



Stormflodsbeskyttelse af Grenaa

Projektforslag

Norrdjurs Kommune

Dato: 13. april 2026

Indhold

Resume	4
1. Indledning.....	5
1.1. Vejrhævning	6
1.2. Højvandslukke	6
1.3. Højvandsmur	6
1.4. Rapportens indhold	6
2. Basis for design	7
2.1. Benævnelser	7
2.2. Funktionskrav	7
2.3. Generelt datagrundlag	7
2.3.1. Højdedata	7
2.3.2. Dybdedata.....	7
2.4. Designvandstand og kronekoter	8
2.4.1. Højvandsstatistik	8
2.4.2. Havspejlsstigning i levetiden.....	8
2.4.3. Landhævning.....	9
2.4.4. Dimensionsgivende vandstand og beskyttelsesniveau	9
2.4.5. Afstrømning i Grenåen.....	9
2.4.6. Bølgeoverskyl	10
2.5. Bagvandshåndtering.....	10
2.5.1. Beregningsmetode for bagvand.....	10
2.5.1.1. Hverdagsregn.....	11
2.5.1.2. Ekstremregn.....	12
2.5.1.3. Skybrud	12
2.5.1.4. Vandløb	12
2.5.2. Bølgeoverskyl	12
2.5.3. Understrømning.....	12
2.6. Veje og stier	12
2.7. Opbygning af konstruktioner	12

2.7.1.	Højvandslukke og lukkehyppighed	12
2.7.2.	Højvandsmure	14
2.8.	Håndtering af vand bag porten i fremtiden.....	15
3.	Basis for projektmateriale	17
3.1.	Overordnet princip for stormflodsbeskyttelsen	17
3.2.	Anlægstyper til stormflodsbeskyttelse	17
3.2.1.	Vejhævning.....	17
3.2.2.	Jorddige.....	17
3.2.3.	Højvandslukke	19
3.2.4.	Højvandsmur af beton	20
3.2.5.	Højvandsmur af spunsjern.....	21
3.2.6.	Mobile løsninger	22
3.3.	Ledninger.....	24
3.4.	Jordbundsforhold	27
4.	Projektet	29
4.1.	Strækning 1: Ringvej til Grenåen	33
4.1.1.	Beskrivelse af stormflodsbeskyttelse	33
4.1.2.	Vejhævning.....	33
4.1.3.	Dige	33
4.1.4.	Beskrivelse af afvanding	34
4.2.	Strækning 2: Passage ved Grenåen og nordsiden af åen	35
4.2.1.	Beskrivelse af stormflodsbeskyttelse	35
4.2.2.	Beskrivelse af afvanding	37
4.2.2.1.	Opstuvning bag port	37
4.2.2.2.	Håndtering af regn	38
4.3.	Strækning 3: Pumpehus til Sølystvej	40
4.3.1.	Beskrivelse af stormflodsbeskyttelse	40
4.3.2.	Beskrivelse af afvanding	42
5.	Anlægsarbejde	45
6.	Anlægsoverslag.....	46
7.	Referencer	47
Bilag 1:	Tegninger	48

Resume

Denne rapport præsenterer et projektforslag for stormflodsbeskyttelse af Grenaa by, der har til formål at beskytte de centrale byområder mod en 100-års stormflodshændelse fremskrevet til år 2100. Den dimensionsgivende vandstand er fastlagt til kote +2,22 m DVR90 på baggrund af gældende højvandsstatistik, forventet havspejlsstigning og landhævning. Selve beskyttelseslinjen dimensioneres med en kronekote på +2,5 m DVR90 for at sikre nødvendig robusthed og håndtering af bølgepåvirkning under forudsætning af at de eksisterende beskyttende anlæg der omkranser linjeføringen vedligeholdes.

Projektet omfatter etablering af en sammenhængende stormflodsbeskyttelse på en ca. 700 m lang strækning fra Ringvejen i syd, over Grenåen, til Sølystvej i nord. Løsningen består af en kombination af vejhævning, jorddige, et højvandsslukke i Grenåen, højvandsmure af beton samt mobile løsninger i form af porte og midlertidige afskærmninger, der samlet skal fungere som én integreret beskyttelseslinje.

Projektforslaget beskriver det tekniske grundlag for dimensionering og udformning af anlægget og er udarbejdet på et niveau, der kan danne grundlag for videre planlægning, herunder afgrænsning af miljøkonsekvensvurdering og efterfølgende detailprojektering. Konstruktionerne er projekteret med en forventet levetid på minimum 75 år og med mulighed for senere forhøjelse af udvalgte elementer, særligt højvandsmure, hvis fremtidige klimaforudsætninger nødvendiggør dette.

I forbindelse med projektet er der gennemført analyser af bagvandshåndtering og afstrømning i Grenåen ved lukning af højvandsslukket. Analyserne viser, at der under de nuværende og fremskrevne forudsætninger frem mod år 2100 er tilstrækkelig opmagasineringskapacitet i oplandet til at håndtere vandtilstrømning ved portlukning, uden behov for etablering af pumpeløsninger. Det forudsættes, at højvandsslukket lukkes ved vandstande omkring kote +1,0 DVR90, og at vandstanden opstrøms kan stuve op til kote +1,3 m DVR90 uden at forværre eksisterende oversvømmelsesrisici. Det understreges, at disse forudsætninger løbende skal genbesøges og dokumenteres gennem projektets levetid for at sikre, at den tilstrækkelige opmagasineringskapacitet fortsat er gældende.

Der er i projektforslaget reserveret areal til etablering af en pumpestation nord for Grenåen, således at pumpeløsning kan etableres på et senere tidspunkt, hvis ændrede klimaforhold, øget lukkehyppighed eller længere varighed af højvandsperioder gør dette nødvendigt.

Rapporten indeholder endvidere en gennemgang af mulige anlægstyper og konstruktionsprincipper baseret på erfaringer fra lignende projekter, hvorefter det konkrete løsningsforslag for Grenaa by beskrives opdelt på tre delstrækninger. Afslutningsvis gives en overordnet beskrivelse af de forventede anlægsarbejder samt et indledende anlægsoverslag.

1. Indledning

I samarbejde med Norddjurs Kommune udarbejdes et projektforslag for stormflodsbeskyttelse af Grenaa by, der bygger videre på tankerne udarbejdet ifm. projektet Næse for vand. Stormflodsbeskyttelsen skal beskytte Grenaa by mod en 100-års højvandshændelse fremskrevet til år 2100. Projektforslaget udarbejdes til et niveau, så det kan danne grundlag for afgrænsning af en miljøkonsekvensvurdering.

Projektet omfatter etablering af en sammenhængende kyst- og stormflodsbeskyttelse i Grenaa og strækker sig fra Ringvejen i syd, over Grenåen til Sølystvej i nord (se Figur 1.1 for benævnelser). Beskyttelsen udføres som en sammenhængende beskyttelseslinje, der dimensioneres til kote +2,5 m DVR90. I tillæg skal projektet beskytte imod oversvømmelser i Grenåen større end kote +1,3 m DVR90 (dvs. at stuvning på bagside af højvandslukket ikke må overstige kote 1,3 m). Projektet består af en kombination af vejhævning ved Ringvejen, dige, højvandsmure, stormflodspor over veje, en mobil løsning som f.eks. sandsække, samt et højvandslukke ved krydsning af Grenåen. I tillæg her til beskriver projektforslaget ligeledes hvordan stormflodsbeskyttelsen kan udbygges, så den beskytter byen til højere niveau.



Figur 1.1: Benævnelser i projektområdet. Med linie er angivet de tre strækninger i projektet.

1.1. Vejrhævning

På Ringvejen, syd for Grenåen, etableres en vejrhævning på ca. 0,3 m kombineret med et dige i tilknytning til vejen. Formålet med disse anlæg er at indgå som en del af den samlede beskyttelseslinje og hindre indtrængning af havvand. I forbindelse med etablering af dige vil der ske en permanent lukning af stien langs sydsiden af åen gennem det rekreative område.

1.2. Højvandslukke

I Grenåen etableres et højvandslukke. Porten er åben under normale forhold og tillader vandgennemstrømning samt passage for bl.a. fisk, små motorbåde og småbåde som kano, kajak og robåd. Ved højvandssituationer kan porten lukkes for at forhindre, at forhøjet vandstand fra Kattegat trænger op i Grenåen.

1.3. Højvandsmur

På den nordlige brink af Grenåen etableres en højvandsmur, der strækker sig fra højvandslukket og frem til projektstrækningen langs Kattegatvej. Højvandsmuren etableres på indersiden af fortov, så der er åben passage mellem fortov, cykelsti og vejareal. Der etableres skydeporte ved to gennemkørsler og længst mod nord vil der under stormflod blive etableret en mobil løsning i form af sandsække eller lignende.

1.4. Rapportens indhold

Projektets elementer skal samlet fungere som én integreret beskyttelsesløsning, hvor de forskellige konstruktionslementer tilsammen sikrer et ensartet beskyttelsesniveau langs hele strækningen.

I denne rapport beskrives projektforslagets grundlag og elementer i følgende afsnit:

Afsnit 2 beskriver det tekniske grundlag for projektforslaget.

Afsnit 3 beskriver basis for projektforslaget i form af generelle mulige løsninger.

Afsnit 4 beskriver selve projektet for stormflodsbeskyttelse af Grenaa.

Afsnit 5 beskriver kort forhold omkring anlæg.

Afsnit 6 beskriver et groft anlægsoverslag for det angivne projekt.

Til projektet er der desuden udarbejdet GIS-tegninger, der viser forskellige forhold omkring projektet (vedlagt i Bilag 1).

2. Basis for design

Stormflodsbeskyttelse af Grenaa by er et klimatilpasningsprojekt, der skal beskytte store områder af Grenaa mod stormflodshændelser.

Designet af stormflodsbeskyttelsen udspringer af den strategiske udviklingsplan "Grenaa – næse for vand", samt den tekniske beskrivelse af skitseprojektet fra 2023.

Dette afsnit beskriver forudsætningerne for projektforslagets løsning.

2.1. Benævnelser

Benævnelser anvendt i dette projekt:

Linjeføring: Simplificeret linje der angiver centerlinje af stormflodsbeskyttelsen.

Konstruktionstyper: Højvandsmure, spuns, mobile løsninger, stormflodsport, højvandslukke, vejhævning, pumper og dige.

Konstruktionsgrænse: Hvor en type konstruktion ændres til en anden konstruktionstype.

2.2. Funktionskrav

Stormflodsbeskyttelsen skal beskytte Grenaa by mod en 100-årshændelse i år 2100. Der er fastsat en minimumskote på 2,5m DVR90. Mure skal designes, så de kan forhøjes til kote +3mDVR90. Stormflodsport etableres uden overhøjde, da det forventes, at der skal ses på andre permanente løsninger i åen når havspejl når højere op, end det der er inkluderet i denne rapport.

Den overordnede levetid af konstruktioner skal være minimum 75 år. Levetid er defineret som perioden, for hvilke konstruktioner kan bruges til deres påtænkte formål med forventet vedligeholdelse som defineret i drifts- og vedligeholdelsesmanualer (ikke udarbejdet i nuværende fase), uden tab af sikkerhed, strukturel og æstetisk integritet. Visse specifikke elementer som f.eks. kabler, mekaniske og elektriske installationer etc. vil have kortere levetid end angivet ovenfor og skal derfor projekteres, så de kan udskiftes uden væsentlige omkostninger.

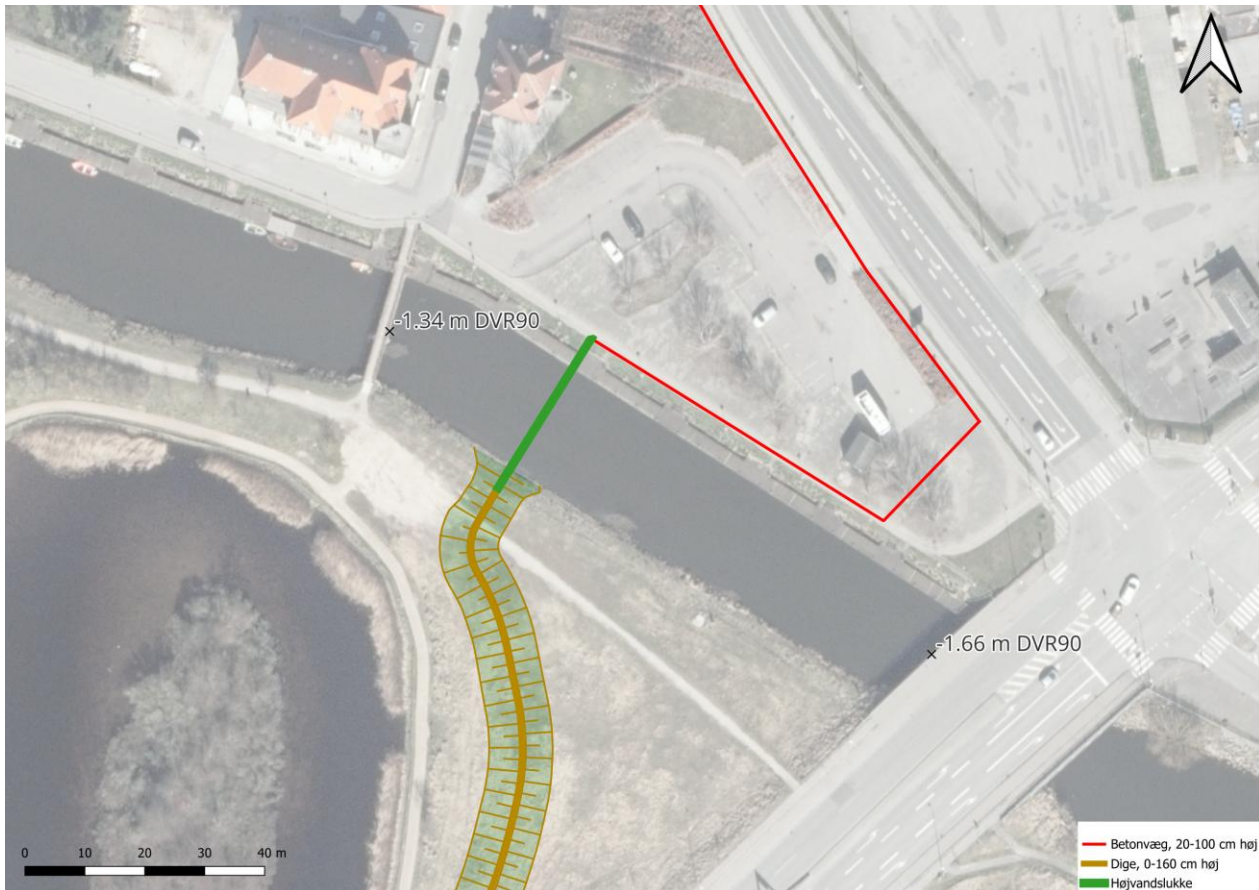
2.3. Generelt datagrundlag

2.3.1. Højdedata

Ifm. projektet er der udført opmåling enkelte steder i området. Hvor disse ikke dækker anvendes Den danske højdemodel, DHM. Modellen er baseret på data fra 2025-05-05 med punkter i et gitter på 0,4 m. I næste fase af projektet skal der udføres en supplerende opmåling langs linieføringen.

