold	17
4.4	Afstrømningsforhold	18
4.5	Natur- og forureningsforhold	20
5	Sikringsniveau	21
5.1	Beregningsprincipper	21
5.2	Normal vandstand	22
5.3	Eustatisk havspejlsstigning	22
5.4	Isostatiske landhævning	23
5.5	Ekstrem vandstand	23
5.6	Sikkerhedsniveau	26
6	Referencer	28
7	Bilag	29

Projekt ID: 10411279
/Endret: 06-10-2021 17:33
Revision 1.0

Udarbejdet af RAIW, SSC
Kontrolleret af CHLD
Godkendt af CHLD

1 Indledning

Halsnæs Kommune har bedt NIRAS udarbejde myndighedsprojekt for højvandsbeskyttelse af Frederiksværk ved Classens Dige.

Myndighedsprojektet er baseret på et evalueringsnotat udarbejdet af NIRAS, (NIRAS, Evalueringsrapport Frederiksværk højvandssikring, 2021), der præsenterer forskellige løsningsmuligheder for linjeføring af dige ved Hanehoved i Frederiksværk.

På baggrund af evalueringsnotatet har Halsnæs Kommune besluttet at forhøje Classens Dige til +2,5m DVR90 med en digebredde, der muliggør senere forhøjelse til +3,0m DVR90.

Classens Dige har fungeret som højvandsbeskyttelse for Frederiksværk i over 300 år, og er igennem tiden løbende blevet renoveret grundet slid og sætninger.

Projektområdet består af eng, mose, strandeng og græslandskab, der benyttes til rekreative formål som løbeture, gåture og hundeluftning. Diget indeholder en grussti, der binder området sammen og har således en vigtig rekreativ funktion.

Bebyggelsen i og omkring Hanehoved er privat og ligger generelt over kote +2,7m DVR90. Herfra skråner landskabet i sydøstlig retning imod Classens Dige, hvor det umiddelbart bag diget når kote + 0,7m DVR90.

Hanehoved udgør oplandet på landværts side af diget, og det opsamlede vand herfra ledes naturligt i sydøstlig retning indtil det når bagsiden af Classens Dige. Herfra ledes vandet i en grøft imod Frederiksværk, hvor grøften støder til kanalen fra Arresø og slutteligt ender i havet.

Som grundlag for myndighedsprojektet er området blevet inspiceret af Stine Holm og Lis Vedel fra Halsnæs Kommune og Rasmus Iwersen, Jacob Bjørnager og Jan Dietrich fra NIRAS 12.02.2021 og igen af Signe Schløer fra NIRAS og Stine Holm fra Halsnæs Kommune 08.06.2021.

Der er gennemført en række nye geotekniske borer og sonderinger langs den valgte linjeføring. De geotekniske data er analyseret og anvendt til sætnings- og stabilitetsanalyser, (NIRAS, Frederiksværk højvandssikring. Geotekniske undersøgelser., 2021) og (NIRAS, Højvandsbeskyttelse Frederiksværk by - Geoteknisk notat 01 - Sætninger og Stabilitet, 2021), se også Bilag 4. Det konkluderes, at sætninger på ca. 0,05m og 0,08m kan forventes for en kronekote på hhv. + 2,5m DVR90 og + 3,0m DVR90.

Alle højdedata stammer fra DHM 2017.

2 Formål

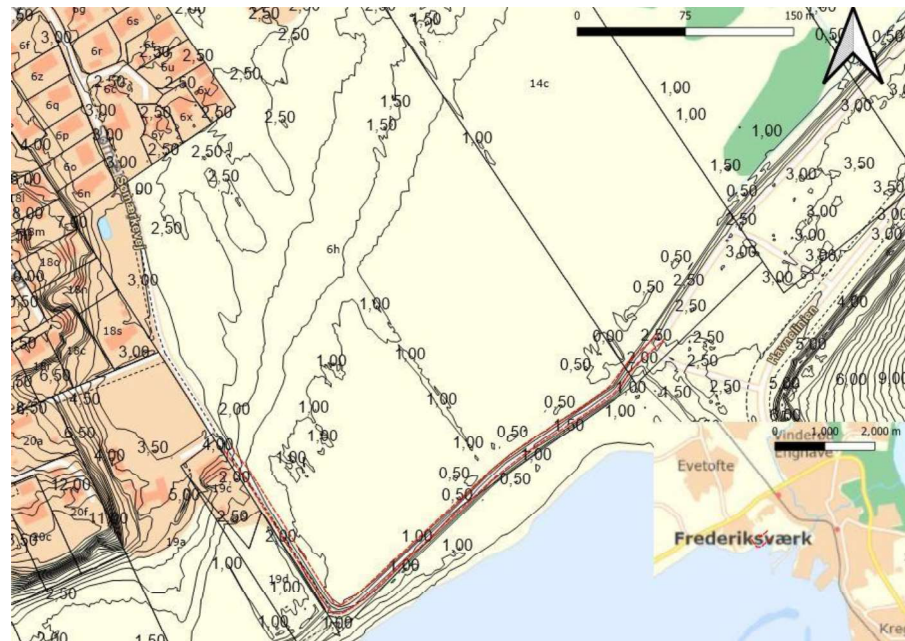
Classens Dige skal udgør en del af den fremtidige beskyttelse af Frederiksværk mod oversvømmelse fra havet og fremtidige havspejlsstigninger.

Formålet med myndighedsprojekt er at ansøge om tilladelse til forhøjelse af Classens Dige til kote +2,6m DVR90 med et tværsnitsprofil, der muliggør fremtidig forhøjelse til kote + 3,1m DVR90, se også Bilag 1, 2 og 3. De angivne koter indeholder forventede fremtidige sætninger på ca. 0,1m.

Kote +2,6m DVR90 vurderes som minimum at beskytte Frederiksværk imod en 100-års stormflodshændelse frem til år 2050.

Projektområdet samt berørte matrikler, højdekurver og tracé af højvandsbeskyttelsen er vist i Figur 2.1. De berørte matrikler er 6h og 14c, som begge ejes af Halsnæs Kommune, se også Bilag 1.

Figur 2.1: Projektområde og berørte matrikler samt placering af højvandsbeskyttelse. Dige traceet er markeret med rød stiplede linje



Længden af det forstærkede dige er ca. 420m. Anlægget er 1:3 på begge sider. Bredden af toppen af diget er generelt 3-5m, hvilket giver en samlet bredde i bunden af diget på ca. 15m. Det samlede fodaftryk af diget er ca. 6.300 m².

Der anlægges en ca. 2m bred grussti langs toppen af diget.

Der anlægges en støttemur med gelænder ved pumpestationen i den østlige ende af diget. Desuden sikres vejadgang til pumpestationen fra øst.

Eksisterende spildevandsledning langs digets østlige del flyttes, så den ligger minimum 3m fra bagsiden af det nye dige.

3 Beskrivelse af forhøjet dige

3.1 Plan og snit

Halsnæs Kommune har valgt at forhøje og forstærke det 300 år gamle Classens dige til kote +2,6m DVR90 med dige tracé som vist i Figur 3.1 og Figur 3.2, Løsning A1 (NIRAS, Evalueringsrapport Frederiksværk højvands sikring, 2021).

Figur 3.1: Linjeføring for forhøjet dige og omlagt spildevandsledning samt matrikelgrænser



Det nye forstærkede dige placeres ovenpå det eksisterende dige fra øst for pumpestationen, hvor topkoten af eksisterende dige er + 2,6m DVR90 i dag til ejendommen Sømærkevej 28, hvor koten ligeledes er + 2,6m DVR90, se Figur 3.1. Hele digets fodaftryk er vist i Figur 3.2 med angivelse af stationeringer, tværsnit og afsætningspunkter.

