

Lardal og Larvik kommuner - tilpasning til klimaendringer

VURDERINGER AV EKSTREM NEDBØR,
SKRED, FLOM, STORMFLO OG
HAVNIVÅSTIGNING

DOK.NR. 20150602-01-R
REV.NR. 0 / 2016-04-15

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



Prosjekt

Prosjekttittel: Lardal og Larvik kommuner - tilpasning til klimaendringer
Dokumenttittel: Vurdering av ekstrem nedbør, skred, flom, stormflo og havnivåstigning
Dokumentnr.: 20150602-01-R
Dato: 2016-04-15
Rev.nr. / Rev.dato: 0 /

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Larvik kommune
Kontaktperson: Knut Hjalmar Gulliksen
Kontraktreferanse: Kontrakt signert 2015-09-21

for NGI

Prosjektleder: Carl B. Harbitz
Utarbeidet av: C.B. Harbitz, R. Frauenfelder, S. Glimsdal, Ø.A. Høydal, G. Kaiser, J.-S. L'Heureux, K.H.H. Ekseth, F. Sandersen
Kontrollert av: C.B. Harbitz, A. Solheim, B.G. Kalsnes

Forord

NGI vil takke Anita Verpe Dyrrdal v/MET for sammenstilling og ekstrahering av nedbørdata for utvalgte stasjoner og fra seNorge-grid. Vi vil også takke Prof. Emeritus Bjørn Gjevik for verdifulle råd og kommentarer i vurdering av stormflo og havnivåstigning.

Sammendrag

Bakgrunn

I 2010 kom en lov om kommunal beredskapsplikt. Denne innebærer bl.a. at alle kommuner må ta hensyn til forventede klimaendringer i sine helhetlige risiko- og sårbarhetsanalyser (ROS). Høsten 2015, etter utgivelsen av "Klima i Norge 2100" (rapport bestilt av Miljødirektoratet), har myndighetene igjen presisert at ansvaret for klimatilpasning ligger hos den enkelte kommune.

For å bistå i arbeidet med kommunenes beredskap og tilpasning til klimaendringer, har Miljødirektoratet delfinansiert en studie for Larvik/Lardal. Studien er den første i sitt slag og regnes som et pilotprosjekt. I arbeidet med denne rapporten har NGI hatt som hovedmål å gi Larvik og Lardal kommuner et best mulig faglig grunnlag for å innarbeide hensyn til naturfare og klimaendringer i sin helhetlige risiko- og sårbarhetsanalyse. Rapporten er samtidig en oppfølging av Larvik kommunes klima- og energiplan.

Valg av faretyper, scenarier og områder beskrevet i rapporten har skjedd i tett samarbeid mellom kommunes representanter og NGI. Naturfaretypene flom, stormflo, erosjon og kvikkleireskred er valgt ut fra hva som er mest sannsynlige hendelser i et 50-års-perspektiv (ref. Klimaprofil Vestfold, Vedlegg B). De konkrete scenarier og geografiske områder omtalt i rapporten er valgt for å belyse ulike typer hendelser og hvordan de kan komme til å ramme ulike typer terreng, miljø, infrastruktur, bebyggelse osv., snarere enn å se kun på de antatt mest risikofylte lokalitetene. Med andre ord er tanken bak valg av scenarier at det skal gi en stor bredde og et noenlunde representativt bilde av ulike typer uønskede hendelser samt belyse mulige konsekvenser i Larvik og Lardal kommuner. Føringer og prioriteringer er nærmere beskrevet i kapittel 3. Resultater i form av kart i A3-format er samlet i Vedlegg F. Kartmaterialet er også levert Larvik og Lardal kommuner i digital form.

Hva har vi funnet ut? Hvilke tiltak anbefales?

Naturfaretype: Ekstreme nedbørsmengder på kort tid – urban flom

Overvann og oversvømmelser i bebygde områder som følge av intense nedbørsepisoder ventes å øke vesentlig, både i intensitet og hyppighet. Eksempelstudiene i Larvik gjelder Stavernkrysset (Farriskrysset) og området Veldre/Farriseidet med Hammerdalen, der det både er mye infrastruktur og et bevaringsverdig historisk industrimiljø.

Det er utarbeidet kart som viser terrengforsenkninger som kan bli satt under vann ved intens nedbør og dersom dreneringene ikke klarer å ta unna. Volumet av disse terrengforsenkningene er også beregnet, slik at det er mulig å estimere hvor langt tid det tar for en gitt nedbørsmengde å fylle disse forsenkningene.

NGI understreker betydningen av å ha fungerende dreneringsveier (flomveier) for å unngå at det normale avrenningssystemet blir overbelastet eller blokkert i forbindelse

med ekstrem nedbør. Larvik kommune har gjort et godt forarbeid med tanke på flom og overvann, og NGI understreker at det er spesielt viktig med grundig behandling av overvannshåndtering i forbindelse med den planlagte utbyggingen på Martineåsen, siden prosjektet ventes å føre til store terrengforandringer. Videre påpekes det at statlige infrastrukturereiere, som Jernbaneverket og Statens vegvesen, må ha oversikt over status på sine sluk, kulverter og bruer og fortløpende vurdere behovet for oppgradering av disse. Videre kartlegging i kommunal regi bør samordnes med statlige aktører og overvannshåndtering må behandles grundig.

Naturfaretype: Skred

Kvikkleireskred

Av naturlige årsaker som fører til kvikkleireskred er erosjon i elver og bekker den vanligste. Klimaendringene vil gi økt erosjonsfare som følge av ekstrem nedbør og økt flom i elver og bekker i fremtiden. Imidlertid er det vanskelig å fastslå sammenhenger mellom erosjon og langsiktige klimaendringer, hydrologi og kvikkleireskred, i tillegg til at mange faktorer er av lokal karakter. Og det er verdt å merke seg at siden 1970-tallet er over halvparten av alle større kvikkleireskred i Norge utløst av menneskelig aktivitet.

Siden 2000 er det blitt laget fare- og risikokart for større kvikkleireskred i Lardal og Larvik kommuner. Grunnlaget for å identifisere kvikkleiresoner er forekomst av marin leire, topografiske forhold og resultater fra grunnboringer. Det er identifisert 47 kvikkleiresoner i Larvik og 38 i Lardal, hvorav 5 i Larvik og 3 i Lardal anses å ha høy faregrad. I denne studien er områdene ved Hukstrøm bru, Fritzøehuspark/Rosendal og Kvelde blitt prioritert for å se nærmere på tilpasning til klimaendringer ut fra fare for kvikkleireskred.

Hukstrøm bru, Svarstad: Resultatene fra grunnvanns- og stabilitets analyser viser at sikkerheten er lav ned mot Numedalslågen når man tar i betraktning effekten av flom og langvarig nedbør/snøsmelting. Motfylling i foten av skråningen kan være et tiltak. Det anbefales å installere utstyr som kan måle grunnvannstrykket i skråningen. Dette vil gi grunnlag for nærmere analyser og forslag til tiltak.

Ved Fritzøeparken og Rosendal: Her er det områder som kan bli utsatt for kvikkleireskred ved ekstrem nedbør. Det blir her ikke foreslått konkrete sikringstiltak, blant annet fordi det foreligger mange usikre faktorer. For å kunne vurdere behovet for tiltak bedre er det først og fremst anbefalt å utføre grunnundersøkelser i området. Det anses heller ikke sannsynlig at et eventuelt kvikkleireskred vil nå ned til Stavernveien.

Kvelde: Øst for Kvelde sentrum er det en kvikkleiresone. NGI har utført en relativt grov stabilitetsanalyse for å kunne vurdere mulig effekt av klimaendring i området. Analysen er imidlertid basert på lite geoteknisk informasjon. Resultatene fra stabilitetsanalysen viser at den potensielt mest utsatte skråningen er knyttet til den eldre skredkanten ved Sundby østre. Det understrekes at stabiliteten her ikke er kritisk, og at det ikke ble funnet

tegn til ustabil skråning under befaring høsten 2015. Likevel er ikke stabiliteten god nok i forhold til kravene i TEK10 og NVEs veileder *Sikkerhet mot kvikkleireskred*.

Når det gjelder effekt av klimaendringer anses det som lite sannsynlig at en flom i Numedalslågen vil utgjøre en stor fare for kvikkleireskred ved Kvelde. Den største faren antas å være knyttet til ekstreme nedbørshendelser. Grove stabilitetsanalyser utført av NGI viser at det sannsynligvis er behov for stabilitetsforbedrende tiltak for å kunne godkjenne nybygg i tiltakskategori 4 (dvs. større enn to bolighus) i den aktuelle kvikkleiresonen i Kvelde. Et mulig slikt tiltak kan være en motfylling i foten av den mest kritiske skråningen. For å planlegge slike tiltak vil det være behov for supplerende grunnundersøkelser.

Jordskred

Jordskred defineres som utglidning av løsmasser (i hovedsak jord, stein, grus og sand) i bratte skråninger. I Larvik og Lardal er det langs Numedalslågen og sideelvene at man finner mesteparten av de bratte løsmassesskråningene som kan komme til å bli utsatt for jordskred. Vi har valgt å benytte områdene ved Hukstrøm bru, Odberghuset og Husvann for å evaluere tilpasning til klimaendringer som følge av jordskred.

Odberghuset og Husvann: I analysene antar vi at vannstanden i Numedalslågen her vil øke med 3 m i løpet av ett døgn som følge av flom. Vannstanden kommer deretter tilbake til normalt nivå i løpet av 2 dager. Det er gjort analyser for skråninger opptil 27 graders helning. Beregningene viser at soner i skråningene vil være utsatt for grunnvannserosjon og skred ved en slik flomhendelse. Skråningene har god sikkerhetsmargin så lenge skråningsvinkelen er lavere enn ca. 1:3 (18 grader). Skråninger brattere enn dette, hvor det i tillegg er stor sannsynlighet for konsentrert gjennomstrømning av vann, antas å være utsatt for prosesser som kan føre til jordskred.

Formålet med tiltak innenfor dette området vil være å redusere sannsynligheten for at jordskred og ravinerer skal inntreffe. Tiltakene kan være stabiliserende, for å sikre bratte skråninger, eller i form av dreneringstiltak for å redusere faren.

Steinsprang og steinskred

Steinsprang og steinskred skjer vanligvis i bratte og ustabile fjellsider. Området ved Jordstøyp er valgt for å illustrere mulige klimatilpasninger for denne skredtypen. Her var det hendelser senest i 2013 og i 2016. Under befaring høsten 2015 ble det observert mange løse steinblokker og oppsprukkede partier ved Jordstøyp. Noen av disse vil komme som steinsprang over tid, men det meste vil stoppe i ura.

I bergveggen ved Jordstøyp og tilsvarende steder er det flere sikringsmetoder som kan vurderes. Flere løsninger er tilgjengelige og brukes etter behov og økonomiske rammer, enten man velger en hindrende eller en begrensende metode. Den enkleste sikringsmetoden som hindrer utfall er rensk og nedsprenghing av blokker, forutsatt at det ikke

kan skade bebyggelse eller infrastruktur nedenfor. Trær som har røtter innover i bergmassen kan også fjernes for å minske faren for utfall av blokker. Blokker kan hindres fra å løsne ved å montere bolter og ankere, eventuelt også nett og fjellbånd. Sprøytebetong over bolter og anker kan brukes om bergoverflaten er svært oppsprukket. Dersom det kommer ut vann, må området dreneres. Drenering kan også benyttes som et sikringstiltak, ved å grøfte i overkant av bergveggen og således lede vekk vann som kan føre til oppbygging av sprekkevannstrykk.

Større tiltak som begrenser konsekvensen av et utfall, er dyrere og krever mer av prosjektering og planlegging. Slike tiltak kan være voller i ulik utforming, murer eller gjerder, men alle har til hensikt å stoppe/begrense utfallet, ikke å hindre blokken fra å løsne. Også steinspranggjerder kan vurderes. Slike gjerder er enkle å montere, men krever tilsyn og vedlikehold.

Naturfaretype: Flom i elver og bekker

Stor flom i Numedalslågen kan forekomme som følge av ekstrem nedbør og/eller rask snøsmelting på Hardangervidda. I nyere tid har det vært stor flom i 1987, 2000, 2007 og 2015. Vassdragsregulerende tiltak (i Numedalslågens øvre felt bla. Tunhovdfjorden og Pålbufjorden) har endret flomregimet og senket flomstørrelsene i Numedalslågen. Erfaring fra de siste årene viser at slik styring og bruk av regulerende tiltak er viktig for å redusere regnflommer. Kommunene må derfor ha et bevisst forhold til vassdraget og vassdragsreguleringen.

Hukstrøm bru: Elva nedenfor Hukstrøm bru er rolig med jevne strømforhold ned til Sjulstadfoss. Vi har utarbeidet flomarealkart for området, samt tabell med flomvannstandshøyder for 50 og 200 års flom samt 200-årsflom med 20 prosent påslag som tar hensyn til klimaendringer. Kartene viser at boliger eller næringsbygg ikke er utsatt for flom her. Men man skal være oppmerksom på at stabiliteten av skråninger berøres av flom. Et viktig tiltak vil være å ikke tillate nybygg i flomområder.

Hvåra – Kvelde, samt Gjønnnes: Det er utarbeidet flomarealkart for strekningen samt tabell med flomvannstandshøyder for 50 og 200 års flom samt 200-årsflom med 20 prosent påslag som tar hensyn til klimaendringer. Strekningen er svært lang, og det er store landbruksarealer og mange bygg, antatt løer og andre landbruksbygg som ligger flomutsatt. Gjønnnesbekken opp ved Gjønnnesvatnet ligger på en høyde der vannstanden i Lågen slår inn ved stor flom. Flom i nedbørfeltet til Gjønnnesbekken gir lite flomhøyde uten at Numedalslågen også går i flom. Flom berører her FV40.

Nedre Lågen – utløp sjø: Beregninger og arealanalyser viser at stormflo dominerer muligheten for flomskade opp forbi Gloppe bru. Mange ulike typer bygg ligger her utsatt for flom eller stormflo. Flom alene i Numedalslågen må være større enn 50 års flom før flomvannstand blir høyere enn dimensjonerende 200-årsflom fra stormflo ovenfor Gloppe bru.

Holmjordet: Beregninger av vannlinjer og kapasitet for stikkrenner ved gamle Stavernveien, Stavernveien og Holmjordetveien viser at stikkrenner går fulle eller toppes over ved 200-års flom uten klimapåslag. Stikkrenner gjennom større fyllinger bør ha tilstrekkelig kapasitet samt reservekapasitet med tanke på blokkering.

Generelt er flomutsatte områder langs de undersøkte strekningene av Numedalslågen i hovedsak begrenset til landbruksområder, og innbefatter i liten grad bebyggelse. Det er særlig tre menneskelige forhold som kan påvirke konsekvenser av flom:

1. Plassering av bygg og infrastruktur i flomutsatte områder. Flomarealkartene gir en god indikasjon på hvor det er flomutsatt og hvilke høyder en må legge seg på ved utbygging i flomområder. Det må i tillegg legges på et sikkerhetsnivå for drenering av lokalvann.
2. Aktiv regulering av vannstand i varslede flomsituasjoner. Dette vil ha stor betydning for størrelse og forløp av flommer.
3. Lokal/urban flom er oftest relatert til blokkeringer eller begrenset kapasitet av stikkrenner, slik at vann blir stående eller finner alternativ drensvei. Ved å kjenne kapasiteter, kritiske punkt på stikkrenner og lukkede bekker samt alternative drensveier vil en kunne gjøre tiltak for å redusere blokkering og øke flomkapasiteten.

Naturfaretype: Stormflo og havnivåstigning

Årsak til høy vannstand langs norskekysten er astronomisk påvirkning (springflo) samt værrets påvirkning. Klimaendringer og mer ekstremvær fører til økt stormaktivitet, og havnivåstigning kan øke stormfloxen ytterligere. Et endret klima med stigende havnivå og økende stormfloaktivitet er en trussel mot lavereliggende kystområder. Kombinasjonen av høy vannstand, bølger, og store strømhastigheter kan føre til oversvømmelse, erosjon og ødeleggelse av kystnære strukturer. En stormflo i oktober 1987 slo kraftig inn i området ved Larvik og forårsaket store ødeleggelser. Det sto vann helt opp til skinnegangen ved Larvik jernbanestasjon.

Følgende områder er gjenstand for detaljstudier i rapporten: Helgeroa, Nevlunghavn, Larvik indre havn (Stavernkrysset), Stavern, Revet og utløpet av Numedalslågen, Hølen og Holmjordet. Som eksempler kan nevnes at flere hus i Nevlunghavn er utsatt ved stormflo. Ved Revet vil store arealer lengst ut mot vest og nord kunne bli lagt under vann. Langs utløpet av Numedalslågen vil vannet også kunne trenge inn over land, og dekke hele Revestien.

For å håndtere konsekvensene av det stigende havnivået må kommunen ha en langsiktig strategi og konkrete tiltak må iverksettes. Det kan eksempelvis handle om beskyttende barrierer mot høyt tidevann og bølger, heving av byggegrunn og flytting av infrastruktur til områder utenfor faresonen, samt intensivt samfunnsplanlegging. Generelt og internasjonalt snakkes det om fem ulike *strategier ved økende vannivåer og stormflo*: 1)

Ingen tiltak 2) Sikre strandlinjen 3) Sikre bestemte områder 4) Utvide strandområdet og 5) Tilbaketrekking og flytting.

Som *erosjonsbeskyttelse langs strandlinjen* kan følgende tiltak være effektive: Etterfylling av sand, beplantning (vegetasjon), bruk av steinmaterialer (også kombinert med planter), kledning av skråninger som kan bli berørt av erosjon med f. eks. betongplater, betongmatter, gabioner (nettingbur fylt med steinmasser) eller sandsekker. Videre kan man bygge bølgebrytere samt piler vinkelrett mot strandlinjen (beskytter mot erosjon av bølger langs land, sanden transporteres ikke vekk, men legger seg opp mellom pirene). Mot *oversvømmelse benyttes andre tiltak* som diker, murer, hevet terreng, utfyllinger, moloer, tilpasset drenering/avløp.

I tillegg til de nevnte generelle tiltakene har NGI følgende *forslag til tiltak for områdene vi har vurdert for stormflo i Larvik*:

1. Stavernkrysset i Larvik sentrum bør ha et bedre dreneringssystem for avløpsvann. Det er dårlig kapasitet allerede ved flom/kraftig nedbør. Ved en kraftig stormflo vil vann kunne strømme motsatt vei fra utløpet av overvannsledningen (som ligger i enden av Farriselva ned mot fjorden) og opp i Stavernkrysset. Denne overvannsledningen vil derfor miste all kapasitet ved en stormflo. Det bør vurderes et pumpesystem.
2. Langsgående murkant/voll på sjøsiden av indre havn for å beskytte området inn mot toglinjen.
3. Heve terreng ved nybygging (ha krav til høyde på byggegrunn).

Innhold

1	Innledning	12
2	Klima og klimaprognoser	16
2.1	Klimaprognoser	16
2.2	Usikkerheter i klimaprognoser	16
2.3	Klima og klimaprognoser for Vestfold	17
3	Valg av områder og scenarier for studier av klimaeffekter	19
3.1	Føringer og prioriteringer	19
3.2	Geografiske områder	20
4	Nærmere beskrivelse av valgte scenarier, analyser og resultater; forslag til tiltak for studieområdene	22
4.1	Identifisering av uønskede hendelser/scenarier ved klimaendringer	22
4.1.1	Valgte uønskede hendelser	22
4.1.2	Månedsnormaler for nedbør for referanseperiodene 1961-1990 og 1971-2000	23
4.1.3	Framtidige nedbørsscenarier	23
4.1.4	Urban flom	26
4.1.4.1	Bakgrunn	26
4.1.4.2	Kartlegging av terrengforsenkninger og volumberegning for potensielt oppdemmete vannmasser	28
4.1.4.3	Tiltak	34
4.2	Skredvurderinger i utvalgte områder	37
4.2.1	Bakgrunn	37
4.2.2	Skredtyper	39
4.2.2.1	Kvikkleireskred	39
4.2.2.2	Jordskred	40
4.2.2.3	Steinsprang og steinskred	42
4.2.3	Resultater fra eksempler studier og forslag til sikringstiltak	42
4.2.3.1	Hukstrøm bru, Svarstad	42
4.2.3.2	Odbergheset og Husvann	47
4.2.3.3	Jordstøyp	54
4.2.3.4	Fritzøeparken/Rosendal området	59
4.2.3.5	Kvelde	65
4.3	Flomvurderinger i utvalgte områder	69
4.3.1	Bakgrunn	69
4.3.2	Grunnlagsmateriale	71
4.3.2.1	Hydrologiske data	71
4.3.2.2	Flommer	71
4.3.3	Vassdrag og flomberegning i nedre del av Numedalslågen	74
4.3.4	Hydrauliske modeller og resultater	79
4.3.4.1	Hukstrøm bru	79
4.3.4.2	Hvåra - Odbergheset	81
4.3.4.3	FV40 ved Gjønnnes	83
4.3.4.4	Utløp Numedalslågen, Larvik	86
4.3.4.5	Holmjordet	89
4.3.5	Håndtering av flomrisiko	92

4.4	Vurdering av stormflo i utvalgte områder	93
4.4.1	Bakgrunn	93
4.4.2	Stormflo i Larvik 1987	94
4.4.3	Valg av scenario for stormflo	97
4.4.4	Resultater – detaljstudier av stormflo	98
4.4.4.1	Bakgrunn	98
4.4.4.2	Område 1 – Helgeroa	100
4.4.4.3	Område 2 – Nevlunghavn	103
4.4.4.4	Område 3 – Indre havn og Stavernkrysset	106
4.4.4.5	Område 4 – Stavern	109
4.4.4.6	Område 5 – Revet og utløpet av Numedalslågen	112
4.4.4.7	Område 6 – Hølen	115
4.4.4.8	Holmjordet	118
4.4.5	Tiltak for å redusere skader på grunn av stormflo	118
4.4.5.1	Eksempel på generell tilpasning for kystområdene	119
4.4.5.2	Forslag til mulige tiltak for Larvik kommune	120
5	Øvrige faretyper – mulig videre arbeid	121

Vedlegg

Vedlegg A	Utdypning av klimaprognoser; framtidige nedbørsscenarier for prosjektområdet
Vedlegg B	Klimaprofil Vestfold
Vedlegg C	Kartleggingsskjemaer fra Klimahjelperen (DSB, 2015)
Vedlegg D	Grunnforhold og metoder brukt for analyse av stabilitet/fare for skred
Vedlegg E	Grunnlag for beregninger av stormflo og havnivåstigning
Vedlegg F	Kart og tegninger – resultater
Vedlegg G	Ordliste
Vedlegg H	Referanser

Kontroll- og referanseside



Imponerende bølger ved Fritzøe Brygge, 24.12.2013 (Østlands-Posten, foto: Mats Grimsæth).

1 Innledning

Som et ledd i tilpasningen til forventede klimaendringer i Larvik og Lardal kommuner i Vestfold (Figur 1-1), er NGI engasjert i et pilotprosjekt som skal danne deler av grunnlaget for en senere helhetlig ROS (risiko- og sårbarhetsanalyse) i kommunene, og samtidig gi input til arbeidet med planer og enkeltsaker der dette er aktuelt. Rapporten er også en oppfølging av Larvik kommunes klima- og energiplan. Larvik kommune har mottatt tilskudd fra Miljøverndirektoratet til en del av dette prosjektet.

Prosjektet er delt i fire faretyper, hvis innhold i korthet kan oppsummeres slik:

1. Identifisering av uønskede hendelser/scenarier ved klimaendringer (avsnitt 4.1)
 - Hva kan klimaendringer føre til av uønskede hendelser?
 - Velge fem scenarier, analysere disse, vurdere tiltak
2. Skredvurderinger i utvalgte områder (avsnitt 4.2)
 - Gjennomgå tidligere undersøkelser
 - Velge seks skredfarlige områder, befare og analysere disse, vurdere tiltak
 - Utarbeide inntil seks skredsone-/skredrisikokart (aktsomhetskart og faresonekart)
3. Flomvurderinger i utvalgte områder (avsnitt 4.3)
 - Avklare steder med behov for flomarealkart

- Velge seks områder, gjennomføre befaring og hydrologiske analyser for disse, vurdere tiltak
- Utarbeide inntil seks flomarealkart
- 4. Vurdering av stormflo i utvalgte områder (avsnitt 4.4)
 - Avklare steder med behov for stormflokart
 - Velge seks områder, befare og analysere disse med hensyn til havnivåstigning og stormflo, vurdere tiltak
 - Utarbeide havnivåkart for de seks områdene

Klima og klimaprognoser for regionen er beskrevet i kapittel 2.

Valg av scenarier og områder er beskrevet i kapittel 3. Valgene er foretatt for å belyse ulike faretyper og typiske steder der uønskede hendelser kan oppstå, samt for å belyse aktuelle tiltak. Flere av scenariene og analysene er overførbare til andre liknende områder i kommunene. De valgte scenarier for de fire faretypene er nærmere beskrevet i kapittel 4 sammen med analyser, resultater og forslag til tiltak for de ulike faretyper og områder. Faretyper som er vurdert, men ikke prioritert for videre oppfølging i dette prosjektet er oppsummert i kapittel 5 sammen med noen få forslag til videre arbeid. Resultater i form av kart i A3-format er samlet i Vedlegg F. En ordliste er presentert i Vedlegg G. Alle referanser er samlet i Vedlegg H.

Studieområdene ble befart 4-5 november 2015 av R. Frauenfelder, S. Glimsdal, Ø.A. Høydal og/eller J.-S. L'Heureux (NGI) sammen med O.-A. Bakke-Ludviksen, K.H. Gulliksen, H. Holmen, E. Kolstad, H.K. Småbråten eller M. Vasbotten (Larvik kommune), H.-P. Wallin (Lardal kommune) eller F.A. Sørums (Larvik Havn).

Prosjektet er gjennomført i nært samarbeid mellom oppdragsgiver (Larvik kommune), prosjektgruppen i Larvik/Lardal og rådgiver (NGI). Prosjektgruppen har bestått av:

Fra Lardal kommune:

Rådgiver plan, utvikling og beredskap Finn Roar Bruun
Byggesaksbehandler Hans Petter Wallin

Fra Larvik kommune:

Prosjektleder Knut Hj. Gulliksen
Miljøvernssjef Marit Vasbotten
GIS-koordinator Odd Arne Bakke-Ludviksen
Arealplanlegger Hanne Holmen
Fagkonsulent Einar Kolstad
Avd.ingeniør Halfdan Småbråten
Teknisk sjef Fred Arne Sørums, Larvik havn

I tillegg til at prosjektgruppen bisto på befaringene, har de hele veien vært involvert i faglige diskusjoner (blant annet i månedlige prosjektmøter), tatt de nødvendige

avgjørelser, og bidratt med lokalkunnskap, nødvendige oppmålinger og dokumentasjon, samt arkivmateriale innhentet fra lokalavis, bibliotek og forespørsler på Facebook. Også DSB, NVE, Fylkesmannen i Vestfold og Vestfold Fylkeskommune var involvert tidlig i prosjektet for gjensidig utveksling om målsetning, ønsker og behov.

Resultatene fra dette prosjektet vil bli brukt i kommunenes videre arbeid med helhetlige risiko- og sårbarhetsanalyse i 2016. Resultatene vil også bli benyttet i overordnede areal- og kommuneplaner og i reguleringsplaner, samt for planlegging av tiltak for å tilpasse seg de klimaendringer som kommer.

Det understrekes at målet med studiene ikke først og fremst er å produsere detaljerte faresonekart/risikokart, men med et minimum av inngangsdata å angi mulige prosesser og typiske områder utsatt for disse ved klimaendringer, slik at en kan gjøre tilpasninger for å redusere fremtidig skadepotensiale. Likeledes gis kun generelle beskrivelser av sannsynlighetsreduserende (årsaksforebyggende) tiltak, snarere enn detaljbeskrivelser av årsaksforebyggende og konsekvensreduserende tiltak.



Figur 1-1: Larvik og Lardal kommuner i Vestfold.



Kum i Larvik sentrum, 29.6.2012 (Østlands-Posten, foto: Franck Løreng).

2 Klima og klimaprognoser

2.1 Klimaprognoser

Prognoser om framtidige klimaendringer avhenger av hvilket utslippsscenario en legger til grunn. Utslippsscenarioer beskriver forskjellige scenarier for framtidig utvikling av globale utslipp av klimagasser og aerosoler (partikler). Utviklingen av disse utslippene er i stor grad avhengig av verdens befolkningsvekst, teknologiutvikling, næringslivsutvikling og politiske rammebetingelser. Nærmere utdypning av utslippsscenarioer er gitt i Vedlegg A1.

2.2 Usikkerheter i klimaprognoser

Klimaprognoser er usikre av flere årsaker. Det er usikkerhet knyttet til 1) framtidige menneskeskapte utslipp, 2) naturlige klimavariasjoner og 3) klimamodellene. Den første typen usikkerhet er i noen grad tatt hensyn til ved at flere utslippsscenarioer er benyttet. Den andre typen usikkerhet skyldes dels interne variasjoner i klimasystemet og dels variasjoner i naturlige pådriv. De interne variasjonene simuleres i stor grad av klimamodellene, og bruk av flere modeller gir et bilde av denne usikkerheten. Variasjoner i naturlig klimapådriv er det derimot ikke tatt høyde for, men dersom de ikke blir større enn de har vært de siste 100 år vil de ha relativt liten betydning. Den tredje typen usikkerhet, som er knyttet til klimamodellenes feil og forenklinger, tas også i noen grad hånd om ved bruk av flere modeller, fordi forskjellige modeller har forskjellige feil og

forenklinger. Prosesser vi ikke kjenner, og som derfor ingen modeller beskriver vil imidlertid ikke dekkes av dette (Hanssen-Bauer m.fl., 2015).

2.3 Klima og klimaprognoser for Vestfold

I september 2015 ble den oppdaterte utgaven av rapporten "Klima i Norge 2100" utgitt. Denne rapporten er utarbeidet for å gi et vitenskapelig grunnlag for klimatilpasning i Norge, og rapporten omfatter både atmosfæreklima, hydrologi, permafrost, skred og havklima. I desember samme år offentliggjorde MET, NVE og UniResearch "Klimaprofil Vestfold" (Vedlegg B) som gir et kortfattet sammendrag av klimaet, forventede klimaendringer og klimautfordringer i Vestfold fylke. Mye av innholdet i klimaprofilen er hentet fra "Klima i Norge 2100" (Hanssen-Bauer m.fl., 2015), og har fokus på endringer frem mot slutten av århundret (2071-2100) i forhold til 1971-2000.

Generelt kjennetegnes klimaet i Vestfold av milde vintre ved kysten, men kjøligere i innlandet. Sommerstid er det relativt høye temperaturer over hele fylket. Årsnedbøren er lavest ytterst på kysten, og noe høyere i indre strøk. Det forventes ikke at dette mønsteret endres vesentlig (Klimaprofil Vestfold, Vedlegg B).

Tabell 2-1 gjengir et sammendrag av forventede klimaendringer m.m. som gitt i Klimaprofil Vestfold. Det beregnes at årstemperaturen i Vestfold øker med ca. 4,5 °C, og at nedbøren øker med ca. 15 % frem mot slutten av århundret sammenliknet med perioden 1971-2000. Nedbørintensiteten vil øke på dager med kraftig nedbør, og dager med mye nedbør kommer litt hyppigere. Både temperatur og nedbørmengde beregnes å øke mest om vinteren. Nærmere informasjon om forventede nedbørsmengder er gitt i avsnitt 4.1.3 og i Vedlegg A3. Når det gjelder vind forventes ingen store endringer, men usikkerheten er stor.

Tabell 2-1: Sammendrag som viser forventede endringer i Vestfold fra 1971-2000 til 2071-2100 i klima, hydrologiske forhold og naturfarer som kan ha betydning for samfunnssikkerheten (Klimaprofil Vestfold, Vedlegg B).

Økt sannsynlighet	Mulig økt sannsynlighet	Uendret eller mindre sannsynlighet	Usikkert
	Forklaring		
Ekstremnedbør	Det er forventet at episoder med kraftig nedbør øker vesentlig både i intensitet og hyppighet. Dette vil også føre til mer overvann		
Sterk vind	Liten endring.		
Regnflom	Det forventes flere og større regnflommer.		
Snøsmelteflom	Snøsmelteflommene vil komme stadig tidligere på året og bli mindre mot slutten av århundret		
Tørke	Det forventes små endringer i total sommernedbør. Høyere temperaturer og økt fordampning kan gi økt fare for tørke i sommersesongen		
Kvikkleireskred	Økt erosjon som følge av ekstrem nedbør og økt flom i elver og bekker kan utløse flere kvikkleireskred. Vestfold er særlig utsatt for kvikkleireskred		
Steinsprang og steinskred	Hyppigere episoder med kraftig nedbør vil kunne øke hyppigheten av disse skredtypene		
Snøskred	Klimaendringene kan på kort sikt føre til økt skredfare bl. a. på grunn av regn på snødekket underlag. På lengre sikt vil snømengdene bli så redusert at faren for snøskred vil avta.		
Jord-, flom- og sørpeskred	Økt fare som følge av økte nedbørmengder		
Stormflo	Som følge av havnivåstigning forventes stormflonivået å øke		



Mye vann over veien ved Mørk, 24.12.2013 (Østlands-Posten, Foto: Andreas Bjørnøy).

3 Valg av områder og scenarier for studier av klimaeffekter

3.1 Føringer og prioriteringer

For å gjennomføre eksempelstudier av klimaeffekter på en hensiktsmessig måte ble følgende føringer og prioriteringer lagt til grunn (basert på faglige innspill fra NGI og grundige vurderinger i prosjektgruppen):

- Framskrivninger av klimaet skal baseres på klimaprognose RCP 8.5 ("business as usual" scenario, se Vedlegg A1).
- Framskrivningene skal gjøres 50 år fram i tid, dvs fram mot 2065 (i samsvar med planleggingsperspektivet i Larvik og Lardal kommuner). For enkelte områder kan en vurdere to scenarier for samme faretype, f. eks. 30 (2045) og 50 år (2065) fram i tid. Ved å inkludere flere scenarier for samme sted og faretype vil man også til en viss grad si noe om usikkerheter. Nærmeste 10-20 år er mindre interessant. For denne prioden vil naturlige variasjoner i stor grad dominere over "klimasignalet" som skyldes økt drivhuseffekt. For denne kortere tidshorisonten anbefales det derfor at man bruker oppdaterte data for "dagens klima" i stedet for framskrivninger.
- Scenariene skal ha et gjentakintervall på 200 år, dvs. ta utgangspunkt i 200-årshendelsen om 50 år. Valget av en største nominell årlig sannsynlighet 1/200 er dels basert på hva som oftest benyttes for flom og stormflo (sikkerhersklasse F2, konsekvens middels, Byggteknisk forskrift TEK10), dels på at hendelser med største nominelle årlige sannsynlighet 1/1000 som oftest benyttes for skred (sikkerhetskasse S2) ble ansett som for sjeldne med tanke på planlegging i forbindelse med klimatilpasning. Det ble dessuten vurdert som hensiktsmessig å benytte samme sannsynlighet for alle de berørte faretyper. Sannsynlighet for kvikkleireskred angis i forhold til sikkerhetsfaktor og kravene i NVE Veiledning (2014) snarere enn årlig sannsynlighet.
- I utvelgelsen av eksempelstudier prioriteres variasjon (faglig bredde) snarere enn antatt risiko knyttet til faretyper og områder. Det betyr at scenariene skal dekke ulike faretyper (f. eks. flere skredtyper), geografisk spredning og ulike typer områder (vassdrag, landbruk, by, havn, industri, turisme, osv.), samt belyse ulike typer tiltak. Det er fordelaktig med scenarier som illustrerer hvordan liknende saker kan behandles og således er overførbare til andre områder i kommunene. Videre er det fordelaktig å velge lokaliteter som dekker flere faretyper/scenarier (også med tanke på kombinerte effekter). For flom legges det også vekt på stortingsmeldingen om klimatilpasning der regjeringen ber kommunene kartlegge mindre bekker og vassdrag som ikke NVE har kartlagt
- (<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld-st-33-20122013/id725930/>)
- Scenariene skal ikke være for ekstreme (som eksempl skal man ikke studere ekstremnedbør og avrenning på uttørket mark).

- Prioriteringene baseres også på eksisterende ROS-analyser og allerede gjennomførte tiltak i Lardal og Larvik kommuner.

3.2 Geografiske områder

Basert på grundige vurderinger både hos oppdragsgiver og NGI ble geografiske områder for eksempelstudier av klimaeffekter valgt som vist og begrunnet i Tabell 3-1. Områdene er nærmere beskrevet for de enkelte faretyper i kapittel 4.

Tabell 3-1: Områder valgt for studier av klimaeffekter, med begrunnelser og kommentarer for områdene.

Faretype	Område												
	Hukstrøm bru Lardal	Odbergheset/ Hellnes	Gjønnes Gjone Fv 40	Utløp Numedalslågen - Gloppe bru - Heggdal	Holmjordet	Jordstøyp	Fritzøeparken	Utvidet område Husvann	Kvelde	Stavern Helgeroa Nevlunghavn	Revet Hølen	Indre havn/ Utløp Farris	Stavernkrysset/Veldre-Hammerdalen
Ekstrem nedbørr ¹ , Urban flom	Klimapåslag på flom på 20% ² a), b), c)	Klimapåslag på flom på 20% ² a), b), c)	Klimapåslag på flom på 20% ² a), b), c)	Klimapåslag på flom på 20% ²	a), b), c)	a), b), c)	a), b), c)	a), b), c)	a), b), c)	Klimapåslag for 200-års stormflonivå	Klimapåslag for 200-års stormflonivå		Urban flom
Skred	Kvikkleire	Demning, kraftverk Erosjon, sand grunnvann (også ved Husvann)			Utgår Kvikkleire Boliger, risiko, tiltak	Steinsprang	Kvikkleire Fokus på boligene i overkant	Utvasking, Åkre, raviner ³	Kvikkleire Kun kvalitativ studie				
Flom ²	Uten ytterligere oppmåling, kort strekning	Uten ytterligere oppmåling, eksempelstudie	Uten ytterligere oppmåling, eksempelstudie	Trenger tverrprofiler. Interaksjon med stormflo	Trenger ikke ytterligere oppmåling								
Stormflo Havnivåstigning ⁴				Interaksjon med flom ⁵	Tas med som del av totalstudien; ikke detaljert					3 områder	2 områder	Stormflo Havnivåstigning	

- 1) Bidrar med input til andre scenarier/områder
- 2) Etter anbefaling fra Klimaprofil Vestfold (Vedlegg B)
- 3) Se på erosjon i raviner og benytte nedbørstatistikk (ikke flomstatistikk)
- 4) Havnivåstigning på 15 cm (mot 2065)
- 5) Stormflo dominerer over smelteflom/nedbørsflom i nedre deler.

- a) Våtere vintre (des jan feb): 16% våtere i 2045 enn for perioden 1971-2000 (medianverdi) med spenn mellom 2.5% og 29% våtere; 17% våtere i 2046 enn for perioden 1971-2000 (medianverdi) med spenn mellom 10% og 27% våtere.
- b) Våtere vår (mars april mai): 17% våtere i 2045 enn for perioden 1971-2000 (medianverdi) med spenn mellom 2% og 20% våtere; 21% våtere i 2065 enn for perioden 1971-2000 (medianverdi) med spenn mellom 7% og 31% våtere.
- c) Vintre med 82% flere dager med kraftig nedbør (i perioden 2031-2060) pluss 12% økt nedbør (i forhold til referanseperioden 1971-2000) på en slik dag.



Skred ved Hedrumveien i Larvik, 24.12.2013 (Østlands-Posten, foto Knut Utklev).

4 Nærmere beskrivelse av valgte scenarier, analyser og resultater; forslag til tiltak for studieområdene

4.1 Identifisering av uønskede hendelser/scenarier ved klimaendringer

4.1.1 Valgte uønskede hendelser

Etter diskusjoner i prosjektgruppen kombinert med hva som fremheves i endelig Klima-profil Vestfold (Vedlegg B) var det enighet om å fokusere på følgende fem «uønskede hendelser»:

1. Ekstreme nedbørsmengder på kort tid – urbanflom
2. Ekstreme nedbørsmengder over 2-3 dager – flom i Numedalslågen.
3. Stormflo kombinert med havnivåstigning og kraftig nedbør i forhold til bebyggelse langs kysten. Stormflo omtales i avsnitt 4.4.
4. Stor erosjon langs Numedalslågen (store mengder sand/masse ut i elva) med økte nedbørsmengder.

5. Kvikkleireskred på bakgrunn av ekstreme nedbørsmengder, også i nærheten av bebyggelse. Omtales for Fritzøeparken (avsnitt 4.2.3.3) og Kvelde (avsnitt 4.2.3.2).

Framtidige nedbørsscenarier og sesongvariasjoner er beskrevet i avsnitt 4.1.3. Det første scenariet med urban flom er beksrevet i avsnitt 4.1.4. Scenariene 2-5 er hovedsakelig benyttet som input til de øvrige faretypene (avsnitt 4.2 - 4.4).

4.1.2 Månedsnormaler for nedbør for referanseperiodene 1961-1990 og 1971-2000

Basert på data tilgjengelig i eKlima (internett-portal som gir tilgang til Meteorologisk institutts vær- og klimadata fra historiske data til sanntidsobservasjoner) ble månedsnormaler for nedbør for stasjonene Lardal-Hærland, Hedrum og Larvik (Tabell 4-1) beregnet for referanseperiodene 1961-1990 og 1971-2000 (Vedlegg A2, Tabell A2-1 og Tabell A2-2). En kort forklaring av vanlige referanseperioder er gitt i Vedlegg A2.

Tabell 4-1: Metainformasjon meteorologiske stasjoner i prosjektområdet (eKlima).

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	I drift fra	I drift til	Hoh	Breddegrad	Lengdegrad
27920	LARDAL - HÆRLAND	nov 1972	des 2002	121	59.4173	9.9438
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	jul 1895		31	59.1960	9.9641
30000	LARVIK	jun 1883		28	59.0530	10.0272

I tillegg til stasjonene ble det definert 13 punkter ved eller i nærheten av skredkartleggings- og flomberegningsområdene. For disse 13 punkter ble nedbørverdier hentet ut fra et datasett med interpolerte døgnverdier av observert nedbør og temperatur som er tilgjengelig for perioden 1957 til i dag (Tveito m.fl., 2005; Jansson m.fl., 2007; Mohr, 2009). Datasettet har en oppløsning på 1 km og brukes operasjonelt på Internett-portalene seNorge (<http://www.senorge.no>) og xgeo (<http://xgeo.no>). Det er en del usikkerheter knyttet til det interpolerte datasettet. Dette gjelder spesielt i områder med kompleks topografi og få stasjoner. Engeset m.fl. (2004b) fant at nedbør overestimeres i høyereliggende områder, og underestimeres i visse lavereliggende områder. Likevel gir datasettet mulighet til å beregne framtidige nedbørsestimater i områder uten stasjoner.

Basert på nedbørverdiene hentet fra ovennevnte datasett ble det for disse 13 lokaliteter beregnet månedsnormaler for nedbør for referanseperiodene 1961-1990 og 1971-2000 (Vedlegg A2, Tabell A2-1 og Tabell A2-4).

4.1.3 Framtidige nedbørsscenarier

Forventet utvikling av nedbør tilsier at både årsnedbør, antall dager med kraftig nedbør samt nedbørmengden på dager med kraftig nedbør vil øke. Dager med kraftig nedbør defineres som 99.5 persentilen, dvs. dager med mer nedbør enn det som i gjennomsnitt

overskrides ca. to ganger pr. år. For årstider (med ca. 90 døgn) blir det sjeldnere (pers. komm. E. Førland, 17.2.2016).

Mot slutten av århundret regnes det for Norge som helhet med en dobling av dager med kraftig nedbør og en økning i nedbørmengden på dager med kraftig nedbør på 19 %. Økningen i intens nedbør for kortere varigheter enn ett døgn kan også bli større (anslagsvis 30 % for 3-timers nedbør med 5 års gjentakintervall for klimaframskrivningsscenario "business as usual", RCP8.5).