2.3.2. Dybdedata

Dybdedata af Grenåen baseres på tværprofiler fra filen "Grenå_længdeprofil_tværprofiler.vex" modtaget fra Norddjurs kommune. Målingerne nærmest projektet er ved broerne Færgevej/Ringvejen og gangbroen nord for projektet. Her er bundkoten henholdsvis -1,66 m DVR90 og -1,34 m DVR90, som vist på Figur 2.1.



Figur 2.1: Bundkote målinger omkring port løsning i Grenaa fra "Grenå_længdeprofil_tværprofiler.vex" modtaget fra Norddjurs Kommune.

2.4. Designvandstand og kronekoter

2.4.1. Højvandsstatistik

Projektet skal beskytte Grenaa by mod stormfloder i år 2100. Der skal beskyttes imod en 100-årshændelse fremskrevet med havspejlsstigningen, som beskrives i afsnit 2.4.2. Af Tabel 2.1 ses en 100-årshændelse svarende til middeltidsvandstanden i år 1990 at være 1,76 m baseret på Kystdirektoratets Højvandsstatistik 2024.

Tabel 2.1: Ekstreme vandstande baseret på Højvandsstatistikken 2024 (KDI) for Grenaa.

Gentagelsesperiode	Middeltidsvandstand 1990	Fremskrevet 2024
20	1.58	1.63
50	1.69	1.74
100	1.76	1.81

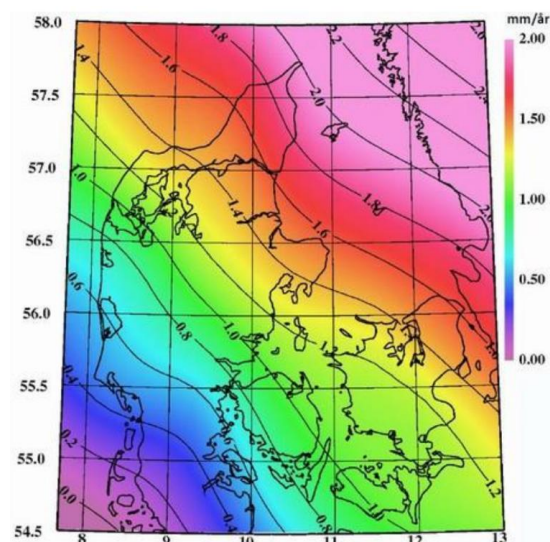
2.4.2. Havspejlsstigning i levetiden

Jf. tidligere forudsætninger opstillet for projektet skal der med denne stormflodsbeskyttelse af Grenaa fremskrives indtil år 2100. Baseret på DMI's Vejledning i anvendelse af udledningsscenarioer til

klimatilpasning (DMI 2025) anbefales en fremskrivning med udledningsscenariet SSP3-7.0. Til dette projekt har Norddjurs Kommune valgt at benytte 50%-percentilen. Jf. DMI (DMI, 2024). (DMI Klimaatlas v2024b - Fremskrivninger af det danske klima (Projections of climate indicators in Denmark)) fås en fremskrivning af havspejlet til år 2100 derfor til **56,3 cm**. Denne fremskrivning relateres til år 1995, og anvendes som grundlag til den totale fremskrivning af ekstrem vandstand.

2.4.3. Landhævning

Landhævning er estimeret til ca. 1,5 mm/år baseret på Figur 2.2. Frem mod år 2100 svarer det til en hævninng på **ca. 11 cm**.



Figur 2.2: Landhævning af Danmark. For Grenaa ses en hævninng på ca. 1,5 mm/år.

2.4.4. Dimensionsgivende vandstand og beskyttelsesniveau

Den dimensionsgivende vandstand for en 100-årshændelse i år 2100 er dermed: $+1,76 \text{ m} + 0,56 \text{ m} - 0,11 \text{ m} = \mathbf{+2,22 \text{ m DVR90}}$. Tages landhævning ikke i regning svarer vandstanden til $+2,33 \text{ m DVR90}$.

Beskyttelsesniveau er valgt på et tidligere stadie af projektet og er fastsat så konstruktionen har vandtæt kote $+2,5 \text{ m DVR90}$. Der er dermed en overhøjde på $0,28 \text{ m}$, der skal håndtere bølgeskulp.

2.4.5. Afstrømning i Grenåen

Norddjurs Kommune vurderer at der skal håndteres en maksimal afstrømning på ca. $15 \text{ m}^3/\text{s}$, som er det maksimalt observerede i måletidsserie for Grenåen. Til vurdering af opstuvning og lukketider for porten, er der udarbejdet et notat (NIRAS, Analyse af oplandets kapacitet ved portlukning, 2026), der sammenligner observerede strømninger i åen med højvande i havet. Tabel 2.2 viser observerede strømninger samt fremskrevne værdier for at tage klimafremskrivning i regning. Heraf fremgår at de fremskrevne ekstremer for vintermedian når op på ca. $8 \text{ m}^3/\text{s}$ mens den ekstreme hændelse stiger til ca. $24 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabel 2.2: Observeret og fremskrevet strømninger i Grenåen.

	Nutid Observeret [m^3/s]	Fremskrevet 2071-2100 [m^3/s]	HIP klima faktor 2071-2100	Spredning, usikkerhed 2071-2100
Sommermedian, (jun-aug)	2,5	2,4 - 3,1	1,01	$\pm 0,05$
Efterårsmedian, (sep-nov)	3,9	3,7-4,7	1,07	$\pm 0,13$

	Nutid Observeret [m ³ /s]	Fremskrevet 2071-2100 [m ³ /s]	HIP klima faktor 2071-2100	Spredning, usikkerhed 2071-2100
Vintermedian, (dec-feb)	5,8	6,1 - 8,3	1,25	±0,19
Forårsmedian, (mar-maj)	4,2	4,1-5,7	1,16	±0,18
Maks observeret (feb, 2024)	14,6	16,4 - 24,5	1,4	±0,28

2.4.6. Bølgeoverskyl

Det antages i projektet, at de nuværende landlige forhold og havnekonstruktioner i Grenaa Havn og Grenaa Marina opretholdes og at landskab bliver vedligeholdt i de nuværende koter, så de alle bidrager til stor lævirkning for bølger. Der er således ikke regnet med bølgeoverskyl.

2.5. Bagvandshåndtering

Bagvand dækker over flere forskellige typer af vand. Fælles for dem alle er, at det er vand der kommer fra oplandet og strømmer ud i havet. De vigtigste typer er listet og kort beskrevet nedenfor:

- Terrænnært grundvand
- Hverdagsregn
- Ekstremregn
- Vandløb

Det terrænnære grundvand er det øverste frie vandspejl i jordmatricen. Når grundvandet står højt, kan det medføre problemer som vand på terræn eller indtrængning i kældre. Grundvandet er ikke undersøgt nærmere, og medtages ikke i vurderingen af bagvandshåndtering, da dets niveau ikke skyldes stormflodsbeskyttelsen – generelt stiger grundvandsniveau med havspejlets stigning.

Hverdagsregn (eller serviceregn) er den nedbørsmængde, som forsyningen, skal kunne håndtere i nye afvandingssystemer eller i afvandingssystemer, der fornyes. For fælles systemer svarer det til en 10-års hændelse og for separat systemer svarer det til en 5-års hændelse. Der er overordnet regnet med at 5-års hændelser håndteres af afvandingssystemet.

Ekstremregn er den nedbørsmængde, som overstiger serviceniveau. Ekstremregn forekommer kun under ekstreme nedbørshændelser, som forekommer sjældent. Ekstremregn er den nedbørsmængde, der strømmer på terræn, når der ikke er mere kapacitet til afledning af regnvand i kloaker, LAR-anlæg eller ved nedsivning.

Vandløb dækker over det vand der strømmer i Grenåen, som ved implementering og lukning af højvand-slukket vil stuve på bagsiden og opstrøms i vandløbet.

2.5.1. Beregningsmetode for bagvand

I følgende afsnit beskrives forudsætningerne for bagvand bag stormflodsbeskyttelsen. Formålet er at undersøge behovet for evt. tiltag, så det sikres at projektet ikke forværrer den nuværende situation for nogen områder.

Dimensionsgivende afstrømning skal kunne afledes under skybrud og stormflod, på samme vis som i dag, for at undgå oversvømmelser.

2.5.1.2. *Ekstremregn*

Ekstremregn, som er den nedbørsmængde, som overstiger serviceniveau, forekommer kun sjældent, statistisk sjældnere end hvert 10 år for fælleskloakeret systemer og 5 år for separatkloakeret systemer. Sandsynligheden for at stormflod er sammenfaldende med en regnhændelse med en gentagelsesperiode over 5 år, er meget lille. Derfor antages det, at der under ekstrem regnhændelse, ikke er stormflod, og de mobileløsninger vil derfor være åbne.

Der skal redegøres for, at de permanente løsninger ikke forværrer statussituationen under ekstremregn. Dette er gjort for hver strækning i beskrivelserne i afsnit 4.

2.5.1.3. *Skybrud*

Det forventes ikke at der er sammenfald mellem stormflod og skybrudshændelser.

2.5.1.4. *Vandløb*

Grenåen løber gennem Grenaa bymidte. Som led i stormflodsbeskyttelsen af Grenaa etableres der et højvandslukke i åen ved andedammen nær havnen. Der er gennemført en kapacitetsanalyse af Grenåen med fokus på, hvor længe højvandslukket kan holdes lukket, uden at der opstår opstuvningsproblemer opstrøms (se (NIRAS, Analyse af oplandets kapacitet ved portlukning, 2026)). Dette er beskrevet nærmere i afsnit 4.

2.5.2. *Bølgeoverskyl*

Der forventes ikke større bølgeoverskyl, der skal håndteres som beskrevet i afsnit 2.4.4.

2.5.3. *Understrømning*

Ifm. med detailprojektering skal det belyses hvordan understrømmende vand skal håndteres. Der er udført geotekniske forundersøgelser som er beskrevet i (NIRAS, Geoteknisk parameterundersøgelse, 2026). De skal danne grundlag for detailprojektering af anlægget.

Det skal sikres, at der ikke opstår erosion som følge af understrømning under selve højvandsmuren, for at sikre et tilfredsstillende stabilitetsforhold og bæreevne under konstruktionens levetid. Diget skal derudover sikres, så der ikke opstår erosion af skråningerne og understrømning under selve diget, for at sikre et tilfredsstillende stabilitetsforhold under konstruktionens levetid.

2.6. *Veje og stier*

Dige mellem åen og Ringvejen skal ikke håndtere overgange. Dige anlægges med anlæg 1:3 på både for og bagside og etableres så det ikke umiddelbart inviterer til at færdes på.

2.7. *Opbygning af konstruktioner*

2.7.1. *Højvandslukke og lukkehyppighed*

Der skal etableres et højvandslukke på tværs af Grenåen. Porten skal etableres som en sidehængslet port. Porten etableres med en topkote i +2,5 m DVR90.

Det er en forudsætning at porten lukkes, når der varsles vandstande over en given kote på maksimalt +1,3 m DVR90. Porten skal beskytte infrastruktur og bymiljø der ligger langs Grenåen. I praksis skal porten lukkes tidligere, for at vandet i åen bag porten har kapacitet nok til at stuve op og det skal indtænkes hvordan lukketid for porten optimeres, så der lukkes så sent som muligt. Igennem levetiden bør det undersøges om der kan laves tiltag i baglandet, der hæver det kritiske niveau for oversvømmelser.

Der er udført en analyse af vandstandstidsserien for Grenaa Havn der dækker fra 1/1-2012-12/10-2025. For vandstandstidsserien er der lavet en analyse af hvor hyppigt vandstanden overstiger 0,9 m til 1,4 m i interval af 0,1 m. Dels i nutiden, som altså er baseret på den direkte målte tidsserie samt situationen i 2100 hvor havspejlet forventes at være steget med 0,56 m.

I Tabel 2.3 til Tabel 2.5 er angivet resultater for antal hændelser og varighed af hændelser. Det er i analysen medtaget, at hvis der er mindre end 24 timer eller 12 timer mellem hændelser holdes porten lukket. Det giver de meget lange lukketider for analysen af den fremtidige vandstandstidsserie. Dette kan optimeres, når porten og teknik for lukning er besluttet endeligt. Porten skal kunne håndtere en vandspejlsforskel mellem for og bagside på som minimum 1,5 m og ligeledes en højdeforskel med lidt højere vandspejl på indersiden af porten ift. havsiden. Det kan med fordel også indarbejdes, at porten kan lukke vand ud når der står mere vand på bagside end forside, så portene ikke behøver at blive åbnet helt.

Tabel 2.3: Analyse af lukkehyppeghed og tidslængde svarende til nutiden.

Overskridelse af vandstand (m)	Antal hændelser (-)	Antal hændelser (pr. år)	Maksimal varighed (t)	Gennemsnitlig varighed (t)
0,9	43	3.1	29.0	8.1
1,0	25	1.8	22.2	7.7
1,1	15	1.1	21.8	9
1,2	10	0.7	19.5	8.2
1,3	6	0.4	17.8	7.6
1,4	2	0.1	16.2	11.2

Tabel 2.4: Analyse af lukkehyppeghed og tidslængde svarende til en fremskrevet middelvandstand i år 2100. I analysen er anvendt en afstand mellem overskridelse af vandstanden på mindre end 24t.

Overskridelse af vandstand (m)	Antal hændelser	Antal hændelser pr. år	Maksimal varighed (t)	Gennemsnitlig varighed (t)
0,9	677	48.6	299.2	31.8
1,0	467	33.5	251.8	22.9
1,1	293	21	189.8	18.2
1,2	187	13.4	77	12.6
1,3	97	7	43.3	9.5
1,4	61	4.4	30.2	7.7

Tabel 2.5: Analyse af lukkehyppeghed og tidslængde svarende til en fremskrevet middelvandstand i år 2100. I analysen er anvendt en afstand mellem overskridelse af vandstanden på mindre end 12t.

