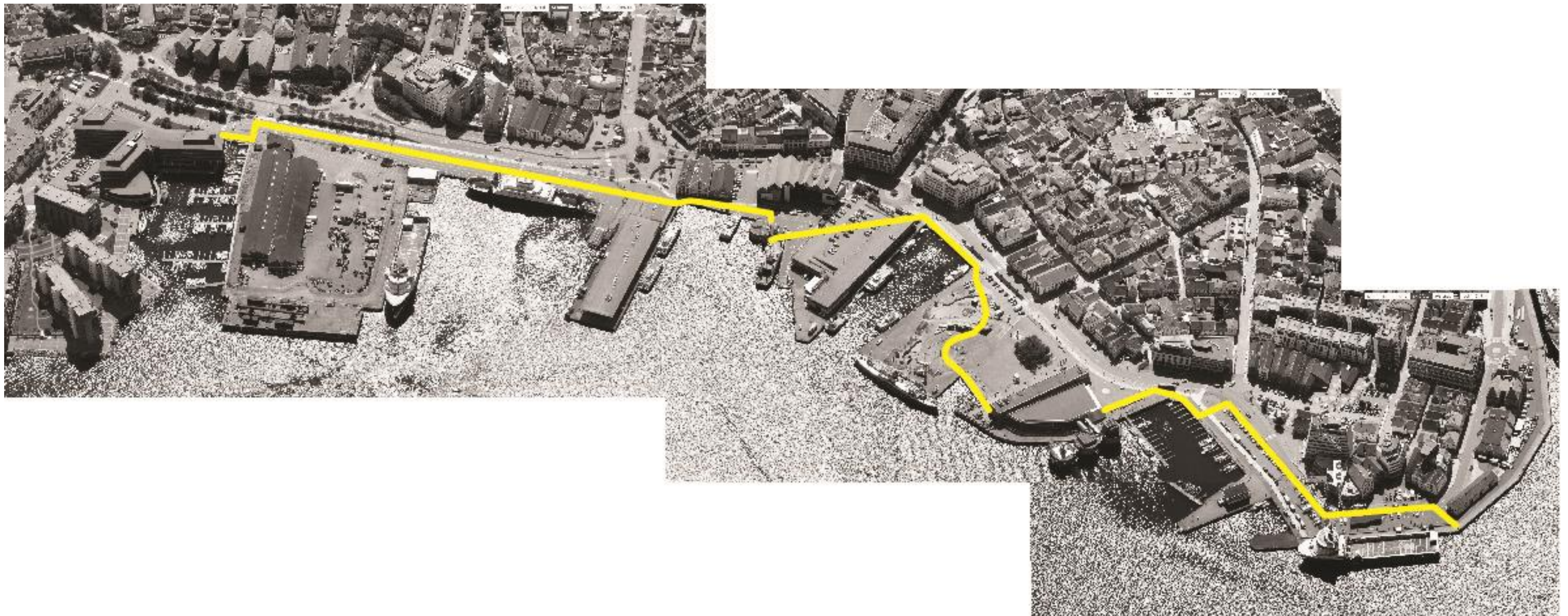


Stavanger Kommune

► Flomvern Holmen og Østre havn

Oppdragsnr.: 5202912 Dokumentnr.: 01 Versjon: 6 Dato: 2022-09-29



Oppdragsgiver: Stavanger Kommune
Oppdragsgivers kontaktperson: Simon Tamminga
Rådgiver: Norconsult AS, Klæbuveien 127 B, 7031 Trondheim
Oppdragsleder: Synne Hoggen Nybø
Fagansvarlig: Arne Erling Lothe
Andre nøkkelpersoner: Trond Kostøl, Gro Eggen, Margret Backman, Cecilie Gilje Gjedrem, Mari Wøien Håland

6	2022-09-29	Tillegg med bilder fra vanskelige punkter	ArELo		
5	2022-02-18	Tillegg for alternativ tetting, utkast	ArELo		
04	2020-09-07	Oppdatert etter kommentater	SyHNy/ArELo	ArELo	SyHNy
03	2020-08-06	Oppdatert etter kommentarer	SyHNy/AEL	ArELo	SyHNy
02	2020-08-07	Oppdatert rapport	SyHNy	ArELo	SyHNy
01	2020-06-16	Rapport	SyHNy	ArELo	SyHNy
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► Sammendrag

Regelverk og lover for bygg og infrastruktur krever at det skal tas hensyn til framtidige klimaendringer. Den viktigste utfordringen for kystnær bebyggelse er muligheten for at middelvannstanden i havet kan stige. For nye bygg skal de nye reglene anvendes, men det er ikke gitt konkrete føringer for sikring av eksisterende bygg. Eksisterende bygg kan ha ulik verdi, enten økonomisk, kulturell eller verdi som viktig samfunnsstruktur.

Stavanger sentrum er spesielt utsatt for effektene av høy vannstand (stormflo), og Stavanger kommune ønsker å utvikle en plan for Østre Havn som gjør at området gradvis tilpasses en situasjon om ca. 70 år der middelvannstanden i havet kan ha steget med inntil 0.9 m.

Sentrumsplanen for Stavanger kommune beskriver mål og føringer for hvordan havneområdet skal utvikles fremover, og det legges krav om utarbeidelse av felles planprogram for havnefronten fra og med Holmen til og med Bekhuskaien. Planprogrammet skal brukes videre ved detaljregulering av havneområdet.

Norconsult AS bistår Stavanger kommune med vurdering av Tema Flomvern. Flomvern er vurdert ut fra eksisterende sentrumsplan og tilgjengelig grunnlagsdokumentasjon innen hydrogeologi, vann og avløp, analyser av bølger og stormflo inkludert fremtidig havnivåstigning.

I denne rapporten vises resultatet av en skisse til framtidig flomvern for Østre Havn. Vi foreslår et flomvern som består av en lav voll (med høyde ca. 2.10 m NN2000) mellom to høydepunkter i hver ende av planområdet, og en tilhørende tetting av grunnen under vollen ved hjelp av en sammenhengende stål-spuntvegg. For å sikre adkomst og trafikk skal det monteres bevegelige porter ved utvalgte kryssingsteder. Portene er normalt åpne, men stenges ved varslet stormflo.

Rapporten inneholder:

- foreslått linjeføring og endepunkt for flomvernet,
- strategi for gradvis innføring og utbygging av flomvernet
- skisseforslag for utforming av flomvernets synlige del,
- plan for grunnundersøkelser,
- borplan og områdeavgrensninger,
- kartlegging av aktive avløp og behov for endringer og utvidelser,
- vurdering av viktige trafikk-årer og endringer i trafikkmønsteret,
- forslag til punkt med behov for mobil stenging.

Det er utført et grovt kostnadsestimat for utredninger, undersøkelser og planlegging og for grunnarbeider, opparbeidelse av voll og arkitektoniske tilpasninger.

► Innhold

1	Innledning	6	6.8	Linjen- muren	24
1.1	Foreslått metode	6	6.9	Den grønne linjen – grønne elementer i forbindelse med flomvernet	26
2	Flomvern	7	6.10	Heving av terreng og stengbare åpninger i flomvern	28
2.1	Forutsetninger og grunnlag	7	6.10.1	<i>Stengbare åpninger</i>	28
2.2	Bølgepåvirkning	7	6.11	Spuntveggen	30
2.3	Referanser	7	6.11.1	<i>Konstruksjon</i>	30
3	Strategi	8	6.12	Alternativer til bruk av spuntvegg (punktvis)	32
3.1	Anbefalt strategi	8	6.12.1	<i>Beskrivelse</i>	32
3.2	Strategi i langtids perspektiv	8	6.12.2	<i>Alternative løsninger</i>	32
3.3	Alternative metoder for flomvern	9	7	Kostnadsestimat	34
4	Hydrogeologi	10	7.1	Avgrensing av kalkylen	34
4.1	Innledning	10	7.6	Kalkyletallene	34
4.2	Analyse og funn	10	Tillegg: Punkter med spesielle utfordringer	35	
4.2.1	<i>Grunnforhold</i>	10			
4.2.2	<i>Strømningsforhold i grunnen</i>	11			
4.3	Anbefalinger	11			
4.3.1	<i>Håndtering av grunnvann</i>	11			
4.3.2	<i>Behov for undersøkelser</i>	11			
5	Vann og avløp	13			
5.1	Analyse og funn	14			
5.1.1	<i>Overvann</i>	14			
5.1.2	<i>Fellesledninger (AF)</i>	16			
5.1.3	<i>Øvrige VA-ledninger</i>	18			
5.2	Anbefalinger	18			
5.2.1	<i>Generelt</i>	18			
5.2.2	<i>Tiltak i forbindelse med eksisterende felles-system</i>	18			
5.2.3	<i>Overvann</i>	18			
5.2.4	<i>Drift og vedlikehold</i>	18			
5.2.5	<i>Anbefalinger til videre kartlegging av eksisterende forhold</i>	18			
6	Byplanlegging og landskapsarkitektur	20			
6.1	Flomvern i byene	20			
6.2	Gode byrom	20			
6.3	Stavangers mål for byrom	20			
6.4	Flomvern og infrastruktur	21			
6.5.1	<i>Gatebruk</i>	21			
6.5.2	<i>Flomvern og barrierevirkning</i>	21			
6.6	Flomvern og mennesker	21			
6.6.1	<i>Lek</i>	21			
6.6.2	<i>Romforløp</i>	22			
6.7	Prinsipper og ideer for utforming av flomvern	22			

1 Innledning

Sentrumsplanen for Stavanger kommune beskriver mål og føringer for hvordan havneområdet skal utvikles fremover, og det legges krav om utarbeidelse av felles planprogram for havnefronten fra og med Holmen til og med Bekhuskaien. Planprogrammet skal brukes videre ved detaljregulering av havneområdet. Stavanger kommune ønsker bistand til vurdering av tema flomvern.

Havnivået er stadig stigende, og prognoser for fremtidig havnivåstigning viser at Stavanger er en av de regionene som er mest utsatt for havnivåstigning som følge av klimaendringene. Dette skyldes primært at den isostatiske landhevingen (etter siste istid) er begrenset fordi isdekket var tynt. I 2100 kan byen få 10 prosent mer nedbør, og vannstanden kan bli inntil 90 centimeter høyere enn i dag.

Stavanger har store områder i sentrum og langs sjøkanten som er historisk, kulturelt og økonomisk verdifulle. Selv om nye bygg i området kan tilpasses klimaendringer innenfor en overskuelig horisont, vil tiltak for å beskytte eksisterende bebyggelse mot flom kreve samordnede tiltak etter en overordnet plan som bare byens myndigheter kan vedta.

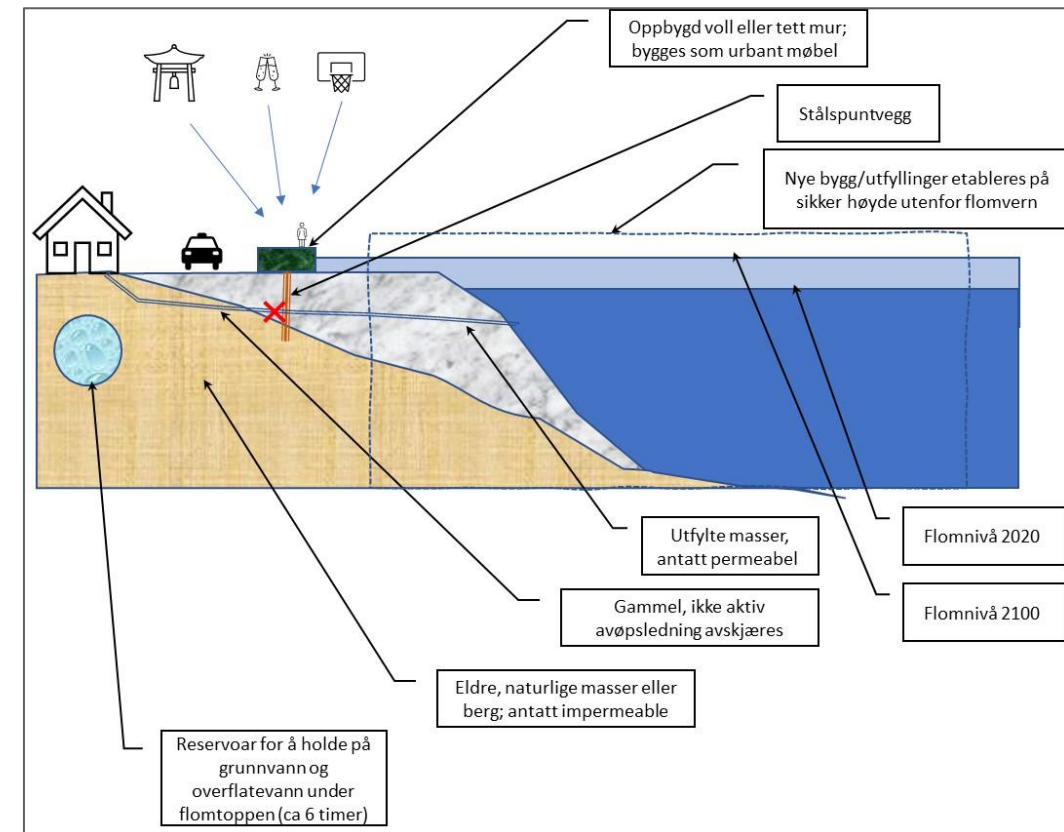
Hvordan skal havnebyer som grenser til sjø forberede seg på havnivåstigning og flom? Byer som vokser frem med utgangspunkt i sjønæringer som fiske og hermetikk, har ofte lang havnefront som en del av byens sentrum. Overgang til andre næringer og strategier om relokalisering og endring av infrastruktur kan gi større havnearealer som transformeres. Slike transformasjoner gir mulighet for å planlegge for økt vannstand, både ved å legge nybygg i høyde over risikosonen, samt bygge et fysisk flomvern som beskytter byen bak vernet.

1.1 Foreslått metode

Hovedhensikten med strategi for flomvern er å sikre områdene innenfor planområdet mot konsekvenser for flom i perioden frem til 2090. Eksisterende flomvernløsning vedtatt i kommunedelplan for Stavanger sentrum og nylig vedtatt kommuneplan til Stavanger vurderes og videreføres der det er hensiktsmessig.

Det er opp til den enkelte by å legge en strategi for hvordan de skal møte økt vannstand langs havnefronten. Stavanger by ligger utsatt til for klimaendringer og kommunen har vært offensive med forslag til hvordan de skal forberede seg. Dagens og fremtidige ekstremvannstander i Stavanger er moderate, og flomvern kan etableres ved å bygge en voll som i grove hovedtrekk følger den historiske kystlinjen. I grove trekk vil en slik voll følge vegsystemet Verksalmenningen - Verksgata - Østervågkaien - Kjeringsholmen - Skansgata.

Havnivået øker gradvis frem mot 2090. Det er derfor hensiktsmessig med en etappevisetablering av flomvern ettersom byen utvikler seg og nye områder transformeres. Flomvernet kan være i form av en voll, en mur, en kombinasjon av disse eller stengbare åpninger. For å ivareta bybildet skal flomvern utformes som en del av eksisterende og ny bebyggelse. Det er mulig å «kamuflere» flomvernet som et bymøbel eller som en integrert del av andre elementer, som vanlige bygg, G/S-stier, gjerder, osv. Flomvernets høyde kan måtte justeres stedvis for å ta hensyn til at det kan komme bølger mot vernet under spesielle værforhold. For enkelte soner er det mulig å etablere stengbare flomvern som kun er aktivert og synlig ved ekstreme forhold. En prinsippskisse av flomvernet er vist i Figur 1.



Figur 1 Idé-skisse for flomvern i Østre Havn i Stavanger

Verneverdig bebyggelse i Stavanger står i dag 15 og 60 m fra dagens kailinjer, men vi antar at kystlinjen går helt inn til bebyggelsen. Dette fordi terrenget foran sjøhusene består av oppfylt materiale som gradvis er tilført over lang tid. Vi har lite kunnskap om hva oppfyllingen består av, og selv om dette var kjent, må vi anta at fyllingene er permeable, og at de i tillegg inneholder et ukjent antall avløpsledninger. Avløpsledningene er ikke nødvendigvis i bruk, men de kan fortsatt være aktive, dvs. at de kan transportere vann til og fra sjøen.

For å hindre at flomvann siger inn i bykjernen ved ekstrem stormflo må det etableres en tetting langs hele sjøfronten, for eksempel i form av en stålpunt.

Plan for innføring av flomvern kan gjennomføres som et rekkefølgekrav eller som en klausul i salgsdokument når kommunen avhender eiendommer.

Flomvernet dimensjoneres for å holde sjøvannet ute i en begrenset periode, antatt maksimalt 6 timer. Arbeidet utføres basert på befaring på området, møter med kommunen og tilgjengelig grunnlagsdokumentasjon og eksisterende analyser.

2 Flomvern

Flomvernet for Holmen og Østre havn i Stavanger har til hensikt å skjerme eksisterende bygg i bydelen mot effekten av høy vannstand i havet og bølger. Tilstanden kalles stormflo og inntreffer ved en ugunstig kombinasjon av tidevann og andre meteorologiske fenomen, der de viktigste komponentene er (lavt) lufttrykk, vindretning og bølgeretning i havet.

2.1 Forutsetninger og grunnlag

I tillegg til dagens stormflo kommer forventet heving av middelvannstanden i havet utenfor Stavanger. Hevingen av middelvannstanden skyldes klimaendringer, og siste estimat (2015) på netto heving er som følger.

2050: + 36 cm

2090: + 79 cm

2100: + 90 cm.

Disse estimatene er basert på beregninger framlagt av IPCC og tilpasset til norske forhold i rapport fra NCCS (1). Tallene er basert på et antatt framtidsscenario som kalles RCP8.5, og er beskrevet som:

RCP8.5 is a high emission scenario, also known as a “business as usual” scenario. There are no reductions in emissions, but instead there is a tripling of CO₂ emissions by 2100, and a rapid increase in methane emissions. Global temperatures will have increased by some 3-5°C, compared to the mean 1986-2005. Results are largely unknown, but this scenario likely involves several catastrophic consequences for human civilisation.

RCP8.5 kan virke som et dystert scenario, men det er det scenariet som alle planmyndigheter er pålagt å bruke gjennom forskriften Byggeteknisk Forskrift, fastsatt av Direktoratet for Byggkvalitet(TEK17), (2).

I fastsettelsen av det stormflonivået som skal legges til grunn benyttes reviderte tall for ekstrem stormflo i Stavanger i dag, med et tillegg for forventet heving av middelvannstanden i henhold til Flomklasse F2 i TEK17 (200-års returperiode i 2090). Det gir 206 cm NN2000, som vedtatt av Stavanger kommune i sentrumsplaner, se for eksempel ROS-analysen for Stavanger Sentrum, side 24 (3).

Vi avrunder dette tallet til **210 cm NN2000**, som er den høyden som et flomvern må ha for å sikre området mot statisk stormflo fram til 2090, det vil si uten bølger. Mulig bølgepåvirkning er ikke inkludert og vurderes separat i avsnitt 2.2 nedenfor.

2.2 Bølgepåvirkning

Bølger kan ha en viss betydning for dimensjonering av flomvern fordi bølgene kan føre til overskylling av flomvernet, og de vil påføre krefter på flomvernet. Bølger mot Vågen og mot Skansen og Østre havn har tidligere vært behandlet og analysert i flere ulike prosjekter.

Konklusjonen fra bølgeberegningene er at de bølgene som kan forekomme i det aktuelle området er vindbølger som er generert av vind fra nord innenfor et område fra Ulsneset til Skansekaia/Holmen; eller bølger fra øst. Bølgene fra øst er bølger som er dannet i det indre havnebassenget mellom havna og bybrua, med et tilskudd fra bølger som er dannet i fjordbassenget mot Lindøy, og passerer under bybrua.

I alle tilfeller er dette mindre, lokale bølger med begrenset høyde og periode opp til 3 - 4 sekunder. Bølger med så lav periode har liten «rekkevidde» innover land, oftest ikke mer enn 10 - 12 m innover på tilnærmet flatt underlag.

Figur 20 senere i rapporten viser foreslått posisjon av flomvernet og planlagte/foreslåtte utbygginger i havnebassenget. Det er få steder der flomvernet er nært sjøkanten, og på disse stedene er bølgehøyden også redusert på grunn av skjerming fra pirer eller nye utfyllinger.

Det gjør at den tilleggshøyden som er nødvendig for å ivareta effekten av bølgene vil være i størrelsesorden 20 - 30 cm, og det er ikke nødvendig å forberede spuntveggen for dette.