Framtidige forventede nedbørsendringer for Østlandet for årene 2045 og 2065 gjengitt i denne rapporten er hentet fra Norsk klimaservicesenter (<https://klimaservicesenter.no>). Nærmere beskrivelse av portalen og hvordan dataene derfra hentes ut er gitt i Vedlegg A3. Tabell 4-2 viser framtidige forventede nedbørsendringer i prosent for Østlandet for hhv. året 2045 og 2065. Det er viktig å få med seg at økning av både temperatur og nedbør er ventet å variere mellom sesongene, med størst økning om vinteren.

Tabell 4-2: Forventet nedbørsøkning per sesong (i %) med utslippsscenario "business as usual" - RCP8.5. Scenario middels = medianverdi fra en rekke regionale klimamodelleringer, scenario lav (10 persentil) og høy (90 persentil) indikerer spredning mellom lav og høy klimaframskrivning (<https://klimaservicesenter.no>).

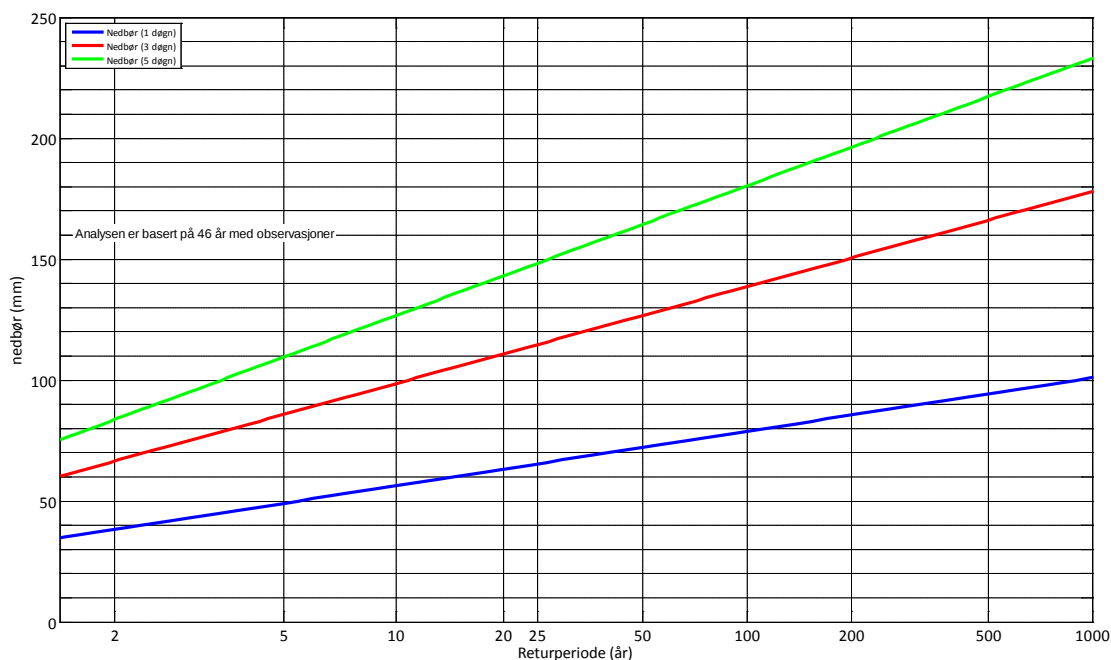
2045	Sesong			
Scenario	DJF	MAM	JJA	SON
lav	2.5	2.0	-5.0	-4.8
middels	16.1	16.2	3.2	4.8
høy	29.0	20.0	15.5	17.5

2065	Sesong			
Scenario	DJF	MAM	JJA	SON
lav	10.0	7.0	-7.5	-5.5
middels	16.7	21.5	2.1	7.4
høy	27.0	31.0	20.0	16.5

Basert på disse tallene for forventet nedbørsøkning og med månedsnormaler for nedbør for referanseperioden 1971-2000 som utgangspunkt ble det beregnet forventet nedbør i mm for årene 2045 og 2065. Dette ble gjort både for stasjonene (Vedlegg A3, Tabell A3-1 og Tabell A3-2) og for de 13 lokaliteter med seNorge-grid data (Vedlegg A3, Tabell A3-3 og Tabell A3-4). Disse tallene er utgangspunktet for vurdering av framtidig skredproblematikk (avsnitt 4.2).

I tillegg ble ekstremverdistatistikk for disse tre stasjoner som er tilgjengelig i eKlima brukt til å definere inputverdier for 1-, 3, og 5-døgnsnedbør til skredberegningene, bl.a. for å definere gjentakintervaller (Figur 4-1 og Vedlegg A4) i Fritzøeparken/Rosendal (4.2.3.4) og ved Kvelde (4.2.3.5). Som en kan se i Tabell 4-3 ble høyeste 1-døgnsnedbør

ved Larvik stasjon registrert 16.7.2005. Hendelsen i september 2015 som ble nevnt under befaring november 2015 er sjuende høyeste hendelse i perioden 1971-2016 når det gjelder 1-døgnsnedbør, og fjerde høyeste hendelse for 3- og 5-døgnsnedbør. Hendelsene med høyeste 1-, 3-, og 5-døgnsnedbør inntraff hhv 16.7.2005, 16.10.1976 og 17.10.1976.



Figur 4-1: Gjentaksintervaller for 1-, 3-, og 5-døgns nedbør for stasjonen Larvik basert på perioden 1971-2016 (eklima).

Tabell 4-3: Ti høyeste verdier for bl.a. 1-, 3-, og 5-døgns nedbør (= hhv RR1, RR3 og RR5) målt ved stasjonen Larvik i perioden 1971-2016 (eklima).

TA (°C)		FF (m/s)		RR1 (mm)		RR3 (mm)		RR5 (mm)		SA (cm)	
Verdi	Dato:	Verdi	Dato:	Verdi	Dato:	Verdi	Dato:	Verdi	Dato:	Verdi	Dato:
0.0	15/02/2016	0.0	15/02/2016	87.0	16/07/2005	137.4	16/10/1976	185.4	17/10/1976	30.0	27/03/2015
0.0	14/02/2016	0.0	14/02/2016	81.0	24/06/2003	132.5	30/08/1986	173.4	18/10/1976	18.0	26/03/2015
0.0	13/02/2016	0.0	13/02/2016	80.0	23/10/2002	123.6	14/08/2008	172.9	16/10/1976	5.0	24/02/2015
0.0	12/02/2016	0.0	12/02/2016	79.0	14/08/2008	122.1	18/09/2015	153.7	18/09/2015	2.0	30/01/2015
0.0	11/02/2016	0.0	11/02/2016	76.0	06/08/1985	121.1	17/09/2015	145.1	14/08/2008	0.0	15/02/2016
0.0	10/02/2016	0.0	10/02/2016	74.5	07/09/2011	120.0	11/09/2011	141.5	31/08/1986	0.0	14/02/2016
0.0	09/02/2016	0.0	09/02/2016	73.8	02/09/2015	119.4	15/10/1976	139.5	11/09/2011	0.0	13/02/2016
0.0	08/02/2016	0.0	08/02/2016	66.0	24/11/2014	118.0	29/08/1986	138.0	30/08/1986	0.0	12/02/2016
0.0	08/02/2016	0.0	08/02/2016	63.0	28/08/1986	109.0	07/10/2004	136.5	26/10/2002	0.0	11/02/2016
0.0	08/02/2016	0.0	08/02/2016	62.0	14/08/1994	109.0	17/10/1976	136.0	01/09/1986	0.0	10/02/2016

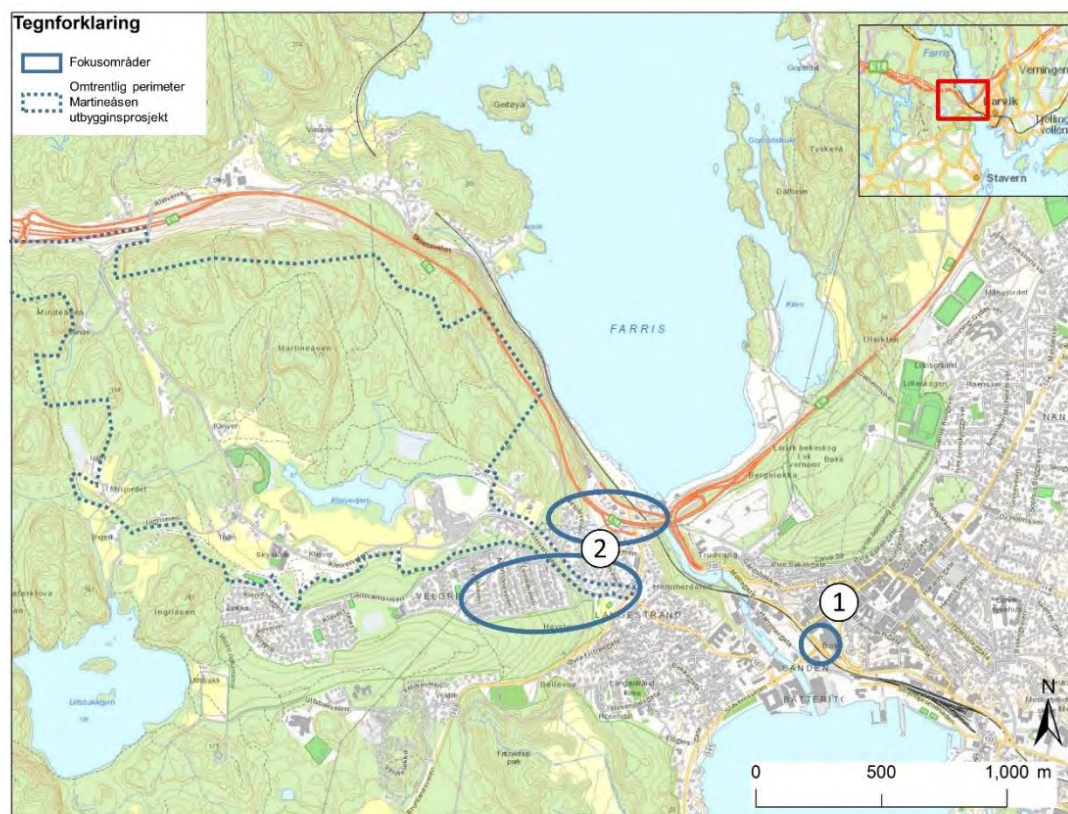
4.1.4 Urban flom

4.1.4.1 Bakgrunn

Overvann og urban flom skyldes i hovedsak intense nedbørsepisoder. I byområder med stor andel tette flater vil avrenningen primært foregå på overflaten og gjennom dreneledningsnett. Dersom nedbørsmengden overstiger kapasiteten i drenelednings-nettet eller tilgangen til dette er begrenset, for eksempel på grunn av tette sluk, kan det bli oversvømmelser. I Hanssen-Bauer m.fl. (2015) og "Klimaprofil Vestfold" (Vedlegg B) er det presisert at utfordringene med overvann kan bli større enn i dag som en konsekvens av at episoder med kraftig nedbør ventes å øke vesentlig både i intensitet og hyppighet. I Vestfold, der store deler av befolkningen er konsentrert langs kysten og i byer med stort arealpress, er det derfor særlig viktig å ta hensyn til dette i overvannsplanleggingen.

Kommunen har valgt to områder for eksempelstudier med overvann i bebygde områder (Figur 4-2):

- 1) Stavernkrysset
- 2) Veldre/Farriseidet, respektive Hammerdalen (jernbane); i den forbindelse er utbyggingsprosjektet Martineåsen også relevant.



Figur 4-2: Fokusområder i Larvik kommune for uønsket hendelse "urban flom".

- Område 1): Stavernkrysset (lokalt også omtalt som Farriskrysset): knutepunkt mellom Rv303 (Sandefjord–Larvik) og Rv301 (som forbinder Larvik med bl.a. Stavern) og mellom Larvik øst og Larvik vest. Figur 4-3 viser situasjonen ved krysset under en intens nedbørhendelse høsten 2012. Overvannsproblematikken ved Stavernkrysset kommer trolig til å øke i betydning i forbindelse med planlagt utvidelse av byområdet Martineåsen (for beskrivelse av dette utbyggingsprosjekt se: Larvik kommune, 2015). Ifølge Larvik kommune (pers. komm. Kommunalteknikk, 28.1.2016) er det største problemet ved Stavernkrysset tiltetting av rister på slukene og at ansvar for vedlikehold av slukene ikke ligger hos kommunen, men hos Statens Vegvesen. Kumlokket som ligger lavest har kotehøyde 1,77 m.o.h. målt på kumlokket. Bunnivå på overvannsledningen i denne kummen er på 0,43 m.o.h. Det er med andre ord veldig liten høydeforskjell på bunnledning og vannspeilet i elven, noe som gir lav strømningshastighet. Utløpet ligger under vannspeilet slik at fallet på ledningen blir noe større, men samtidig kan elven stå noe opp i røret (spesielt ved høy vannføring), noe som bremser strømmingen. Av erfaring har det blitt vesentlig færre hendelser i Stavernkrysset etter at et dårlig sluk ble byttet og ny overvannsledning ble lagt i 2008. Likevel er det tiltetting av rister på slukene som ofte er utslagsgivende. Bark fra skråningen ved Farrisfabrikken kan fort tette både sluket ved kum med SID-nummer 2945 og det øvrige ledningsnett nedstrøms. Å holde slukene åpne er avgjørende for om systemet holder unna eller ikke. Overvannsledningen har dimensjonen 400 mm, noe som burde være mer enn nok for de få slukene som er tilknyttet, men kombinasjonen av lite fall, mottrykk fra elva og ikke minst tilstopping av rister på slukene gjør at opphoping av vann kan forekomme under store nedbørsmengder.



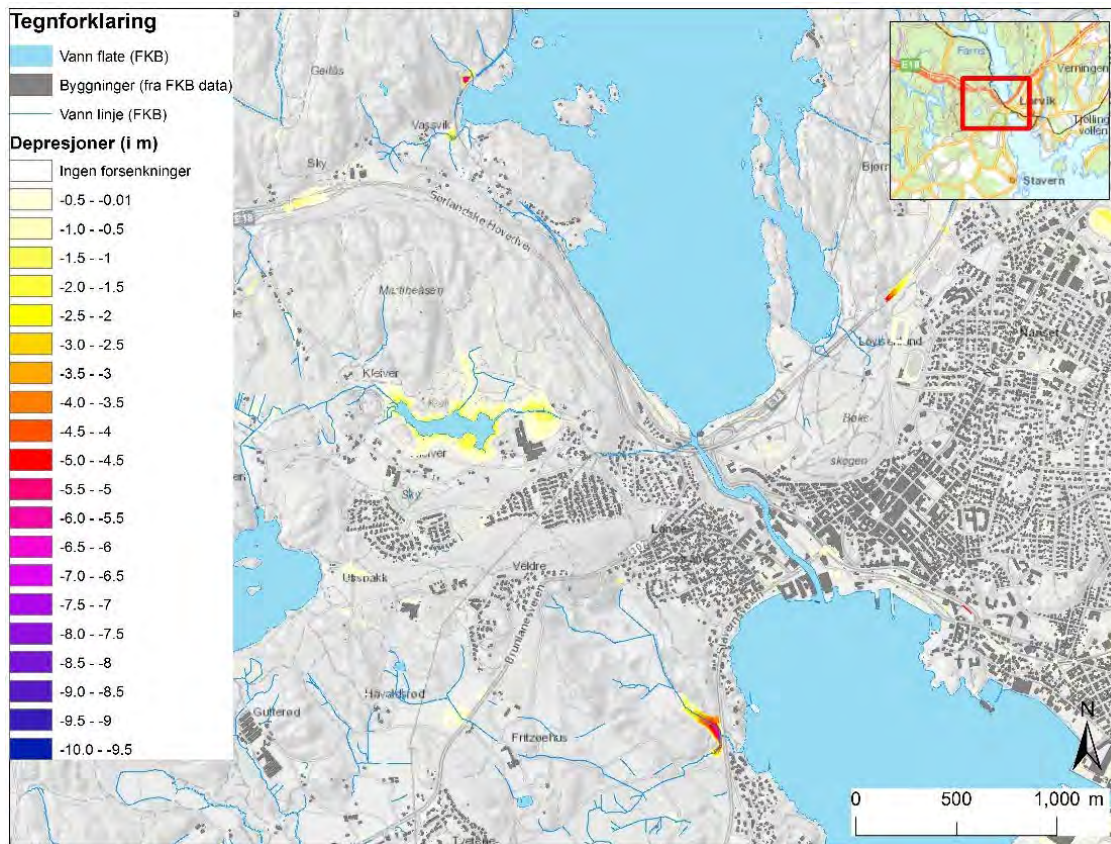
Figur 4-3: Oversvømmelse ved Stavernkrysset, 29.6.2012 (Østlandsposten, foto: Kari Goverud).

- Område 2): Veldre/Farriseidet–Hammerdalen: Fritzøe Verk og Hammerdalen er regnet som et av Norges første industriområder og har høy nasjonal verdi som kulturmiljø. Jernbanen krysser gjennom området mellom bruene over Farriselve i sør og E18 i nord. Bekymringen fra kommunens side er at det ved store vannmengder ned i Hammerdalen kan oppstå utfordringer med skred (mot bl.a. jernbanen) og at utbyggingsprosjektet "Martineåsen" potensielt vil føre til en forsterkning av problematikken. Overvannstematikk må således håndteres i alle fasene av dette utbyggingsprosjektet.

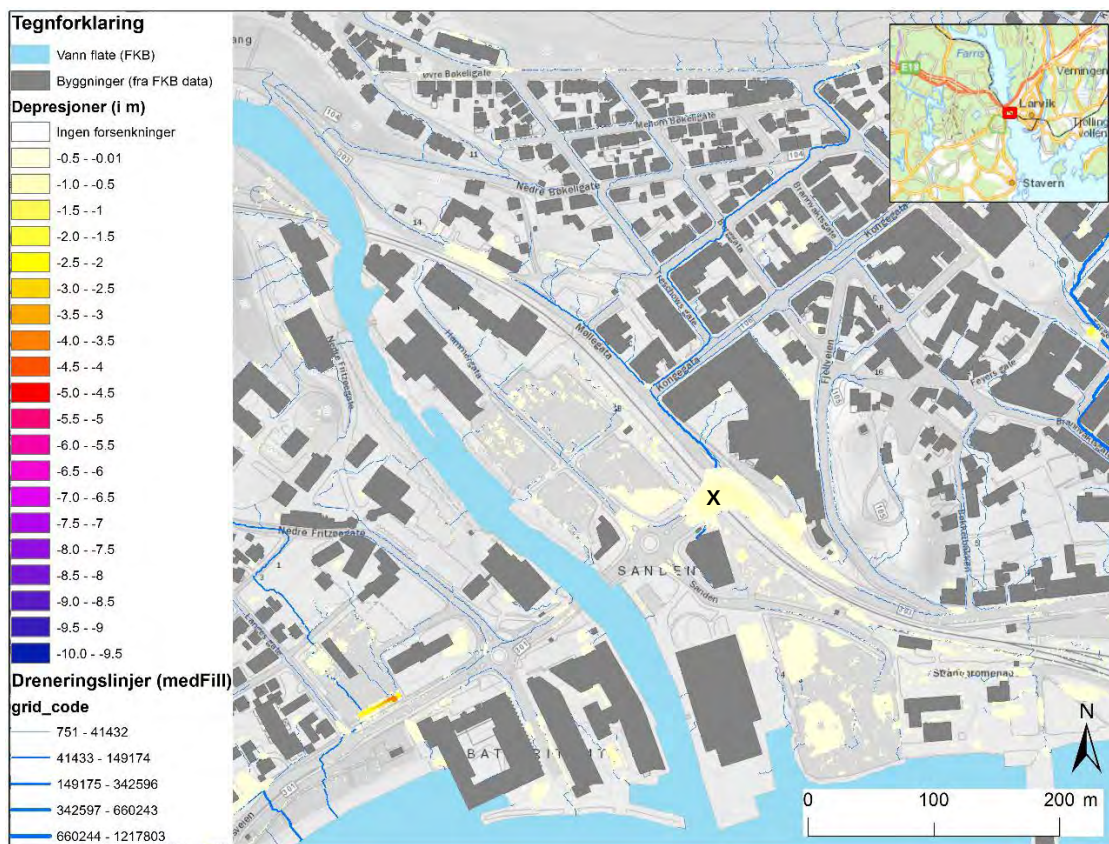
4.1.4.2 Kartlegging av terrengforsenkninger og volumberegning for potensielt oppdemmete vannmasser

Fra en tidligere overvannsanalyse foreligger det urbane dreneringslinjer (også kalt flomveier) for Larvik sentrum (samt for Kvelde). For å generere urbane dreneringslinjer ble det gjennom en terrenganalyse beregnet hvordan vannet ville drenere ut fra terrengform og helning. Det ble benyttet en terrengmodell med 1 m romlig oppløsning basert på lasermålinger fra 2010. Dreneringslinjer er dermed en ren terrenganalyse og det er ikke tatt hensyn til vannmengder, overflatens beskaffenhet, drensledningsnett, kulverter, stikkrenner og lignende. Dreneringslinjene kan derfor betraktes som en beskrivelse av hvordan vannet vil drenere dersom alle kulverter, stikkrenner og rørsystemer hadde vært utilgjengelige. Erfaring fra episoder med kraftig nedbør i bl.a. Oslo kommune viser at vannet i all hovedsak søker mot- og følger dreneringslinjene. Flomfare i andre områder kan likevel ikke utelukkes, så slike beregninger må derfor kun brukes som et utgangspunkt for videre undersøkelser.

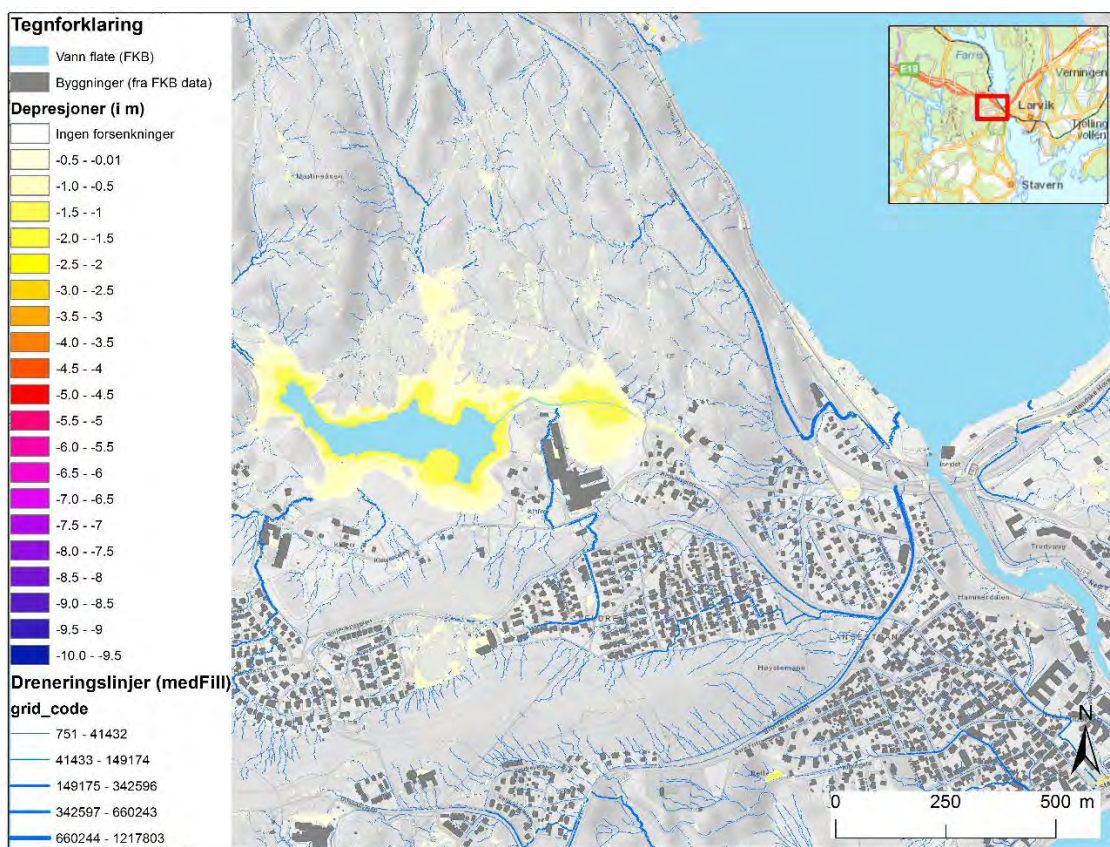
Med ovennevnte terrengmodell som utgangspunkt er det laget kart som viser naturlige forsenkninger der det under en situasjon med mye nedbør vil kunne demmes opp til dels betydelige vannmengder. Figur 4-4 til Figur 4-6 viser resultatene i et oversiktskart, respektive detaljkart for hvert av de to fokusområdene. I et neste steg ble volumet til disse forsinkingene beregnet. Figur 4-7 til Figur 4-9 viser igjen resultatene i et oversiktskart, respektive detaljkart for hvert av de to fokusområdene. Ved å benytte disse kartene (eller snarere deres digitale representasjon i GIS) og kombinere dem med skadedata fra forsikringsbransjen kan en finne hvor det har vært overvannsskader innenfor disse områdene. Kartene/dataene gjør det også mulig å estimere hvor langt tid det tar for en gitt nedbørsmengde å fylle disse forsinkingene. Sammen med registrerte overløp og kapasitetsberegninger for avløpsnett kan dette så benyttes som et prioriteringsgrunnlag for videre detaljkartlegging.



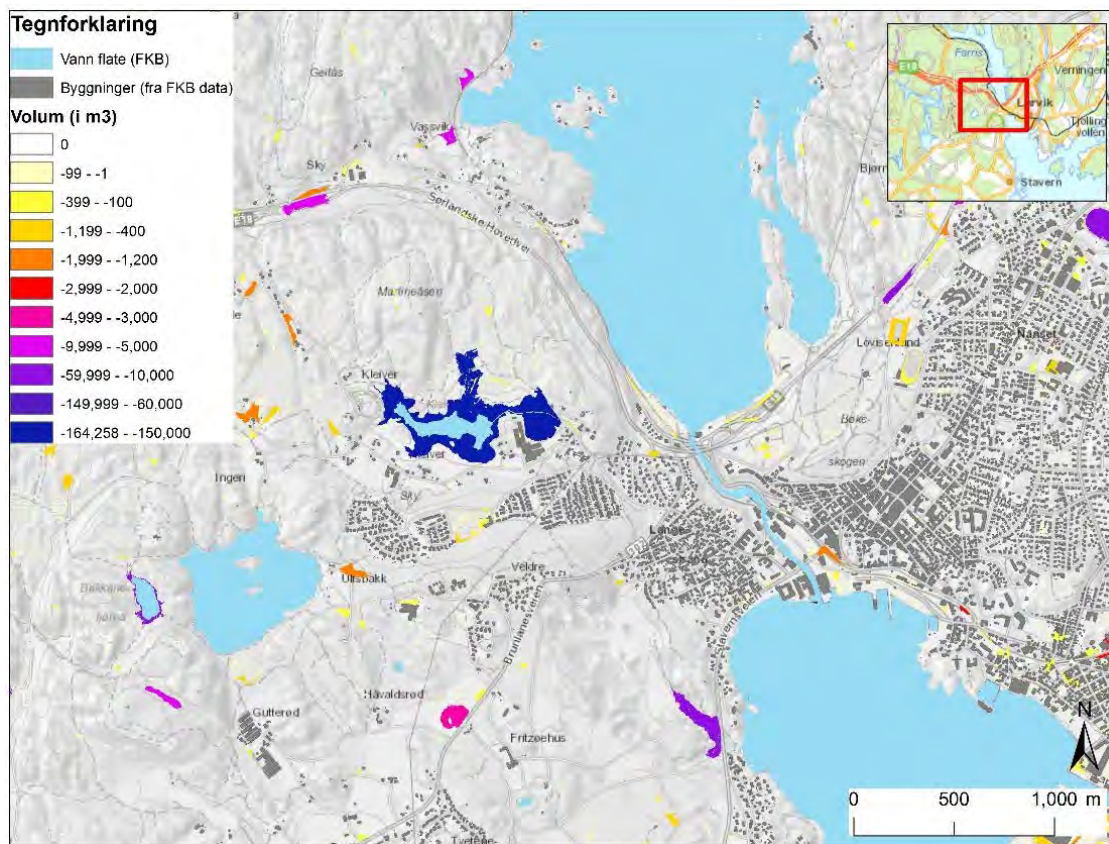
Figur 4-4: Naturlige forsenkninger i terrenget som kan føre til oppdemning av vann under intense nedbørshendelser (oversiktskart). Fargeskala indikerer dybden av forsenkningene fra nær null meter (lysegul) til opp mot ti meter (lilla).



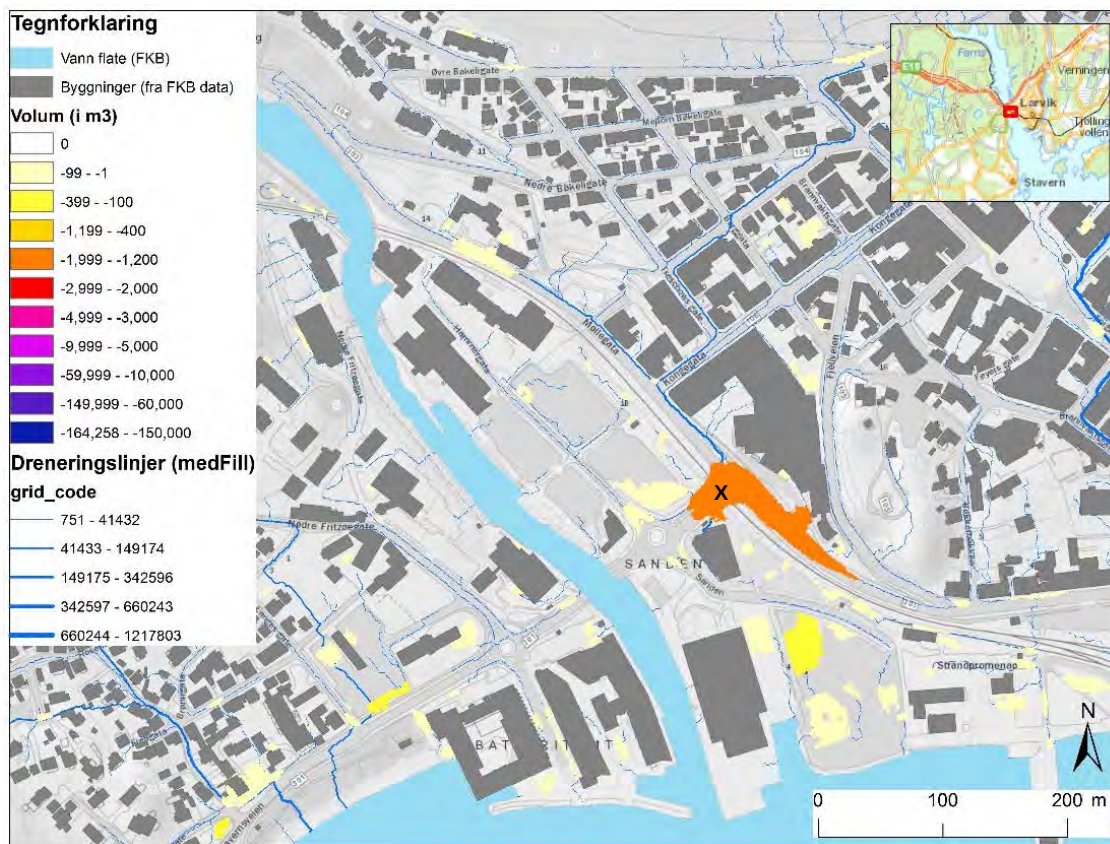
Figur 4-5: Detaljkart over naturlige forsengkninger for fokusområdet Stavernkrysset (Larvik sentrum). Stavernkrysset er markert med sort kryss. Fargeskala indikerer dybden av forsengkningene fra nær null meter (lysegul) til opp mot ti meter (lilla).



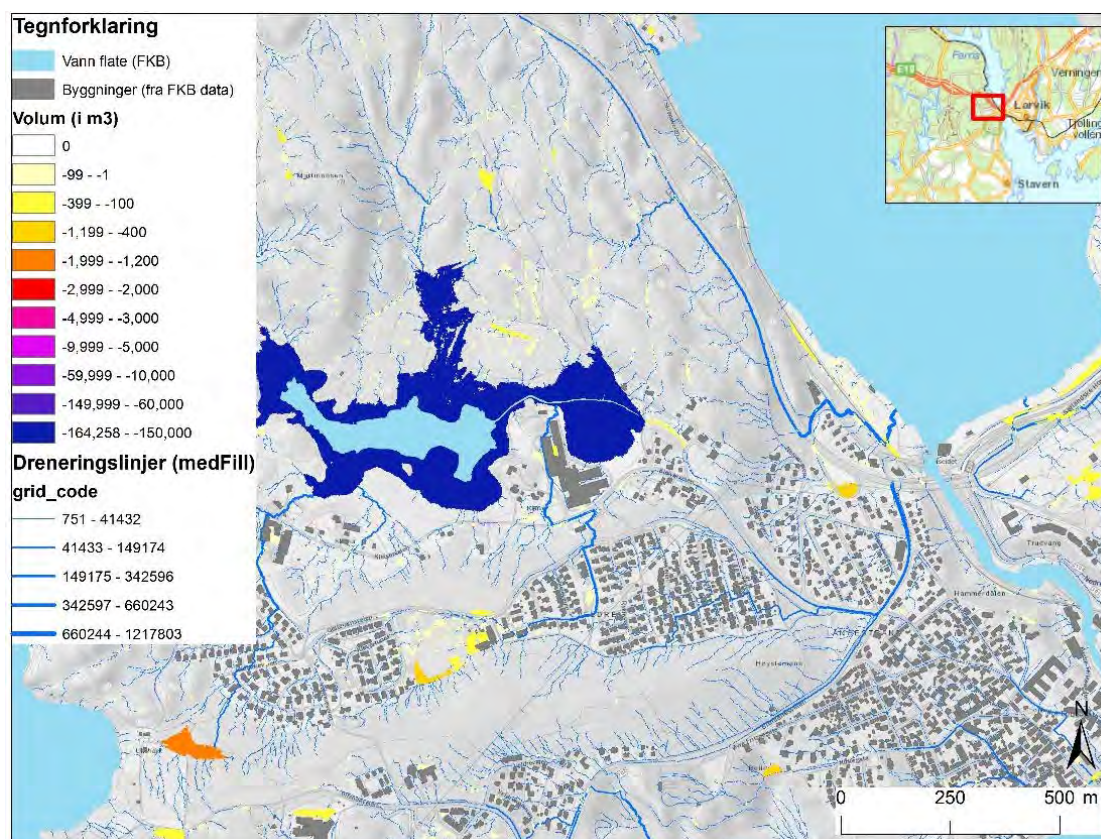
Figur 4-6: Detaljkart over naturlige forsengkninger for fokusområdet Veldre/Farriseidet-Hammerdalen og i sørlige del av planlagt nytt byområde ved Martineåsen. Fargeskala indikerer dybden av forsengkningene fra nær null meter (lysegul) til opp mot ti meter (lilla).



Figur 4-7: Volum til naturlige forsenkninger i terrenget som kan føre til oppdemning av vann under intense nedbørshendelser (oversiktskart). Fargeskala indikerer volumet av forsenkningene fra 1-99 m³ (lysegul) til opp mot 150 000 m³ (lilla).



Figur 4-8: Detaljkart over forsengkningenes volum for fokusområdet Stavernkrysset (Larvik sentrum). Stavernkrysset er markert med sort kryss. Fargeskala indikerer volumet av forsengkningene fra 1-99 m³ (lysegul) til opp mot 150 000 m³ (lilla).



Figur 4-9: Detaljkart over forsengkningenes volum for fokusområdet Veldre/Farriseidet-Hammerdalen og i sørlige del av planlagt ny byområde ved Martineåsen. Fargeskala indikerer volumet av forsengkningene fra 1-99 m³ (lysegul) til opp mot 150 000 m³ (lilla).

4.1.4.3 Tiltak

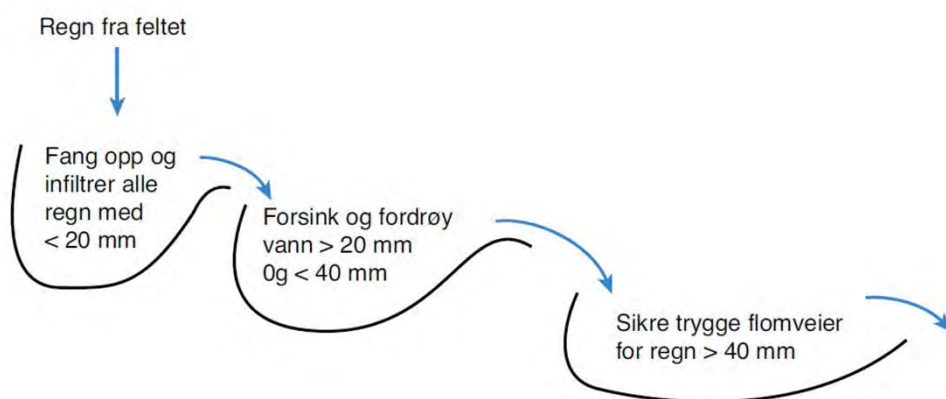
Forventede klimaendringer og økt fortetting vil kunne medføre en økning i avrennings-toppene forårsaket av regn eller snøsmelting. Dreneringsveier (eller flomveier) er de veiene vannet vil ta ved ekstreme avrenningshendelser der det normale avrennings-systemet (rør, bekkeløp m.m.) ikke har tilstrekkelig kapasitet. For å ivareta sikkerhet og forebygge skader er det viktig å ha fungerende dreneringsveier. Behovet for etablering av nye, eller bevaring av eksisterende dreneringsveier må derfor tas hensyn til i arealplanlegging.

Larvik kommune har utarbeidet en kommunal utredning (KOU 2013:2 Vann og avløp 2014-2017) for å gi et godt faglig grunnlag for politiske og administrative vedtak knyttet til fagtemaet "vann og avløp". Larvik kommunes overvannsstrategi er beskrevet i dette dokumentet. Utgangspunktet for valg av strategi er at:

1. Overvannet skal håndteres slik at tilfredsstillende sikkerhet for liv, helse og miljø oppnås. Vannforurensning skal reduseres.

2. I bebygde områder skal overvann i størst mulig grad tas hånd om ved kilden slik at vannbalansen lokalt opprettholdes.
3. I den grad det er praktisk mulig skal overvannet håndteres på overflaten og utnyttes som et positivt landskapselement - dette gjelder særskilt i nye utbyggingsområder.

Det legges opp til å følge Norsk vanns treledds-strategi (Norsk Vann, 2014) for håndtering av nedbør (angitt som mm pr døgn ved sommerforhold) for å forebygge skader og redusere risiko knyttet til flom:



Illustrasjon av treledds-strategi for håndtering av nedbør. Tallene er eksempler og må tilpasses lokalt. (Kilde: Lindholm et al., 2008 i Norsk Vann, 2014)

I praksis dekkes de to første leddene av følgende tiltak/strategier:

- Ved dimensjonering av nye avløpssystemer legges det inn en sikkerhetsmargin på 40 %. Dette gjelder for dimensjoneringskurver for regnvær basert på historiske data. Påslaget gjøres for å møte klimaendringene.
- Takvann tilkoblet avløpsledningsnett tillattes ikke lenger, med mindre det er søkt særskilt om tillatelse til dette. Kommunen vil også gå aktivt inn i enkeltområder for å pålegge frakobling av takvann for å redusere faren for tilbakeslag fra eksisterende ledningsnett.
- Gjennom utbyggingsavtaler for nye områder settes det krav til håndtering av overvann. Kravet er at overvann i størst mulig grad skal infiltreres i grunnen eller føres til naturlige vannveier (bekker, grøfter, osv.). Øvre grense for påslipp av overvann til kommunalt nett settes til 1 liter pr. sek pr. dekar. Vurdering foretas i hvert enkelt tilfelle.

Tradisjonelt har utfordringer knyttet til overvann blitt håndtert av kommunalteknikk alene. Det legges opp til et tverrfaglig samarbeid om overvann. Håndtering av overvann må i større grad inn i arealplanlegging og byggesaksbehandling. Hensikten er å forebygge skader og å utnytte overvann som en ressurs. Rutiner for samarbeid skal utvikles med bakgrunn i veiledning gitt ut av "Norsk vann" (Norsk Vann, 2008).

Overvannshåndtering er allerede en del av Larvik kommunes VA-norm der det presiseres at overvann fortrinnsvis skal håndteres lokalt. Der hvor fordrøyningsmagasin benyttes skal dette dimensjoneres for hvert enkelt tilfelle. Påslipp av overvann til kommunalt nett skal ikke overstige 1 liter pr. sek. pr. dekar. For arealer mindre enn 5 dekar kan påslippet være inntil 5 liter pr. sek. Overvannsanleggene skal tilfredsstille de krav kommunen setter og konstrueres slik at de lett kan driftes og vedlikeholdes. Pukkmagasiner eller lignende som er utsatt for gjentetting aksepteres derfor ikke.

I følge rapporten "Klimahjelperen" (DSB, 2015) bør kommunene utforme bestemmelser knyttet til håndtering av overvann i kommuneplanens arealdel (overvann skal håndteres lokalt på overflaten). Det anbefales å kartlegge sårbare områder i forbindelse med areal-ROS/konsekvensutredning. Kommunen bør – i tillegg til å kartlegge dreneringsveier – skaffe seg god oversikt over ledningsnett, stikkrenner, bekkelukninger, kulverter m.m. Hvis kommunen har en overvannsstrategi/temaplan for VA, bør dette innarbeides i kommuneplanens arealdel. Dette vil gi et godt grunnlag for å ivareta hensynet til god overvannshåndtering i forbindelse med reguleringsplaner og i enkeltvedtak i byggesaker. Det er viktig med gode samarbeidsrutiner mellom VA og plan.

Under gis det en liste over aktuelt lovverk og nyttige veiledere og retningslinjer i forbindelse med håndtering av overvann:

- Lovverk:
 - Plan og bygningsloven
 - Vannressursloven § 7
 - Forurensningsloven, § 24
- Veiledere og retningslinjer:
 - Norsk Vann Rapport 162/2008: Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering (må kjøpes)
 - Norsk Vann Rapport 190/2012: Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer (kan lastes ned fra norskvann.no)
 - Norsk Vann Rapport 200/2014): Håndtering av overvann fra urbane veger (kan lastes ned fra norskvann.no)
 - Skjema for kartlegging (Vedlegg C) fra Klimahjelperen (DSB, 2015)

Larvik kommune har allerede gjort mye viktig forarbeid på vei til en helhetlig og tverrfaglig håndtering av overvann (se ovenfor). NGI ønsker å understreke kommunens oppfatning av at det trenges spesielt fokus på overvannshåndtering i forbindelse med utbyggingsprosjekter som "Martineåsen". Prosjektet er forventet å føre til store endringer i dagens terreng. Dette vil videre medføre betydelige endringer i avrenning og overvannssituasjoner også rundt og nedenfor selve utbyggingsområdet.

Det er viktig å påpeke at statlige infrastructureiere må ha oversikt over status på sine sluk, kulverter og bruer, og fortløpende vurdere behovet for oppgradering av disse. Der det ligger til rette for det, bør kartleggingen i regi av kommuner og statlige aktører samordnes (Meld. St. 33 (2012–2013)).

4.2 Skredvurderinger i utvalgte områder

4.2.1 Bakgrunn

Løsmassene i Larvik og Lardal kommune er dominert av hav- og fjordavsetninger (marin leire), fluviale og glasifluviale avsetninger (Figur 4-10). Marin grense varierer fra ca. 140 m over dagens havnivå sør i Larvik opp til ca. 160-170 m i nordre deler av Lardal. Langs Numedalslågen er det store områder med marine avsetninger, og tykkelsen av sedimentene er mange steder flere 10-talls meter. De mektigste leiravsetningene er i de sentrale delene av dalene. Her finner en sammensetninger av leire og sorterte sand- og grusavsetninger. Raet går gjennom de sørlige deler av Larvik kommune i nordøstlig-sørvestlig retning. Kvikkleiresonene ligger enten like sør for raet eller langs Numedalslågen.