Den nye digekrone er 3-5m bred, således at der fortsat er plads til en ca. 2m bred grussti oven på diget og diges rekreative funktion herved bevares.

I det sydvestlige hjørne, hvor diget drejer 90 grader, anlægges en lidt bredere digekrone for at beskytte mod bølgepåvirkning under ekstremt højvande.

Forskellen mellem topkoten af det forstærkede dige og terrænkoten på landværtsiden af diget er ca. 1,8 m, som dog varierer langs diget.

Figur 3.2: Plantegning, Løsning A1: Forhøjelse af Classens Dige til +2,6m DVR90

KOORDINATTABEL		
Pkt. nr.	X	Y
P1	686795.42	6206532.22
P2	686803.93	6206521.63
P3	686863.43	6206428.07
P4	686871.34	6206425.95
P5	686884.51	6206434.84
P6	686952.88	6206498.60
P7	686975.41	6206519.39
P8	687006.58	6206543.06
P9	687058.23	6206577.98
P10	687072.53	6206596.56
P11	687092.38	6206614.92



Diget udføres med anlæg 1:3 på begge sider og får derved en bredde på ca. 15m ved eksisterende terræn. Diget forstærkes over en længde på ca. 420m, som giver et samlet fodaftrykket af diget på ca. 6.300m².

Det eksisterende dige ryddes for beplantning som bortskaffes.

Der afgraves herefter ca. 0,5m af digets overflade og umiddelbart bagved samtidig med, at det afrettes til anlæg 1:3. Der bygges herefter ovenpå med kernemateriale og 0,5m ler-membran for at opbygge det specificerede digeprofil.

Afgravet jord sorteres i muld og sand i muligt omfang. Egnede sand indbygges i digets nye kerne. Blandet muld, sand og ler udlægges og afrettes ensartet langs digets bagside efter færdiggørelse af ler-membranen.

Figur 3.3 viser en række karakteristiske tværsnit af det nye dige.

Der anlægges en grussti med en bredde på ca. 2m langs toppen af diget. Desuden sikres vejadgang til pumpestationen fra øst.

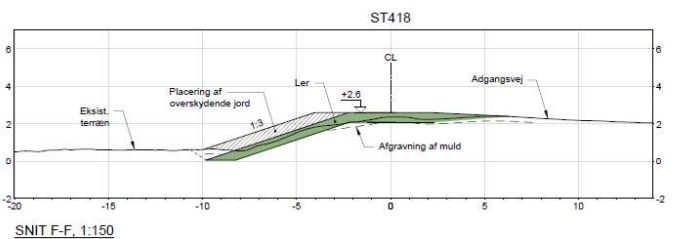
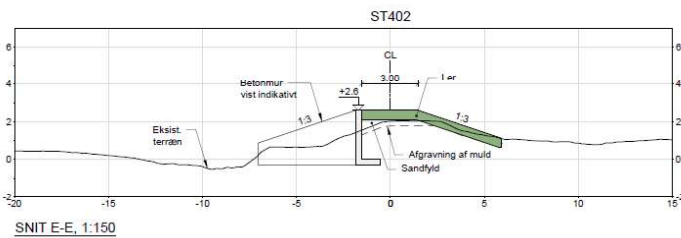
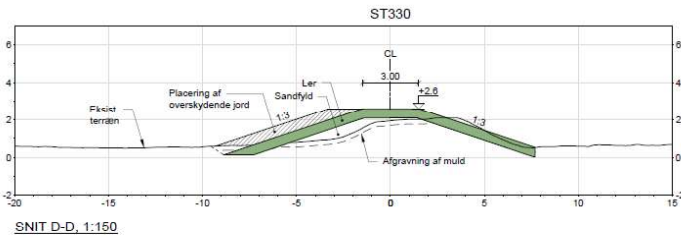
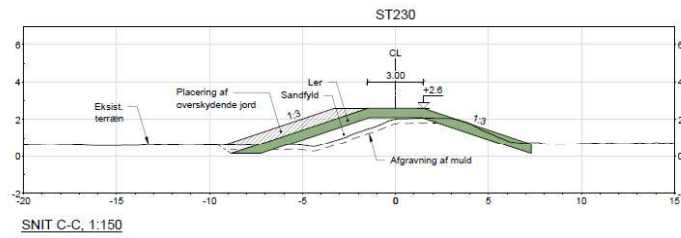
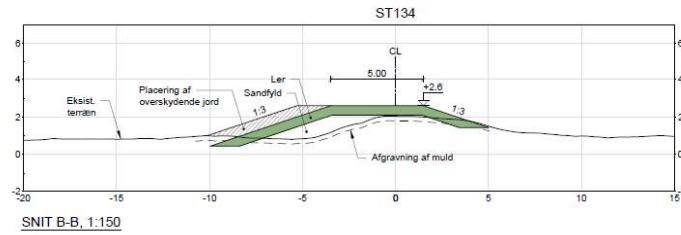
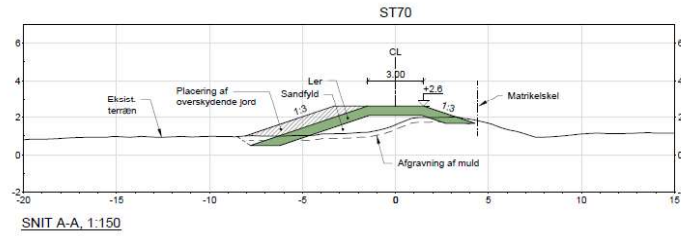
Der anlægges en støttemur af beton med gelænder ved pumpestationen i den østlige ende af diget for at opretholde pumpestationens funktion.

Forsyningen ønsker ikke, at spildevandsledning ligger under det nye dige. Spildevandsledningen flyttes derfor og placeres minimum 3m bag diget.

Figur 3.3: Karakteristiske tværsnit af nyt dige forhøjet til +2,6m DVR90.

Ubenævnte mål er i meter

CL= centerlinje



Alle plan- og snittegninger er vedlagt myndighedsprojektet som Bilag 3.

3.2 Fremtidig forhøjelse af Classens Dige

Diget er forberedt til at kunne forhøjes til +3,0m DVR90.

Forhøjelsen kan udføres ved at udbygge top af diget med en kronekote på +3,1m DVR90 og en kronebredden på minimum 3m og en hældning på mellem 1:2 og 1:3 på begge sider.

3.3 Mængder og anlægsoverslag

På grundlag af 3D CAD tegningerne af diget er der beregnet følgende mængder til opbygning af diget til +2,6m DVR90 og arealer af digtes overflade samt fodaftryk, se Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Mængder, arealer og fodaftryk

LØSNING	A1
Afgravningsmængde (m ³)	1.900
Sand (m ³)	1.750
Ler (m ³)	2.950
Overflade (m ²)	6.075
Fodaftryk (m ²)	Ca. 6.300
Fodaftryk på strandeng (m ²)	3.850
Fodaftryk på eng (m ²)	0
Fodaftryk på mose (m ²)	0

Tabel 3.2 viser enhedspriser og materialepriser for forhøjelse af Classens Dige til +2,6m DVR90. Enhedspriserne er baseret på erfaringer fra lignende nyere projekter i Danmark.

Den gamle del af Classens Dige som støder op mod Havnevej, anvendes til kørsel af tungt maskinel som kræver adgang til pumpestationen samt brønde ved og omkring Classens Dige, se Figur 3.1. Der er derfor inkluderet omkostninger til udvidelse af vejadgangen i den østlige ende af dige fra pumpestationen, se afsnit 4.5. Der er desuden medregnet 2 m bred grussti langs hele diget.

