RAPPORT

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

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

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 kommentarar 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-årsperspektiv (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 drensrørene 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 infrastruktureiere, 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 løsmasseskråningene som kan komme til å bli utsatt for jordskred. Vi har valgt å benytte områdene ved Hukstrøm bru, Odbergneset og Husvann for å evaluere tilpasning til klimaendringer som følge av jordskred.

Odbergneset 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 ravinering 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 Jorstøyp 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 sikrings-metoden som hindrer utfall er rensk og nedsprengning 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 Pålsbufjorden) 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 Gjønnes: 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. Gjønnesbekken opp ved Gjønnesvatnet ligger på en høyde der vannstanden i Lågen slår inn ved stor flom. Flom i nedbørfeltet til Gjønnesbekken 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 værets påvirkning. Klimaendringer og mer ekstremvær fører til økt stormaktivitet, og havnivåstigning kan øke stormflofaren 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 intensivert 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 pirer 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 Odbergneset 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 Flommerker 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 - Odbergneset 81
4.3.4.3 FV40 ved Gjønnes 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. Sørum (Lavik 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:

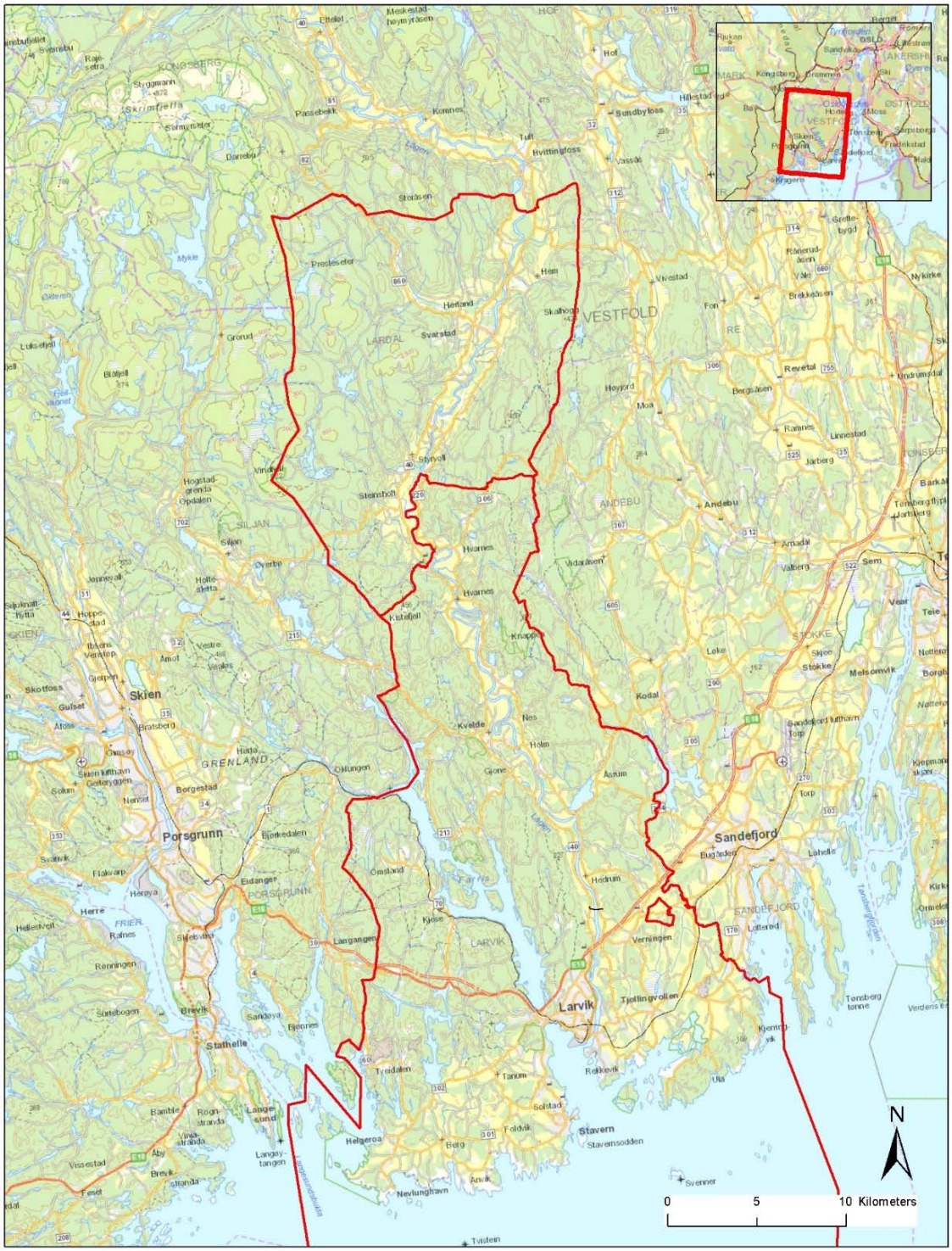
Prosjektleder Knut Hj. Gulliksen
Miljøvernsjef Marit Vasbotten
GIS-koordinator Odd Arne Bakke-Ludviksen
Arealplanlegger Hanne Holmen
Fagkonsulent Einar Kolstad
Avd.ingeniør Halfdan Småbråten
Teknisk sjef Fred Arne Sørum, Larvik havn

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 beskrivesler 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 scenarioer for framtidig utvikling av globale utslipp av klimagasser og aerosoler (partikler). Utviklingen av disse utslippene er i stor grad avhengig av verdens befolkningsvekst, teknologiutvikling, næringslivs-utvikling og politiske rammebetingelser. Nærmere utdypning av utslippsscenarier 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 klima-modellene, 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 gjentaksintervall 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 komunene. Videre er det fordelaktig å velge lokaliterer 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.

	Område												
Faretype	Hukstrøm bru Lardal	Odbergneset/ Hellnes	Gjønnes Gjone Fv 40	Utløp Numedalslågen - Gloppe bru - Heggdal	Holmjordet	Jordstøyp	Fritzøe-parken	Utvidet område Husvann	Kvelde	Stavern Helgeroa Nevlunghavn	Revet Hølen	Indre havn/ Utløp Farris	Stavern-krysset/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 Havnivå-stigning[4]				Interaksjon med flom[5]	Tas med som del av totalstudien; ikke detaljert					3 områder	2 områder	Stormflo Havnivå-stigning	

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 avnitt 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 gjentaksintervall 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 utslippssenario "buisness 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).

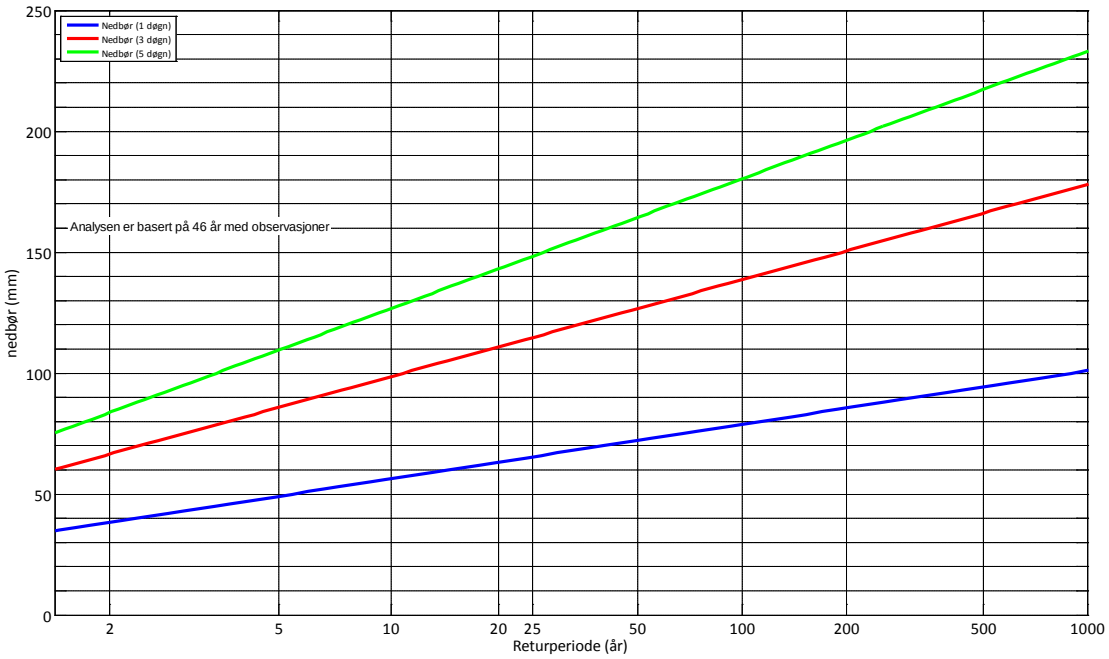
2045	Sesong			
Scenario	DJF	MAM	JJA	SON
lav	2.5	2.0	-5.0	-4.8
middels	16.1	16.2	3.2	4.8
høy	29.0	20.0	15.5	17.5

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 gjentaksintervaller (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 (^{O}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

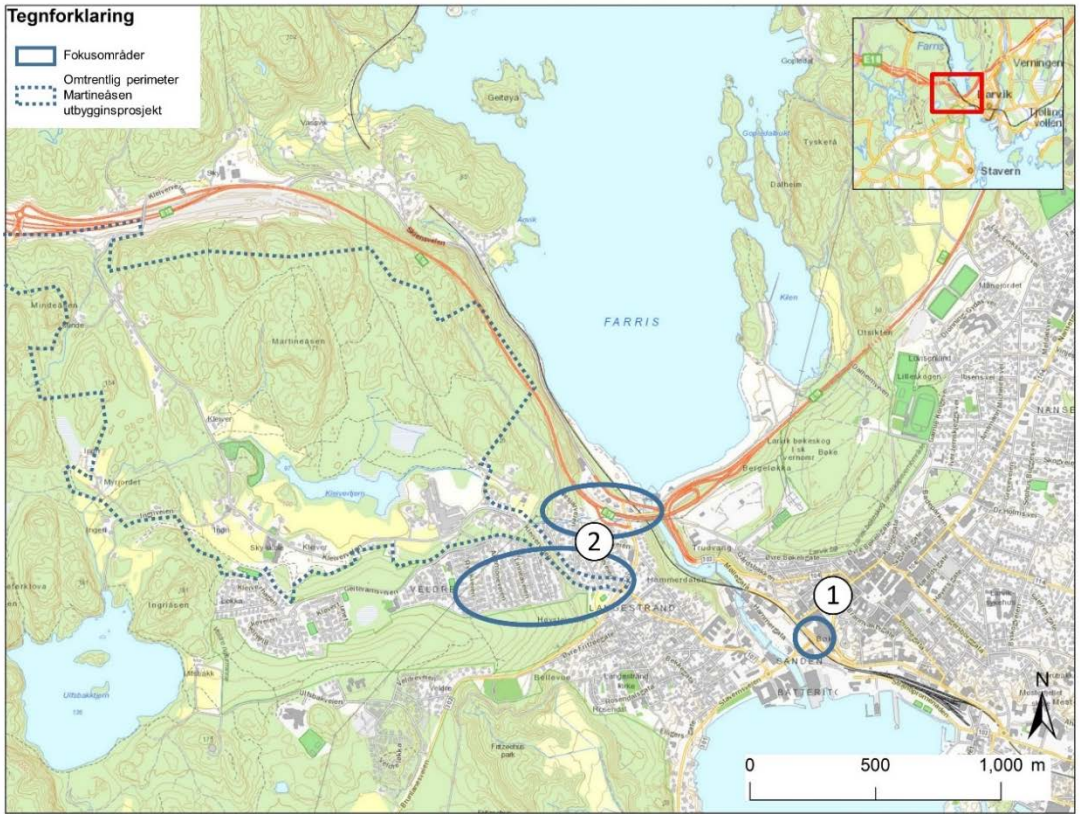
4.1.4 Urban flom

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 drens-ledningsnettet. Dersom nedbørsmengden overstiger kapasiteten i drenslednings-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 overvanns-planleggingen.

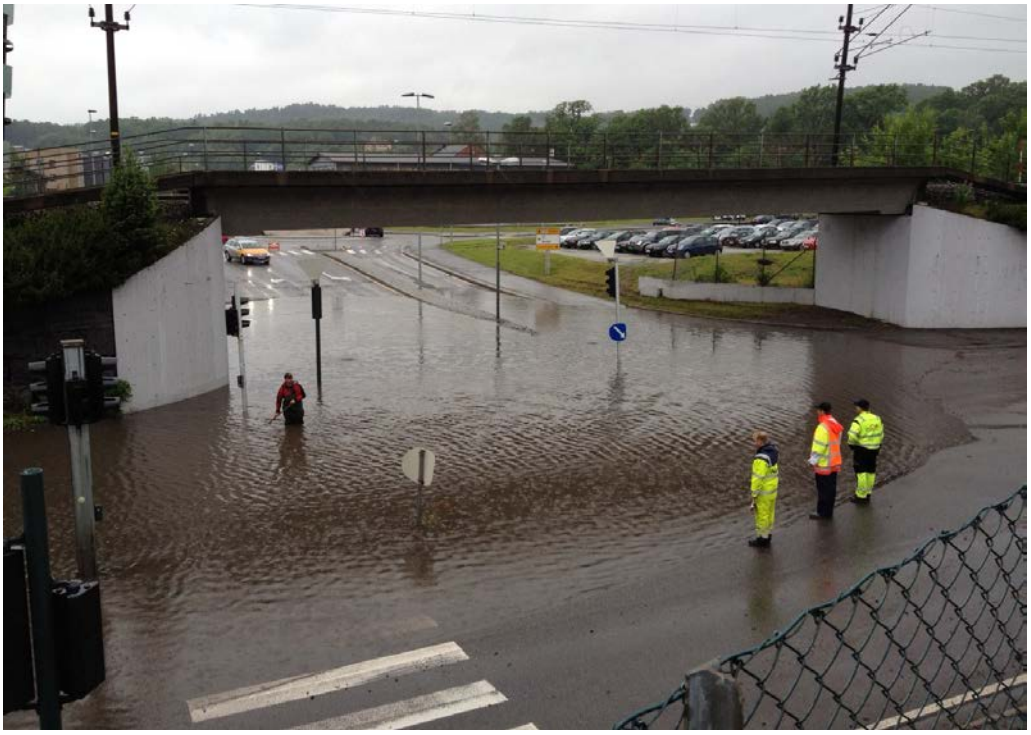
Kommunen har valgt to områder for eksempelstudier med overvann i bebygde områder (Figur 4-2):

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 strømningen. 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 ledningsnettet 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.



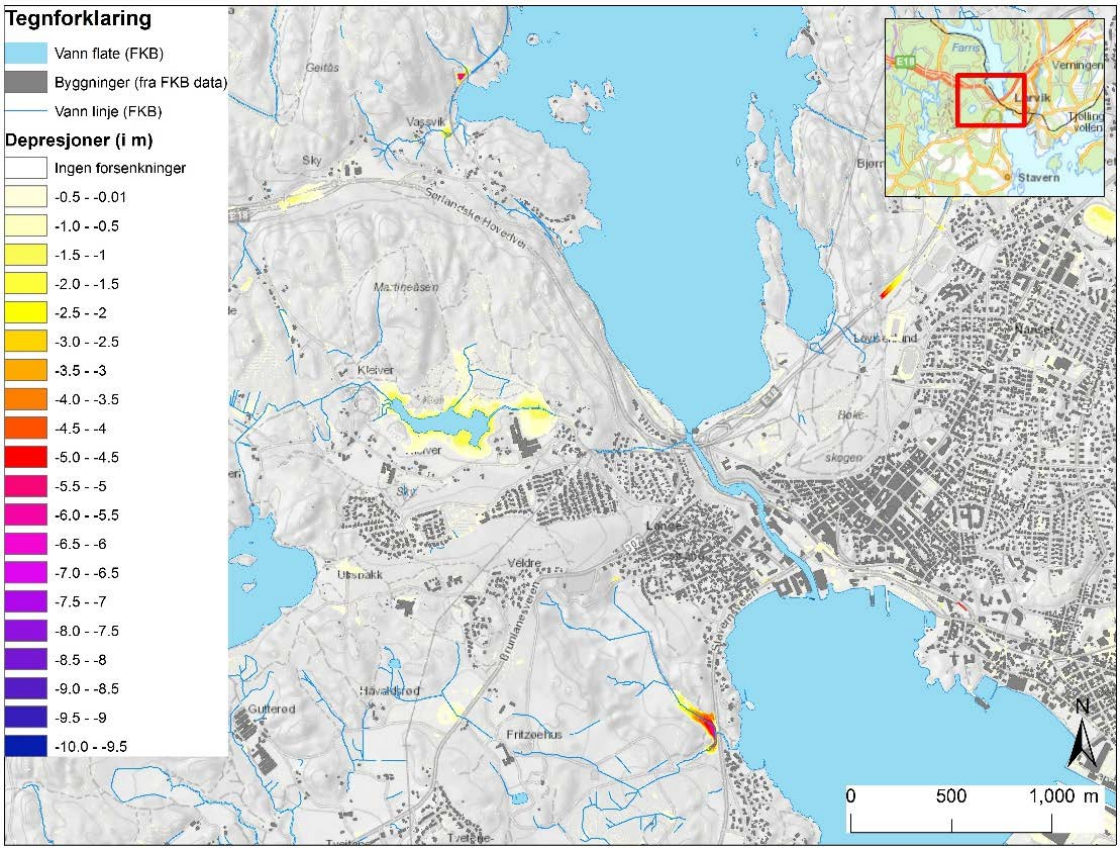
Figur 4-3: Oversvømmelse ved Stavernkrysset, 29.6.2012 (Østlandsposten, foto: Kari Goverud).

- 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 bruen over Farriselva 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.