Vårt forslag er derfor at tilleggshøyde for bølge-effekter tas inn i detalj-prosjekteringen av flomvernet. På det tidspunktet vil man også ha bedre oversikt over hvilke utfyllinger som faktisk er eller vil bli utført, og kan dimensjonere høyden deretter.



Figur 2: Kartutsnitt fra område Holmen og Østre havn.

2.3 Referanser

1. M.J.R. Simpson, J.E.Ø. Nilsen, O.R. Ravndal, K. Breili, H. Sande, H.P. Kierulf, H. Steffen,E. Jansen, M. Carson, O. Vestøl (2015): Sea Level Change for Norway NCCS report no. 1/2015.
2. Byggteknisk forskrift (TEK17), Direktoratet for Byggkvalitet
3. ROS-analyse, Kommunedelplan for Stavanger Sentrum, sist revidert 21.01.2019

3 Strategi

3.1 Anbefalt strategi

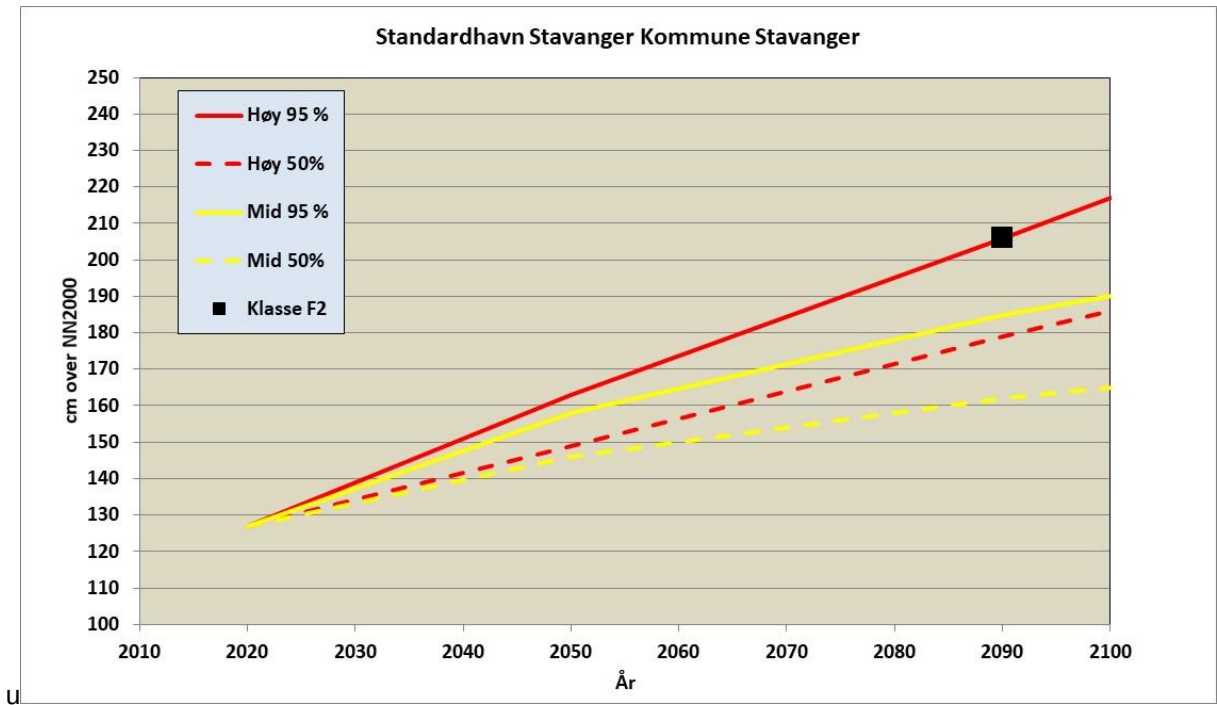
Som nevnt over, vil framtidens stormflo-nivå bestå av to komponenter:

Astronomiske og meteorologiske faktorer (vind, bølger, luft-trykk, etc. antas uforandret)

+ forventet heving av middelvannstand i havet ved Stavanger

= framtidig stormflo-nivå.

Hvor mye havnivået vil stige er usikkert, og avhenger av flere faktorer, hvorav den viktigste sannsynligvis er verdens-samfunnets respons på ønsket om å redusere utslipp av klimagasser. Figur 3 viser utviklingen i Stavanger ved henholdsvis RCP8.5 (høyt utslipp) og RCP4.5 (middels utslipp) fram til 2100. Hvert scenario er vist ved 50 % ensemblespredning (mest sannsynlige) og 95 % ensemblespredning. TEK17 krever at vi benytter den heltrukne røde kurven i 2090, markert med svart firkant, på 206 cm NN2000.



Figur 3 Forventet utvikling av 200 års stormflo-nivå i Stavanger ved høyt og middels utslippsnivå, og 50 % og 95 % ensemblespredning.

Figuren viser at i 2050 kan man regne med at 200 års stormflo er ca. 163 cm, hvilket er høyere enn flere gater og bygninger i området, se avsnitt 5.

Vi foreslår derfor en trinnvis strategi for å etablere flomvernet.

- Planen for å etablere spuntvegg under jorda implementeres umiddelbart for nye prosjekter i området. Det vil si at der hvor en eiendom skal utvikles eller bebygges, skal den tilgrensende delen av spuntveggen etableres som permanent konstruksjon på anvist sted. Alle bygg som ligger på utsiden av spuntveggen må dimensjoneres for mulig stormflo i henhold til gjeldende forskrift (i 2020 TEK17), og omfattes ikke av flomvernet.
- De eiendomsutviklere som ønsker det, kan på dette tidspunktet også bygge vollen eller muren på toppen av spuntveggen dersom det er ønskelig av økonomiske eller estetiske hensyn. Men de vil vite at flomvernet ikke vil gi fullstendig vern mot framtidig stormflo før hele anlegget er ferdigstilt.

- Når spuntvegger for utviklingsområdene er etablert, må kommunen ta initiativ til å lukke åpningene mellom de eksisterende spuntveggene, med kompletterende spuntvegger. Samtidig må gjennomføringer for avløpsrør etableres, og det må forberedes bygging av stengbare åpninger for trafikken.
- På et tidspunkt rundt 2040 - 2050 kan man se hvilken bane klimautviklingen følger, og man må da revurdere om estimatet på 206 cm stormflo i 2090 fortsatt holder. Det er mulig, eller endog sannsynlig, at beregnet stormflo-nivå i 2090 er lavere enn de 206 cm som man regner med i dag, men vi anbefaler ikke å redusere høyden på det grunnlaget.

Fra ca. 2050 er hele spuntveggen ferdig, og det er klart for å utføre den siste delen av flomvernet; å sette opp vollen eller muren på toppen av spuntveggen for å hindre innsig av overflatevann under stormflohendelser.

3.2 Strategi i langtids perspektiv

Flomvernet for østre havn har i hovedsak to komponenter:

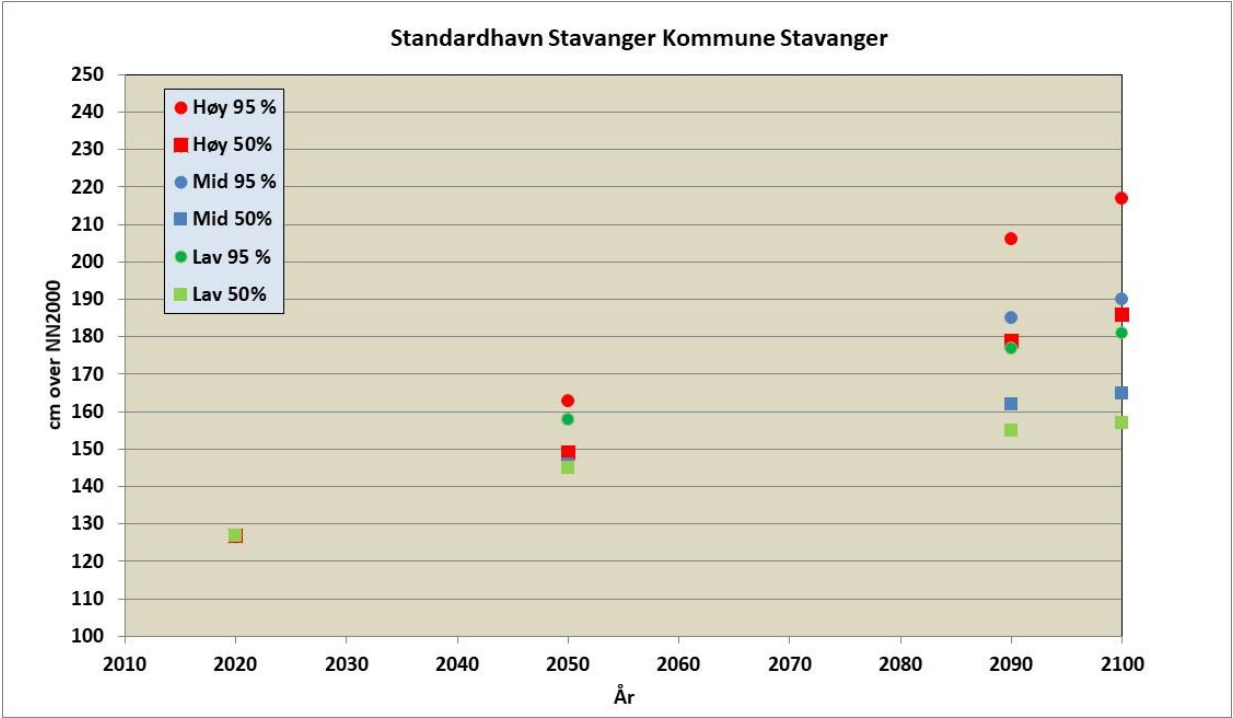
- En underjordisk spuntvegg som skal hindre lekkasje gjennom (utfylt) grunn. Spuntveggen bygges gradvis og etappevis ut i takt med andre typer utbygginger i området (eiendomsutvikling, veger, etc.). For hver etappe må omlegging av underjordiske rør og kabler, eller avslutning av disse, gjennomføres. Det er et mål at hele spuntveggen skal stå ferdig til ca. 2050. Spuntveggen avsluttes litt høyere enn terrengnivå, anslagsvis 1.3 - 1.7 m NN2000. Stedvis kan spuntveggen erstattes av en grunnmur i et bygg med tilsvarende tettingsegenskaper.
- En overjordisk voll som bygges oppå spuntveggen slik at vollen og spuntveggen utgjør et nær 100 % tett gardin mellom sjøen og områdene bak. I 2020 er det estimert at nødvendig høyde av vollen er 2.10 m NN2000 for å tilfredsstille F2-kravet i TEK17 om sikkerhet i 2090. Dette gjelder for steder som ikke er utsatt for bølger. Denne høyden må revurderes når arbeidet med å bygge vollen starter, anslagsvis ca. 2050.

Estimatene på framtidig havnivåheving er usikre, og avhenger av mange faktorer, i hovedsak utviklingen av klimagassutslippene. Det synes å være enighet om at selv med drastiske reduksjoner i utslippene fra og med i dag, vil virkningen av dette komme først rundt år 2040 - 2050.

Estimert heving av middelvannstand med 50 % og 95 % sannsynlighet i Stavanger er gitt i Tabell 3-1 for ulike fremtidige utslippsscenarioer. De samme tallene er vist i Figur 4, men med utgangspunkt i 200 års stormflo i 2020, som er 127 cm NN2000. Et viktig trekk ved Figur 4 er at det er liten forskjell på de ulike scenariene og spredningen (50 % og 95 %) fram til 2050. Det er først etter dette tidspunktet at de scenariene skiller lag og blir tydelige. En kan også merke seg at for scenario Lav (RCP2.6), som betyr umiddelbar reduksjon av utslippene, vil middelvannstanden fortsette å stige i hele perioden. Fo de fleste norske kommuner innebærer dette scenariet tilnærmet ingen heving av middelvannstanden fordi landhevingen da er større enn middelvannstandshevingen.

Tabell 3-1: Estimert heving av middelvannstand med 50 % og 95 % sannsynlighet i Stavanger for ulike fremtidige utslippsscenarioer. RCP2.6 umiddelbar sterk reduksjon. RCP4.5 tydelig reduksjon fra 2040. RCP8.5 fortsatt økning i utslipp.

RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5	
50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95 %
18 cm	31 cm	19 cm	31 cm	22 cm	36 cm



Figur 4 Estimert økning av stormflo-nivå med 200 års returperiode i Stavanger 2020 - 2100, basert på siste verdier fra DSB, for utslippsnivå RCP2.6 (Lav), RCP4.5 (Middels) og RCP8.5 (Høy). Hvert scenario er vist med 50 % og 95 % ensemblespredning. Utgangspunktet er 200 stormflo for 2020 = 127 cm NN2000. Økningen fram til 2100 skyldes heving av middelvannstanden, og er den samme for alle returperioder.

50-års flom i Stavanger er 109 cm NN2000, og 200-års flom 127 cm. Tabell 3-2 angir projisert havnivå inkl. stormflo og klimapåslag for år 2050 for 50 % og 95 % ensemblespredning og ulike utslippsscenarioer.

Tabell 3-2: Estimert fremtidig havnivå i 2050 med 50-års og 200-års flomnivå for ulike sannsynligheter for heving av middelvannstand og utslippsscenarioer. Referansenivå NN2000.

Returperiode havnivåstigning	RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5	
	50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95 %
50-år, 109 cm	127 cm	140 cm	128 cm	140 cm	131 cm	145 cm
200-år 127 cm	145 cm	158 cm	146 cm	158 cm	149 cm	163 cm

Mest sannsynlige flomscenario (50 %) i 2050 med 50-års flom er ca. 1.3 m NN2000. Med andre ord vil spuntveggen alene kunne takle denne typen flommer fram til ca. 2050. Vi understreker at en virkelig ekstremflom i 2050 beregnet etter retningslinjer i TEK17 (200 år) vil være enda høyere, ca. 1.63 m NN2000.

Dersom spuntveggen står ferdig i 2050 og det inntreffer en situasjon med stormflonivå høyere enn spuntveggen (ca. 1.3 m NN2000), vil spuntveggen fortsatt gi god beskyttelse. Det skyldes at vannet vil bare flomme over og inn i den korte perioden rundt tidevannstoppen. Uten en spuntvegg vil vannet strømme uhindret gjennom grunnen og inn mot byggene i en mye lengre periode.

Vi konkluderer med at under en forutsetning av at spuntveggen er ferdig til ca. 2050, vil den gi akseptabel beskyttelse mot sannsynlige (men ikke ekstreme) stormflo-nivå på samme tidspunkt. Konsekvenser av ekstreme stormflo-nivå avhenger av i hvilken grad tiltak mot flomvern er iverksatt, men er vurdert til å være moderat gitt at spuntvegg er ferdigstilt. For en mer nøyaktig vurdering av konsekvensen av ekstreme hendelser før fullstendig utbygning av flomvoll er for beskyttelse av stormflonivå opp til 206 cm NN2000 må en ROS-analyse utføres.

3.3 Alternative metoder for flomvern

Det er ikke en del av oppgaven for dette prosjektet å vurdere andre metoder enn den som er skissert ovenfor i avsnitt 3.1. For den overjordiske vollen finnes det flere alternativer for utforming og tilpasning til landskap, arkitektur, byrom og formål, se kapittel 6.

Tilsvarende realistiske alternativer for den underjordiske tetteveggen (spuntveggen) finnes ikke. En beskrivelse av spunt-metoden er gitt i avsnitt 6.11, og antatte kostnader er gitt i kapittel 7. Spunting regnes som er enkel og effektiv metode for å oppnå stabilisering av byggegroper og hindring av vanninntrenging. Av kostnadsestimatet i kapittel 7 fremgår det at etablering av ca. 1100 m spuntvegg utgjør en relativt stor andel av hele budsjettet. Imidlertid er det forutsetningen at de første delene av spuntveggen skal etableres når de ulike eiendommene utvikles. Slik eiendomsutvikling vil i nesten alle tilfeller innebære utgraving av en byggegrop som er stabilisert med spuntvegg. I de fleste tilfellene er det vanlig å trekke opp igjen spunten når bygget eller grunnmuren er ferdig, og eventuelt gjenbruke spuntnålene. I vårt tilfelle vil det være et krav at utbygger plasserer en del av spuntveggen på anvist plass der den får sin permanente funksjon. Kostnaden for den delen av spuntveggen er dermed tilnærmet lik null.

Kommunens andel av spuntveggen blir dermed de manglende bitene som skal til for å hekte sammen de spuntveggene som tidligere er satt opp av de ulike utviklerne av eiendommene.

I avsnitt 6.11 er det diskutert mulige hindringer for å sette ned spunt, som for eksempel større steinblokker, store metall-gjenstander (båter, biler), e. l. I ytterste fall må grunnen her graves opp og gjenstandene fjernes. Dersom grunnen skal brukes til bygninger, er dette tiltak som må gjennomføres uansett, enten for å få satt ned spuntveggen til byggegropa, eller for å hindre framtidige setninger som følge av at metall-objekter korroderes og går i oppløsning.

Et realistisk alternativ til spuntvegg finnes ikke. En form for tetting er helt nødvendig. Slik tetting kan oppnåes med en betongvegg, eller med en kombinasjon av tett leire og eventuelt asfaltoverdekning (som benyttet i dammer). Begge disse metodene vil imidlertid kreve full utgraving, og for å oppnå det kreves tosidig støtte av spuntvegg for å holde gropa åpen.

4 Hydrogeologi

4.1 Innledning

Det er gjort en gjennomgang av offentlige databaser (løsmassekart og berggrunnskart fra NGU, historiske flyfoto fra Norge i bilder) for å beskrive området. Det er også benyttet informasjon fra geotekniske grunnundersøkelser på deler av området som utgjør Østre havn (Bekhuskaien og Fiskepiren), samt i sjø. Resultatene er dokumentert i rapportene:

- Bekhuskaien. Datarapport – geotekniske grunnundersøkelser. Dok.kode 10208200-RIG-RAP-001 (Multiconsult, 2019)
- Fiskepiren/Margarinlinjen. Datarapport – geotekniske grunnundersøkelser. Dok.kode 10213084-RIG-RAP-001 (Multiconsult, 2019)
- Grunnundersøkelser i sjø. Datarapport geotekniske grunnundersøkelser. Dok.kode 10202892-RIG-RAP-001 (Multiconsult, 2018)

Informasjonen som er framkommet fra gjennomgangen er sammenstilt og det er gjort en grov vurdering av grunnforhold og strømningsforhold for grunnvann i nedslagsfeltet til foreslått spuntlinje. Videre er det gitt anbefalinger med tanke på håndtering av grunnvann oppstrøms spunten.

4.2 Analyse og funn

4.2.1 Grunnforhold

Berggrunnen i Stavangerområdet består i hovedsak av fyllitt og glimmerskifer, som er omdannede sedimentære bergarter (NGU, 2020).

Ifølge Norges geologiske undersøkelser består området av antropogene fyllmasser¹ (NGU, 2020). I et større areal består grunnen av bart fjell, marin strandavsetning² og tynt morenedekke³. Over tid har østre havn blitt fylt ut mot sjø og store deler av sjøfronten er derfor anlagt på fyllmasser. Historisk utvikling av havneområdet fra 1937 fram til i dag vises i Figur 5. Figur 6 viser strandlinjen fra 1937 (skissert inn basert på historisk flyfotografi) sammen med foreslått lokalisering av spunt. Området på sjøsiden av strandlinjen antas å bestå av utfylte masser.

De geotekniske undersøkelsene som er utført ved Fiskepiren og Bekhuskaien (hhv. punkt 1 og 2 i Figur 6) i er gjort i utfylt område på land, samt i sjø. Fyllmassene på land er beskrevet å bestå av stein, blikk tegl, div. skrot, asfalt og grus. Under fyllmassene er det varierende lagdeling av fastere og løsere stedeagne masser. Øverste lag består av sand og grus, mens det i dypet blir større innhold av finstoff og siltig/leirig materiale.

Dyp til fjell varierer gjennom det undersøkte området, men er påtruffet ved kote -20 til -23 i søndre del av undersøkelsesområdet og øker deretter til kote -30 og -40 lengre nord.



Figur 5: Historiske flyfoto fra Norge i bilder, viser utvikling av Østre havn, Stavanger, fra 1937 fram til i dag (Kartverket, 2020).

¹ **Fyllmasser:** Løsmasser tilført eller sterkt påvirket av menneskers aktivitet, vesentlig i urbane områder (NGU, 2020).