Vurderingerne af de fremtidige sætninger af diget viser, at der ikke er betydeligt behov for genopfyldning af diget, hvorfor dette ikke fremgår af anlægsbudgettet, se Afsnit 4.2.2.

Det vurderes, at vedligeholdelsen af diget hovedsageligt vil bestå af ca. 5 græsklipninger hen over vækstsæsonen og 1 årlig vedligeholdelse af grusstien, hvilket samlet set er vurderet til 2% af anlægssummen.

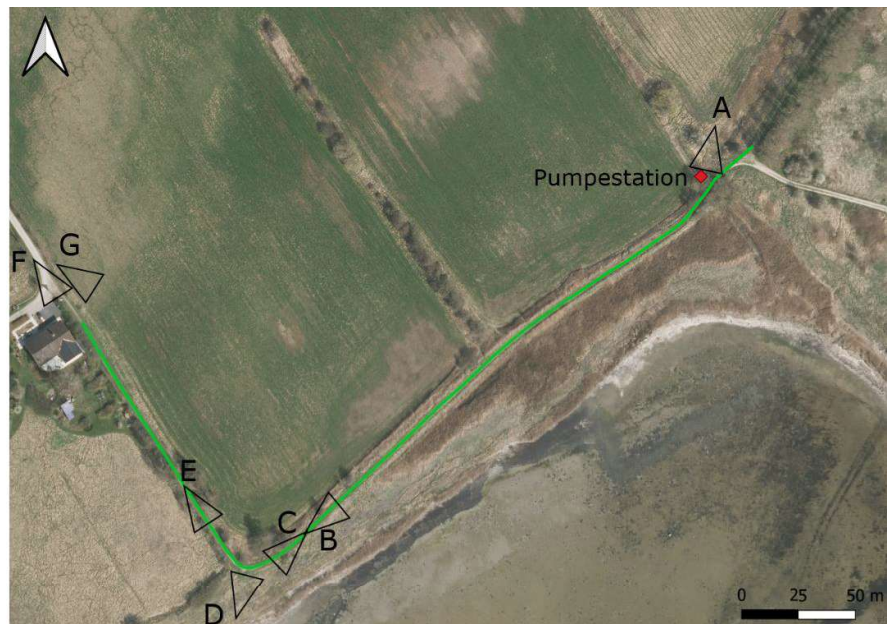
4 Eksisterende forhold

4.1 Besigtigelse

Classens Dige blev besigtiget 12.02.2021 og 08.06.2021.

Figur 4.1 viser den strækning diget skal forhøjes og placering samt retning af foto beskrevet i det følgende.

Figur 4.1: Strækningen diget skal forhøjes er vist med grøn linje. Bogstaver henviser til foto beskrevet i Figur 4.2 til Figur 4.8



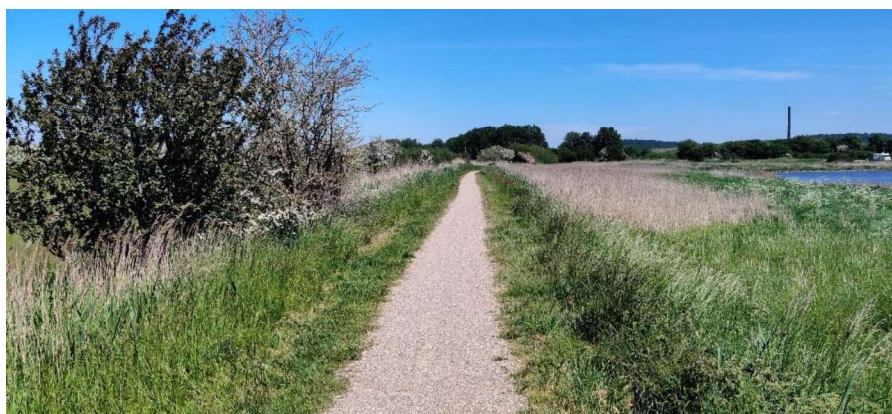
Pumpestationen ved den østlige ende af diget ses på Figur 4.2 (Foto A) .

Figur 4.2: Billede af pumpestationen, Foto A.

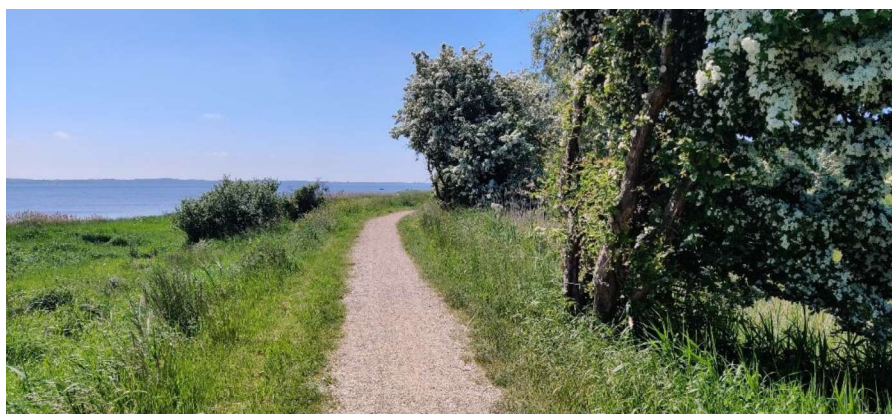


Langs med fjorden står der buske og træer på digets skråninger, se Figur 4.3 (Foto B) og Figur 4.4 (Foto C). Diget har en ca. 3m bred krone, hvor der er anlagt en gang- og cykelsti belagt med grus.

Figur 4.3: Billede af diget langs fjorden, Foto B.



Figur 4.4: Billede af dige langs med fjorden, Foto C.



Figur 4.5 viser hjørnet, hvor diget drejer 90 grader. Færdsel ned over diget har medført, at der er mindre vegetation på diget og dermed større risiko for erosion.

Figur 4.5: Billede af hjørnet af diget, Foto D



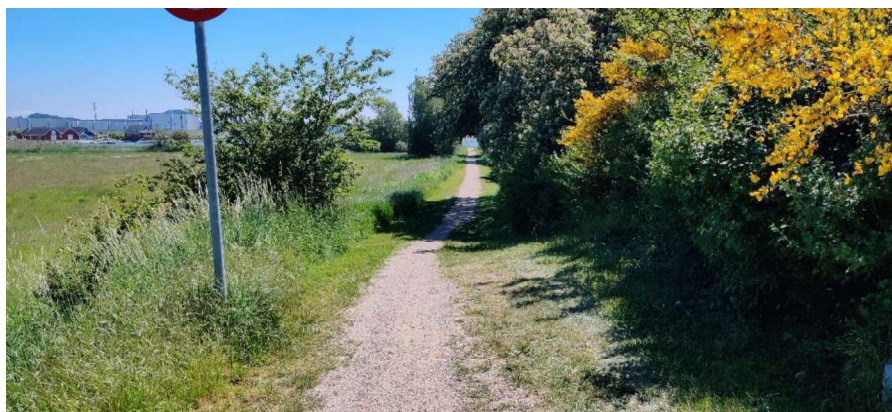
Op mod Sømærkevej findes en del buske og træer spredt langs digets skråninger, se Figur 4.6.

Figur 4.6: Billede af sydligste del af dige op mod Sømærkevej, Foto E



På den sidste del af diget op mod Sømærkevej findes der mere tæt bevoksning i form af træer og buske på digets vestvendte skråning, se Figur 4.7. Det eksisterende dige ender ved Sømærkevej 28 omkring kote +3,0m DVR90, hvilket er tæt på, hvor billedet er taget.