Løsmasseavsetningene langs Numedalslågen er stedvis oppskåret av skred og raviner og ender flere steder i bratte skrenter. Landskapet er lokalt ravinert og det har gått noen store skred i området. Lokalt foregår det aktiv erosjon enkelte plasser. Historisk har det gått flere løsmasseskred i Lardal og Larvik kommune, bl.a. jordskred ved Abyfoss (1622), Farrisskredet (1653), Nordre Hjerpeland (1802), Bjertnes (1880), Bøkeskogen (1976) og Rimstadmoen (1990). Kjente leirskredhendelser inkluderer bl.a. skredet i 1937 ved Holmfoss og i 1940 ved Åsrum. Høsten 1994 var det en mindre utglidning ved Holmjordet, og etter mye nedbør høsten 2000 var det flere mindre utglidninger langs Numedalslågen, bl.a. skred ved Stubberud, Bergene, Lardal Prestegård og ved Rønningen. Flere av disse skredene skyldes trolig oppbløting av toppmassene samt oppbygging av poretrykk i grunnen etter store nedbørsmengder.

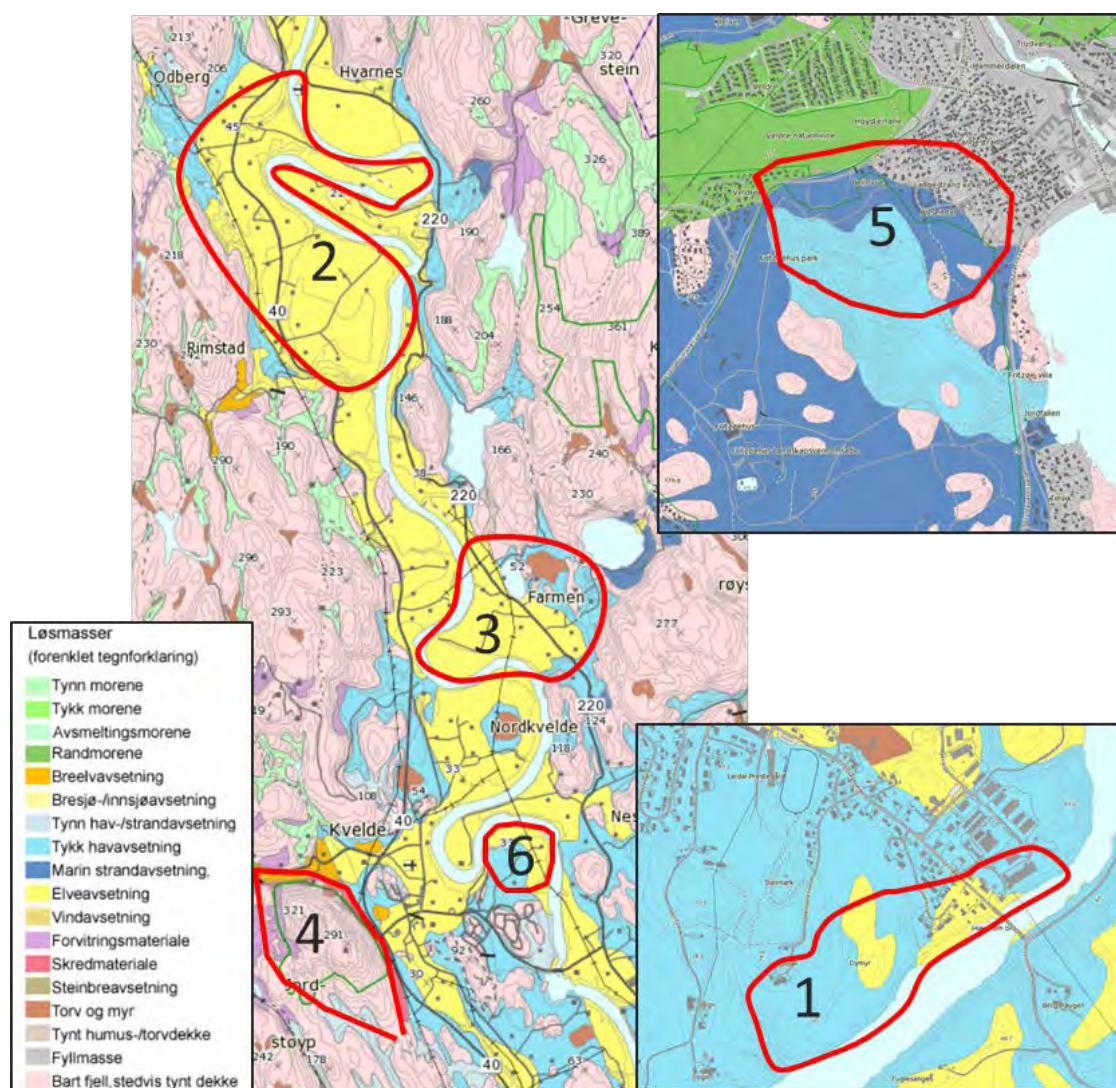
Deler av landskapet i Larvik og Lardal kommuner er preget av bratte og delvis oppsprukne fjellsider erodert etter flere istider. Det registreres årlig mindre steinsprang og steinskred i disse fjellsidene samt langs veibaner i området. I 2013 var det en større steinskredhendelse ved Jordstøyp i Kvelde. Det ble også registrert steinsprang i området 21. mars 2016.

Larvik og Lardal kommune er utsatt for flere typer skredprosesser. De viktigste typene er i) leire- og kvikkleireskred, ii) jordskred og iii) steinsprang/steinskred. For å gi en vurdering av klimatilpasning i forhold til ulike skredtyper, er det valgt ut noen områder og skredtyper i samarbeid med Larvik og Lardal kommuner (jfr. avsnitt 3.2). Disse områdene er presentert i Tabell 4-4 Valgte områder for vurdering av klimatilpasning i forhold til skredtype, og avgrenset på det kvartærgeologiske kartet i Figur 4-10.

I avsnitt 4.2.2 gis det en kort beskrivelse av de forskjellige skredtypene, også i forhold til klimaendringer. Deretter presenteres det en vurdering av skredfaren med forslag til tiltak for hvert området i avsnitt 4.2.3. Detaljert resultater fra grunnundersøkelser, samt input og beskrivelse av grunnvann- og stabilitetsanalyser er presenter i Vedlegg D.

Tabell 4-4 Valgte områder for vurdering av klimatilpasning i forhold til skredtype.

	Området	Kommune	Skredtype
1	Hukstrøm bru, Svarstad	Lardal	Kvikkleire og jordskred
2	Odbergneset	Larvik	Jordskred
3	Husvann	Larvik	Jordskred
4	Jordstøyp	Larvik	Steinsprang
5	Fritzøehuspark og Rosendal området	Larvik	Kvikkleire
6	Kvelde	Larvik	Kvikkleire



Figur 4-10: Kvartærgeologisk kart for de seks områdene valgt for klimatilpasning i forhold til skred. 1. Hukstrøm bru, 2. Odbergneset, 3. Husvann, 4. Jordstøyp, 5. Fritzøeparken, 6. Kvelde (<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>).

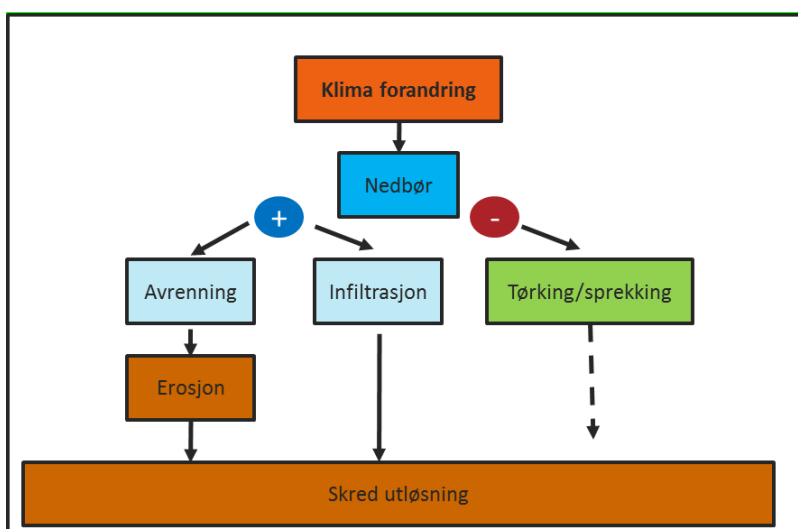
4.2.2 Skredtyper

4.2.2.1 Kvikkleireskred

Av de naturlige årsaker som forårsaker kvikkleireskred er erosjon i elver og bekker den vanligste. I forbindelse med fremtidige klimaendringer er det antatt økt erosjonsfare som følge av ekstrem nedbør og økt flom i elver og bekker (Figur 4-11). Det forventes endringer i sesongvannføring: vinter - økt vannføring (økt erosjon), vår - økt vannføring i fjellet og dermed i Numedalslågen (økt erosjon), sommer - redusert vannføring (redusert erosjon), høst – liten endring. Sammenhengen mellom en kortvarig prosess som erosjon og klimaendringer, hydrologi og kvikkleireskred er vanskelig å anslå. Videre er den stedsspesifikk og karakterisert av høy romlig variabilitet (Walling, 2009). Tidligere studier viser at for flere skredtyper, inkludert kvikkleireskred, kan menneskelig aktivitet ha større effekt enn klimaendringene alene. Dette underbygges av at siden 1970-tallet er mer enn halvparten av alle større kvikkleireskred i Norge blitt utløst av menneskelige inngrep. Typiske menneskelige årsaker til kvikkleireskred er bakkeplanering i jordbruket, byggeaktivitet, samt veianlegg i nærheten av grunnforhold med kvikkleire.

Siden 2000 er det blitt laget fare- og risikokart for større kvikkleireskred i Lardal og Larvik kommuner. Grunnlaget for å identifisere kvikkleiresoner er forekomst av marin leire, topografiske forhold og resultater fra grunnboringer. En oversikt over utførte grunnboringer i Lardal og Larvik kommuner er gitt i kartene i Vedlegg D. Følgende topografiske kriterier er lagt til grunn for å identifisere mulig skredfarlige kvikkleiresoner:

- Jevnt hellende terreng brattere enn 1:15
- Terreng høydeforskjell på 10 meter eller mer
- Maksimallengde på skred på 15 x skråningshøyde.



Figur 4-11: Et konseptuelt bilde på hvordan klimaendringer og nedbør kan føre til økt sannsynlighet for utløsning av skred. Stiplet linje indikerer lavere sannsynlighet.

Kartene er først og fremst et grunnlag for å angi aktsomhetsområde for større kvikkleireskred og for fastsetting av soner med potensiell skredfare på kommuneplannivå. De kartlagte kvikkleiresonene er områder der det må vises særlig aktsomhet. En oversikt over de kartlagte kvikkleiresoner i Lardal og Larvik kommuner er presentert i Tegning K1 og K2. Det understrekes at i disse aktsomhetskartene er det bare for enkelte faktorer som erosjon og poretrykk tatt hensyn til klimatiske forhold. Videre er det ikke lagt inn ekstra sikkerhetsmargin for eventuelle klimaendringer i Vestfold.

I dag finnes det henholdsvis 47 og 38 kvikkleiresoner i Larvik og Lardal kommuner (Tabell 4-5 og Tabell 4-6). Kun et begrenset antall av disse sonene er blitt utredet i detalj de senere år med tanke på stabilitetsanalyser og eventuelle behov for sikringstiltak. Eksempler er kvikkleiresoner 1281 Svarstad og 1288 Lardal Prestegård i Lardal kommune og kvikkleiresoner 1255 Stubberud, 1259 Tagtvedt, 1261 Fritzøehus Nordre og 1266 Jordet i Larvik.

Larvik kommune er i samarbeid med NVE i gang med sikring av en kvikkleiresone på Stubberud. Her er det både behov for å sikre eksisterende bebyggelse, og for å muliggjøre ny utbygging. Det er nødvendig med en steinfylling i/langs Numedalslågen i en lengde av 1,4 kilometer. Det er utarbeidet reguleringsplan (vedtatt i 2015), og sikrings tiltaket er igangsatt og skal være ferdig i løpet av 2016. Hele prosjektet inklusive opparbeidelse av friområde og VA-anlegg har en kostnadsramme på 50 millioner kroner. Av dette vil Staten gjennom NVE finansiere 15 millioner kroner.

I denne studien er områdene ved Hukstrøm bru, Fritzøehuspark/Rosendal og Kvelde prioritert for å vurdere tilpasning til klimaendringer i forbindelse med kvikkleireskred-problematikk.

Tabell 4-5: Antall kvikkleiresoner delt på faregrad i Lardal og Larvik kommune.

Kommune	Antall soner med lav faregrad	Antall soner med middels faregrad	Antall soner med høy faregrad
Lardal	16	17	5
Larvik	30	14	3

Tabell 4-6: Antall kvikkleiresoner delt på risiko i Lardal og Larvik kommune.

Kommune	Antall soner i risikoklasse 1	Antall soner i risikoklasse 2	Antall soner i risikoklasse 3	Antall soner i risikoklasse 4	Antall soner i risikoklasse 5
Lardal	0	12	23	3	0
Larvik	3	24	18	1	1

4.2.2.2 Jordskred

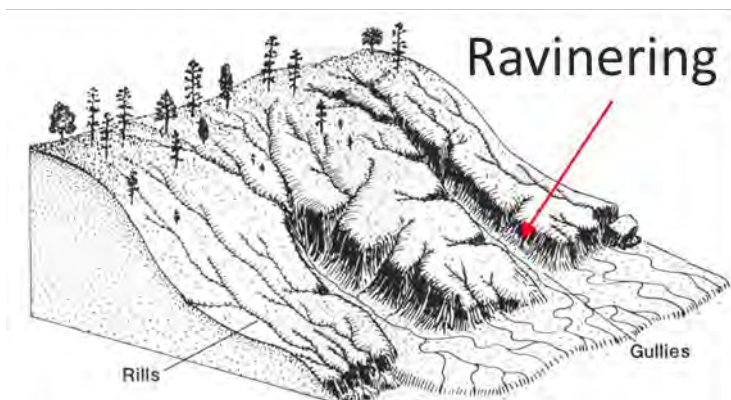
Jordskred defineres som en utglidning av løsmasser (i hovedsak jord, stein, grus og sand) i bratte skråninger. Slike skred kan for eksempel utløses som følge av langvarig regn

og/eller snøsmelting, økt vanninnhold i løsmassene, grunnvannserosjon og/eller menneskelige inngrep som vegskjæringer, oppfylling på toppen av skråning, skogbilsveier eller flatehogst. Avhengig av type materialer, dybder til svakhetssoner, skråningsgeometri og andre faktorer, kan en skråning ha en rask eller forsinket reaksjon på endringer i nedbørsmønster. Generelt vil løsmassene være mer utsatt for skred hvis de er delvis eller fullt vannmettet med tilsvarende økning i poretrykk. På dette tidspunktet kan sikkerhetsfaktoren (F) nærme seg 1 og brudd vil kunne oppstå i skråningen. Nedbørsmønsteret vil også påvirke skredtypen. Eksempler er grunne jordskred som ofte utløses av kortvarig ekstrem nedbør, mens langvarig nedbør øker faren for dypere skred.

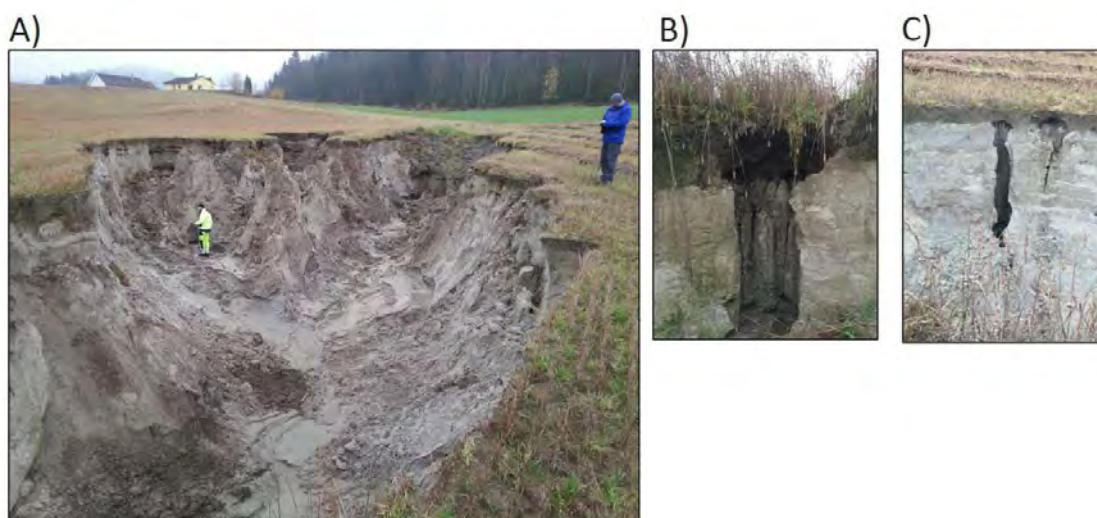
I Larvik og Lardal kommune ligger mesteparten av de bratte løsmasseskråningene potensielt utsatt for jordskred langs Numedalslågen eller i tilknytning til sideelvene. Her er elveavsetningene (sand) som regel ensgradert og utsatt for grunnvannserosjon.

Grunnvannserosjon kan defineres som en prosess der grunnvannsstrømning gir små utlekkingspunkter med utvasking av finstoff eller enkeltkorn. For eksempel, når vann strømmer ut av en skråningsflate, får kornene økt oppdrift som virker med en gradient mot gravitasjonen. Når vertikalt strømningstrykk er større enn neddykket tyngde så flyter kornene. Fenomenet er kjent som kvikksand, og i praksis hovedsakelig et problem for ensgradert sand og siltavsetninger. I slike avsetninger kan det utvikles underjordiske kanaler ("pipes") som følge av grunnvannserosjon. Slike kanaler kan dannes over lengre tidsperioder som følge av for eksempel redusert vegetasjonsdekke og økt infiltrasjon, endringer i vannstanden i elva og endringer i geometrien av skråningen. De underjordiske kanalene vil over tid svekke stabiliteten av et område og resultatet blir gjerne utvikling av små raviner og skred (Figur 4-12). Ved flere anledninger har grunnvannserosjon, raviner og skred ført til tap av store arealer. Et nylig eksempel fra Tussehaugen er vist i Figur 4-13.

I denne studien ble det valgt å benytte områdene ved Hukstrøm bru, Odbergneset og Husvann for å vurdere tilpasning til klimaendringer som følge av jordskred og raviner.



Figur 4-12 Eksempel på raviner i sandige avsetninger langs elv.



Figur 4-13: A) Jordskredseksempel fra Tussehaugen forårsaket av grunnvannserosjon over lengre tid. B) og C) viser typiske "pipes" eller rester av underjordiske kanaler i skredkanten som tyder på grunnvannserosjon i området.

4.2.2.3 Steinsprang og steinskred

Steinsprang (< 100 m³) og steinskred (100 - 10 000 m³) skjer vanligvis i bratte og ustabile fjellsider. Enkelte steder er det sprekker i fjellet som øker risikoen for utfall, andre steder kan det være større partier som glir på svake lag i berggrunnen. Kombinasjonen av bratte fjellsider og soner med svakheter i bergartene er en viktig forutsetning for at det kan utløses steinskred. Det kan være vanskelig å finne ut hva som er den utløsende årsaken til at skredet går. De vanligste årsakene regnes å være vanntrykk, bergtrykk, frostsprenning eller jordskjelv. Forventede klimaendringer vil føre til hyppigere episoder med kraftig nedbør (avsnitt 4.1.3) og muligens flere fryse/tine situasjoner. Derfor kan det forventes en økt hyppighet også av disse skredtypene, hovedsakelig på mindre steinspranghendelser. Området ved Jordstøyp der det var hendelser senest i 2013 og 2016 er valgt for å illustrere mulige klimatilpasninger i forbindelse med steinsprang.

4.2.3 Resultater fra eksempler studier og forslag til sikringstiltak

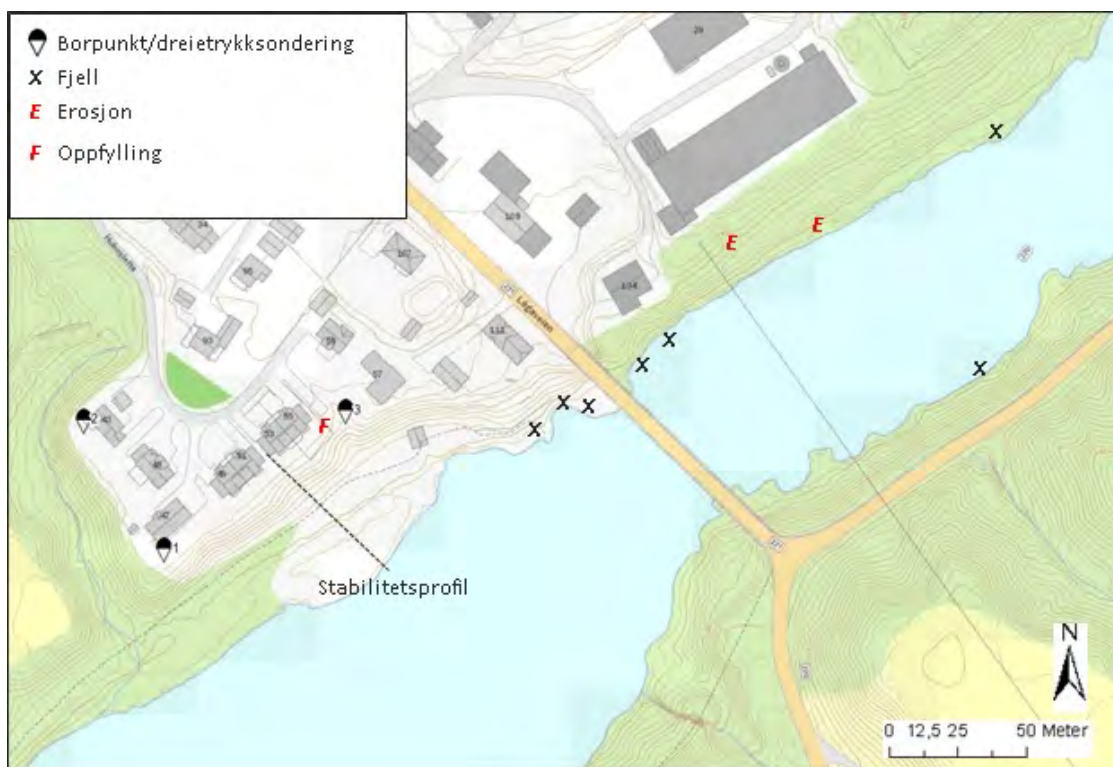
4.2.3.1 Hukstrøm bru, Svarstad

Beskrivelse av området og grunnforhold

Vurderingsområdet ved Hukstrøm bru er lokalisert langs Numedalslågen og strekker seg fra ravinen vest for Hukesletta og fram til trevirkeindustrien nordøst for Hukstrøm bru (Figur 4-14). Området består av en fluvial terrasse ovenfor marine avsetninger (jfr. kvartærgeologiske kart; Figur 4-10). Skråningen fra terrassen ved Hukesletta er opptil 10 m og lokalt over 30° bratt. Skråningene oppstrøms brua er noe slakere.

Tidligere grunnundersøkelser ble utført ved Hukesletta av Bjørn Strøm AS (2000). Plassering av grunnundersøkelser er vist i Figur 4-14, mens resultatene er presentert i Vedlegg D (avsnitt D.1.1). Sonderingene utført ved Hukesletta viser opptil 15 m med sand med vekslende lag av leire og silt. Resultatene viser at de tynnere leirlag ikke er kvikke. Under befaring høsten 2015 ble det også registrert fjell langs elva ved Hukstrøm bru og oppstrøms for brua i flere punkter; Figur 4-14.

Under befaring høsten 2015 ble det observert noe sig i den bratte skråningen ved Hukesletta (Figur 4-15). Det ble også registrert erosjon langs elva oppstrøms brua og i skråningene (Figur 4-14). Erosjonen observert i skråningene nedenfor trevirkeindustrien skyldes hovedsakelig skader på vann- og/eller avløpsledninger (Figur 4-15). De sandige massene i vurderingsområdet er svart eroderbare og det er viktig å ha kontroll på utløpet av stikkrenner og vannrør slik at de ikke fører til erosjon i bakken og derved ustabile skråninger.



Figur 4-14: Oversiktskart ved Hukstrøm bru, Svarstad, med plassering av tidligere grunnundersøkelser og observasjoner gjort under befaring.



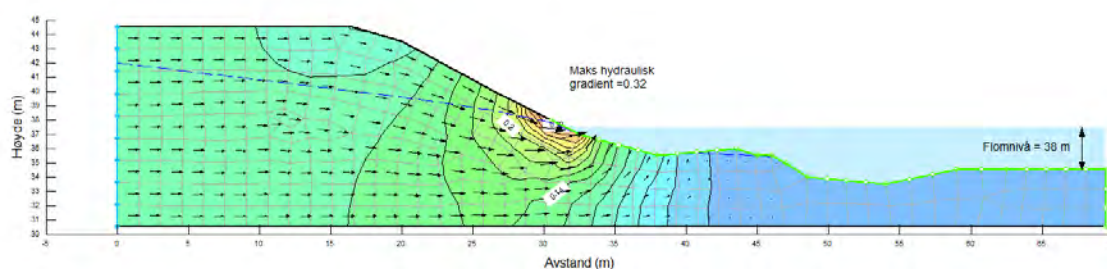
Figur 4-15: Venstre: Terrasse skråning ved Hukesletta boligfelt. Det ble observert noe sig på toppen av skråningen. Høyre: Erosjon som følge av lekkasje fra vannledning/avløpsnett.

Resultat fra analyser – Effekt av flom og nedbør på terrasseskråningen Hukesletta

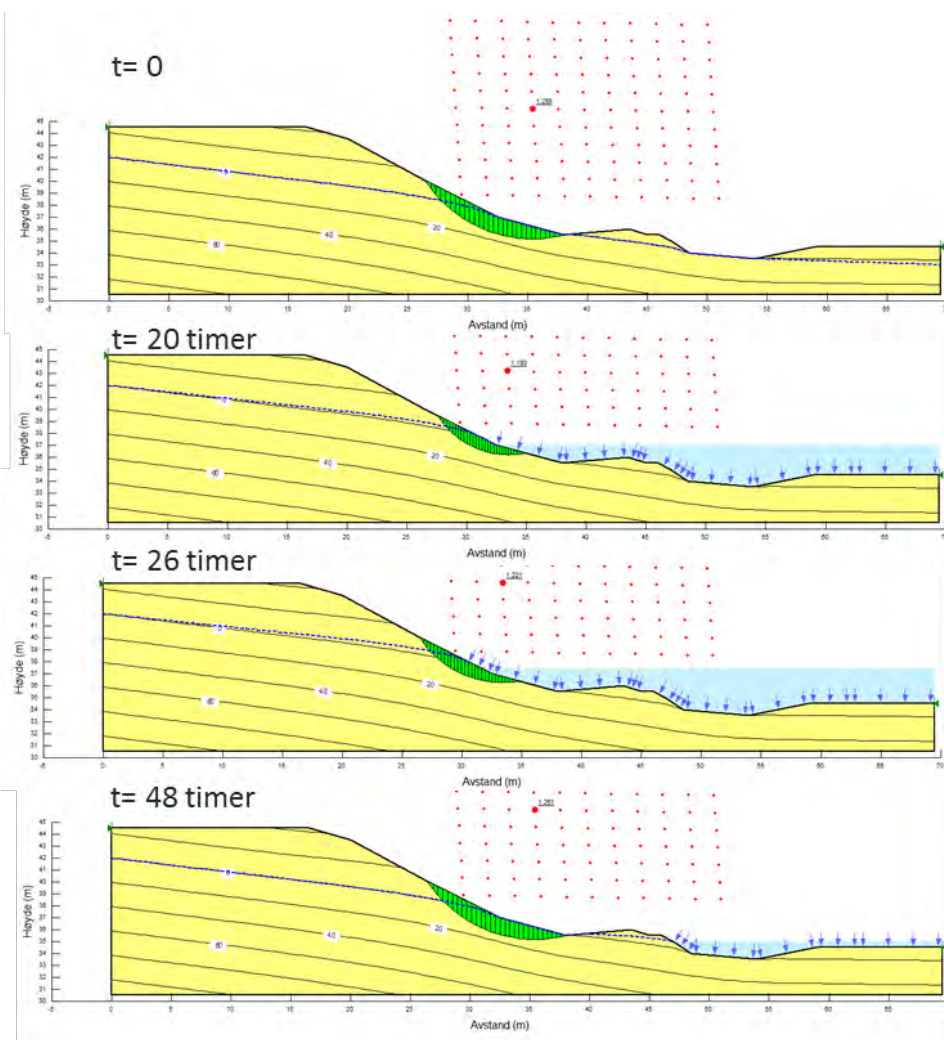
Effekt av flom og nedbør på terrasseskråningen på Hukesletta er vurdert med strømning- og stabilitetsanalyser utført ved bruk av SEEP/W og SLOPE/W fra GeoStudio (www.geoslope.com). Input parameterne brukt i analysene er presentert i Vedlegg D.

Analysene er utført på profilen vist i Figur 4-14 (stiplet linje). I analysene antar vi en langvarig nedbørsperiode som resulterer i økt grunnvannsspeil og en ekstrem flom-situasjon i Numedalslågen. Flommen antas å nå opp til kote 38 m (tilsvarende 1927 flomhendelsen) i løpet av ett døgn. Vannstanden kommer deretter tilbake til normalt nivå i løpet av 2 dager.

For å unngå fare for grunnbrudd på ubelastede overflater er det i forhold til design vanlig å kreve at den hydrauliske utløpsgradienten ($i = dh/dl$, trykkehøyde/avstand) skal ligge under 0,35. Resultatene fra strømningsanalyser viser at den maksimale hydrauliske gradienten i skråningen ved Hukesletta er mindre enn 0.35 og at den nås to timer etter at flommen begynner å avta (Figur 4-16). Figur 4-17 viser effekten av vannstands- endringene på skråningsstabilitet i området. Det understrekes at skred oppstår når sikkerhetsfaktoren er $\leq 1,0$. For en normal situasjon er den beregnede sikkerhetsfaktoren for drenert tilstand ved Hukesletta lik 1.28 ($t=0$; Figur 4-17). Dette er tilstrekkelig i forhold til kravet i TEK10 og Eurokode 7 (dvs. $F > 1.25$). Sikkerhetsfaktoren (stabiliteten) vil derimot avta som følge av en flomhendelse. Resultatene viser at sikkerhetsfaktoren kan gå ned mot 1,17, dvs. under kravene i Eurokode 7, etter at flommen begynner å avta.



Figur 4-16: Eksempel på grunnvannsimulering med strømningsgradient konturer (dh/dl) 2 timer etter at flommen begynner å avta ved Hukesletta. Figuren viser at den hydrauliske gradienten er høyest ved foten av skråningen, men at den er under terskelen på 0,35.



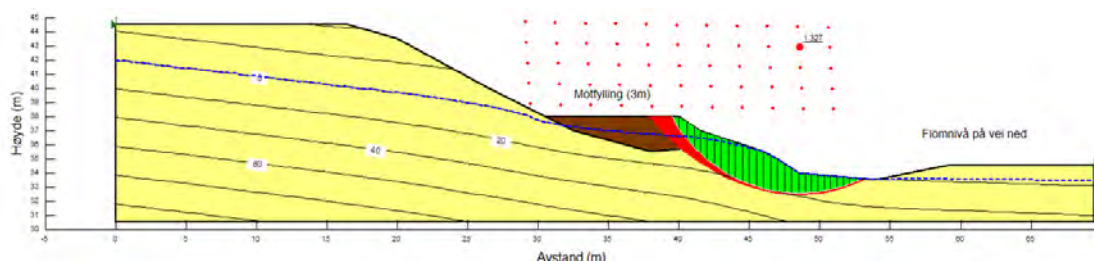
Figur 4-17: Effekt av flom og vannstandsending på stabilitet av skråning ved Hukesletta over tid. Ved $t=0$ er sikkerhetsfaktoren F lik 1,28. F er lavest etter at flommen begynner å avta ($t=20$ timer) med en verdi på 1,17. De grønne områdene viser de mest kritiske glideflater ved hvert tidspunkt.

Mulige tiltak og tilpasning av området for klimaendringer og flom

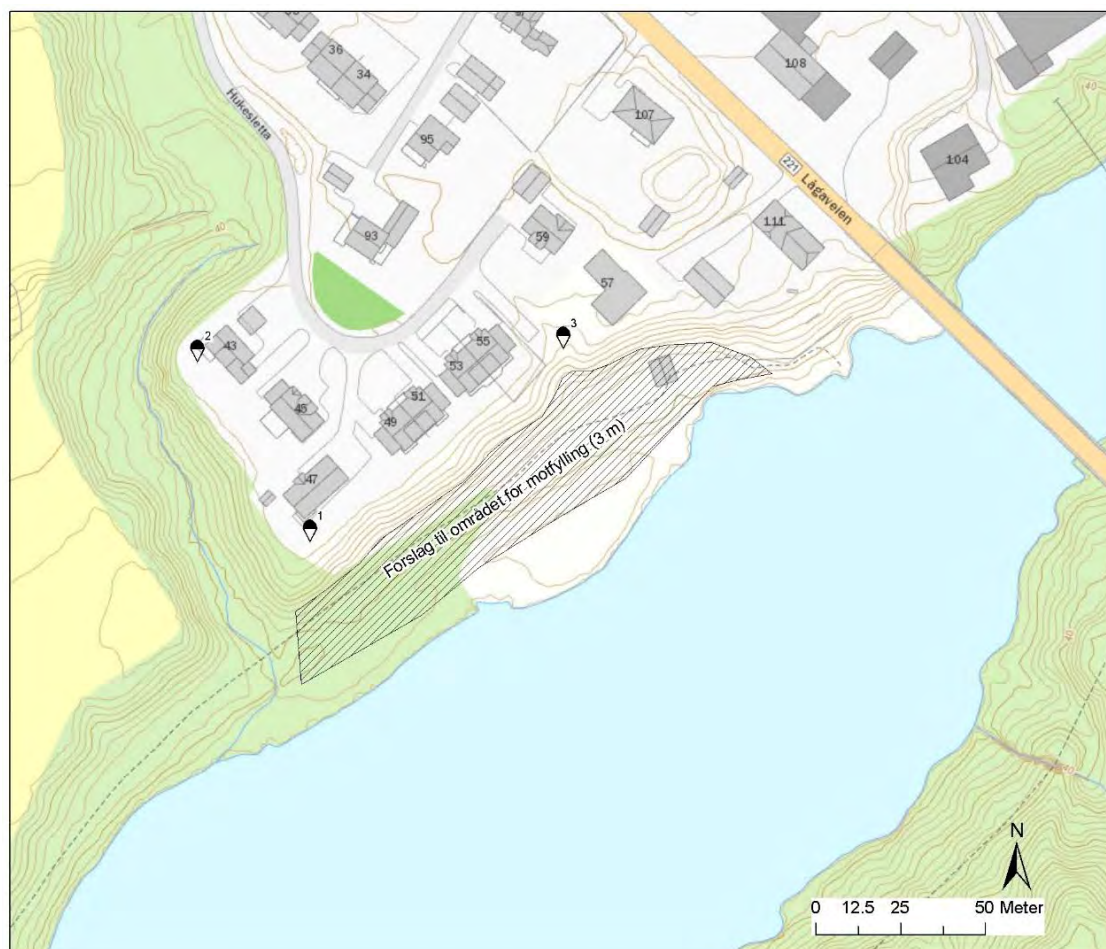
Tolkning av tidligere utførte grunnundersøkelser ved Hukstrøm bru viser at området for det meste består av sandige masser. Det er lite sannsynlig at det finnes kvikkleire i skråningen ved Hukesletta. Erosjonen observert i skråningene nedenfor trevirke-industrien skyldes hovedsakelig vann- og/eller avløpsledninger. De sandige massene i området er svært eroderbare og det er viktig å ha kontroll på utløpet av stikkrenner og vannrør slik at de ikke fører til erosjon i bakken og derved ustabile skråningen.

Grunnvanns- og stabilitetsanalyser viser at sikkerheten er marginal ned mot Numedalslågen når man kombinerer effekten av flom og langvarig nedbør/snøsmelting. Geometriske tiltak, som for eksempel motfylling i foten av skråningen, kan være et alternativ for å tilpasse skråningen for framtidige klimaendringer. Et eksempel på sikringstiltak med 3 m motfylling i foten av skråningen ved Hukesletta/Hukstrøm bru er presentert i Figur 4-18 og Figur 4-19. Lavest beregnede sikkerhetsfaktor som følge av flommen med et slikt tiltak er 1,33 og tilsvarer kravene i TEK10 og Eurokode 7.

Det understrekes at analysene presentert her er basert på et begrenset datagrunnlag og på en konservativ antagelse om materialegenskaper. Spesielt viktig i analysene er poretrykkssituasjon under normal situasjon. For å vurdere behov for tiltak i dette området bør det først installeres piezometere for å måle grunnvannstrykk i skråningen. Basert på disse data kan analysene og behov for tiltak revideres.



Figur 4-18: Eksempel på sikringstiltak med 3m motfylling i foten av skråningen (brunt) ved Hukesletta/Hukstrøm bru. Lavest beregnede sikkerhetsfaktor som følge av flommen med motfylling er 1,33. Det grønne området representerer den mest kritiske glideflate for denne situasjonen.

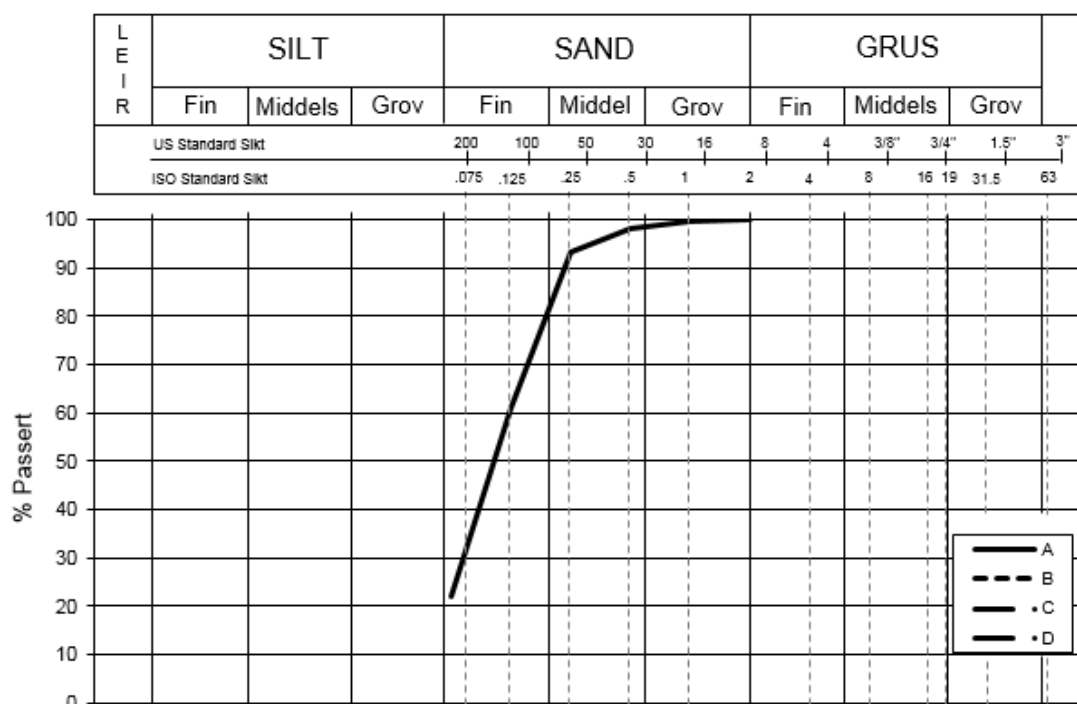


Figur 4-19: Forslag til mulig geometriske tiltak (motfylling) for å oppnå en stabilitet tilsvarende kravene i TEK10 og Eurokode 7 for skråningen ved Hukesletta for en 200-års flom situasjon.

4.2.3.2 Odberghneset og Husvann

Beskrivelse av området og grunnforhold

Områdene ved Odberghneset og Husvann er dekket av mektige og graderte sand-avsetninger (elveavsetning; Figur 4-10). Resultatene fra tidligere grunnundersøkelser i disse områdene viser at de sandige avsetninger kan være opptil 40 m tykke (Vedlegg D). Under befarig høsten 2015 ble det tatt prøver ved Husvann/Farmen. Kornfordelingsanalyser av prøven viser en tydelig ensgradert fin sand med ca. 20 % finstoff (Figur 4-20). En slik jordart antas å være representativ langs Numedalslågen i Lardal og Larvik kommunene.

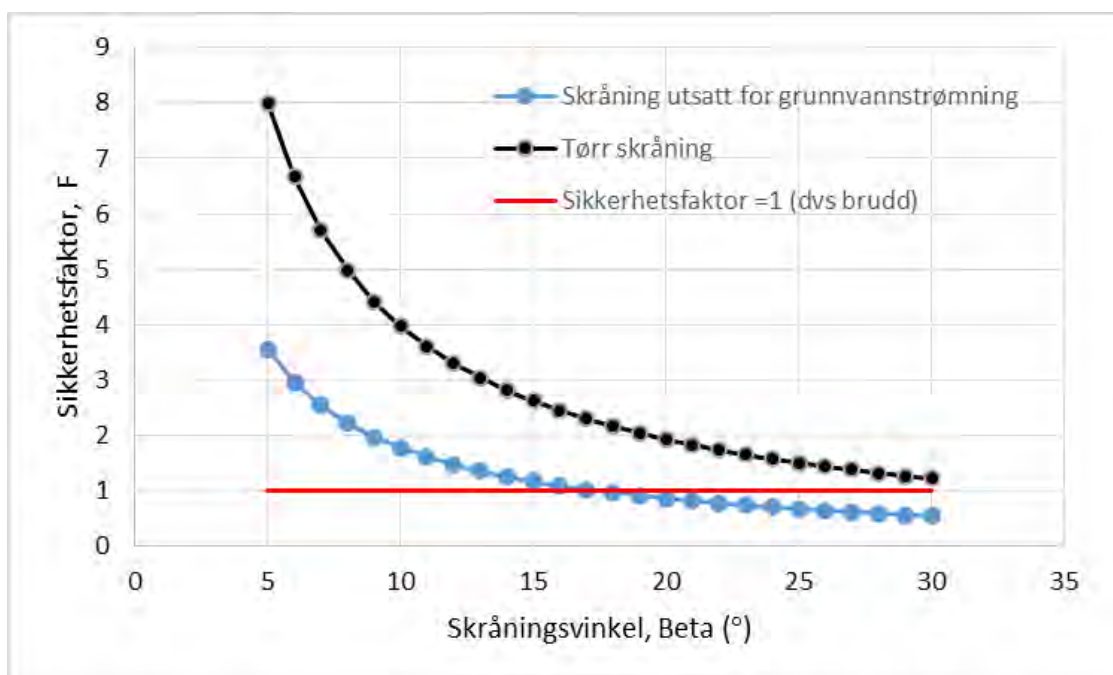


Figur 4-20: Resultat fra kornfordelingsanalyse for en sandprøve tatt opp langs Numedalslågen ved Farmen under befaring høsten 2015.

Resultater fra analyser

Ved naturlige skråninger i sand er overflateparallele skred det mest vanlige. Resultater fra uendelig skråningsanalyse viser at i en tørr sand vil en skråningshelning på 1:2 (26,5°), 1:3 (18,4°) og 1:4 (14°) ha sikkerhetsfaktor på henholdsvis 1,4, 2,1 og 2,8, noe som tilfredsstiller de alle fleste regelverk. En skråning langs Numedalslågen vil derimot være utsatt for grunnvannstrømning. Resultatene i Figur 4-21 viser at skred kan oppstå (dvs. $F=1.0$) hvis skråningshelningen er brattere enn 17°. Grovt sagt vil en stabil skråning i mettet tilstand med porevannstrømning kunne ha halve helningen sammenlignet med en tørr skråning. Det refereres til Vedlegg D for mer detaljer om metodene brukt for skråningsanalyser.