Overskridelse af vandstand (m)	Antal hændelser	Antal hændelser pr. år	Maksimal varighed (t)	Gennemsnitlig varighed (t)
0,9	899	64.5	168.7	19
1,0	582	41.7	116.8	14.5
1,1	342	24.5	86.2	12.7
1,2	203	14.6	53.7	10

Overskridelse af vandstand (m)	Antal hændelser	Antal hændelser pr. år	Maksimal varighed (t)	Gennemsnitlig varighed (t)
1,3	98	7	40.7	9.2
1,4	61	4.4	30.2	7.7

2.7.2. Højvandsmure

Norddjurs Kommune ønsker at mure skal etableres med mulighed for at hæve mure svarende til en vandstand 0,5 m højere. Der benyttes derfor en vandstand i kote +3,0 i alle beregninger af mure, for at opnå robusthed til at justere senere i levetiden eller efter endt levetid.

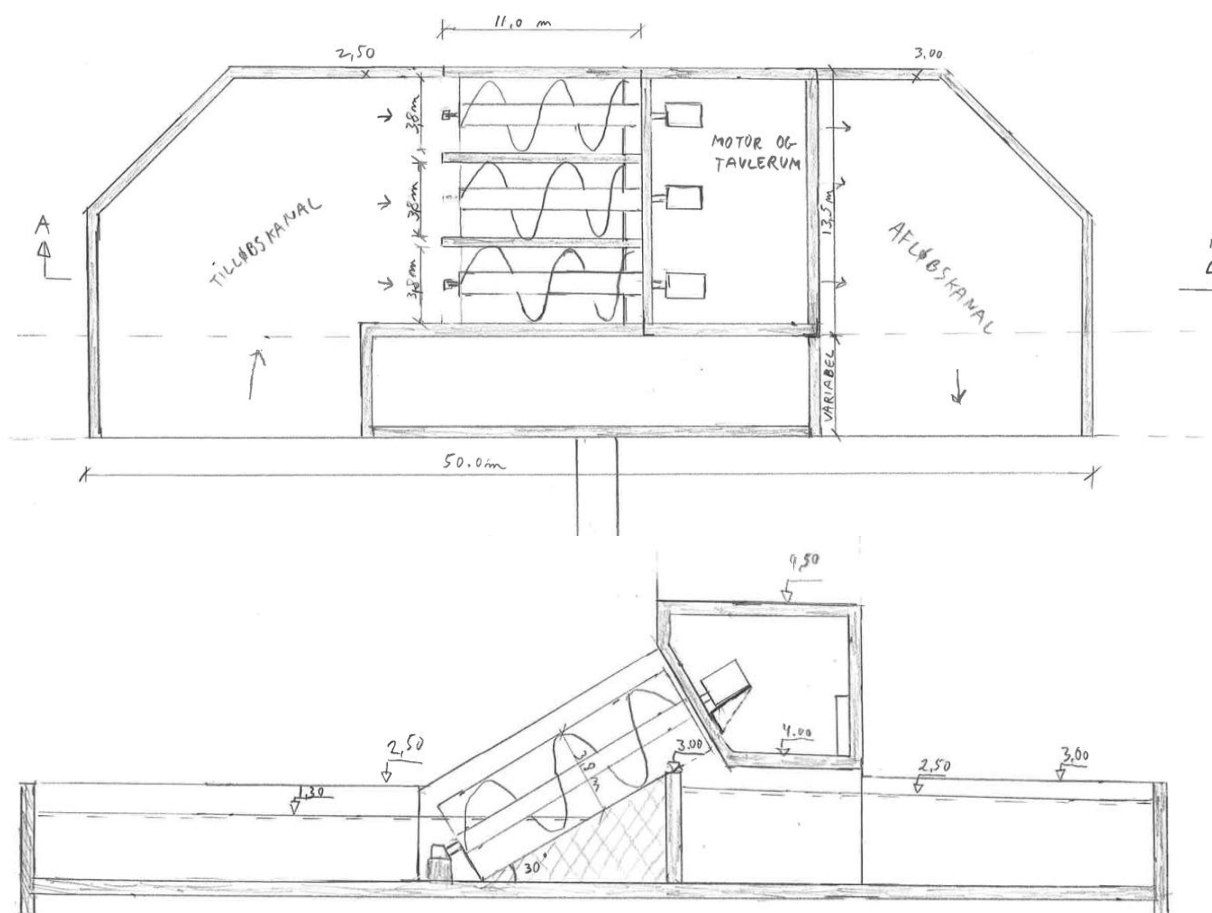
Det ønskes ligeledes, at der regnes påkørselslast på mure, hvor der er indkørsler gennem linjeføringen.

2.8. Håndtering af vand bag porten i fremtiden

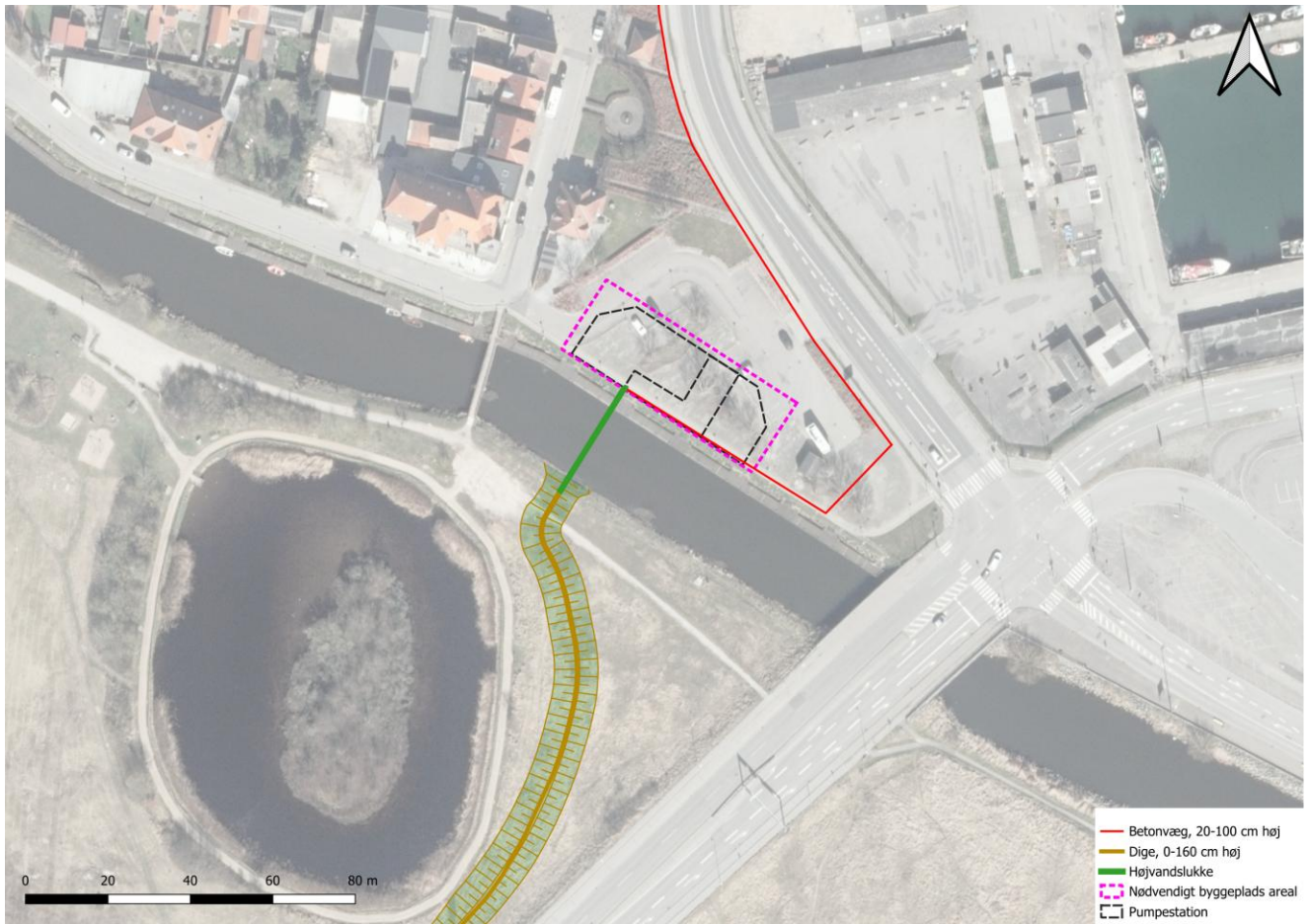
I slutningen af projektets levetid kan der potentielt blive behov for pumpning, fordi højvandslukket skal lukkes så hyppigt og langvarigt, at den bedst lukkes permanent. I dette projektforslag er der derfor afsat plads til en pumpestation, der skal detaljeres senere når det konkrete behov opstår. Der skal etableres mulighed for at pumpe ca. $15 \text{ m}^3/\text{s}$ uden om højvandslukket. Pumpetypen skal tilpasses de fisk der forventes at være i Grenåen. I dette projekt afsættes overordnet et areal svarende til tre $5 \text{ m}^3/\text{s}$ Archimedes pumper, og dette pladsbehov er derfor estimeret. Archimedes pumperne har hver en diameter på ca. 3,8 m og en hældning på 30° for at kunne oppumpe $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Der pumpes over en kant i kote 3,00. Der etableres tilløbskanal opstrøms højvandslukket og med riste foran pumper. Efter løft via Archimedes pumperne ledes vandet via en afløbskanal ud i Grenaa, nedstrøms højvandslukket.

Skitsering af en mulig løsning er vist på Figur 2.4. Det nødvendige areal er grundlag for placering af højvandslukket og et oversigtskort med det nødvendige pladsareal er vist på Figur 2.5. Det er nødvendigt løbende i levetiden at genbesøge forudsætningerne for at opstuvet vand kan håndteres bag lukket port uden pumpe.

Etablering af pumper vil påvirke strømmingen i Grenåen. Det forventes, at der skal etableres beskyttelse omkring udløbet fra pumpehuset og på den sydlige brink. Detaljerede studier af flow fra pumperne skal fastslå omfanget af erosionsbeskyttelsen.



Figur 2.4: Skitsering af løsning med 3 stk. archimedespumper á $5 \text{ m}^3/\text{s}$, i alt $15 \text{ m}^3/\text{s}$. Plan øverst og snit nederst.



Figur 2.5: Oversigtskort med skitsering af løsning med 3 stk. archimedespumper

3. Basis for projektmateriale

3.1. Overordnet princip for stormflodsbeskyttelsen

Ifm. projektet er der set på mulige alternativer til løsninger. Det er ligeledes vurderet, om der kunne være mere CO₂-besparende løsninger:

- Linjeføring er vurderet på to strækninger hhv. øst og nord/vest om andedammen i naturområdet. Det blev vurderet, at strækningen ville blive lang og relativt kompleks, da den skulle krydse Kystvejen og gå et væsentligt stykke ind i fredskoven langs Ringvejen.
- Det er vurderet, at der ikke er et godt alternativ til en betonmur af traditionel beton på strækningen. Dette baseres på det faktum, at murene kommer til at stå i et saltvandsmiljø, som er hård ved de mest CO₂ venlige betontyper.
- Det skal i detailprojekteringen fastlægges om der skal benyttes in situ støbning eller elementmur. Det vurderes mest ideelt med in situ støbt for at undgå håndtering af skel imellem elementerne i både anlæg og drift.
- Det er valgt at anlægge en løsning langs Kattegatvej som mur i stedet for vejhævning, da det vurderes mindre CO₂-tungt, med færre gener for brugere/naboer til stormflodsbeskyttelsen og det ville blive nødvendigt med mure under alle omstændigheder for at håndtere terrænforskelle til eksisterende bebyggelser på den østlige side af vejen.

3.2. Anlægstyper til stormflodsbeskyttelse

I dette afsnit beskrives de grundlæggende typer af anlægskonstruktioner som stormflodsbeskyttelsen foreslås at bestå af. Det bliver overordnet beskrevet hvordan konstruktionerne ser ud, hvilke materialer de består af, hvordan de anlægges og hvad der kræves ift. vedligehold i driftsfasen. De specifikke dimensioner, højder og koter specificeres afsnit 4.

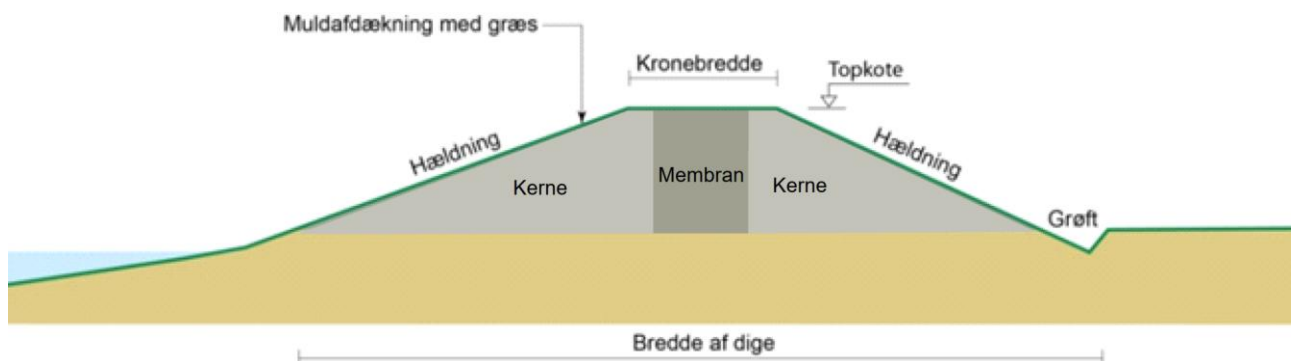
3.2.1. Vejhævning

Ringvejen skal ifm. projektet hæves for at komme op på beskyttelseshøjden. I den forbindelse udarbejdes der et projekt for vejhævningen i samarbejde med Vejdirektoratet, der dokumenteres og håndteres efter Vejdirektoratets krav. I dokumentet: (NIRAS, H41537_A5_C01_Forudsætningsnotat - Vejhævning af Ringvejen, 2026) beskrives vejprojektet.