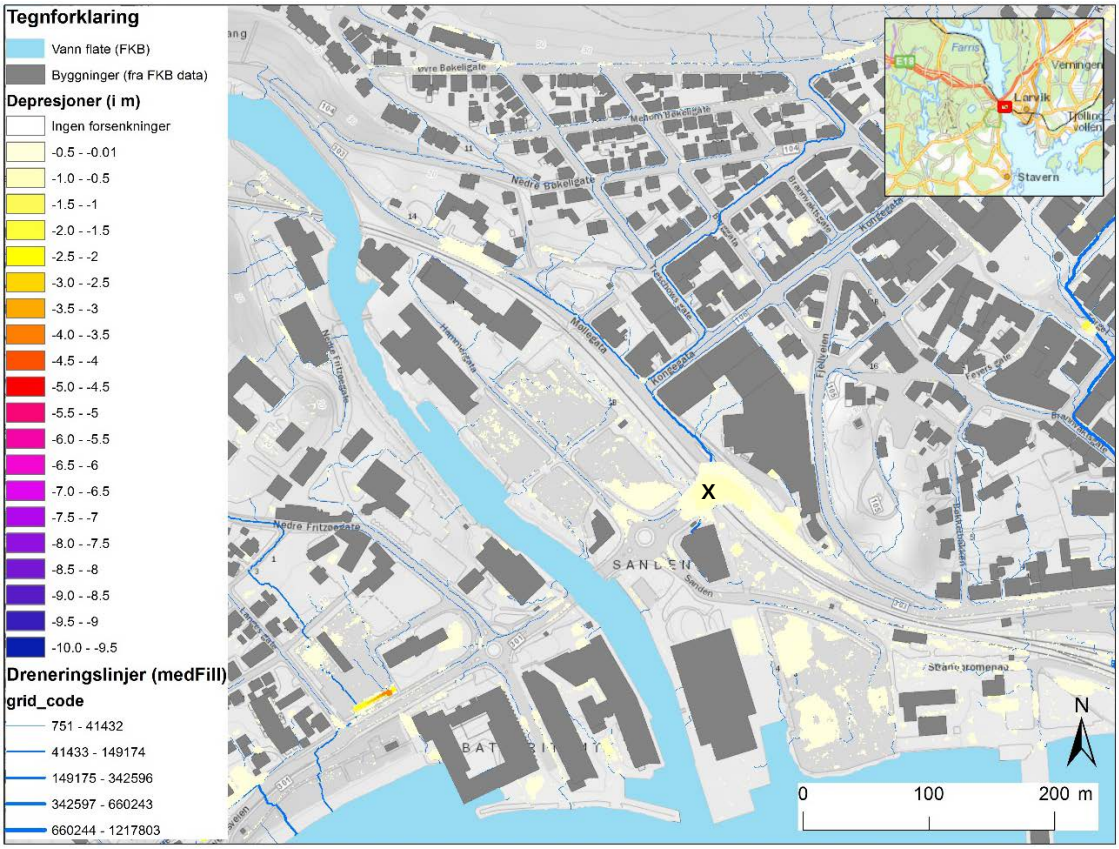
4.1.4.2 Kartlegging av terrengforsenkninger og volumberegning for potensielt oppdemmete vannmasser

Fra en tidligere overvannsanalyse foreligger det urbane dreneringslinjerer (også kalt flomveier) for Larvik sentrum (samt for Kvelde). For å generere urbane dreneringslinjerer 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.

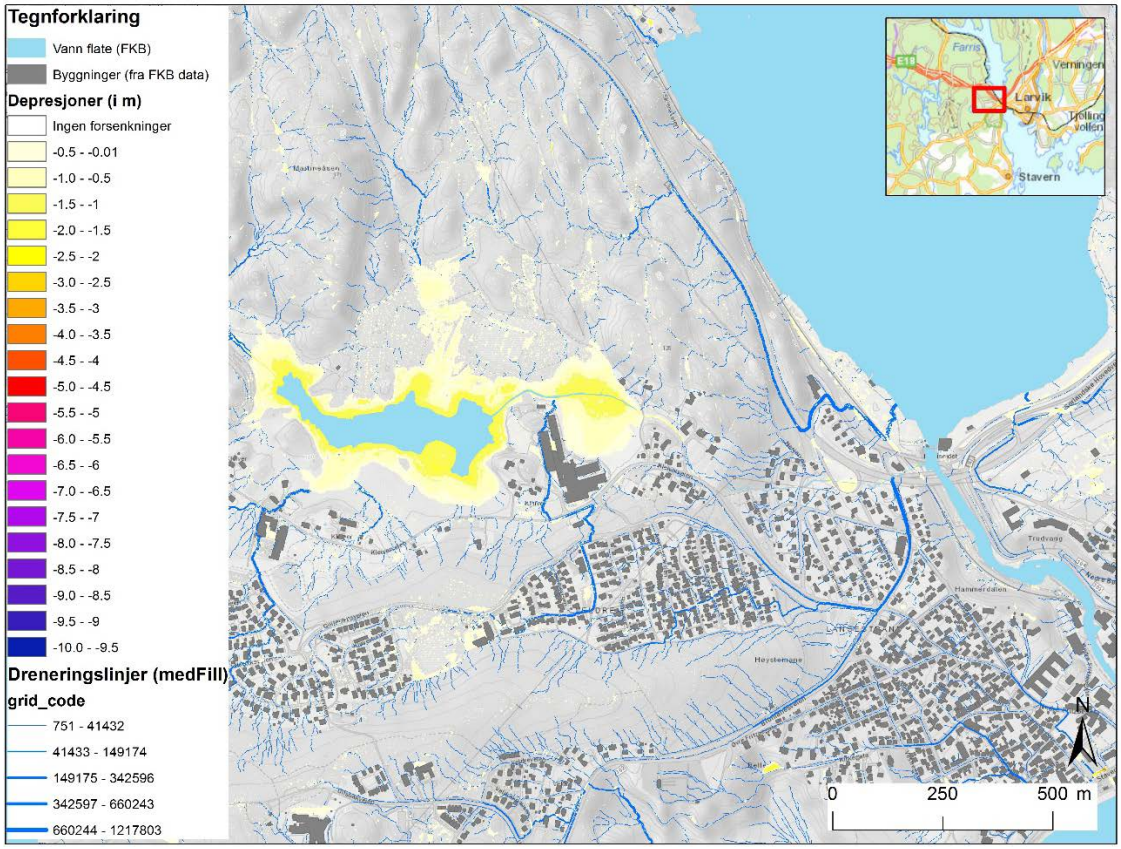
Med ovennevnte terrengmodell som utgangspunkt er det laget kart som viser naturlige forsenkninger der det under en situasjon med mye nedbør vil kunne demmes opp til dels betydelige vannmengder. Figur 4-4 til Figur 4-6 viser resultatene i et oversiktskart, respektive detaljkart for hvert av de to fokusområdene. I et neste steg ble volumet til disse forsenkningene 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 forsenkningene. Sammen med registrerte overløp og kapasitetsberegninger for avløpsnettet kan dette så benyttes som et prioriteringsgrunnlag for videre detaljkartlegging.



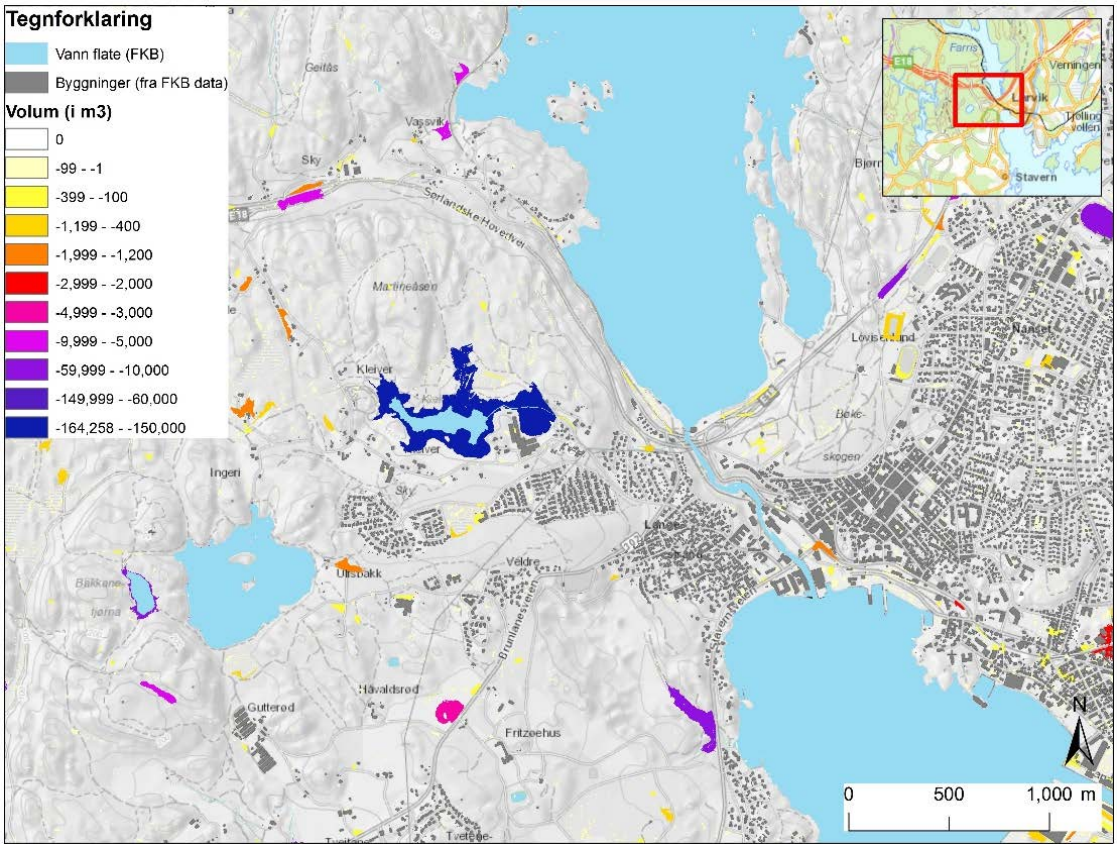
Figur 4-4: Naturlige forsenkninger i terrenget som kan føre til oppdemning av vann under intense nedbørshendelser (oversiktskart). Fargeskala indikerer dybden av forsenkningene fra nær null meter (lysegul) til opp mot ti meter (lilla).



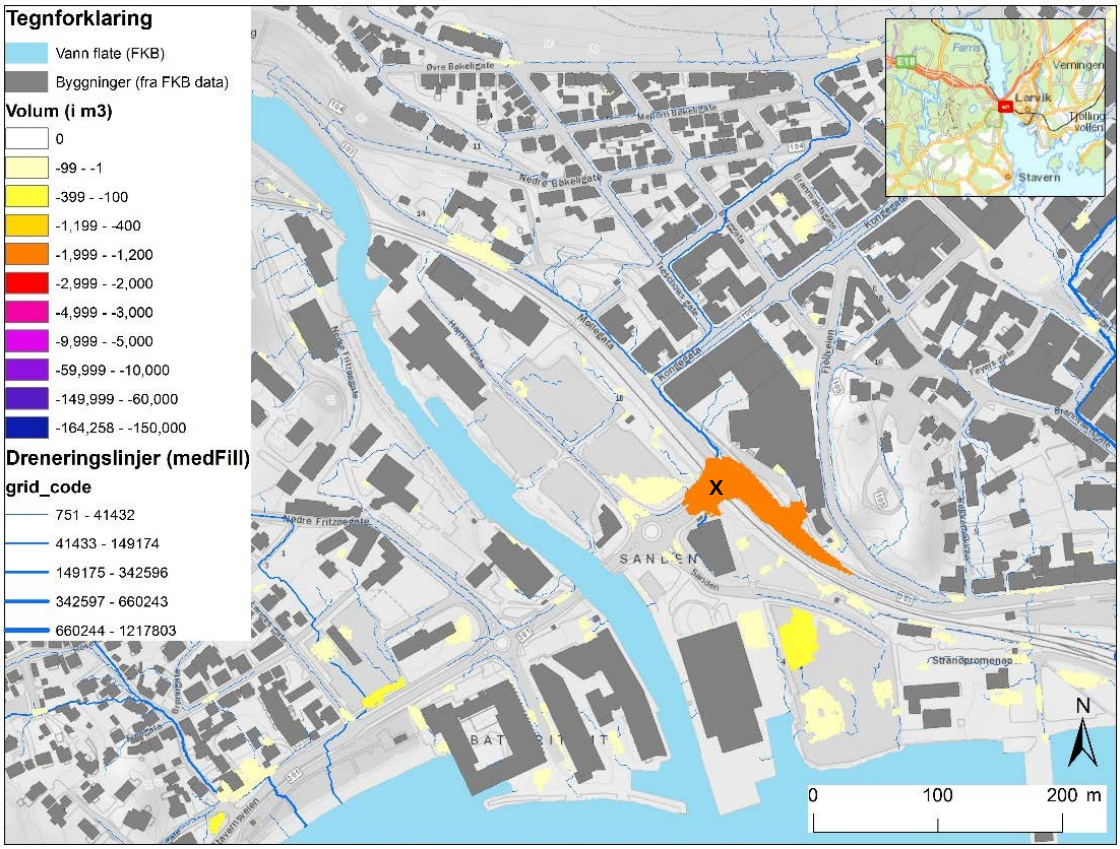
Figur 4-5: Detaljkart over naturlige forsenkninger for fokusområdet Stavernkrysset (Larvik sentrum). Stavernkrysset er markert med sort kryss. Fargeskala indikerer dybden av forsenkningene fra nær null meter (lysegul) til opp mot ti meter (lilla).



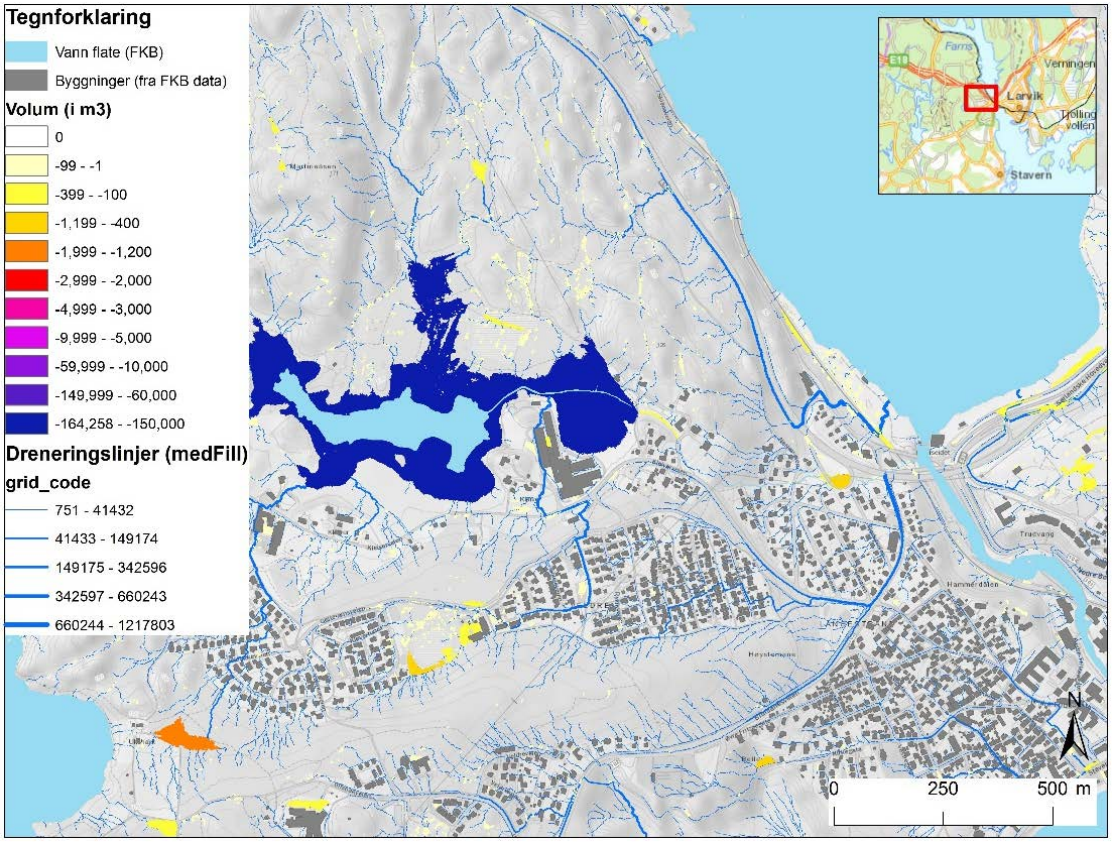
Figur 4-6: Detaljkart over naturlige forsenkninger for fokusområdet Veldre/Farriseidet–Hammerdalen og i sørlige del av planlagt nytt byområde ved Martineåsen. Fargeskala indikerer dybden av forsenkningene fra nær null meter (lysegul) til opp mot ti meter (lilla).



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 m^3 (lysegul) til opp mot 150 000 m^3 (lilla).



Figur 4-8: Detaljkart over forsenkningenes volum for fokusområdet Stavernkrysset (Larvik sentrum). Stavernkrysset er markert med sort kryss. Fargeskala indikerer volumet av forsenkningene fra 1-99 m^3 (lysegul) til opp mot 150 000 m^3 (lilla).