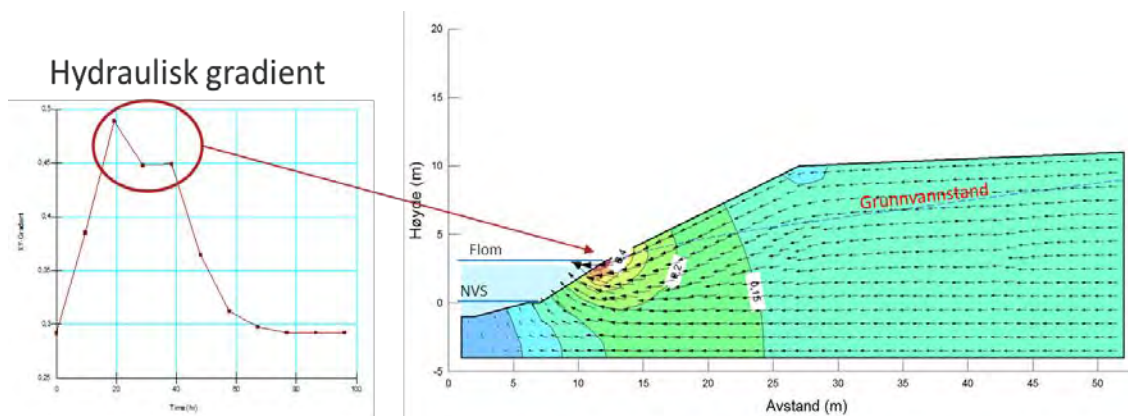
I denne studien har vi satt opp flere modeller for å illustrere hvilke scenarier som gir kritiske hydrauliske gradienter (dvs. grunnvannserosjon og grunnbrudd) og derved stabilitetsproblemer i skråninger langs Numedalslågen. Målet med modelleringen er å vise sammenheng mellom stabilitet og i) rask endring av vannstand som følge av en flomsituasjon og ii) økt grunnvannstrømning som følge av økt nedbør/snøsmelting. Analysene antar ubeskyttet skråning. Med ubeskyttet skråning menes at det ikke finnes noe dekklag med god permeabilitet foran skråningen og at det heller ikke er noe vegetasjon som beskytter skråningen. For å unngå fare for grunnbrudd på ubelastede overflater er det i forhold til design vanlig å kreve at den hydrauliske utløpsgradienten ($i = dh/dl$, trykkehøyde/avstand) skal ligge under 0,35.



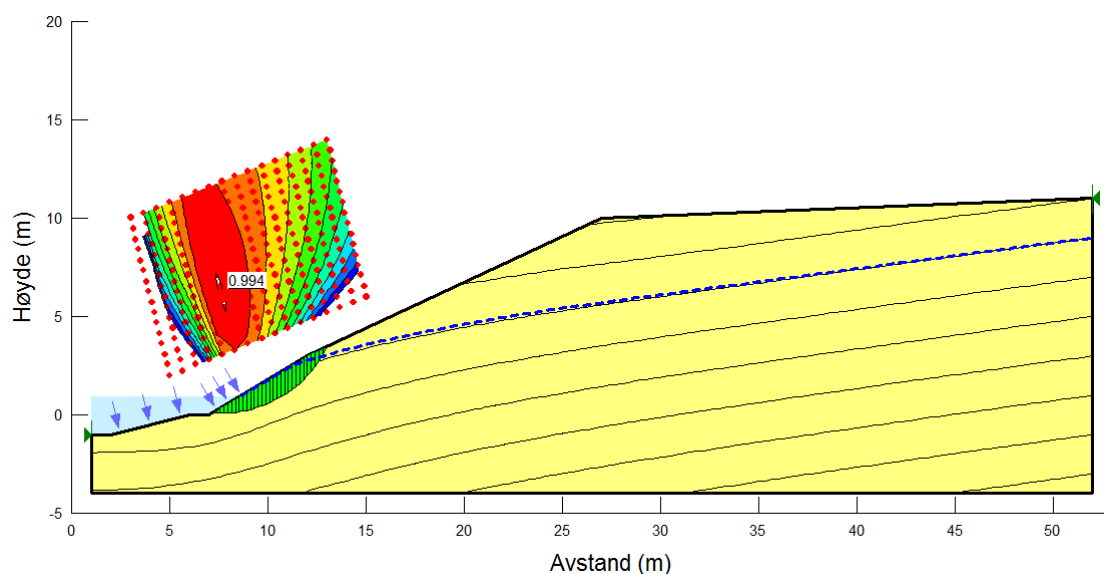
Figur 4-21: Resultat fra stabilitetsanalyser på en ubeskyttet skråning i ren sand. Den svarte linjen gir sikkerhetsfaktor for en tørr skråning, mens den blå linjen gjelder for overflateparallel grunnvannstrømning.

Effekt av flom

I analysene antar vi at vannstanden i Numedalslågen ved Odbergneset og Husvann øker med 3 m i løpet av ett døgn som følge av flom. Vannstanden kommer deretter tilbake til normalt nivå i løpet av 2 dager. Det er gjort analyser for skråninger med 18 til 27 graders helning, et eksempel på geometrien som er benyttet er vist i Figur 4-22. Resultatene viser at en høy gradient henger igjen langs overflaten av skråningen ved elva så lenge overflaten er mettet. Denne sonen vil være utsatt for grunnvannserosjon og skred. Skråningene har god sikkerhetsmargin så lenge skråningsvinkelen er lavere enn ca. 1:3 (dvs. 18 grader).



Figur 4-22: Eksempel på geometri og resultater av grunnvannsimulering med strømnings-gradientkonturer (dh/dl) kort tid etter at flommen begynner å avta. Grunnvannstand på høyre side er satt til 2 m under terreng. Resultatene viser at en høy gradient henger igjen langs overflaten så lenge overflaten er mettet. Denne sonen vil være utsatt for grunnvannserosjon. NVS= normal vannstand.

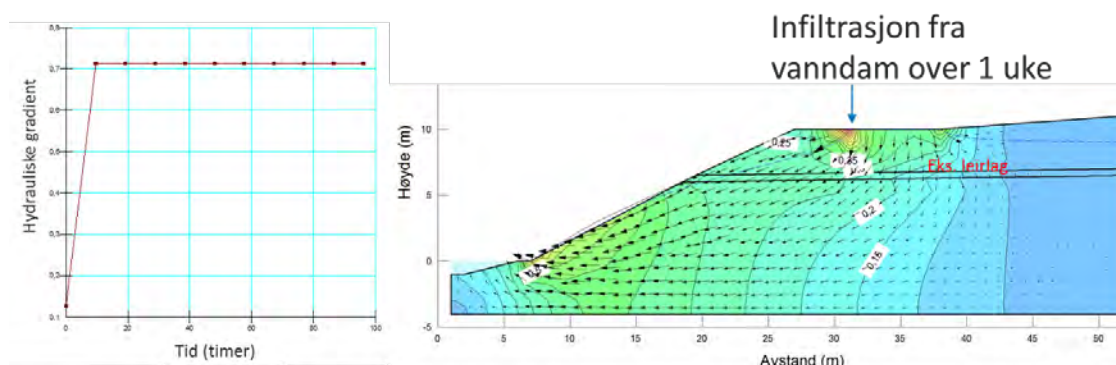


Figur 4-23: Resultater fra stabilitetsanalyse noen få timer etter at vannstanden er tilbake til normal tilstand. En sikkerhetsfaktor på 0,994 viser lav stabilitet for denne situasjon. Den grønne sirkelbuen viser den mest kritiske glideflate for skred.

Effekt av økt infiltrasjon i skråninger

Økt nedbørintensitet, perioder med mye snøsmelting, forsenkninger i terrenget, flatehogst og mangel på dreneringsløsninger i jordbruksområder kan resultere i at vanninfiltrasjon øker fra toppen av skråningene ned mot Numedalslågen. Figur 4-24 viser konsekvensen av at en vanndam infiltrerer toppen av en skråning i en uke. Profilet representerer Tussehaugen-området i nærheten av Farmen/Husvann, og inneholder et tynt leirlag for å vise effekten av lagdeling. Figur 4-24 at kritiske gradienter kan oppnås

opptil 3 m under terreng som følge av vanninfiltrasjon. Dette området vil derfor være utsatt for utvasking og dannelse av underjordiske kanaler over tid som vist i Figur 4-13.



Figur 4-24: Eksempel fra grunnvannsmodellering med infiltrasjon fra toppen av skråningen.

Resultatene fra de enkle numeriske beregningene beskrevet ovenfor viser at kritiske strømningsgradienter og stabilitetsproblemer kan oppstå i skråninger ned mot Numedalslågen kort tid etter en flomhendelse og/eller som følge av økt infiltrasjon ved toppen av skråningene.

Aktsomhetsområder utsatt for ravinering og jordskred

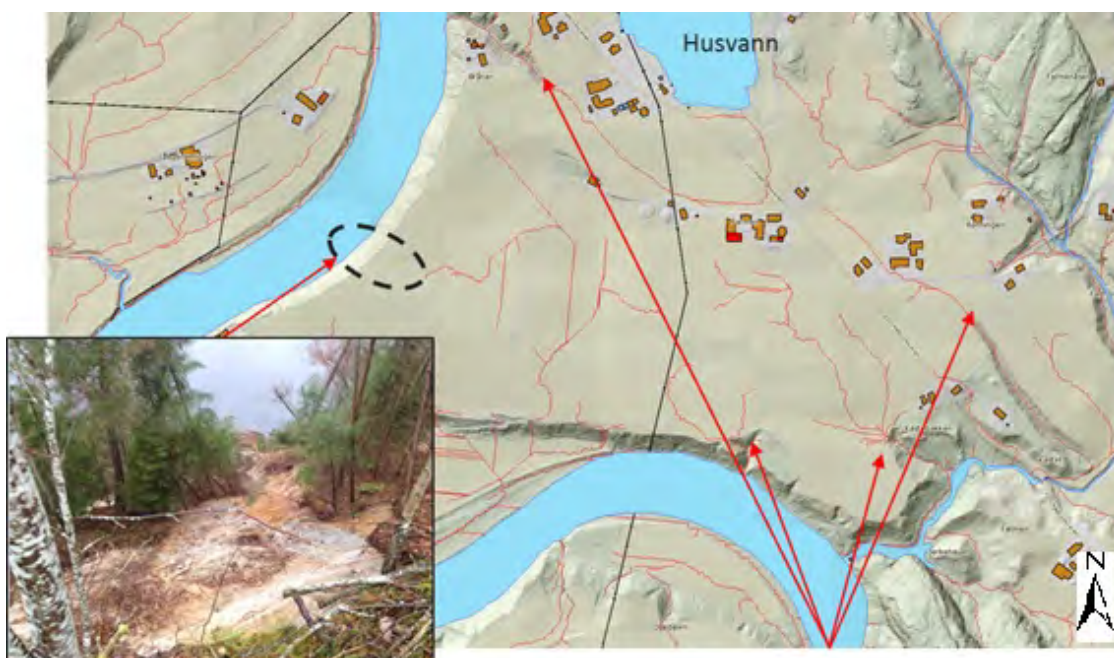
Regionale grunnvannsanalyser er benyttet for å identifisere områder med kritiske hydrauliske gradienter, grunnvannserosjon og dermed mulig ravinering og skred ved Odbergneset og Husvann. Analysene er utført ved hjelp av ArcGIS og terrengmodellen fra Husvann/Odbergneset. En detaljert beskrivelse av analysemetoden er gitt i Vedlegg D (kapittel D2).

Eksempler på resultater for regionale grunnvannsanalyser ved Tussehaugen og Husvann er vist i Figur 4-25 og Figur 4-26. Områdene med høyest konsentrert gjennomstrømning er vist med tynne røde linjer på figurene. Generelt er det godt samsvar mellom områdene med konsentrert gjennomstrømning og observerte skred/raviner i terrenget.

Analysene ovenfor kan brukes til å identifisere områder utsatt for ravinering og jordskred ved Husvann og Odbergneset. Skråninger brattere enn 1:3 (dvs. 18°) hvor det i tillegg er stor sannsynlighet for konsentrert gjennomstrømning av vann antas å være utsatt for slike prosesser. Aktsomhetsområder for slike prosesser ved Odbergneset og Husvann er presentert på Tegningene S1-S4 i Vedlegg F. Det understrekes at kartene er basert på et minimum av inngangsdata og at jordskred kan oppstå utenfor aktsomhetssoner som følge av lokale faktorer, som for eksempel vegetasjon/flatehogst, lagdeling, lekkasje fra vannledninger og avløpsrør, osv. Det er heller ikke tatt hensyn til oppfylling på toppen av skråninger og annen menneskelig aktivitet.



Figur 4-25: Resultater fra grunnvannsanalyser ved Tussehaugen. Områdene med høyest konsentrert gjennomstrømning er vist med tynne røde linjer. Den stiplede svarte linjen indikerer omtrentlig lokalitet for skredet som gikk i august 2015 (se også Figur 4-13). Analysen viser at skredområdet var utsatt for konsentrert gjennomstrømning.



Figur 4-26: Resultater fra grunnvannsanalyser ved Husvann. Områdene med høyest konsentrert gjennomstrømning er vist med tynne røde linjer. Flere av disse samsvarer godt med raviner eller skredhendelser i området (se røde piler).

Mulige tiltak og tilpasning av området for klimaendringer

Tegningene S1-S4 i Vedlegg F viser områdene som bør prioriteres for å redusere fremtidig skadepotensiale knyttet til raviner og jordskred som følge av klimaendringer og flom i området Odbergneset og Husvann. Kartene er et godt verktøy for planlegging, ikke minst i forhold til hvor befaringer bør foretas. Under befaring bør man evaluere om det er utvikling i skråningene langs Numedalslågen.

Generelt bør man være oppmerksom på at flatehogst vil føre til økt vanninfiltrasjon i jorda og dermed økt fare for grunnvannserosjon i disse områdene. Man bør derfor være forsiktig med å foreta flatehogst i eller i nærheten av aktsomhetsområder for jordskred vist i Tegning S1-S4 (Vedlegg F). Eksempler av slikt aktivitet er vist i Figur 4-27.

Den underliggende årsaken til jordskred og raviner i de sandige skråningene langs Numedalslågen antas å være at grunnvannserosjon over tid vasker ut masser der grunnvannet slår ut i terreng. Dette påvirkes eksempelvis av vannstandsendringer i elva, nedbør og snøsmelting som vist i analysene. Ved erosjon dannes det brattere partier i skråningene og skredprosessen utvikler seg over tid. I tilfeller hvor det er store konsekvenser for skred bør sikring vurderes. Formålet med tiltakene er å redusere sannsynlighet for at jordskred og raviner skal inntreffe. Tiltakene kan deles i to kategorier: i) Stabiliserende tiltak for å sikre bratte skråninger; ii) Dreneringstiltak for å redusere faren knyttet til høy hydraulisk utløpsgradient, grunnvannserosjon og grunnbrudd. Eksempler på løsninger kan være:

- Å nedplanere skredkanter dersom det anses praktisk mulig og forsvarlig å utføre dette arbeidet.
- Legge ut filtermasse (grus) og pukkestreng langsetter ravinen/skredkanalen opp til skredgropa. Slike tiltak er tidligere utført i en ravine ved Husvann. Bruk av motfyllinger ved foten av skråninger/skredgroper kan også vurderes der det anses praktisk mulig.
- Å prøve å så til skredgropa for å forhindre at overflatevann graver i de blottlagte massene. Et alternativ er å benytte flis og gjødsel. Eventuell bruk av armeringsduk vil kunne bidra til å forankre de organiske massene.



Figur 4-27: Flybilder fra Husvann området fra 1959 (venstre) og 2007 (høyre). Ved å sammenlikne bildene med Tegning S4 i Vedlegg F kan man se at store skogsområder er blitt hogd ned i områder utsatt for ravinering. Disse er merket med "X" i bildet til venstre.

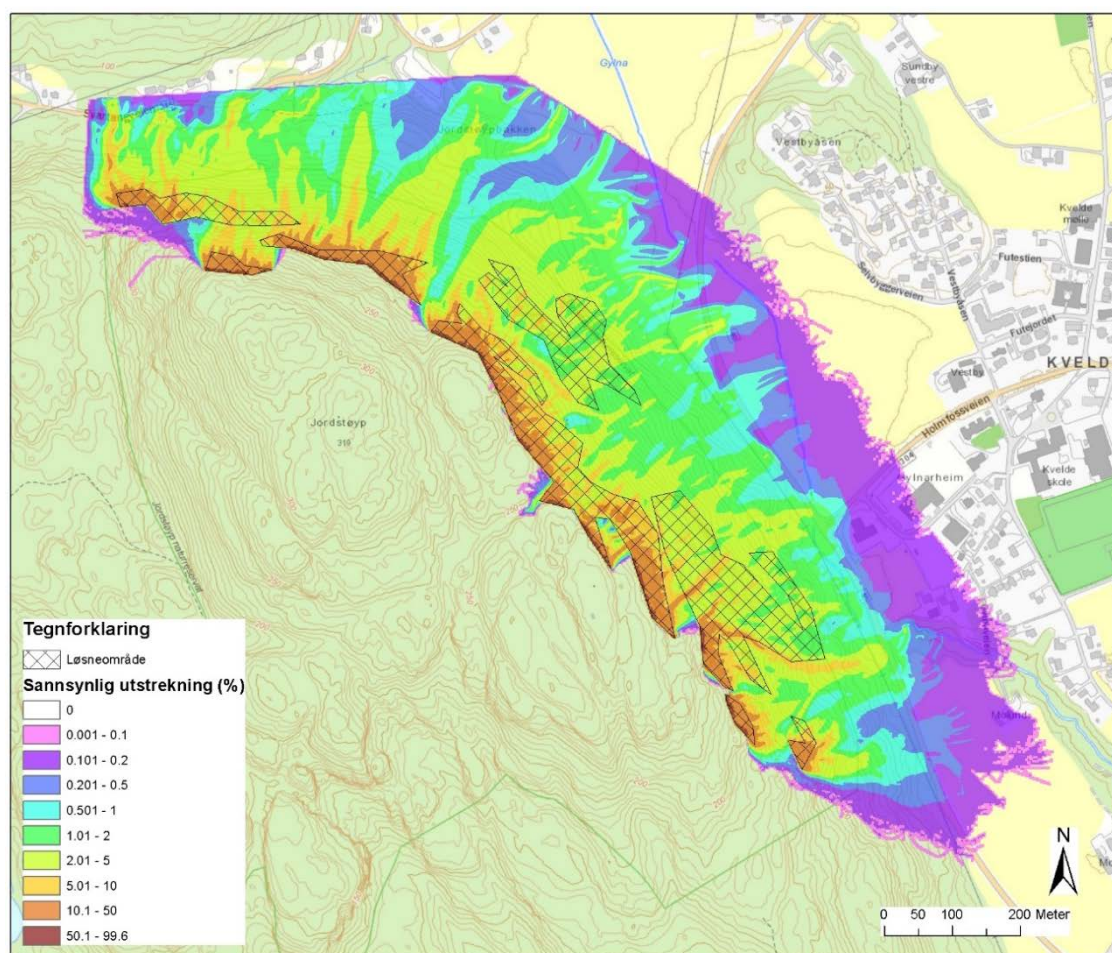
4.2.3.3 Jordstøyp

Området ved Jordstøyp der det gikk steinskred/steinsprang senest i 2013 og 2016 er valgt for å illustrere mulige klimatilpasninger i forbindelse med slike hendelser. Under befaring høsten 2015 ble det observert mange løse steinblokker og oppsprukne partier ved Jordstøyp. Noen av disse vil komme som steinsprang over tid, men det meste vil stoppe i ura.

Detaljert faresonekartlegging skal alltid baseres på befaring, og justeres til en viss grad basert på modelleringsresultater. Terrengformer i bergveggen og nedover mot uren er essensielle for å identifisere kildeområder og hvordan skred spres eller ledes nedover fjellsidene. Terrengformene vil også påvirke rekkevidden av skred, som for eksempel ruhetsforholdene langs terrenget. Blokkenes utløpsdistanse, også blokker utenfor urfoten, eventuelle spor etter ferske utfall i uren eller i fjellveggen vurderes, sammen med vegetasjon (tett, spredt). Er det en stor ur, vil den i større grad være sortert enn en liten ur (NGI, 2014a), og mindre blokker vil antageligvis ikke kunne nå lenger enn øvre del av uren. Større blokker vil kunne nå urfot eller lengre. Faresonene skal samsvare med Plan- og bygningslovens sikkerhetskrav.

For å oppnå en helletlig vurdering av situasjonen ved Jorstøyp har vi utført numeriske analyser ved hjelp av Rockyfor3D, en deterministisk modell som beregner utløp av steinsprang som enkeltblokker (Dorren, 2015). Blant annet kan blokkvolum og -form bestemmes, og interaksjon med sikringstiltak og vegetasjon i utløpet kan inkluderes. En detaljert beskrivelse av modellen, samt input parametere gis i Vedlegg D.

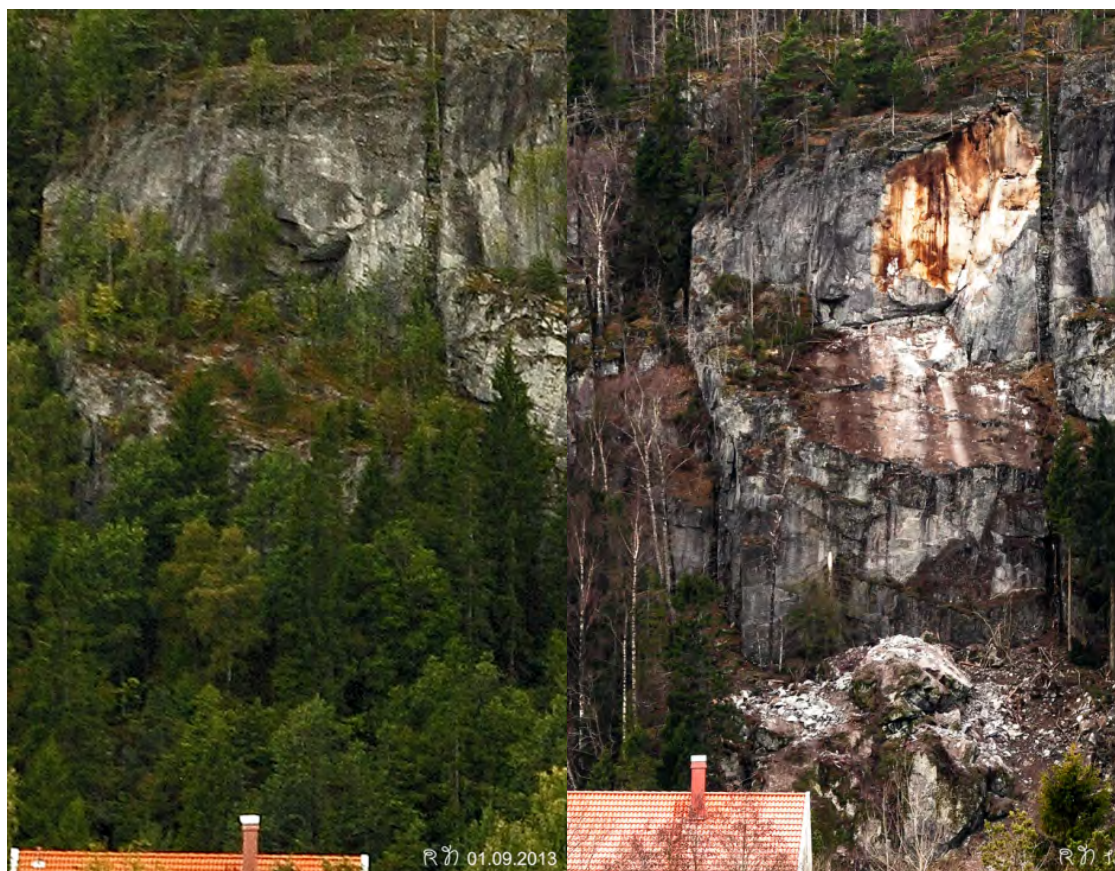
Eksempel på resultater fra modellering er vist i Figur 4-28. Disse resultatene brukes til støtte i faresoner, blant annet. På figuren er prosentvis fordeling av blokkene vist. Det kommer tydelig frem hvordan blokkene styres av det underliggende terrenget, slik at det danner seg "tunger" som strekker seg utover. Det er ikke en direkte sammenheng mellom modellering og faresoner, men på generelt grunnlag kan en anta at områder med sannsynlighet ≤ 0.2 fra modelleringen ikke vil være utsatt for steinsprang.



Figur 4-28: Resultat av Rocky for 3D-kjøring på Jorstøyp som viser sannsynlig utløp for steinsprang og mulige løsneområder.



Figur 4-29: Jordstøyp, hentet fra <http://hytte-fiske-tur-bloggen.sommerstad.net/2012/03/en-vinterdag-i-brattasloypa-i-kvelde-mars-2012/>



Figur 4-30: Bilder fra Jordstøyp, før og etter steinskred november 2013 som gikk ned til Rv40. Fotograf: Reidar Nordkveldemoen, hentet fra <http://norge24.org/2013/11/26/unike-bilder-fra-for-og-etter-steinskredet-i-jordstoyp-asen-i-kvelde/>.

For sikring av bergveggen ved Jordstøyp eller tilsvarende steder er det flere alternativer som kan vurderes dersom det skulle være nødvendig i fremtiden. Flere løsninger er tilgjengelige og brukes etter behov og økonomiske rammer i de aktuelle prosjektene, enten man velger en hindrende eller en begrensende metode.

Hindrende metoder

Den enkleste sikringsmetoden som hindrer et utfall er rensk og nedsprenkning av blokker, forutsatt at det ikke kan skade bebyggelse eller infrastruktur nedenfor. Trær som har røtter innover i bergmassen kan også fjernes for å minske faren for utfall av blokker. Blokker kan hindres fra å avløses ved å montere bolter og ankere, eventuelt monteres nett og fjellbånd i tillegg om det er større blokker eller svært mange avløste, mindre blokker (Figur 4-31). Disse løsningene kan monteres over store bergvegger for å hindre nedfall mot infrastruktur eller bebyggelse.



Figur 4-31: Bolter og nett (NGI-arkiv).

Sprøytebetong over bolter og anker kan brukes om bergoverflaten er svært oppsprukket. Dersom det kommer ut vann, må området dreneres. Drenering kan også benyttes som et sikringstiltak, ved å grøfte i overkant av bergveggen for å lede vekk vann som kan føre til oppbygging av sprekevannstrykk.

Begrensende metoder

Større tiltak som begrenser konsekvensen av et utfall er dyrere og krever mer av prosjektering og planlegging. Disse tiltakene kan være voller i ulik utforming, murer eller gjerder, men alle har til hensikt å stoppe/begrense utfallet, ikke å hindre blokken fra å løsne. Betongmurer (eller spuntvegger i enkelte tilfeller) kan brukes i områder med liten plass til konvensjonelle volltyper. Disse må boltes godt ned i berg (om mulig) for å kunne stå imot kreftene fra en blokk som treffer. En mur kan også sprekke opp etter treff fra en blokk, så eventuelle dempende materialer bør vurderes på støtsiden for å fordele kraften over et større areal.

Murer er større, kraftigere konstruksjoner laget av ulike materialer (tørrmur, gabionkasser, stedlige (løs-)masser) og med ulik helning på støtsiden etter hvilket materiale som er brukt (løsmasser må ha en slakere helning enn tørrmur og gabionkasser). Murene må ha tilstrekkelig drenering og en grøft i bakkant for å fange blokker som kommer ned.

Dersom blokkene som kommer ned har stor nok fart til at de knuses mot muren/bakken, kan steinspranggjerder monteres i toppen av muren for å stoppe eventuelle flogstein.

Steinspranggjerder (Figur 4-32) er fleksible konstruksjoner som gir etter ved treff, og bremses via elementer som er montert på forankringswirene og opphengswirene. Disse gjerdene er enkle å montere, men krever tilsyn og vedlikehold. Dersom et gjerde treffes av en blokk, må muligens deler av eller hele gjerdet byttes ut for at det siden skal fungere som planlagt. Gjerdene må boltes godt ned i berg, eller i tilfredsstillende dybde i løsmasser om det er for dypt til berg.



Figur 4-32: Eksempel på steinsprangnett satt opp ovenfor eksisterende bebyggelse (NGI-arkiv).

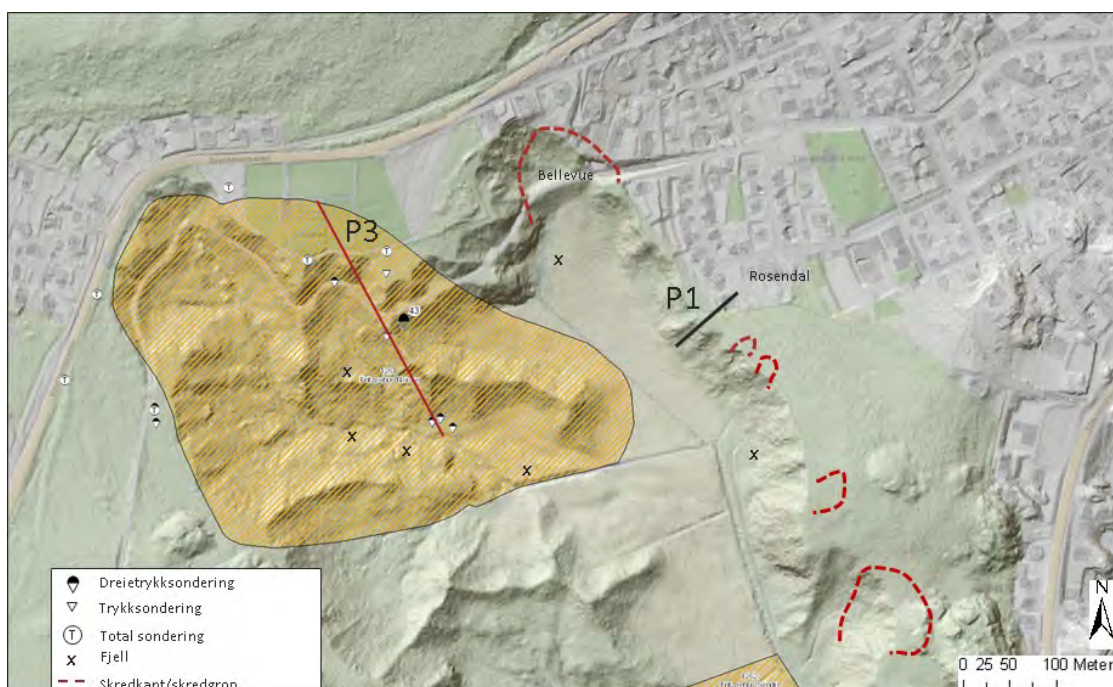
4.2.3.4 Fritzøeparken/Rosendal området

Beskrivelse av området og grunnforhold

Et oversiktskart over området ved Fritzøhuspark og Rosendal er vist i Figur 4-10. Nord i området går det en morene rygg - Raet - i en nordøstlig- sørvestlig retning. Sør for Raet er løsmassene dominert av hav- og fjordavsetninger (leire) hvor det enkelte plasser er påvist kvikkleire. Hoveddelen av kvikkleiresone 1261-Fritzøehus Nordre ligger inne i Fritzøehus park, en privat park tilhørende Fritzøehus gård. Denne sonen ble revidert i 2013 på bakgrunn av supplerende grunnundersøkelser og stabilitetsvurderinger (NGI

2013). Revidert utstrekning av kvikkleiresonen er vist i Figur 4-33. Nord i sonen ligger en kirke og kirkegård. Forøvrig er det ingen bebyggelse innenfor sonen. Kirkegården ligger på ca. kote 85 – 100. Herfra er det en bratt ravineskråning, hvor ravinebunnen ligger på kote 70 i vest, og kote 40 i øst. Skråningshøyden varierer mellom ca. 35 og 50 m i sonen.

Rosendalområdet ligger kun 150 m øst for kvikkleiresonen Fritzøehus Nordre. Det bebygde området ligger på et slakt hellende platå med en ca. 20 m høy og 25-30 grader bratt skråning i vest. Under befaringen høsten 2015 ble det registrert fjell i dagen i noen punkter i foten av skråningen. Det ble også registrert flere yngre og eldre skredgroper i samme skråning (Figur 4-33).



Figur 4-33: Oversiktskart ved Fritzøehuspark og Rosendal med digital terrengmodell i bakgrunnen, plassering av tidligere utførte grunnundersøkelser og registrering av skredgroper og fjell i terrenget.

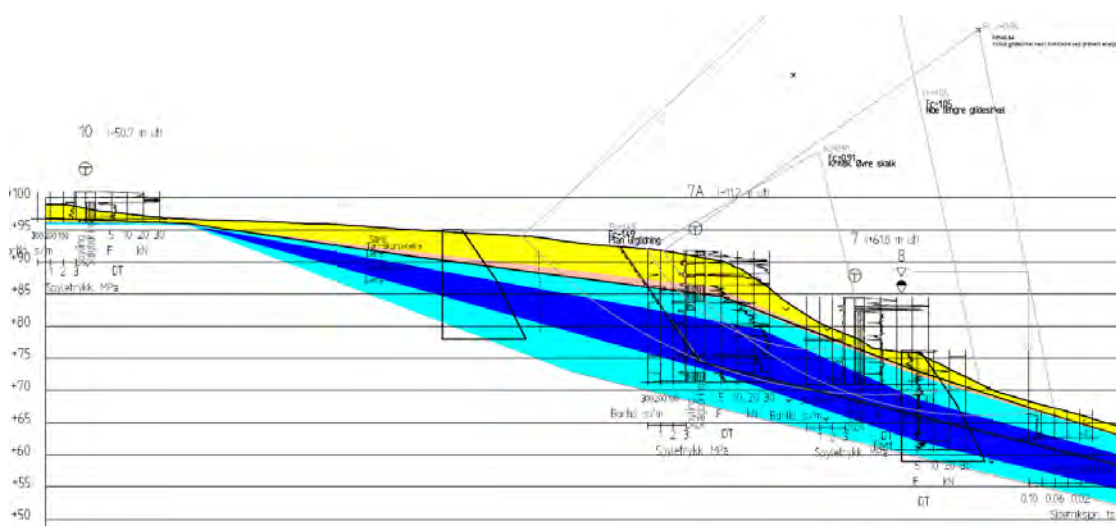
Et oversiktskart med tidligere utførte grunnundersøkelser i området er presentert i Figur 4-33 og Vedlegg D (Tegning D4). Som det kommer frem av kartet er det svært lite tilgjengelig informasjon om grunnforhold ved Rosendal. NGI har ikke funnet resultater fra tidligere undersøkelser i dette området. Derimot er det utført flere undersøkelser i tilknytning til kvikkleiresone Fritzøehus Nordre. Her viser grunnundersøkelser lag av kvikkleire med varierende tykkelser i skråningen og i bunnen av ravinen. På toppen av skråningen ovenfor kirka er det ikke påtruffet leire og sonderingen stopper 4 m under terreng i faste masser.

Stabilitet og mulig effekt av klimaendringer

Det er valgt 2 profiler for å diskutere stabilitet og mulig effekt av klimaendringer ved Fritzøhuspark og Rosendal området. Disse er profil 1 og 3 vist i Figur 4-33.

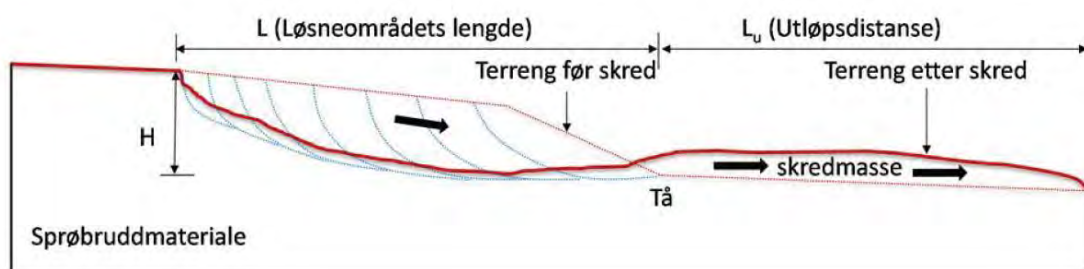
Profil 3

Stabilitetsanalyser ble tidligere utført av NGI i profil 3 (NGI, 2013). Det ble utført både effektivspenningsanalyser (c-φ) og totalspenningsanalyser. Effektivspenningsanalyser tar for seg en langsiktig situasjon der spenningsendringer i skråningen skyldes for eksempel nedbør og poretrykksendringer. En totalspenningsanalyse antar en korttids-situasjon som følge av raske spenningsendringer, som skyldes for eksempel menneskelig aktivitet (oppfylling eller utgraving). Den bratte øvre del av skråningen i profil 3 har marginal stabilitet med sikkerhetsfaktor rundt eller lavere enn 1.00 for både effektivspenningsanalyser og totalspenningsanalyser. Kirke og kirkegård vil således bli berørt av et kvikkleireskred i sonen. Øvrig bebyggelse på toppen av skråningen ligger på fjell og er dermed ikke utsatt for skred.

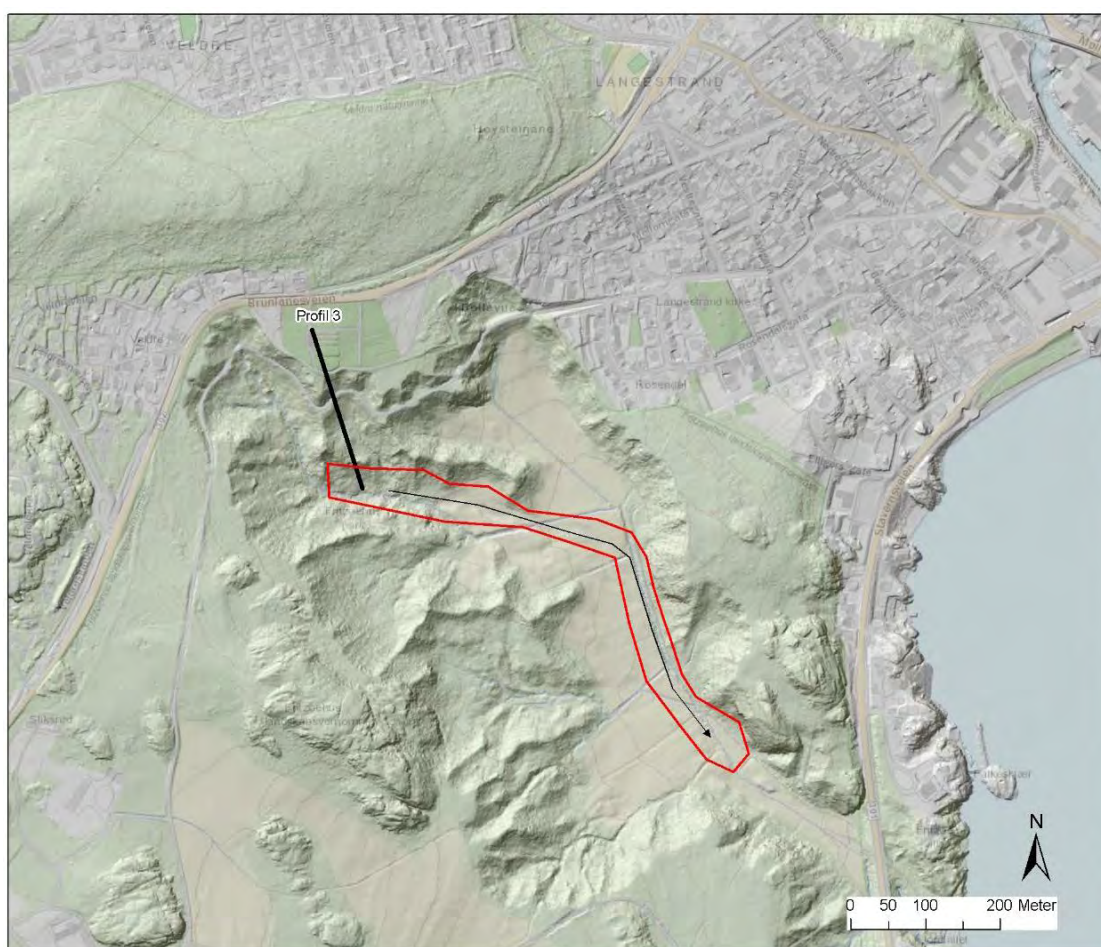


Figur 4-34 Resultater fra stabilitetsberegninger i profil 3 (fra NGI, 2013).

Et eventuelt kvikkleireskred andre steder i Fritzøhuspark (dvs. utenfor kirkegården) vil ha begrenset konsekvens da det ikke er noen øvrig bebyggelse i sonen, ei heller i utløpssonen til et eventuelt skred. Stavernveien ligger i potensiell utløpssone, men det er svært lite sannsynlig at et kvikkleireskred i Fritzøhuspark vil være av en slik størrelse at det kan strømme helt ned til Stavernveien. Basert på empiriske og historiske data kan vi anslå utløpsdistanse for et eventuell kvikkleireskred til å være ca. 3 ganger lengden på løseområdet (NIFS 2016; Figur 4-35).



Figur 4-35: Prinsippskisse for løśnieområde og utløpsdistanse (fra NIFS, 2016).



Figur 4-36: Lengste sannsynlige utløpsdistanse fra et kvikkleireskred i profil 3 ved Fritzøhuspark. Skredmassene vil følge terrenget og mest sannsynlig stoppe før Stavernveien. En slik hendelse vurderes derfor å ha begrenset konsekvens.

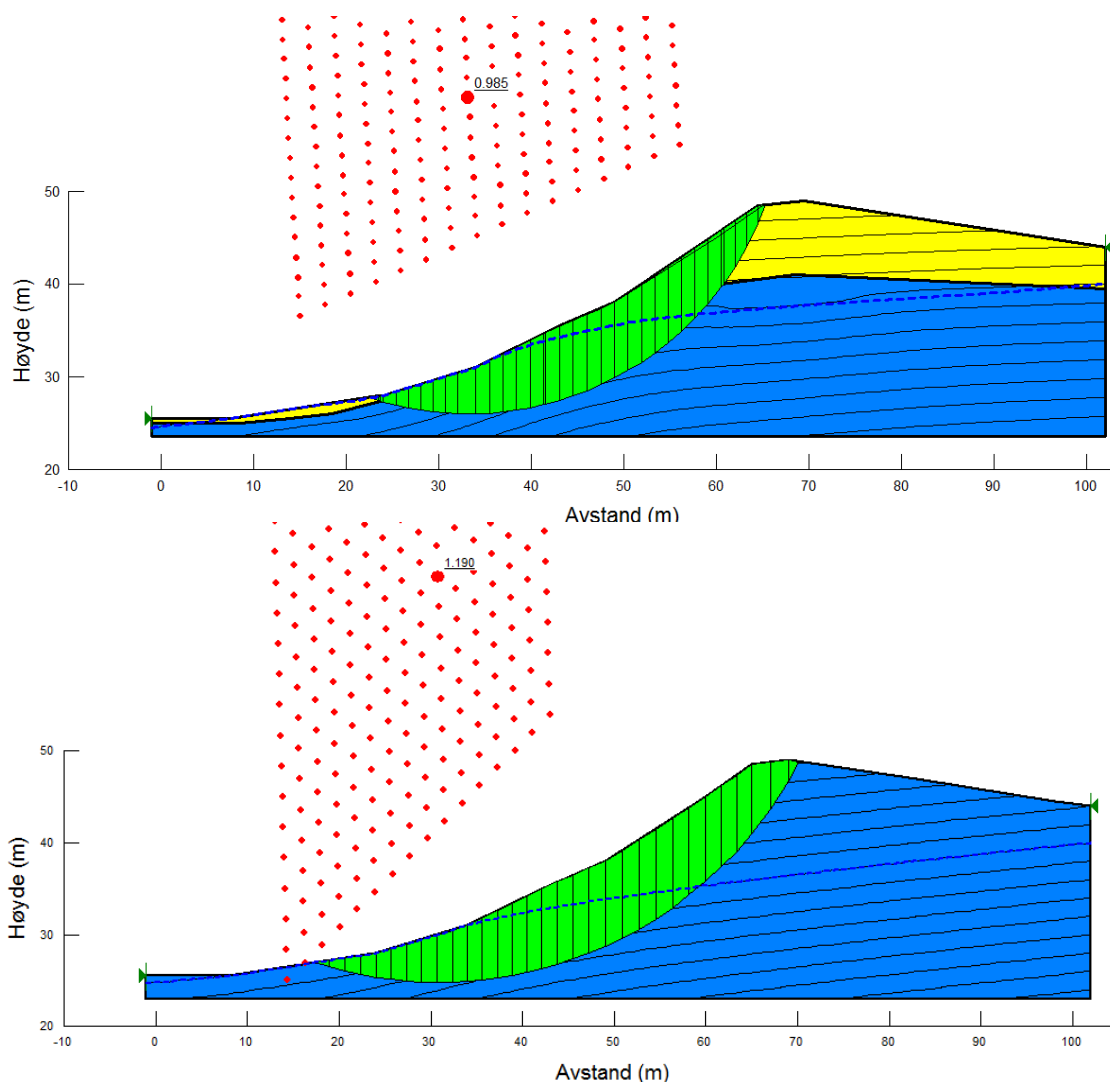
Profil 1

Som nevnt ovenfor er det ingen informasjon om de aktuelle grunnforhold ved Rosendal-området. Kwartærgeologisk kart viser marinstrandavsetning ved Rosendal og det er naturlig å anta lignende grunnforhold i profil 1 som i profil 3 (dvs. på begge sider av ravinen).