² **Marin strandavsetning,** sammenhengende dekke: Marine strandvaskede sedimenter med mektighet > 0,5 m. Dannet av bølge- og strømkraft i strandsonen, stedvis som strandvoller. Materialet er ofte rundet og godt sortert. Kornstørrelse varierer fra sand til blokk, men sand og grus er vanligst (NGU, 2020).

n:\520\29\5202912\4 resultatdokumenter\41 rapporter\5202912- rapport flomvern holmen og øst_v06.docx

³ **Tynn morene:** Materiale plukket opp, transportert og avsatt av isbreer. Det er vanligvis hardt sammenpakket, dårlig sortert og kan inneholde alt fra leir til stein og blokk. Tykkelsen på avsetningen er normalt < 0,5 m, men kan lokalt være større (NGU, 2020).

4.2.2 Strømningsforhold i grunnen

Regionalt vil grunnvannstrømmen i området følge terrenghelningen mot sjøresipienten. Det går et grunnvannsskille gjennom Stavanger sentrum, der avrenning sør og vest for skillet vil renne mot Vågen og Hillevågsvatnet, mens avrenning øst og nord for skillet vil renne nord mot sjøresipient (østre havn). Vannskillet er skissert inn som tykk blå strek i figur 6.

Grunnvannstransport vil skje i løsmasser og i sprekker i fjellet. Området ytterst mot sjø består av utfylte masser, og grunnvann i disse massene vil være styrt av tidevannsfluktuasjoner. Løsmassedekke lengre inn på land er av ukjent kvalitet og mektighet.

For å estimere tilsig av grunnvann innenfor nedslagsfeltet til den foreslåtte spuntveggen er det tatt utgangspunkt i vannbalanselikningen: $P = Q + E + \Delta S$,

- der P = nedbør (mm/år)
- Q er avrenning
- E er fordampning og planteopptak
- ΔS er magasinering

Likningen sier at nedbør vil enten fordampe, tas opp av planter, renne av på overflaten eller infiltrere grunnvannet.

Årsnedbør i Stavanger er normalt ca. 1425 mm/år. Nedslagsfeltet til spuntveggen er modellert ved bruk av programvaren Scalgo og nedslagsfeltgrensen vises som blå strek i figur 6. Størrelse av nedslagsfeltet til spuntveggen er i kart målt å være omtrent 438 000 m².

Store deler av nedslagsfeltet består av tette flater. I tillegg er det fall på terrengoverflaten i store deler av nedslagsfeltet. Det forventes derfor at hovedparten av nedbøren vil renne av på overflaten eller fanges opp av overvannsnett. Det estimeres at 5 % årsnedbøren vil bidra til nydannelse av grunnvannsmagasinet. Dette utgjør et grovt anslag på 90 m³ som i gjennomsnitt hver dag vil infiltrere til grunnvannet og strømme ut mot sjøresipienten gjennom det planlagte spuntområdet. Eventuelt tilsig fra defekte overvannsledninger eller vannledninger innenfor nedslagsfeltet vil kunne øke volumet av grunnvann som strømmer ut mot sjøen.

Flomvern i form av spuntvegg vil påvirke naturlig grunnvannstransport i området, da spunten vil utgjøre en fysisk barriere for grunnvannstrømmen. Dersom grunnvannet ikke får sted å renne ut, vil dette medføre risiko for oppstuvning av grunnvann og oversvømmelse av dypereliggende strukturer i terrenget og forsenkninger i terrengoverflaten.

4.3 Anbefalinger

4.3.1 Håndtering av grunnvann

For å unngå oppstuvning av grunnvann på baksiden av spuntveggen (landsiden) foreslås det at spuntveggen skal føres ned til «jomfruelige» masser, som er tette nok til å hindre tidevannet til å sige gjennom, men som slipper gjennom grunnvannet. Dette muliggjør at grunnvann kan strømme til sjø gjennom de permeable massene ved normalsituasjon og lavvann. Dette må prosjekteres i samråd med geotekniker for å sikre stabilitet av spunten. Det vurderes at det er aktuelt å finne permeable masser i fyllmassene som er anlagt mellom strandlinjen fra 1937 og dagens strandlinje (ref. Figur 6). Massenes permeabilitet må imidlertid undersøkes nærmere.

Hvorledes løsningen vil fungere ved ulike tidevannssituasjoner må analyseres nærmere ved modellering av situasjonen. Gjennom permeable masser vil grunnvannet være i kontakt med sjøvann på utsiden av spuntveggen. Løsningen må derfor kombineres med et oppsamlingsbasseng for grunnvann bak spuntvegg (på landsiden) som utstyres med pumpeløsning, slik at vann kan pumpes ut til sjø ved hendelser som flom og springflo. Det anbefales at oppsamlingssystemet for grunnvann ses i sammenheng med løsning for håndtering av overvann.

Dersom det gjennom supplerende undersøkelser og geoteknisk vurdering viser seg å ikke være aktuelt å føre spunten ned til permeable masser, må det i stedet anlegges et oppsamlingssystem for grunnvannssig på landsiden av spuntveggen tilknyttet pumper for å pumpe grunnvann til sjø.

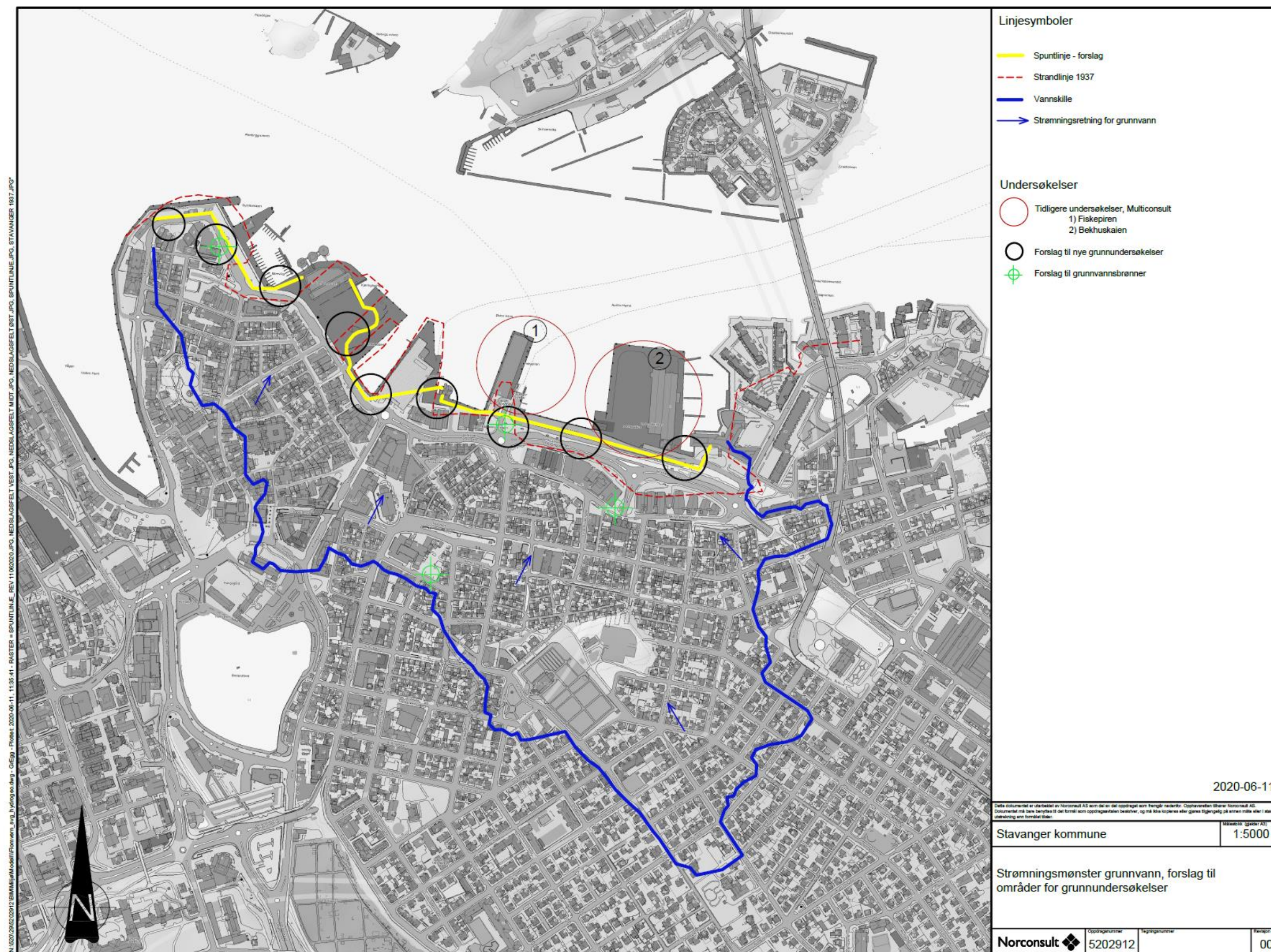
4.3.2 Behov for undersøkelser

Før spuntvegg og løsning for håndtering av grunnvann kan prosjekteres må det gjøres grundigere undersøkelser i området. Det trengs detaljkunnskap om gradient på grunnvannstrømmen, informasjon om løsmasstype- og mektighet, og dyp til underliggende faste masser. Norconsult har ikke fått tilgang til andre geotekniske rapporter fra det aktuelle området enn rapportene omtalt i kapittel 0. I databasen Nadag er det heller ikke registrert geotekniske grunnundersøkelser fra det aktuelle området.

Det foreslås derfor at det utføres grunnundersøkelser langs spuntlinjen for å undersøke grunnforholdene i området. Figur 6 viser områder hvor det anbefales å gjøre grunnboringer (sorte sirkler). Det bør gjøres en totalsondering i hvert område. Gjennom undersøkelsene skal dyp til underliggende fjell/faste masser kartlegges. Grunnvannsnivå skal kartlegges i hvert borehull. I tillegg skal det tas ut løsmasseprøver for kornfordelingsanalyse fra aktuelle boredyp (i grunnvannsmettet sone). Kornfordelingsanalysen vil ligge til grunn for bestemmelse av jordart samt beregning av hydraulisk ledningsevne (K-verdi) i stedlige masser.

Videre anbefales det etablering av grunnvannsbrønner innenfor nedslagsfeltet for å undersøke grunnvannsnivå i stedlige masser. Forslag til lokalisering av grunnvannsbrønner framgår av figur 6.

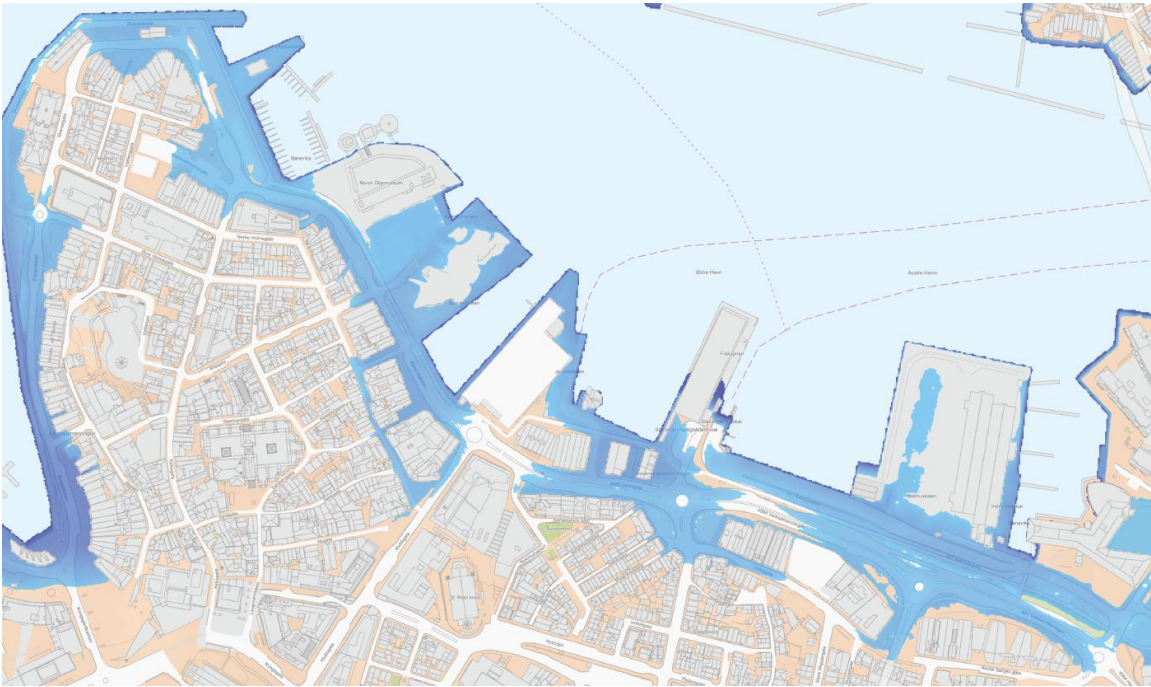
Med bakgrunn i dette vil grunnvannssig mot spuntvegg kunne fastsettes mer nøyaktig, og informasjonen vil ligge til grunn for prosjektering av system for håndtering av grunnvann bak spuntvegg. Det anbefales at det gjøres en modellering av situasjonen for å undersøke om grunnvannstrykket er tilstrekkelig til at grunnvannet strømmer ut til resipient gjennom permeable masser under spuntvegg, og hvordan situasjonen vil fungere ved ulike tidevannsnivåer.



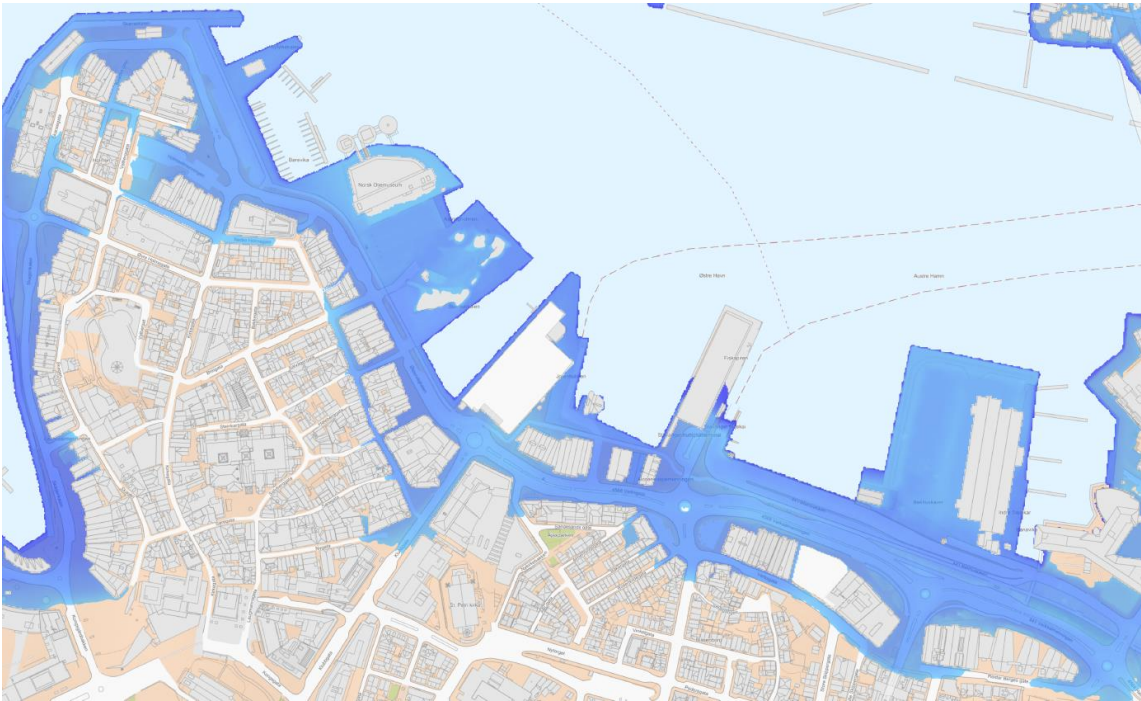
Figur 6: Kart som viser forslag til spuntlinje, tidligere strandlinje fra 1937, vannskille og nedslagsfelt for spuntlinje samt forslag til områder for grunnundersøkelser.

5 Vann og avløp

Havnivåstigning og etablering av flomvern langs havneområdet ved Holmen og Østre havn gir utfordringer for eksisterende ledningsnett og for håndtering av overvann. Store deler av dagens kaier, vegsystem og bygninger ligger mellom kote 1.2 og kote 1.5 (NN2000). Høgeste observerte vannstand i dag er på kote 1.08 (NN2000). Sentrumsplanen stiller krav til at det skal etableres flombarriere på minimum kote 2.06. Det er allerede ved dagens situasjon liten sikkerhet mot flom for de gamle bygningene langs den gamle historiske kailinjen. Det samme gjelder eksisterende vegnett langs havneområdet.



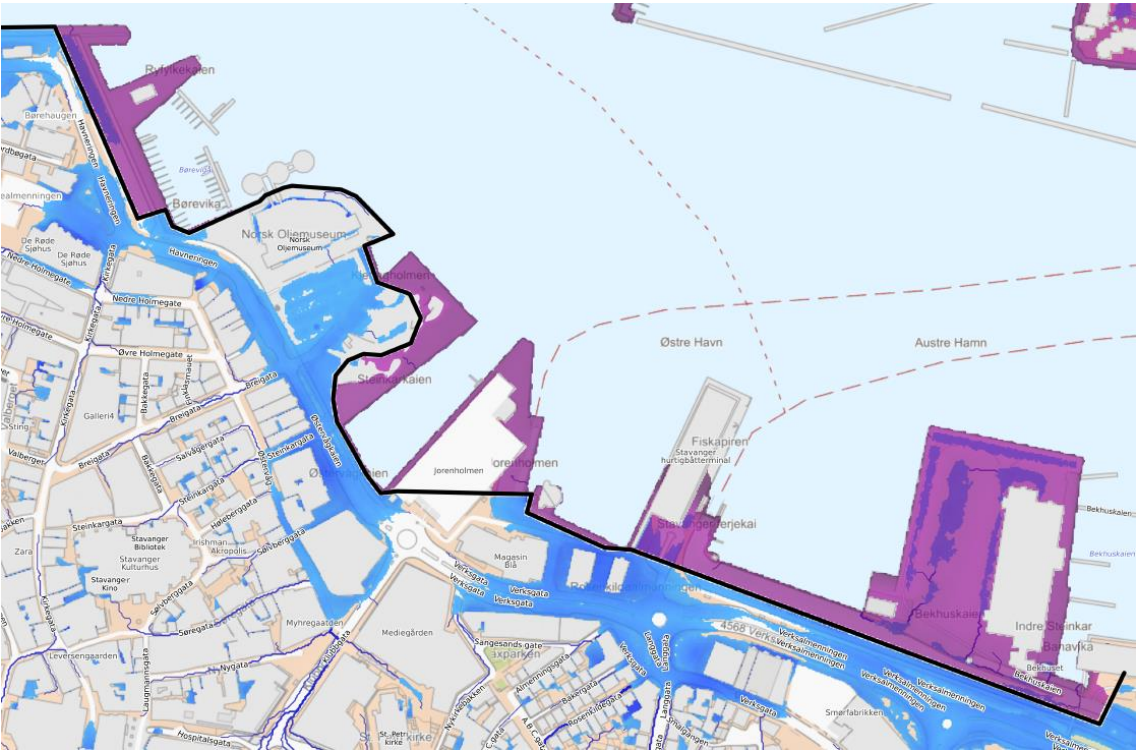
Figur 7 Havnivå kote 1.5 (NN2000) uten flomvern (Scalgo Live)



Figur 8 Havnivå kote 2.06 (NN2000) uten flomvern (Scalgo Live)

Havnivåstigning vil redusere kapasiteten på overvannsledningene og på sikt oversvømme disse i perioder med høy vannstand.

Ved etablering av flomvern vil en i perioder med samtidighet mellom store nedbørshendelser og høy vannstand i sjøen få problemer med å føre overvann til sjøen i ledningsnett og i de naturlige flomveiene som leder overvann på terreng til sjøen. I disse periodene må overvann håndteres med kontrollerte oversvømmelser på terreng, i basseng og ved pumping.



Figur 9 Flomvern, høg vannstand (lilla) og overvann (blått) (Scalgo Live). Situasjon uten basseng og pumping av overvann. Oppfylling av utbyggingsområdene A1 til A4 er heller ikke hensyntatt.

Store deler av det eksisterende avløpsnettet for området Holmen og Østre havn har felles-system der kloakk (spillvann) og overvann ledes i de samme ledningene. Ledningene føres til overløp eller pumpestasjoner kombinert med overløp. Det mest forurensede avløpsvannet skilles fra og føres til sentralreanseanlegget i Mekjarvik. I perioder med mye nedbør føres fortynnet avløpsvann til havnebassenget i overløpsledninger med selvføll, eller ved pumping.