3.2.2. Jorddige

Et dige er en langsgående forhøjning i terrænet, der beskytter arealer på bagsiden af diget. Jorddiger er særdeles holdbare, mindre klimabelastende, billigere end andre typer beskyttelse, nogenlunde visuelt naturlige i projektområdet, lette at reparere, robuste over for den bølgepåvirkning, der er i området og reducerer bølgeoverskyl effektivt. De fleste dyr kan uden problemer passere diger, herunder padder. Til gengæld optager de et stort areal med deres fodaftryk og kræver jævnlig tilstandsvurdering og vedvarende vedligehold.

Jorddiget anlægges efter principperne i Kystdirektoratets dige beskrivelse (Kystdirektoratet, u.d.). Et principsnit af et dige er vist på Figur 3.1.



Figur 3.1: Princip for et jorddige. Bemærk, at der på denne figur ikke er vist, at lermembranen skal føres 20-30 cm under terræn (Kystdirektoratet, u.d.).

Jorddiget anlægges normalt med en flad krone og skrånende for- og bagside med anlæg 1:3-1:10. Bredde af toppen samt hældning af siderne kan justeres, alt efter bølgepåvirkning, ønsker og omgivelser. Diget er opbygget med en vandtæt barriere af ler op til sikringskoten. Der gælder særlige kriterier for lerets sammensætning. Skråningerne på diget kan opbygges af enten sand eller ler alt efter behov. Diget afsluttes med et 10 cm tykt muldlag, hvorpå der normalt sås med en særligt salttålede græs-frøblanding. Den ideelle græsfrøblanding kan oplyses af Kystdirektoratet. I §3-området skal diget afsluttes med originalt tørve-lag og slid monitoreres.

Diget vedligeholdes ved blandt andet græsklipning, hvilket gør, at græsset ikke vokser op i fuld højde og et stærkt tæt græsdække bibeholdes. Det betyder, at der vil være et vist behov for vedligehold af et dige, som der typisk ikke vil være ved andre konstruktionstyper anvendt til stormflodsbeskyttelse. Eftersom et dige består af naturlige elementer, er det også den stormflodsbeskyttende løsning som for mange fremstår med det mest naturlige udseende. Græsslåningen vil dog gøre diget mere tydeligt i landskabet, hvis landskabet ellers er vildt voksende. På Figur 3.2 ses et par eksempler på eksisterende diger. På fotoet til venstre er diget anlagt ca. et halvt år før fotoet blev taget og diget til højre er lidt ældre og er i gang med at blive vedligeholdt ved græsklipning.



Figur 3.2: Eksempler på udseende af anlagte diger ved hhv. Enø, NIRAS (til venstre) og Frederikssund, NIRAS (til højre).

Jorddiger er simple at anlægge og lette med tiden at forhøje ved enten at forhøje på den eksisterende krone eller ved at udbygge enten foran eller bagpå. Diger kan have levetider på mere end 100 år ved rigtigt vedligehold.

3.2.3. Højvandslukke

På tværs af Grenåen er der behov for et højvandslukke, der kan lukke tæt når der bliver varslet højvande, men ellers skal vandet kunne strømme igennem. Der findes mange forskellige typer porte som har forskellige fordele og ulemper. Ifm. projektet har Norddjurs Kommune besluttet at der skal arbejdes videre med en sidehængslet port.

Den sidehængslede port, er en effektiv løsning til at beskytte mod stormflod. Porten er typisk konstrueret af stål og er designet til at åbne og lukke ved hjælp af lejer og led til at bære porten. Når porten er lukket, forhindres vand i at trænge ind og trykket fra stormfloden tætnes porten yderligere. For at sikre at porten lukker tæt skal porten løbende vedligeholdes og eventuelle aflejringer og forhindringer på bunden skal fjernes.

Den sidehængslede port kan drives enten hydraulisk med et elektrisk drevet pumpe system eller manuelt med et mekanisk system. Den hydrauliske løsning gør åbning og lukningen af porten nem og giver mulighed for at styre den automatisk, men der vil være et behov for at kunne tilslutte en nødgenerator ved strømsvigt.

For at sikre stabilitet og modstand mod det tryk, der opstår fra vandet, når porten er lukket, kan der anvendes forstærkninger i konstruktionen i form af en beton eller stålbjælke på bunden. Dette sikrer, at porten fungerer effektivt og sikkert i alle situationer. Der kan være behov for at dele porten på midten, men her er antaget fuld bredde. På Figur 3.3 er vist et principielt billede af en sidehængslede port, samt en illustration af den mulige placering og udbredelse af løsningen.



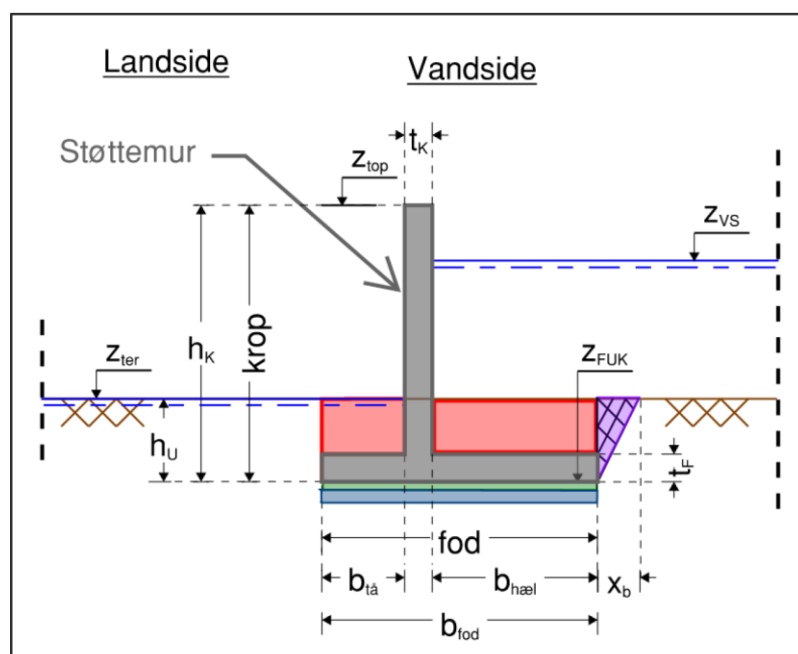
Figur 3.3: Billede af sidehængslet port i Esbjerg, totalrådgiver NIRAS, samt mulig placering og udbredelse af anlægget i Grenåen, (WINTeC - Big steel solutions, 2021). Den præcise placering af port fastlægges endeligt og er på figuren kun indikativ.

3.2.4. Højvandsmur af beton

Højvandsmure opbygget som en betonmur er en god måde at beskytte en lang strækning. Foden af muren vil langs hele strækningen være nedgravet til frostsikker dybde svarende til minimum 1,2 m under terræn, og er dermed ikke synlig. Betonmurene er designet som L- eller T-elementer, hvor størrelsen af hælen og tåen af foden varierer. Det kan være en fordel at etablere en betonmur i stedet for spunsvæg på nogle del-strækninger, da en betonmur har et andet udtryk og i mange tilfælde ikke behøver at blive funderet til lige så stor dybde som en spunsvæg. Det kan være i tilfælde af, at det forventes at træffe store sten i jorden, som kan være en hindring for spunsjern eller risiko for sætning af nærliggende bygninger og derfor er ramning af spunsvæg ikke er en bygbar løsning.

På Figur 3.4 ses et principsnit for en betonmur, hvor der er påtegnet flere geometriske parametre, som kan variere langs linjeføringen for stormflodsbeskyttelsen, da der kan være stor forskel på laster for de enkelte strækninger.

Betonmur er anvendt flere andre steder, som et element i stormflodsbeskyttelse, bl.a. ved Tuborg Havn i Hellerup, som vist på Figur 3.5. Her ses betonmuren under anlægsfasen, hvor der er gravet ud og placeret betonelementer direkte funderet på bæredygtig aflejring. Der vil efterfølgende blive fyldt op med jord omkring og evt. lavet belægning eller reetablering, afhængigt af hvordan slutproduktet skal se ud.



Figur 3.4: Principsnit for højvandsmuren af beton.



Figur 3.5: Eksempel på betonelement (IndustriBeton, 2025).



Figur 3.6: Viser en højvandsmur i Lemvig under en stormflodshændelse, hvor der er højere vandstand på havsiden af muren end terrænet er på landsiden af muren. (Kystdirektoratet, u.d.).

En højvandsmur kan med fordel anvendes steder, hvor der ikke er plads eller miljø til at anlægge et jorddige, det kan være i tæt bebyggede områder eller ved havneområder. På Figur 3.6 ses en højvandsmur i Lemvig under en stormflodshændelse, hvor der er højere vandstand på havsiden af muren end terrænet er på landsiden af muren. Her ses det hvordan muren er indpasset i omgivelserne og adskiller havneområdet fra byområdet samtidig med at der er sikret passage underfor stormflodshændelserne igennem mobile stormflodsporte.

3.2.5. Højvandsmur af spunsjern

Højvandsmure opbygget som en spunsvæg er en sikker måde at beskytte sig over længere strækninger. En fordel er, at de ikke fylder ret meget på tværs af linjeføringen og i forbindelse med anlæg, samtidig med at de ikke skal vedligeholdes. Ulemperne er, at de ikke er lige så holdbare som f.eks. diger, hvis disse vedligeholdes, og samtidig også er markant dyrere at anlægge.

Figur 3.7 viser hvordan en spunsvæg kan se ud når den er etableret. Det har ingen indflydelse på spunsens stabilitet, at lade vegetation gro op ad spunsvæggen, så på den måde kan den i dele af projektet absorberes/skjules af den natur der vokser opad og omkring spunsvæggen. Der kan ligeledes monteres en 'hammer' på toppen som typisk er af træ eller den kan omstøbes med beton for en anden visuel fremtoning.



Figur 3.7: Viser hvordan en spunsvæg kan se ud, når den er etableret. Kilde: NIRAS' projekt i Hyllingeriis 2024.

3.2.6. Mobile løsninger

Flere steder på strækningen er der behov for mobile løsninger. En mobil løsning dækker over flere forskellige typer, hvor de har til fælles, at de alle sammen kun skal sættes op når der varsles et højvande der udgør en risiko for oversvømmelse. Mobile løsninger gør det muligt, at der i det daglige er adgang på tværs af linjeføringen. Der findes flere forskellige typer af mobile løsninger, hvor dem der anvendes i nærværende projekt, er søjle/bjælke systemer, skydeporte og sandsække.

Figur 3.8 viser et eksempel på søjle/bjælke systemet DPS 2000, som er opsat ved en rampe ned til en kælder, hvor i venstre side af billedet kan ses, hvordan det ser ud når den ikke er opsat. Hverken søjler eller bjælker er fastmonteret. Systemer som dette er velafprøvet ved andre stormflodsbeskyttelser i Danmark.

Udover søjle/bjælkesystemer som mobilløsning forslås det også at etablere rulleporte, hvor princippet er det samme som vist på Figur 3.9. Denne løsning er meget simpel at anvende, da porten altid er monteret og relativt hurtigt og simpelt kan rulles for, når der varsles et kritisk højvande.



Figur 3.8: Viser en mobil stormflodsbeskyttelse af typen DPS 2000 opsat ved en rampe ned til en kælder. Til venstre kan det ses, hvordan det ser ud når DPS 2000 ikke er opsat. (GOH, u.d.)



Figur 3.9: Viser en rulleport monteret på en betonmur, som kan skydes i og lukke åbningen i tilfælde af varslet højvande.

Sandsække er et andet alternativ hvor der ikke er behov for at have en permanent konstruktion. På Figur 3.10 er et eksempel på en løsning med sandsække. Denne type løsning er kun relevant hvor der ikke er behov for at lukke ofte, da den er dyr i driftsomkostninger (mandtimer).



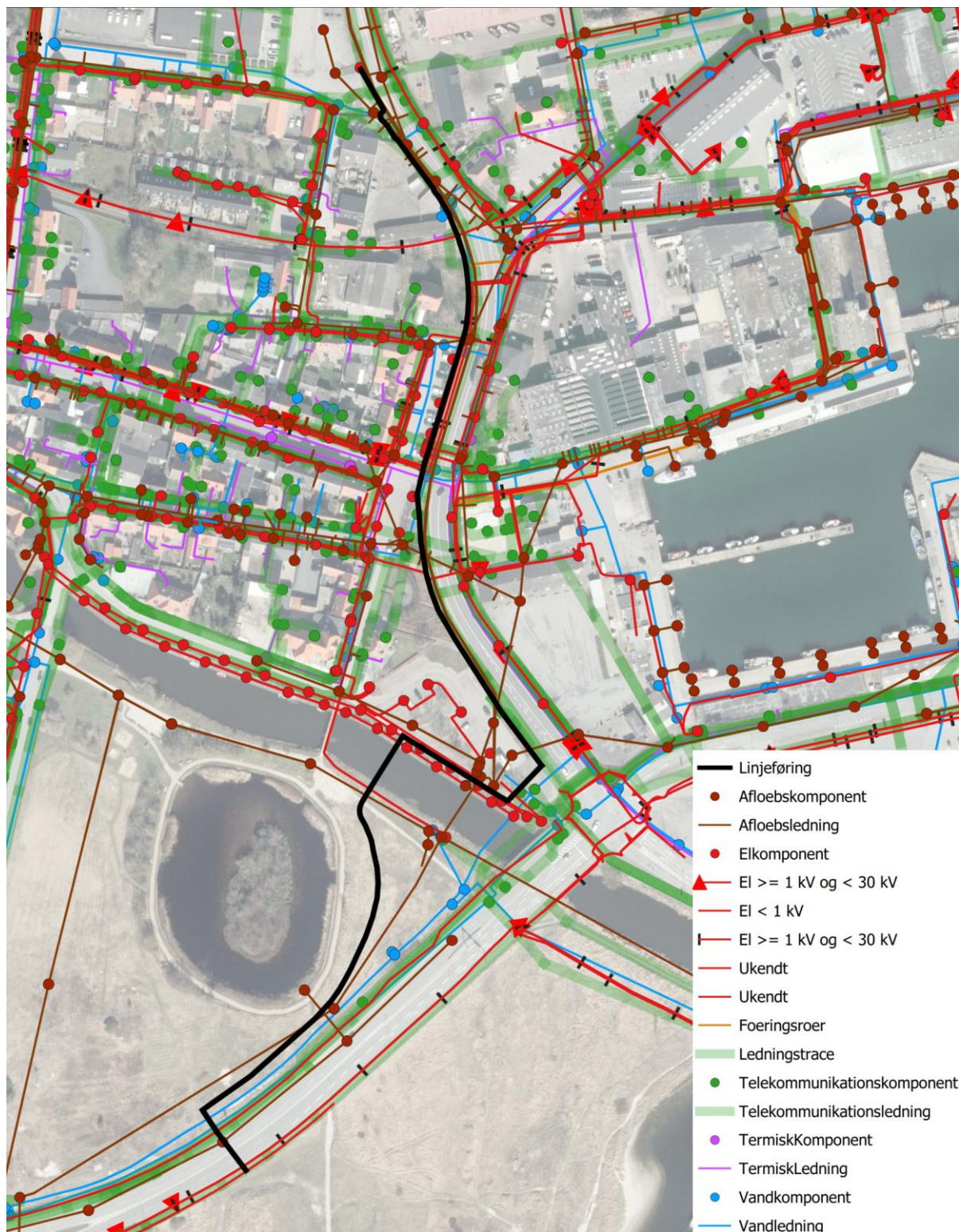
Figur 3.10: Viser sandsække på tværs af indkørsel som kan etableres i tilfælde af højvande.