Det er ikke registrert aktiv erosjon i bunn av ravinen ved Rosendal. Da vil det i den naturlige skråningen bevares en tilnærmet stabil (stasjonær) spenningstilstand, hvor sikkerheten modelleres best ved effektivspenningsanalyse. Ved effektivspenningsanalyser må en anta grunnvannstanden og poretrykket i skråningen. Dette gjøres ved hjelp av grunnvannsanalyser. Som input i disse benytter vi de ekstreme nedbørs-mengdene for et 200 års gjentakintervall i Larvik for 1, 3 og 5 dager nedbørsvarighet (se Figur 4-1).

På grunn av usikkerheter angående grunnforholdene har vi sett på effekt av lagdeling i profil 1. Først har vi vurdert stabiliteten av profilen ved å anta lignende grunnforhold som i profil 3. Dette inkluderer et lag med sand ovenfor leire/kvikkleire. Deretter har vi vurdert profil 1 som kun bestående av leire/kvikkleire (Figur 4-37). En oversikt over valgte parametere i analysene er presentert i Vedlegg D.

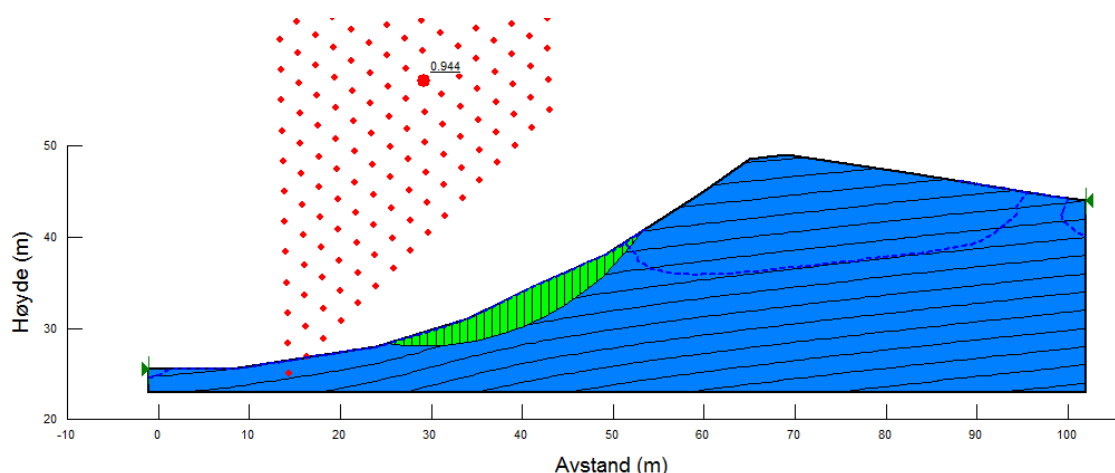
Resultatene fra stabilitetsanalyser viser at klimaendringer i form av ekstremnedbør-situasjon kan utløse skred i profil 1. For en lagdelt skråning (dvs. sand og leire) vil en 200 års ekstremnedbørintensitet med 1 dags varighet være det mest kritiske scenariet (Tabell 4-7). For en skråning bestående kun av leire vil derimot en 200 års nedbør-intensitet med 5 dagers varighet være mest kritisk (Tabell 4-7). Forskjellen ligger i materialenes responstid som er angitt av permeabiliteten. For en leirskråning vil det ta lengre tid å øke poretrykksnivået over kritisk verdi hvor skråningen blir ustabil. For både lagdelt og homogen skråning viser resultatene at ekstreme nedbørsmengder fører til grunne kritiske glideflater (Figur 4-38). Hvis det finnes kvikkleire i nærheten av de kritiske glideflatene kan skredprosessen forplante seg bakover og resultatet blir et kvikk-leireskred.



Figur 4-37 Resultat fra stabilitetsanalyser i profil 1. Analysene antar dagens sannsynlige poretrykssituasjon. Øvre bilde viser profil 1 med lagdeling av sand (gul) og leire (blå). Nedre bilde viser profil 1 med kun leire i profilen. De grønne områdene viser de mest kritiske glideflater for skred.

Tabell 4-7 Resultatene fra stabilitetsanalyser i profil 1 med varierende ekstremnedbørsituasjon. (N.B.: $F \leq 1,0$ betyr at skred kan inntreffe)

Ekstrem nedbørsituasjon (200 års gjentakintervall)	Sikkerhetsfaktor (F)	
	Profil 1 – kun leire	Profil 1 – sand og leire
Initial	1,19	0,985
1 dag	0,973	0,80
3 dager	0,950	0,88
5 dager	0,944	0,91



Figur 4-38: Eksempel på kritisk glideflate for en leirskråning i profil 1 etter 5 dager med 200 års nedbørintensitet.

Mulige tiltak og tilpasning av området for klimaendringer

Beregningene ovenfor fokuserer på effekt av klimaendringer (nedbør). Det er ingen spesiell grunn til å analysere uforutsette «udrenerte» hendelser som ulovlig graving eller fylling (søknadspliktige tiltak som kan være kritisk for stabiliteten) i disse skråningene. Generelt kan vi konkludere med at homogene leire- og kvikkleireskråninger med lav sikkerhetsfaktor vil være utsatt for skred ved langvarige ekstremnedbørsperioder. For lagdelte skråninger, som for eksempel presentert for profil 3, kan kortere ekstrem nedbørintensitet være mest kritisk. Det understrekes at flere andre faktorer som lokal geologi og berggrunn, lagdeling og nedbørsmønstre forut for en ekstremhendelse også vil ha stor betydning for når en skråning blir mest kritisk.

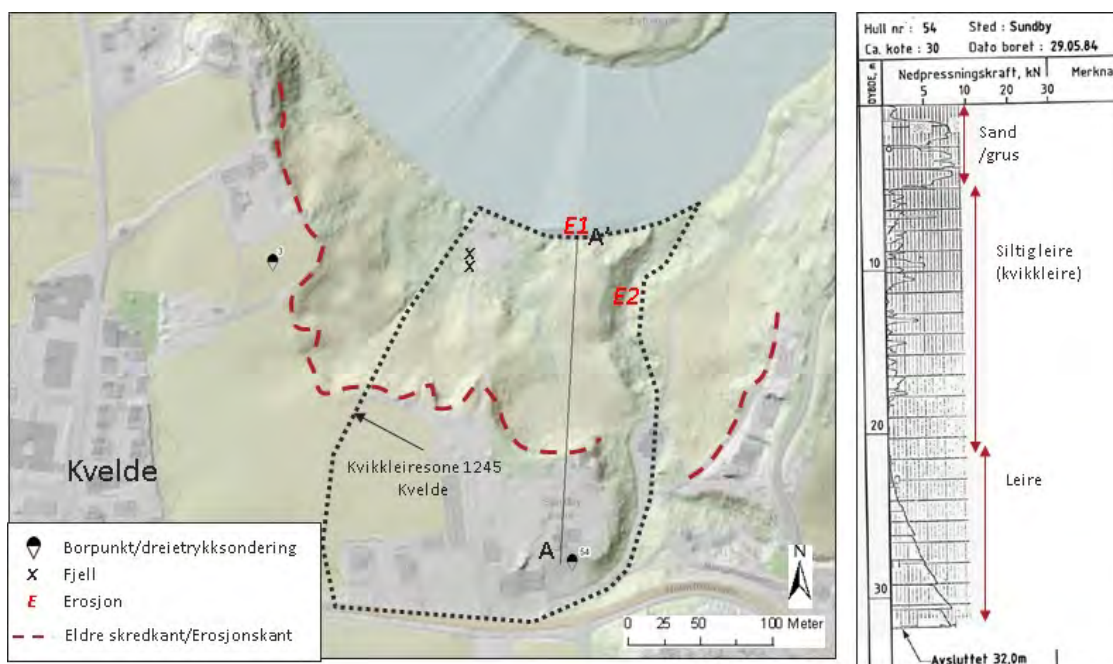
Analysene ved Rosendal er konservative og basert på svært lite geoteknisk datagrunnlag. For å kunne vurdere behovet for tiltak bedre er det først og fremst anbefalt å utføre grunnundersøkelser i området. Resultatene kan benyttes for å vurdere om det finnes kvikkleire eller ikke, og om det er en reell fare for skred knyttet til ekstremnedbørsituasjoner.

4.2.3.5 Kvelde

Beskrivelse av området og grunnforhold

Kvikkleiresonen 1245-Kvelde ligger øst for Kvelde sentrum i Larvik kommune (Figur 4-39). Området grenser mot Holmfossveien i sør og mot Numedalslågen i nord. Høydeforskjellen i området er 15-20 m. Kvartærgeologiske kart viser elveavsetninger over marine avsetninger i området (Figur 4-10). Dette stemmer overens med resultatene fra dreietrykksondering vist i Figur 4-39. Dreietrykksondering nr. 54 indikerer 5 m med sand/silt over leire. Leira ser ut til å være kvikk i dybdeintervallet 5-21 m.

Under befaring høsten 2015 ble det observert erosjonskanter i ravinen øst i området og langs Numedalslågen (Figur 4-39). Under tidspunktet for befaringene var erosjonsprosessene lite aktive, men disse områdene kan være utsatt under flomhendelser og ekstremnedbørsituasjoner i framtiden. Midt i kvikkleiresonen ligger det en ca. 8 m høy kant som antas å stamme fra en eldre skredhendelse (pre-historisk).



Figur 4-39: Kartoversikt ved Kvelde med digital terrengmodell i bakgrunnen; plassering av tidligere utførte grunnundersøkelser og observasjoner gjort under befaring høsten 2015. Tolkning av dreietrykksondering nr. 54 er vist til høyre.

Analyse av stabilitet ved Kvelde og mulig effekt av klimaendringer

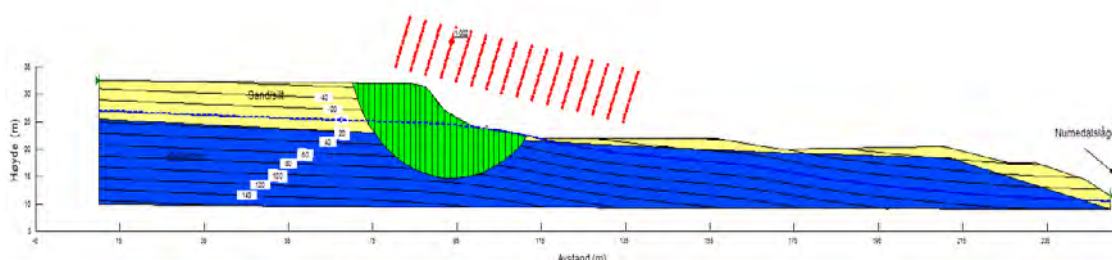
NGI har utført en relativt grov stabilitetsanalyse i profil A-A' (Figur 4-39) på Kvelde for å kunne vurdere mulig effekt av klimaendringer i området. Det understrekes at analysen er konservativ og basert på svært lite geoteknisk datagrunnlag. Resultatene er ment som en basis for diskusjon og ikke for detaljprosjektering. Tolket lagdeling er basert på sonderingen i punkt 54 (Figur 4-40). Det er anslått at kvikkleire fortsetter utover i profilen mot Numedalslågen. Stabilitetsanalysen bruker typiske materialparametere for sand og normalkonsolidert kvikkleire (Vedlegg D). Videre antar vi en hydrostatisk poretrykksfordeling i analysen fra 5 m under terreng i sør. I nord er poretrykksfordeling hydrostatisk fra Numedalslågen.

Resultatene fra stabilitetsanalysen viser at den mest kritiske skråningen ved Kvelde er tilknyttet den eldre skredkanten ved Sundby østre (Figur 4-40). De grove analysene antyder at sikkerhetsfaktoren ligger nærmere 1. Ved elva er stabiliteten derimot mye bedre (sikkerhetsfaktor over 2). Det understrekes at stabiliteten ikke er kritisk i området ved Sundby østre og at det ikke ble funnet tegn til ustabil skråning under befaring høsten

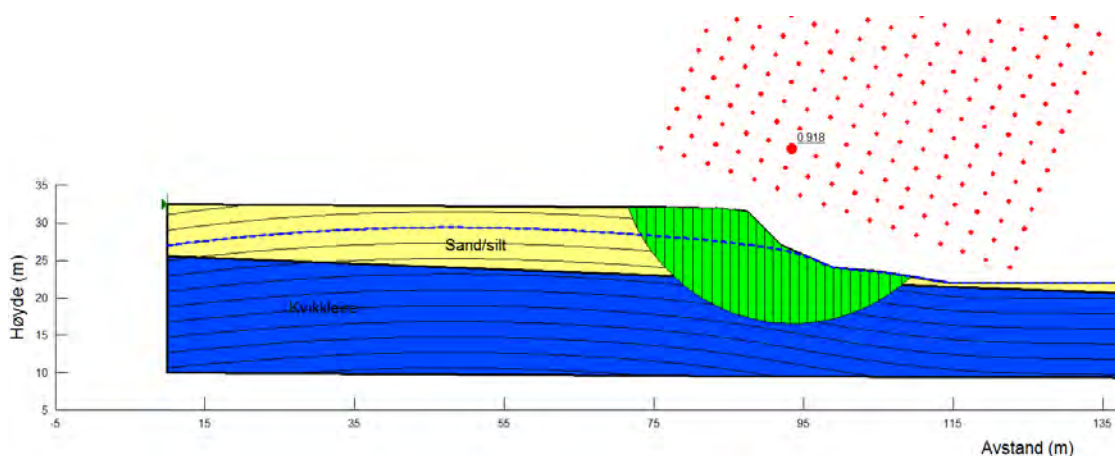
2015. Likevel er ikke stabiliteten god nok i forhold til kravene i TEK10 og NVEs veileder *Sikkerhet mot kvikkleireskred* (NVE-veileder 7/2014) med tanke på en fremtidig utbygging av området.

Når det gjelder effekt av klimaendringer ved Kvelde, er det lite sannsynlig at en flom i Numedalslågen vil utgjøre en stor fare for kvikkleireskred her. Stabiliteten er anslått å være god nok langs elva, og det er per i dag ikke registrert aktiv erosjon. Den største faren antas å være knyttet til ekstreme nedbørshendelser. Et eksempel på dette er vist i Figur 4-41. Vi har antatt 1-døgns nedbørintensitet for 200 års gjentakintervall som vist i Figur 4-1. Ved å sammenlikne grunnvannsspeilet (blå stiplet linje) i Figur 4-40 og Figur 4-41 ser man at en slik ekstrem nedbørshendelse fører til høyere grunnvannstand, økt poretrykk og dermed lavere stabilitet. Resultatene er sammenliknbare med resultatene for Fritzøeparken/Rosendal-området.

Det understrekes også at infiltrasjon over lengre tid vil resultere i økt poretrykk og økt romvekt i skråningen (særlig i sand). Dette kan medføre en reduksjon av den allerede lave sikkerhetsfaktoren. For sand kan oppbløting som følge av nedbør eksempelvis resultere i opptil 15-30% høyere romvekt. For den beregnede situasjon ved Kvelde er det derimot kun nødvendig med 3-5% høyere romvekt for at beregnet sikkerhetsfaktor blir lavere enn 1.



Figur 4-40: Tolket lagdeling og resultater fra stabilitetsanalyse ved Kvelde. Konturene viser poretrykksfordeling, men det grønne området viser den mest kritiske glideflate for skred. Sikkerhetsfaktor er lik 1 og dermed ikke god nok i forhold til kravene i TEK10 og NVEs veileder *Sikkerhet mot kvikkleireskred* (NVE-veileder 7/2014) med tanke på en fremtidig utbygging av området.



Figur 4-41 Resultat av stabilitetsanalyser ved Kvelde som følge av ekstremnedbørshendelse (1-døgn og 200 år ekstremnedbørsintensitet). Sikkerhetsfaktoren er under 1, hvilket viser at skråningen kan være ustabil for denne situasjon.

Tilpasning av området for klimaendringer og fremtidig utbygging

Eventuelt behov for utredning og sikring av områdestabiliteten i kvikkleiresoner er avhengig av tiltakskategori, og for tiltakskategori K2-K4 også av hvilken faregrad sonen har. Tiltakskategori bestemmes av tiltakets påvirkning på områdestabiliteten og av konsekvensene ved skred. Konsekvensene bestemmes av tiltakets størrelse og verdi samt i hvilken grad tiltaket vil medføre tilflytning av personer.

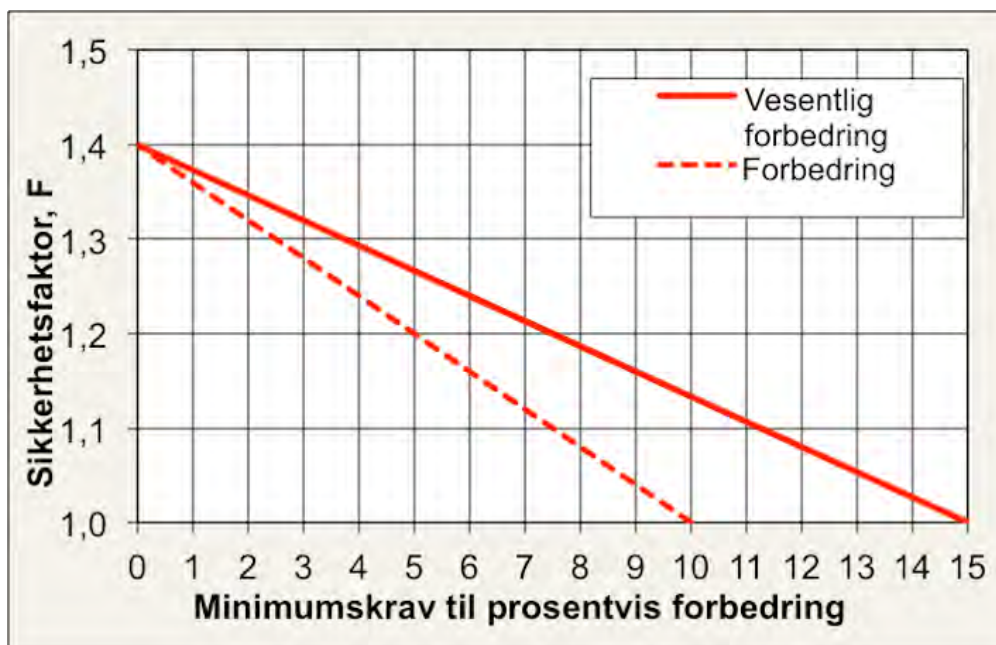
La oss anta at Larvik kommune har behov for byggverk i tiltakskategori K4 i kvikkleiresone 1245-Kvelde. Eksempler på byggverk som inngår i denne kategorien er:

- mer enn to eneboliger/fritidsboliger
- eneboliger i kjede/rekkehus/boligblokk/fritidsbolig med mer enn to boenheter
- bolig- og hyttefelt
- skole og barnehage
- sykehjem
- større næringsbygg, osv.

Kvikkleiresone 1245-Kvelde har per i dag lav faregrad. Likevel må hele sonen utredes med stabilitetsberegninger for tiltak i K4 i følge NVEs veileder (NVE-veileder 7/2014). For tiltakskategori K4 er kravet til beregningsmessig sikkerhet for områdestabiliteten ved ny utbygging, $F \geq 1,4$. Der sikkerheten er lavere kreves sikringstiltak som bedrer sikkerhetsnivået til sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller en prosentvis forbedring i samsvar med Figur 4-42.

De grove stabilitetsanalysene presentert ovenfor viser at det mest sannsynlig er behov for prosentvis forbedring (minst 10%) for å kunne godkjenne tiltak i kategori K4. En mulighet for å oppnå slik prosentvis forbedring er å legge en motfylling i foten av den mest kritiske skråningen i profil A-A' (Figur 4-39, Figur 4-40). For planlegging av et slikt tiltak vil det være behov for supplerende grunnundersøkelser i området.

Uansett om Larvik kommune planlegger utbygging av området eller ikke er det anbefalt å utføre flere grunnundersøkelser for å forbedre input til stabilitetsanalysene og for bedre å kunne vurdere behov for tiltak med tanke på klimaendringer.



Figur 4-42: Krav til prosentvis forbedring ved topografiske endringer i naturlig terreng (NVE-veileder 7/2014).

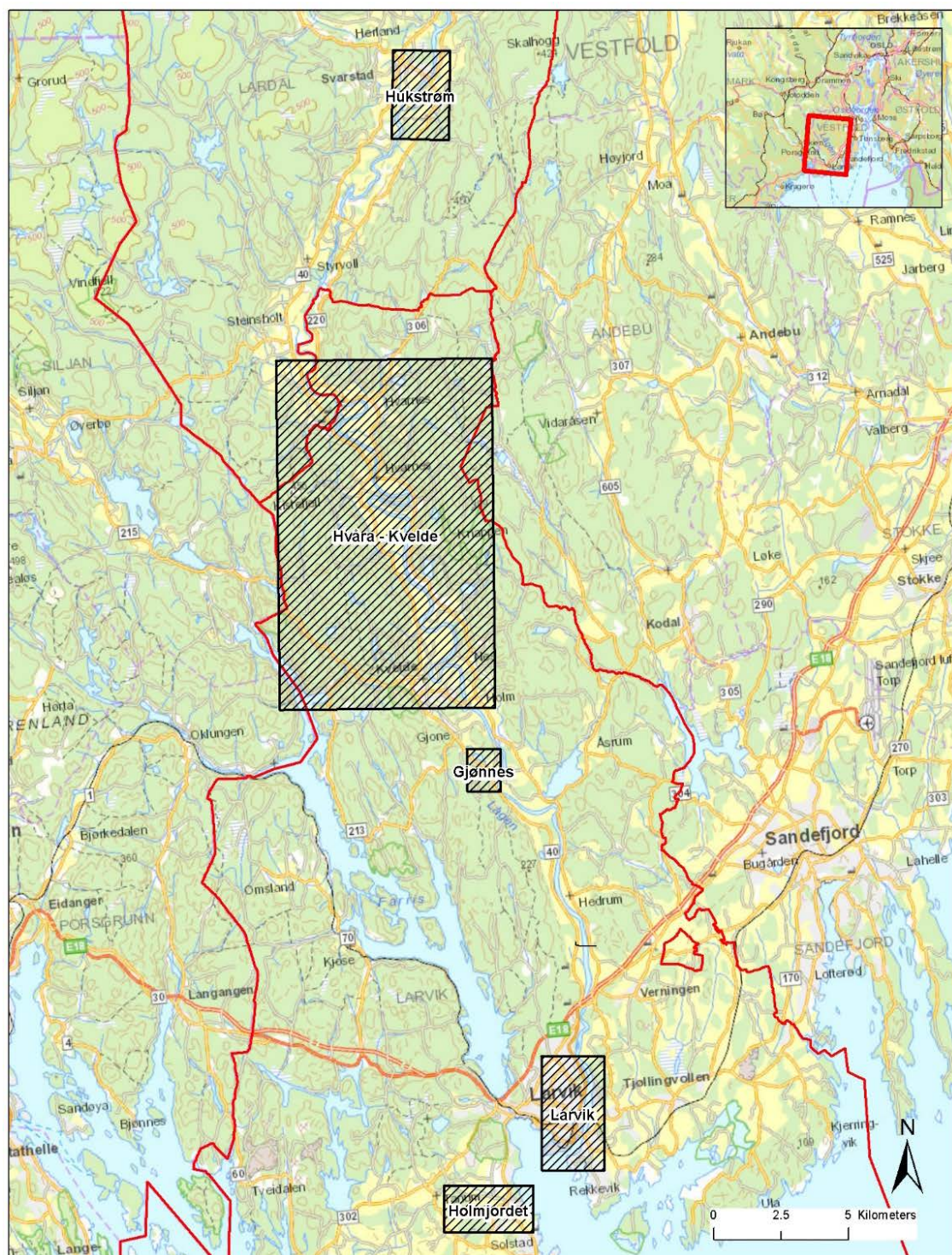
4.3 Flomvurderinger i utvalgte områder

4.3.1 Bakgrunn

For å gi en vurdering av klimatilpasning mtp. flom, er det i samarbeid med Larvik og Lardal kommuner valgt ut følgende områder eller strekninger (jfr. avsnitt 3.2), Figur 4-43:

1. Hukstrøm bru, Svarstad, Lardal kommune
2. Hvåra - Kvelde
3. Gjønnnes, FV40, sidevassdrag til Numedalslågen sør for Kvelde
4. Utløp Numedalslågen, Larvik
5. Holmjordet, bekk gjennom området til sjøen

Målet er ikke først og fremst å produsere kart tilsvarende NVE flomsonekart, men med et minimum av inngangsdata angi flomareal ved klimaendringer slik at en kan gjøre ulike tilpasninger for å redusere fremtidig skadepotensiale. De fire første er alle deler av vassdraget Numedalslågen, mens Holmjordet er et mindre nedbørfelt som strekker seg fra et landbruksområde og ned gjennom et boligområde.



Figur 4-43: Oversiktskart over områdene 1-5.

En vesentlig del av arbeidet med flomkartlegging eller flomarealkartlegging er å dokumentere flommer og deres utbredelse lokalt. Ei elv eller et vassdrag gir en respons

på nedbør og snøsmelting der lokal vannstand er et resultat av lokale hydrauliske egenskaper og forutgående avrenning i vassdraget.

Et flomsone kartprosjekt kan inndeles i 4 hovedfaser:

1. Innsamling av grunnlagsmateriale
 - a. Elve- og terrengprofiler
 - b. Brutegninger og stikkrennedimensjoner
 - c. Historiske flomobservasjoner
 - i. Hydrometriske stasjoner
 - ii. Flommerker
2. Hydrologisk flomanalyse
3. Hydrauliske beregninger
4. Utarbeidelse av flomkart.

4.3.2 Grunnlagsmateriale

Lardal og Larvik har et relativt godt høydegrunnlag med nyere laserdata, og en terrengmodell med 1 m oppløsning er benyttet som grunnlag for uttrekk av terrenginformasjon. Med unntak for utløp av Numedalslågen i Larvikfjorden, er det ikke benyttet målte tverrprofiler under vann. Tverrprofiler i utløp Numedalslågen er dokumentert i rapport fra HydraTeam (NVE, 2015). Brutegninger for strekningen fra fjorden opp til og med Hukstrøm bru er mottatt fra Vegvesenet, avdeling Vestfold. Jernbaneverket har gitt tegninger for jernbanebrua over Numedalslågen. Stikkrenne dimensjoner på Holmjordet er registrert ved befaring.

4.3.2.1 Hydrologiske data

Numedalslågen er flomberegnet av NVE bl.a. for flomsonekartprosjekt på Kongsberg (NVE, 2001) og beregningen er oppdatert i forhold til klimaendringer (NVE, 2012). Stasjon Holmfoss (15.61, nedbørfelt 5197 km²) ligger sentralt i det undersøkte området i Numedalslågen, og data herfra er benyttet både til flomanalyse og til kalibrering av hydrauliske modell. I tillegg er målestasjon Istreelva (15.174) benyttet for å vurdere flom ved Gjønnnes og FV40.

4.3.2.2 Flommerker

I prosjektområdet er det markert flere flommerker på to steder. Dette er på fjell rett nord for østre brukar på Hvåra bru, og ca. 80 m sør for Hukstrøm bru. Disse flommerkene, samt høydereferansen til stasjon Holmfoss er målt opp i dette prosjektet (Larvik kommune, 2016). Samtidig er et nullpunkt på flomskala ved Brannstasjonen i Larvik målt opp. Etter flommen høsten 2000 ble det også målt inn (Norconsult, 2014) vannmerker som er benyttet til kalibrering av hydrauliske modeller. Figur 4-44 og Figur 4-45 viser disse flommerkene ved Hukstrøm og Hvåra bruer. Tabell 4-8 viser de innmålte

høydene i Larvik kommune (2016). Et flommerke er sjelden svært nøyaktig, eller nødvendigvis satt av på eksakt kulminasjonstidspunkt. I ei flomstor elv vil vannstanden pulsere i bølger og i tilfelle på naustveggen nedenfor Huskstrøm bru er flommerkene restaurert og naustet kanskje ikke stabilt. En annen kilde som har med seg enkelte gamle flommerker er Vassdragsnivellement som ble utgitt i 1923 og har med seg 3 eldre flomhøyder ved Hukstrøm i Vassdragsvesenets høydesystem.

Tabell 4-8: Sammenstilling av flomhøyder (NN2000).

År	Hukstrøm bru	Hvåra bru
1822		18.098
1879		18.363
1916	37.057	17.247
1924	36.492	
1926	36.913	17.033
1927	38.049	18.551
1961	36.755	16.367
1964	37.307	16.167
1987		16.271
2007	37.307	16.917
2015	36.973	



Figur 4-44: Flommerker ved Hukstrøm.



Figur 4-45: Flommerker ved Hvåra bru, sammenstilt av Norconsult (2014).

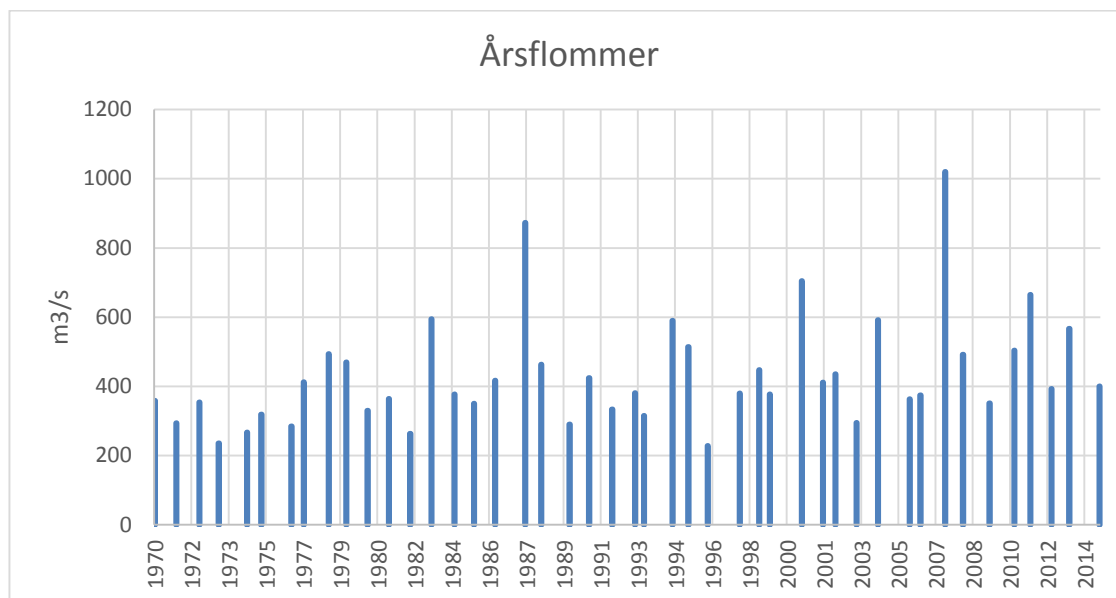
4.3.3 Vassdrag og flomberegning i nedre del av Numedalslågen

Numedalslågen er et langstrakt vassdrag, 350 km langt med et totalareal på 5554 km² (NVE, 2012). Nedbørstasjon med mest nedbør er i sør, ved Larvik, der årsnedbøren er

~1050 mm, men avrenningen er likevel størst lengst vest i nedbørfeltet inne på Hardangervidda.

Numedalslågen har en relativt høy grad av regulering, der ca. 30 % av midlere årstilsig kan lagres. Denne reguleringen har hatt stor effekt på flommer, og plott av flerårsstatistikk (NVE, 2001) viser at antallet større flommer er sterkt redusert de siste 100 år. Av de større historiske flommene var 1916 og 1927 ganske like på Kongsberg, men 1927 regnes å ha vært dempet eller påvirket av reguleringen. Etter 1960 er reguleringene ikke vesentlig endret og dataserier etter dette bør være homogene.

Det er utført en analyse av vannføringsdataene på Holmfoss (15.61). Stasjonen har 45 år med data (fra 1970). Merk at 2015 ikke er med i analysen. Figur 4-46 viser døgn-middelverdier for årsflommene. Fra tidlig 70-tall ser en at det er en viss økende trend, men 70-tallet var en rolig periode mht. flom, 10-året før hadde større flommer (NVE, 2001), og med en lengre serie hadde en trolig ikke sett noen klar trend. I Figur 4-46 skal en merke seg årene 1987, 2000, 2007 og i tillegg 2015 som er de største flommene observert i Numedalslågen siden 50-tallet. September 2015 hadde 2 flomtopper større enn 1987, hver nærmere 950 m³/s (billedmateriale på <http://norgefoto.org/fotoserier/vestfold/hedrum.html>).



Figur 4-46: Plott av årsflommer, døgn, Holmfoss (stasjonsnummer 15.61).

Tabell 4-9: Største 10 døgnmiddelflommer, Holmfoss.

Rang	Dato	m ³ /s
1	06.07.2007 12:00	1020.24
2	17.10.1987 12:00	873.64
3	13.10.2000 12:00	705.07
4	25.07.2011 12:00	665.31
5	14.05.1983 12:00	594.83
6	08.05.2004 12:00	591.9
7	11.09.1994 12:00	589.81
8	18.05.2013 12:00	567.29
9	02.06.1995 12:00	514.37
10	07.10.2010 12:00	504.3

De 10 største verdier for døgnmiddelflom for perioden 1970-2014 er gitt for Holmfoss i Tabell 4-9. Sammenlignes disse datoene med Tabell 4-3, ser en at det er liten sammenheng med korttidsnedbør, dvs. 1, 3 og 5 døgn. 2015 (som ikke er med i tabellen) har imidlertid flere av observasjonene innenfor 1, 3 og 5 døgns nedbør. Ekstremværet Petra (17/9- 2015) resulterte i den andre flomtoppen i 2015. For 3 og 5 døgns nedbør (Tabell 4-3) dominerer hendelser høsten 2006, men høyeste flomverdi var kun 284 m³/s ved Holmfoss dette året, som vi skal se nedenfor er mindre enn en middelflom. 1987 og 2000 var begge fuktige høster, og høsten 2000 kom ut med rekorder på månedsnedbør i oktober og særlig november for sørøst Norge. 2007 var også en regnflom. Tilsvarende tabell for Hedrum (Vedlegg A4) viser at 4-5 juli 2007 kom ut med ekstremer for 1 og 3 døgns nedbør. I 2007 var Tunhovd og Pålbufjorden fulle (grunnet høyt tilsig gjennom hele våren og forsommeren) alt før flommen startet og gikk med overløp (pers. komm. Nils Runar Sporan, Numedals-Laugens Brugseierforening, NLB).

I 2015 ble det ved flomtopp 2-4.9 forhåndstappet ved Kjerredammen, samt at Nore 2 kraftverk ble kjørt med halv kapasitet. Ved neste flomtopp (15-18.9), ble det holdt igjen vann både i Tunhovd- og Pålbufjorden fra 15.9. Tunhovd gikk til overløp 21.9, Pålсбу 18.9. Det er anslått at første flomtopp ved Kongsberg, ble redusert med 90-130 m³/s, mens flomtoppene 15-18.9 ble redusert med ca. 60 m³/s. Flomtopp 2 (3% større enn nr. 1) er i størrelse en flom som gir problemer og stengning ved bru Kongsberg (pers. komm. Nils Runar Sporan, NLB).

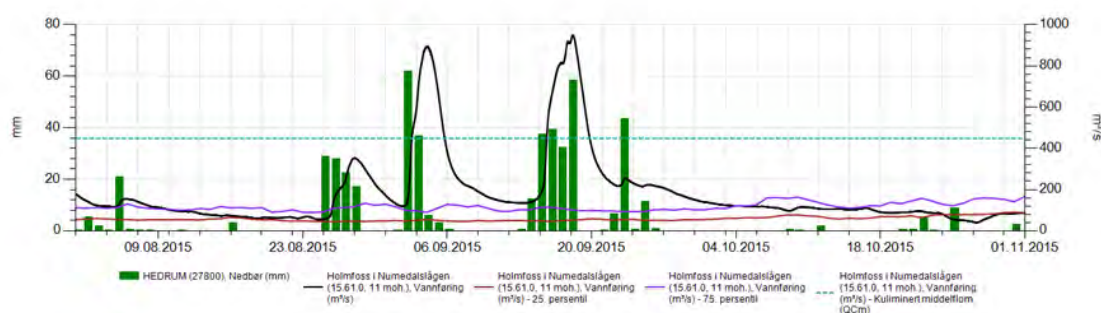
Ser en på flomforløpet for de to toppene 2015 (Figur 4-47) ser en at flom ved Kongsberg kulminerer ca. 12 timer før Holmfoss for den førets toppen. På flomtopp nr. 2 fortsetter flommen å stige to døgn på Holmfoss etter at den synker på Kongsberg. I denne perioden kom det store nedbørmengder (Petra) sør for Kongsberg.

Flommer i 1983 og 2004 er mer typiske vårflommer noe større enn middelflom.

En hydraulisk effekt som kan komme inn ved oversvømmelse i meanderområder, er at overstrømming over land kan møte motstrøm slik at strømhastigheten stagnerer, mot normalt å øke ved stigende vannstand. Dermed kan vann bli forsinket sammenlignet med lavere flommer som følger elveleiet.

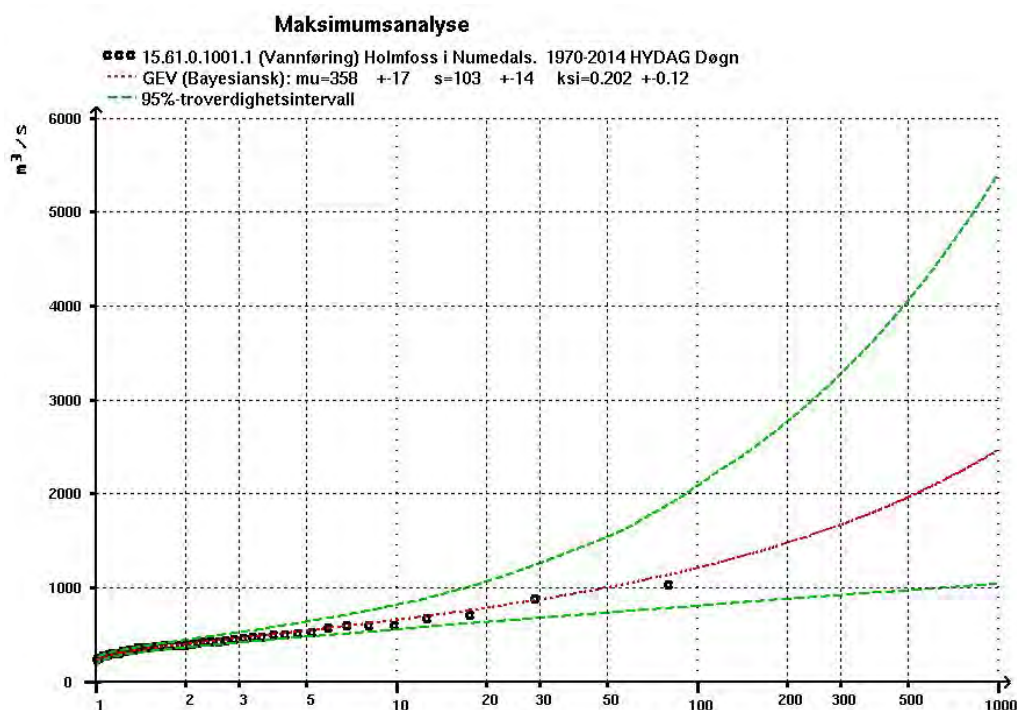
Kort sagt, en stor flom må ha høy markfuktighet/grunnvannstand slik at nedbøren raskt og direkte går til avrenning. Numedalslågen er et stort vassdrag og vil trenge regional utbredelse og fordeling av store nedbørmengder for å gi flom i nedre del. Enda mer direkte dempende virker reguleringer som forskyver og endrer flomtopper.

Vassdragsreguleringene i Numedalslågen har som nevnt over endret flomregimet og senket flomstørrelsene i Numedalslågen. Erfaring fra de siste årene viser at styring og bruk av reguleringene er en viktig del av det å redusere regnflommer. Det er derfor viktig at kommunene har et bevisst forhold til vassdraget og vassdragsreguleringen gjennom reguleringsforeningen.

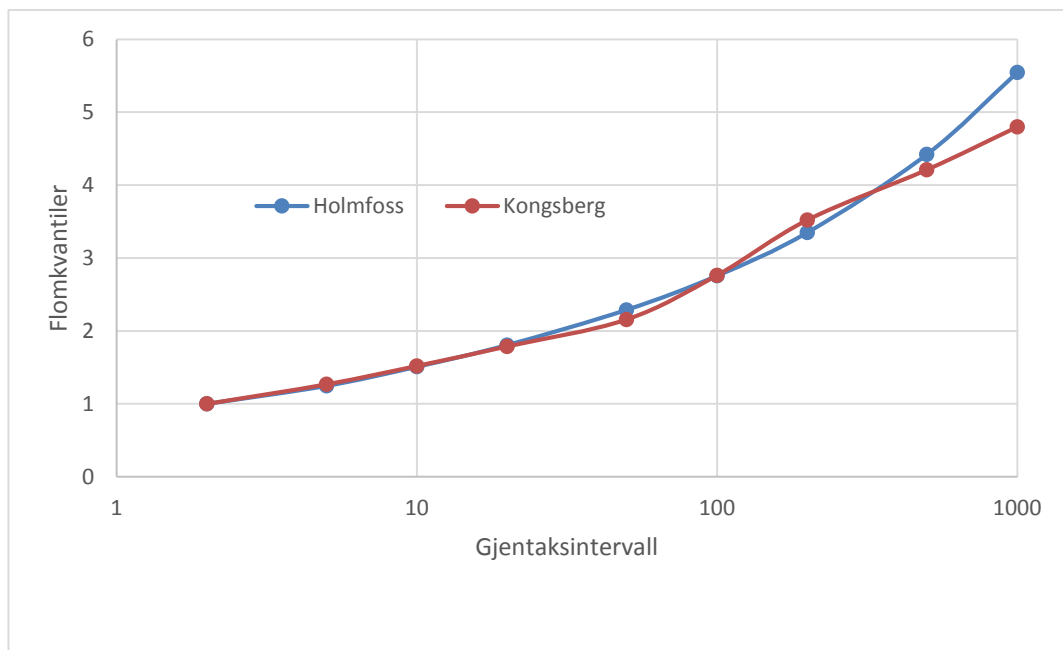


Figur 4-47: Flomvannføring Holmfoss og nedbør Hedrum.