5.1 Analyse og funn

5.1.1 Overvann

Store deler av nedbørsfeltet til Holmen og Østre Havn går, som nevnt foran, til felles-system. Det er foreløpig ikke avklart hvor store regnhendelser felles-systemet har kapasitet til å håndtere. Dette vil være viktig å avklare før en går videre med dimensjonering av fremtidige overvanns-system som må etableres parallelt med flomvernet.

Stavanger kommune har modeller av eksisterende ledningsnett som bør benyttes for de aktuelle regnhendelser og sjøvannsnivå, slik at en kan simulere kapasiteten på eksisterende ledningsnett og eventuelle behov for å forsterke ledningsnettet og pumpestasjonene.

Ved nedbørshendelser større enn det ledningsnettet håndterer, vil en ha 3 større nedbørsfelt med avrenning mot sjøen og mot flomvernet:



Figur 10 Nedbørsfelt vest, ca.10 ha. Det er her forutsatt at nedslagsfeltet oppstrøms Breiavannet holdes igjen og fordrøyes i Breiavannet.



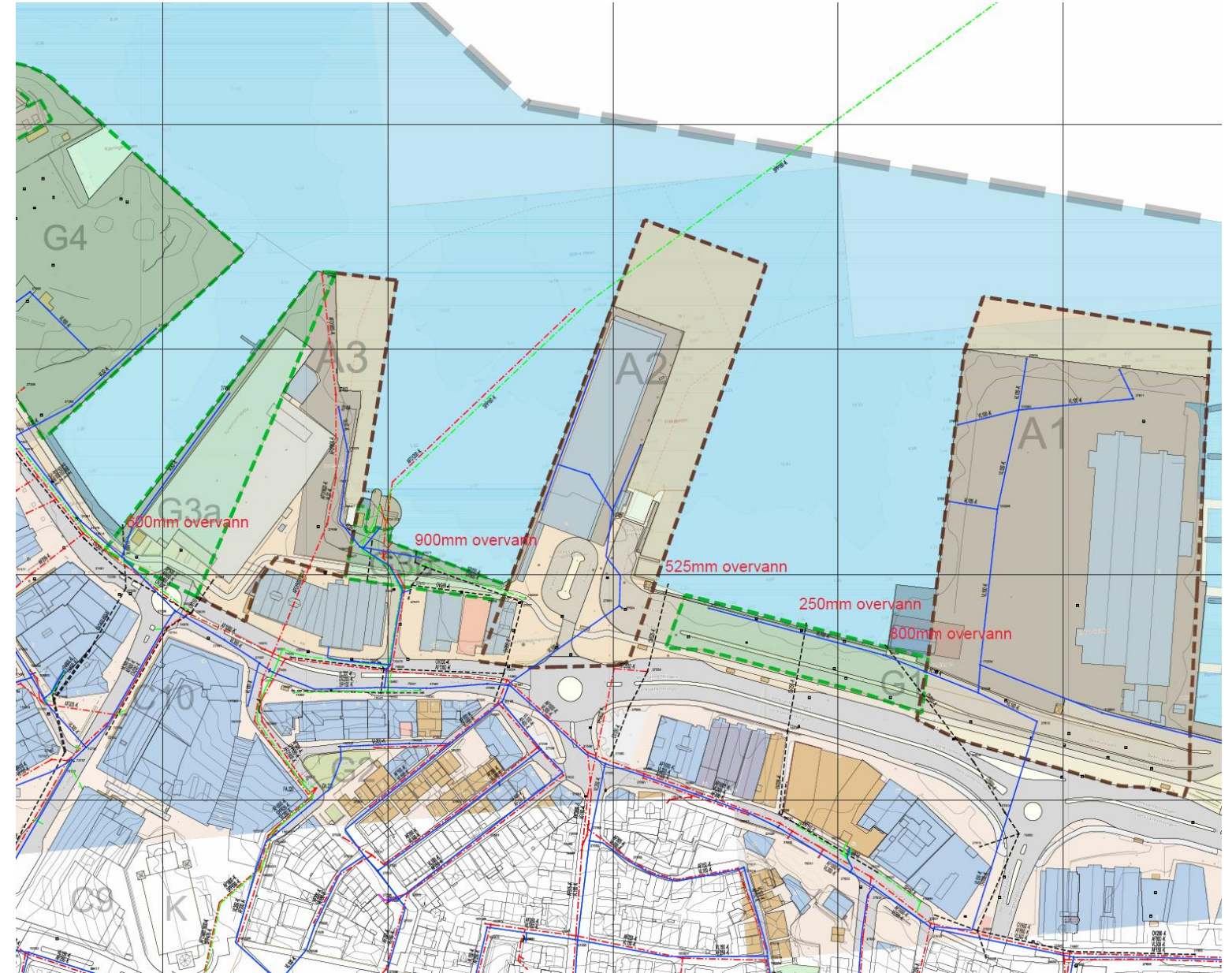
Figur 11 Nedbørsfelt midt, ca.9 ha



Figur 12 Nedbørsfelt øst, ca. 17 ha

Figurene foran viser også hvor overvann vil samles i fordypninger ved store nedbørshendelser.

Det er som nevnt foran forholdsvis små areal som i dag har rene overvanns-system. Det er i hovedsak overvann fra veg og kai-arealene langs sjøen som ledes direkte til sjøen. De største overvannsavløpene er vist i Figur 13.



Figur 13 Utløp overvannsledninger til sjø

Ledning og kulvert med utløp 600 mm ved felt G3a, Jorenholmen, fører overvann fra Breiavannet. Det er i sentrumsplanen foreslått at denne overvannsledningen skal føres i åpen bekk langs Klubbgbata

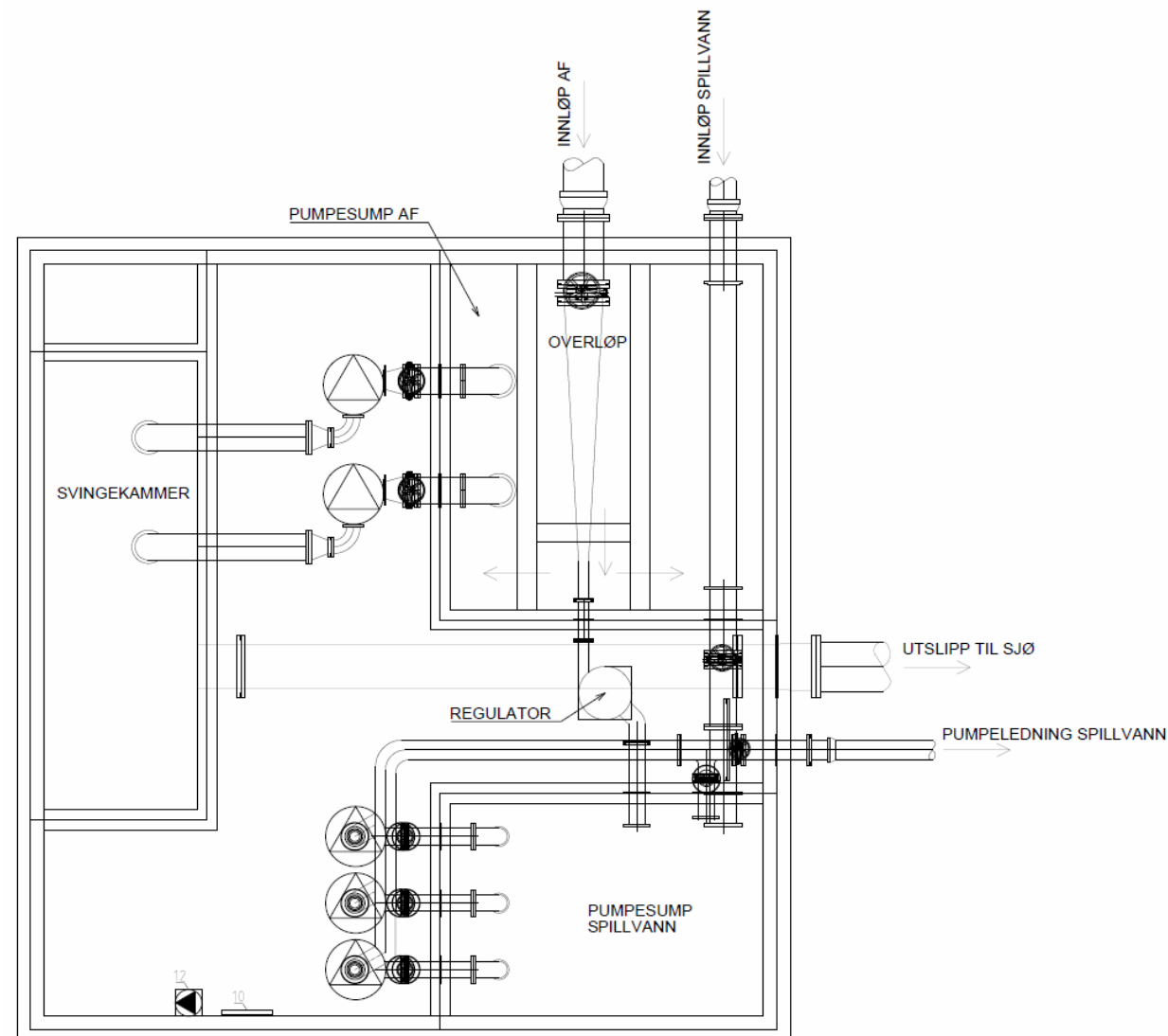
De andre overvannsledningene, vist i Figur 13., er hovedsakelig avløp fra veg og kai-areal.

5.1.2 Fellesledninger (AF)

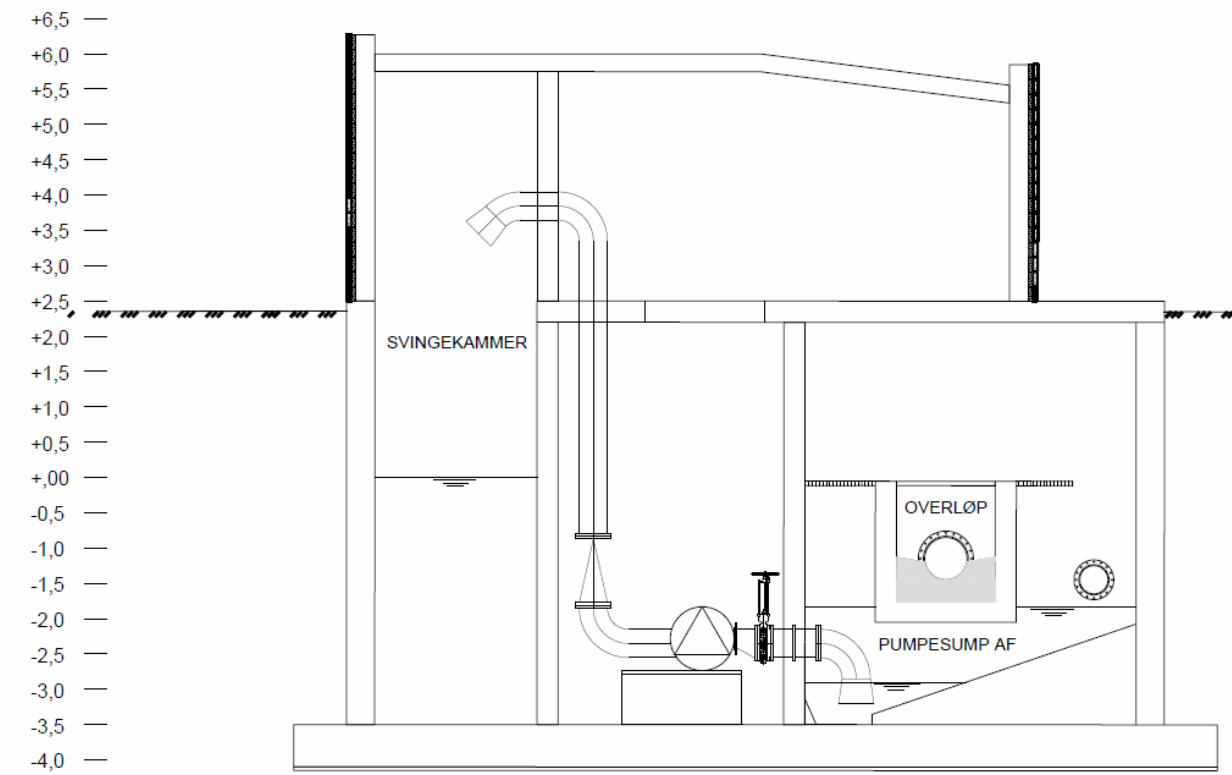
Fellesledningene innenfor området har avløp mot 3 pumpestasjoner:

- PA 213, Skansekaien
- PA 212, Jorenholmen
- PA 220, Nykirkebakken (Aftenbladbygget)

PA 212 og 213 har svingekammer som løfter det fortynnede avløpsvannet før det føres i overløpsledninger til sjøen; se prinsipptegninger under.

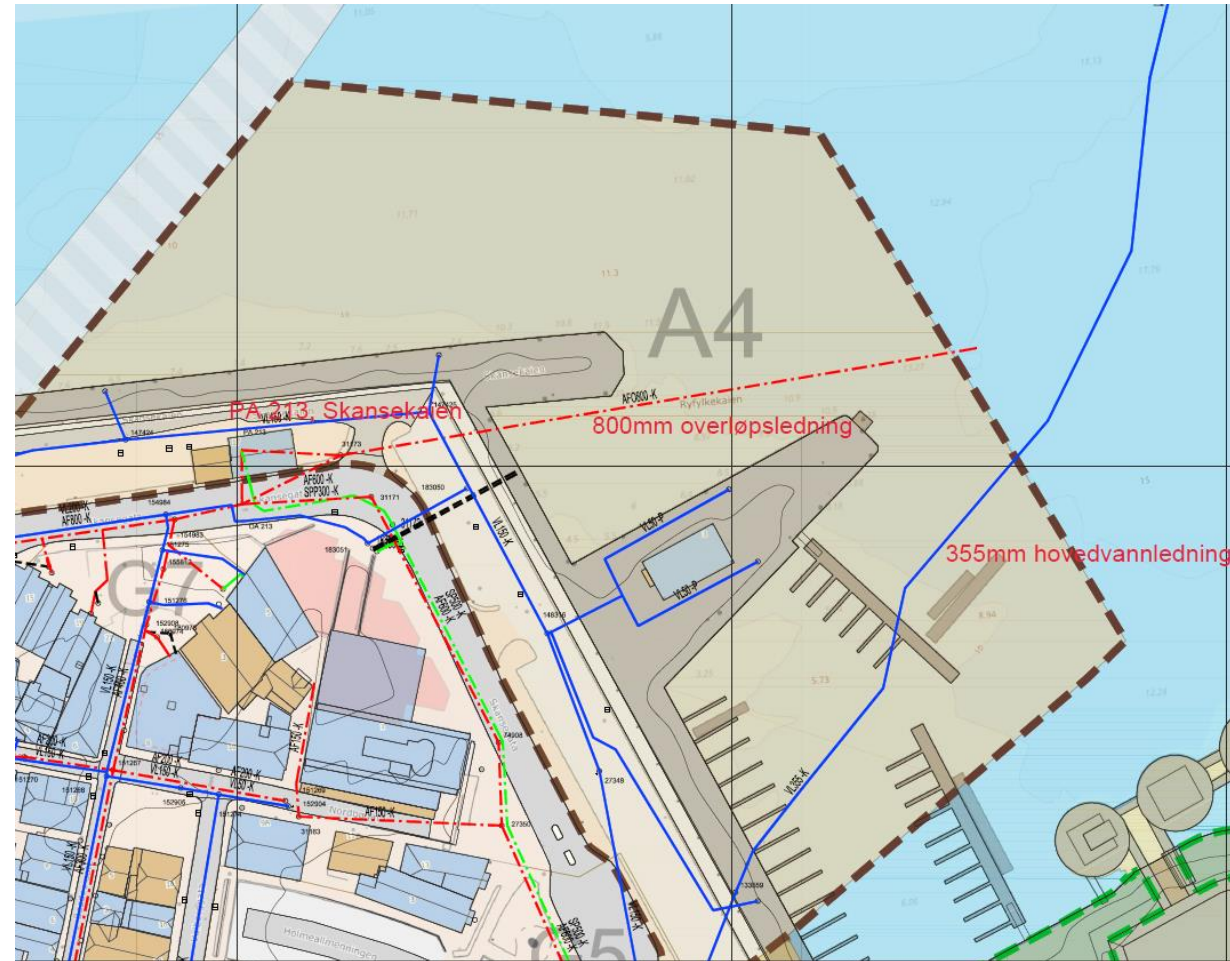


Figur 14 Eksempel på avløpspumpestasjon med svingekammer. Plan



Figur 15 Eksempel på avløpspumpestasjon med svingekammer. Snitt gjennom svingekammer.

Disse to eksisterende pumpestasjonene med svingekammer vil kunne pumpe store overvannsmengder fra felles-systemene til havnebassenget.



Figur 16 PA 213, Skansekaia med 800mm overløpsledning. 355mm hovedvannledning (sjøledning).

Vi har fått følgende data fra VA-verket i forbindelse med PA 213, Skansekaia:

- Pumper med 3 pumper i parallell til svingekammer, kapasitet 1050 l/s
- Bunn svingekammer ca. kote -1.25, topp svingekammer kote 3.25. (NN2000)
- Pumper 70 l/s spillvann
- Spillvannet heves med en kort pumpeledning (ca. 40m) før det renner videre til PA 212, Jorenholmen.

Vi har fått følgende data fra VA-verket i forbindelse med PA 220, Nykirkebakken:

- Tilrenning ved 20 års regn: 3300 l/s
- Tilrenning ved 10 års regn: 2700 l/s
- Tilrenning ved 5 års regn: 2350 l/s
- Tilrenning ved 2 års regn: 1500 l/s
- Pumpekapasitet spillvann: ca. 45 l/s
- Høyde overløpstærskel: kote ca. 1.1



Figur 17 PA 212, Jorenholmen med 1200mm overløpsledning og PA 220 Nykirkebakken med 1600mm overløpsledning til Jorenholmen.

Vi har fått følgende data fra VA-verket i forbindelse med PA 212, Jorenholmen:

- Pumper med 3 pumper i parallell til svingekammer, kapasitet 1500 l/s
- Bunn svingekammer ca. kote -4.3, topp svingekammer ca. kote 2.25. (NN2000)
- Pumper 240 l/s spillvann

Ifølge VA-verket er det ikke registrert kapasitetsproblemer for de 3 pumpestasjonene.

Det gjøres oppmerksom på at utslipp fra overløpsledningene vil kunne påvirke badevannskvaliteten i havnebassenget. Dette er noe som bør hensyntas ved planlegging av sjøbadet som er foreslått i sentrumsplanen.

5.1.3 Øvrige VA-ledninger

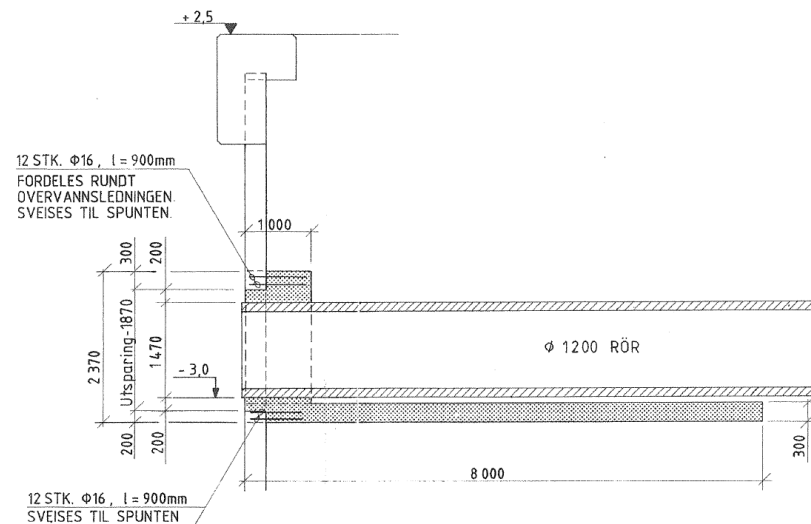
De fleste vannledninger som vil bli berørt av flomvernet er av små dimensjoner og er ikke nærmere omtalt. Vi har kun registrert eksisterende 355 mm sjøledning til å være av betydning for prosjektet, se Figur 16.