Figur 4.7: Billede af nordligste del af dige op mod Sømærkevej, Foto F



Landværts diget findes et grønt fladt naturområde, som er vist på Figur 4.8.

Figur 4.8: Billede af naturområde landværts diget, Foto G



4.2 Geotekniske forhold

4.2.1 Geoteknisk arkivsøgning

Forud for planlægningen og udførelsen af den geotekniske undersøgelse er oplysninger om jordbundsforhold mv. indsamlet og gennemgået fra følgende kilder:

- Nye og ældre topografiske kort (GST)
- Geologiske jordartskort (GEUS)
- GEUS' boringsdatabase, Jupiter
- Tidligere geoteknisk undersøgelse for Classens Dige (COWI, juni 2015)

Projektområdet er et fladt eng- og markareal med terræn i kote +0,5m til +2,5m DVR90, der ligger ud til Roskilde Fjord.

Grænsende op til projektområdets sydøstlige del, ligger et hævet opfyldt areal. Det er oplyst, at det er et ældre deponi for husholdningsaffald.

Eksisterende boringer fra undersøgelsen i 2015 (COWI, juni 2015) viser aflejringer af marint sand, der i en enkelt boring (GB6) overlejrer gytje. I boringer i området fra JUPITER-databasen (DGU nr. 186.742 og 186.742) som findes ca. 70m mod øst for projektområdet er der stedvist truffet moræneler i kote ca. -7m.

4.2.2 Feltundersøgelser

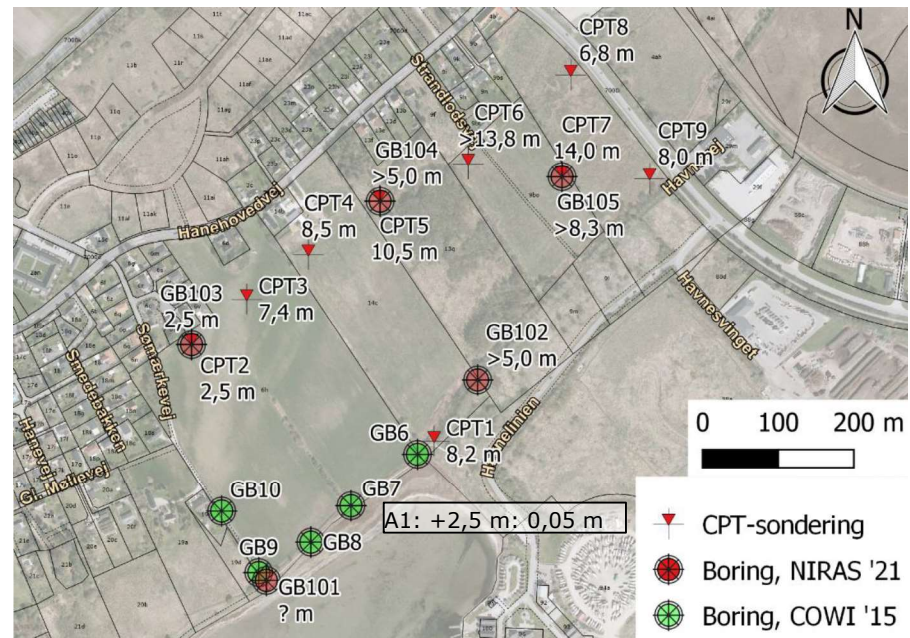
NIRAS har gennemført geotekniske undersøgelser (NIRAS, Classens Dige. Undersøgelse af Digeopbygning. , 2010), (NIRAS, Frederiksværk højvandssikring. Geotekniske undersøgelser., 2021) samt (NIRAS, Højvandsbeskyttelse Fredriksværk by - Geoteknisk notat 01 - Sætninger og Stabilitet, 2021), se Bilag 4.

Sammen med COWI's undersøgelser (COWI, Højvandssikring i Frederiksværk. Geoteknisk undersøgelsesrapport. Data Rapport., 2015) danner NIRAS' undersøgelser grundlaget for vurderingen af de funderingsmæssige forhold under den

valgte løsningsvariant. Til stabilitet- og sætningsberegning for Løsning A1 er GB6-GB10 samt GB101 og CPT1 anvendt, Se Bilag 4.

NIRAS' seneste undersøgelse (NIRAS, Frederiksværk Højvandssikring, 2021) blev udført i perioden 18. – 23. februar 2021 og omfattede 5 geotekniske borer (GB101-GB105) og 9 CPTU-sonderinger (CPT1-CPT9), se Figur 4.9. Boringerne er udført med traditionelt hydraulisk boreværk som 6" forede snegleboringer til 8 til 12m under terræn (u.t.), mens CPTU blev ført til 15 til 31m u.t.

Figur 4.9: Geoteknisk boreprogram med angivelse af lagtykkelse i m på blødbund på alle borede positioner og estimerede sætninger (boks)



I boringerne er der udtaget omrørte prøver pr. halve meter, samt en terrænnær prøve 0,2m u.t. til ingeniørgeologisk jordartsbestemmelse. Der er endvidere udført vingeforsøg til bestemmelse af vingestykken (c_v) i lerede jordarter.

Der blev observeret blødbund tykkelser på 8-14m på næste alle lokaliteter. På grundlag af boreprofiler blev der beregnet sætninger fra forstærkningen af Clas-sens Dige. Det fremgår, at der kan forventes små sætninger i forbindelse med forstærkning af det eksisterende dige i størrelsesorden 0,1 m, Bilag 4. Sætningsangivelsen her betragtes som "endelige sætninger" over tid.

Sætningsberegningerne er undersøgt for et nominelt digeprofil med kronokote på henholdsvis +2,5m DVR90 og +3,0m DVR90.

Det vil være oplagt delvist at kompensere for sætningerne ved at udføre diget med en overhøjde og derved dels udsætte tidspunktet for justering af diges kronokote og samtidigt afvente den virkelige sætning.

For Løsning A1 anvendes en overhøjde på 0,1m.

4.2.3 Materialelegnanvendelse

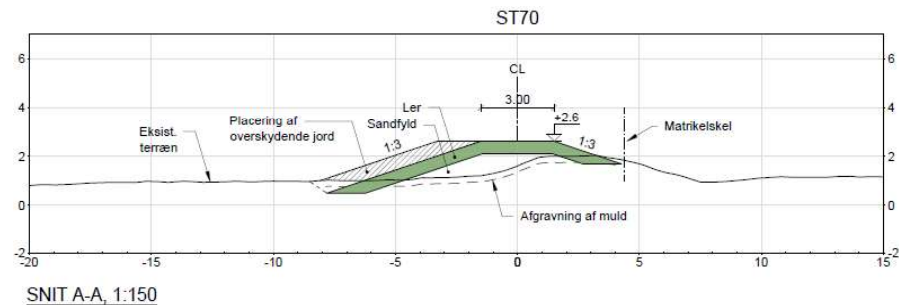
Det forventes, at materialet der afgraves af det eksisterende dige er en blanding af organiske materialer og muld, se Bilag 4 og (NIRAS, Classens Dige. Undersøgelse af Digeopbygning. , 2010).

Det afgravede materiale kan derfor som udgangspunkt ikke anvendes som kerne-materiale i det nyanlagte dige.

Ved at lægge dette materiale på bagsiden (landværts siden) af det nyanlagte dige fjernes udgifter (og CO₂-aftrykket) associeret med bortskaffelsen af materialet. Ydermere kan bredden af kronen for det nye dige forøges med dette materiale og dermed øge stabiliteten for en eventuelt senere udvidelse af diget til kote + 3,0m DVR90.