Figur 4-48 viser ekstremanalyse og observerte verdier. Middelflom er middel av årsflommene, ca. 430 m³/s. En ser at plotteposisjonen til flommen i 2007 ligger mellom 50- og 100-års flom (avhenger av rang og serielengde), men ligger under valgt regresjonslinje slik at vannføringen tilsier en 50-års flom. Serien er for kort til alene å si noe om mer ekstreme flommer. Figur 4-49 viser flomkvantilene for Holmfoss sammenlignet med Kongsberg (NVE, 2012). Kongsberg har en lengre dels konstruert serie, og sammenlignes linjene i Figur 4-49, ser en at det er relativt like flomkvantiler opp til 200-års flom. Analysen er gjort på døgndata, og analyse av dataene fra NVE (2001) og findata (seNorge) viser at kulminasjonsdata er ca. 4 % høyere enn døgnavannføring. Det vil si at flomtoppen i området er relativt flat.



Figur 4-48: Ekstremanalyse av årsflommer (15.61 Holmfoss). Markerte punkt viser observasjoner plottet som funksjon av gjentakintervall. GEV-kurve er plottet sammen med 95% konfidensintervall.



Figur 4-49: Sammenligning av flomkvantiler fra stasjon Holmfoss (denne analysen) og Kongsberg (NVE, 2012). Flomkvantiler viser flomstørrelser med ulikt gjentakintervall plottet relativt til middelflom som har flomkvantil 1.

Tabell 4-10 viser beregnede statistiske flomvannføringer ved Holmfoss. Tabell 4-11 viser hvordan flomverdiene er skalert i forhold til Holmfoss. Flomvannføring i Gjønnestbekken er vurdert i forhold til Istreelva. Tabell 4-10 viser at en 100 års flom i dag tilsvarer en 50 års flom når man legger på 20% klimapåslag. Dette kan virke som det ikke er så ekstremt, men hvis 2015 flommen (< 50 års flom) kommer igjen med konsekvens som 2007 flommen eller større (klimapåslag) og opptrer flere ganger per år slik 2015 flommen gjorde, er dette opplagt noe å ta i betraktning. Omfanget av aktiv beredskap, tilsyn, akuttoppsetting og antall skadesteder og skadeomfang vil da skalere seg med klimapåslag.

Tabell 4-10: Beregnede flomvannføringer Holmfoss, og klimatillegg + 20 %.

Gjentaksintervall, år	2	5	10	20	50	100	200	500
Vannføring, m ³ /s	448	558	676	809	1025	1235	1501	1980
pluss 20%	537	670	811	971	1231	1481	1801	2376

Tabell 4-11: Nedbørfeltarealer sammenlignet med areal nedbørfelt ved Holmfoss.

Sted	Nedbørfelt, km ²	Relativt areal
Hukstrøm bru, Lardal	4950	0.9525
Holmfoss	5197	1.0000
Åsrum	260	0.0500
Numedalslågen nedstrøms Åsrum	5500	1.0583
Utløp Numedalslågen	5554	1.0687
Gjønnest	16.5	0.0032
Istreelva	25.58	0.0049

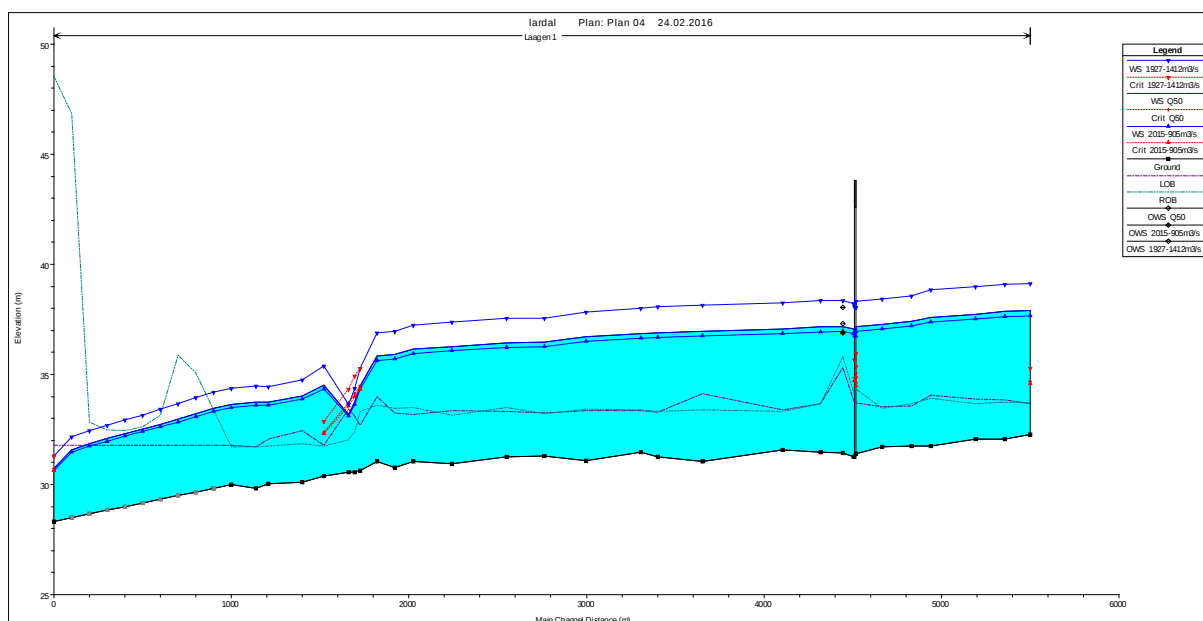
4.3.4 Hydrauliske modeller og resultater

Som hydraulisk verktøy er benyttet HEC-RAS (2010). Grunnmodellene er generert ved hjelp av ArcGis. På strekningene oppstrøms Bommen bru, er elvekant og laserhøyde på elva benyttet som en tilnærming til ei vannlinje ved lav vannføring (~100 m³/s). Laserdataene av elv viser gode trender, men antas å være sterkt påvirket i partier med stor strømning eller vind på opptakstidspunkt. Elvebunnen er justert slik at vannlinja er tilpasset observerte fallforhold. Hvert av områdene er beskrevet nedenfor.

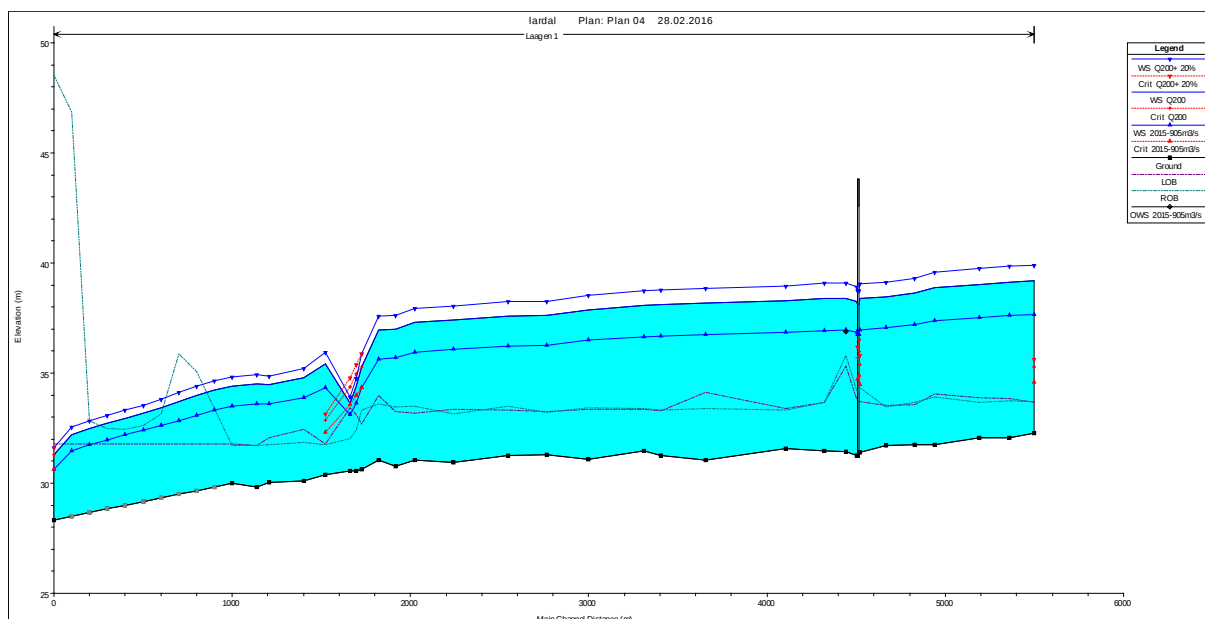
4.3.4.1 Hukstrøm bru

Elva nedenfor Hukstrøm bru er rolig med jevne strømforhold ned til Sjulstadfoss der strømmingen går gjennom kritisk. Sjulstadfoss representerer en fjellterskel og bredden på elva er her smalere slik at strømningshastigheten og type strømning også er påvirket ved større flommer. På oppsiden av brua er det grunnere og elva mer strykende ved lave vannføringer. Figur 4-50 viser kalibrert modell for Hukstrøm. 2015 er eksakt kalibrert.

Modellen er videre vurdert ut fra flommen i 2007 som hadde vannføring tilsvarende en 50 års flom og flommen i 1927. 2007 vannmerket ligger 15 cm over beregnet vannlinje, mens 1927 flommerket ligger 30 cm under beregnet vannlinje. For 1927 antas at det er usikkerhet både i vannføring (skalert fra Kongsberg; NVE, 2001) og i høyde på flommerket. Modellen anses å gjengi rett fallforhold ned til Sjulstadfoss, der elva går gjennom kritisk ved alle anvendte flomstørrelser. Figur 4-51 viser vannlinje for år 2015, 200 årsflom og 200 årsflom + 20 % økt vannføring. 200 års flom ligger ca 1,5 m over 2015, 200 år + 20% ligger 2,1 m over 2015.



Figur 4-50: Figuren viser kalibreringsvannlinjer sammen med flommerket nedenfor Hukstrøm bru (markert som vertikallinje ved ca. 4500). Nedre linje viser 2015, fylt areal 2007, og øvre linje 1927. Vannføringer er skalert fra Holmfoss.

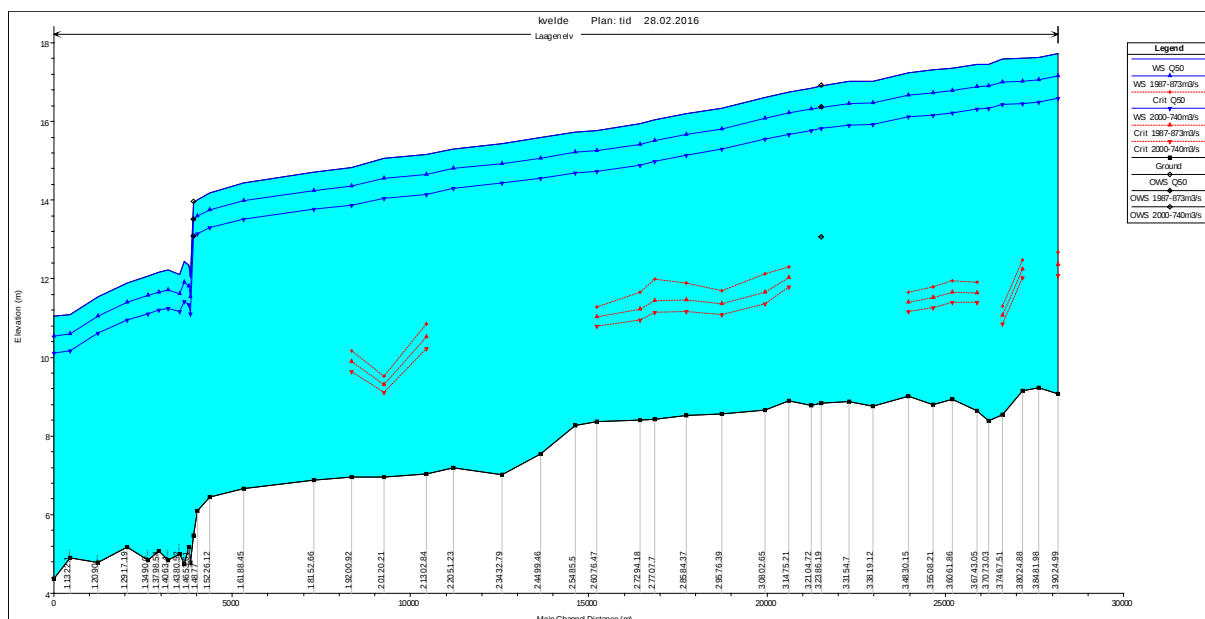


Figur 4-51: Figuren viser vannlinjer beregnet for flom 2015, 200-års flom (Q200) og 200-års flom + 20 % (Q200 + 2+%). Hukstrøm bru er markert med vertikalstreker ved ca. 4500 m.

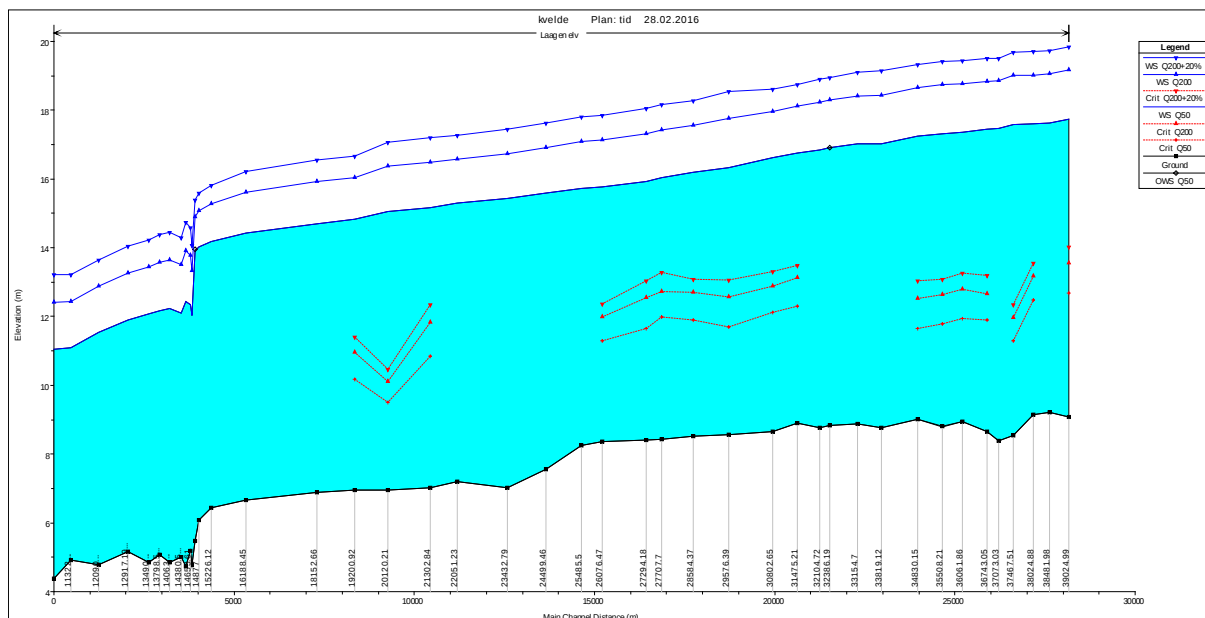
Resultatene er presentert som flomarealkart med beliggenhet av profiler samt tabell med flomvannstandshøyder for 50, 200 og 200-årsflom + 20% i Figur F1- F3 (Vedlegg F). Kartene viser at ingen boliger eller næringsbygg er utsatt for flom. En skal også være oppmerksom på stabilitet av skråninger som berøres av flom, se avsnitt 4.2. Tiltak er med sikker margin å holde nye bygg unna flomområder.

4.3.4.2 Hvåra - Odbergneset

Det er satt opp en lengre modell som dekker strekningen fra nord for Hvåra bru og ned til Bommen bru. Holmfoss er et stabilt profil der elva vil gå i kritisk gjennom fossen slik at strømmingen oppstrøms Holmfoss fysisk sett er uavhengig av nedstrøms side og sidene dermed kalibreres uavhengig av hverandre. Flomvannføringene oppstrøms Holmfoss er holdt konstante. Modellen er kalibrert mot vannføringskurve ved Holmfoss og flomobservasjoner ved Hvåra bru. Figur 4-52 viser kalibrering mellom Holmfoss og Hvåra bru. Modellen er godt kalibrert i forhold til flommene 2007 og 1987. Observasjon 2000 (Larvik kommune, 2001) ved Hvåra bru er ikke i overensstemmelse med vannmerket på Holmfoss. Figur 4-53 viser 50 års flom (~flom 2007), 200 års flom samt 200 år + 20% økning i vannføring. Ved Hvåra bru ligger 200-års flom ca. 1,4 m over 50 års flom og 200+20% 2 m over 50 års flom.



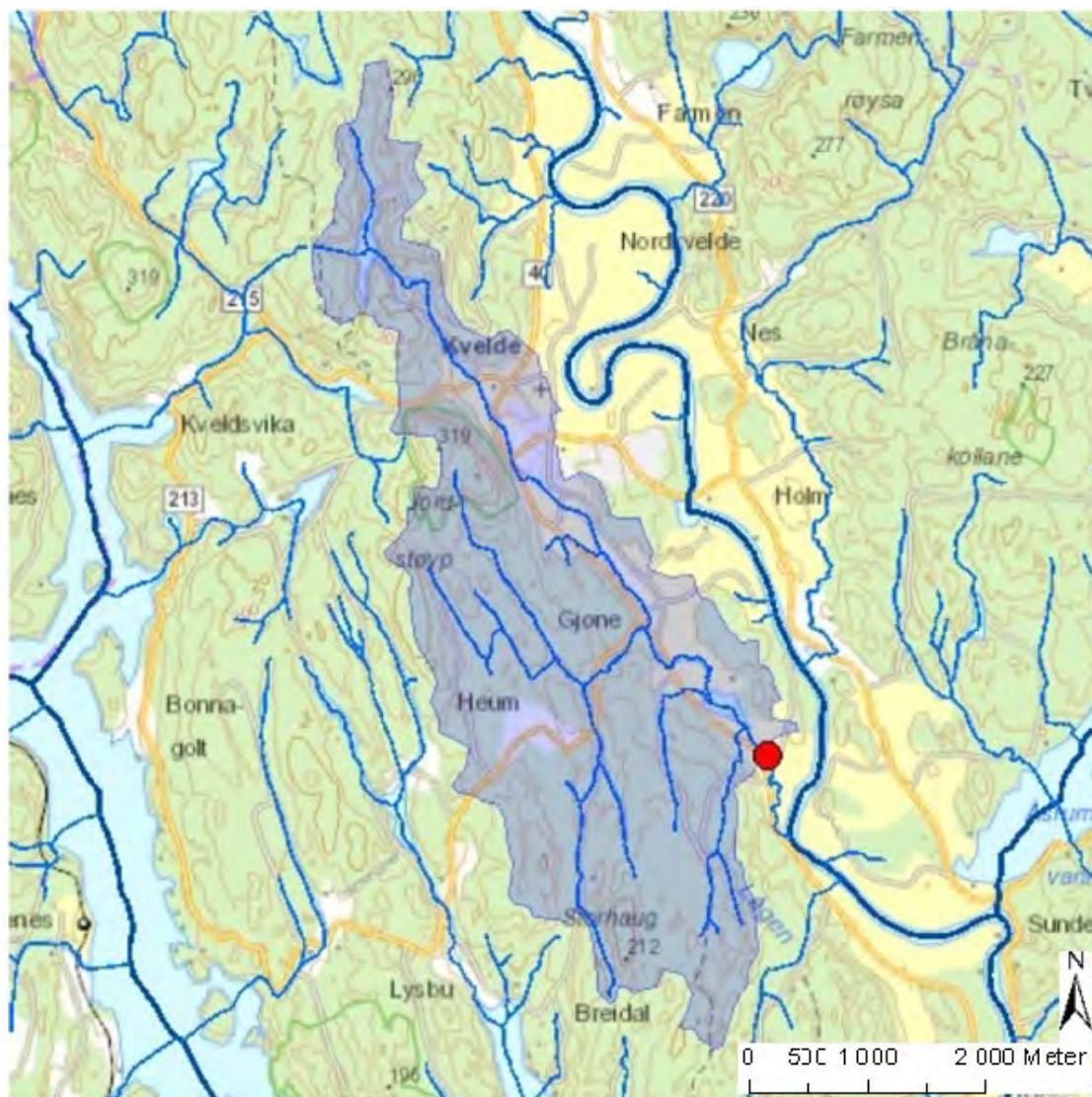
Figur 4-52: Figuren viser kalibreringsvannlinjer for modellen på strekningen Holmfoss - Hvåra bru. Modellen er kalibrert ut fra 2007 (~50 års vannføring), 1987, samt vannføringskurve ved stasjonen Holmfoss.



Figur 4-53: Figuren viser vannlinjer for 50-års flom (Q50), 200-års flom (Q200) og 200-års flom + 20 % (Q200 + 20%). Holmfoss ligger på ca. 15000 m, Hvåra bru ca. 33000 m

Resultatene er presentert som flomarealkart med beliggenhet av profiler samt tabell med flomvannstandshøyder for 50, 200 og 200 + 20 % års flom i Figur F4-F12 (Vedlegg F). På strekningen er det store landbruksområder som er flomutsatt. 35 bygninger berøres

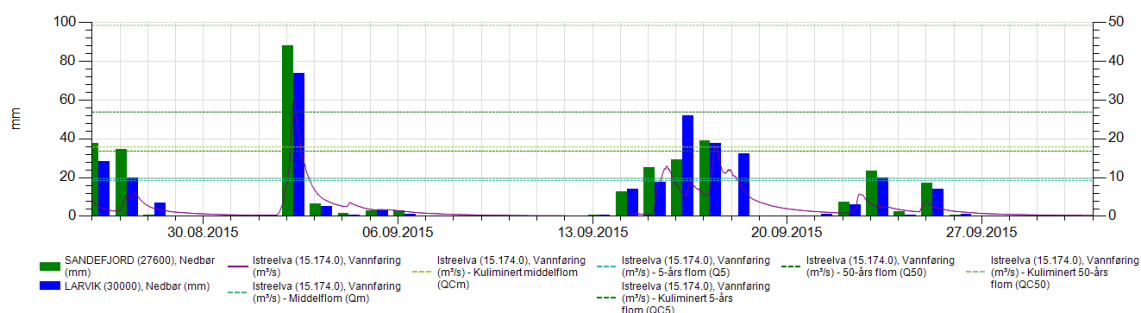
4.3.4.3 FV40 ved Gjønnes



Nedbørfeltet til Gjønnesebekken som renner ut i Numedalslågen ca. 3,7 km nedenfor Holmfoss (Figur 4-54) er 16,5 km² og er dermed bare ca. 0.3% av totalnedbørfeltet til Numedalslågen ved Holmfoss. Gjønnesevatnet ligger normalt på høyde 7,9 m (også i overensstemmelse med laserdata, NN2000) og dreneres ved en gravd kanal gjennom landbruksområdet (antas å være et senkningstiltak) og videre i ei ravine ned til

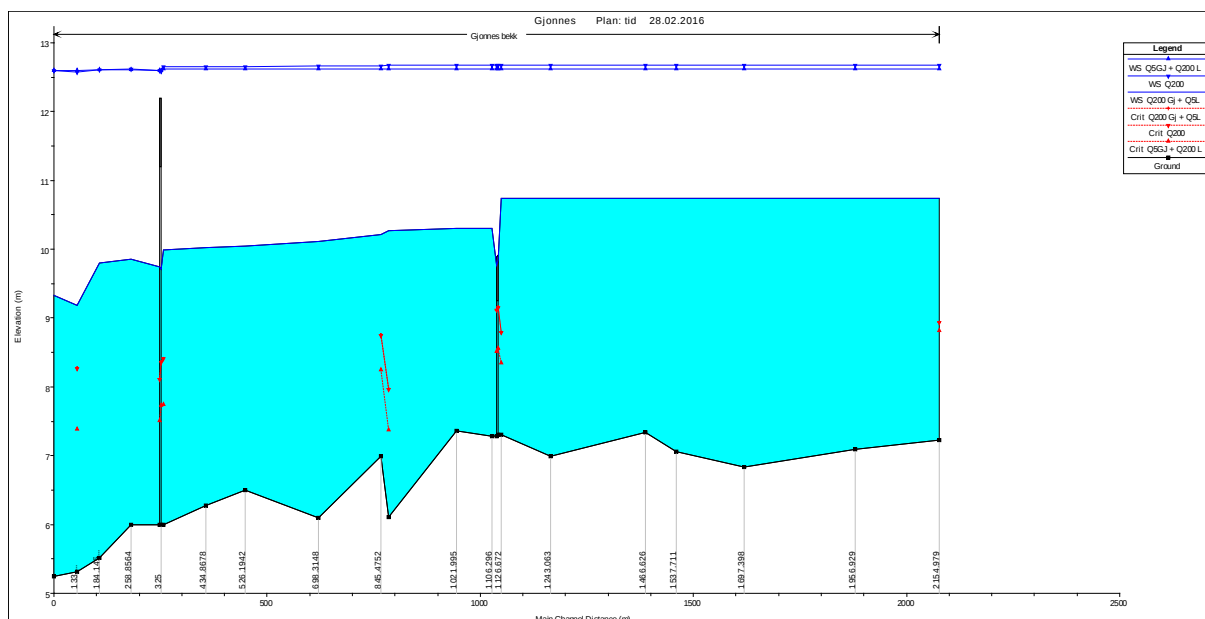
Numedalslågen. Det er lite fall, og området kan få flom både fra eget nedbørfelt og fra Numedalslågen som vil strømme inn i ravinen.

Hydrologisk sett har nedbørfeltet en reaksjonstid på ca. 6 timer når det faller større mengder regn, og det er derfor intense nedbørepisoder under ett døgn som er av særlig interesse. Dette er såpass kort reaksjonstid i forhold til Numedalslågen at lokalvann-tilførsel i Gjønnnes er på veg ned når Numedalslågen går opp. Stasjon 15.174 Istreelva har et nedbørfelt på 25,6 km² og en ser (Figur 4-55) at vassdraget hadde en sterk respons på døgnnedbøren registrert 2. september 2015 med avrenning på 11.5 l/s/ha. Maks registrert vannføring ved 15.174 Istreelva er ca 46 m³/s, noe som gir 18 l/s/ha som avrenning. Tilsvarende avrenning eller høyere må en forvente i Gjønnneselva. Forholdet mellom døgnmiddel og flomtopp er ca. 1,8 og en må da analysere på finere data (dels timesdata, dels 15 minutter data) for å få gode nok flomkvantiler. Vi har anslått middelflom (Qm), 50-års flom (Q50) og 200-års flom (Q200) til henholdsvis 13, 25 og 30 m³/s for Gjønnnesbekken.



Figur 4-55: Nedbørrespons 15.174 Istreelva. Heltrukken rødlig kurve viser vannføring Istreelva, mens søylene viser nedbør (mm) fra henholdsvis Sandefjord (grønn) og Larvik (blå).

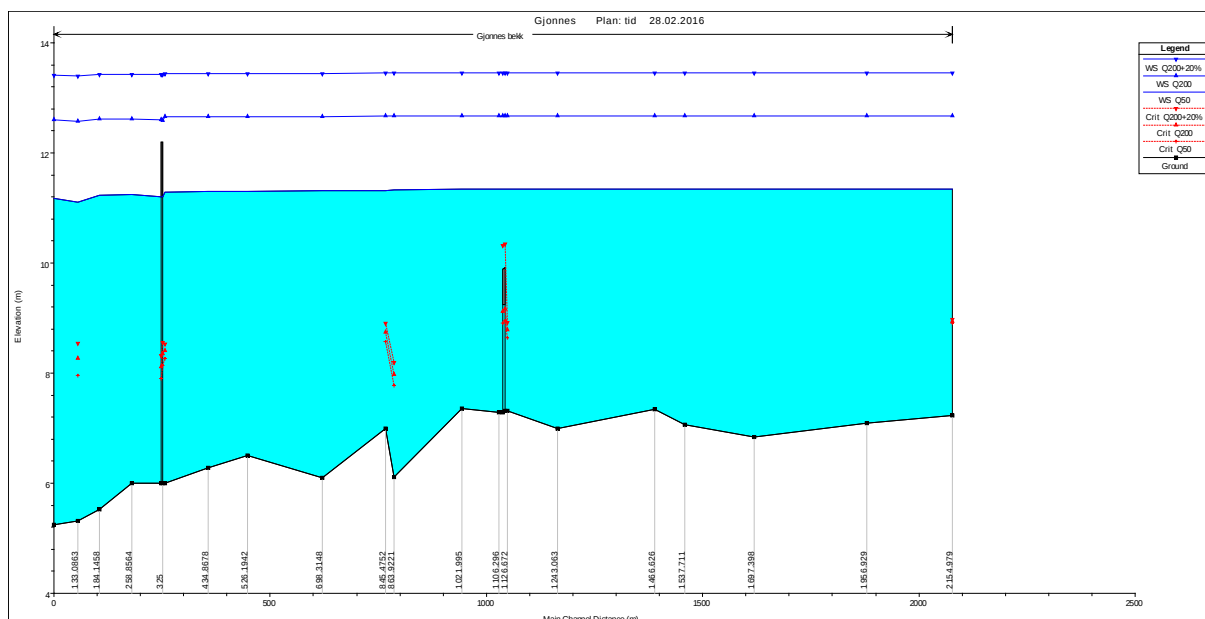
Den hydrauliske modellen for Gjønnnesbekken er koblet til Numedalslågen slik at denne virker som nedstrøms grensebetingelse i Gjønnnesbekken. Denne modellen er kalibrert i forhold til flommen 2000 i Numedalslågen ved Evjebakken og Bommen bru, men ikke opp langs Gjønnnesbekken. Beregnede flomvannstander i Numedalslågen antas å ha brukbare verdier for å vurdere flom opp mot FV40, se flomarealkart F13-F15 med profiler samt tabell med flomvannstandshøyder for 50, 200 og 200-årsflom + 20% (Vedlegg F).



Figur 4-56: 200-års flom kun fra lokalt nedbørfelt Gjønnestekken er vist med fylt areal, mens de to øvre linjene viser 200-års flom i Numedalslågen med og uten flom i Gjønnestekken. Vertikale linjer er lokale bruer.

Figur 4-56 viser med fylt areal en 200 års flomvannføring fra lokalfelt Gjønnestekken kombinert med 5 års flom i Numedalslågen. Vannstanden er da slik at den ligger på vegfylningen på lokalvegen og blir trykket under brua Gjønnestekken. Det er mulig denne situasjonen ikke er reell, men ser en på de 2 høyeste linjene som representerer 1) 200 års flom i Numedalslågen i kombinasjon med 5 års flom i Gjønnestekken, 2) 200 års flom i både hovedvassdrag og sidevassdrag, ser en at flom i Numedalslågen dominerer totalt, uavhengig av kanal- og brukapasitet opp langs Gjønnestekken. Figur 4-57 viser vannlinjer for 50-, 200- og 200+20% års flom. Vannlinje der +20 % vannføring er lagt til 200-års flom i Numedalslågen ligger 80 cm over beregnet 200 års flom.

Resultatene er presentert i F13-F15 med profiler samt tabell med flomvannstandshøyder for 50, 200 og 200-årsflom + 20% (Vedlegg F). Bruk av området må rette seg etter flom i Numedalslågen som gir de høyeste flomvannstandene i området. Flomarealkart og bygningsdata indikerer at det er en transformatorstasjon som ligger innenfor potensielt flomareal.

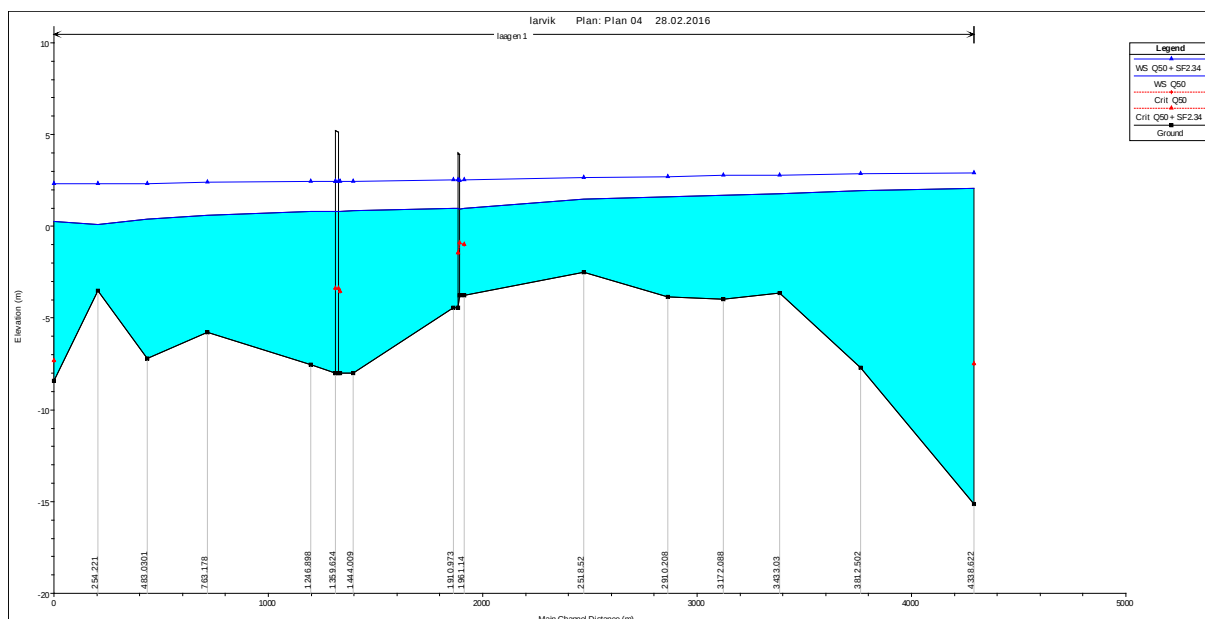


Figur 4-57: Vannstand langs Gjønnestekken for 50-års flom (Q50) vist som fylt areal, 200-års flom (Q200) og 200-års flom + 20 % (Q200 + 20%) vist som ovenforliggende linjer. Vertikale linjer er lokale bruer.

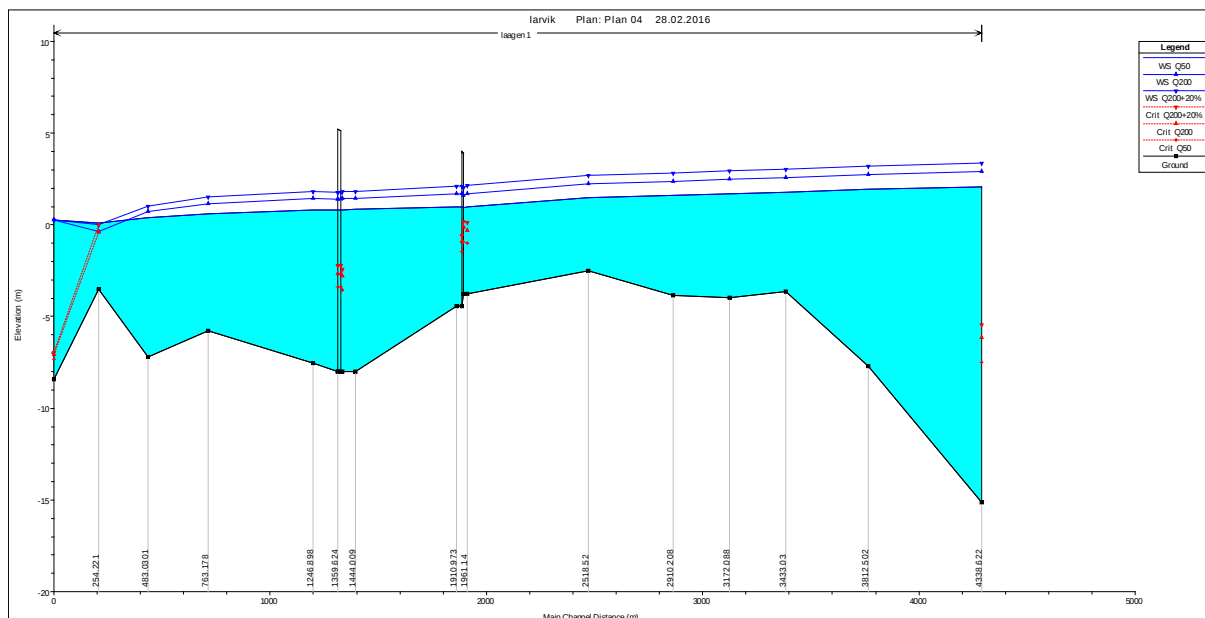
4.3.4.4 Utløp Numedalslågen, Larvik

Den hydrauliske modellen er satt sammen av målte tverrprofiler (HydraTeam, 2015), brutegninger for Gloppe bru og jernbanebrua, samt terrengdata fra lasermålinger. Modellen har en vannstandsobservasjon fra 2015, men denne er ikke eksakt på tidspunkt eller høyde. Modellen gir imidlertid godt resultat på flommen i 2015 uten korrigeringer. Vannstand i utløp av Numedalslågen er påvirket av sjøvannstand og i mange tilfeller vil dette være dominerende.

Som generell grensebetingelse mot sjø bruker NVE HAT, høyeste astronomiske tidevann. Unntaksvis kan stormflo og flom i Numedalslågen være uavhengige, og hvis uavhengig kan en legge stormflonivåene som et lokk inn mot vannstand i elv. Figur 4-58 viser at stormflo dominerer flombildet ved en 50 års flom fordi elva er underkritisk fra sjøen og oppover. Figur 4-59 viser vannlinjer ved 50, 200 og 200+20% års flom. Nedre grensebetingelse er HAT = 0,25, høydegrunnlag NN2000. Nederste profil er ikke målt, men profil ved ca. 254 m er målt og viser seg å være grunt sammenlignet med profiler høyere opp. Brannstasjonen ligger ved ca. lenke 3000 m, se nummerering tverrprofiler på flomarealkart F16-F18 (Vedlegg F).



Figur 4-58: Vannlinjer for utløp Numedalslågen 50 års flom (Q50) med og uten stormflo 200 år som nedstrøms grensebetingelse. Stormflo dominerer på hele strekningen i forhold til en 50-års flom. Gloppe bru (nedre) og jernbanebrua er markert med vertikale streker.



Figur 4-59: Vannlinjer utløp Numedalslågen for 50-årsflom (Q50), 200-års flom (Q200) og 200-års flom + 20 % (Q200 + 2+%). Gloppe bru (nedre) og jernbanebrua er markert med vertikale streker.

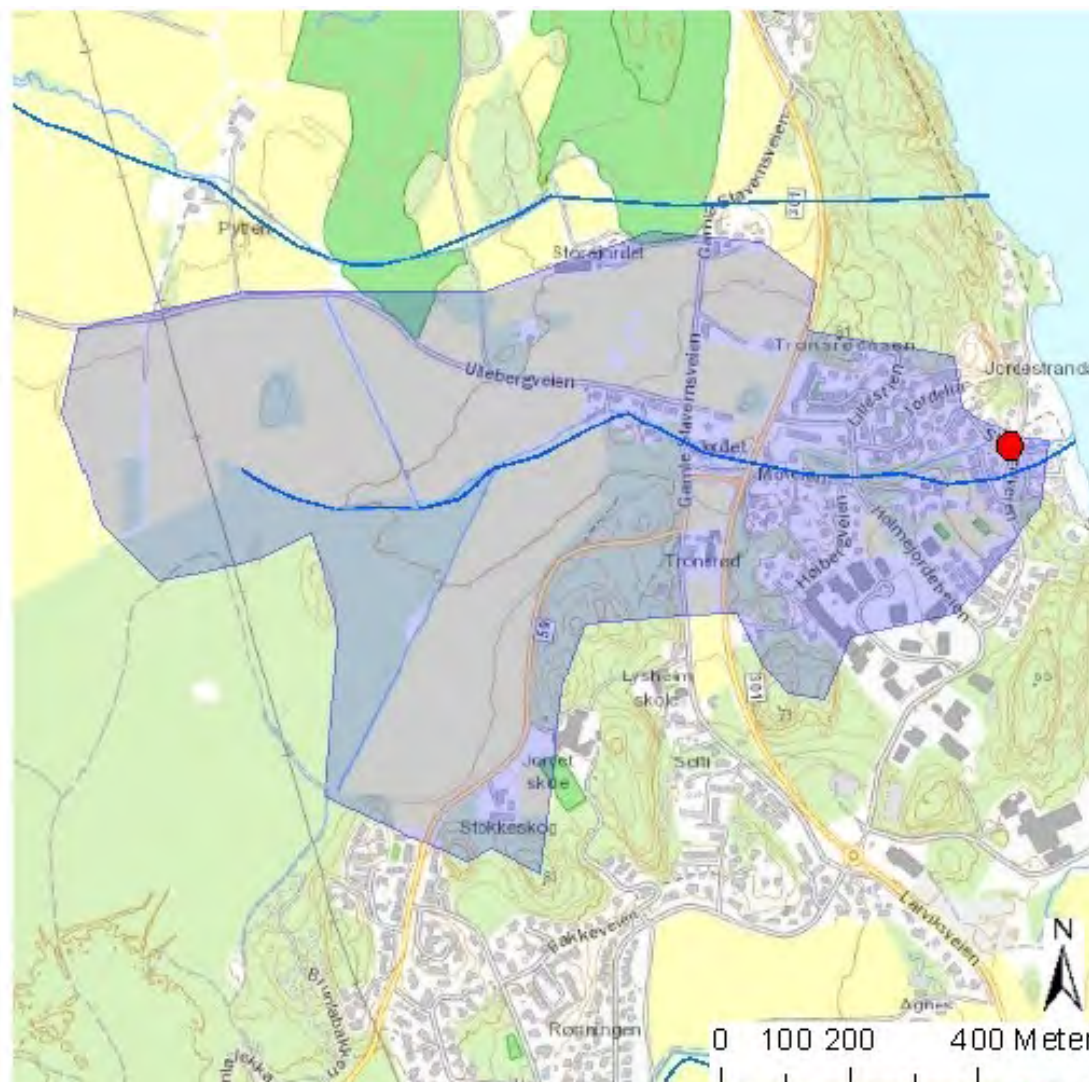
Resultatene er presentert som flomsonekart F16-F18 med profiler samt tabell med flomvannstandshøyder i Vedlegg F. Resultatene viser at stormflo dominerer høyt opp i elva

når 200-års stormflo kombineres med en middels til stor flom i Numedalslågen. På flomarealkart F18 er vannlinje for 50 års flom med HAT som grensebetingelse i hydraulisk beregning kombinert med vannstand stormflo 200 år i utløpet (= 2,1 moh), der storflom er lagt som "lokk" innover elva. Av tabellen på flomarealkart F18 ser en at stormflo dominerer over 200-års flom i elva opp forbi Gloppe bru. Flomarealkart for 200-årsflom og 200-års flomareal for stormflo er beregnet uavhengig, og viser at det er 60 bygg som ligger i potensielt flomområde, derav 9 klassifisert som AnnenBygning, 14 eneboliger, 11 bygninger ulike typer industri, 7 lagerbygg, 1 transformatorstasjon, 2 fiskeri-/landbruk, 7 kontor/forretningsbygg, 2 bygg knyttet til samferdsel og kommunikasjon, 1 kinobygning, og 1 brannstasjon. Analysen viser at det er mange ulike bygninger som er utsatt for flom og/eller stormflo i nedre del av Numedalslågen. Det er ikke analysert vannstand ved hvert enkelt bygg, hvilket nivå gulv ligger på eller om disse har kjellere.

Tiltak for å beskytte utsatt eksisterende bebyggelse i dette området kan være å bygge flomvegger, eventuelt i kombinasjon med spunt for å tette grunnen. Utforming av bygg eller kjellere slik at de kan motstå flom er også mulig. For nye bygg vil høyde på byggegrunn være sentralt. Generelle tiltak er også gitt i avsnitt 4.4

Som dette prosjektet har vist er det svært nyttig å registrere flomvannstander på ulike steder, ikke bare på målestasjoner. Oppsetting av permanent vannstandskala ved f.eks. brannstasjonen kan være aktuelt. Den bør da fundamenteres frostfritt. Skalamerker kan trolig kjøpes av NVE, seksjon for hydrometri, som kan ha lager av slike. En skala som plasseres ved gangvei og som står i høyde slik at også normal vannstand kan leses av, er også pedagogisk. Bruer er ofte egnet til å montere skala på.