Utover pumpeledningen fra PA 212 Jorenholmen (630 mm) er det kun registrert en mindre spillvannsledning fra Fiskepiren (200 mm) som må tas hensyn til. Øvrige ledninger er av mindre dimensjoner og har liten betydning for kostnader og tekniske løsninger.

5.2 Anbefalinger

5.2.1 Generelt

Spuntveggen som er anbefalt, som en del av flomvernet, vil avskjære alle eksisterende ledninger til sjøen. Eksisterende ledninger som skal beholdes må føres gjennom spunten og det må tettes rundt rørene slik at en ikke får lekkasjer gjennom flomvernet. Det samme gjelder gjennomføringer av nye ledninger og åpninger for annen infrastruktur som kan punktere flomvernet. Påsveiste varerør til spunt vil kunne gi en enklere tetting ved rørgjennomføring og minske faren for rørbrudd ved setninger. Innstøping i betong av rørgjennomføring, med armering sveiset til spunt kan også benyttes; se eksempel. Tette masser i leire-/siltfraksjonen som legges inntil spunt som en tettekjerne er også en mulig løsning.



Rørgjennomføring i spunt. Tetting med rør innstøpt i betong. Avlastingsplate i bunn. Eksempel fra Jåttåvågen.

Det vil være viktig med gode registreringer av eksisterende ledninger slik at en unngår uforutsette rørbrudd på ledninger i drift ved etablering av spunten.

5.2.2 Tiltak i forbindelse med eksisterende felles-system

Kapasitet på eksisterende pumpestasjoner og utslippsledninger for de to stasjonene PA 212 Jorenholmen og PA 213 Skansekaiaen må undersøkes nærmere for en situasjon med fremtidig havnivåstigning og økte overvannsmengder. Det kan da være aktuelt å heve trykkehøyden på svingekammerne samt øke dimensjonen på utslippsledningene. Dette kan sannsynligvis gjøres uten omfattende ombygginger av eksisterende pumpestasjonsbygninger.

Eksisterende 800mm sjøledning ved felt A4, Holmen, vil være i konflikt med den nye sjøfyllingen og vil måtte erstattes med ny ledning. Den nye ledningen vil sannsynligvis måtte legges lenger ut i havnebassenget enn den gjør i dag for å tilfredsstille gjeldende utslippskrav.

Overløpet fra eksisterende PA 220, Nykirkebakken, ligger for lavt til å kunne føre overløpsvannet til sjøen. Det foreslås her å bygge en ny pumpestasjon med svingekammer ved den nye parken G3a. Det må også legges nye sjøledning fra stasjonen til havnebassenget. En vil da samtidig få frigjort kaiområdet på Jorenholmen (felt A3) for utbygging.

Det bør gjennomføres modellberegninger av eksisterende ledningsnett og pumpestasjoner med simuleres for fremtidig havnivåstigning og økte overvannsmengder. En vil da ha et godt grunnlag for å beregne de rene overvanns-systemene som må bygges samtidig med flomvernet.

5.2.3 Overvann

Det etableres åpninger i flomvernet med automatisk eller manuell stenging i perioder med høy sjøvannstand, se avsnitt 6.10.1. Åpningene er foreslått plassert i de laveste punktene langs havnen, og vil ved normalvannstand fungere som flomveier for overvann og som kjøre- og gangadkomst til sjøsiden av flomvernet. For Holmen-utbyggingen er det forutsatt at det bygges kanal eller kulvert som håndterer overvann (ikke vist på planene eller medtatt i kalkylene).

Det må også etableres en kombinasjon av åpne og lukkede overvannsbasseng som samler overvann og drenerer i perioder med lukket flomvern og høy sjøvannstand. Overvann slippes ut av bassengene med selvfall når vannstanden i sjøen synker. Det må i tillegg etableres pumpestasjoner i tilknytning til bassengene med mulighet for å pumpe ut overvann i perioder med stengt flomvern. Forslag til plassering av basseng og pumpestasjoner er vist i Figur 18.

Det må i det videre arbeid avklares hvilke situasjoner basseng og pumper skal dimensjoneres for. Som nevnt foran må en da først avklare hvor store overvannsmengder som avlastes fra nedslagsfeltene via eksisterende pumpestasjoner for fellesavløpet og foreslått ny pumpestasjon for fellesavløpet fra PA 220. Det må avklares hvor store overvannsmengder (nedbørshendelser) som skal håndteres i perioder med høy sjøvannstand. Det anbefales her å benytte fleksible løsninger der både basseng og pumpekapasitet kan utvides etter hvert som en ser utviklingen av havnivåstigning og nedbørshendelser.

Eksisterende overvannsledninger må samles og tilknyttes nye basseng. Det føres tette ledninger gjennom spuntveggen til sjøen. Ledningene må sikres med tilbakeslagsventiler og stengeventiler for å hindre tilbakeslag av sjøvann. Dette gjelder også nye overvannsledninger som etableres.

Overvannsavløp fra Breiavannet foreslås stengt i utløpet i perioder med høy sjøvannstand, slik at Breiavannet vil fungere som fordrøyningsbasseng i disse periodene. Nedslagsfeltet og overvannsmengden til basseng/pumping ved Jorenholmen kan da reduseres. Dagens vannflate på Breiavannet er oppgitt å ligge på kote 3.6 (Norgeskart)

Foreslått åpning av bekken fra Breiavannet langs Klubbegata krever også spesielle løsninger der en stenger for sjøvann i perioder med høy sjøvannstand.

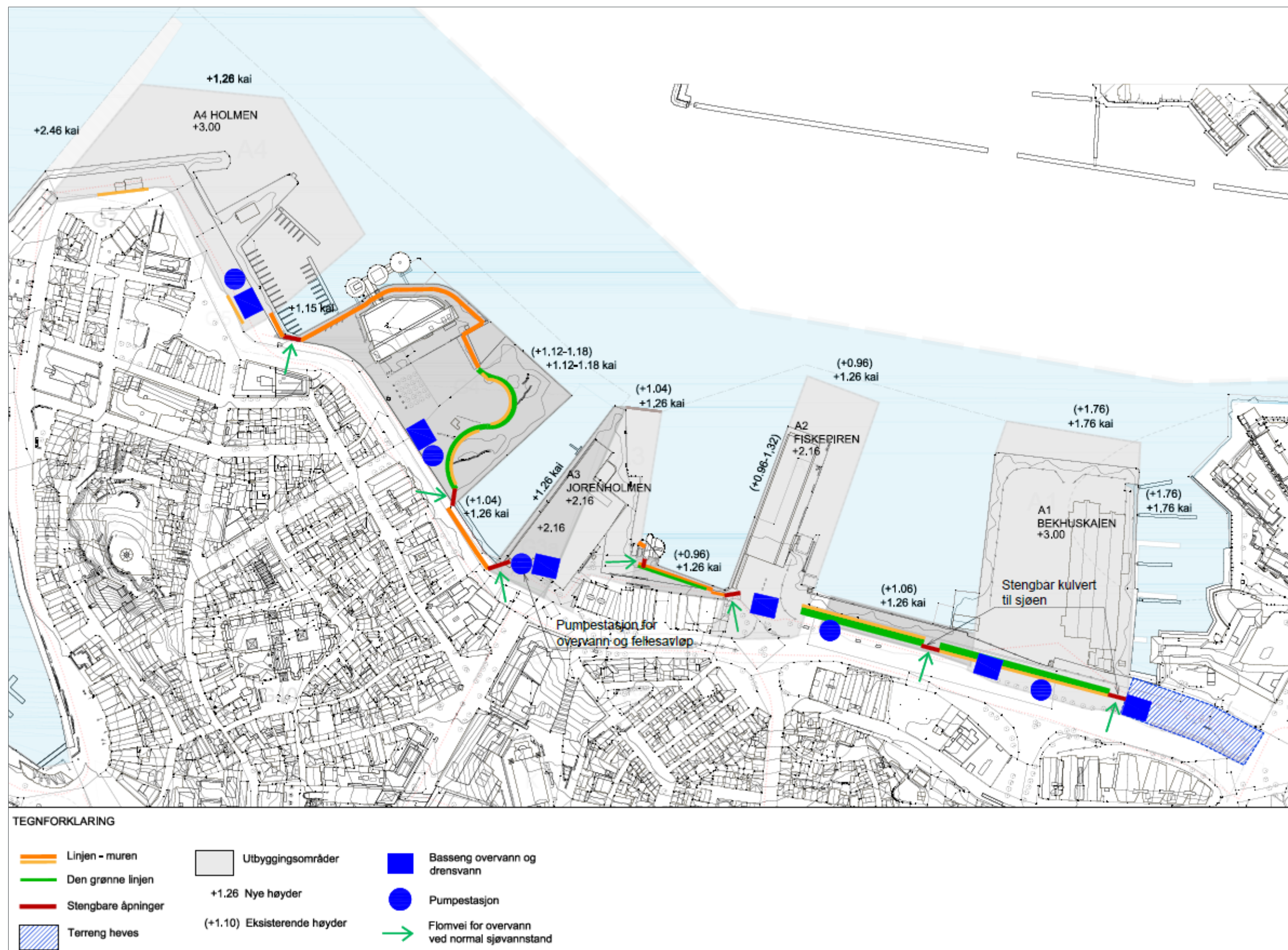
5.2.4 Drift og vedlikehold

Vann- og avløpsverket, Stavanger kommune, har i dag ansvar for fellesledningene i byen. Det forutsettes at dette også vil være tilfelle for foreslått ny stasjon ved Jorenholmen.

Det bør tidlig avklares hvilke avdelinger i kommunen (eller andre etater) som skal ha ansvar for basseng og pumpestasjoner som bygges som en del av flomvernet. Det vil også være viktig å avklare hvem skal drifte «lukene» i flomvernet.

5.2.5 Anbefalinger til videre kartlegging av eksisterende forhold

- Det anbefales å kartlegge eksisterende ledninger med utløp i kaifrontene.
- Det anbefales også å kartlegge offentlige eksisterende ledninger og kummer innenfor kaifronten med innmåling, sonderregistrering og scanning. De fleste av disse fremgår på kommunens digitale ledningskartverk.
- Det anbefales i tillegg å registrere private stikkledninger.
- Det anbefales å måle inn alle gulv som ligger lavere enn kote 3.
- Det anbefales å måle inn terskler til nedkjørsler parkeringskjellere.
- Det anbefales å registrere vannkvalitet i forbindelse med utslipp fra overløpsledningene.



Figur 18 Skissemessig forslag til plassering av pumpestasjoner og basseng for overvann og drensvann. Flomveier for overvann ved normal sjø vannstand er også vist.

6 Byplanlegging og landskapsarkitektur

6.1 Flomvern i byene

Hvordan skal havnebyer som grenser til sjø forberede seg på havnivåstigning og flom? Byer som vokser frem med utgangspunkt i sjønæringer som fiske og hermetikk, har ofte lang havnefront som en del av byens sentrum. Overgang til andre næringer og strategier om relokalisering og endring av infrastruktur kan gi større havnearealer som transformeres. Slike transformasjoner gir mulighet for å planlegge for økt vannstand, både ved å legge nybygg i høyde over risikozonen, samt bygge et fysisk flomvern som beskytter byen bak vernet.

Det er opp til den enkelte by å legge en strategi for hvordan de skal møte økt vannstand langs havnefronten. Stavanger by ligger utsatt til for klimaendringer og kommunen har vært offensive med forslag til hvordan de skal forberede seg. I 2100 kan byen få 10 prosent mer nedbør, og vannstanden kan bli inntil 90 centimeter høyere enn i dag. Det har blant annet blitt foreslått en 32 kilometer lang mur som skal beskytte alt som er sårbart for vann. Tanken er at «muren» bygges ut i etapper ettersom byen utvikler seg og nye områder langs havnefronten transformeres.

Stavanger er ikke alene om å ta drastiske grep. Etter orkanen Sandy i 2012, har New York lagt planer for en lignende mur som skal beskytte byen mot flom og havnivåstigning i fremtiden.

6.2 Gode byrom

Mange kjente byplanteoretikere beskriver viktigheten av en menneskelig målestokk og et vanlig uttrykk i planleggingsfagene er å lage attraktive steder som inviterer til opphold. Uterom hvor vi ønsker å oppholde oss har ofte noen fellestrekk. Noen kjennetegn er at rommet har en god dimensjon og målestokk, et godt mikroklima, og at man har en grunn til å være der – at det foregår en aktivitet. Den danske byplanleggeren Jan Gehl deler aktivitetene som foregår i byrommene inn i tre kategorier:

- De nødvendige aktivitetene; å vente på bussen, gå til jobben og hente i barnehagen er nødvendige aktiviteter. De finner sted uansett kvalitet på byrommene.
- De rekreative aktivitetene; ved rekreative aktiviteter velger man stedene som er best egnet til opphold.
- De sosiale aktivitetene; beskrives av Gehl som «som følge av» aktiviteter. Man møter gjerne noen mens man venter på bussen eller når man går en tur.

Hvis vi kan forlenge oppholdstiden i et byrom øker sjansen for at sosiale aktiviteter finner sted. Derfor er hjørner, kryssende veier, en lun sitteplass i solveggen, en stopp for å studere butikkvinduene, kunst, en linje i belegget, en kant til å balansere på, detaljer i fasaden, lukten fra blomstene, utsiktsplassen, benken med utsikt til trafikken og forbipasserende, osv. viktige elementer for å bidra til opphold i byrom. Som igjen bidrar til å gjøre byrommene attraktive.



Figur 19 Nødvendig aktivitet, "å vente på bussen". Figur 20 Rekreativ aktivitet

6.3 Stavangers mål for byrom

I forbindelse med utarbeidelse av planprogram Holmen og Østre Havn har Stavanger kommune v/park og vei utarbeidet plantema «Byrom» som er et av fire plantemaer som skal utredes. Dokumentet for Byrom beskriver og analyser godt de eksisterende områdene ved havneområdet. *Planprogrammet vil sikre en fleksibilitet i den videre utformingen av Holmen og Østre Havn til nytte og glede for Stavanger sentrum.*

Plantema Byrom har søkelys på:

- Byrommet
- Mennesket
- Attraktive romforløp
- Vind og vær
- Fra grått til grønt
- Mobilitet, grønn og bærekraftig

Plasseringen av flomvern og forslag til utforming er vurdert med utgangspunkt i nevnte tema. Det viktigste signalet vi kan gi videre til den enkelte utbygger av eiendommene langs havnefronten er flomvernets mulige funksjon utover dets praktiske funksjon som flomvern. Byggingen av flomvern kan samtidig som det skal beskytte byen mot vann, være en investering i gode byrom. Som den kjente byplanteoretikeren Christopher Alexander skriver i boken A Pattern Language; *"If the edge fails, the space never becomes lively"*. Flomvernet vil uten tvil være en kant, og det er nødvendig at denne utformes med omsorg for å gi byrommet kvalitet fremfor at det oppleves som en barriere og et fremmedelement.



Figur 21 En kant å sitte på i solen.

6.4 Flomvern og infrastruktur

Hvordan kan man planlegge motstandsdyktige byer samtidig som man planlegger for fremtidig vekst? Et flomvern må ha en viss høyde for å kunne stå imot økt vannstand. I Stavanger er denne høyden satt til minimum kote 2.1 (NN2000). I Stavanger er høyden på kaikanten stort sett på kote 1.26 (NN2000). Alt som ligger på utsiden av flomvernet skal tåle å stå under vann i seks timer.

6.5 Plan for stegvis innføring av flomvern

Strategi for etablering av flomvern er en organisk anleggsperiode hvor det vil være de områder som først starter utbygging at et flomvern etableres. Et sammenhengende tett flomvern vil ikke være på plass før det har gått flere år, eksempelvis 2050. Stavanger kommune bør lage en plan for hvor og når de skal sette hullene mellom utbyggingsområdene, eller om dette er noe som skal følge utbyggingen i form av rekkefølgekrav til reguleringsplanen.

6.5.1 Gatebruk

Flomvernets konsept ved å legge muren på nordsiden av eksisterende vegareal fører til at det ikke vil bli endring i trafikkmønster eller behov for omlegging av trafikken. Noen steder vil det bli nødvendig med mobile porter for å kunne opprettholde flyt av kjøretøy og myke trafikanter gjennom flomvernet. Dette må ses i sammenheng med når områdene transformeres, og hvilke trafikkløsninger det vil være behov for til de nye områdene. Kritiske punkter er vist på kart for stengbare åpninger.

6.5.2 Flomvern og barrierevirkning

Flomvernet skal ha en praktisk funksjon ved å hindre flom for den indre trehusbebyggelsen, samtidig som den skal hensynta livet i byen uten å legge begrensninger for den daglige bruken. For gående i byen kan flomvernet føre til en betydelig innside og utside, og kan oppleves som en barriere. For å hindre følelsen av at flomvernet er en barriere er det nødvendig at flomvernet ses i sammenheng med blå promenade, samt gode løsninger som sikrer at flomvernet på strategiske punkt kan krysses, både i form av porter, men også i selve løsningen som velges på det aktuelle stedet. Dette kan være trapper, ramper, voll, beplantning, flomvernet kan kombineres med lek og aktivitet og på denne måten hindre barrierevirkningen, men heller skape ytterligere liv og aktivitet langs havnefronten.

6.6 Flomvern og mennesker

Hvordan kan man bruke flomvernet til å utvikle attraktive byrom? Som alle andre bestanddeler byen er satt sammen av, kan også flomvernet bidra til å øke byrommenes attraktivitet og opplevd atmosfære.

Flomvernet kan med de prinsipper beskrevet i kapitlene over ses som et langstrakt byrom. Flomvernet skal være en del av byens møblering, havnefront og mobilitetslinjer uten at det vil oppfattes som en barriere for de som bruker byen. I dag består havnefronten hovedsakelig av blå promenade, parkering, midlertidig leke- og parkareal, salg av reker og fisk, oljemuseet mm. Flomvernet kan med årene bli en viktig del av havnefronten.

Flomvernet kan benyttes til å;

1. Skape rom
2. Dele rom
3. Være et oppholdssted
4. Øke andel grønt og vekstvilkår for grønt
5. Å være en sitteplass
6. Å være en lekeplass
7. Å være møteplass
8. Skape et godt mikroklima
9. Å være et gjenkjennelig element
10. Orienteringspunkt i byen – et landemerke
11. Skjerme for vind

Ved å skape ulike rom langs flomvernet, den blå promenaden og langs havnefronten vil en kunne øke attraktiviteten for opphold og på denne måten kunne benytte havnefronten også på dager med kraftig vind. En kan skape flere sitteplasser både som trapper ned mot sjø, men også på innsiden som styrker den tverrgående forbindelsen mellom byen og havnen. Ved å øke andelen grønt og vekstvilkårene for grønt vil det gi positive ringvirkninger både for menneskene som oppholder seg i byen, klima samt biologisk mangfold.

Oppholdstiden i byrommet er en indikator på kvaliteten på rommet.



Figur 22 Eksempelbilder på utforminger som stimulerer til aktivitet, opphold og lek

6.6.1 Lek

Flomvernet vil gi gode muligheter for å legge til rette for flere lekeareal og på denne måten øke andelen av barnefamilier som ønsker å oppholde seg i byen. Det er i dag relativt få leke- og parkareal i Stavanger, og flomvernet kan i denne forbindelse være et målpunkt også for barnefamilier som skal oppholde seg i byen. Leken kan skje langs flomvernet i form av balanselek, bevegelse, klatring, oppholdssoner mm. Leken kan oppstå spontant som følge av murens utforming, men kan også være mer målrettet hvor man kombinerer terrengheving med aktivitetsskråninger som for eksempel har klatremuligheter og tau eller steder for opphold.

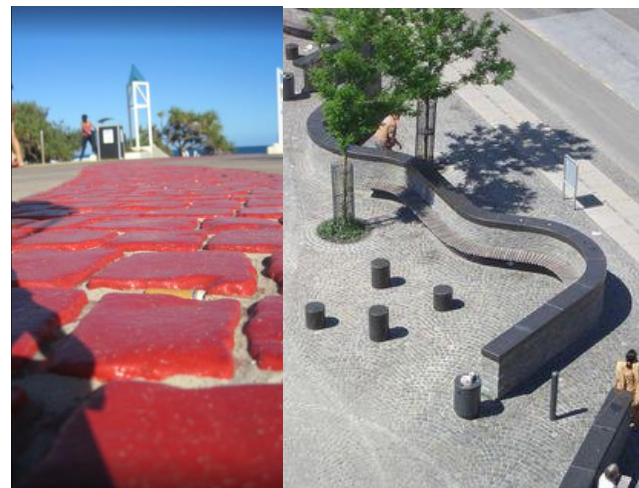




Figur 233 Lek og aktivitet ved en større heving av terrenget eller som en del av vollEt gjenkjennelig element, et arkitektonisk objekt

Flomvernet kan være en fast mur som utformes som et eget arkitektonisk objekt, eller den kan stå som et fritt element. Muren kan også være en del av en voll eller terrengheving. På denne måten kan den Flomvernet benyttes til å skape gjenkjennelige element som vist på inspirasjonsbilder under. Her kan man tenke at farger, form og materiale er gjennomgående elementer, både i horisontal og vertikal retning.