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

4.1.4.3 Tiltak

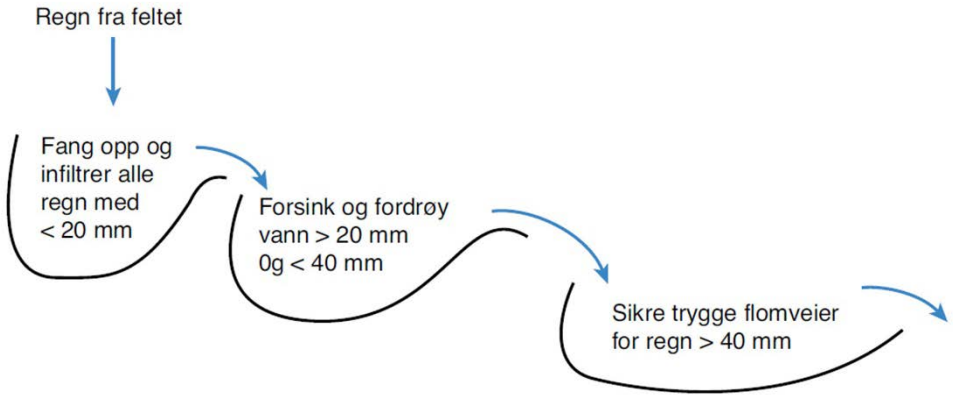
Forventede klimaendringer og økt fortetting vil kunne medføre en økning i avrenningstoppene forårsaket av regn eller snøsmelting. Dreneringsveier (eller flomveier) er de veiene vannet vil ta ved ekstreme avrenningshendelser der det normale avrenningssystemet (rør, bekkeløp m.m.) ikke har tilstrekkelig 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 ledningsnettet, 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 infrastruktureiere 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 leir-avsetningene 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.

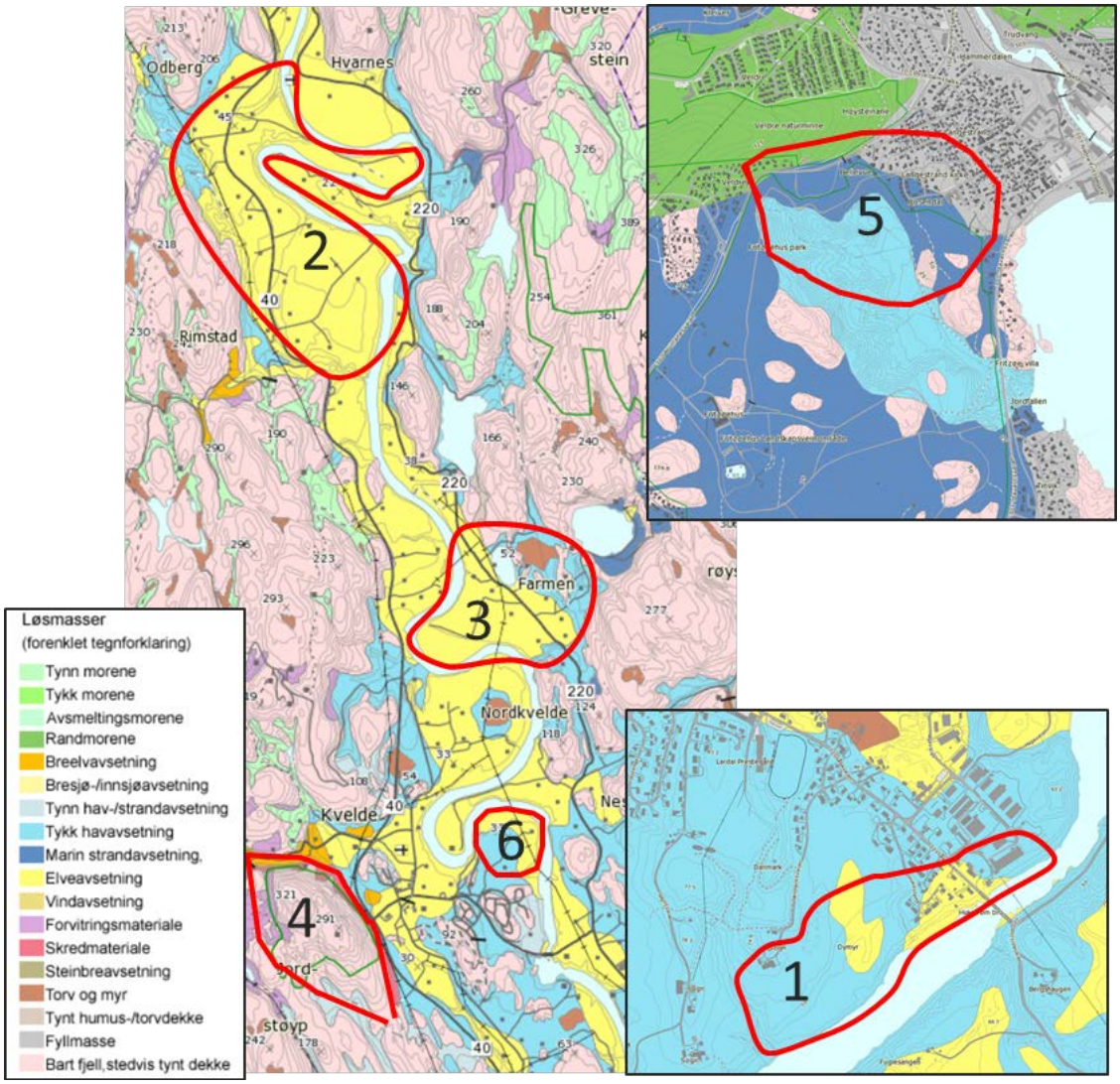
Deler av landskapet i Larvik og Lardal kommuner er preget av bratte og delvis oppsprukne fjellsider erodert etter flere istider. Det registreres årlig mindre steinsprang og steinskred i disse fjellsidene samt langs veibaner i området. I 2013 var det en større steinskredhendelse ved Jordstøyp i Kvelde.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

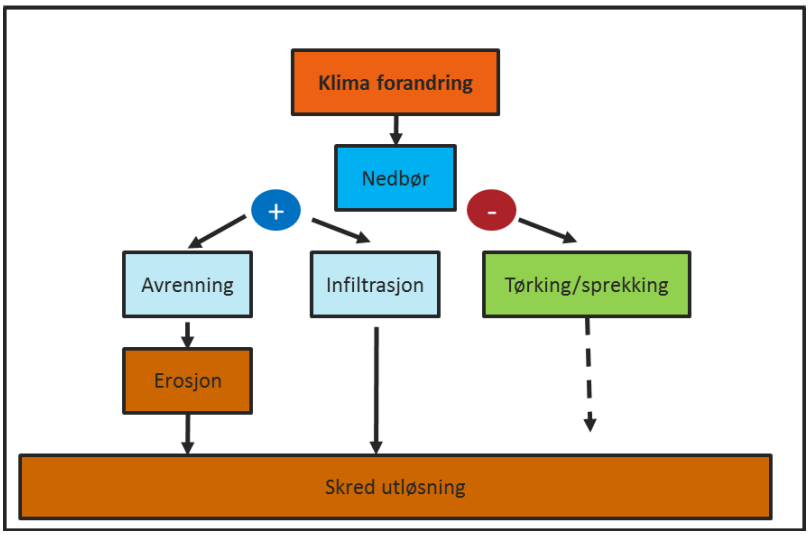
4.2.2 Skredtyper

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 kvikkleire-soner:

- Jevnt hellende terreng brattere enn 1:15
- Terrenghøydeforskjell 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 sikringstiltaket 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 kvikkleireskredproblematikk.

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

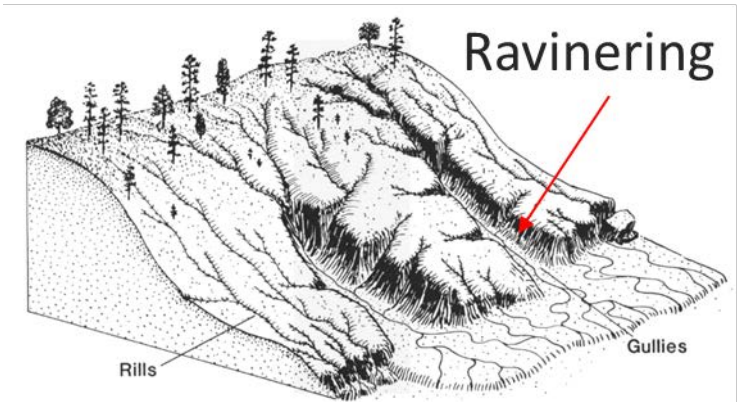
Jordskred defineres som en utglidning av løsmasser (i hovedsak jord, stein, grus og sand) i bratte skråninger. Slike skred kan for eksempel utløses som følge av langvarig regn

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.

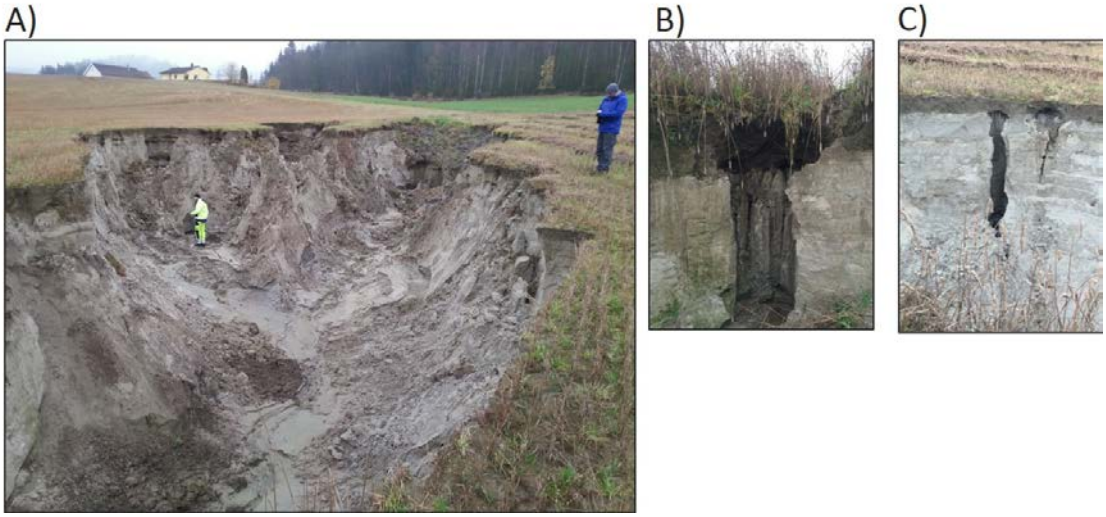
I Larvik og Lardal kommune ligger mesteparten av de bratte løsmasseskråningene potensielt utsatt for jordskred langs Numedalslågen eller i tilknytning til sideelvene. Her er elveavsetningene (sand) som regel ensgradert og utsatt for grunnvannserosjon.

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, ravinering 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 ravinering.



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



Figur 4-13: A) Jordskredeksempel 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 m^3) 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, frostsprengning 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

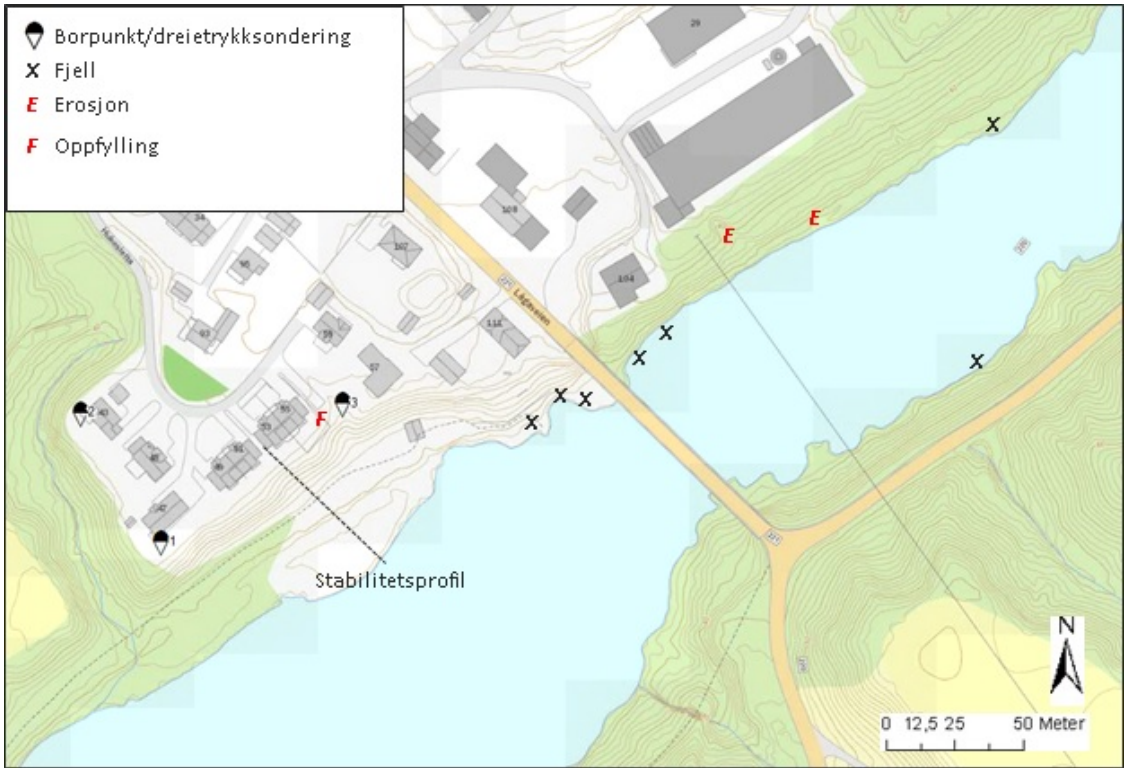
4.2.3.1 Hukstrøm bru, Svarstad

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 grunn-undersøkelser og observasjoner gjort under befaring.

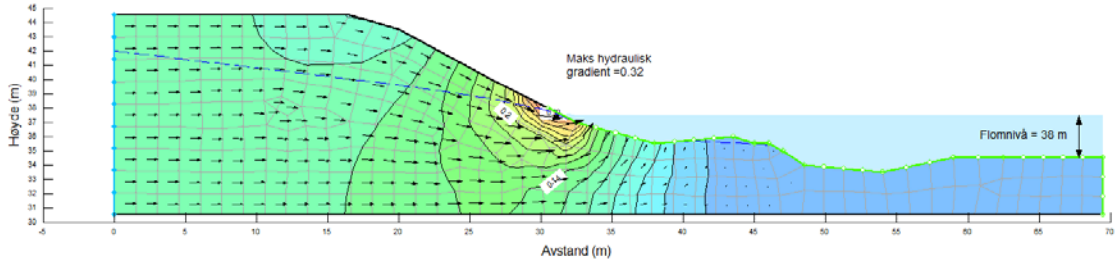
Figur 4-15: Venstre: Terrasse skråning ved Hukesletta boligfelt. Det ble observert noe sig på toppen av skråningen. Høyre: Erosjon som følge av lekkasje fra vannledning/avløpsnett.

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

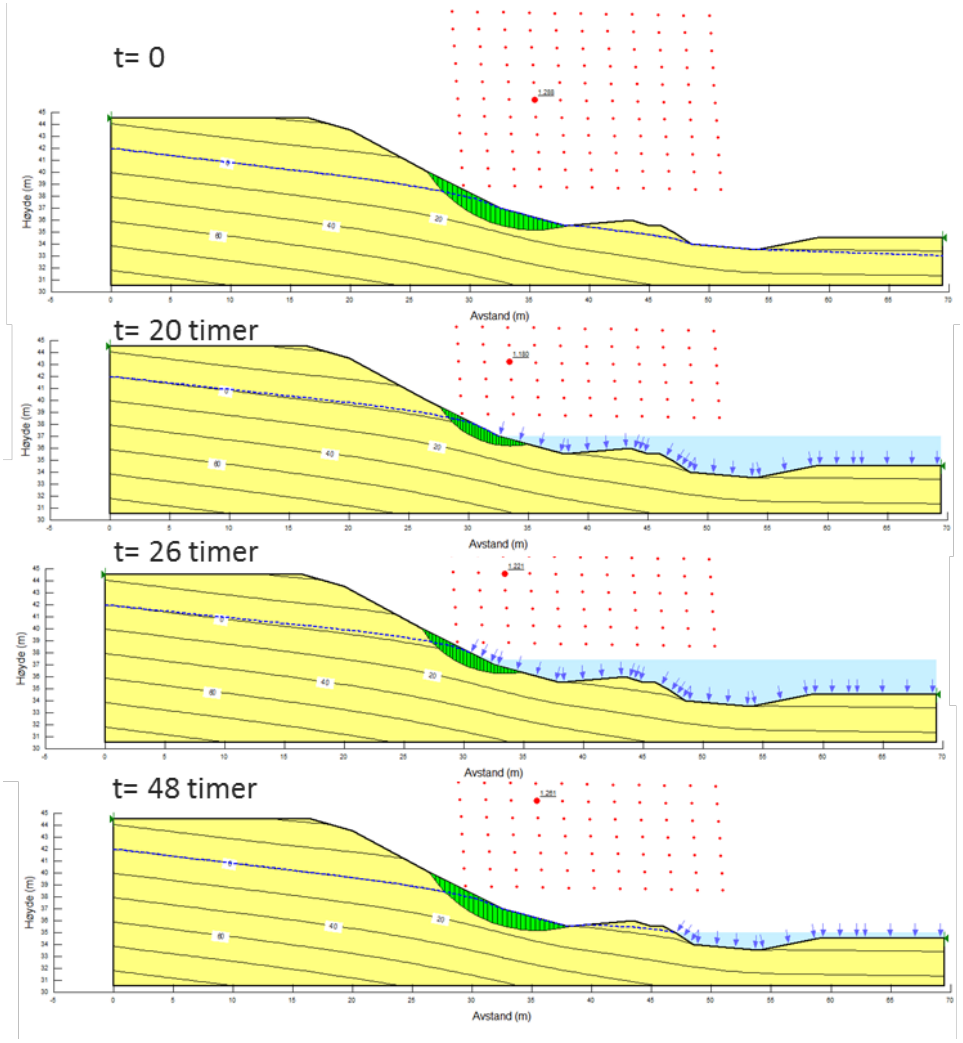
Effekt av flom og nedbør på terrasseskråningen på Hukesletta er vurdert med strømning- og stabilitetsanalyser utført ved bruk av SEEP/W og SLOPE/W fra GeoStudio (www.geoslope.com). Input parameterne brukt i analysene er presentert i Vedlegg D.