4.3.4.5 Holmjordet

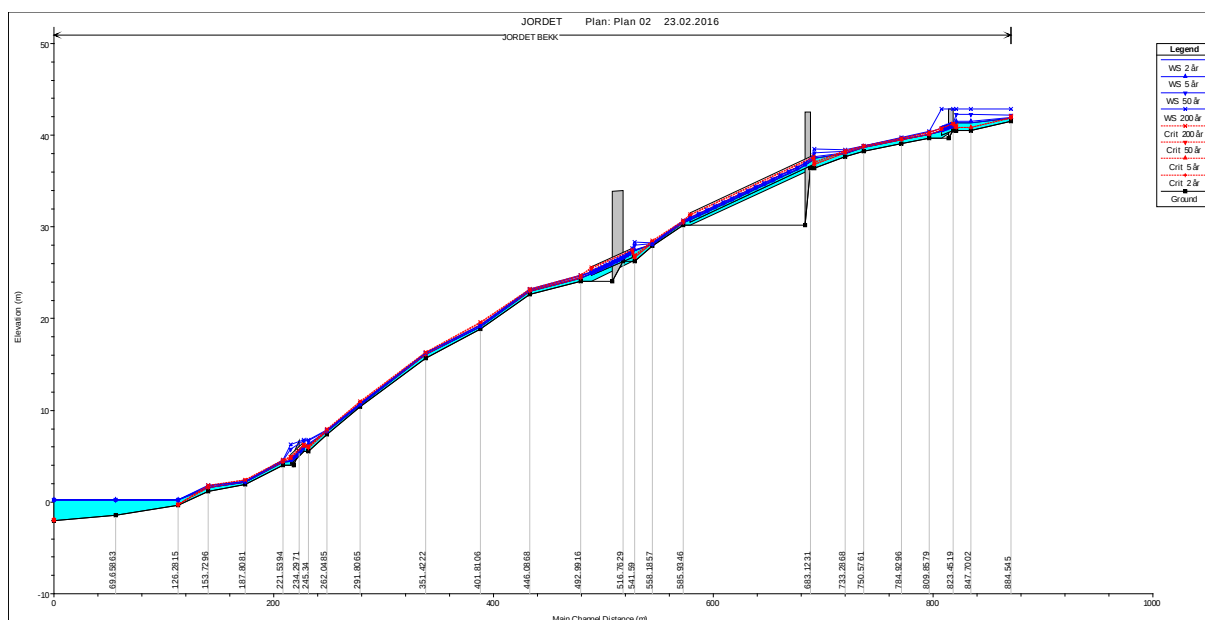


Figur 4-60: Blått areal viser nedbørfelt Holmjordet. NVE NEVINA (Nedbørfelt- og vannføringsindeksanalyse).

Dimensjonerende vannføring i slike felt beregnes ut fra den rasjonelle formel (se f.eks. Vegvesenets Håndbok N200 Vegbygging). En finner da at flate jorder som utgjør størstedelen av nedbørfeltet gir en konsentrasjonstid for areal mot RV301 større enn konsentrasjonstiden beregnet ved utløp mot sjøen. Nedbørfeltet til sjø er beregnet til 0,9 km², eller 90 ha, mens nedbørfeltet oppstrøms stikkrenne ved Holmjordetveien er 80 ha. Nå vil flommen bygge seg opp i øvre del og avrenningen i nedre del vil trolig være på nedtur når flommen i øvre del kommer. Vi bruker derfor øvre punkt til å beregne konsentrasjonstid og nedbørintensitet. Konsentrasjonstid er beregnet til 165 minutter. Avrenningsfaktor for dyrket mark er vanligvis mellom 0,2 og 0,4. Her er 0,3 valgt. Klimafaktor er ikke lagt til i disse beregningene.

Tabell 4-12: Nedbørintensiteter, avrenningsfaktor og beregnet avrenning (Q) ved ulike gjentakintervall. Nedbørintensiteter er hentet fra analyser i klima og beregnet konsentrasjonstid.

Gjentaksintervall	Nedbørintensitet (l/s/ha)	Avrenningsfaktor	Q (80 ha, l/s)	Q (90 ha, l/s)
2 år	22.45	0.3	538.8	775.35
5 år	29.475	0.3	707.4	1001.7
50 år	44.375	0.36	1278	1778.22
200år	52.575	0.39	1640.34	2213.06



Figur 4-61: Beregning av vannlinjer og kapasitet av stikkrenner ned gjennom Holmjordet.



Figur 4-62: Øvre område Holmjordet. Stikkrenner/lukkinger er vist med bred blå strek. De to øvre (lengst vest, til venstre) stikkrennene har liten kapasitet og er ikke lagt inn i modellen. De tre neste er beskrevet i tekst.

Beregningene (se Figur 4-61) viser at oppstrøms Gamle Stavernveien (se Figur 4-62), er kapasiteten for liten for en 200-års flom. Det er ikke analysert for å se om det er alternative flomveier, men i dette området er det trolig mange bygninger som er flomutsatt. To innkjøringer til eiendommer har mindre stikkrenner med lav overfylling og betydelig mindre kapasitet enn stikkrenne under Gamle Stavernveien. Stikkrenna (steinkiste) under Gamle Stavernvegen bør erstattes, eller forsynes med ekstra flomløp.

Renne under Stavernveien har bedre kapasitet, men ved en 200-årsflom vil vannet stå minst 70 cm over innløpet, uten å ta blokkering i betraktning. Beboere vest for Stavernveien er trolig oppmerksomme på at de bor i et lavpunkt, og er trolig på vakt når det regner. Fra Stavernveien er det en lengre stikkrenne eller bekkelukking som ender ned i skog i ei ravine.

Stikkrenne under Holmjordetveien har tilsvarende oppstuvning som ved Stavernveien og en vil få lukket strømming ved flommer større enn 50 års flom. Det er her renna var blokkert i 2015. Problemstillingen her knytter seg først og fremst til faren for blokkering. En slik vegfylling vil kunne utgjøre en fare ved oppdemming på oversiden, fordi den ikke har egenskaper som en dam, og en kan få uønsket brudd. Renna har i dag ei rist, trolig for å forhindre at noen kryper inn i renna. Rister bør utformes som vist i Figur 4-63. Rist areal bør være minst 4-5 ganger større enn tverrsnitts arealet rør, og det vil være innløp på horisontal del av rista når nedre del er blokkert. Denne løsningen er hengslet og rist kan løftes med kran f.eks. fra vegen. Det er en relativt begrenset strekning som samler drivmateriale ned mot stikkrenna. Strekningen bør gås over for å renske opp bekkeleie. Det er trolig lite drivgods som går gjennom Stavernveien.

Nederste stikkrenne har dårligere fall, og vil ha overløp over veg ved 50 års flom. Høyden for overtopping over vei er lav i forhold til ved Holmjordetveien og konsekvensen ved overtopping er liten.

Det er i disse beregningen ikke lagt til noen klimafaktor eller noen sannsynlighet for blokkering eller for at nedbørfeltet opptrer som større fordi nabofelt har blokkeringer. Tiltak bør derfor gjennomføres både for å bedre stabilitet og for å forhindre blokkeringer.



Figur 4-63: Rist, Beisfjordsement.

4.3.5 Håndtering av flomrisiko

Flomutsatt område langs Numedalslågen i undersøkte delstrekninger er i hovedsak begrenset til landbruksområder og i liten grad bebyggelse. Numedalslågen går for en stor del i et veldefinert elveleie, som gradvis (også pågående) har senket seg i løsmasser og er låst av fjellterskler.

Det er særlig 3 menneskelige forhold som kan påvirke konsekvens av flom:

1. Plassering av bygg og infrastruktur i flomutsatte områder. Flomarealkartene med høyder gir en god indikasjon på hvor det er flomutsatt og hvilke høyder en må legge seg på ved utbygging i flomområder. Det må i tillegg legges på sikkerhet for drenering av lokalvann og drensvann for det enkelte tiltak. Langs Numedalslågen bør beregnet dimensjonerende flomvannstand økes med en sikkerhetsmargin på minimum 0.5 m.
2. Flom i Numedalslågen er redusert som følge av vassdragsreguleringer. Aktiv bruk av reguleringen i varslede flomsituasjoner vil også videre ha stor betydning for størrelse og forløp av flommene. Regulanten har prioriteringer i forhold til sikkerhet for vassdragsanlegg, minstevannføringer for laks, reduksjon av flom på kjente kritiske steder, oppfyllingstid av magasiner, etc. Aktiv dialog med regulant og innspill i forbindelse med revisjon av reguleringsreglement påvirker reguleringen. I enkelte vassdrag er det lagt inn periodevis lavere HRV for å kunne holde tilbake flommer.
3. Lokal/urban flom er oftest relatert til blokkeringer eller begrenset kapasitet av stikkrenner slik av vann blir stående eller finner alternativ drensvei. Ved å kjenne

kapasiteter og kritiske punkt på stikkrenner og lukkede bekker og alternative (oftest uønskede) dreisveier vil en kunne gjøre tiltak for å redusere blokkering og øke flomkapasiteten, samt ha beredskap knyttet til kritiske punkt. Flomkart kan lages tilsvarende som i vassdrag, men flomfare og hendelsesforløp er mer lokalt og situasjonsbetinget.

4.4 Vurdering av stormflo i utvalgte områder

4.4.1 Bakgrunn

Stormflo ved lavtliggende kystområder medvirker til økt sannsynlighet for skade (von Storch og Woth, 2008). Kombinasjonen av høy vannstand, bølger, og store strømhastigheter kan føre til ødeleggelse av kystnære strukturer og påfølgende oversvømmelse kan føre til tap av liv og store materielle skader (Wolf, 2009). Eksempler på store stormflokatastrofer i Nordsjøregionen er hendelsene i Nederland i 1953 da mer enn 2000 mennesker døde, og i 1962 da dikene ved Hamburg kollapset og mer enn 300 mennesker døde. I 2005 ble det også store ødeleggelser og mange omkomne i New Orleans, USA, under stormflo forårsaket av orkanen Katrina.

Vedvarende stormflo i Nordsjøregionen leder til oppstuvning av vannmasser i de grunne områdene på kontinentalsokkelen og derved økt risiko for landene rundt (Wolf, 2009). Typiske stormflohøyder i Nordsjøen kan ligge fra 3,0 til 3,5 m over normal vannstand (Gönnert m.fl., 2001). Mens lavtliggende områder i Danmark, Tyskland, Nederland, Belgia og Storbritannia er svært utsatt for stormflo, er Norge på grunn av sin bratte kysttopografi ikke utsatt på samme måte. Videre motvirkes effekten av framtidig økning i havnivå i Norge av fortsatt landheving etter at isen trakk seg tilbake. Men også i Norge kan stormflo oppstå, for eksempel på vestkysten (62° - 66°N) under sør-vestlige vinder som genererer høy sjø (Gjevik og Røed, 1976). Dette har hatt store konsekvenser for kystsamfunnene med dødsfall og materielle skader i Norge.

Klimaendringer fører til økt stormaktivitet og havnivåstigning kan øke stormflo-faren i fremtiden. En økning i ekstremvær kan til slutt bidra til en økning i hyppighet og styrke av stormflo (Woth m.fl., 2006). IPCC (2013) projiserer en akselererende global havnivåstigning mellom 0,26 og 0,82 m (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5) ved slutten av det 21. århundre. I grunne farvann som Nordsjøen antas at ekspansjonen av vannet på grunn av høyere temperatur i kombinasjon med større utslag på tidevannet på sikt kan gi større utslag enn de globale gjennomsnittsnivåene (Sterr, 2008). En økning i stormflohøyder og -varighet i NV Europa har allerede blitt observert og anslått av Gönnert (2004) og Lowe og Gregory (2005).

For å beskytte kystsamfunnene mot flom og erosjon er det etablert forskjellige typer flomvarslings og det blir gjennomført ulike tiltak for beskyttelse. Disse tiltakene spenner fra diker eller barrierer til byggeforskrifter og evakueringsplaner (jfr. avsnitt 4.4.5). For en god beskyttelse av kystnære områder kreves pålitelige beregninger og utarbeidelse

av kart egnet til å møte nåværende og fremtidig risiko. Modellering av stormflo og påfølgende oversvømmelse er viktige bidrag for å kunne gjøre gode kost-nytte vurderinger og er således et viktig verktøy for risikovurdering. Simpson m.fl. (2015) har beregnet forskjellige scenarier for havnivåstigning og ekstremverdier for vannstand i Norge for gjentakintervaller opptil 1000 år. Imidlertid må det gjennomføres modellering for bølger og vindoppstuvning på en lokal skala for å kunne gi dimensjonerende høyder for den enkelte lokasjon (Norsk klimaservicesenter, 2015). Se også Gjevik (2015) for diskusjon om bruk av statistikk fra Simpson et al. (2015) med tanke på å sikre norskekysten mot stormflo.

Når det gjelder endring av havnivå så skiller vi mellom en relativ endring og en absolutt endring. Den relative endringen måles ut fra fastmerker i strandkanten, f.eks. NN54, og skiller ikke mellom at landet hever seg på grunn av geologiske prosesser eller at hav stiger fordi havet utvider seg når temperaturen øker eller at vannmengden i havene øker når innlandsisen smelter. Den absolutte endringen måles ut fra jordens tyngdepunkt ved hjelp av avansert GPS utstyr. For praktisk bruk er det den relative endringen som er viktig og den som det refereres til i denne rapporten.

Årsak til stormflo og havnivåstigning samt generelle beskrivelser av fremtidige endringer som følge av klimaendringer er nærmere omtalt i Vedlegg E.

4.4.2 Stormflo i Larvik 1987

Den 16. oktober 1987 ble store deler av kysten av Øst-, Sør- og Vestlandet rammet av en kraftig stormflo med ekstremt høye vannstandsverdier (Figur 4-64). Dette hang sammen med et lågtrykk og sterke vinder ute i Atlanterhavet. Vindene presset vannet inn fra sør-sørvest og sammen med store mengder nedbør i Sør-Norge ledet dette til en stormflo på Østlandet, med vannstand opptil 174 cm over NN54 i Oslofjorden (Gjevik, 2009), se også Figur 4-65. Dette medførte store materielle skader (Figur 4-64 og Figur 4-66). I 1990 var det også sterke vinder som sammenfalt med springflo som forårsaket høy vannstand (Bergen: 241 cm, Oslo 226 cm, begge målinger er over sjøkartnull, www.vannstand.no; Figur 4-65).

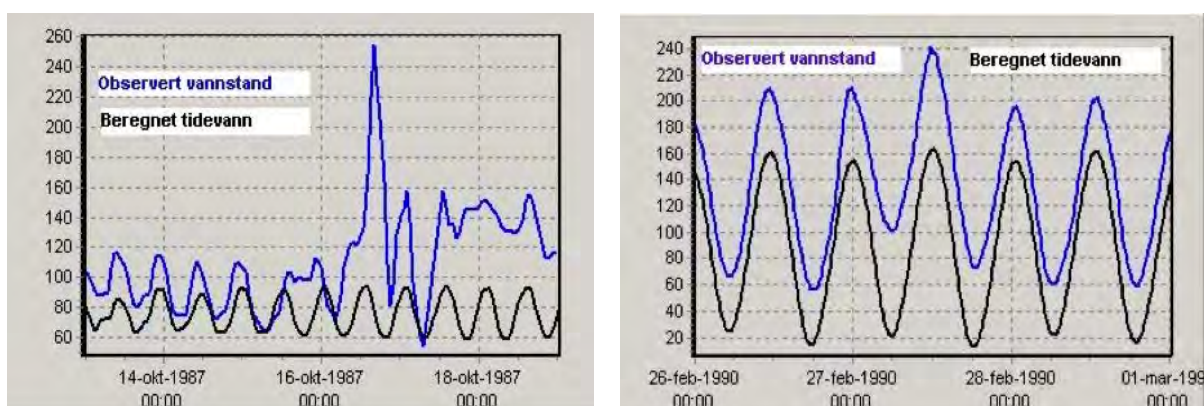
Stormfloen i oktober 1987 slo kraftig inn også i området ved Larvik hvor det ble store ødeleggelser, Figur 4-66. Ut fra observasjoner i 1987 ble det gjort en oppmåling av vannivået 22. januar 2016, Figur 4-67 og Figur 4-69 (punkt A). Tidevannet for tidspunktet oppmålingen ble gjennomført på var ifølge www.sehavniva.no 13 cm over NN54, høyden fra vannivået på dette tidspunktet til den observerte høyden var 160 cm. Total høyde målt i forhold til NN54 er 173 cm. Det er noe usikkerhet knyttet til denne observasjonen, men det gir likevel en pekepinn på nivået.

I 1987 ble det også observert vann helt opp til skinnegangen ved togstasjonen. Ut fra laserdataene er laveste punkt langs skinnegangen ca. 1.5 m (NN54). På området sør for skinnegangen, mellom skinnegangen og fjorden ble biler løftet over en fortauskant

(Figur 4-68 og Figur 4-69, punkt B). Her er terrenget ca. 1.7 m (NN54). Dette underbygger målingene nevnt over.



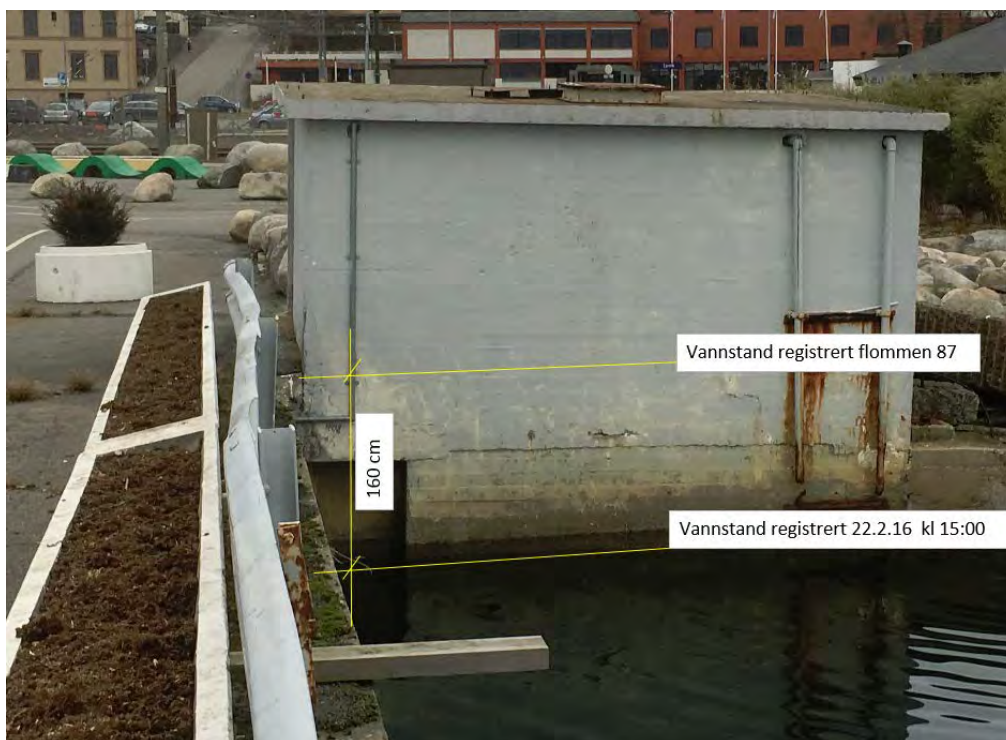
Figur 4-64: Faksimila Aftenposten lørdag 17. oktober 1987.



Figur 4-65: Observert vannstand og beregnet tidevann i Oslo 1987 (venstre) og Bergen 1990 (høyre) (www.vannstand.no).



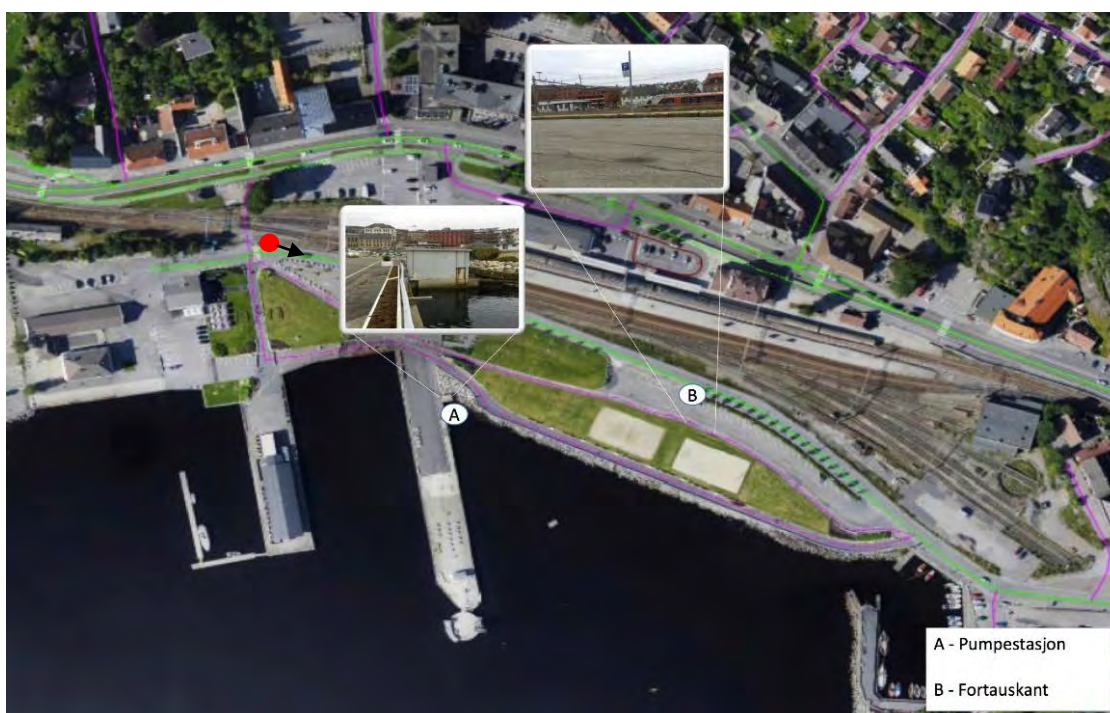
Figur 4-66: Stormflo 1987 i Larvik, se lokasjon i Figur 4-69. Foto: Terje Antonsen.



Figur 4-67: Vannstand 1987 i Larvik. Foto og oppmåling: Larvik Havn.



Figur 4-68: Fortauskant hvor biler ble løftet over. Foto: Larvik Havn.



Figur 4-69: Lokasjonene for oppmåling av vannivå, punkt A (Figur 4-67) og fortauskanten, punkt B (Figur 4-68). Rødt punkt viser hvor foto i Figur 4-66 er tatt (med retning angitt ved svart pil). Fotomontasje: Larvik Havn.

4.4.3 Valg av scenario for stormflo

Scenariet som er valgt for stormfloberegningene for Larvik kommune er sammenfattet i Tabell 4-13. Bakgrunnsmateriale for valg av scenario finnes i Vedlegg E. Vi har brukt

200 års vannstand fra Simpson m.fl. (2015). I dette tallet ligger også effekten av det atmosfæriske trykket samt effekten av vindoppstuvning på en større regional skala. Den lokale effekten av vindoppstuvningen og bølgene kommer i tillegg. Havnivåstigningen for 2065 har vi estimert til 15 cm, Vedlegg E. Vi har også valgt å bruke HAT for tidevannets innvirkning (den er ifølge www.sehavniva.no 21 cm (NN54) for alle områdene), samt et klimapåslag på 5 cm. Vi ender dermed opp med et samlet vannivå før lokal effekt av vind (oppstuvning og bølger) og eventuelt flom fra Numedalslågen (kun for områdene rundt Larvik) på $142+15+21+5$ cm = 183 cm (NN54). For oppstuvning av vann og bølger har vi brukt en vind på 30 m/s fra sør-vest (225°), basert på historikk fra Færder fyr (eklima.met.no).

Tabell 4-13: Valgt scenario for stormfloberegninger, Larvik kommune.

Havnivåstigning, Larvik* 2065	200 års vannstand, Larvik*	Klimapåslag**	Bølger og vindoppstuvning
15 cm	142 cm (NN1954)	5 cm (50 år)	Modelleres

* estimert for 2065 fra Simpson m.fl. (2015).

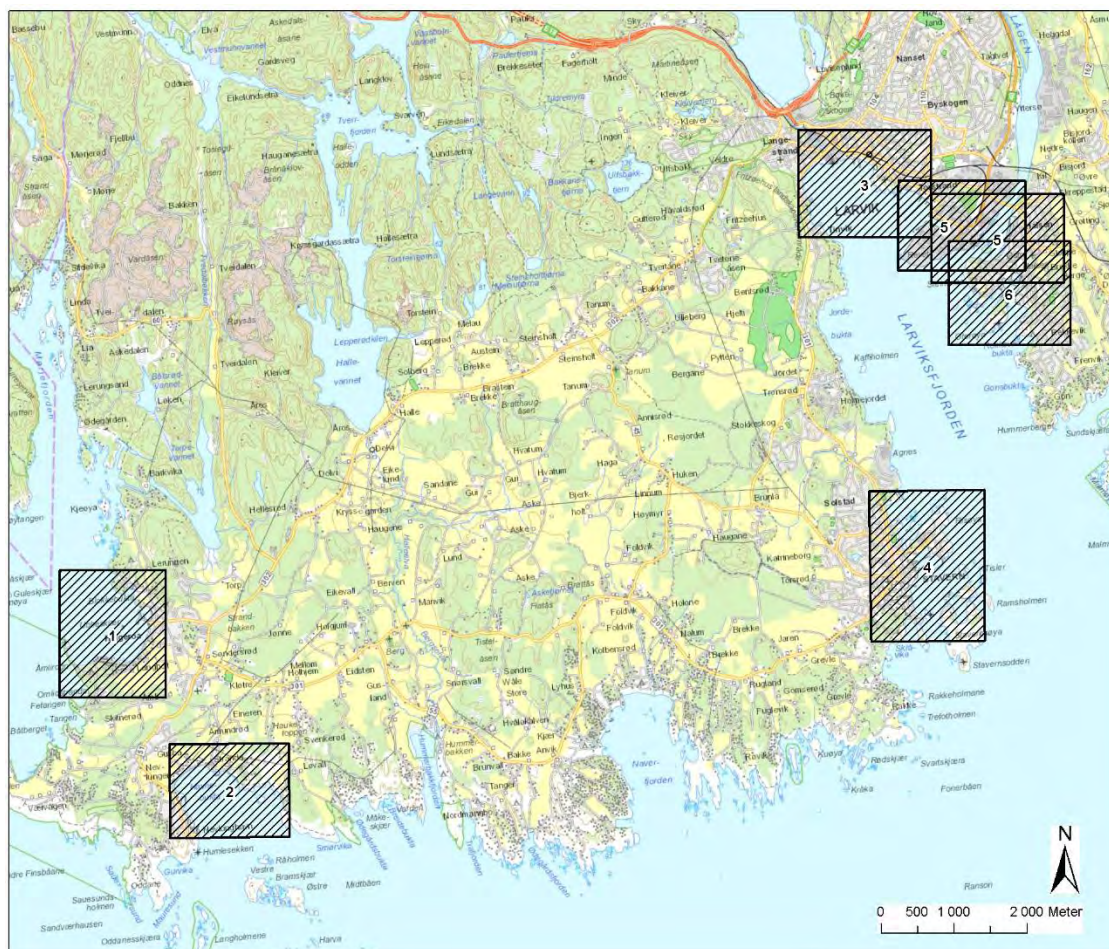
** Lowe & Gregory (2005) og DSB (2009).

4.4.4 Resultater – detaljstudier av stormflo

I dette avsnittet presenteres de detaljerte resultatene for alle områdene (Figur 4-70). Bakgrunnen for beregningene og beregningsmodellene som er brukt, er beskrevet i Vedlegg E.

4.4.4.1 Bakgrunn

Valg av områdene for vurdering av stormflo ble gjort i dialog mellom Larvik kommune, prosjektgruppen og NGI (jfr. avsnitt 3.2). De valgte områdene er Larvik (indre havn, Revet og munningen av Numedalslågen, samt Hølen), Stavern, Nevlunghavn og Helgeroa, Figur 4-70. Ønsket var at utvalget skulle dekke forskjellige typer områder, men med hovedvekt der stormflo kan gi størst skade på infrastruktur (Larvik og Stavern) og der lavt terreng gjør områder mer sårbare for stormflo (også Nevlunghavn og Helgeroa).



Figur 4-70: Områdene for vurdering av stormflo: (1) Helgeroa, (2) Nevlunghavn, (3) Indre havn, (4) Stavern, (5) Revet og munningen av Numedalslågen, (6) Hølen.

Områdene rundt Larvik (områdene 3-6, Figur 4-70) ligger langs den ca. 7 km lange Larvikfjorden. Denne strekker seg i SSØ-NNV retning og er ca. 2-3 km bred. Utenfor Stavern er fjorden på det dypeste, ca. 120 m, og blir gradvis grunnere mot nord. Midt i bassenget utenfor indre havn i Larvik er fjorden ca. 50 m dyp. Ved munningen av Numedalslågen er fjorden/utløpet av Numedalslågen bare noen meter dyp ut til de ytterste delene av Revet. Her blir fjorden brått mye dypere og midtfjords er dypet ca. 70 m. Ved Helgeroa er dypet i sjøen mellom 20 og 40 m med en dypere renne som går nord-vestover i retning Eidangerfjorden, mens det utenfor Nevlunghavn er et noe større område med dyp på ca. 20 m. For at regnfloam skal kunne innvirke på en stormflo må det utenfor et basseng være terskler som stenger flomvannet i å flyte fritt ut i havområder utenfor (Gjevik, 2009). Larvikfjorden hvor Numedalslågen har sitt utløp er dyp og ingen såkalt terskelfjord. Beregninger viser at en flom fra Numedalslågen har liten effekt på stormfloa bortsett fra i nedre del av elva og ved elvemunningen. I beregningene under er det i stormflomodellen lagt inn en 50 års flom i Numedalslågen. Grunnen til at vi her ikke kombinerer en stormflo med en 200 års flom er at flommen (om det kommer tilstrekkelig nedbør) ikke rekker å bygge seg opp til et slikt nivå før stormflobaren er

over. Vi har derfor valgt å kombinere 200 års stormflo med en 50 års flom. Se også avsnitt 4.3.

I resultatfigurene nedenfor vises maksimal høyde på vannet over terrenget, også kalt maksimal flomdybde, samt maksimal overflatehevning. Overflatehevningen er nivået på vannet over NN54. I resultatene fra modelleringen er vindbølgene inkludert. Bølgene i våre scenarier utgjør opptil 1 m av vannivået ved strandlinja, men avtar gradvis ned mot null innover land. Alle kart under ligger også som A3 i Vedlegg F.

4.4.4.2 Område 1 – Helgeroa

Helgeroa ligger lengst vest i Larvik kommune ved inngangen til fjordsystemet som går innover mot blant annet Eidanger. Bilder fra befaringen vises i Figur 4-71. Det er to bukter hvor terrenget på land er slakt med liten terrenghøyde og eksponert for vanninntrenging fra stormflo. Den vestre bukta har ingen bebyggelse, mens flere hus omkranser den østre bukta. Det er også hyttebebyggelse i området ved Helgeroa. I denne bukta er det småbåthavn, og Helgeroa målestasjon ligger her lengst øst (på innsiden) på den vestre moloarmen, Figur 4-72. Videre lenger øst er det også havn, og med avtagende tetthet på bebyggelsen. Her blir det også noe brattere terreng ned mot fjorden.

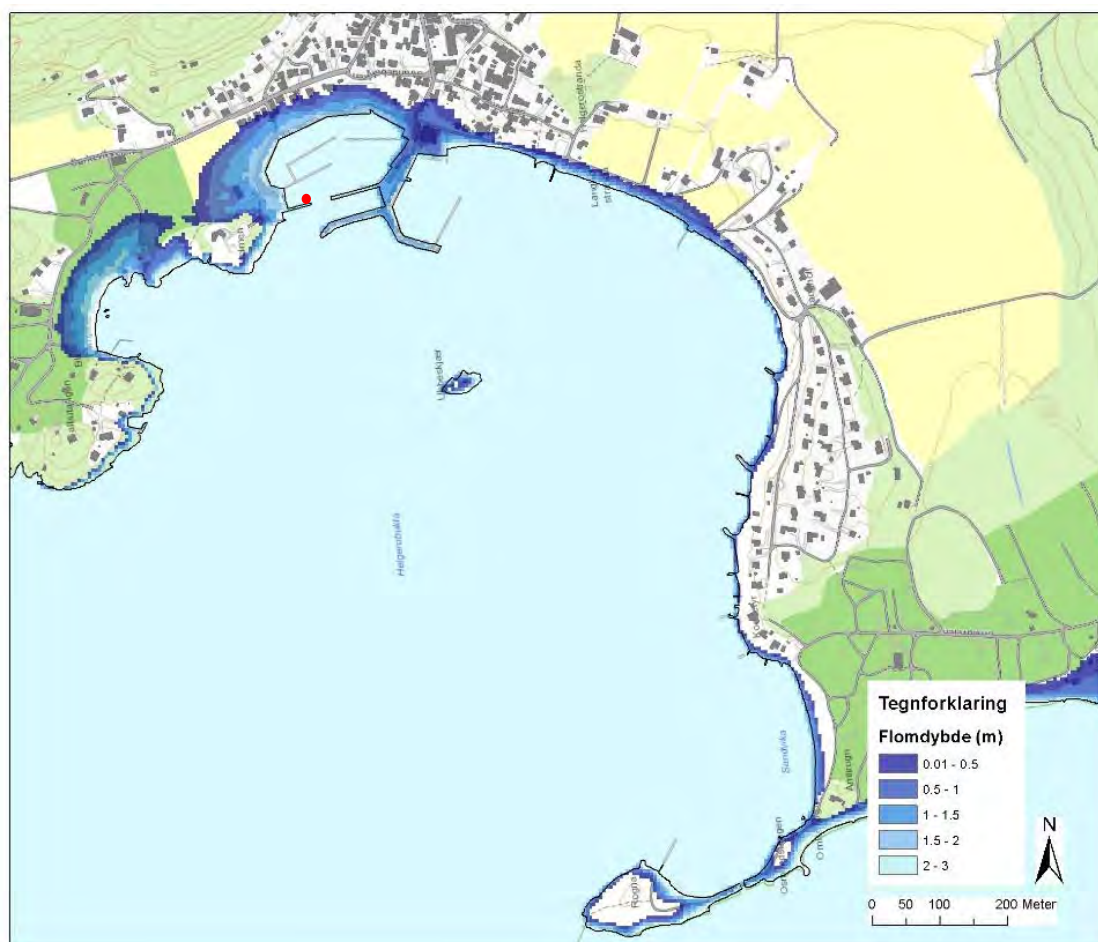
Resultatene fra stormfloberegningene er vist som maksimal flomdybde og maksimal overflatehevning i Figur 4-73 og Figur 4-74. Helgeroa har noe slakere terreng enn Nevlunghavn, slik at det her kan bli et større areal som rammes, men likevel færre bygninger enn i Nevlunghavn. I faresonen ligger blant annet husene nord for bukta hvor småbåthavna ligger, Figur 4-73.



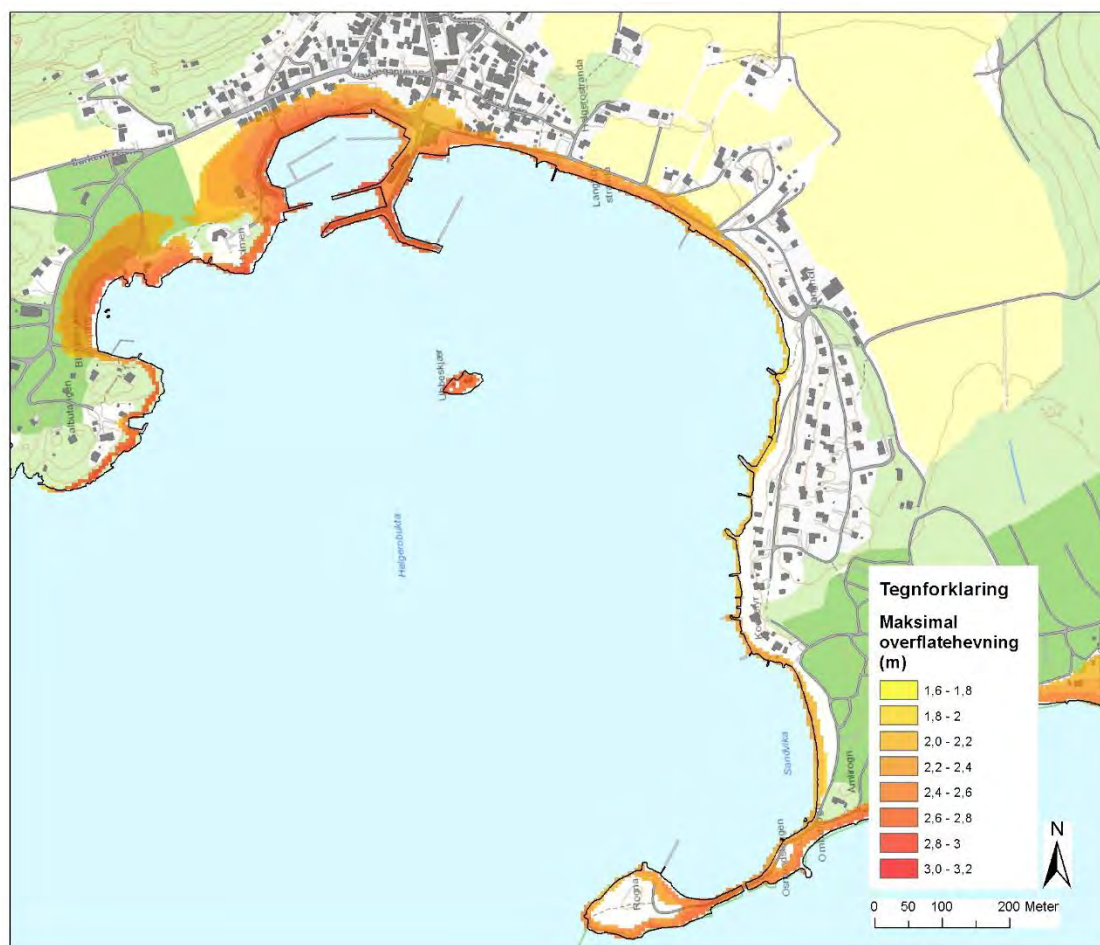
Figur 4-71: Bilder fra befaringen ved Helgeroa.



Figur 4-72: Målestasjonen på Helgeroa ytterst (på innsiden) av vestre molo, se Figur 4-73.



Figur 4-73: Maksimal flomdybde for Helgeroa, målestasjon markert med et rødt punkt. Småbåthavna som beskrives i teksten ligger i bukta rett nord for målestasjonen.



Figur 4-74: Maksimal overflåteheving for Helgeroa.

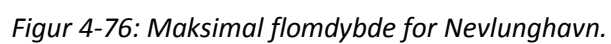
4.4.4.3 Område 2 – Nevlunghavn

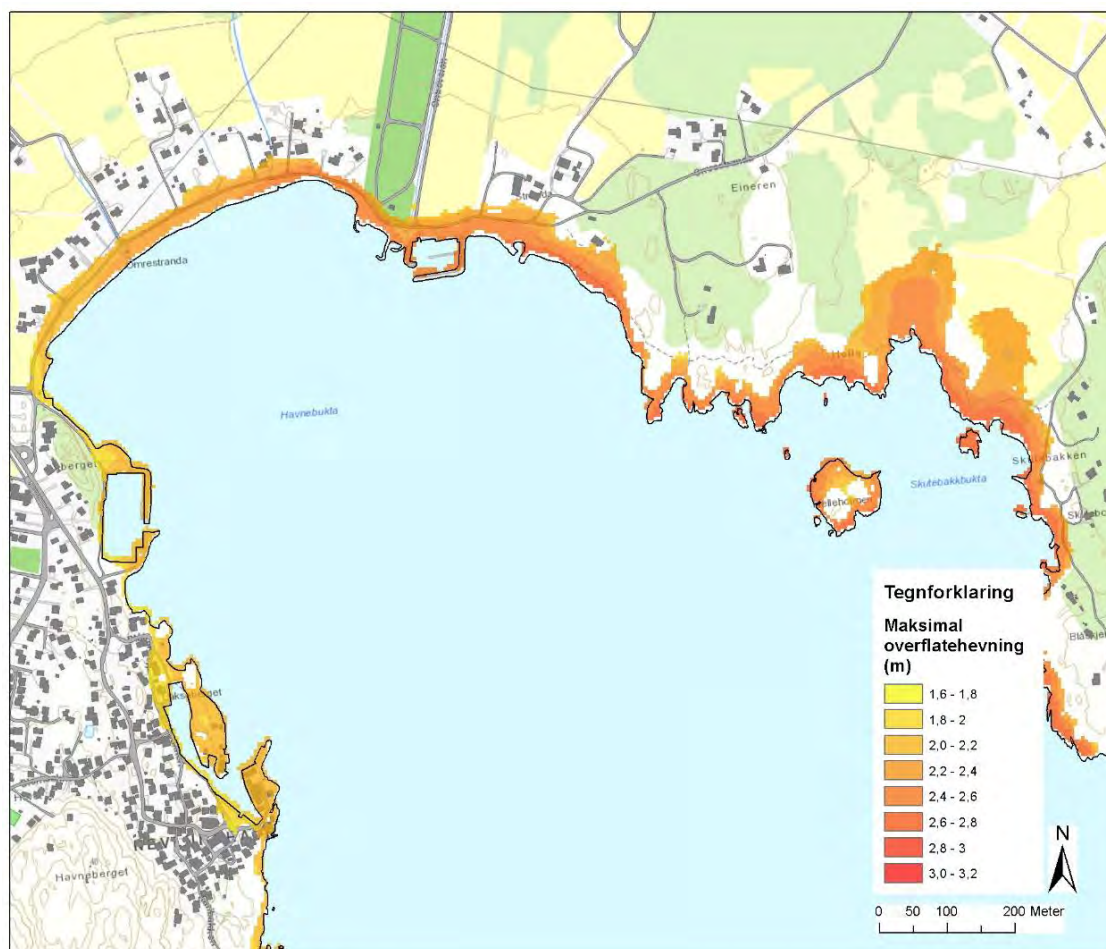
Nevlunghavn ligger i en bukt hvor bebyggelsen generelt befinner seg i god høyde fra fjorden (Figur 4-75). Det finnes noen slakere områder i øst, men her er det ikke bebyggelse. Veien langs Omrestranda ligger lavt og tett ned mot fjorden. Det er nylig bygget ny kai på området, se foto. Nevlunghavn er også en viktig nødhavn. Siden Nevlunghavn har storhavet mer eller mindre rett ut sørover, ligger dette området noe mer utsatt til for vindoppstuvning og bølger for vinder fra sør og sør-vest enn områdene inne i Larvikfjorden.

Resultatene fra stormfloberegningene er vist som maksimal flomdybde og maksimal overflåteheving i Figur 4-76: Maksimal flomdybde for Nevlunghavn. og Figur 4-77. I Nevlunghavn mellom småbåthavna på vestsiden av bukta og brygga vil flere bygg kunne bli rammet, i tillegg til vegen langs stranda lengst nord (Ormestranden).



Figur 4-75: Bilder fra befaringen ved Nevlunghavn.