Gjenkjennelighet i et byrom kan bidra til en følelse av sikkerhet, oversikt og komfort. Ikke minst kan en slik gjenkjennelighet bidra til å skape karakter og identitet for stedet. Den følelsen man får når man er «hjemme», eller kommer tilbake til et annet sted man kjenner godt. Gjenkjenneligheten vil samtidig være stimuli for sansene som vil søke mot det kjente, mot farger og detaljering. Detaljeringsgrad og variasjon i utforming er i denne sammenhengen viktig.



Figur 24 Eksempelbilde på utforming av flomvern som et gjenkjennelig element, et arkitektonisk objekt

På de neste sidene vil det være kart med forslag til plassering av de ulike prinsippene for utforming. Disse må vurderes nærmere for den enkelte reguleringsomt og sees i sammenheng med utbyggingen på den enkelte tomt. Plantema byrom har gjort en byromanalyse av de byrommene som er aktuelle for etablering av flomvern. Muligheter og utfordringer som er beskrevet for de ulike byrommene er et godt utgangspunkt for å vurdere hva det er mest behov for, og hvordan utformingen av flomvernet kan svare på noen av de anbefalingene som rapporten kommer med.

6.6.2 Romforløp

Det kan utformes spennende romforløp i forbindelse med flomvernet. Heving av terreng eller etablering av grønne voller kan gjøre spaserturen mer sanserik, det kan dannes mindre og større rom, man kan gå fra trangt til åpent rom som gir skifter i karakter, og vollene kan beplantes med grønn og frodig beplantning med forskjellige blomstringstidspunkter som skaper variasjon og øker biodiversiteten.



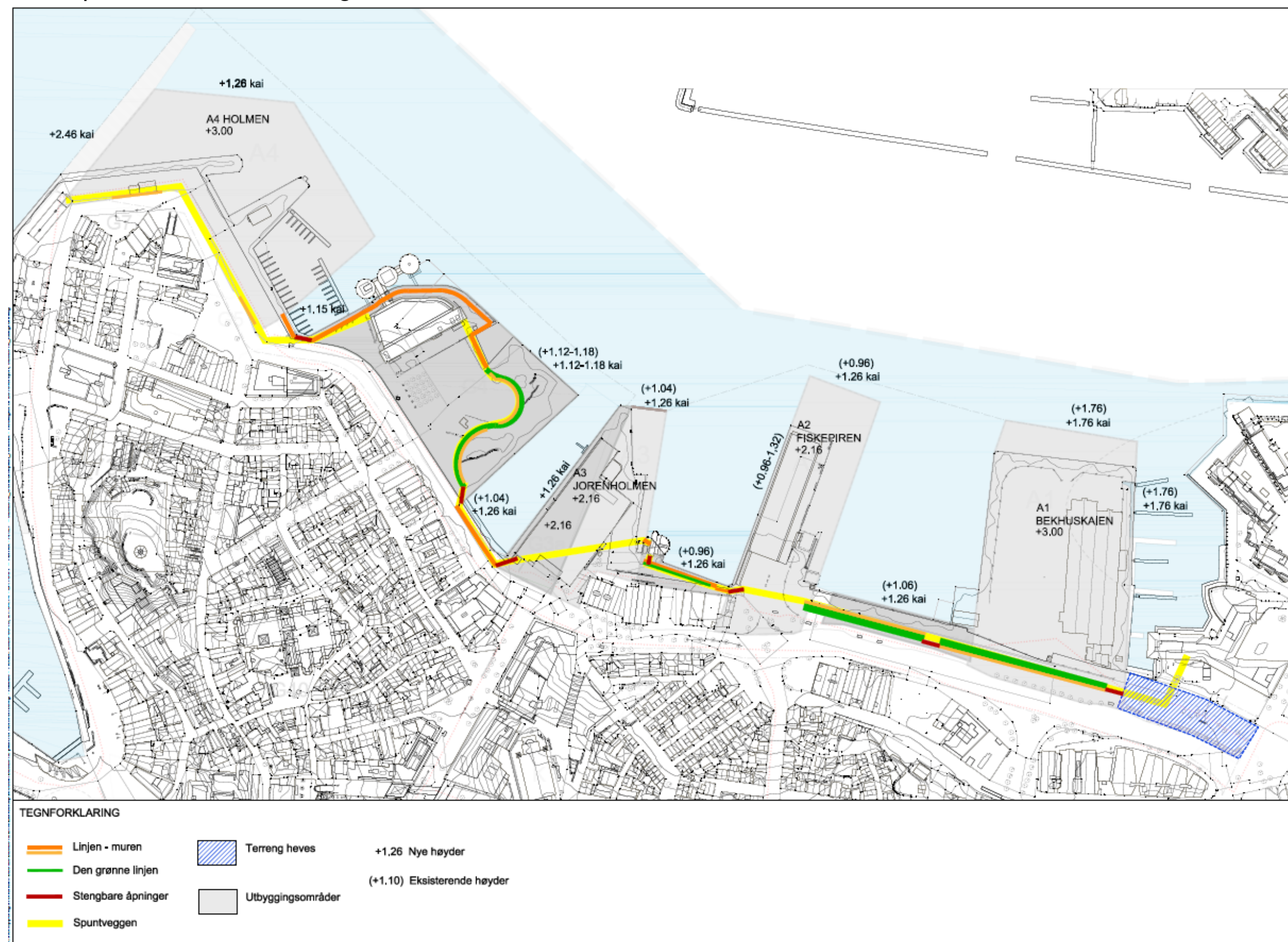
Figur 25 Eksempelbilder på hvordan voller kan benyttes både som flomvern og grønne elementer i byrommet.

6.7 Prinsipper og ideer for utforming av flomvern

Det er utarbeidet ulike prinsipper for utforming av flomvernet. Flomvernets linjeføring er delt inn i ulike tema/kategorier som beskrives nærmere i de neste delkapitlene:

- Linjen – muren. Delstrekninger hvor det foreslås å benytte en mur for å nå kritisk høyde.
- Den grønne linjen - delstrekninger hvor det foreslås å benytte vegetasjon og beplantning i forbindelse med mur eller terrengheving.
- Punkter for stengbare åpninger – åpninger som kan stenges når byen trues av flom.
- Heving av terreng – terrenget heves for å nå kritisk høyde.

Konsept for flomvern Stavanger

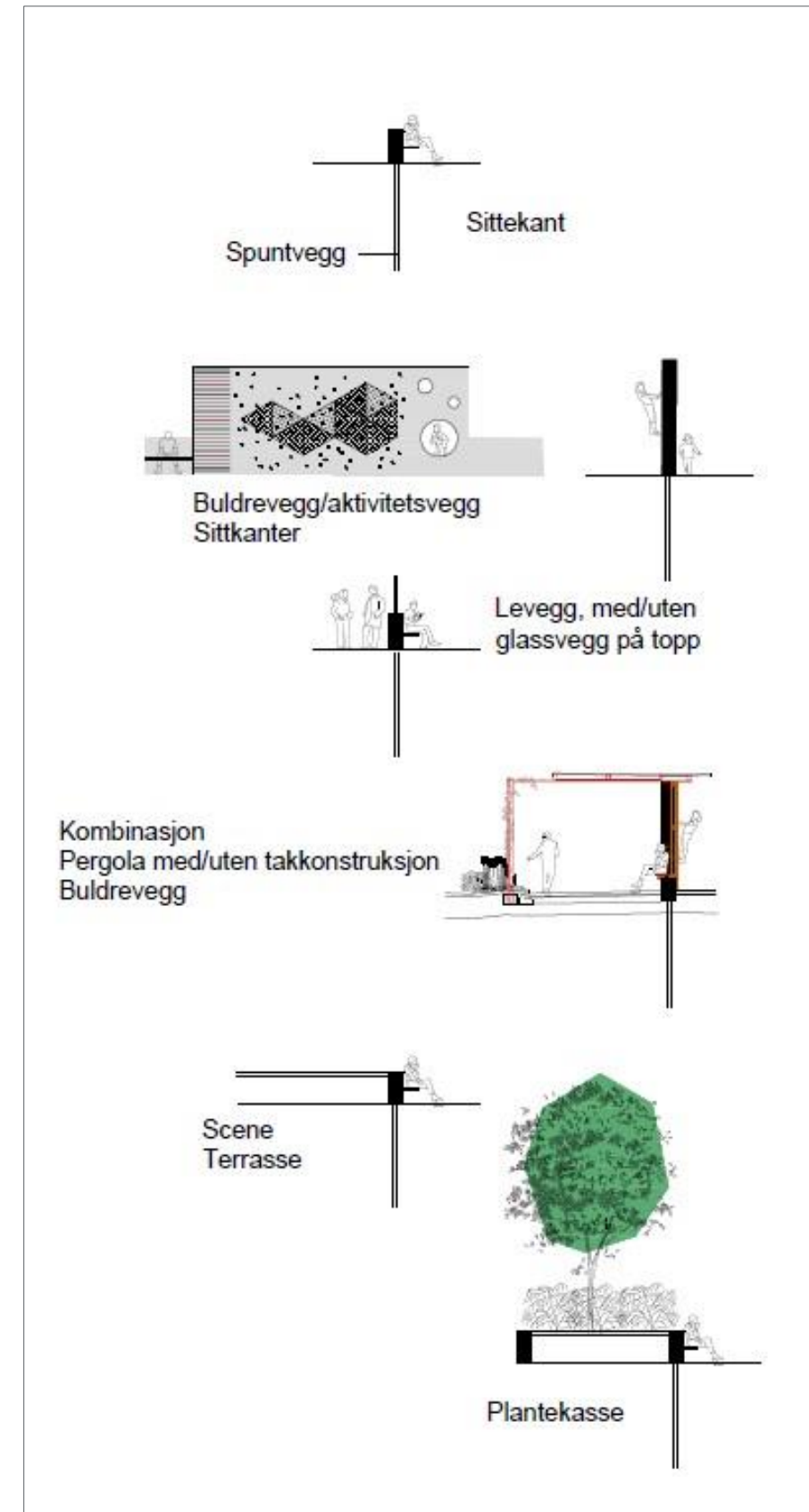


Figur 26 Kartet viser en samlet oversikt over de ulike elementene som beskrives i nærmere detalj i de neste delkapitlene

6.8 Linjen- muren

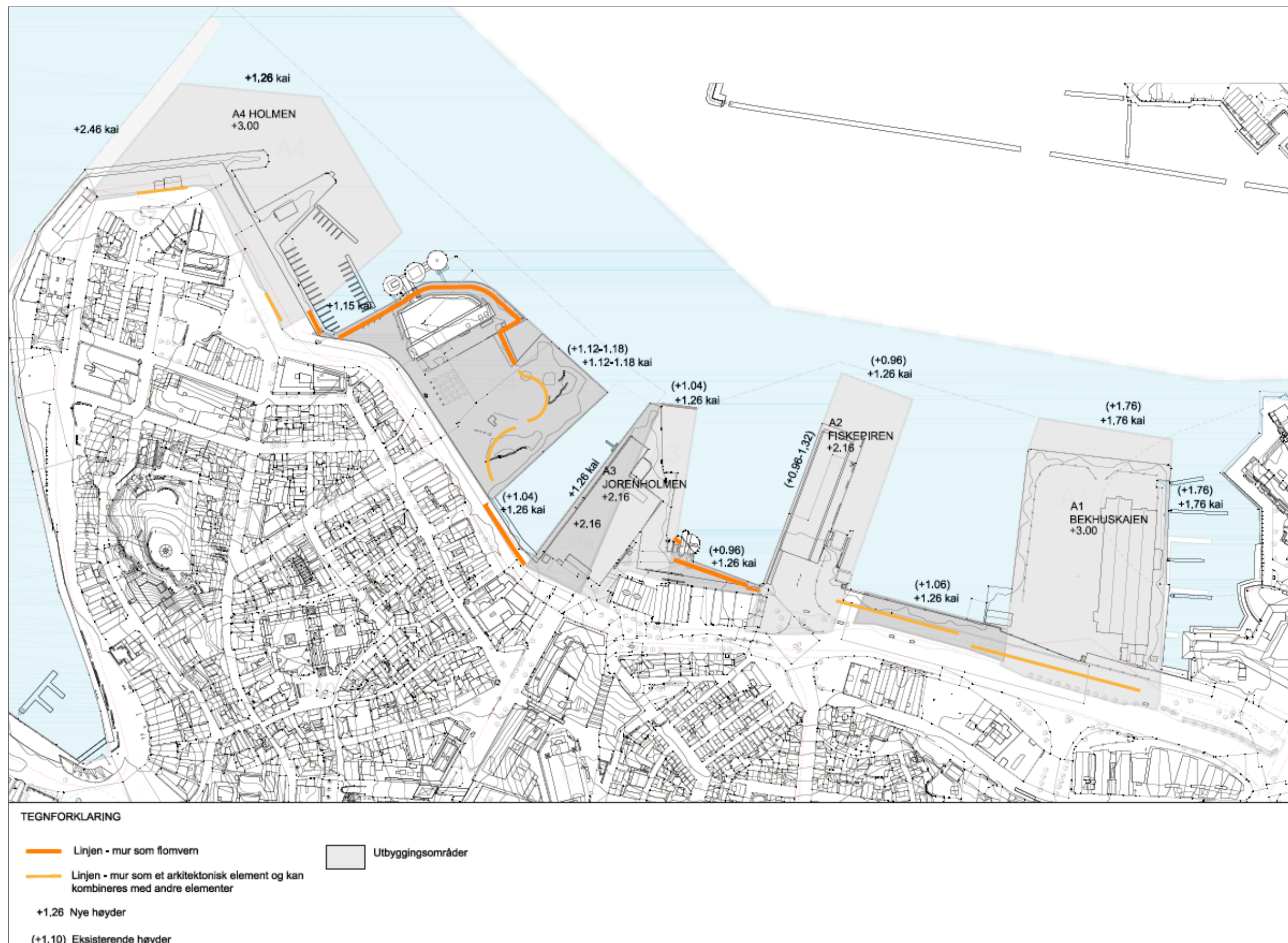
Muren er plassert på nordsiden av dagens vegareal. Muren kan uformes etter flere prinsipper som;

- En sittekant
- En klatrevegg
- Et arkitektonisk element
- En romdeler eller en romskaper
- Base for andre aktiviteter, pergola, halvtak e.l.
- Et gjenkjennelig element i form og farge
- Vindskjerm
- Kombinasjon med grønt og aktivitet



Figur 27 Prinsipper for utforming av muren med forskjellige aktiviteter

Linjen - muren

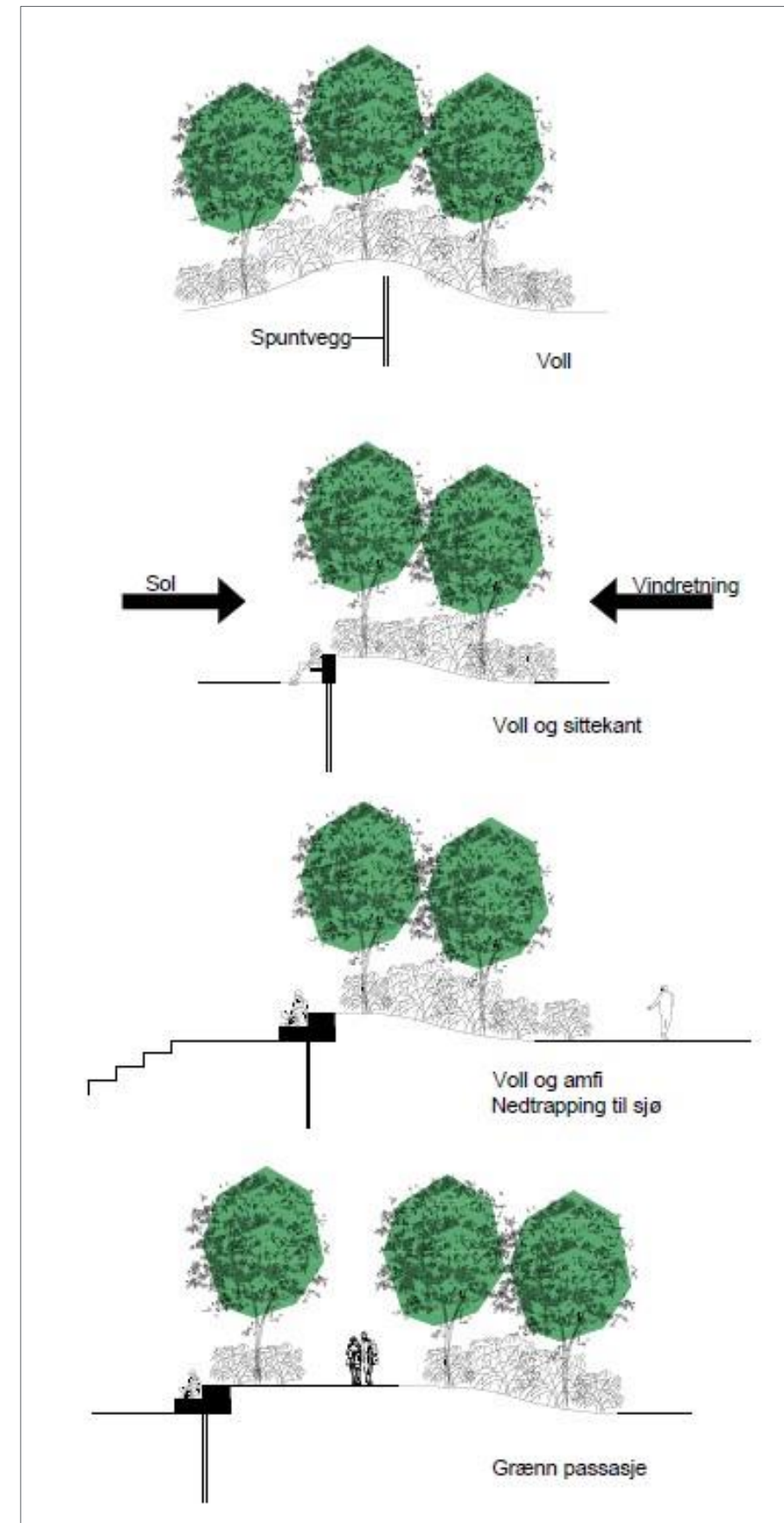


Figur 28 Kartet viser plassering av muren og skiller mellom forslag til mur og forslag til grønn løsning.

n:\520\29\5202912\4 resultatdokumenter\41 rapporter\5202912- rapport flomvern holmen og øst_v06.docx

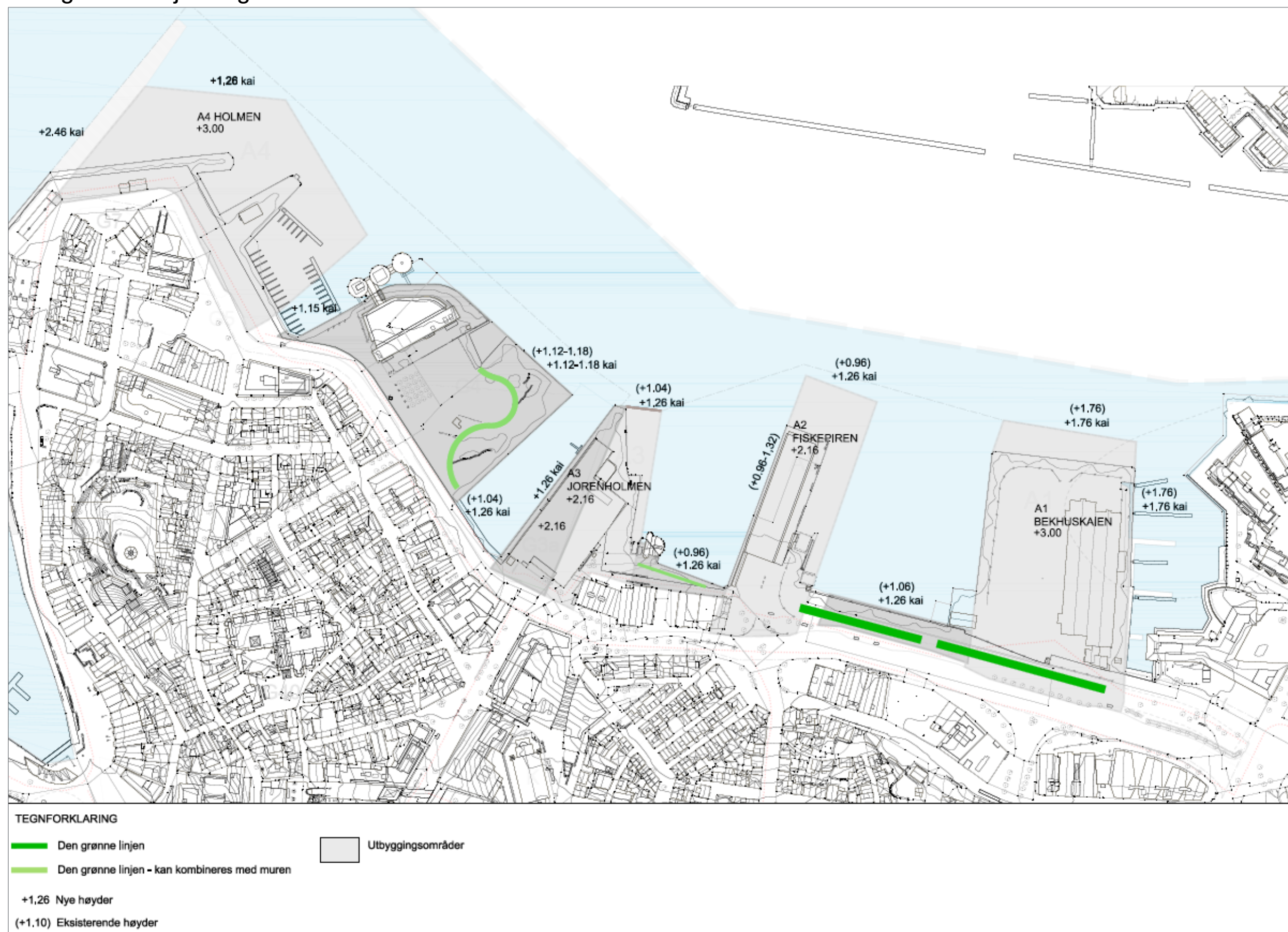
6.9 Den grønne linjen – grønne elementer i forbindelse med flomvernet

Forslaget for den grønne linjen baserer seg på å benytte terreng som utgangspunkt for å sikre flomvernet. Det tas utgangspunkt i en voll som kan kombineres med sitteplasser, amfi, nedtrapping til sjø, park, grønn passasje på toppen, lek mm. Ved å benytte terrenget/voll med beplantning som utgangspunkt vil en kunne skape et bedre lokalklima, skjerme for kraftig vind og øke andelen grønt i byen. Noen steder langs havnefronten er det et stort behov for å skjerme mot kraftig vind.