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, trykkhøyde/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 vannstans-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) 2timer 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.



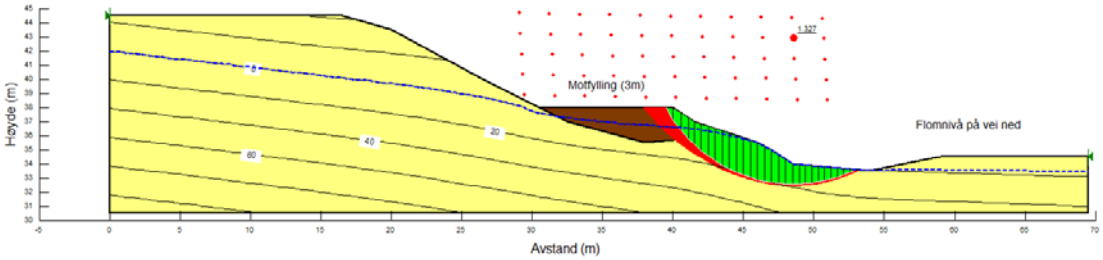
Figur 4-17: Effekt av flom og vannstandsendring på stabilitet av skråning ved Hukesletta over tid. Ved t=0 er sikkerhetsfaktoren F lik 1,28. F er lavest etter at flommen begynner å avta (t= 20 timer) med en verdi på 1,17. De grønne områdene viser de mest kritiske glideflater ved hvert tidspunkt.

Mulige tiltak og tilpasning av området for klimaendringer og flom

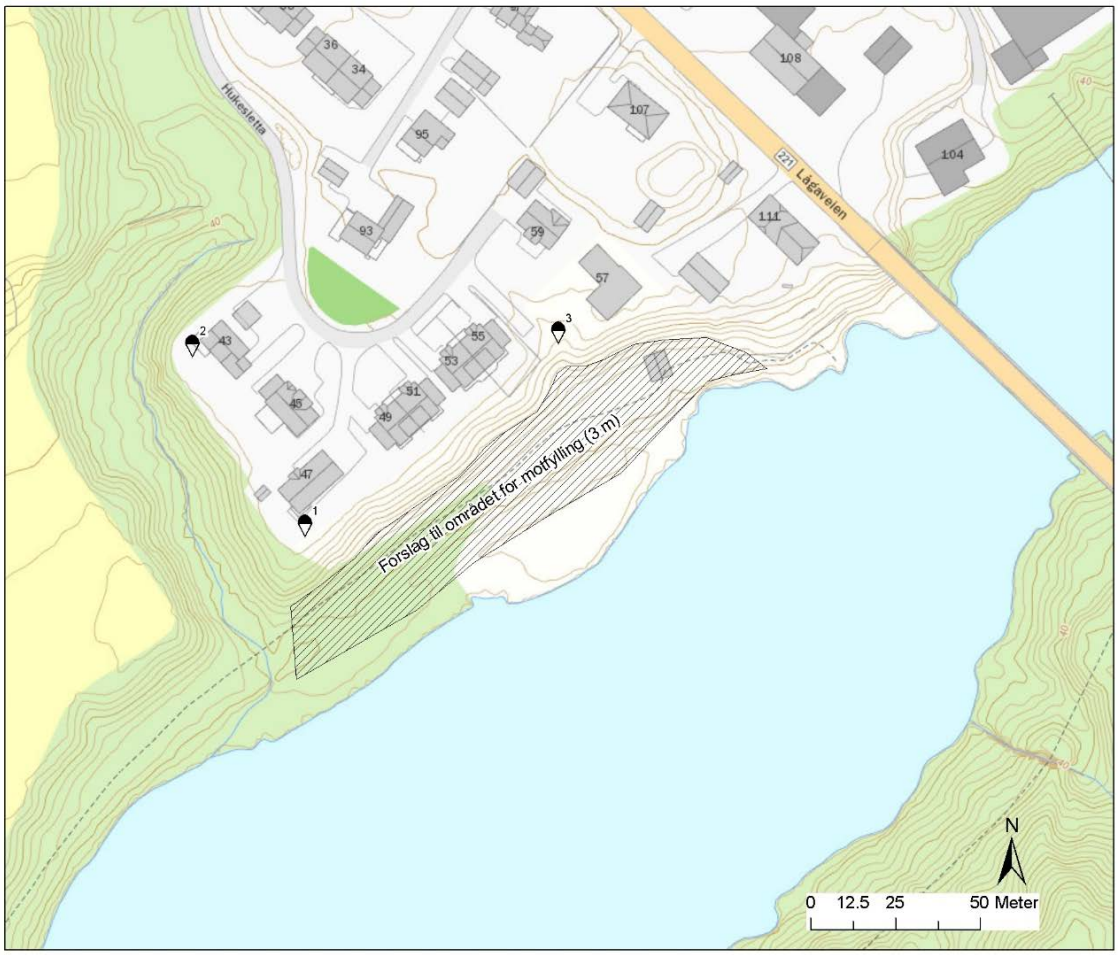
Tolkning av tidligere utførte grunnundersøkelser ved Hukstrøm bru viser at området for det meste består av sandige masser. Det er lite sannsynlig at det finnes kvikkleire i skråningen ved Hukesletta. Erosjonen observert i skråningene nedenfor trevirke-industrien skyldes hovedsakelig vann- og/eller avløpsledninger. 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.

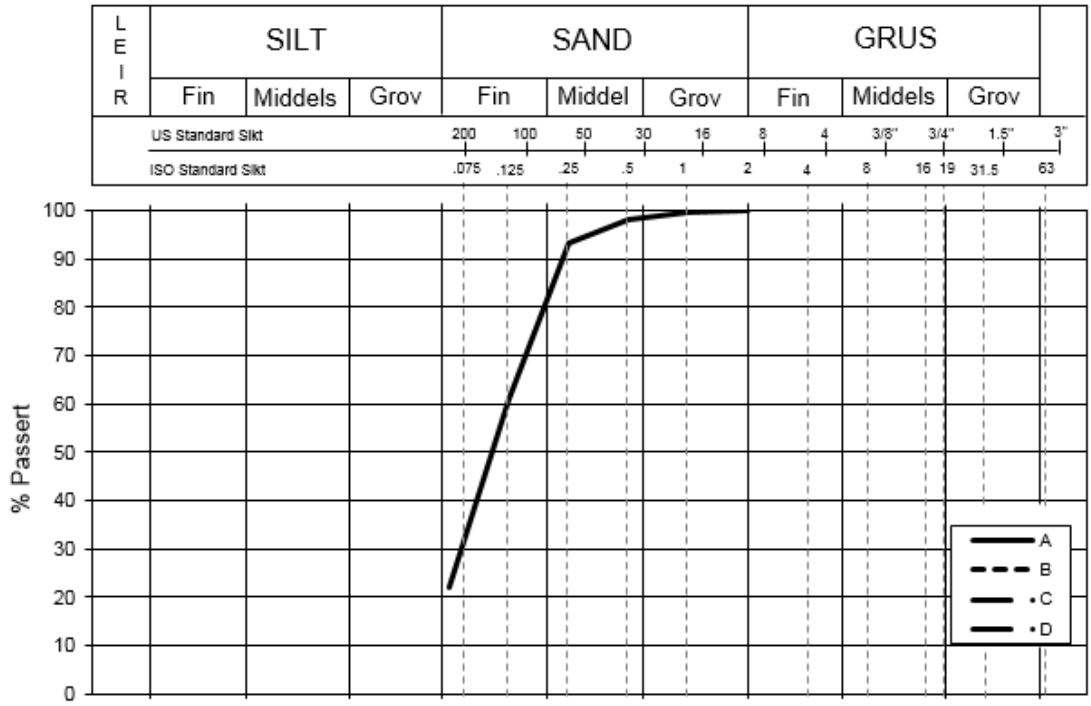


Figur 4-19: Forslag til mulig geometriske tiltak (motfylling) for å oppnå en stabilitet tilsvarende kravene i TEK10 og Eurokode 7 for skråningen ved Hukesletta for en 200-års flom situasjon.

4.2.3.2 Odbergneset og Husvann

Beskrivelse av området og grunnforhold

Områdene ved Odbergneset 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 befaring høsten 2015 ble det tatt prøver ved Husvann/Farmen. Kornfordelings-analyser 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.

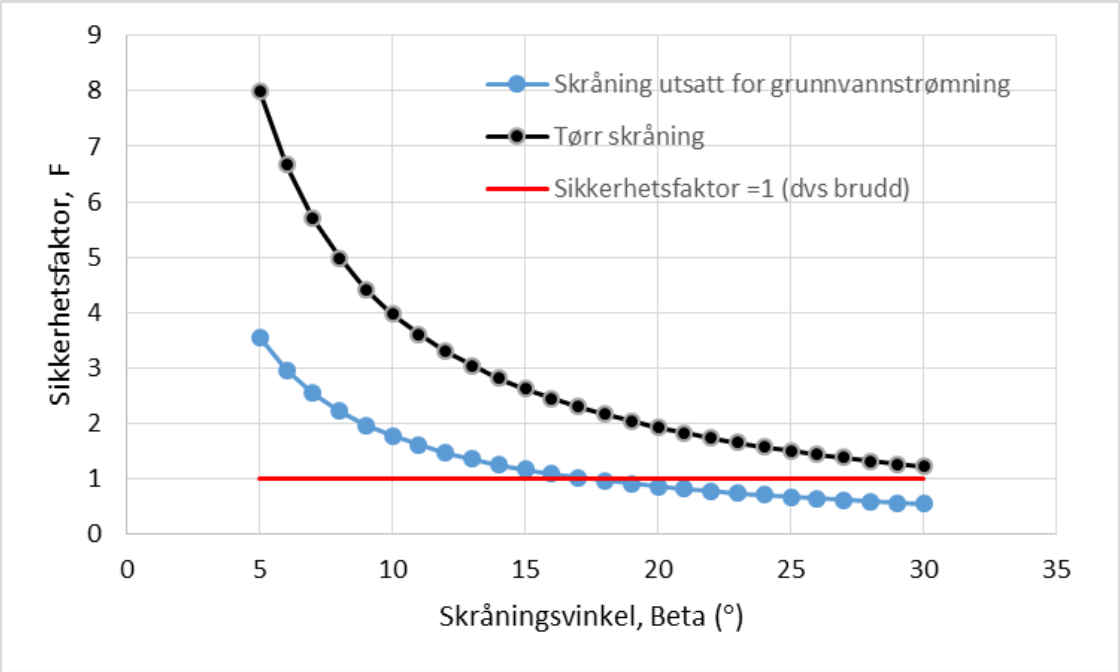


Figur 4-20: Resultat fra kornfordelingsanalyse for en sandprøve tatt opp langs Numedalslågen ved Farmen under befaring høsten 2015.

Resultater fra analyser

Ved naturlige skråninger i sand er overflateparallelle 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.

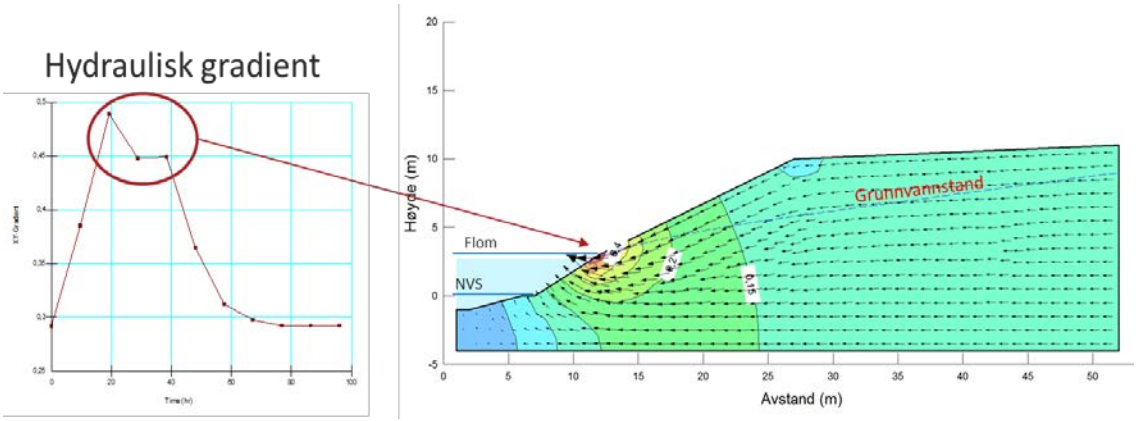
I denne studien har vi satt opp flere modeller for å illustrere hvilke scenarier som gir kritiske hydrauliske gradienter (dvs. grunnvannserosjon og grunnbrudd) og derved stabilitetsproblemer i skråninger langs Numedalslågen. Målet med modelleringen er å viser sammenheng mellom stabilitet og i) rask endring 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, trykkhøyde/avstand) skal ligge under 0,35.



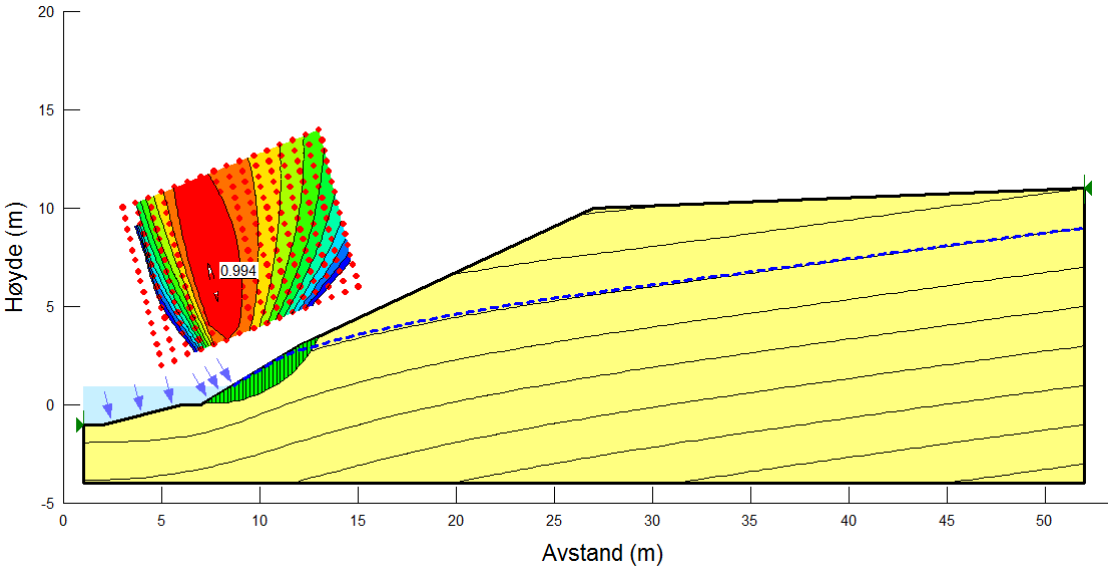
Figur 4-21: Resultat fra stabilitetsanalyser på en ubeskyttet skråning i ren sand. Den svarte linjen gir sikkerhetsfaktor for en tørr skråning, mens den blå linjen gjelder for overflateparallell grunnvannstrømning.

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 pågeometrien 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.

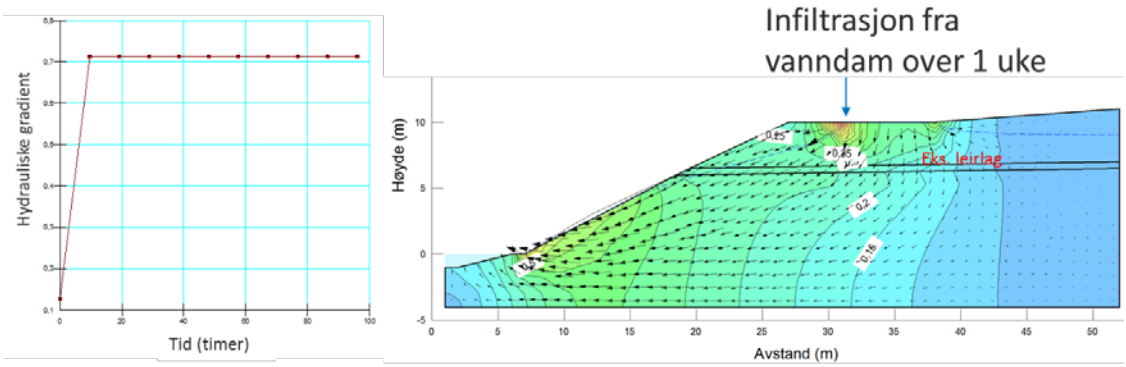


Figur 4-23: Resultater fra stabilitetsanalyse noen få timer etter at vannstanden er tilbake til normal tilstand. En sikkerhetsfaktor på 0,994 viser lav stabilitet for denne situasjon. Den grønne sirkelbuen viser den mest kritiske glideflate for skred.

Effekt av økt infiltrasjon i skråninger

Økt nedbørintensitet, perioder med mye snøsmelting, forsenkninger i terrenget, flate-hogst og mangel på dreneringsløsninger i jordbruksområder kan resultere i at vann-infiltrasjon 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.