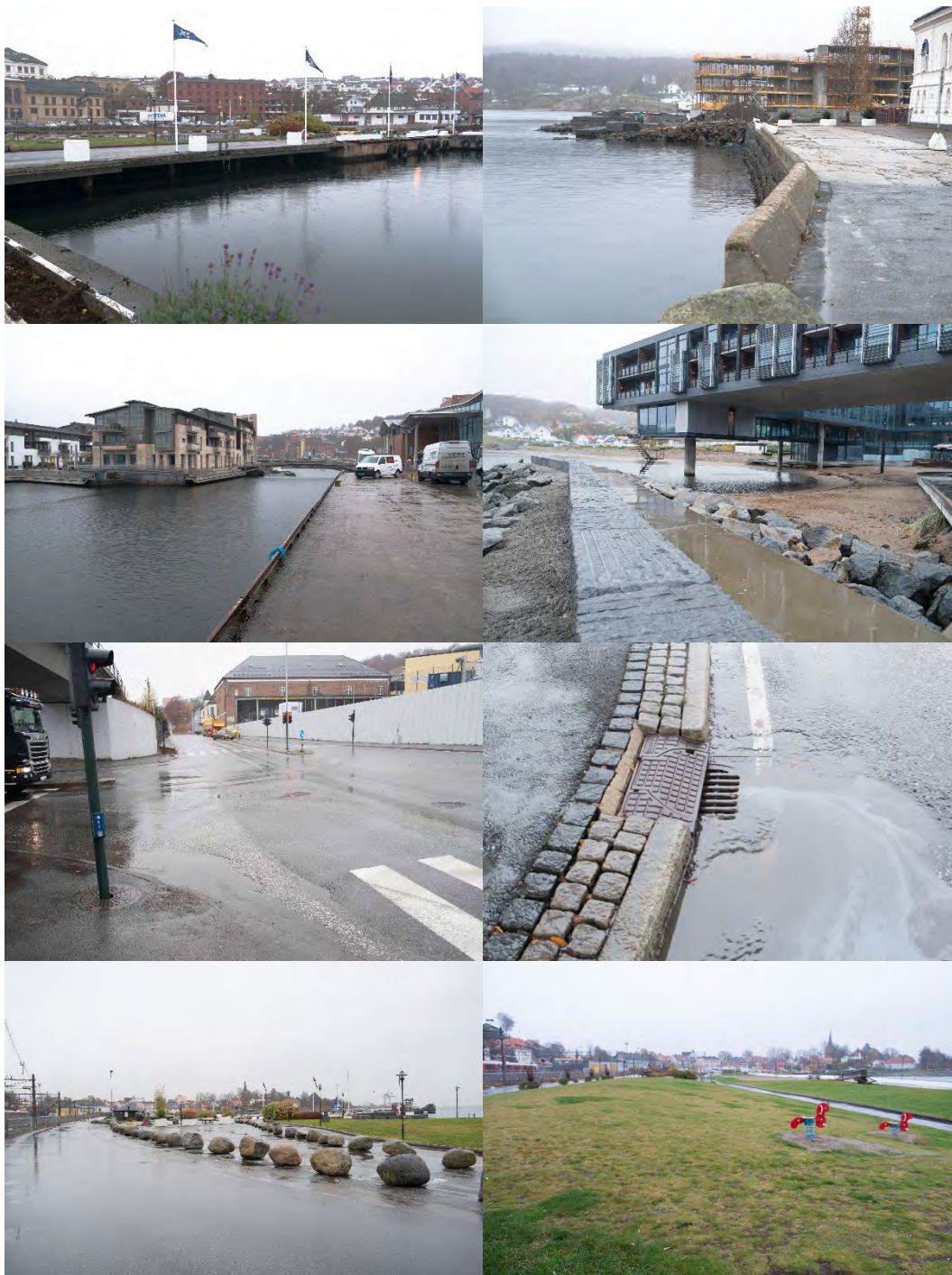
Figur 4-77: Maksimal overflateheving for Nevlungshavn.

4.4.4.4 Område 3 – Indre havn og Stavernkrysset

Ved indre havn er det større arealer som er potensielt sårbare med tanke på stormflo. Dette gjelder særlig området mellom jernbanen og fjorden. Her sto vannet også under 1987 hendelsen (se over). Se bilder fra befaringen i Figur 4-78. Stavernkrysset er det laveste punktet i denne delen av byen og risten på avløpskummen her ligger på 1.77 m (NN2000). Bunnen på kummen er på 0.43 m. Utløpet for overvannsledningen er i nedre del av Farriselva (hvor den møter fjorden) ca. 160 m fra Stavernkrysset. Overvannsledningen har en dimensjon på 400 mm. Se også avsnitt 4.1.4.

Resultater fra stormfloberegningene er vist som maksimal flomdybde og maksimal overflateheving i Figur 4-79 og Figur 4-80. For indre havn vil vi kunne få oversvømmelse over togsjakkene og en sone helt vest for utløpet til Farris ut til Tollerodden. Vanddyptet kan enkelte steder nærmest fjorden bli over 1.5 m. Sammenlignet med hendelsen i 1987 (se over), så er de modellerte verdiene for 200 års stormflo ca. 25 cm høyere ved posisjonen beskrevet i avsnitt 4.4.2. Beregninger viser at under en stormflo vil området

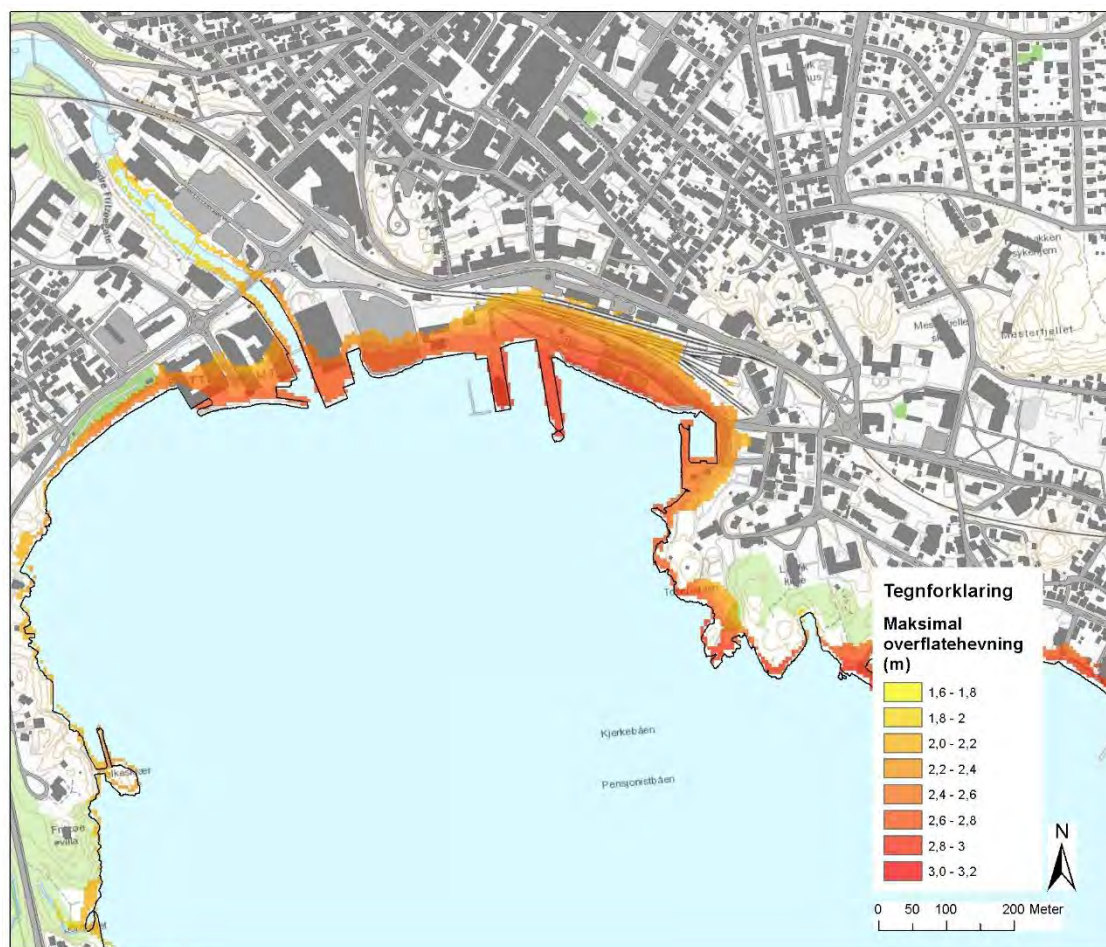
i liten grad bli ytterligere oversvømmet på grunn av en eventuell flom fra Numedalslågen.



Figur 4-78: Bilder fra befaringen ved indre havn og Stavernkrysset. Venstre og høyre bilde i rekke nummer tre fra toppen viser Stavernkrysset og den omtalte avløpskummen.



Figur 4-79: Maksimal flomdybde Indre havn, Larvik.

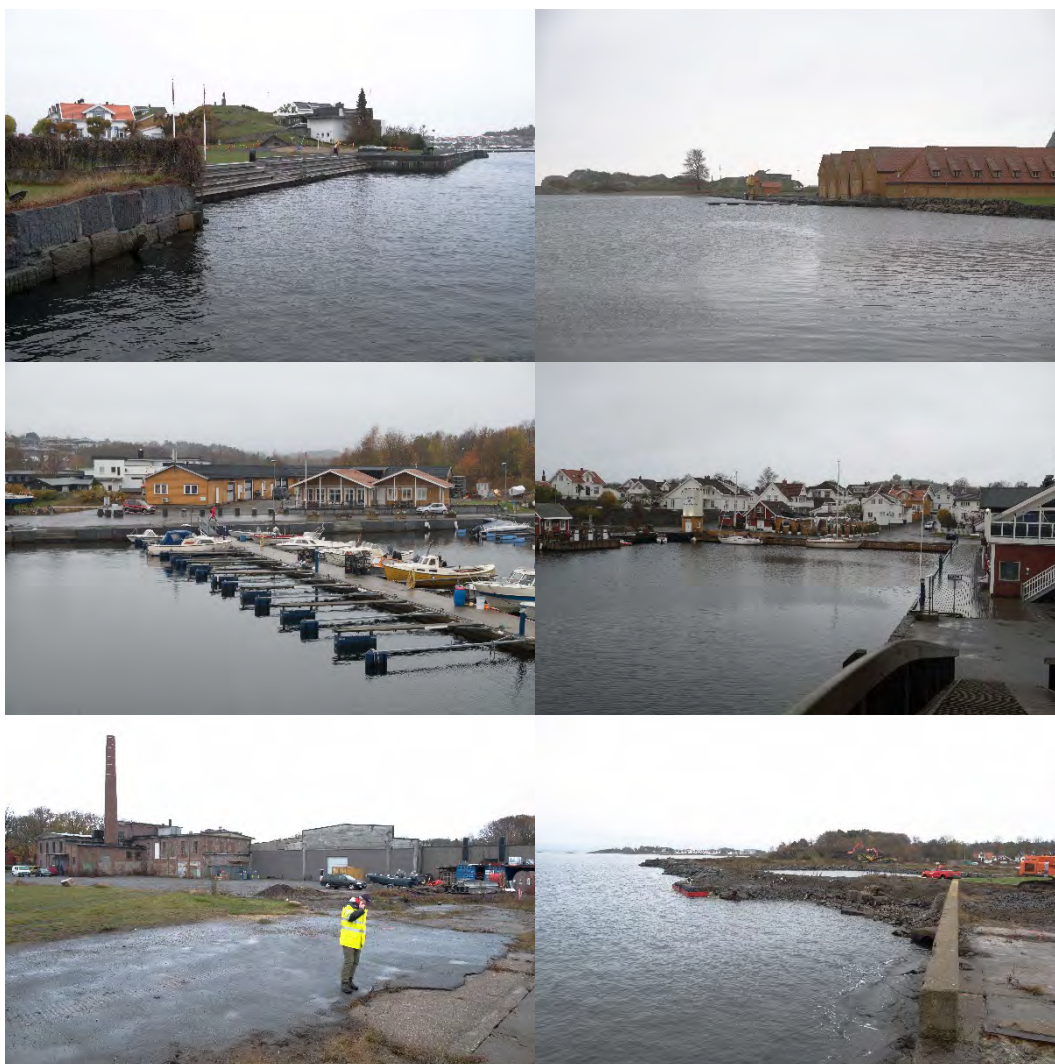


Figur 4-80: Maksimal overflateheving Indre havn, Larvik.

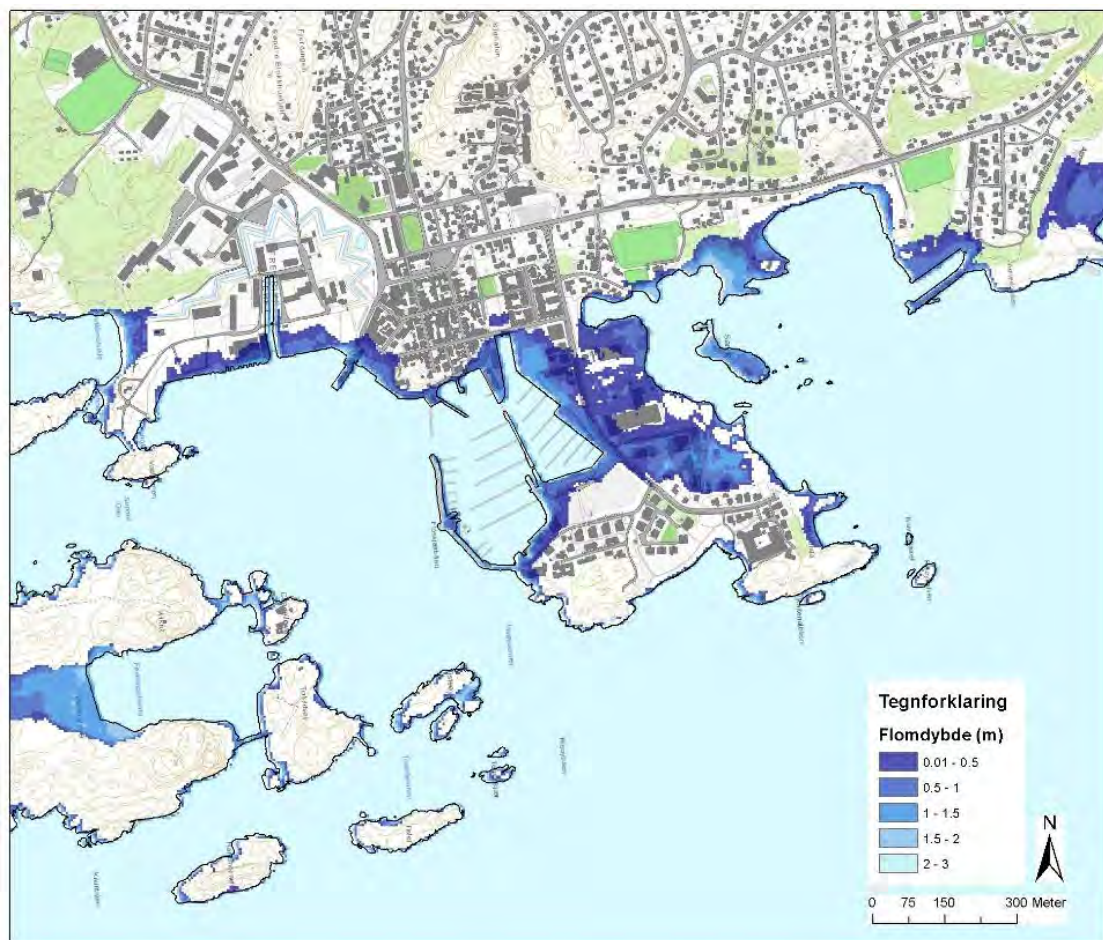
4.4.4.5 Område 4 – Stavern

Stavern ligger på vestsiden av Larviksfjorden, og ligger derfor noe i le for vinder fra sør-vest. Bilder fra befaring sees i Figur 4-81. Stavern har en del lavtliggende områder sør for båthavna hvor det primært er industriområde.

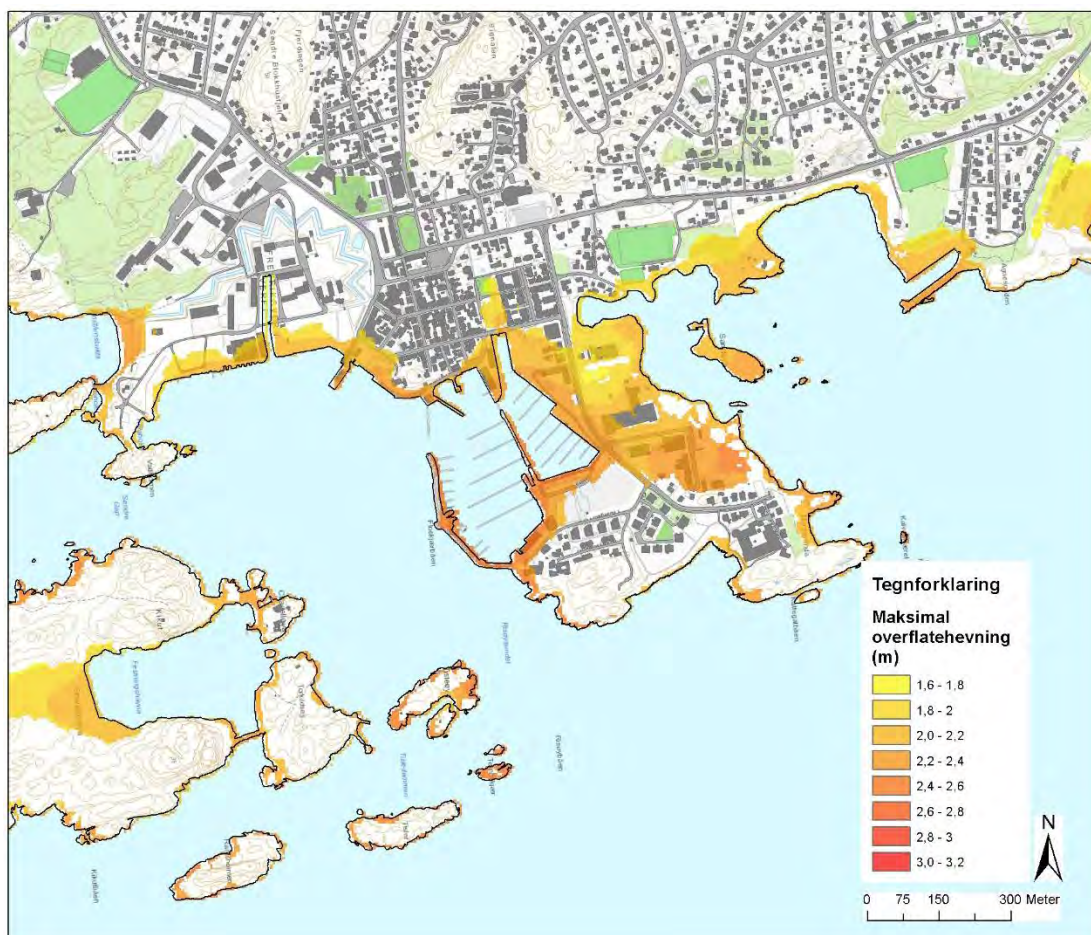
Resultater fra stormfloberegningene er vist som maksimal flomdybde og maksimal overflateheving i Figur 4-82 og Figur 4-83. Stavern vil kunne bli rammet ved det gamle militæranlegget, og ikke minst i hele området nord for småbåthavna. Vandyp over terrenget vil kunne være fra noen titalls cm til 1.5 m.



Figur 4-81: Bilder fra befaringen ved Stavern.



Figur 4-82: Maksimal flomdybde Stavern.



Figur 4-83: Maksimal overflathevning Stavern.

4.4.4.6 Område 5 – Revet og utløpet av Numedalslågen

Revet er et område for industri og containerhavn (Figur 4-70). På nordsiden ligger havneområder, mens på sørsiden er det anlagt en sti mot Numedalslågen (Revestien, ferdigstilt i 2010).

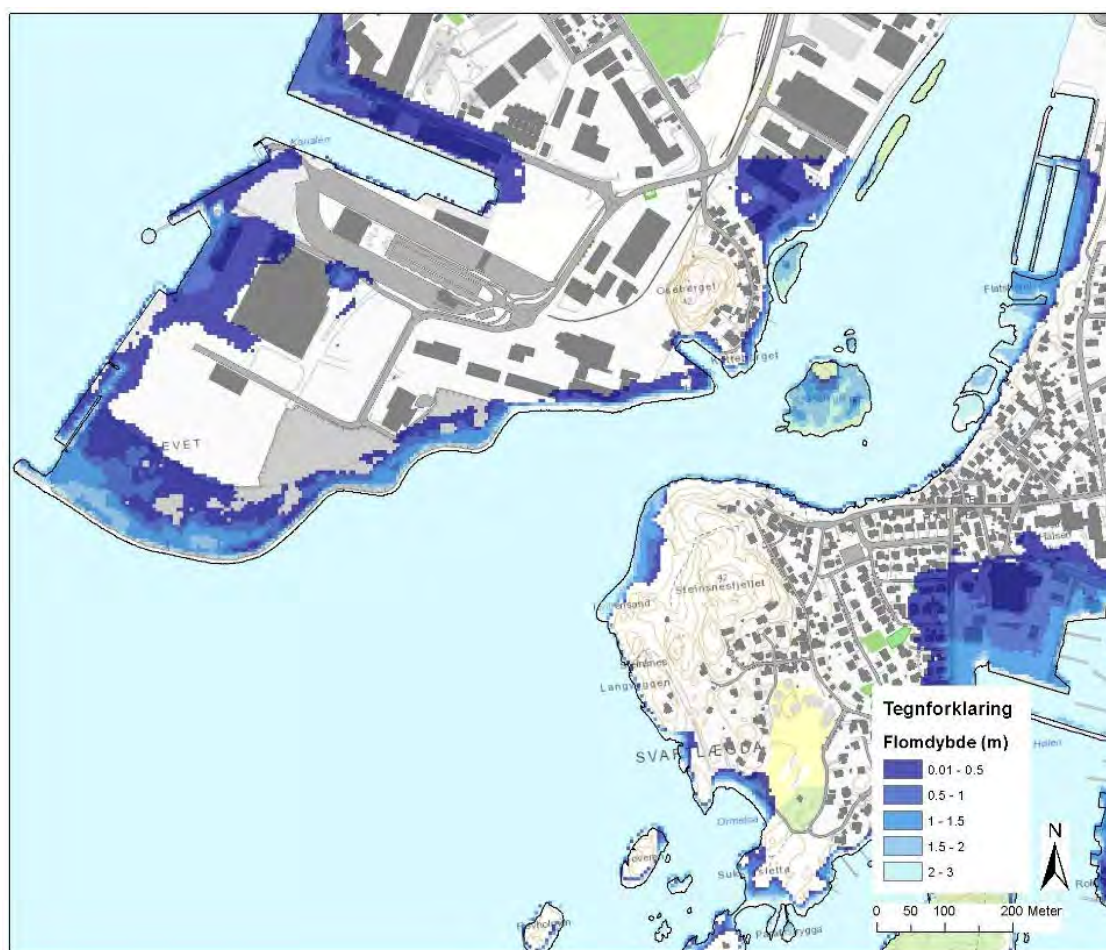
På motsatt side ligger Hvittensand, en sandstrand der det tidvis er erosjon på grunn av strøm i Numedalslågen og vindbølger. Elvebunnen og strandsonene (som er bygget opp av sand og grus) er i konstant endring. Revstien er bygget i en bølgeform som har til hensikt å dempe bølgerrefleksjon mot Hvittensand. På de mest utsatte områder av Revstien er det bygget et erosjonsvern som fungerer som en bølgebryter. Vernet bidrar til å redusere faren for utvasking av arealet i bakkant. Kantstein langs stien er boltet sammen og sikret mot å skli ut av posisjon.

Resultater fra stormfloberegningene er vist som maksimal flomdybde og maksimal overflathevning i Figur 4-85 og Figur 4-86. Store deler av ytre Revet ligger lavt med tanke på fare for vanninntrenging og utvasking av arealer under en eventuell stormflo.

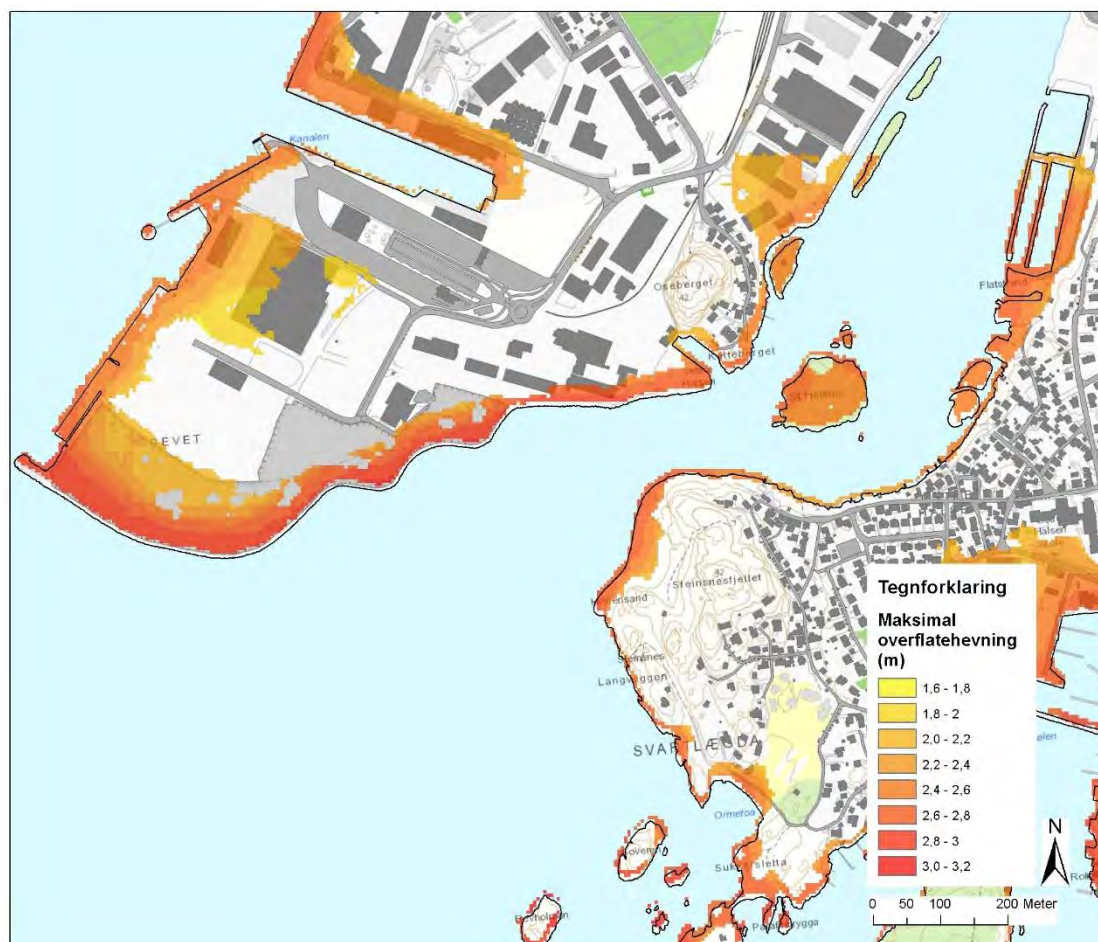
Videre vil store deler av Revet lengst mot vest og mot nord kunne bli lagt under vann. I tillegg kan et større areal mot øst også rammes. Langs Numedalslågen og dens utløp vil vannet kunne trenge inn over land. Se for øvrig resultater i avsnitt 4.3 hvor resultatene for stormfloberegningene (returperiode 200 år) og en 50-årsflom i Numedalslågen er kombinert.



Figur 4-84: Bilder fra befaringen ved Revet og utløpet av Numedalslågen.



Figur 4-85: Maksimal flomdybde ved Revet og utløp Numedalslågen, Larvik.



Figur 4-86: Maksimal overflåteheving ved Revet og utløp Numedalslågen, Larvik.

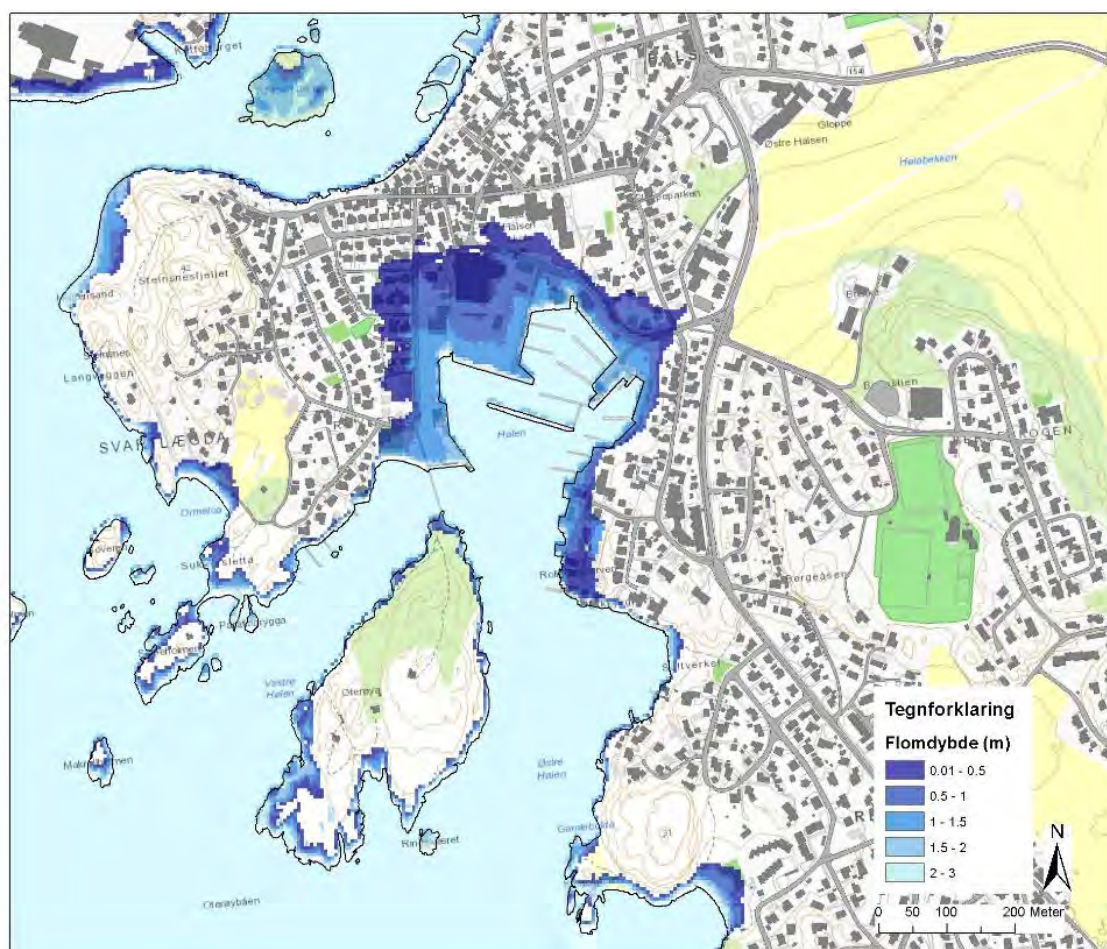
4.4.4.7 Område 6 – Hølen

Hølen ligger øst for utløpet av Numedalslågen (Figur 4-87). Her er terrenget lavt og slakt. Det er mye nyetablering av bebyggelse, og det ligger også noe industri samt skole her. Hølen er delvis beskyttet av en stor holme (Oterøya) rett utenfor.

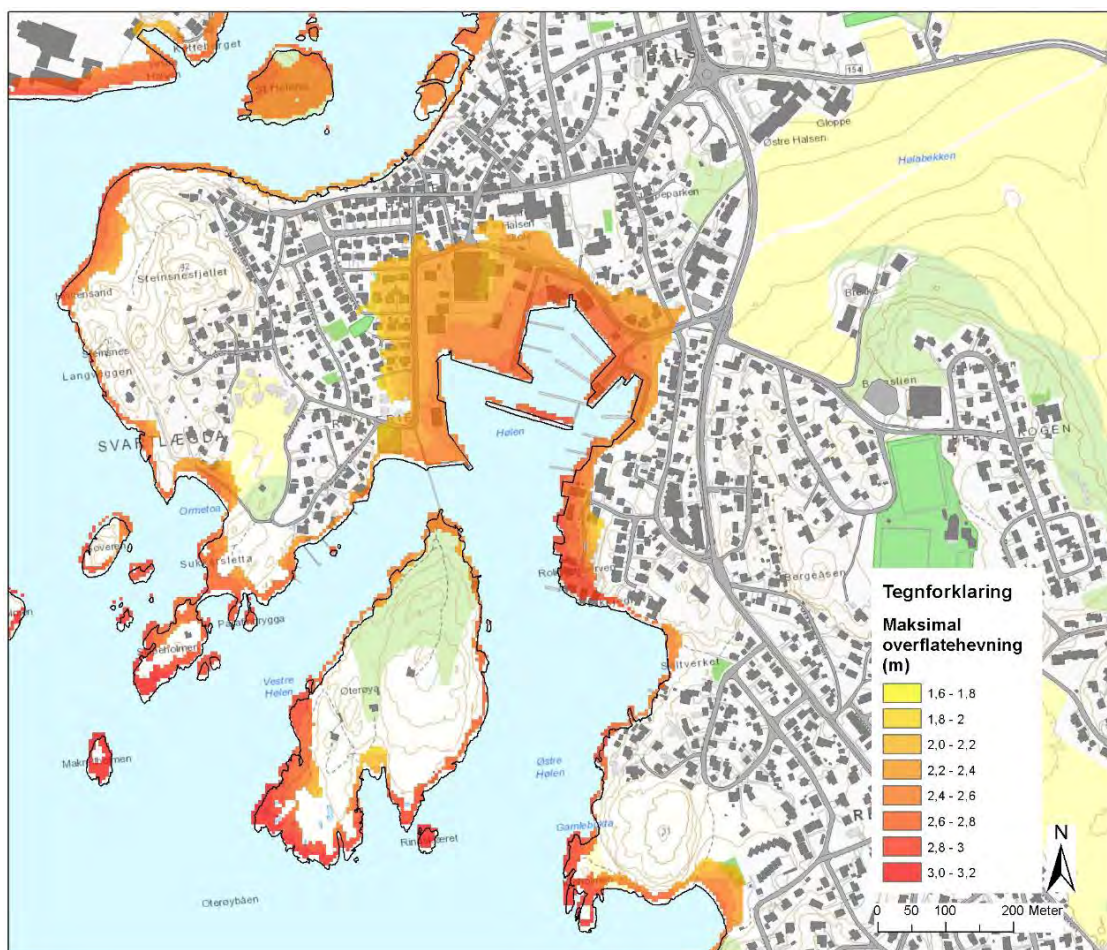
Resultatene fra stormfløberegningene er vist som maksimal flomdybde og maksimal overflåteheving i Figur 4-88 og Figur 4-89. Det er en del områder ved Hølen som har liten terrenghøyde, dette vises ved at vi kan få vann over store deler av områdene nærmest bukta med et vanddybde over land på opptil 1.5 m.



Figur 4-87: Bilder fra befaringen ved Hølen.



Figur 4-88: Maksimal flomdybde ved Hølen.



Figur 4-89: Maksimal overflateheving ved Hølen.

4.4.4.8 Holmjordet

Ved Holmjordet har vi beregnet en høyde på stormflo til 1.9 m (NN54). Her vil det ved sør-vestlig vind være fralandsvind som vil gi lite oppstuvning og lite bølger.

4.4.5 Tiltak for å redusere skader på grunn av stormflo

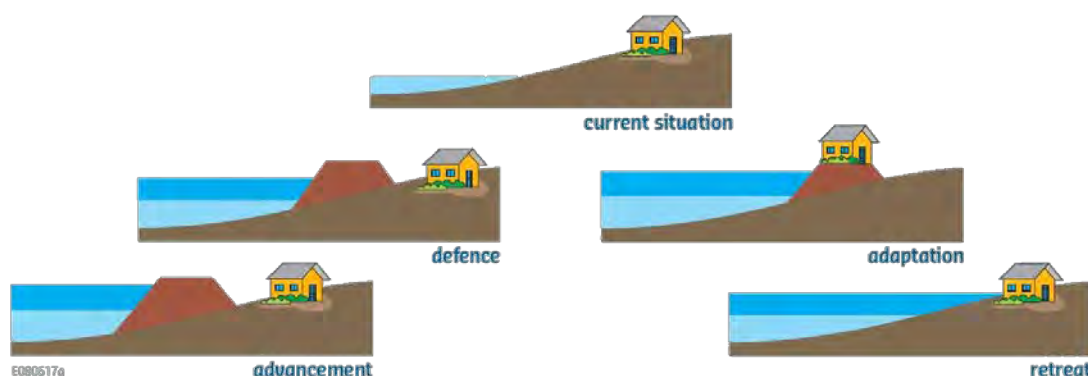
Et endret klima med stigende havnivå og økende stormfloaktivitet er en trussel mot lavereliggende kystområder, deres samfunn og økonomiske verdier. Stormflo kan lede til store økonomiske skader på grunn av bølgenes eroderende kraft, tidevann og strømmer.

For å håndtere konsekvensene av det stigende havnivået, som f. eks. erosjon eller oversvømmelse, må kommunen ha en langsiktig strategi. Dette betyr at tiltak må iverksettes for å redusere virkningen av stigende havnivå. Det kan være alt fra beskyttende barrierer

mot høyt tidevann og bølger til samfunnsplanlegging og flytting av infrastruktur ut av sonen som kan bli rammet av oversvømmelse.

Generelt finnes det fem ulike strategier som kan brukes ved økende vannivåer og stormflo (Figur 4-90) (FLOODsite, 2009):

- Ingen tiltak ("current situation")
- Sikre strandlinjen ("defence")
- Sikre bestemte områder ("adaptation")
- Utvide strandområdet ("advancement")
- Tilbaketrekking - flytting ("retreat")



Figur 4-90: Strategier ved økende vannivåer og stormflo (FLOODsite, 2009).

Risikovurdering og tiltak mot stormflo er nærmere beskrevet av NGI (2014b) og METU (2015).

4.4.5.1 Eksempel på generell tilpasning for kystområdene

Strategi og planlegging av tiltak

- Ekstra tilskudd for klimatilpasning og finansiering av kystvern
- Risiko og sårbarhetsanalyser, kartlegging av risiko-områder
- Samfunnsplanlegging på sikt, dvs. ta hensyn til høyere vannstand
- Sikre samfunnsmessige viktige funksjoner ("kritisk infrastruktur"): flytte eller sikre energiverk, vannforsyning, telekommunikasjon, skoler, sjukehus, vann og kloakk, jernbane, togstasjoner m.m. fra oversvømmelsestruede områder.
- Early warning system (ved storm, høyt vannivå, flom), planer for fluktruter
- Restriktiv lovgivning mot nye bosetninger i kystnære områder, definisjonen av "laveste terrengnivå"
- Tilpasse ny bebyggelse, f. eks. uten kjeller og med høyde over bakkenivå
- Informasjon om flomrisiko til befolkningen

Erosjonsbeskyttelse

- ↗ Etterfylling av sand
- ↗ Vegetasjon
- ↗ Steinmaterialer (også kombinert med planter)
- ↗ Kledning av skråninger som kan bli berørt av erosjon med f. eks. betongplater, betongmatter, gabioner (nettingbur fylt med steinmasser), sandsekker
- ↗ Bølgebrytere
- ↗ Pirer vinkelrett mot strandlinjen (beskytter mot erosjon av bølger langs land, sanden transporteres ikke vekk, men legger seg opp mellom pirene)

Beskyttelse mot oversvømmelse

- ↗ Diker
- ↗ Utfyllinger
- ↗ Murer/vegger
- ↗ Bevegelige, midlertidige anlegg/anretninger som lukkes når flommen truer
- ↗ Forsterkninger
- ↗ Moloer/konstruksjoner i sjøen for å dempe effekten av stormflo
- ↗ Heve byggegrunn
- ↗ Fiberduk
- ↗ Tilpasse avløp, pumpesystem, dreneringssystem etc. (Stavernkrysset)
- ↗ Den enkelte innbygger: sikre kjeller, integrere beskyttende barrierer etc.

Se også DSB (2015b).

4.4.5.2 Forslag til mulige tiltak for Larvik kommune

I tillegg til de generelle tiltakene som er skissert over, har NGI følgende innspill for områdene vi har vurdert for stormflo

1. Stavernkrysset i Larvik sentrum bør ha et bedre dreneringssystem for avløpsvann. Det er dårlig kapasitet allerede ved flom/kraftig nedbør, samt at ved en kraftig stormflo vil vann kunne strømme motsatt vei fra utløpet av overvannsledningen (som ligger i enden av Farriselva ned mot fjorden) og opp i Stavernkrysset. Denne overvannsledningen vil derfor miste all kapasitet ved en stormflo. Det bør vurderes et pumpesystem. Se også avsnitt 4.1.4.
2. Langsgående murkant/voll på sjøsiden av indre havn for å beskytte området i indre havn (f.eks. inn mot toglinjen).
3. Heve terreng ved nybygging, ha krav til høyde på byggegrunn.



Vindfelt tre, Bøkeskogen, 23.12.2013 (Østlands-Posten, foto: Elisabeth Løsnæs).

5 Øvrige faretyper – mulig videre arbeid

Under utvelgelsen av scenarier ble en lang rekke faretyper og områder vurdert. Langt fra alle kunne tas med innenfor det definerte omfanget av prosjektet, til tross for at de kan være aktuelle for regionen. Med tanke på mulig videre arbeid listes her en del faretyper som ble vurdert uten at de ble studert videre i dette prosjektet:

- Økt hyppighet av sterk vind. Usikkerheten i framskrivningen er stor. Lokalkunnskap er viktig. Larvik kommune har meldt inn behov for vindprediksjoner til Klimaprofil Vestfold (Vedlegg B).
- Langvarige hendelser som bygger seg opp over lengre tid, f. eks. temperaturøkning (med implikasjoner for tørke og markvannsunderskudd, vekst, skadedyr, sykdommer, arter, skogbrann).
- Økt markvannsunderskudd med følger for jord- og skogbruk, vanningsbehov og skogbrannfare.
- Tørke (vurderes som mindre problematisk). Larvik er godt dekket mht. vanning og forventer heller ikke drikkevannsproblemer som følge av tørke (dessuten færre bakterier på lav vannstand). Kan være aktuelt å lage en oversikt over de som benytter egen brønn og som derved kan få problemer.
- Endret avrenning som følge av fremtidige nedbørsscenarier (avsnitt 4.1.3).

- For vann og avløp: Studier av tilbakeslag fra fellessystem opp i kjellere, åpne flomveier (overvann), lokalt styrtregn.
- Problemer knyttet til endringer i terreng/infrastruktur (f. eks. bygging av skogs-bilveier, hva fører de til, hva tåler de?). Er det behov for strengere regler for slike inngrep?
- Oppdemming og oversvømmelse etter skred i elv
- Flodbølge etter skred i vann/elv
- Dambrudd → flodbølge → skred langs vassdraget
- Hendelseskaskader («dominoeffekter»), f. eks. strømbrydd → kommunikasjon, avrenning → drikkevann, flom → transport, flom → erosjon → dambrudd, vind → trefall → transport, ekstremnedbør → erosjon → kvikkleireskred.

Et annet forslag til videre arbeid kan være produksjon av kart som viser fremtidig vind, nedbør, temperatur i kommunene i tid (f. eks. 30 år frem, 50 år fram, ulike sesonger) og rom (geografisk fordeling). Slike "klimakart" kan kombineres med kart over infra-struktur eller utbyggingsplan så man kan utlede hvor man har kombinasjon av store klimaendringer og sårbar infrastruktur. Eksempelvis kan informasjon om vind fra litteraturstudie og på kart si noe om hvor man kan forvente økt fare for trefall over jernbane.

Det bør også nevnes at det er planlagt en ny laserscanning av terrenget langs Numedalslågen fra våren 2016. En sammenlikning av nye og tidligere terrengdata kan gi verdifull informasjon om erosjonsrate.

DSB (2015) har utgitt en veileder om hvordan kommuner kan ivareta samfunnssikkerhet og klimatilpasning i planlegging etter Plan- og bygningsloven. Rapporten inneholder bl.a. kartleggingsskjemaer (Vedlegg C) for en rekke naturfarer som kommunene kan oppleve som utfordrende i sin egen arealplanlegging. I skjemaene er det for hver potensielt utfordrende naturfare (flom, skred, overvann, osv.) gitt oversikt over bl.a. aktuelt lovverk (med henvisning til aktuelle paragrafer), klimaframskrivninger (hva finnes/hva finnes ikke), hvordan forebygging av hendelsene skal følges opp i plan (arealdel og reguleringsplan) samt tilgjengelige veiledere og retningslinjer (med direkte lenker der disse finnes). Disse skjemaene danner et godt utgangspunkt til å jobbe videre med kartlegging av uønskede hendelser.