Figur 29 Prinsipper for bruk av vegetasjon i planleggingen av flomvernet.

Den grønne linjen – grønne elementer



Figur 30 Kartet viser foreslått plassering hvor grønne elementer med fordel kan utformes som en del av flomvernet.

6.10 Heving av terreng og stengbare åpninger i flomvern

Heving av terreng foreslås øst for tiltaksgrensen for å avslutte mot tilgrensende terreng. Heving av terreng kan benyttes sammen med mur, lek og grønne elementer. Ved heving av terreng over kritisk høyde vil det ikke være behov for mur i tillegg. Ved forming av terrenget «skjuler» man den tekniske funksjonen inne i massene. I forbindelse med terrengheving kan man se på løsninger for lek og aktivitet.

6.10.1 Stengbare åpninger

Det er foreslått hovedpunkt for fleksibel løsning med stengbare åpninger samt kulvert for åpning av vann på innsiden av flomvernet. Stengbare åpninger benyttes for å ha adkomst til «utsiden av flomvernet». De kan også benyttes for å begrense flomvernets barrierevirkning. Noen steder vil det være avgjørende at strømmen med myke trafikanter kan flyte fritt. Det finnes flere typer porter på markedet med ulike utformingsprinsipper. En variant kommer rett opp av bakken, mens en annet «åpnes» eller vippes opp. Fordelene er at man til vanlig kan bevege seg fritt i området.

For vårt behov og flomvern i Stavanger, er det behov for en type port eller stengsel som har samme bredde som en alminnelig bygate, med 2 eller 4 kjørebane og fortau og G/S-veg i tillegg. Vi må anta at det skal foregå en del vareleveranser og transport tilknyttet havnevirkksomhet gjennom disse portene, og de må derfor ha en bredde tilpasset behovet. «Myldretrafikk» av myke trafikanter forutsettes å gå over vollen på egne trapper eller ramper.

I følge Statens Vegvesens håndbøker bør en 2-felt hovedveg som ikke er stamveg og har en årsgjennomsnittstrafikk på 1500 - 5000 biler ha en total bredde på 7.5 m. Det må finnes G/S-veg på begge sider som vil oppta 2 x 3.5 m i tillegg. Vi antar da at passasjen vil ha saktegående trafikk som gjør at vi kan ha bare 0.5 m separasjon mellom veg og G/S-veg. Adskillelse må være i form av fast gjerde (autovern e. l.).

Det gir en realistisk åpning på en stengbar åpning på 15 - 16 m. Det er ikke hensikten at disse stengbare løsningene skal beskytte større plasser eller områder - de skal bare stenge et mindre avbrudd i det ellers kontinuerlige flomvernet.

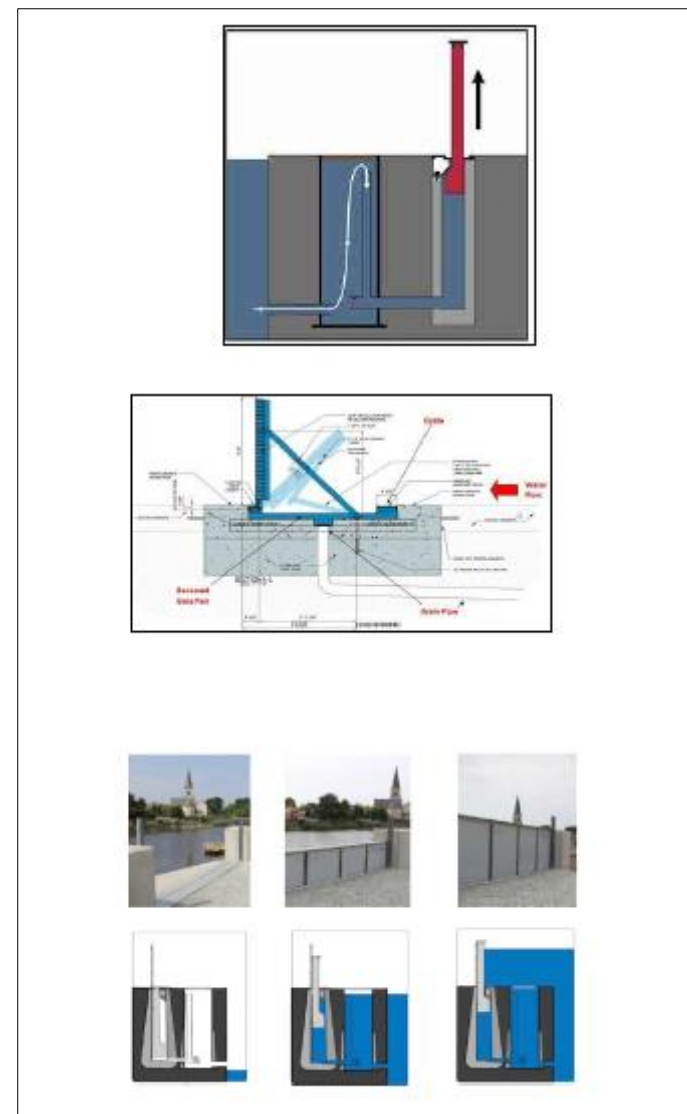
Det finnes mange typer slike løsninger, både kommersielt tilgjengelige produkter og egne løsninger som tilpasses hvert prosjekt. En foreløpig vurdering er at motoriserte løsninger med en horisontalt bevegelig port av stål er mest gunstig.

Det kan være attraktivt å benytte en løsning med en port som drives av oppdriften fra stormflo, men disse har en del egenskaper som gjør dem lite robust. Det ene er at de aldri eller kanskje bare en sjelden gang vil kunne aktiveres til sin fulle høyde, og at de må ha en begrenser som gjør at de ikke kommer opp til en lav høyde når de egentlig ikke er påkrevet. Og en vesentlig innvending er at de ikke kan testkjøres for å sikre at de faktisk fungerer.

Det er viktig for slike anlegg at de kan testkjøres med jevne mellomrom, f. eks 2 ganger per år, for å sikre at både det mekaniske anlegget er i orden, og at kompetansen hos operatøren er oppdatert.

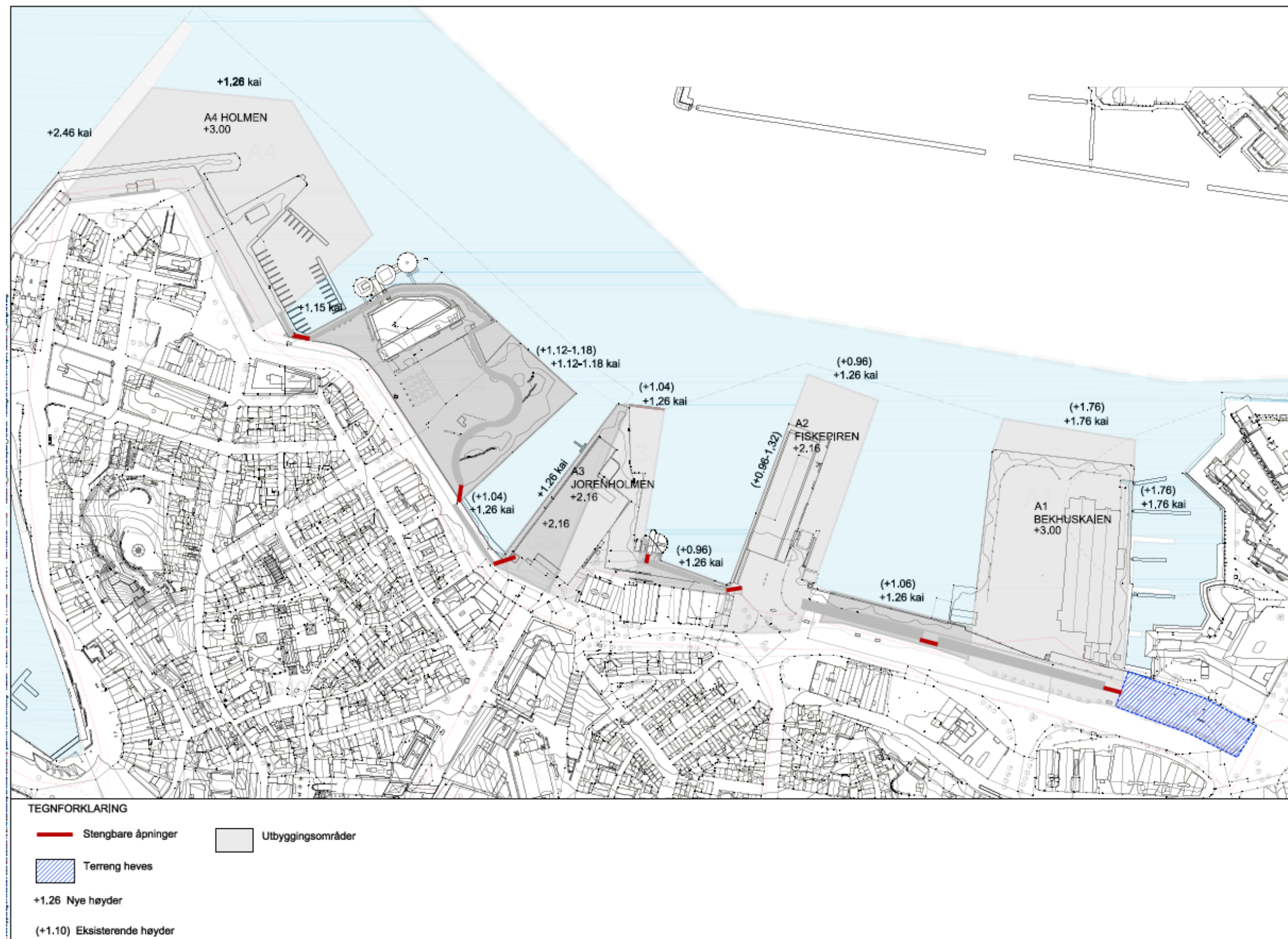


Figur 31 Stengbar åpning, "vippeprinsippet".



Figur 32 Stengbar åpning, "opp av bakken prinsippet".

Kart stengbare åpninger og terrengheving



Figur 33 Kartet viser hvor det for et minimum må etableres stengbare åpninger i flomvernet. Det er også foreslått terrengheving ved Bekhuskaien som et større grep i øst.

6.11 Spuntveggen

Som en forutsetning for konseptet må det etableres en spuntvegg. En spuntvegg under muren sørger for at fyllingen under muren er tett. Da unngår man at vannmassene graver seg inn under muren, eller kommer inn gjennom gamle rør. Spunten må gå ned til tette masser (antatt berg eller «jomfruelig» grunn), for å være sikker på at vannet ikke kommer gjennom andre permeable masser.

6.11.1 Konstruksjon

Spuntveggen består av stålplater med ca 0.5 - 0.75 m bredde, kalt spuntnåler som presses ned til en dybde der veggen møter den opprinnelige sjøbunnen. Hver spuntnål passer inn i et spor i nabonåla, slik at spuntveggen er tilnærmet vanntett og har strekk-kapasitet i horisontalplanet. Se eksempel på spuntnåler i Figur 34.

Vi antar at den opprinnelige sjøbunnen er så impermeabel at den begrenser innstrømming av vann med tidevannssperiode (ca. 12.5 timer), men vil slippe gjennom grunnvann med konstant overtrykk fra landsiden. I dette skisseprosjektet har vi for beregningenes skyld antatt at gjennomsnittlig dybde av spunt er 5 - 6 m.



Figur 34 U-profiler av spunt, i dette tilfellet koblet parvis.

Spunt kan rammes ved fall-lodd, vibro-lodd eller pressing med hydraulisk jekk. Hvilken metode som velges er avhengig av ramme-motstand og hvilke vibrasjoner man kan påføre naboer.

Spunt er produsert av stål og er derfor utsatt for korrosjon. Korrosjonsangrepet er imidlertid mest aggressivt i tidevann-sonen der stålfaten er utsatt for variabelt vann-nivå, bølgeslag, god tilgang på oksygen og periodevis relativt høy temperatur.

Stålspunt som står i jord er imidlertid mindre utsatt for korrosjon fordi jorda begrenser tilgang på oksygen og friskt sjøvann.

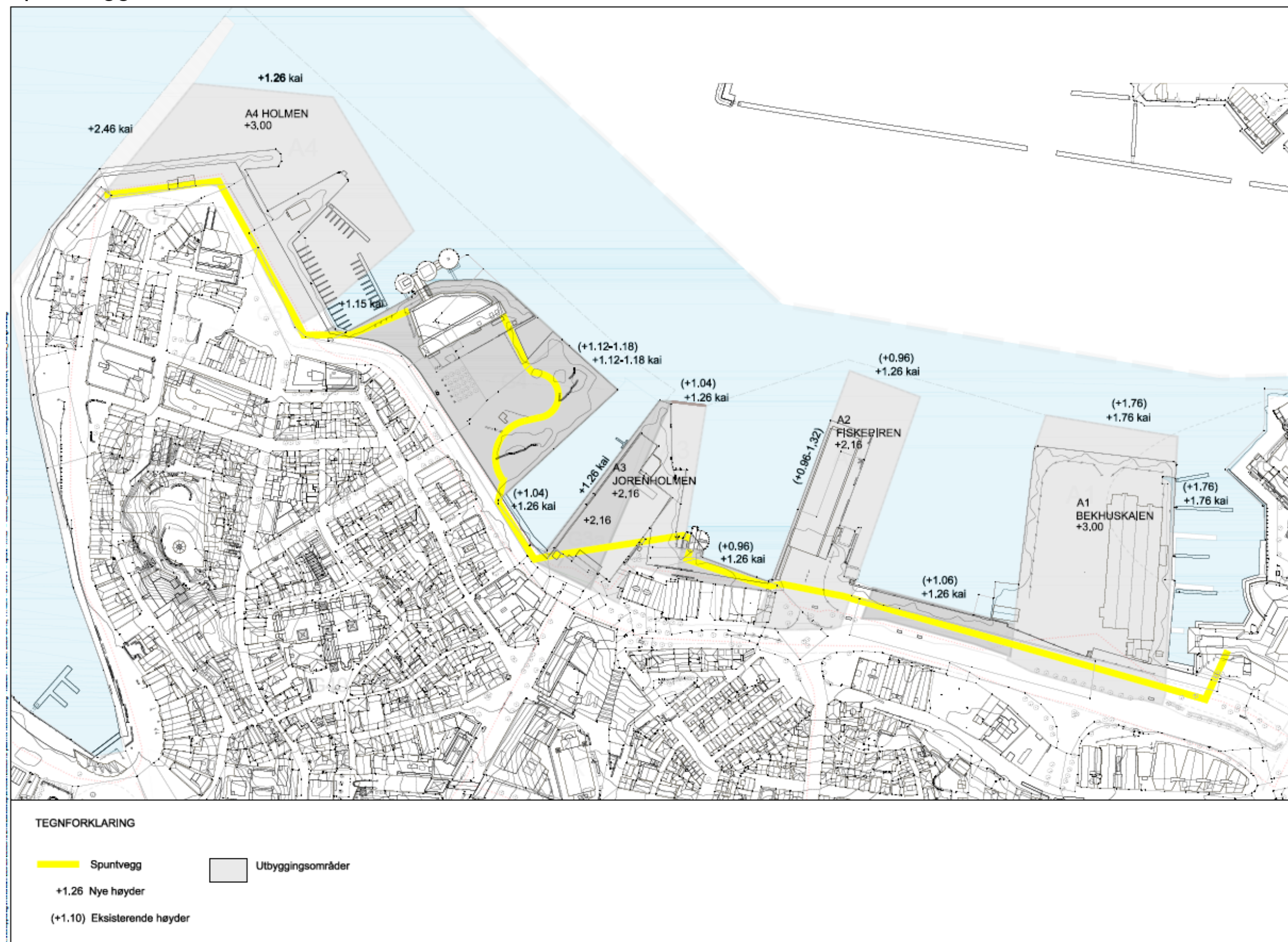
For stålspunt med en side eksponert mot sjøvann må det regnes med en korrosjonsrate på 0.1 - 0.15 mm/år. For spunt i jord er raten lavere. Eurocode (1995) anbefaler å regne inn et tykkelsestap på 1.2 - 3 mm/ 100 år i uforstyrret jord til forurenset, aggressiv fylling. Normal tykkelse av en spuntnål er 8 - 16 mm, hvilket gir en god margin for korrosjon i løpet av 100 års levetid. De spuntnålene som anvendes her, skal bare fungere tettingsmembran, og vil ikke bli utsatt for andre krefter som stiller krav til godstykkelsen.

Dersom man etter en periode (antatt betydelig lengre enn 100 år) skulle ønske å erstatte tettingen, er det en enkel jobb å slå ned en ny spuntvegg inntil den gamle.

Et usikkerhetsmoment med byggingen av spuntveggen er spuntbarheten av de underliggende massene. Spunt kan normalt drives gjennom ulike typer masser, som jord, stein opp til ca. 30 cm, sand og silt, samt gjennom avfallsfyllinger. Større stein- og betongblokker og avfall i form av metallobjekter som f. eks større biler, stålbjelker, båter/skipsskrog vil imidlertid stoppe spuntingen.

Det må derfor gjennomføres et grunnbøringsprogram for å bestemme forekomst av mulige hinder for spuntingen og lokalisere dybden til opprinnelig bunn.

Spuntvegg



Figur 35 Kartet viser foreslått plassering av spuntvegg. Hvis Oljemuseet er bygget med tett konstruksjon kan spuntveggen ende i bygningskonstruksjonen på hver side

6.12 Alternativer til bruk av spuntvegg (punktvis)

6.12.1 Beskrivelse

Hensikten med spuntveggen er å tette grunnen fra bakkenivå og ned til antatt impermeabel grunn eller berg slik at flomvannet ikke passerer under den tenkte vollen som blir synlig over bakken. Det er ikke funnet teknisk eller økonomisk gjennomførbare alternativer til spuntveggen som hovedprinsipp for tettingen.