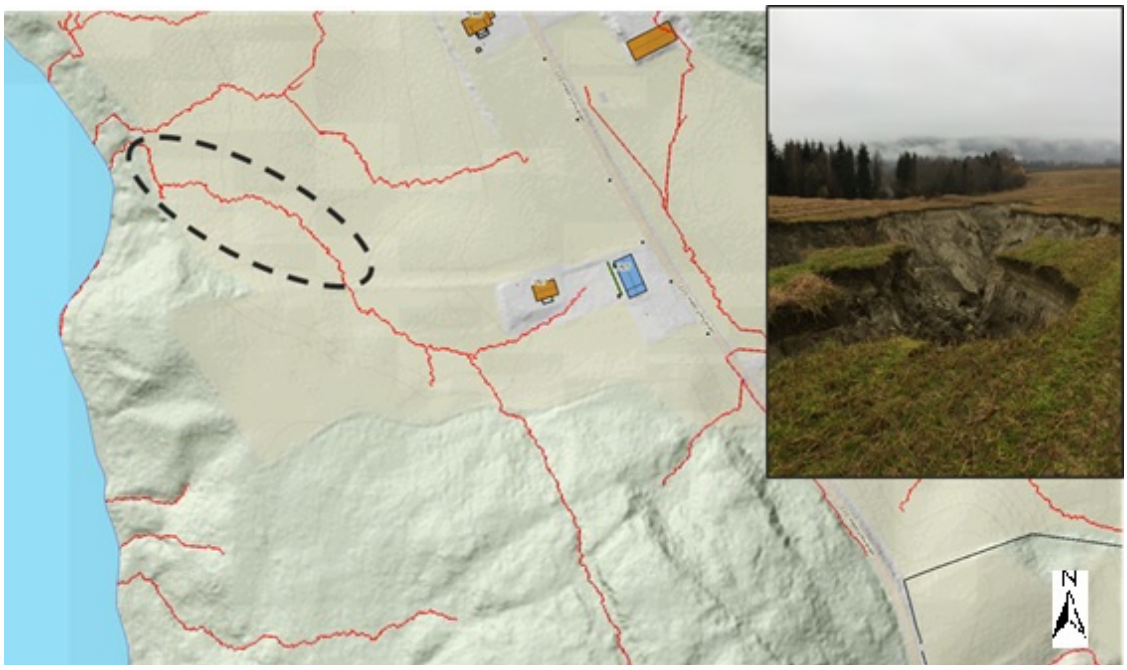
Resultatene fra de enkle numeriske beregningene beskrevet ovenfor viser at kritiske strømningsgradienter og stabilitetsproblemer kan oppstå i skråninger ned mot Numedalslågen kort tid etter en flomhendelse og/eller som følge av økt infiltrasjon ved toppen av skråningene.

Aktsomhetsområder utsatt for ravinering og jordskred

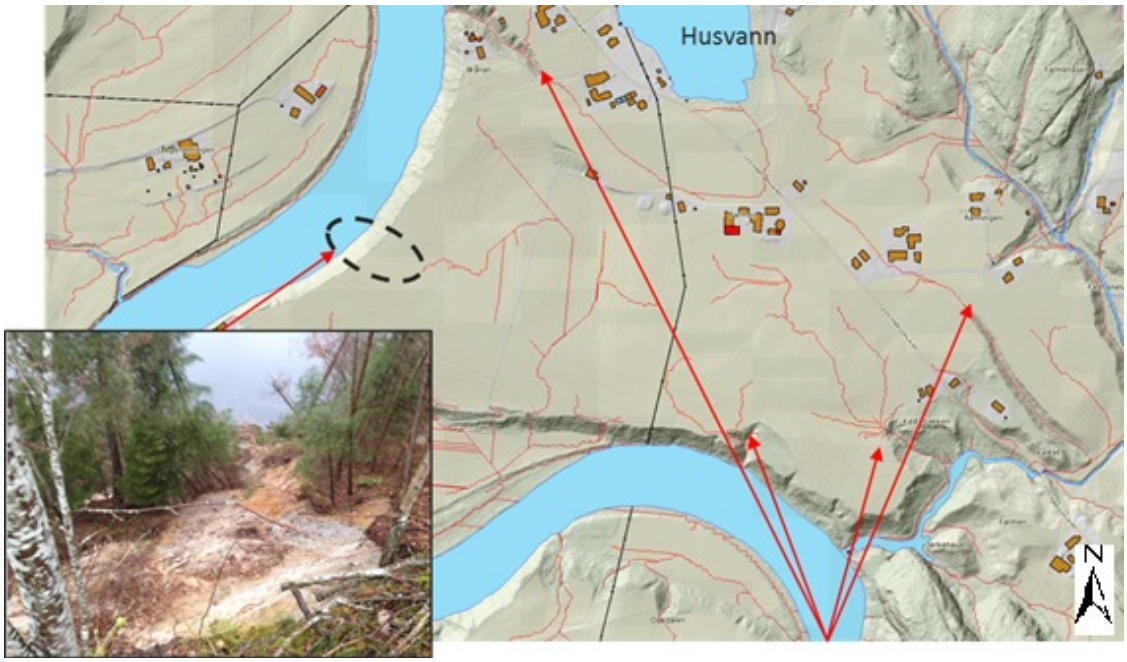
Regionale grunnvannsanalyser er benyttet for å identifisere områder med kritiske hydrauliske gradienter, grunnvannserosjon og dermed mulig ravinering og skred ved Odbergneset og Husvann. Analysene er utført ved hjelp av ArcGIS og terrengmodellen fra Husvann/Odbergneset. En detaljert beskrivelse av analysemetoden 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 ravinering og jordskred som følge av klima-endringer 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 ravinering i de sandige skråningene langs Numedalslågen antas å være at grunnvannserosjon over tid vasker ut masser der grunn-vannet 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 ravinering 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 pukkstreng 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.

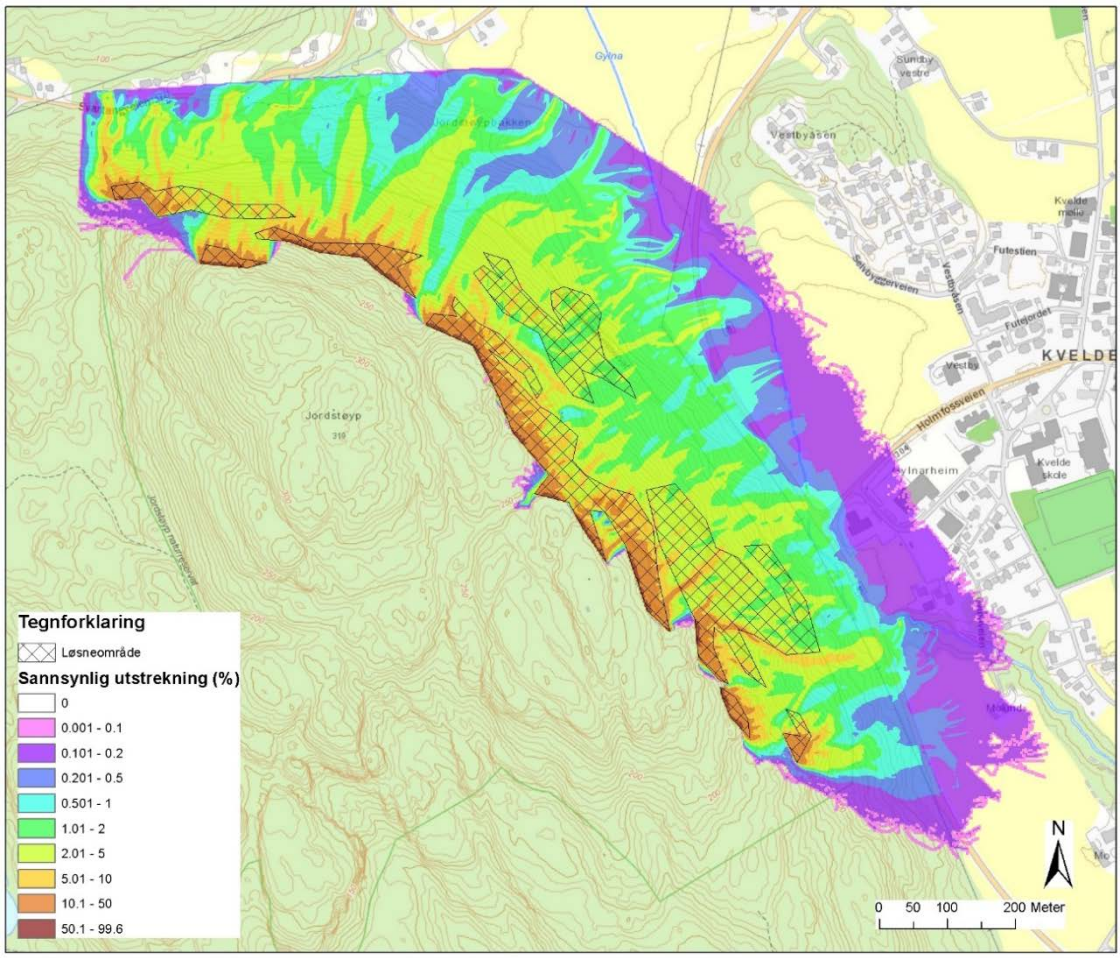
4.2.3.3 Jordstøyp

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 oppsprukkede 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 faresonering, 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 Jordstøyp 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 Jorstøyp 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 nedsprengning 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 sprekkevannstrykk.

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, gabion-kasser, 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 bremser 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).

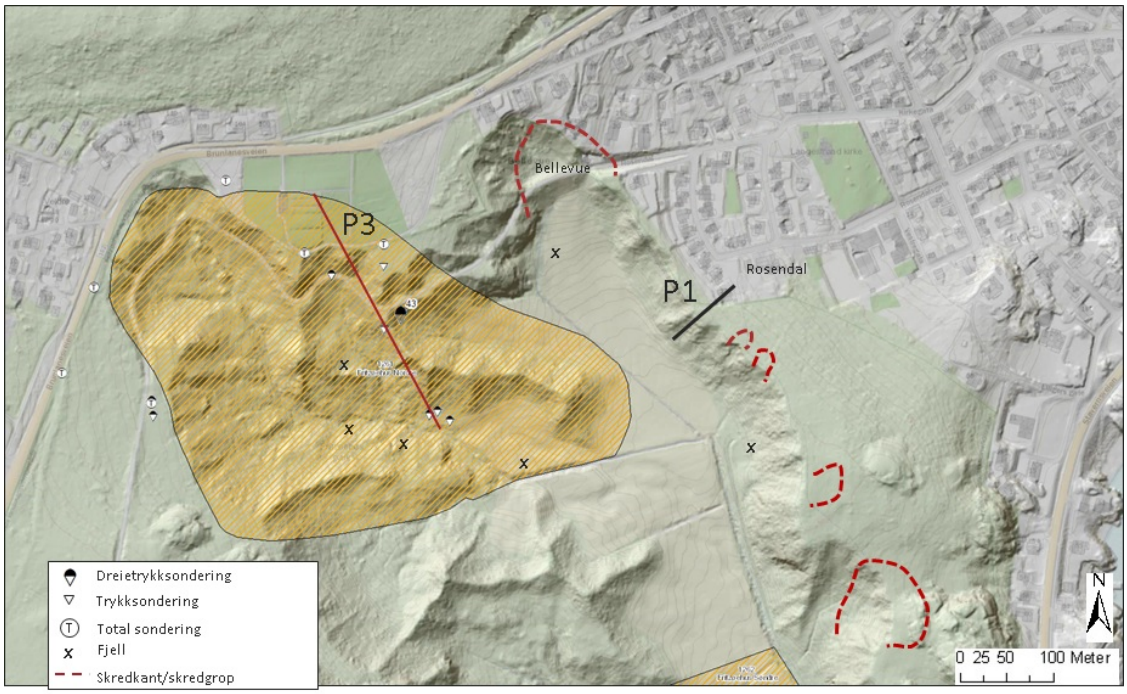
4.2.3.4 Fritzøeparken/Rosendal området

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 registret 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.

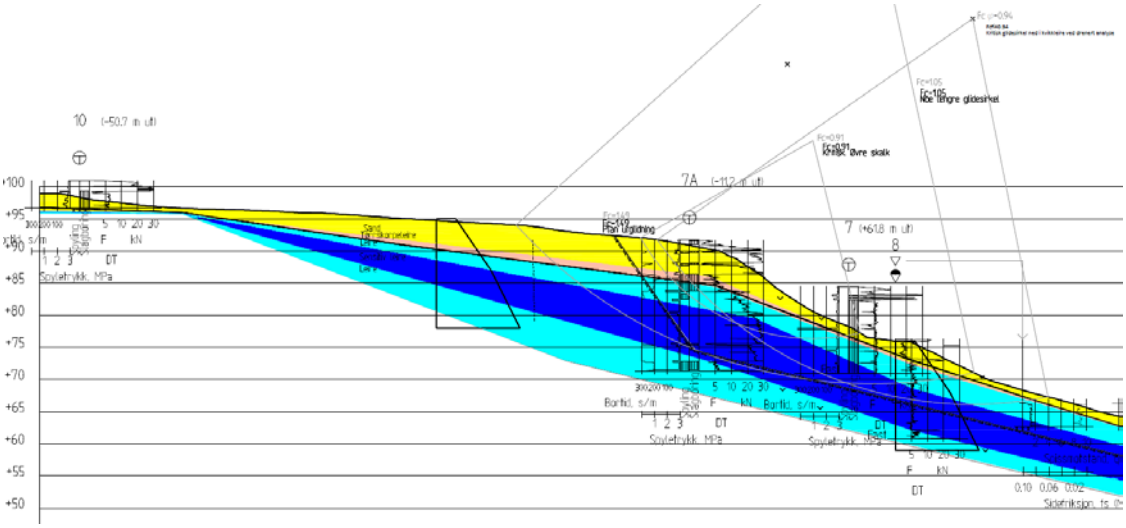
Et oversiktskart med tidligere utførte grunnundersøkelser i området er presentert i Figur 4-33 og Vedlegg D (Tegning D4). Som det kommer frem av kartet er det svært lite tilgjengelig informasjon om grunnforhold ved Rosendal. NGI har ikke funnet resultater fra tidligere undersøkelser i dette området. 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.

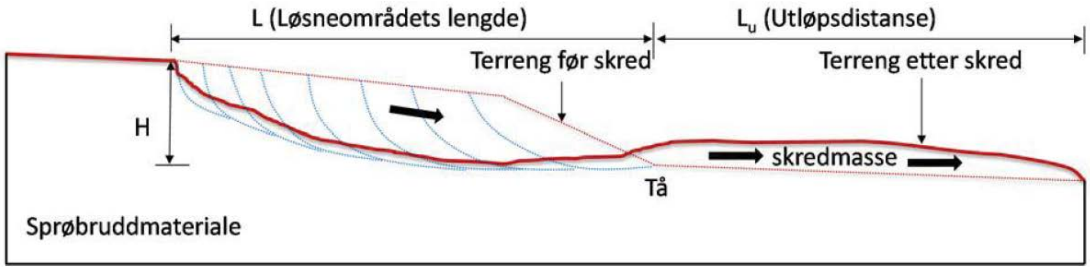
Profil 3

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 effektiv-spenningsanalyser 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.

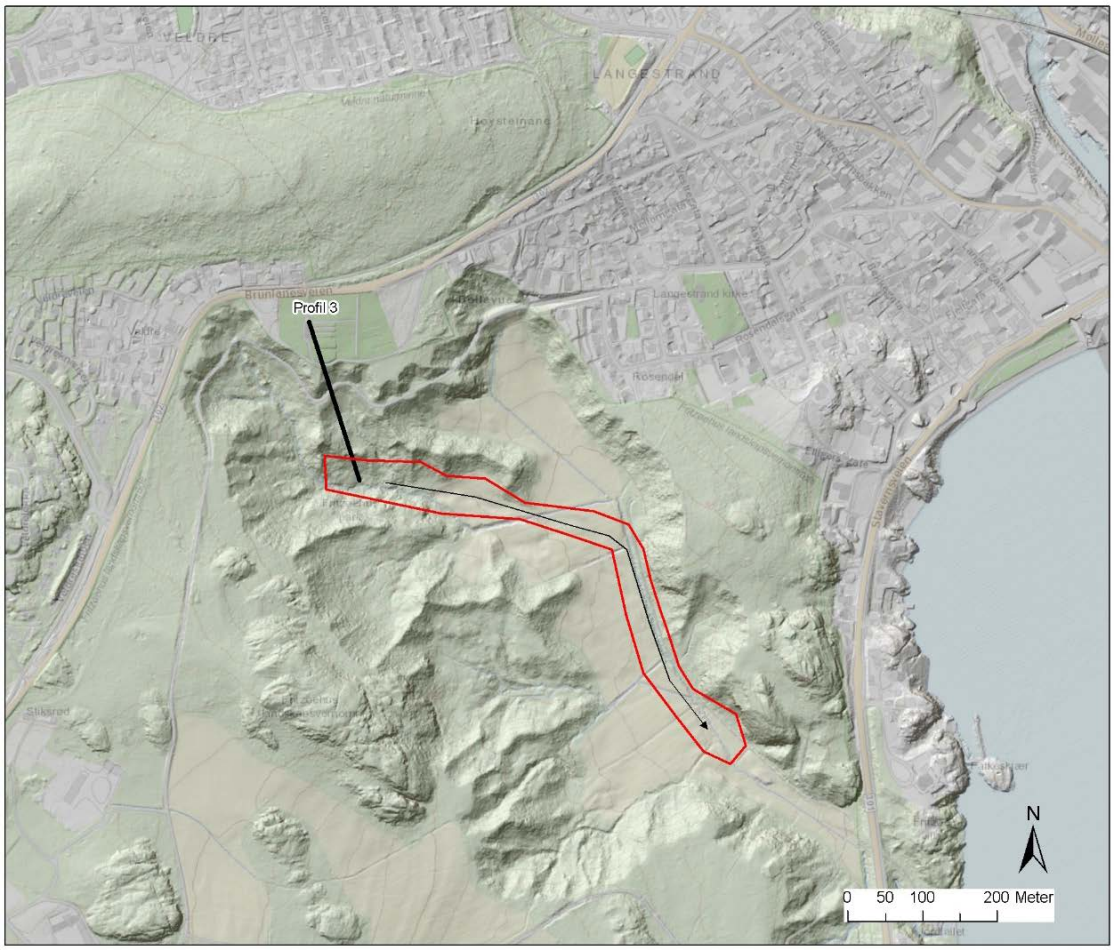


Figur 4-34 Resultater fra stabilitetsberegninger i profil 3 (fra NGI, 2013).