Det foreslås, at det afgravede materiale placeres som anvist med skravering i Figur 4.10. Hvis samtlige 1,900m³ afgravede materiale kan genbruges vil kronebredden udvides med ca. 2m, således at den samlede kronebredde er ca. 5m, se Afsnit 3.3. Materialet placeres jævnt langs bagsiden i hele digets længde.

Figur 4.10: Potential udvidelse af diget ved genanvendelse af afskrabet jord fra eksisterende dige. Den sorte streg markerer den maksimale udvidelse på ca. 2 m og skal ses som en konvolut, hvori det endelige profil kommer til at ligge



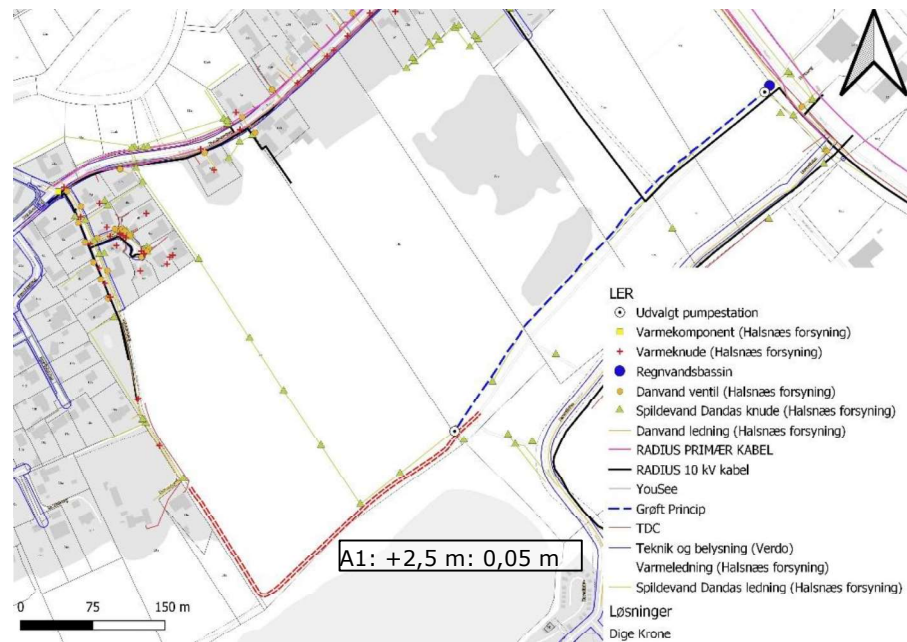
4.3 Ledningsforhold

Ifølge Ledningsejerregisteret (LER) er der forskellige aktører, hvad nedgravede ledninger og rør angår i og omkring Hanehoved området. Aktive ledningsejere er pr. medio Februar 2021:

- Evida Nord A/S (HMN GasNet)
- HALSNÆS FORSYNING
- Halsnæs Kommune (Verdo Entreprise Gadelys)
- Radius Elnet A/S og;
- TDC A/S samt YOUSEE

I forbindelse med eventuelt gravearbejde er ledninger iht. ovenstående liste indsat i Figur 4.11. Digets placering er markeret med stiplede røde linjer.

Figur 4.11: Ledningsforhold inklusive pumpestationer i området ved Hanehoved



I Figur 4.11 er der markeret to pumpestationer. Der ligger en pumpestation i den østlige ende af diget, Løsning A1, som primært transporteret vand væk fra spildevandsledningen, der går fra Hanehovedvej og tværs ind over matrikel 6h og ned til diget.

I forlængelse af det valgte dige tracé ligger en perkolatledning der har til formål at aflede vand forbundet med et større område klassificeret som V2 forurening fra en tidligere losseplads beliggende stik øst for diget. Perkolatledningen forventes dog ikke at have effekt på forhøjelsen af diget til kote + 2,6m DVR90, men til + 3,0m DVR90 bør dette dokumenteres.

Spildevandsledningen markeret med grøn i Figur 4.11 og med rød i Figur 3.2, ligger i øjeblikket ved foden af Classens dige. Ved eventuelle reparationer skal Halsnæs Forsyning kunne tilgå ledningen, hvorfor den flyttes ind i land, i en afstand der sikrer dels, at det forstærkede dige ikke overdækker ledningen, og dels i en afstand der reducerer sandsynligheden for at tunge maskiner kører ovenpå ledningen. Ledningen placeres minimum 3m fra foden af det nye dige.

4.4 Afstrømningsforhold

Oplandet bag det eksisterende dige er afgrænset af vejene Hanehovedvej og Havnevej, som terrænmæssigt ligger højere end oplandet pga. vejopbygningen, se Figur 4.12.

Figur 4.12: Strømningsveje i forbindelse og vand på terræn under en 100 års regnhændelse. Det forhøjede diges fodaftryk er vist med en stiptet rød linje.

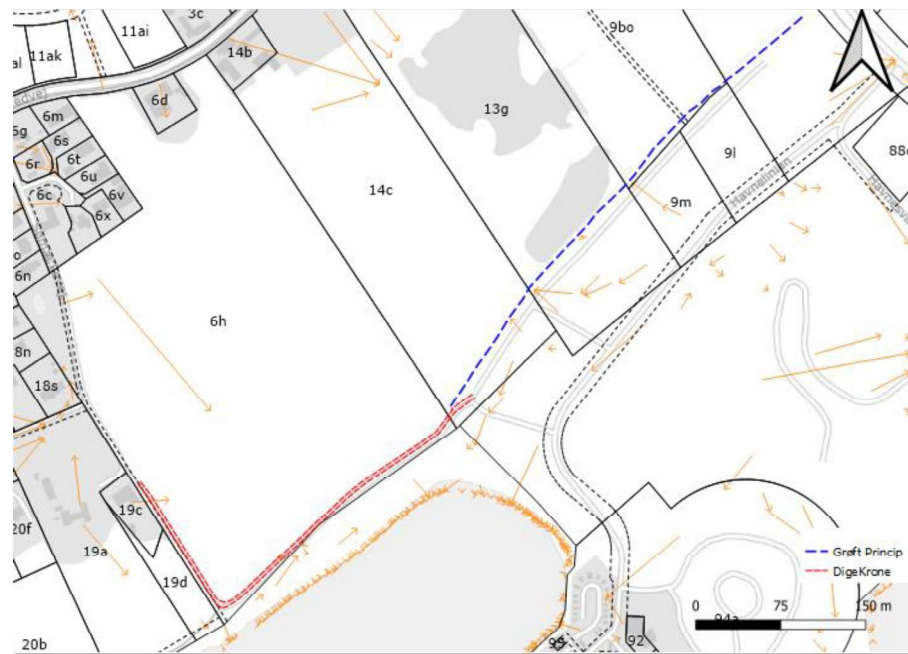


Ovenstående figur viser et udklip fra Scalgo, hvor det eksisterende dige ses som en del af terrænmodellen sammen med fodaftrykket af det nye dige, der er vist som en rød stiptet linje. På udklippet ses også, hvor der er risiko for vand på terræn under en regnhændelse med en gentagelsesperiode på 100 år (skybrud). Med Spildevandskomiteens Regional Regnrække excel-ark vers. 4.1 er regndybden beregnet for en CDS-regn med varighed på 4 timer til 78 mm (Chicago Design Storm). Der er regnet med klimafaktor på 1,2, men der er ikke regnet med fortætning eller modelusikkerhedsfaktor

De blå linjer på figuren angiver strømningsvejene i oplandet. Det ses, at der nord for diget er flere større strømningsveje, som ved foden af diget skifter retning pga. terrænforskellen og ledes videre til en grøft, der har et fald i nordøstlig retning. Det vurderes, at en udbygning af det eksisterende dige ikke vil ændre mærkbart på eksisterende afstrømningsforhold i området. Dette hverken af miljømæssige eller hydrauliske hensyn.