3.3. Ledninger

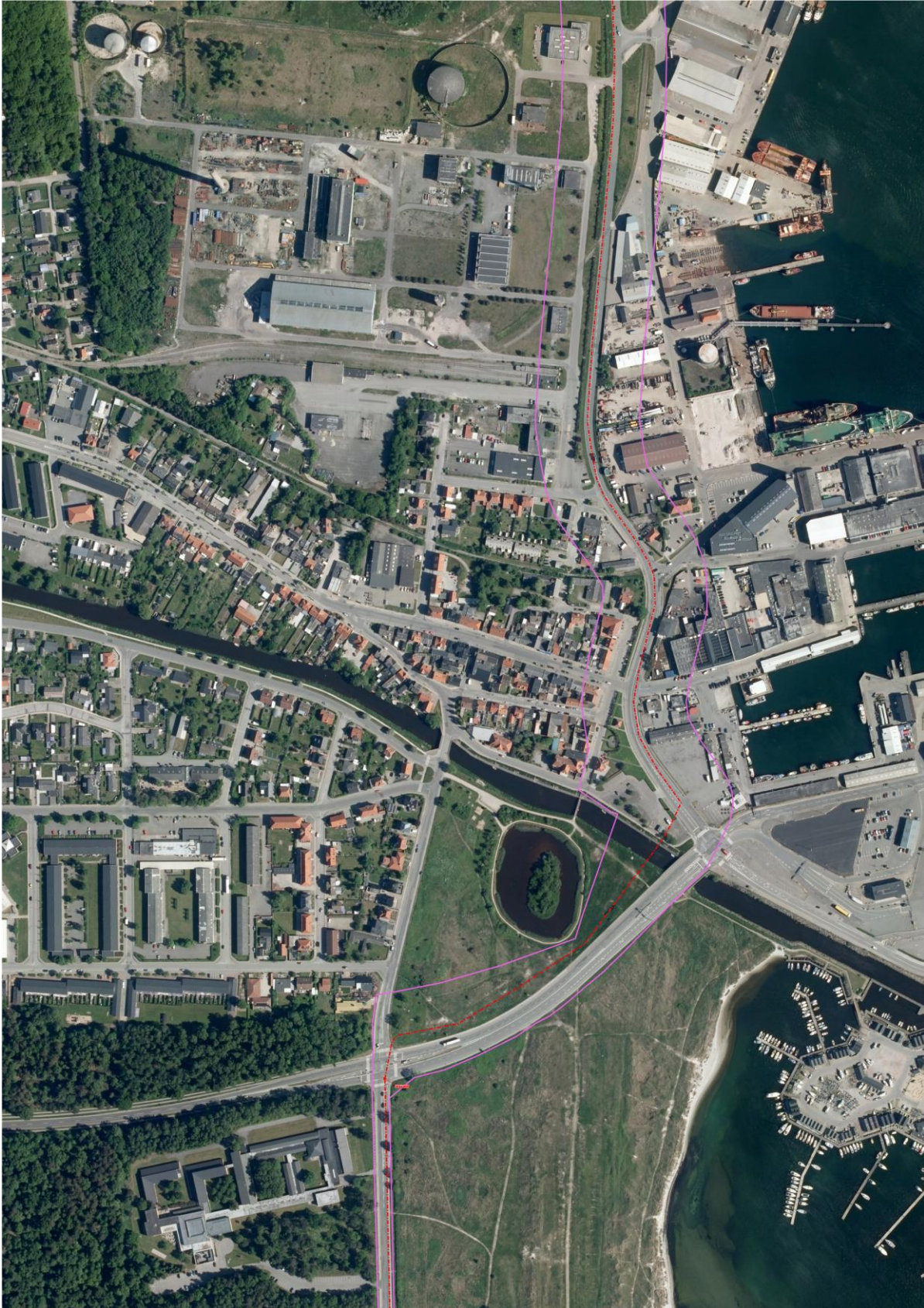
I Figur 3.11 ses linieføring og ledninger oplyst gennem LER (dec. 2025). Der er på hele strækningen mange krydsende ledninger der ligger på gæsteprincip.

Udover de viste ledninger er der planer om større etablering af spildevandsledning kaldet centraliseringsprojektet som vist i Figur 3.12.

Div. projekter skal koordineres ifm. detailprojekteringen, og det skal sikres, at der ikke bliver indstrømning under stormflodsbeskyttelsen langs de krydsende ledninger.



Figur 3.11: Langs linjeføringen er der en del eksisterende ledninger (LER hentet dec. 2025). Linjeføring er angivet med sort streg.



Figur 3.12: Ledningstracé for centraliseringsprojektet

3.4. Jordbundsforhold

I perioden 17.-23. februar 2026 blev der udført i alt syv geotekniske borer langs linjeføringen (se Figur 3.13).

På baggrund af de udførte borer er der stedvist truffet fyldlag med en mægtighed på op til ca. 1,5 m under terræn. Under muld- og fyldlag er der truffet marine postglaciale sandaflejringer. Sandet vurderes generelt at være mellemfast til fastlejret. Det vides dog ikke, om den observerede mellemfaste til faste lejrings skyldes vibrationer fra trafik, og om dette i givet fald kun forekommer lokalt langs Kattegatvej og Ringvejen, eller om lejringsstætheden er generel for sandlagene.

Karakteriseringen af sandet spænder fra fint til groft, og graderingen varierer fra enskornet til velgraderet.



Figur 3.13: De geotekniske borerings placering.

Der er udført to dybe boringer, en på hver side af Grenåen. Disse viser marint postglacialt ler under sandaflejringerne fra kote ca. -12 m DVR90. De intakte aflejringer af ler fremstår gytjeholdigt fra ca. -11,6 m DVR90 til boringernes slutdybde.

I forbindelse med boringerne er der udtaget blandeprøver til kemisk analyse med henblik på en indledende vurdering af jordforureningsforholdene. Der er ikke påvist indhold af kulbrinter over Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterier. I enkelte jordprøver er der påvist overskridelser af jordkvalitetskriterierne for PAH'er (herunder benz(a)pyren) samt bly. Overskridelserne er lokale og begrænsede. De berørte jordlag klassificeres som lettere forurenet (kategori 2), mens den resterende jord i projektområdet karakteriseres som ren (kategori 1) i henhold til jordflytningsbekendtgørelsen.

Boringerne er pejlet i forbindelse med afslutningen af borearbejdet samt ved en supplerende pejlerunde ca. én uge efter endt borearbejde. Ved den supplerende pejlerunde har vandspejlet varieret mellem kote -0,1 til +1,0 m DVR90. Det vurderes, at vandspejlet i de udførte boringer har forbindelse til vandstanden i Grenåen, som munder ud i Kattegat, samt til vandstanden i Kattegat. Der bør derfor tages højde for variationer i vandspejlsniveauet, idet dette kan være påvirket af høj- og lavvande.

4. Projektet

Stormflodsbeskyttelsen af Grenå består af en kombination af konstruktioner på en ca. 700 m lang strækning fra Ringvejen i syd til Sølystvej i nord. Hvor løsningen krydser Grenåen, etableres et højvandslukke. Projektet beskrevet i dette projektforslag er afhængig af, at der i tillæg håndteres andre oversvømmelsesveje, som vist på Figur 4.1:

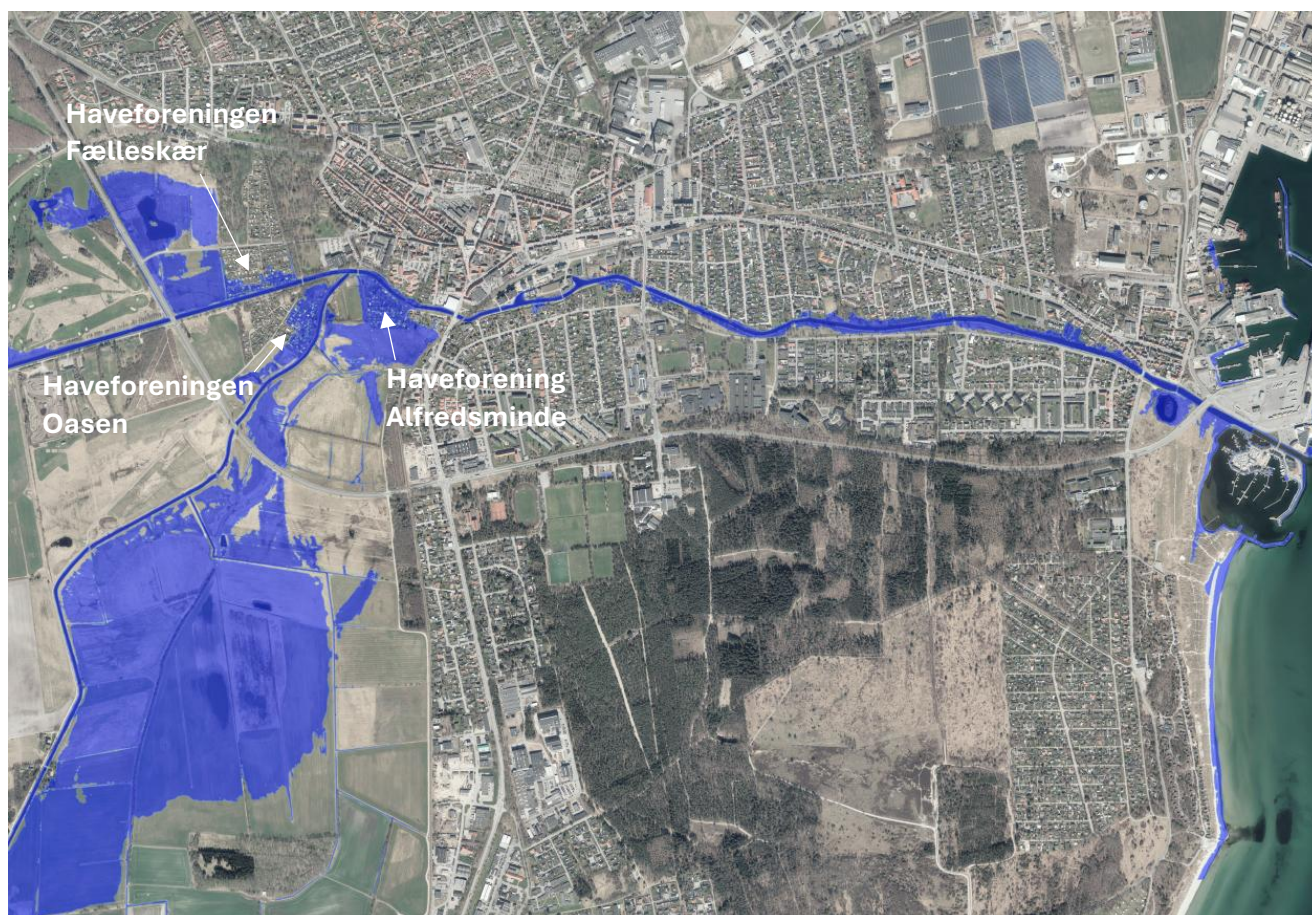
- Det er en forudsætning for projektet at oversvømmelser der kommer på terræn syd for Ringvejen, på den vestlige side af strandvolden håndteres i et andet projekt.
- I tillæg hertil skal strandvolden umiddelbart syd for løsningen undersøges og løbende monitoreres gennem levetiden, så det kan dokumenteres, at den vedvarende kan modstå design hænselsen.
- Derudover oplyser Norddjurs Kommune, at der tillades opstuvning af bagvand i Grenaa å til kote 1,3 hvilket potentielt kan medføre oversvømmelse af enkelte områder. Disse oversvømmelsesrisici bliver ikke forværret ved en lukning af højvandslukket, da en stormflod ville forårsage samme eller værre oversvømmelser. Oversvømmelsesrisici på grund af åvand skal håndteres særskilt.