Imidlertid kan det stedvis være punkter det det er vanskelig å gjennomføre nedsetting av spunt. Før spunt settes, må aktive VA-ledninger, EI-kabler og telekommunikasjonskabler lokaliseres og det må sørges for at disse ikke brytes, men føres uskadet gjennom spuntveggen, eller relokaliseres. Det er hensikten at spuntveggen skal avskjære gamle, inaktive avløpsledninger som kan føre vann utenfra og inn bak vollen.

Noen steder er det imidlertid stor tetthet av ledninger, kabler og rør, slik at denne framgangsmåten kan bli vanskelig eller kostbar å følge. Et eksempel på et slikt punkt er kailinja ved Magasin Blå mellom Jorenholmskaia og Fiskepire, se Figur 36. Stedet er også vist i Figur 37.

På dette punktet finnes det et stort antall ulike kabler og ledninger som er gravet ned under kaiplanet og dekket til med trafikk-dekke (asfalt, heller, betong).



Figur 36 Kartutsnitt som viser Magasin Blå mellom Jorenholmskaia og Fiskepiren (Kystinfo, Kystverket). Det er kun én kabel/ledning som er vist på utsnittet, men det finnes et stort antall der hvor markøren er vist.



Figur 37 Foto fra kailinja ved Magasin Blå, mai 2020. Kablene ligger under det hellelagte dekket i bildet og går ut i sjøen til venstre.

Figur 37 viser hvordan området ser ut i dag. Under det synlige dekket er det lagt kabler ut til sjøen i en utgravet grop. Når kablene er lagt, er det fylt på med grov pukk, og området er dekket.

Det finnes sannsynligvis flere slike punkter der nedsetting av spuntvegg er ugjennomførbart av hensyn til omfattende infrastruktur i grunnen, og det vil kreves alternative løsninger.

6.12.2 Alternative løsninger

Det vil nedenfor bli skissert noen muligheter til å håndtere vanskelige punkter for spuntveggen. Lista over mulige alternativer er ikke endelig, og lista er laget for å illustrere at problemet kan løses. Det vil finnes flere løsninger for andre steder. Eneste kravet til en fungerende løsning er at den skal gjøre det mulig å hindre vann fra sjøen i å trenge gjennom grunnen.

6.12.2.1 Injisering

I noen punkter der hvor det er lagt infrastruktur i grunnen som senere er dekket til, er det brukt grov pukk eller sprengstein til å fylle gropa det installasjonene er lagt. Dette er bl a tilfellet ved Magasin Blå. Denne typen masser er derfor permeabel, og det vil være mulig å injisere fyllmassen med et sementbasert produkt som vil tette massene når injiseringsmassen størkner. Dette typen injiseringsmasse brukes gjerne i tunnel-prosjekter for å injisere bergsprekker og har stor evne til å trenge inn i selv små sprekker. Det vil være en usikker sone i mellomrommet under gropa med grov pukk og ned til antatt tette masser, men man kan anta at dersom injiseringsmassen ikke trenger ned i dette mellomrommet, så er massen her tett nok.

6.12.2.2 Bruk av brønner

Inntrenging og spredning av vann vil også kunne hindres ved å bore brønner rundt og i nærheten av den problematiske sonen, men på landsiden av den overjordiske vollen. Vollen forutsettes bygget som

planlagt, men i dette tilfellet uten spuntvegg under. Brønnene utrustes med pumper, som trer i funksjon når eller før vann-nivået i brønnen blir høyere enn det som tillates av grunnvannstand på den «tørre» siden av vollen. Antall brønner, plasseringen av dem og pumpekapasitet må tilpasses den vannmengden som kan trenge gjennom grunnen og fram til brønnene.

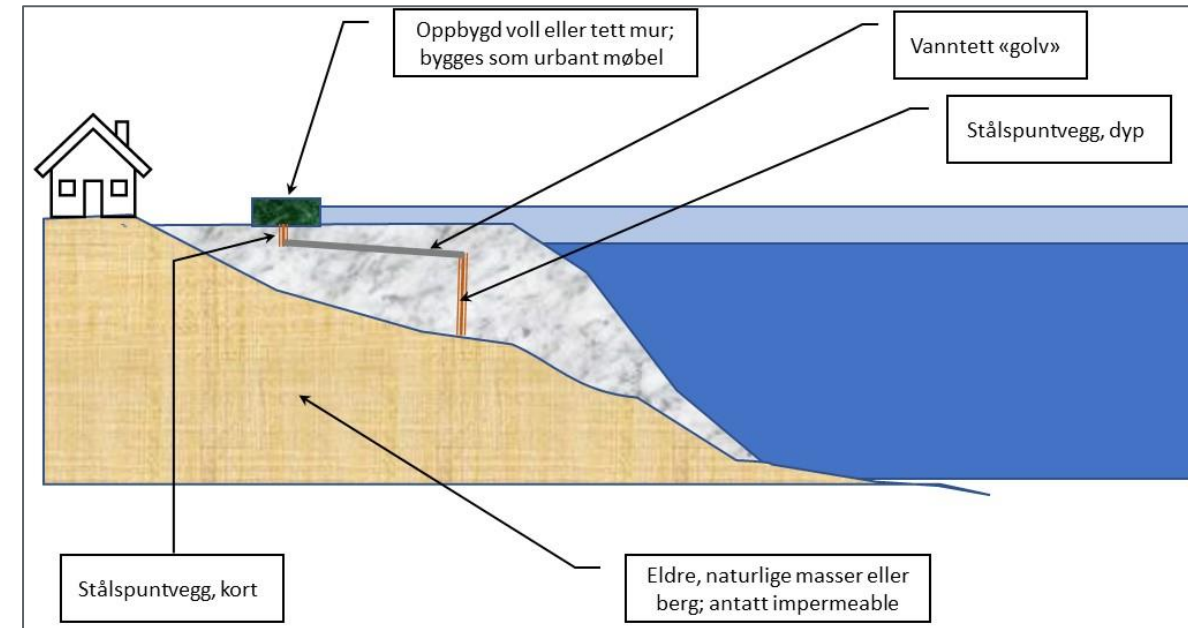
Denne typen tiltak kan også være aktuelt i kombinasjon med andre tiltak som reduserer vann-inntrengingen gjennom grunnen uten å stoppe den helt.

6.12.2.3 Trappeløsning for tettingsvegg

Dette er en løsning som kan benyttes der hvor det vil være mulig å sette ned en spuntvegg lengre ut i sjøen eller på land foran den sonen hvor man ønsker å bygge vollen. Da kan man føre spuntveggen ut i en bue foran vollen, men avslutte spuntveggen under bakkenivå eller ved en viss dybde i sjøen. I et slikt tilfelle må man legge et «golv» (av betong eller tett duk, evt gummi) fra toppen av den nedsenkede spuntveggen og inn til den linja der vollen skal ligge. Fra vollen settes det så en ny kort spunt fra bakkenivå og ned til oversiden av «golvet». Prinsippet er vist i Figur 38.

En begrensning for dette konseptet er at det fortsatt må settes ned en spuntvegg lenger ute, og hvis installasjonene går rett ut fra land, vil man møte det samme problemet med kabler og ledninger der.

En variant kan være å benytte bare deler av de komponentene som er illustrert i Figur 38, slik at vannstrømmen blir redusert, og bruke brønner (avsnitt 6.12.2.2) til å pumpe ut resten.



Figur 38 Prinsipp for trappeløsning

6.12.2.4 Vurdering av alternativ-løsninger

Lista over tiltak over er ikke komplett, og flere løsninger kan være aktuelle. Alternativene injisering og brønner er sannsynligvis de enkleste og rimeligste å gjennomføre, og er også en type tiltak som det finnes god erfaring med.

7 Kostnadsestimat

7.1 Avgrensing av kalkylen

Kalkylen omfatter kun selve flomvernet og element som blir direkte påvirket av flomvernet. Terrengheving, tilpasninger til havnivåstigning og tekniske anlegg innenfor utbyggingsområdene A1 – A4 og parkområdene G1, G3 og G4 er ikke medtatt.

Kostnadsestimatet består av følgende hovedelement:

- Spuntvegg/pelevegg med gjennomsnittlig høyde 5m. 50% spuntvegg og 50 % pelevegg
- Mur og tettevegg i betong og glass
- Partier med grønn voll og mur
- Åpninger i flomvernet som kan stenges ved høy vannstand
- Omlegginger av eksisterende ledninger
- Nye overvannsledninger
- Ombygging av eksisterende pumpestasjoner for fellesavløp
- Basseng for overvann
- Pumpestasjoner

7.2 Generelt

Følgende er forutsatt:

- Rigg og drift med 8 % av anleggskost.
- Byggherrekostnader definert som prosjektadministrasjon, prosjektering og byggeledelse. Det er her benyttet 15%.
- Det er medtatt 25% merverdiavgift. Eventuell administrasjonsavtale eller justeringsrettavtale og refusjon av m.v.a. er ikke hensyntatt

7.3 Anlegg og kostnader som ikke inngår i kalkylen

Følgende inngår ikke:

- Grunnerverv
- Finanskostnader
- Ulempe-erstatninger til eksterne grunneiere
- Omlegginger og nyanlegg i forbindelse med el, tele, gass, fjernvarme, bredbånd og IT
- Arkeologiske undersøkelser og utgravinger
- Grunnundersøkelser og miljøundersøkelser
- Advokathonorar, taksering og skjønn
- Oppmåling, offentlige avgifter, gebyr og tinglysing
- Kostnader for midlertidige tiltak ved etappevis utbygging
- Eventuelle tiltak i forbindelse med forurensning i grunnen herunder borttransport av forurenset masse.
- Gangveger og øvrig grøntanlegg på de grønne partiene er ikke medtatt. Det er her kun medtatt murene vist i kapittel 5.
- Kostnader ved omlegging av eks. 800 mm fellesledning og 355 mm hovedvannledning felt A4, Holmen. Forutsettes å inngå i utbyggingen av felt A4.
- Kostnader ved omlegging av eks. 1600 mm fellesledning felt A3, Jorenholmen. Forutsettes å inngå i utbyggingen av felt A3.

7.4 Prisnivå i kalkylen

Kalkylen er basert på enhetspriser 1. kvartal 2020, hentet fra entrepriser i området og fra leverandører. Ved oppdatering av kalkyle må 1. kvartal 2020 være basis for prisjustering.

7.5 Usikkerhet i kalkylen

Usikkerheten i kalkylen kan i hovedtrekk knyttes til følgende element:

- Det grove nivået på planene som foreligger ved utarbeidelsen av kalkylen
- Dybder til tette masser i spuntlinjen og massetype i spuntlinjen. Her er det forutsatt gjennomsnittlig høyde på 5m uten at det er foretatt grunnundersøklser
- Andre endrede forutsetninger. Kostnader knyttet til flomvernet med tilhørende anlegg vil kunne påvirkes av ønsker og krav fra Stavanger kommune, Stavanger Havn, utbyggerne av feltene og andre offentlige etater
- Markedsusikkerhet, prisnivå på benyttede enhetspriser kontra anbudspriser
- Dimensjoneringsforutsetninger
- Uforutsette miljøproblem, herunder forurenset grunn i gamle fyllinger
- Endrede forutsetninger i forhold til havnivåstigning og nedbør

Kostnadsesimatet bør gjennomgås på nytt når det foreligger forprosjekt, reguleringsplaner eller et mer detaljert plangrunnlag. Dette vil gi en sikrere kalkyle. Kalkylene vil videre kunne gjøres enda mer nøyaktige etter at det er utarbeidet tekniske planer.

7.6 Kalkyletallene

Det er satt opp følgende grove kostnadsestimat:

Kostnadselement	Enhet	Mengde	Enhetspris	Sum eks. mva	mva	Sum inkl. mva
Spuntvegg/pelevegg med gjennomsnittlig høyde 5 m	m	1100	65 000	71 500 000	17 875 000	89 375 000
Mur i betong, gjennomsnittlig høyde 1.2 m over terreng	m	200	15 000	3 000 000	750 000	3 750 000
Mur i betong og glass gjennomsnittlig høyde 1.2 m over terreng	m	200	40 000	8 000 000	2 000 000	10 000 000
Parti med lav mur i kombinasjon med voll	m	400	7 000	2 800 000	700 000	3 500 000
Grønn voll, kun fyllmasser	m	400	6 000	2 400 000	600 000	3 000 000
Stengbare åpninger i flomvernet, bredde 5m, manuell stenging	stk	5	100 000	500 000	125 000	625 000
Stengbare åpninger i flomvernet, kulvertløsning til sjø, manuell stenging	stk	2	500 000	1 000 000	250 000	1 250 000
Omlegging av eksisterende ledninger	RS	1	12 000 000	12 000 000	3 000 000	15 000 000
Nye overvannsledninger	RS	1	12 000 000	12 000 000	3 000 000	15 000 000
Ombygging av eksisterende pumpestasjoner	RS	1	5 000 000	5 000 000	1 250 000	6 250 000
Basseng for overvann	stk	6	6 000 000	36 000 000	9 000 000	45 000 000
Pumpestasjoner	stk	5	10 000 000	50 000 000	12 500 000	62 500 000
Sum				204 200 000		255 250 000

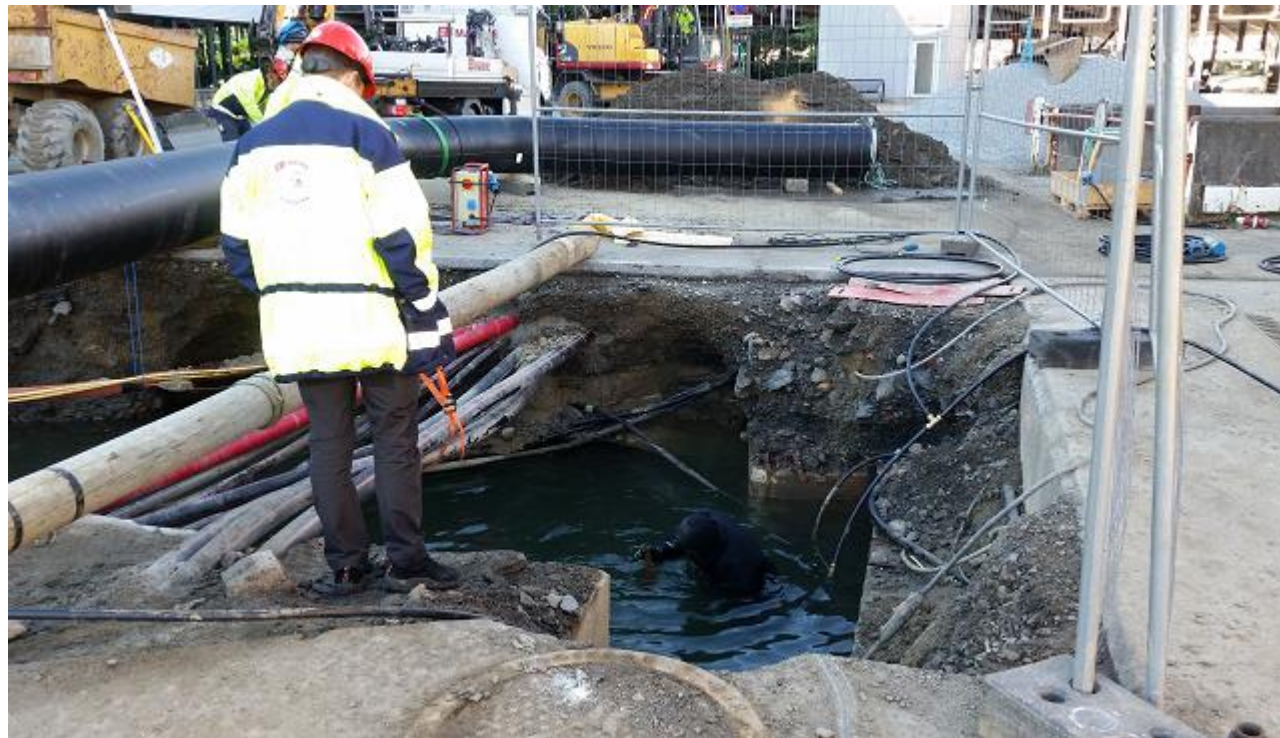
Tillegg: Punkter med spesielle utfordringer

Det er nevnt i avsnitt 6.12 at det finnes steder der utfordringene for setting av en spuntvegg kan bli spesielt store på grunn av omfattende infrastruktur i bakken (kabler, rør, etc). På slike steder er det aktuelt med lokale, tilpassede løsninger.

Prosjektet har mottatt en serie bilder fra Stavanger Havn som viser steder der slike utfordringer finnes.

Bildene er vist nedenfor.

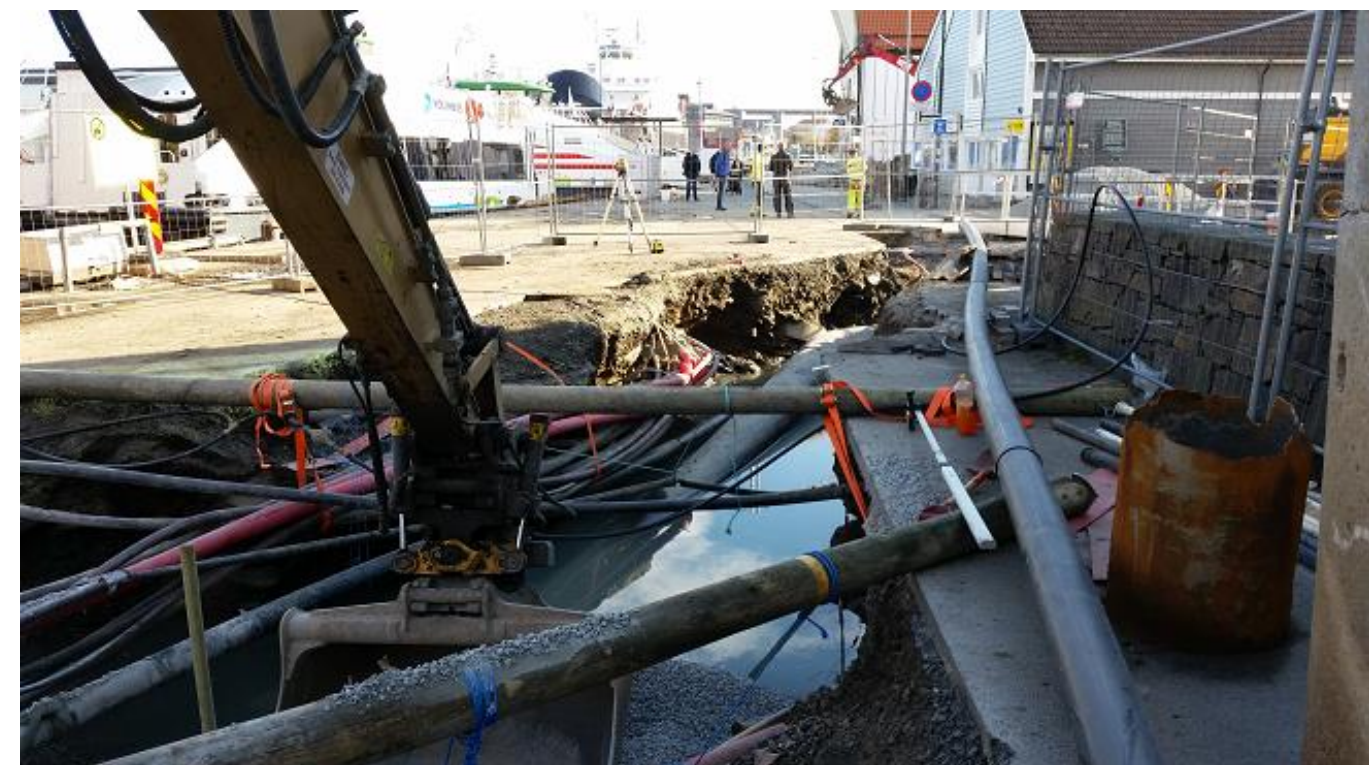
ØSTRE HAVN – EKSEMPLER PÅ INFRASTRUKTUR UNDER BAKKEN



A 1 Ved P-Joreholmen



A 2 Ved P-Joreholmen



A 3 Bak Blaa Magasin, i retning Bakarbyggå og Fiskepiren



A 4 Bak Blaa Magasin, i retning Bakarbyggå og Fiskepiren



A 5 Bak Blaa Magasin, i retning Bakarbyggå og Fiskepiren



A 6 Grøft på Jorenholmen