Oplandet har naturligt fald mod sydøst, hvilket betyder, at afstrømningen i oplandet ledes ned mod den eksisterende grøft, der ligger parallelt med førnævnte perkolatledning. Grøften er markeret med en blå stiptet linje i Figur 4.13. Grøften løber langs med lossepladsen, og leder vand fra oplandet mod nordøst via et underført rør under Havnevej og videre ind imod Frederiksværk by.

Figur 4.13:
Strømningsretninger i
forbindelse og vand på terræn
ved Hanehoved,
Frederiksværk



4.5 Natur- og forureningsforhold

Området er naturbeskyttet med strandeng og eng, som vist på Figur 4.14.

Figur 4.14: Naturbeskyttelse
samt V2 forurenede områder
nær Classens Dige

SIGNATURER:

-  Eng
-  Mose
-  Strandeng
-  Forurening
-  Matrikelskel af nummer

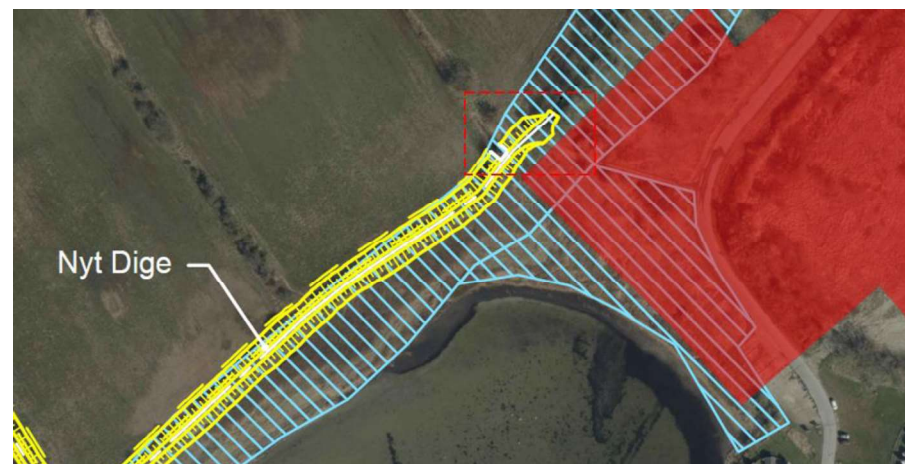


Projektet ligger delvist indenfor en § 3-beskyttet strandeng, som ligger foran diget ud mod fjorden. Der foreligger ingen nyere besigtigelsesdata for strandengen og naturtilstanden er derfor ukendt. Det forventes, at der i anlægsfasen vil blive indtaget ca. 3.850m² af strandengen.

Derudover ligger der en § 3-beskyttet eng ca. 5m mod vest fra digets vestlige afgrænsning. Engen blev senest besigtiget tilbage i 2013 og havde på daværende tidspunkt en dårlig naturtilstand. Det forventes ikke, at diget kommer til at have et fodaftryk på engen. Det nye forstærkede dige blive bygget direkte oven på eksisterende dige og bagved, således at der ikke graves ud foran diget.

Halsnæs Forsyning kræver adgang til pumpestationer og brønde på og ved Clasens dige og det er derfor nødvendigt at hæve eksisterende vejadgang øst for det forstærkede dige, se Figur 4.15.

Figur 4.15: Område hvor eksisterende vejadgang hæves



5 Sikringsniveau

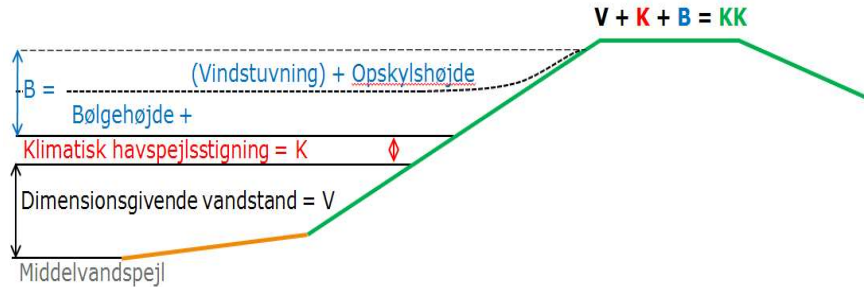
5.1 Beregningsprincipper

Overordnet bestemmes sikringsniveauet for diget ud fra følgende:

1. Vandstanden (V) svarende til den valgte middeltidshændelse findes ud fra højvandsstatistikker.
2. Dernæst vurderes den forventede havspejlsstigning inden for projektets levetid (K), som korrigeres for landhævning.
3. Summen af V og K udgør den dimensionsgivende vandstand på dybt vand.
4. Korrelation mellem forhøjet vandstand og samtidig bølgepåvirkning vurderes herefter.
5. Forventes samtidighed mellem ekstrem vandstand og bølgepåvirkning, skal der estimeres en højde, hvortil bølgeopskyllet kan nå, B (fribord).

De forskellige bidrag er visualiseret på principskiten i Figur 5.1.

Figur 5.1: Principskitse for bidrag til beregning af kystbeskyttelsens kronekote i fremtiden (KK)



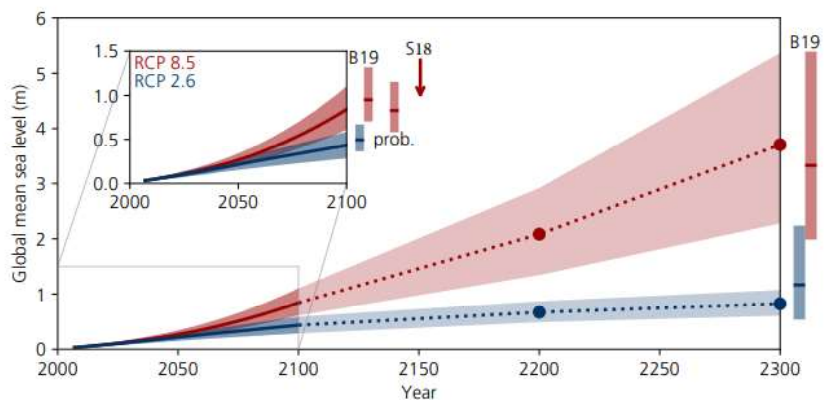
Halsnæs Kommune har besluttet, at diget skal anlægges med en højde på +2,5m DVR90. I det følgende beregnes sikkerhedsniveauet for diget ud fra den fremtidige havspejlsstigning.

5.2 Normal vandstand

Forskellen mellem middelhøjvande og middellavvande er 0,5m. N-NV-lige vinde kan normalt give indtil 0,8m højvande og S-SØ-lige vinde indtil 0,8m lavvande (DenDanskeHavnelods, 2018).

5.3 Eustatisk havspejlsstigning

De globale klimaforandringer resulterer i eustatiske havspejlsstigninger i fremtiden. Den fremtidige havspejlsstigning baseres på IPCC's rapport fra 2019 (IPCC, 2019), se Figur 5.2.



Figur 5.2 Global havspejlsstigning frem til år 2300 for to klimascenarier (RCP). Middelværdien i prognoserne er vist med stiplede linjer og usikkerhedsintervallet er vist med farvede områder, (IPCC, 2019).

DMI anbefaler, at anvende klimascenariet RCP 8,5 til fastlæggelse af havspejlsstigning i forbindelse med design af kystbeskyttelse, som benyttes i dette projekt.

Figuren viser, at der er betydelig usikkerhed på forudsigelserne af den fremtidige havspejlsstigning.