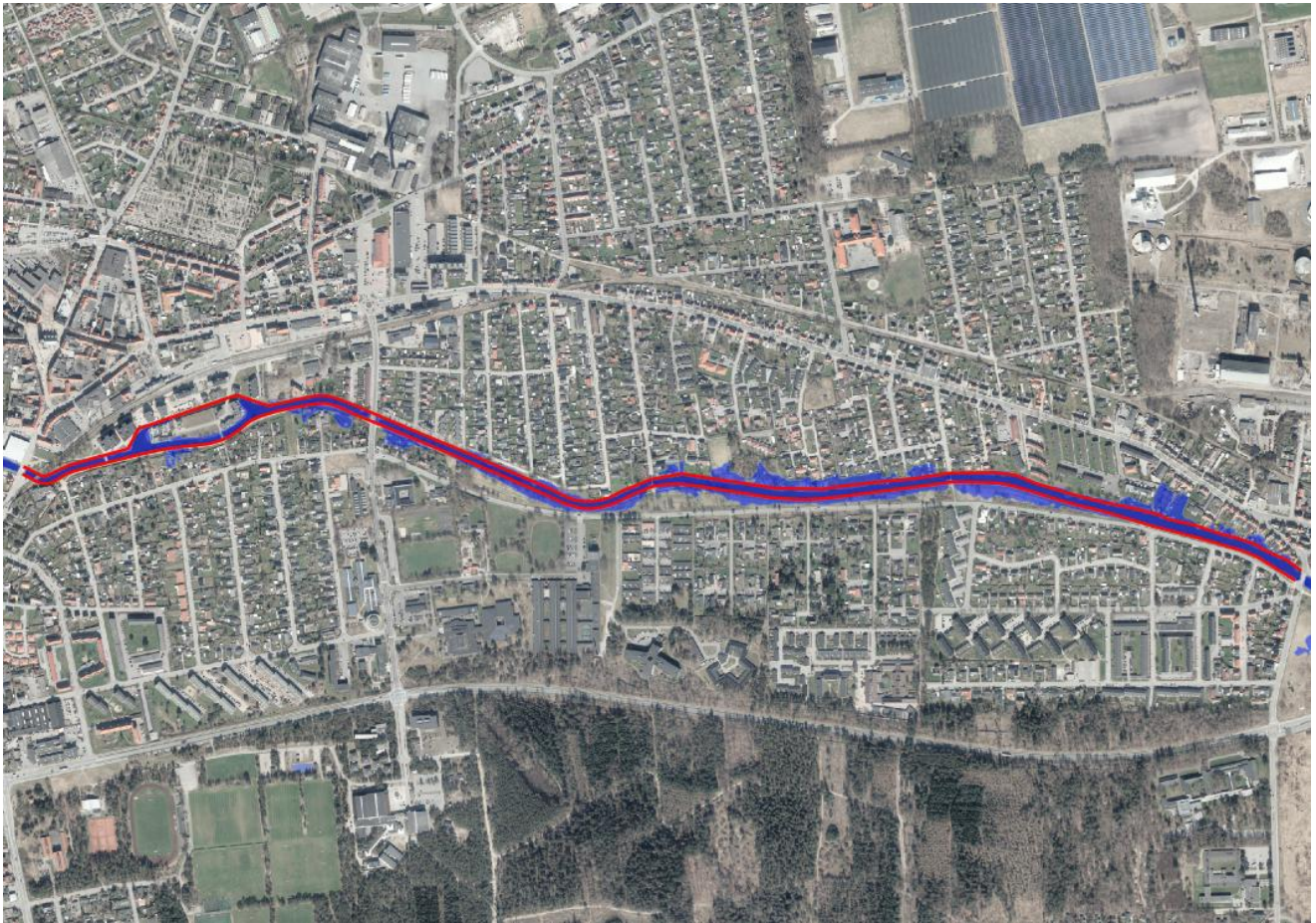
Figur 4.1: Projektet forudsætter at andre potentielle kilder til oversvømmelse håndteres.

Figur 4.2, viser et oversigtskort med markering af de potentielle oversvømmelsesrisici ved en opstuvning til kote 1,3 meter i Grenåen. Som supplement illustrerer Figur 4.3 de strækninger af åbrinker, hvor det antages, at der foretages vedligeholdelse, så der ikke opstår kritiske oversvømmelser ved vandspejl op til kote 1,3.

Af Figur 4.2 fremgår det, at de oversvømmelsestruede områder omfatter haveforeningerne Fælleskær, Alfredsminde og Oasen. Fælles for disse områder er, at der er tale om kolonihaver uden helårsbeboelse. Derudover har haveforeningen Alfredsminde tidligere oplevet oversvømmelser under stormflod, da området generelt ligger lavt, og åbrinkerne tilsvarende har en lav kote.



Figur 4.2: Oversigtskort over de potentielle oversvømmelsesrisici ved en opstuvning til kote 1,3 meter i Grenåen.



Figur 4.3: De røde streger illustrerer de åbrinker, hvor det antages at der foretages vedligeholdelse, så der ikke opstår kritiske oversvømmelser ved et vandspejl i åen op til kote 1,3.

Stormflodsbeskyttelsen beskytter byen imod en 100-årshændelse i år 2100 med en kronekote på 2,5 m DVR90 med de nuværende forudsigelser om fremtidens havspejl og stormflodsniveauer samt afstrømninger.

I de følgende afsnit beskrives de tre strækninger angivet på Figur 4.4.



Figur 4.4: Kort med navngivning af strækninger.

4.1. Strækning 1: Ringvej til Grenåen

4.1.1. Beskrivelse af stormflodsbeskyttelse

Stormflodsbeskyttelsen på strækning 1 består af vejhævnning og dige. Vejhævnningen er den sydligste del af stormflodsbeskyttelsen på tværs af Ringvejen. På den nordlige side af Ringvejen etableres et dige, der løber parallelt med ringvejen hen til Grenåen, hvor den støder op mod højvandslukket.



Figur 4.5: Konstruktionerne på strækning 1.

4.1.2. Vejhævnning

Vejhævnningen håndteres og beskrives nærmere i et selvstændigt projekt, der koordineres med Vejdirektoratet. Vejhævnningen projekteres med en minimumshøjde på kote 2,5 m ud for diget. Se i øvrigt (NIRAS, H41537_A5_C01_Forudsætningsnotat - Vejhævnning af Ringvejen, 2026).

4.1.3. Dige

Vejen overgår til dige langs naturarealet. Det antages, at der i den første del af strækningen sikres vandtæthed mod vej vha. en indbygget mur, der dækkes under muld (murtype defineres ifm. detailprojektering).

Herefter opbygges diget med en vandtæt kerne af ler og på siderne lægges der muld så den eksisterende natur/beplantning kan genopstå på digets to sider. På toppen af leret lægges 10 cm muld, og denne del bør plejes og monitoreres så det vedvarende sikres at koten bibeholdes og at bevoksningen ikke påvirker erosionsrisikoen negativt. Det forventes at diget anlægges med hældning 1:3 på begge sider, men dette

kan justeres i detailprojekteringen. Kronen, dvs. toppen af diget, antages at være 1 m bred, og skal ikke invitere til at der færdes på det. Diget ønskes i første omgang ikke indhegnet, men monitoring bør følge om der kommer sætninger som følge af at det benyttes som sti.

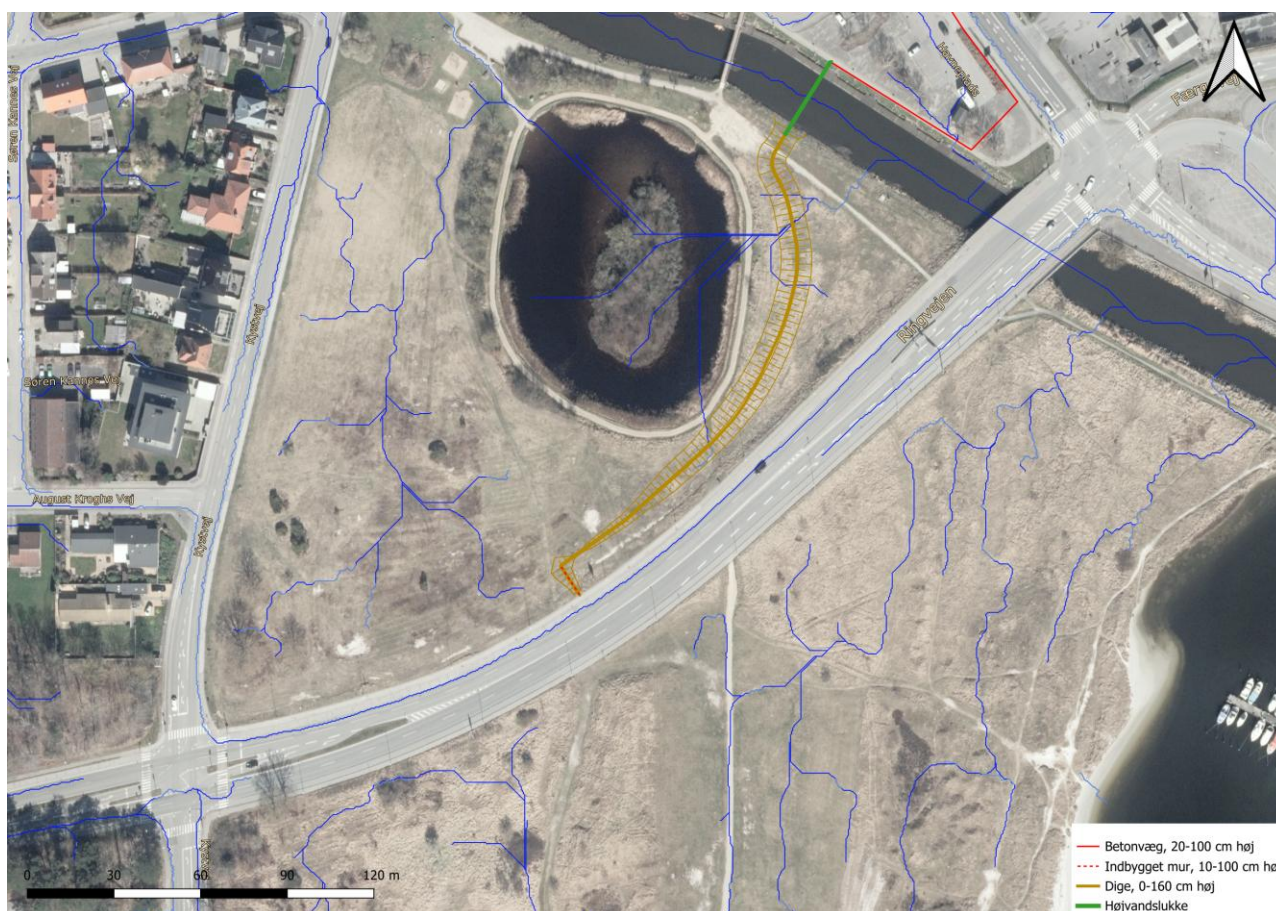
Den vandtætte del af diget er placeret i kote +2,5 m DVR90 og herpå 0,1 m muld, så kronekoten ligger i +2,6 m DVR90.

4.1.4. Beskrivelse af afvanding

Langs strækning 1 skal der håndteres hverdagsregn og ekstremregn.

For hverdagsregn antages det, at vandet fra alle de befæstede flader ledes til forsyningens system, og vandet fra vejen ligeledes vil blive håndteret i ledninger. Det grønne areal bag diget vil strømme til søen som i status (svarende til nutidshændelse).

Under ekstreme regnhændelser, hvor der kommer så store mængder vand, at hele søens kapacitet er opbrugt, ses det af Figur 4.6, at vandet i status vil strømme ud i åen, der hvor det planlægges at diget etableres. Denne strømningsvej kan opretholdes ved at anlægge et linjedræn, der under ekstremregn kontrolleret leder vandet fra søen mod åen. Søen vil jf. terrænmodel i SCALGO fra 2023, strømme over og ud mod åen i kote ca. 1,22m. Hvorfor linjedrænet skal have bundkote i 1,22m, for at sikre at der ikke ændres på stuvningsniveauet i forhold til i status.



Figur 4.6: Strækning 1 - stormflodsbeskyttelse, samt eksisterende lavningsfrie strømningsveje med et opland over 500 m².

Hvis der ikke etableres et linjedræn, vil søen samt dele af det omkringliggende grønne areal stuve op til en højere kote end i den nuværende situation. I de kommende projektfaser (miljøkonsekvensvurdering og detailprojektering) skal det vurderes, om denne opstuvning kan accepteres, eller om et linjedræn skal etableres for at imødegå påvirkningen.

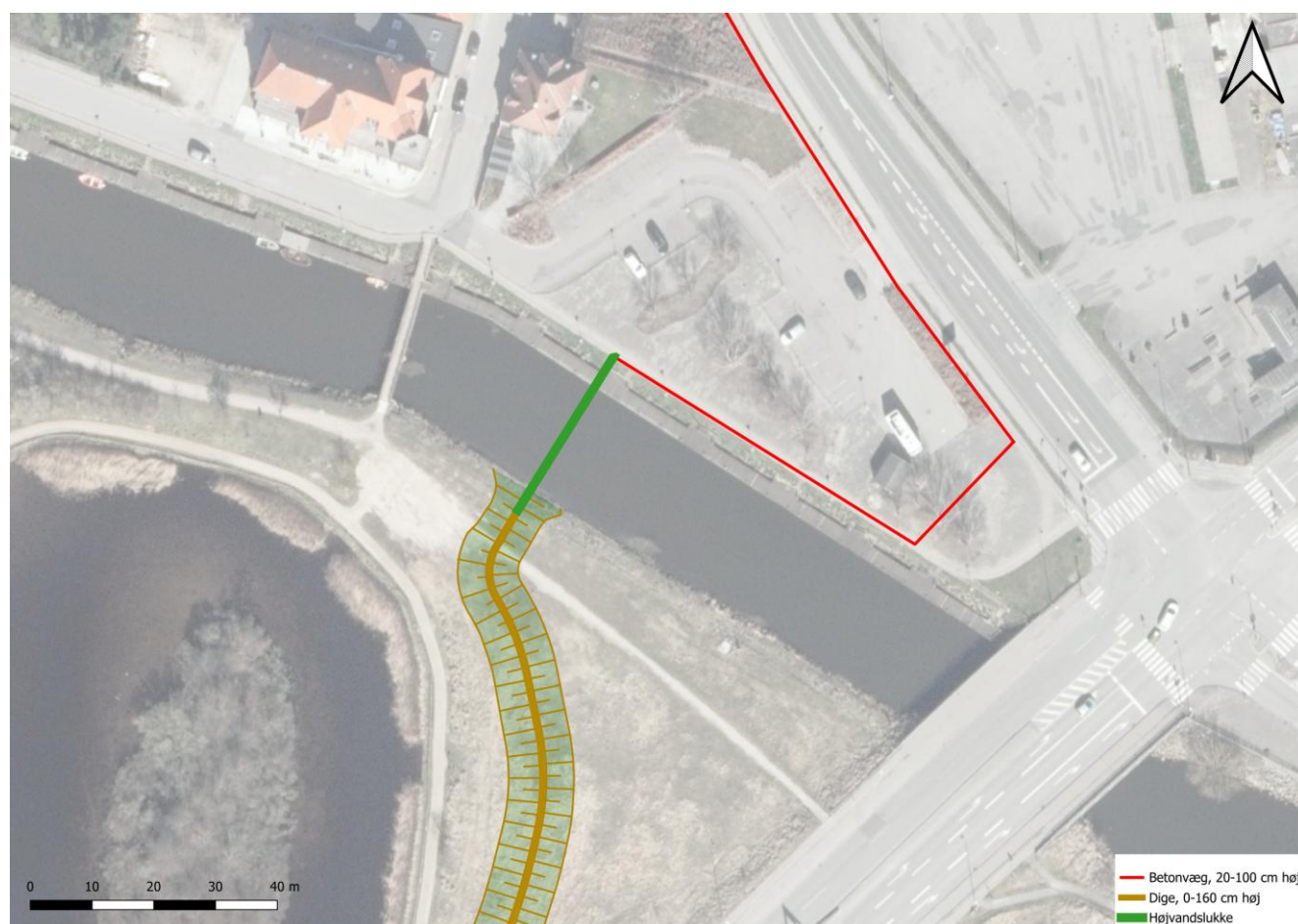
4.2. Strækning 2: Passage ved Grenåen og nordsiden af åen

Strækningen består af passagen langs åen på både nord og sydsiden og højvandslukket. På nordsiden er der planlagt mulighed for, at der på et tidspunkt skal etableres en pumpestation.