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 løsneområdet (NIFS 2016; Figur 4-35).



Figur 4-35: Prinsippskisse for løsneområde 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.

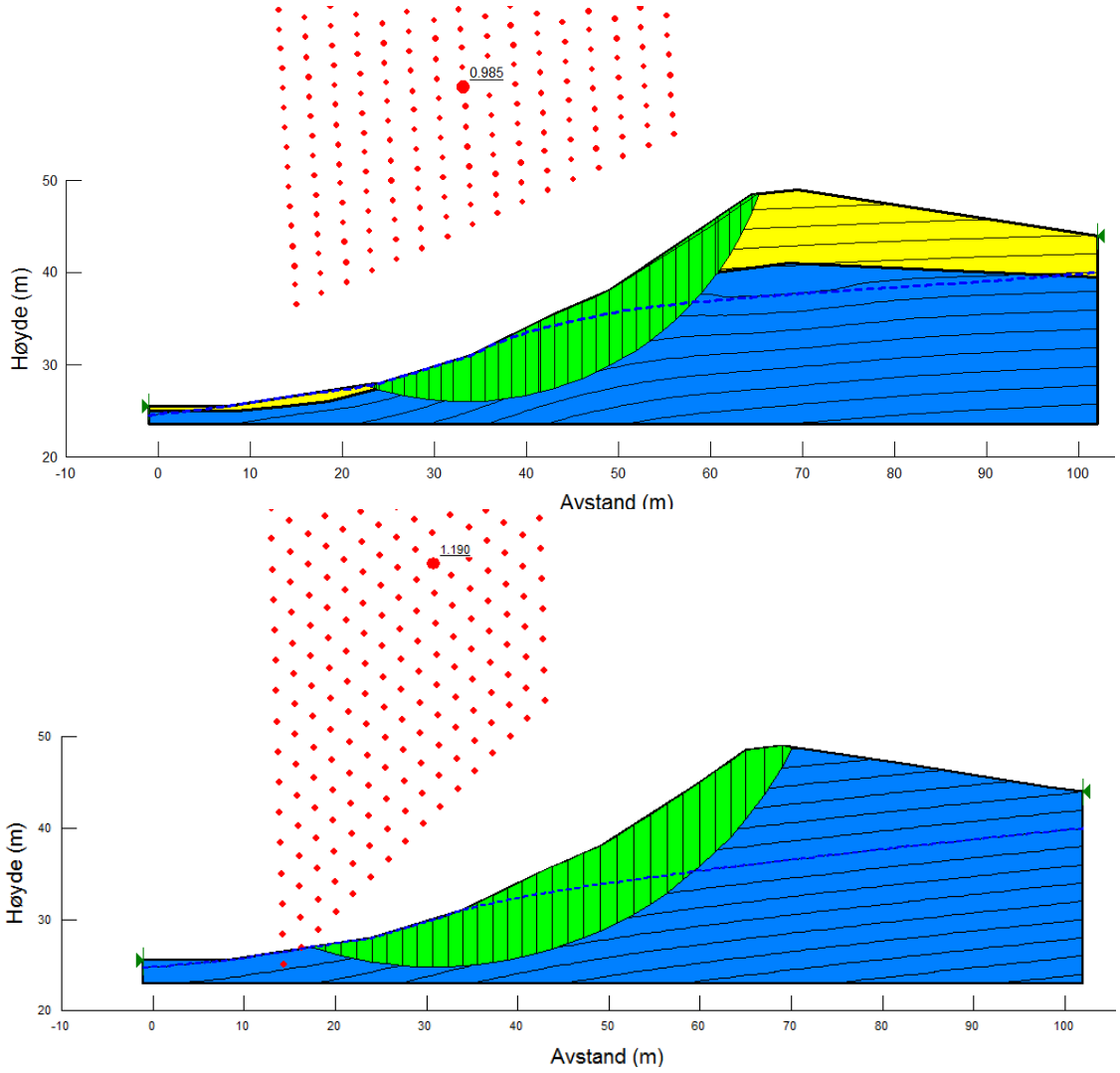
Profil 1

Som nevnt ovenfor er det ingen informasjon om de aktuelle grunnforhold ved Rosendal-området. Kvartærgeologisk 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 nedbørsmengdene for et 200 års gjentaksintervall 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.

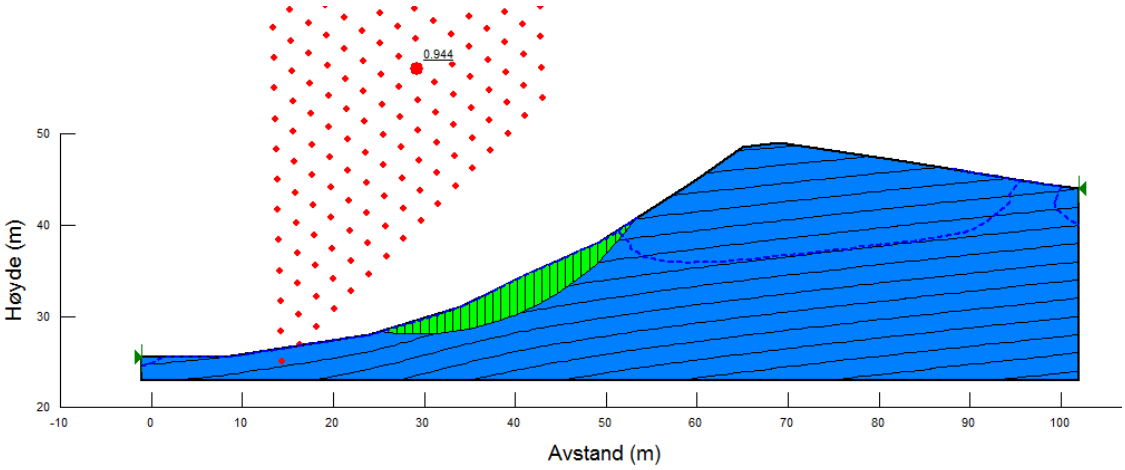
Resultatene fra stabilitetsanalyser viser at klimaendringer i form av ekstremnedbørsituasjon kan utløse skred i profil 1. For en lagdelt skråning (dvs. sand og leire) vil en 200 års ekstremnedbørintensitet med 1 dags varighet være det mest kritiske scenariet (Tabell 4-7). For en skråning bestående kun av leire vil derimot en 200 års nedbørintensitet 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 kvikkleireskred.



Figur 4-37 Resultat fra stabilitetsanalyser i profil 1. Analysene antar dagens sannsynlige poretrykksituasjon. 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 ≤ 1,0 betyr at skred kan inntreffe)

Ekstrem nedbørsituasjon (200 års gjentaskintervall)	**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.

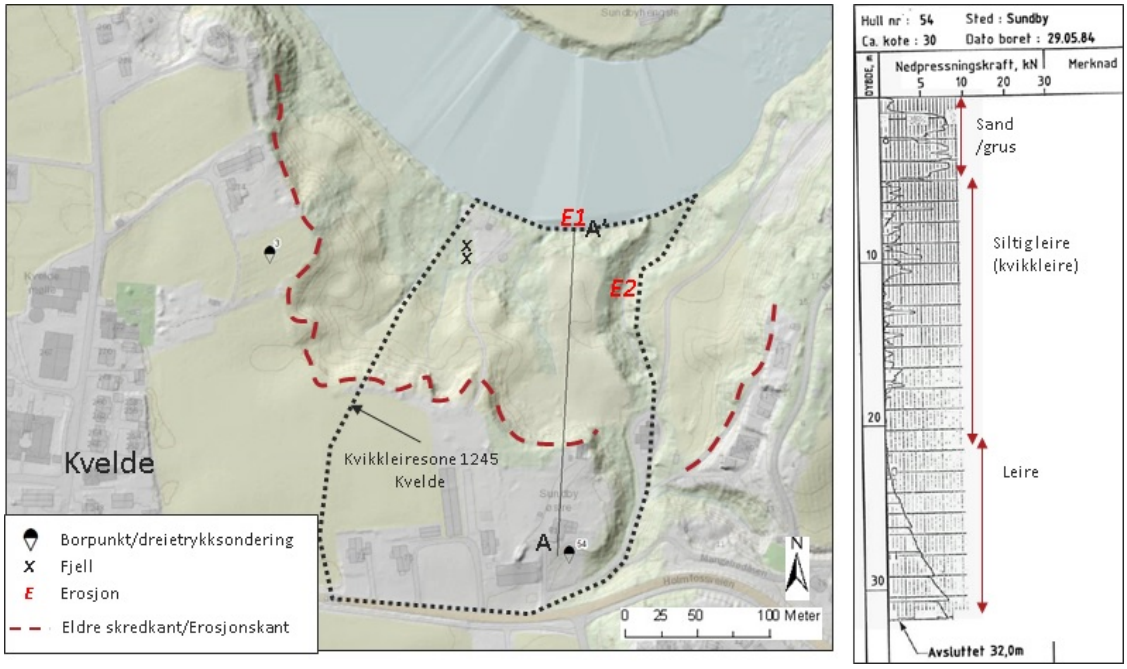
Analysene ved Rosendal er konservative og basert på svært lite geoteknisk datagrunnlag. For å kunne vurdere behovet for tiltak bedre er det først og fremst anbefalt å utføre grunnundersøkelser i området. Resultatene kan benyttes for å vurdere om det finnes kvikkleire eller ikke, og om det er en reell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

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. Høyde-forskjellen 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 erosjons-prosessene 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

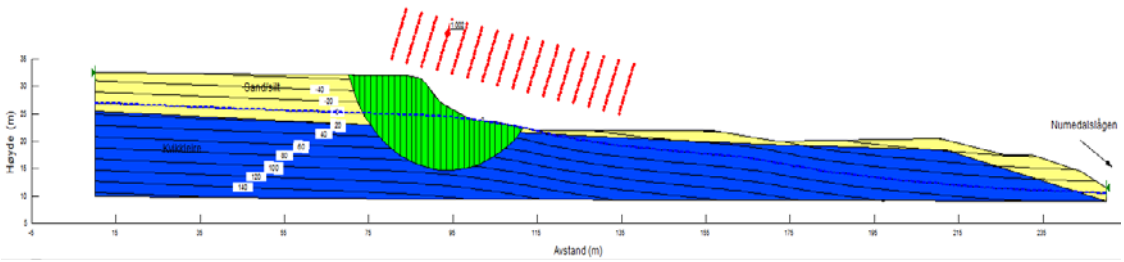
NGI har utført en relativt grov stabilitetsanalyse i profil A-A' (Figur 4-39) på Kvelde for å kunne vurdere mulig effekt av klimaendringer i området. Det understrekes at analysen er konservativ og basert på svært lite geoteknisk datagrunnlag. Resultatene er ment som en basis for diskusjon og ikke for 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

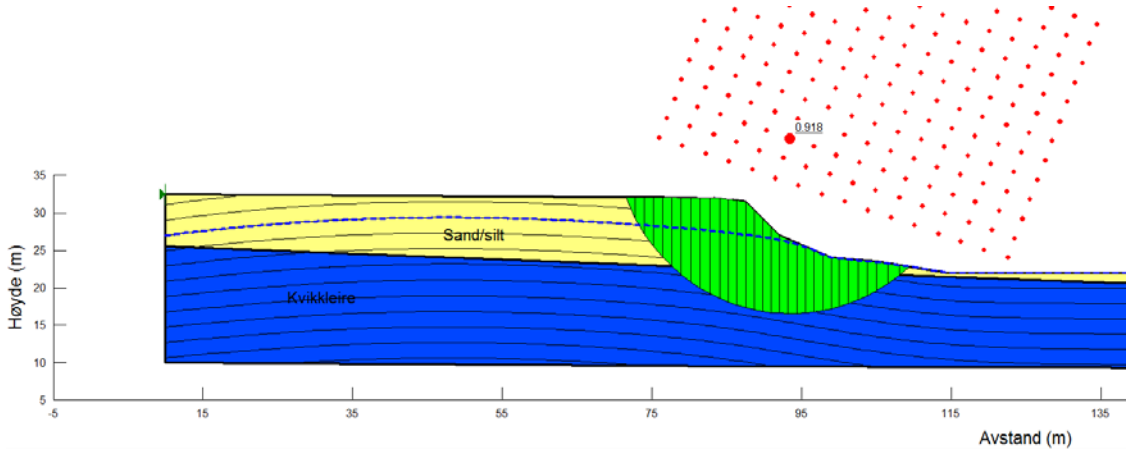
2015. Likevel er ikke stabiliteten god nok i forhold til kravene i TEK10 og NVEs veileder *Sikkerhet mot kvikkleireskred* (NVE-veileder 7/2014) med tanke på en fremtidig utbygging av området.

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 gjentaksintervall 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.

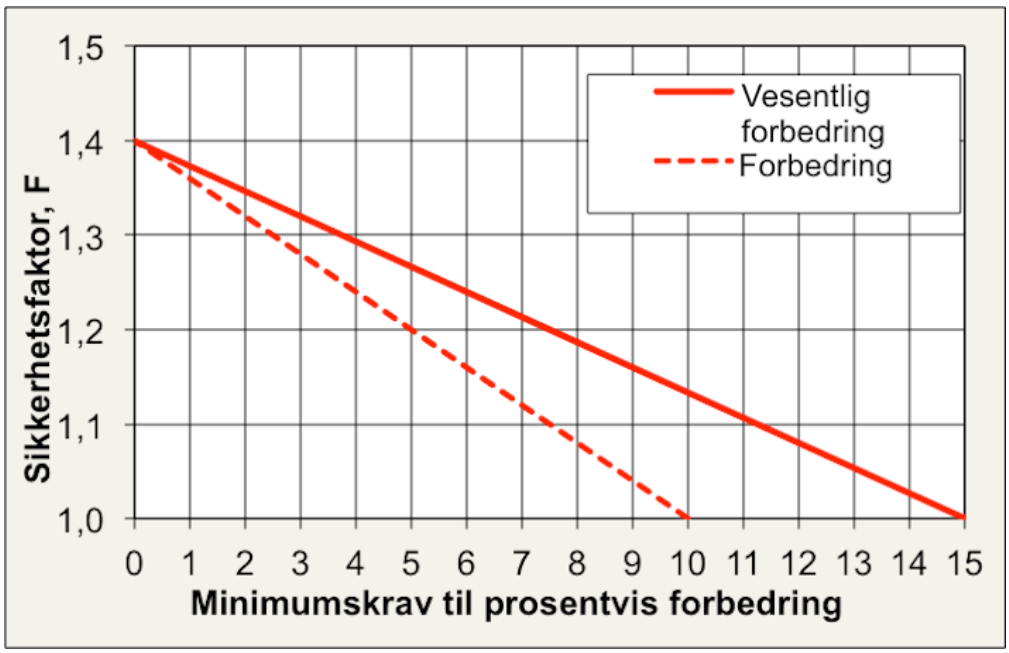
La oss anta at Larvik kommune har behov for byggverk i tiltakskategori K4 i kvikkleiresone 1245-Kvelde. Eksempler på byggverk som inngår i denne kategorien er:

- 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).

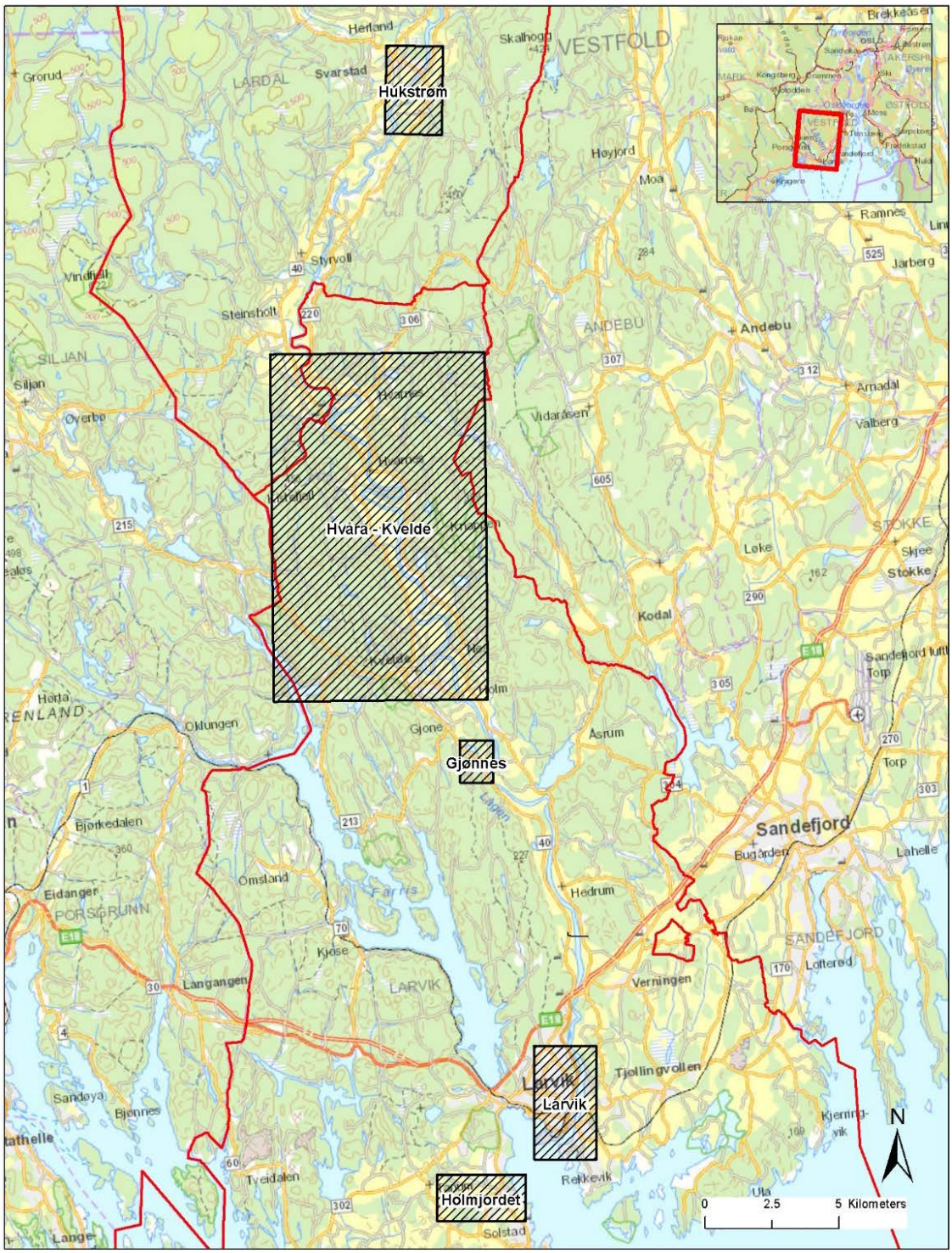
4.3 Flomvurderinger i utvalgte områder

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. Gjønnes, 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 km^2) 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 Gjønnes og FV40.