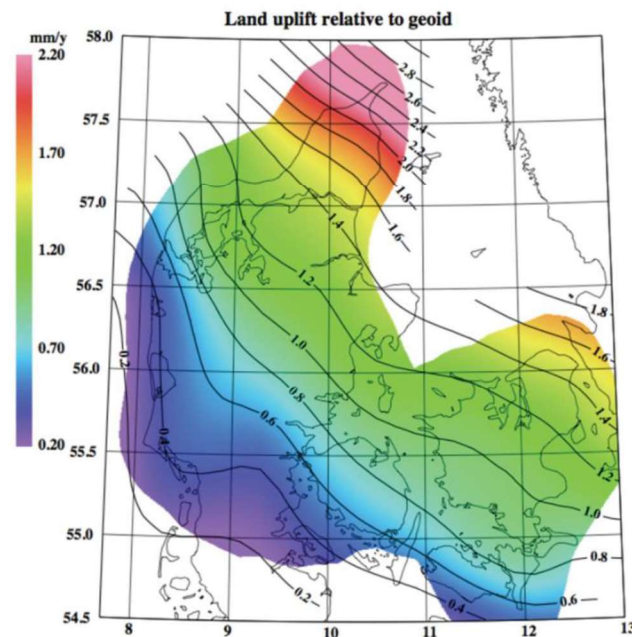
5.4 Isostatiske landhævning

I Danmark foregår der i dag generelt en landhævning.

Landet blev trykket ned af isen under sidste istid. Da isen forsvandt, begyndte landet at hæve sig igen. Der er dog store regionale hastighedsforskelle, som kan ses på Figur 5.3.

Landhævningen er mindre end den forventede havspejlsstigning, hvorfor der stadig forventes en relativ havspejlsstigning.

Figur 5.3 viser, at den isostatiske landhævning ved Frederiksværk er omkring 1,3mm/år.



DI viser landhævningen i mm. per år over Danmark. Landhævningen er effekten af den ophørte nedpresningseffekt efter afsmeltning af det Skandinaviske Isskjold fra sidste istid, som særligt påvirker den nordøstlige del af Danmark.
Kilde: DTU Space, 2015

Figur 5.3 Absolut landhævning i Danmark

5.5 Ekstrem vandstand

Kystdirektoratet (KDI) og COWI har udarbejdet højvandsstatistikker for en række danske kystbyer.

KDI har udarbejdet højvandsstatistik for Roskilde Havn udelukkende baseret på vandstandsmålinger fra år 1992-2017, se Figur 5.4 (Kystdirektoratet, 2019).

COWI har udarbejdet højvandsstatistik for Realdania for Frederiksværk, der udover vandstandsmålinger inkluderer dokumenterede historiske stormfloder, se Figur 5.5 (Realdania, Cowi, 2017).

Der er forskel på statistikkerne og herunder specielt på de sjældne ekstreme storme. Dette skyldes primært, at der er forskel på længden af vandstandstidsserierne og i hvor høj grad, historiske storme er medtaget i statistikkerne.

De statistikker, der inkluderer historiske stormfloder, giver generelt højere ekstreme vandstande end de statistikker, der er baseret på kortere og nyere vandstandsmålinger, der ikke indeholder historiske ekstreme stormfloder.

Det vurderes, at vandstandsstatistikken for Frederiksværk repræsenterer forholdene ved Classens Dige bedst af de vandstandsstatistikker, der er til rådighed, og som indeholder historiske ekstreme stormfloder (COWI, Byernes udfordringer med havvandsstigning og stormflod, 2017), se Figur 5.5.

Den seneste katastrofale stormflod i Roskilde Fjord var Bodil 6. december 2013, hvor vandstanden i Roskilde Havn nåede op på +2,06m, se Figur 5.4.

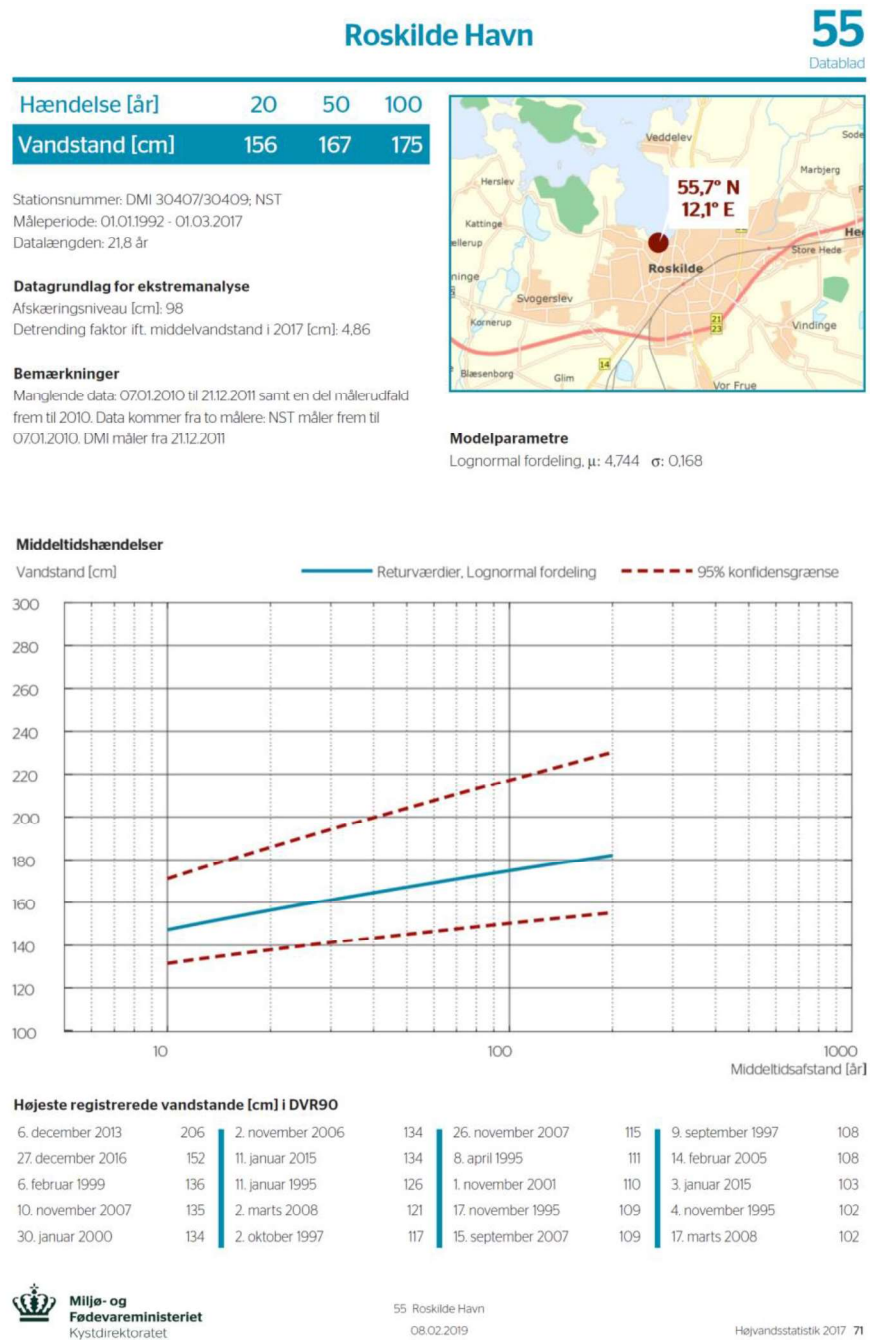
Stormflod i Roskilde Fjord forekommer typisk i forbindelse med kraftig vind fra nordlige retninger, se Afsnit 5.2. Det betyder, at der typisk er fralandsvind ved Classens Dige i forbindelse med ekstrem højvande, se Figur 5.5.