4.2.1. Beskrivelse af stormflodsbeskyttelse

Den første del af strækningen er landføring og overgang fra dige til mur eller spuns, der er en del af konstruktionen for højvandslukket. Norddjurs Kommune har valgt at højvandslukket skal være af typen sidehængt. Dvs. at porten åbnes som en dør på lodrette hængsler. I bunden af porten etableres bundplade for at porten kan slutte tæt. Detailprojekteringen skal vise, om der er behov (strukturelt eller økonomisk) for opdeling af porten, så der monteres 4 'døre' i stedet for to.

Den sidehængslede port er en effektiv løsning til at beskytte mod stormflod. Porten er typisk konstrueret af stål og er designet til at åbne og lukke ved hjælp af lejer og led til at bære porten. Når porten er lukket, forhindres vand i at trænge ind og trykket fra stormfloden tætnes porten yderligere.



Figur 4.7: Konstruktioner på strækning 2.

For at sikre at porten lukker tæt, skal porten løbende vedligeholdes og eventuelle aflejringer og forhindringer på bunden skal fjernes.

Den sidehængslede port kan drives enten hydraulisk med et elektrisk drevet pumpe system eller manuelt med et mekanisk system. Den hydrauliske løsning gør åbning og lukningen af porten nem og giver mulighed for at styre den automatisk, men der vil være et behov for at kunne tilslutte en nødgenerator ved strømsvigt.

For at sikre stabilitet og modstand mod det tryk, der opstår fra vandet, når porten er lukket, kan der anvendes forstærkninger i konstruktionen i form af en beton eller stålbjælke på bunden. Dette sikrer, at porten fungerer effektivt og sikkert i alle situationer. Der kan være behov for at dele porten på midten, men her er antaget fuld bredde. På Figur 4.8 er vist et principielt billede af en sidehængslet port, samt en illustration af den mulige placering og udbredelse af løsningen.

På nordsiden af åen vil der være en overgang fra port-konstruktion til spuns og videre til mur langs åen og rundt om det eksisterende pumpehus. I dette område er der væsentlige eksisterende ledninger i jorden som skal håndteres særskilt. Dette skal detaljeres ifm. detailprojekteringen.

Højvandslukket dimensioneres ikke med overhøjde, da det antages at den i slutningen af levetiden vil være så hyppigt lukket at andre metoder til at få Grenåen ledt til havet skal etableres, som f.eks. pumper. Derudover skal der på begge sider af åen etableres mulighed for at løfte porte på land ifm. drift.

Kronekoten på hele denne strækning er dermed 2,5 m DVR90.



Figur 4.8: Billede af sidehængslet port i Esbjerg, totalrådgiver NIRAS, samt mulig placering og udbredelse af anlægget i Grenåen, (WINTeC - Big steel solutions, 2021). Den præcise placering af port fastlægges endeligt og er på figuren kun indikativ.

4.2.2. Beskrivelse af afvanding

Langs strækning 2 skal der håndteres hverdagsregn, ekstremregn samt afstrømningen fra Grenåen, som vil stuve op på bagsiden af højvandslukket under stormflod, hvor den er lukket. Af Figur 4.9, ses stormflodsbeskyttelse samt eksisterende strømningsveje.



Figur 4.9: Strækning 2 - stormflodsbeskyttelse, samt eksisterende lavningsfrie strømningsveje med et opland over 500 m².

4.2.2.1. Opstuvning bag port

Ved varsling om højvande vil højvandslukket lukke, hvorefter afstrømning fra Grenåen vil stuve op på bagsiden af porten. Ud fra terrænmodellen i SCALGO, samt modelberegninger lavet af GEUS i forbindelse med C2C-projektet samt målinger i Grenåen, er der regnet på hvor længe porten kan være lukket, før der vil ske oversvømmelser med vandløbsvand opstrøms porten (NIRAS, Analyse af oplandets kapacitet ved portlukning, 2026).

Volumenanalysen viser, at der er betydelig opmagasineringskapacitet bag porten. Beregningerne er baseret på konservative forudsætninger, hvilket medfører, at det faktiske volumen i praksis må forventes at være større end det beregnede.

Analysen viser, at vandstanden i Grenåen under stormflod i høj grad er styret af havvand, som medfører en bagudrettet strømning i å-systemet. Dette er dokumenteret både ved modelresultater og ved målinger, der viser perioder med negativ vandføring. Havvandet udgør således den dominerende påvirkning af vandstanden i systemet under stormflod.

Et højvandslukke ved Grenåens udmunding vil effektivt afskære denne påvirkning. Derved reduceres den samlede vandtilførsel til oplandet under stormflod fra både hav og opland til alene at bestå af tilstrømningen fra oplandet. På den baggrund vurderes det, at et højvandslukke ikke vil forværre forholdene opstrøms, men tværtimod reducere risikoen for opstuvning i å-systemet.

Sammenligningen mellem fyldningstid og stormflodsvarigheder viser, at oplandet under nutidige forhold generelt har tilstrækkelig kapacitet til at tilbageholde tilstrømningen i den periode, hvor porten er lukket. Selv ved relativt høje tilstrømninger, svarende til vintermedian under fremtidige klimaforhold, er fyldningstiden i størrelsesordenen 70 timer, hvilket overstiger de fleste observerede stormflodshændelser.

Der er i analysen også betragtet meget høje tilstrømninger svarende til maksimalt observerede og klimafremskrevne værdier. Disse repræsenterer imidlertid ekstreme hændelser, og samtidig forekomst af både stormflod og så høje afstrømninger vurderes at have en lav sandsynlighed. Anvendelsen af disse scenarier bidrager således til en konservativ vurdering af systemets kapacitet, dvs. en form for robusthed imod variationer af påvirkninger.

For fremskrevne forhold i år 2100 viser analysen, at varigheden af perioder med forhøjet havvandstand kan øges, hvilket kan medføre længere sammenhængende lukkeperioder. I sådanne tilfælde kan der opstå situationer, hvor fyldningstiden nærmer sig varigheden af lukkeperioden, særligt ved høje tilstrømninger. Dette peger på, at drift og håndtering af porten vil få øget betydning under fremtidige klimaforhold.

Samlet set vurderes det, at en portløsning ved Grenåen kan etableres uden behov for pumpekapacitet under nutidige forhold, og at løsningen ikke forværrer de hydrauliske forhold opstrøms. Analysen viser endvidere, at resultaterne er baseret på konservative forudsætninger, hvilket understøtter robustheden af konklusionen.

Der skal frem mod år 2100 jævnligt dokumenteres at basis antagelserne for beregningerne ikke ændres og forventningerne til både havspejlsstigning og stormflodshændelser ikke forværres. Sker der udsving i forudsætningerne påvirker det tidshorisonten for etablering af pumper.

4.2.2.2. Håndtering af regn

Hverdagsregnen bag højvandsmuren på nordsiden af åen vil blive håndteret af forsyningen, på samme måde som det gør i status, da området ligger indenfor kloakopland 26.1. Det betyder, at det kun er regnhændelser med en gentagelsesperiode på over 5 år, der skal håndteres bagvand fra. Sandsynligheden for, at en stormflod optræder samtidig med en regnhændelse med en gentagelsesperiode på over 5 år er meget lille. Det antages derfor, at der ikke vil være problemer med hverdagsregn, se nærmere beskrivelse i afsnit 2.

Ekstremregn håndteres overordnet på samme måde som under eksisterende forhold. Af Figur 4.9 ses de eksisterende strømningsveje, heraf ses det, at regnvandet strømmer ud i Grenåen mellem det planlagte højvandslukke og Ringvejen. Denne strømningsvej skal ved etableringen af højvandsmuren opretholdes. Dette gøres ved, at muren anlægges med et rør, hvor den afskærer den eksisterende strømningsvej. Røret skal have kontraklap imod tilbagestuvning fra høj vandstand i havet/udmundingen af åen.

I de meget sjældne tilfælde hvor en stormflod er sammenfaldende med en regnhændelse større end det, afløbssystemet kan håndtere, som antages at være en 5-års hændelse, vil der på parkeringspladsen nord for åen skulle håndteres de i nedenstående Tabel 4.1 angivne voluminer. Vandet skal håndteres

indtil vandstanden i åen er faldet, så vandet kan gravitere ud, eller til der er kapacitet i forsyningens system. Volumenerne er beregnet som den mængde vand, der skal håndteres, når en 5-års hændelse håndteres af forsyningen.

Tabel 4.1: Volumener ved forskellige gentagelsesperioder.

	Volumen ved T20 [m ³]	Volumen ved T50 [m ³]
T20 ved eksisterende nedbør	45	79
T20 ved klimafremskrevet nedbør (fremskrevet til år 2100)	98	154

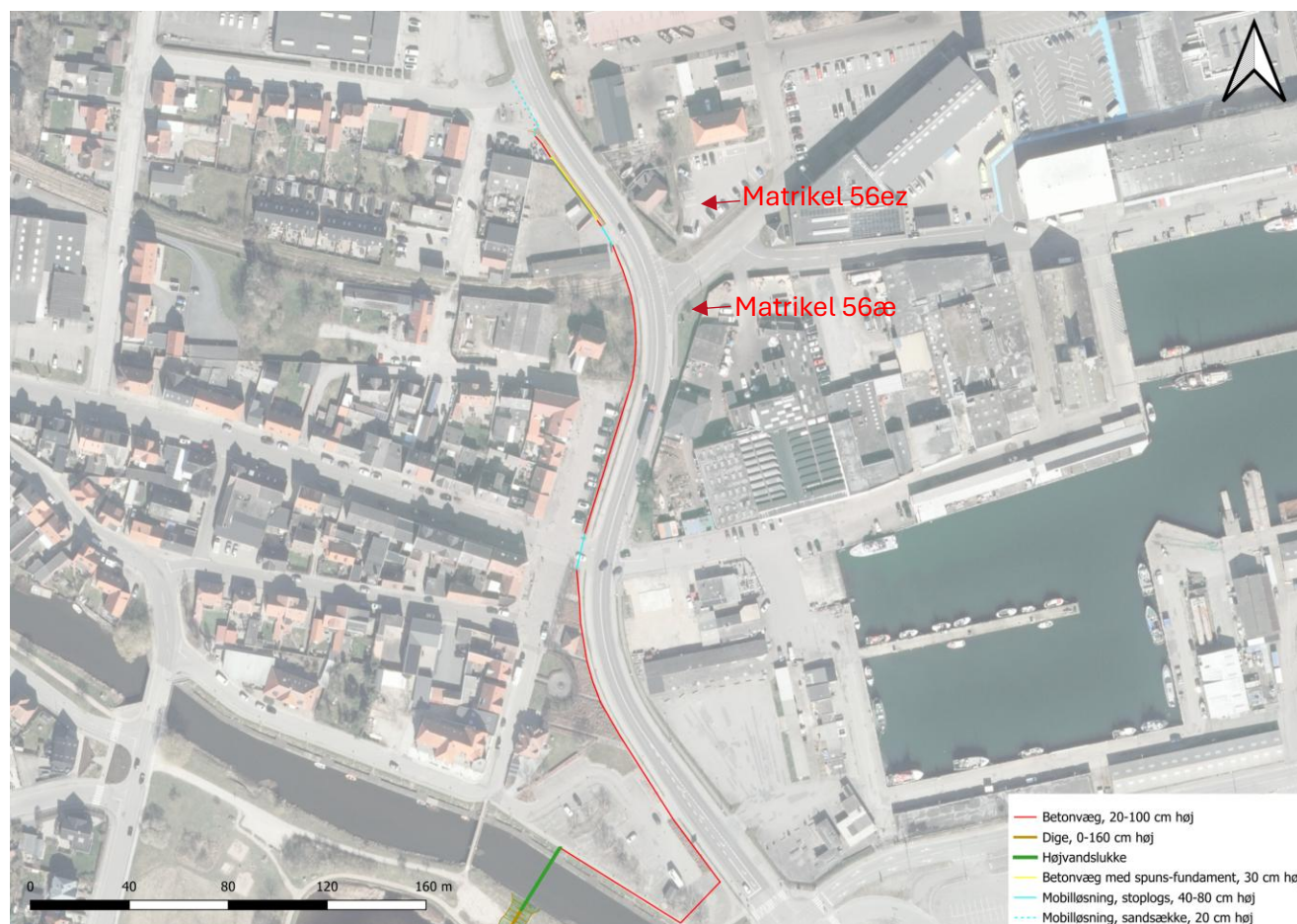
Af Figur 4.10, ses hvor meget volumen der er i de eksisterende lavninger på parkeringsarealet. Heraf ses det, at lavningerne vil kunne håndtere en 50-års hændelse ved eksisterende nedbørsmængde samt en 20-års hændelse ved en klimafremskrevet nedbørshændelse. Da det antages, ovenstående vil ske yderst sjældent, implementeres der ingen tiltag.



Figur 4.10: Eksisterende lavninger er markeret med blå, og deres volumen er noteret med sort tekst.

4.3. Strækning 3: Pumpehus til Sølystvej

På denne strækning består det meste af løsningen af mur. Der er tre gennemskæringer af stormflodsbeskyttelsen, hvor der anvendes mobile løsninger.



Figur 4.11: Konstruktioner på strækning 3.

4.3.1. Beskrivelse af stormflodsbeskyttelse

Langs med Kattegatvej placeres muren på indersiden af Kattegatvejs fortov, hvor der i dag er buskads på det meste af strækningen. Muren har på hele denne strækning en kronekote i +2,5 m DVR90.

Der er tre steder, hvor stormflodsbeskyttelsen skal passeres for forbindelse til Kattegatvej: Hvor Strandgade forbindes til Kattegatvej, ved matrikel 56ez og hvor Sølystvej møder Kattegatvej.

Ved Strandgade er åbningen en mobil løsning, som enten skot løsning eller som skydeport, der sidder på muren. Ifm. detailprojektering skal der ses på driftsomkostninger ved valg af de to løsninger. Muren skal designses for påkørselslast i nærhed af åbningen.