4.3.2.2 Flommerker

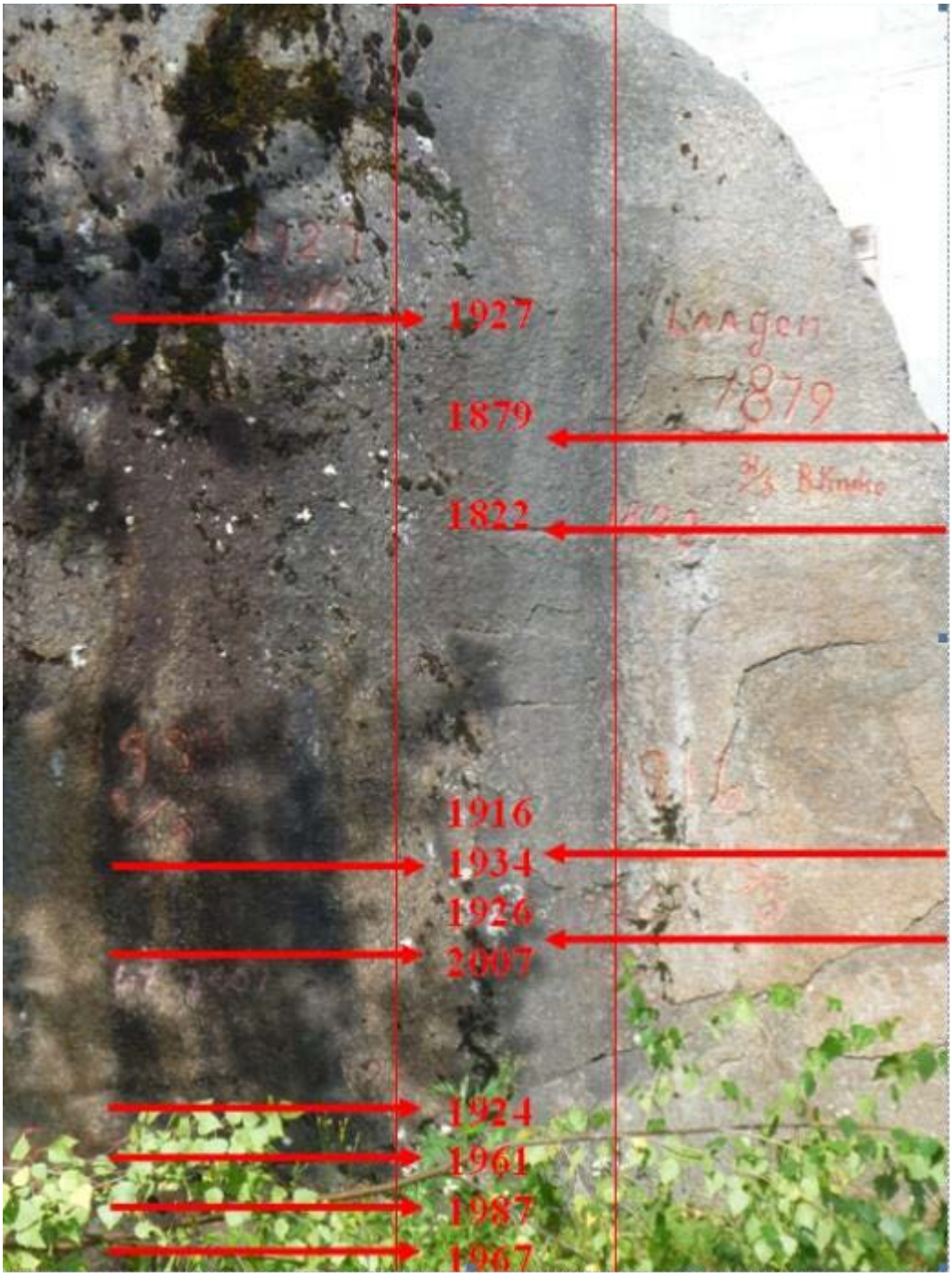
I prosjektområdet er det markert flere flommerker på to steder. Dette er på fjell rett nord for østre brukar på Hvåra bru, og ca. 80 m sør for Hukstrøm bru. Disse flommerkene, samt høydereferansen til stasjon Holmfoss er målt opp i dette prosjektet (Larvik kommune, 2016). Samtidig er et nullpunkt på 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).

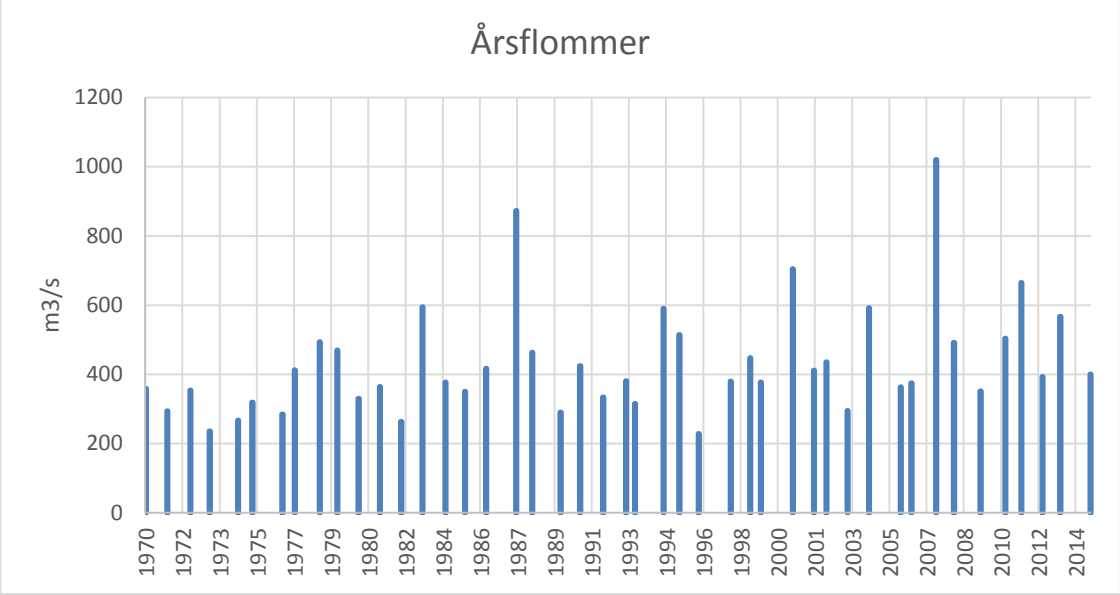
4.3.3 Vassdrag og flomberegning i nedre del av Numedalslågen

Numedalslågen er et langstrakt vassdrag, 350 km langt med et totalareal på 5554 km^2 (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 flerårs-statistikk (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 m^3/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	m3/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 Pålsbufjorden 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 Pålsbufjorden fra 15.9. Tunhovd gikk til overløp 21.9, Pålsbu 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 m^3/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).

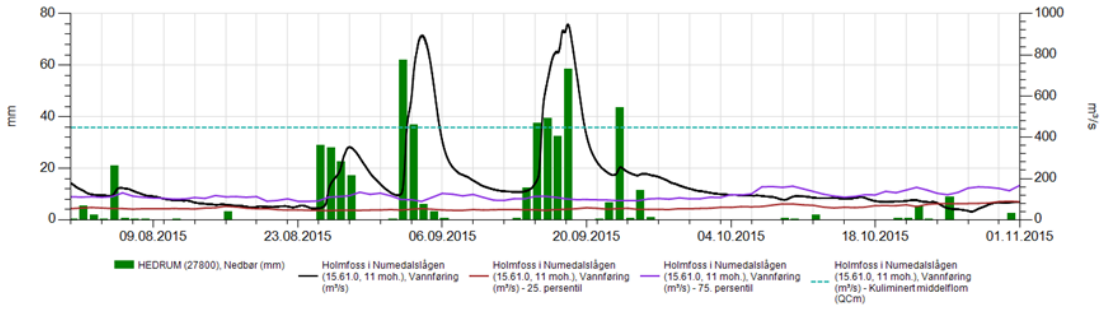
Ser en på flomforløpet for de to toppene 2015 (Figur 4-47) ser en at flom ved Kongsberg kulminerer ca. 12 timer før Holmfoss for den førets toppen. På flomtopp nr. 2 fortsetter flommen å stige to døgn på Holmfoss etter at den synker på Kongsberg. I denne perioden kom det store nedbørmengder (Petra) sør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

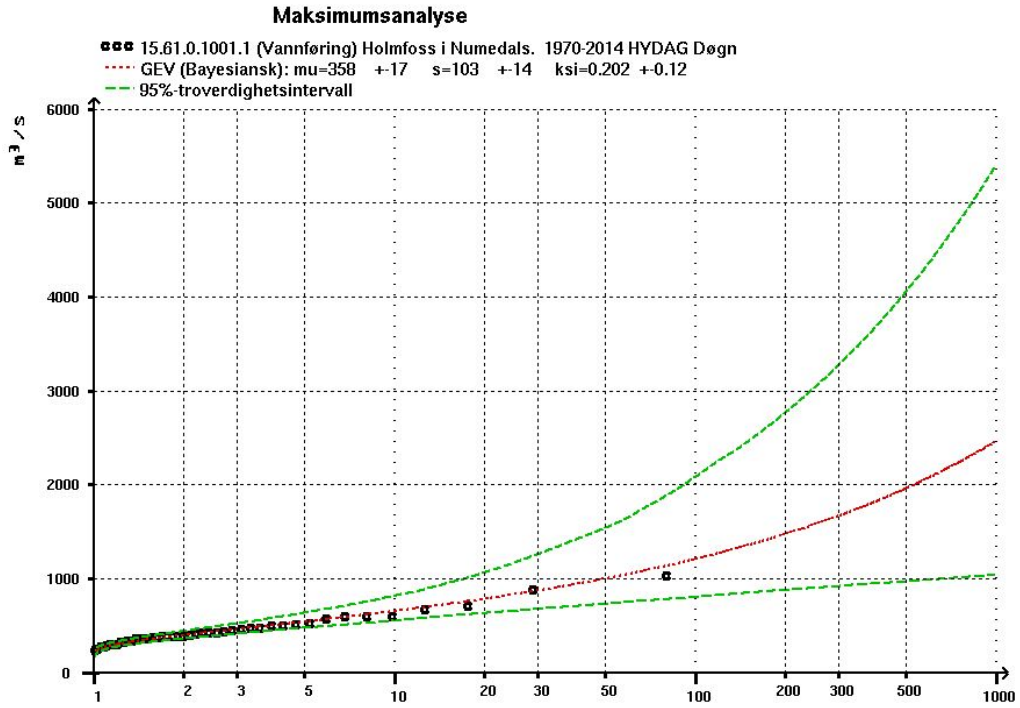
Kort sagt, en stor flom må ha høy markfuktighet/grunnvannstand slik at nedbøren raskt og direkte går til avrenning. Numedalslågen er et stort vassdrag og vil trenge regional utbredelse og fordeling av store nedbørmengder for å gi flom i nedre del. Enda mer direkte dempende virker reguleringer som forskyver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

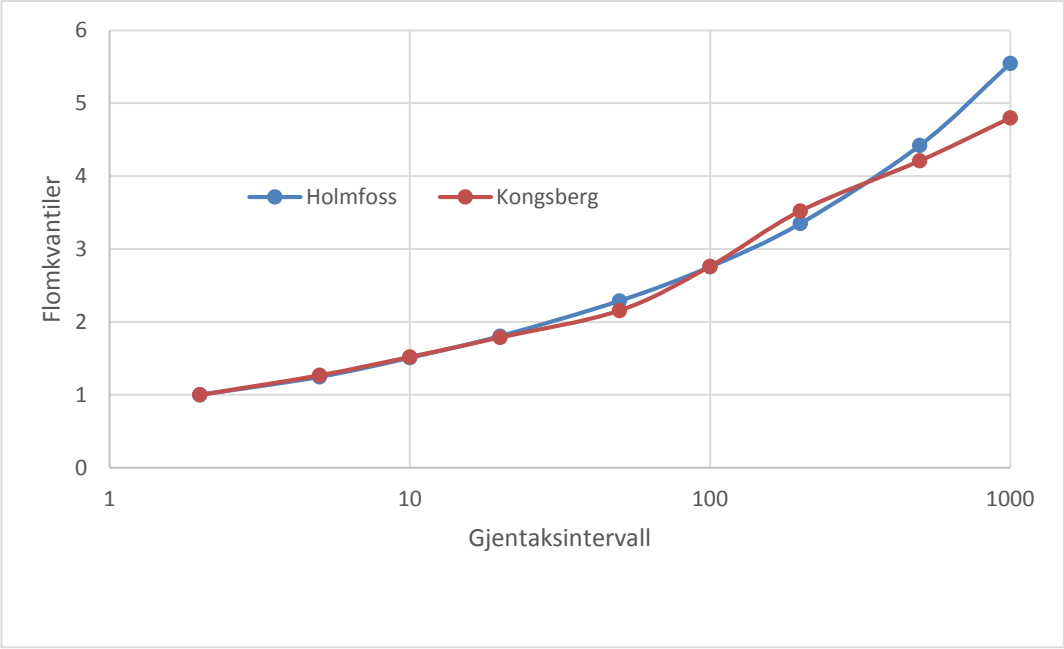


Figur 4-47: Flomvannføring Holmfoss og nedbør Hedrum.

Figur 4-48 viser ekstremanalyse og observerte verdier. Middelflom er middel av årsflommene, ca. 430 m^3/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 døgnvannføring. 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 gjentaksintervall. 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 gjentaksintervall 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 Gjønnesbekken 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, akuttoppretting 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, m3/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
Gjønnes	16.5	0.0032
Istreelva	25.58	0.0049

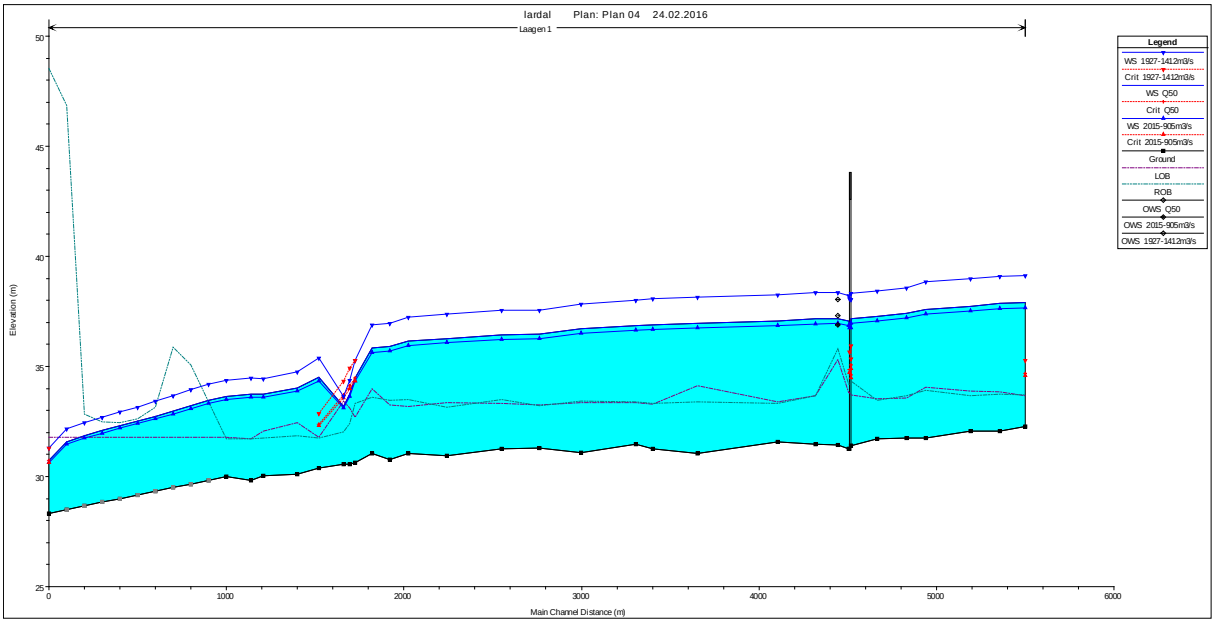
4.3.4 Hydrauliske modeller og resultater

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 m^3/s). Laser-dataene 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.