Der er således ikke samtidighed mellem højeste vandstand og største bølger.

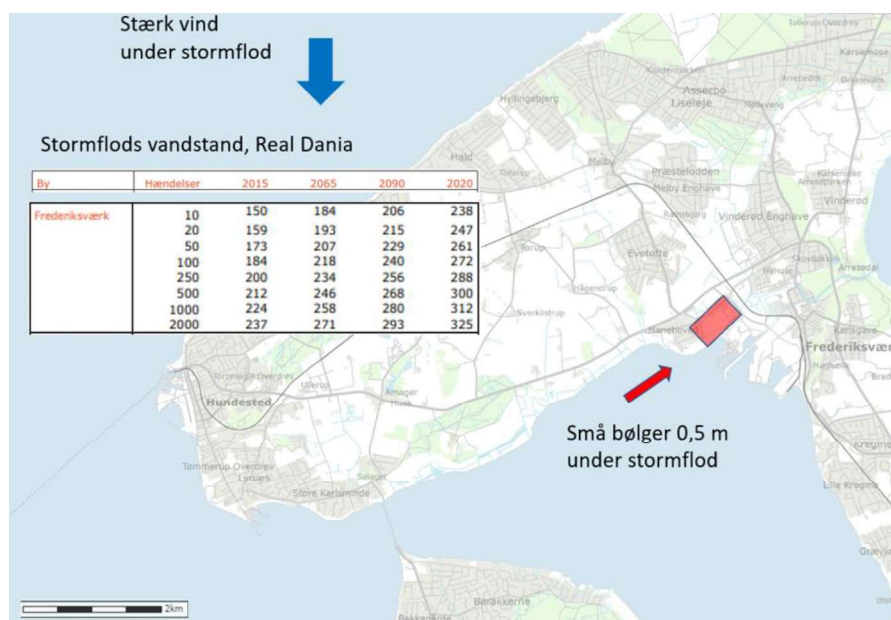
Bølgeforholdene ved Classens Dige er ikke beregnet i dette projekt. Det vurderes, at bølgerne maksimalt er i størrelsesordenen $H_s=0,5\text{m}$ i forbindelse med stormflod ved Classens Dige. Som en tommelfingerregel kan konstruktionens højde fastlægges som den højeste vandstand plus bølgehøjden.

Det er dog sandsynligt, at bølgerne er mindre i forbindelse med de højeste vandstande. Som et minimum vurderes digets højde at skulle være i størrelsesordenen 0,25m over højeste vandstand for at tage højde for usikkerheder og små bølger mv.

Figur 5.4: Kystdirektoratets højvandsstatistik for Roskilde Havn (Kystdirektoratet, 2019)



Figur 5.5: Oversigtskort og Realdanias højvandsstatistik for Frederiksværk, (COWI, Byernes udfordringer med havvandsstigning og stormflod, 2017).



5.6 Sikkerhedsniveau

Den samlede havspejlsstigning i år 2020, 2050, 2070 og 2120 er opsummeret i Tabel 5.1. Havspejlsstigningen i de pågældende år svarer til en levetid på konstruktionen på hhv. 1, 30, 50 og 100 år.

Sikkerhedsniveauet for det nye dige med et fribord på 0,5m er opsummeret i Tabel 5.2.

Sikkerhedsniveauet for det nye dige med et fribord på 0,25m er opsummeret i Tabel 5.3.

	2020	2050	2070	2120
Havspejlsstigning, m	0	0.19	0.38	1.1
Regional landhævning, m	0	0.04	0.07	0.13
Nettostigning, m	0	0.15	0.32	0.97

Tabel 5.1 Fremtidig havspejlsstigning

Returperiode, år	250	105	37
Levetid, år	1	30	50
Vandstand, m DVR90	2.00	2.00	2.00
Frederiksværk, Realdania, m DVR90	2.00	1.85	1.69
Sandsynlighed, %	0.4%	25.0%	74.6%

Tabel 5.2 Dige med 0,5m fribord, ekstrem vandstand +2,0m DVR90

Returperiode, år	1000	450	170	2.5
Levetid, år	1	30	50	100
Vandstand, m DVR90	2.25	2.25	2.25	2.25
Frederiksværk, Realdania, m DVR90	2.25	2.10	1.94	1.28
Sandsynlighed, %	0.1%	6.5%	25.5%	100.0%

Tabel 5.3 Dige med 0,25m fribord, ekstrem vandstand +2,0m DVR90

Tabel 5.2 viser, at en vandstand på +2,0m DVR90 har en returperiode på omkring 250 år i dag, svarende til stormen Bodil 06. december 2013, når der regnes med et fribord på 0,5m. Om 30 år svarer vandstanden til en returperiode på 100 år og om 50 år svarer den til en returperiode på omkring 40 år.

Tabel 5.3 viser, at en stormflod på +2,25m DVR90 har en returperiode på omkring 1000 år i dag, når der regnes med et fribord på 0,25m. Om 30 år svarer vandstanden til en returperiode på 450 år og om 50 år svarer den til en returperiode på omkring 170 år.

Beregningerne viser, at det nye dige beskytter baglandet mod oversvømmelse som følge af stormflod med en returperiode på mellem 250 og 1000 år i dag og mellem 100 og 450 år om 30 år og en returperiode på mellem 40 og 170 år om 50 år.

6 Referencer

- COWI. (2015). *Højvandssikring i Frederiksværk. Geoteknisk undersøgelsesrapport. Data Rapport*. Halsnæs Kommune.
- COWI. (2017). *Byernes udfordringer med havvandsstigning og stormflod*. Realdania.
- COWI. (juni 2015). *Højvandssikring i Frederiksværk, Geoteknisk Undersøgelsesrapport, Datarapport*. Halsnæs Kommune.
- COWI. (2019). *Frederiksværk Losseplads - Oversigtskort affaldstyper - Bilag 1 i årsrapport 2019*.
- DenDanskeHavnelods. (2018). *Frederiksværk Lystbådehavn*.
- Halsnæs Kommune. (n.d.). *Klimatilpasningsplan for Halsnæs Kommune, Kommunepantillæg nr. 3 til Kommuneplan 2013-2025*. Halsnæs Kommune.
- IPCC. (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*.
- Kystdirektoratet. (2017). *Højvandsstatistikker*. Kystdirektoratet. Hentet 8. April 2021 fra <https://kyst.dk/kyster-og-klima/vaerktoejer/hojevandsstatistikker/>.
- Kystdirektoratet. (2017). *Højvandsstatistikker*.
- Kystdirektoratet. (7. august 2018). *Landbevægelser i Danmark*. Hentet fra Kysterne: <http://kysterne.kyst.dk/landbevaegelser-i-danmark.html>
- Kystdirektoratet. (2019). *Højvandsstatistikker 2017*.
- NIRAS. (2010). *Classens Dige. Undersøgelse af Digeopbygning*. Halsnæs Kommune.
- NIRAS. (2021). *Evalueringsrapport Frederiksværk højvandssikring*.
- NIRAS. (2021). *Frederiksværk Højvandssikring*. Halsnæs Kommune.
- NIRAS. (2021). *Frederiksværk højvandssikring. Geotekniske undersøgelser*. Halsnæs Kommune.
- NIRAS. (2021). *Højvandsbeskyttelse Fredriksværk by - Geoteknisk notat 01 - Sætninger og Stabilitet*. Halsnæs Kommune.
- Realdania, Cowi. (2017). *Byernes udfordringer med havvandsstigning og stormflod*.