Ved matrikel 56æ løber muren umiddelbart i skel mellem matrikel og fortov. Et enkelt stort træ samt en række mindre træer/beplantning skal fældes, da de udgør en fare for stormflodsbeskyttelsen.

Ved matrikel 56ez etableres en mobil løsning. Muren skal designes for påkørselslast i nærhed af åbningen. Gennemkørslen designes til 9 m bredde. Ved denne strækning er muren ca. 0,4 m høj og dermed ikke væsentlig for udsyn.

Langs den resterende nordlige del af matrikel 56ez forventes løsningen at bestå af spuns, da der er et eksisterende hegn, som højvandsbeskyttelsen står tæt op ad. Det er muligvis nødvendigt at afmontere elementerne imens spunsen sættes og efterfølgende retablere elementerne i hegnet. For at få stormflodsbeskyttelsen til at fremstå ensartet forventes det, at spunsen omstøbes med beton over terræn. Ved udkørsel skal muren designes for påkørselslast.

Helt i nord afsluttes muren hvor fortov drejer mod vest. Terræn er beliggende i kote ~2,3 m DVR90. Her antages en simpel mobil løsning anvendt, formentlig i form af sandsække, indtil der er behov for at øge beskyttelseshøjden, og der er behov for en reel konstruktion.

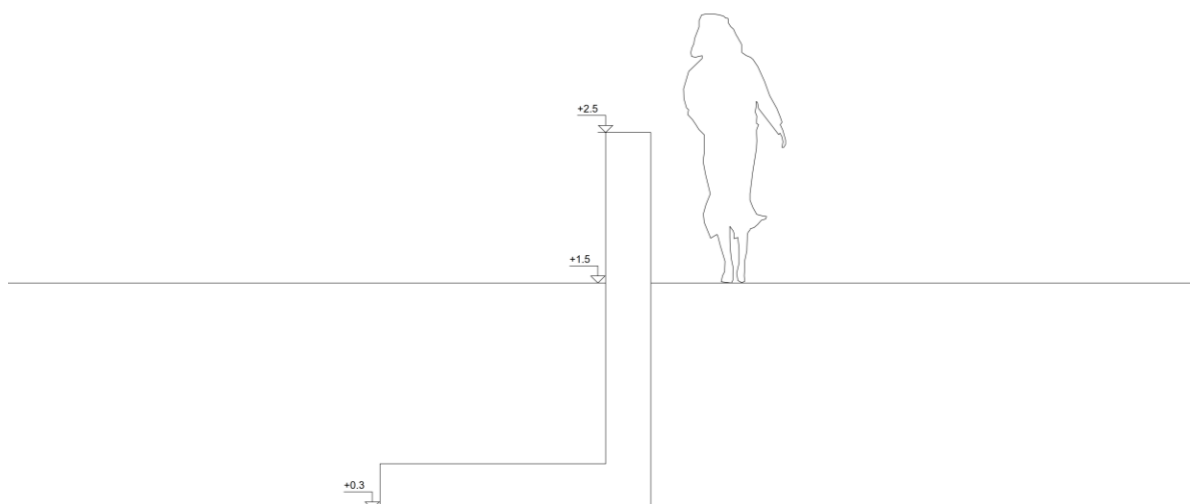
Muren forventes at blive at blive 30 cm bred over terræn. Under terræn vil muren have en hæl og tå som sørger for stabilitet. Muren skal kunne håndtere et vandspejl i kote 3m DVR90. I Figur 4.12 og Figur 4.13 er vist et par strækninger langs linjeføringen, henholdsvis langs Kattegatvej ved Strandgade og langs åen ved Brogade. Det er sammenlignet med hvor høj muren bliver ift. en person på 1,75m baseret på højdemodellens terræn. Figur 4.14 viser et tværsnit af muren.



Figur 4.12: Længdeprofiler angiver højde muren forventes at have over terræn langs kattegatvej ved Strandgade.



Figur 4.13: Længdeprofiler angiver højde muren forventes at have over terræn langs åen ved Brogade.



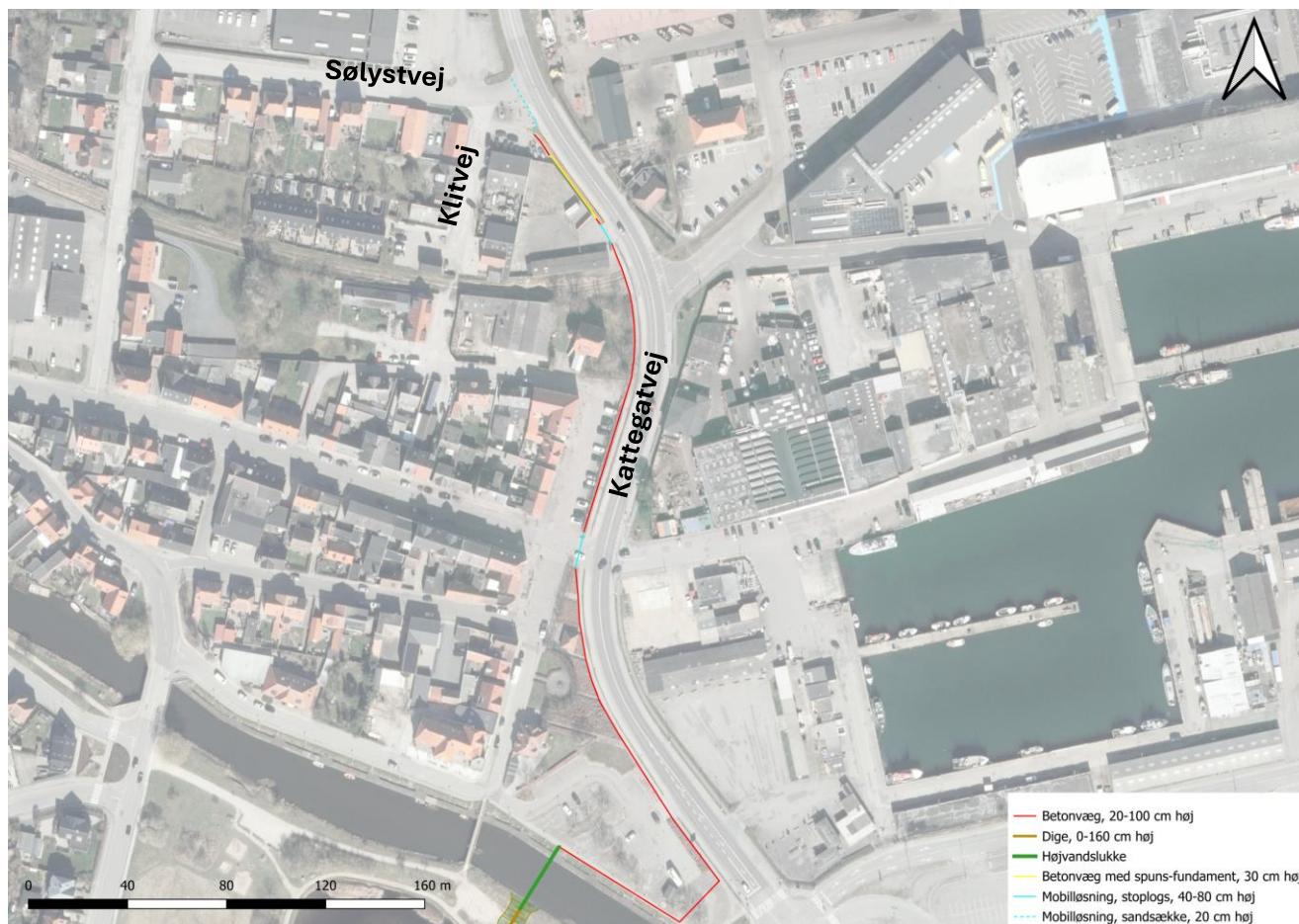
Figur 4.14: Tværsnit af mur.

4.3.2. Beskrivelse af afvanding

Langs strækning 3 skal der håndteres hverdagsregn og ekstremregn.

For hverdagsregn antages det, at vandet fra alle de befæstede flader ledes til forsyningens system, da arealerne bag stormflodsbeskyttelsen ligger indenfor spildevandsplanen.

Ekstreme regnhændelser håndteres som i status. Af Figur 4.15 ses det, at stormflodsbeskyttelsen afskærer to strømningsveje. En der vil strømme fra vest mod øst ud på Kattegat vej og en i den nordlige ende der vil strømme fra Kattegatvej ind ad Sølystvej og videre ned ad Klitvej. Løsningerne der blokerer strømningsvejen, er mobileløsninger, hvoraf den nordligste er sandsække. Da ekstreme regnhændelser og stormflod med stor sandsynlighed ikke vil være sammenfaldende antages det, at de mobile løsninger vil være åbne under ekstreme regnhændelser, og dermed vil vandet kunne strømme som i status.



Figur 4.15: Strækning 3 - stormflodsbeskyttelse, samt eksisterende lavningsfrie strømningsveje med et opland over 500 m².

I de meget sjældne tilfælde hvor en stormflod er sammenfaldende med en regnhændelse større end det afløbssystemet kan håndtere, som antages at være en 5-års hændelse, vil de mobile løsninger være lukkede, og strømningsvejen der strømmer ind ad Sølystvej, vil blive afskåret af sandsække, og blive ledt videre ned af Kattegatvej, hvor den vil strømme sammen med den eksisterende strømningsvej som strømmer ud i havet af Søndre Kajgade, se Figur 4.16. Dette vil ikke forøge risikoen for oversvømmelser, da vandet vil strømme på veje, hvor der i forvejen strømmer skybrudsvand. Faktisk vil det være med til at mindske risikoen for oversvømmelser ved Klitvej, hvor vandet strømmer hen i status.

For den anden strømningsvej som afskæres, da den ikke kan strømme ud på Kattegatvej, vil vandet i disse sjældne tilfælde stuve på terræn. Her vil der skulle håndteres de i nedenstående Tabel 4.2 angivne volumener, indtil stormflodsbeskyttelsen åbnes eller afløbssystemet har kapacitet. Volumenerne er beregnet som den mængde vand der skal håndteres når en 5-års hændelse håndteres af forsyningen.

Af Figur 4.16, ses hvor meget volumen der er i de eksisterende lavninger. Heraf ses det, at lavningerne lige vil kunne håndtere en 20-års hændelse ved eksisterende nedbørsmængde. Da det antages, at sammenfald mellem en kraftig nedbørshændelse og en stormflod vil ske yderst sjældent, implementeres der ingen tiltag.

Tabel 4.2: Volumener ved forskellige gentagelsesperioder.

	Volumen ved T20 [m ³]	Volumen ved T50 [m ³]
T20 ved eksisterende nedbør	16	36
T20 ved klimafremskrevet nedbør (fremskrevet til år 2100)	29	56



Figur 4.16: Vand på terræn.

5. Anlægsarbejde

Det forventes, at der i projektet kan anvendes traditionelle anlægsmetoder, der ikke afstedkommer specielle løsninger. Der vil tæt på fredede huse og andre bygninger med risiko for sætninger skulle monteres vibrationsmålere.

Hvor anlægsarbejdet foretages tæt på eksisterende konstruktioner, skal der tages forholdsregler for at undgå sætninger. Ved udgravning omkring toiletbygningen skal der graves i gravekasse for ikke at underminere fundamentet til bygningen.

På den nordlige del af linjeføringen hvor der rammes spuns tæt op af eksisterende betonhegn er der risiko for at hegnet senere vil sætte sig og der vil være behov for at udbedre skaderne.

I forbindelse med projektets anlæggelse vurderes det muligt at placere arbejdsplads areal på den nuværende p-plads ved Grenåen og Kattegatvej, som vist med sort oval i Figur 5.1.

For arealet syd for åen forventes det, at materialer håndteres via den eksisterende indkørsel med udlægning af køreplader ved kørsel på arealer uden for eksisterende grusveje. Der skal her etableres en mulighed for vedligehold af porte.



Figur 5.1: Det nuværende P-plads areal forventes benyttet til arbejdsplads under udførelsen. Sort pil angiver forventet adgangsvej til etablering af dige samt ved etablering af højvudslukket fra syd.

6. Anlægsoverslag

I Tabel 6.1 er angivet de forventede hoveddimensioner på anlægget. Det forventes, at der kommer mindre variationer i disse ifm. detailprojekteringen.

Tabel 6.1: Hoveddimensioner på anlægget.

Beskrivelse af konstruktionstype	Længde (m)	Kronekote (mDVR90)
Jorddige med kerne af ler inkl. 10 cm muld	200	2,6
Mure af beton (bredde over terræn ca. 0,3m)	361	2,5
Spuns (med betonstøbning over terræn)	32	2,5
Mobil løsning - porte	24	2,5
Mobil løsning – f.eks. som sandsække	28	2,5
Højvandslukke i Grenåen	~22	2,5

Baseret på det beskrevne projekt er der udregnet et indledende anlægsoverslag for løsningen. Hovedposter er angivet i Tabel 6.2.

Der er i overslaget medtaget 15% til byggeplads og interimsforanstaltninger samt 30% til uforudsete udgifter. Derudover er estimerne tillagt en regulering på 2% om året i tre år.

Tabel 6.2: Anlægsoverslag baseret på de beskrevne løsninger.

Anlægsoverslag (DKK ekskl. moms)	
Strækning 1	6,000,000 kr.
Strækning 2	20,000,000 kr.
Strækning 3	5,500,000 kr.
Sum (DKK ekskl. moms)	31,500,000 kr.

7. Referencer

DMI. (15. april 2024). *DMI.dk*. Hentet fra Klimaatlas: <https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-i-klimaatlas>

GEUS. (2025). *Jupiter database*.

GOH. (u.d.). *REFERENZBEISPIELE*. GOH – Gesellschaft für operativen Hochwasserschutz.

IndustriBeton. (12. 02 2025). Hentet fra <https://industribeton.dk/referencer/kystsikring-tuborg-havn>

Kystdirektoratet. (u.d.). *Dige*. Lemvig: Kystdirektoratet.

NIRAS. (2026). *Analyse af oplandets kapacitet ved portlukning*.

NIRAS. (2026). *Geoteknisk parameterundersøgelse*. NIRAS.

NIRAS. (2026). *H41537_A5_C01_Forudsætningsnotat - Vejrhævning af Ringvejen*. NIRAS.

WINTERC - *Big steel solutions*. (Maj 2021). Hentet 16. December 2024 fra <https://usercontent.one/wp/www.wintec.dk/wp-content/uploads/2021/05/Esbjerg001.jpg?media=1672925127>

Bilag 1: Tegninger