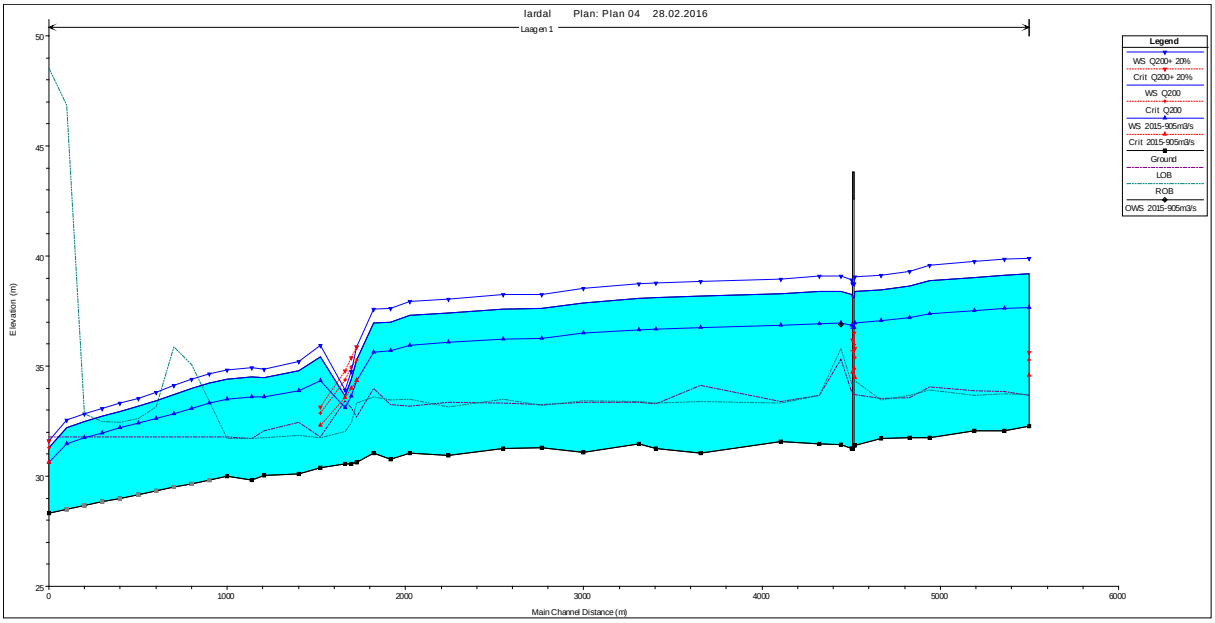
4.3.4.1 Hukstrøm bru

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 flommerker 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.

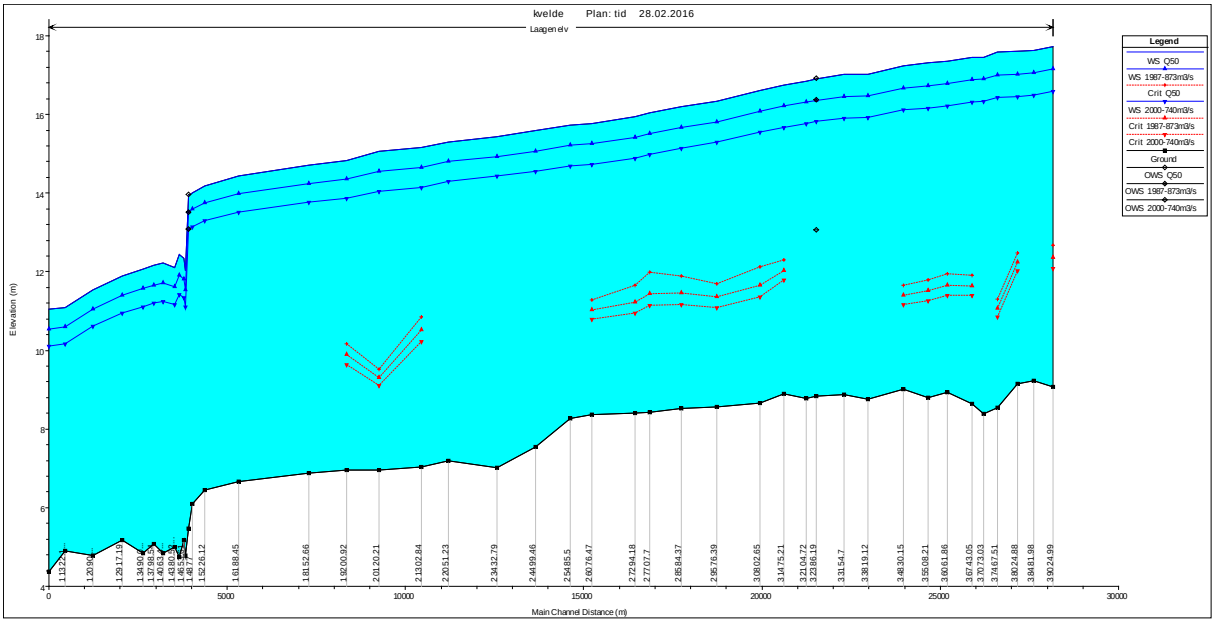


Figur 4-51: Figuren viser vannlinjer beregnet for flom 2015, 200-års flom (Q200) og 200-års flom + 20 % (Q200 + 2+%). Hukstrøm bru er markert med vertikalstreker ved ca. 4500 m.

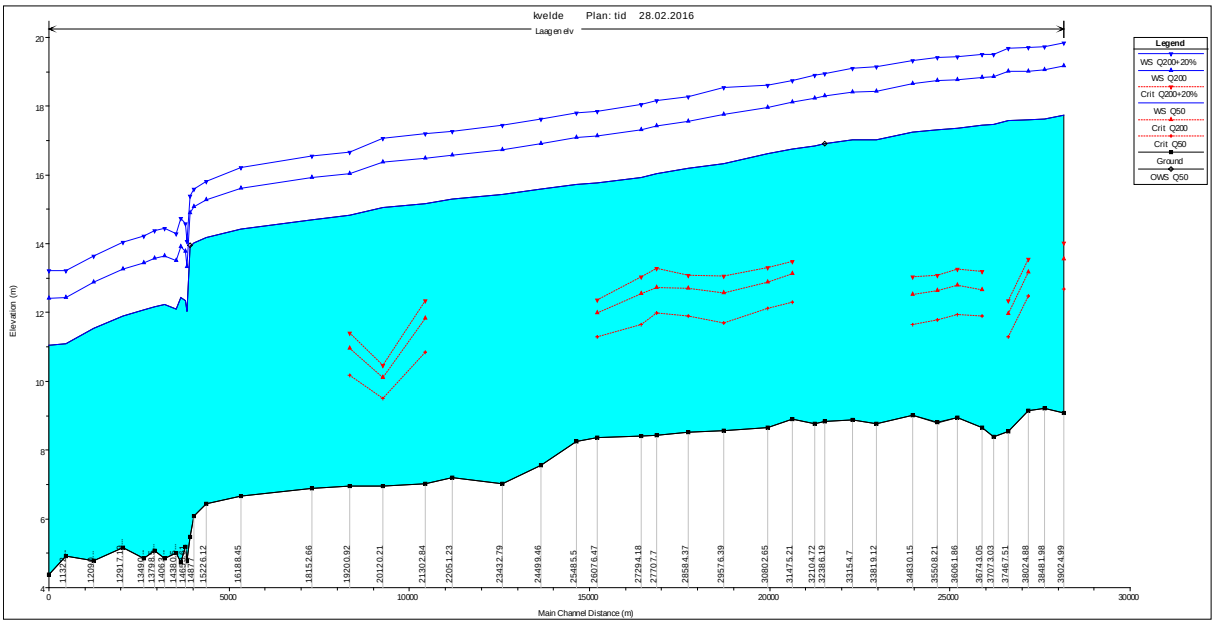
Resultatene er presentert som flomarealkart med beliggenhet av profiler samt tabell med flomvannstandshøyder for 50, 200 og 200-årsflom + 20% i Figur F1- F3 (Vedlegg F). Kartene viser at ingen boliger eller næringsbygg er utsatt for flom. En skal også være oppmerksom på stabilitet av skråninger som berøres 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 strømningen 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 overenstemmelse med vann-merket 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.

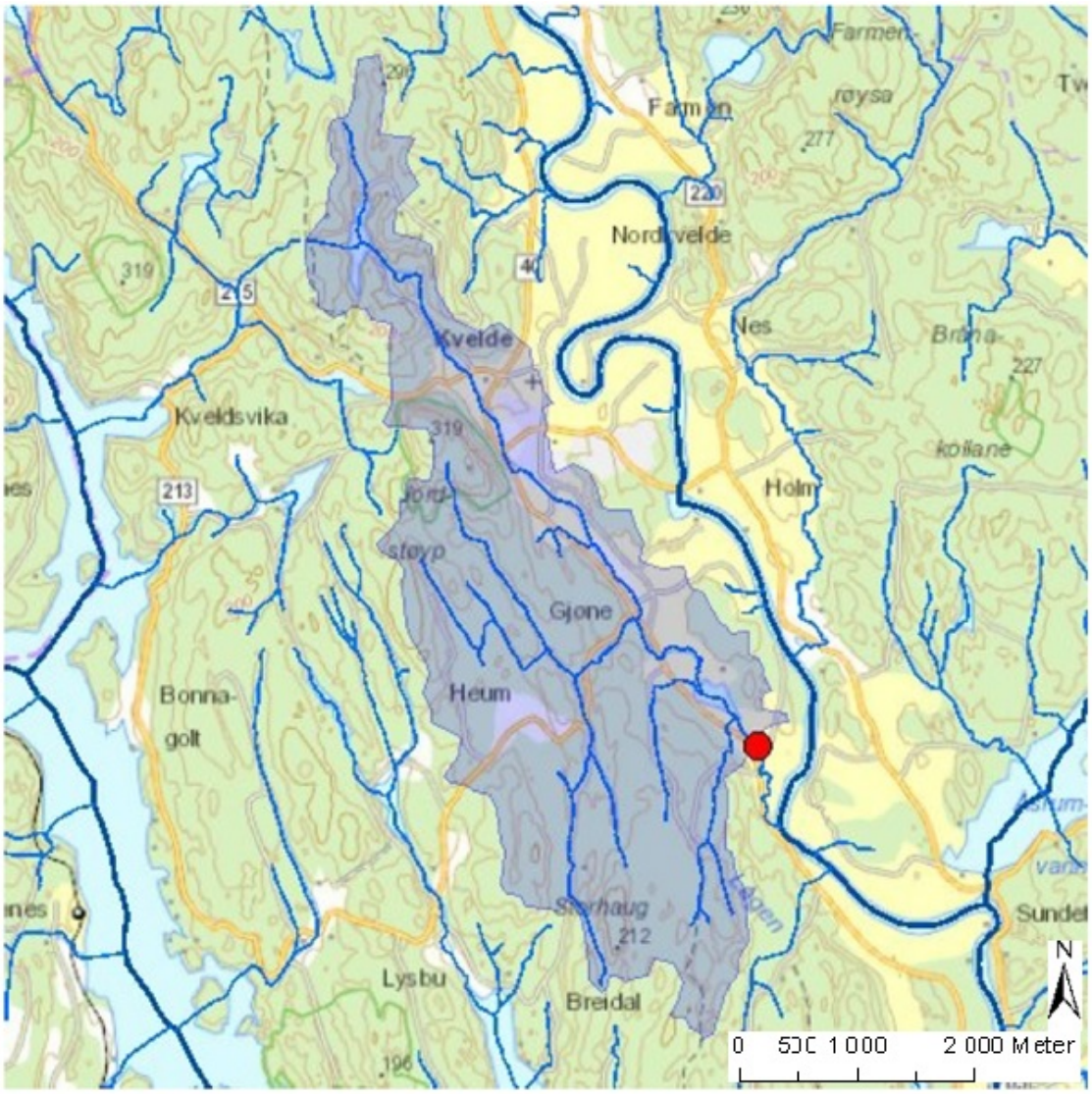


Figur 4-53: Figuren viser vannlinjer for 50-års flom (Q50), 200-års flom (Q200) og 200-års flom + 20 % (Q200 + 2+%). Holmfoss ligger på ca. 15000 m, Hvåra bru ca. 33000 m

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

av 200 års flom + 20 % innenfor Larvik kommune. Av disser er 29 kodet AnnenBygning, 1 enebolig, 2 camping/utleiehytter, 1 transformatorstasjon, 1garasje/uthus og 1 annen landbruksbygning.

4.3.4.3 FV40 ved Gjønnes

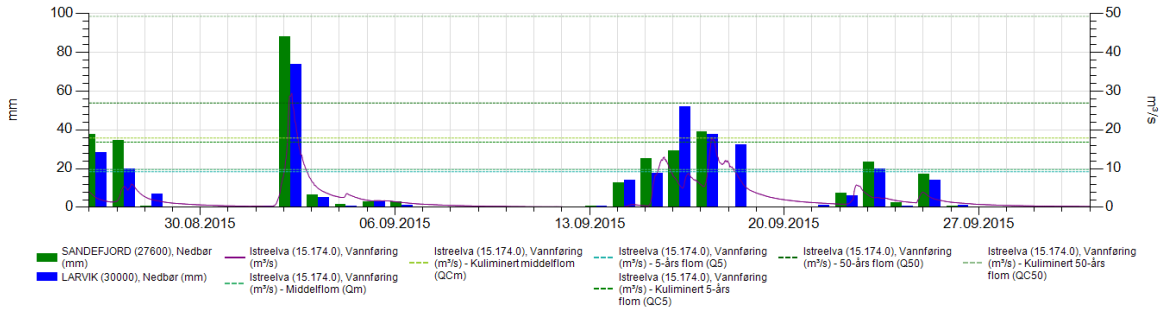


Figur 4-54: Nedbørfelt Gjønnes, NVE NEVINA (Nedbørfelt- og vannføringsindeksanalyse).

Nedbørfeltet til Gjønnesbekken som renner ut i Numedalslågen ca. 3,7 km nedenfor Holmfoss (Figur 4-54) er 16,5 km^2 og er dermed bare ca. 0.3% av totalnedbørfeltet til Numedalslågen ved Holmfoss. Gjønnesvatnet ligger normalt på høyde 7,9 m (også i overenstemmelse med laserdata, NN2000) og dreneres ved en gravd kanal gjennom landbruksområdet (antas å være et senkningstiltak) og videre i ei ravine ned til

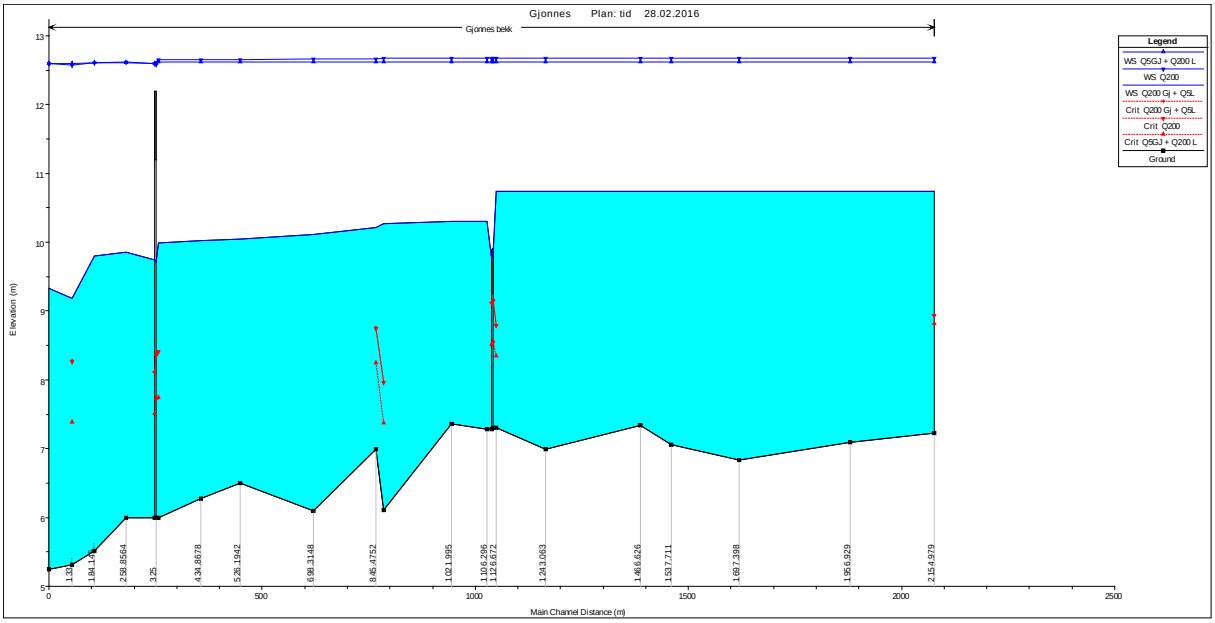
Numedalslågen. Det er lite fall, og området kan få flom både fra eget nedbørfelt og fra Numedalslågen som vil strømme inn i ravinen.

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 Gjønnes er på veg ned når Numedalslågen går opp. Stasjon 15.174 Istreelva har et nedbørfelt på 25,6 km^2 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 m^3/s, noe som gir 18 l/s/ha som avrenning. Tilsvarende avrenning eller høyere må en forvente i Gjønneselva. 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 m^3/s for Gjønnesbekken.



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

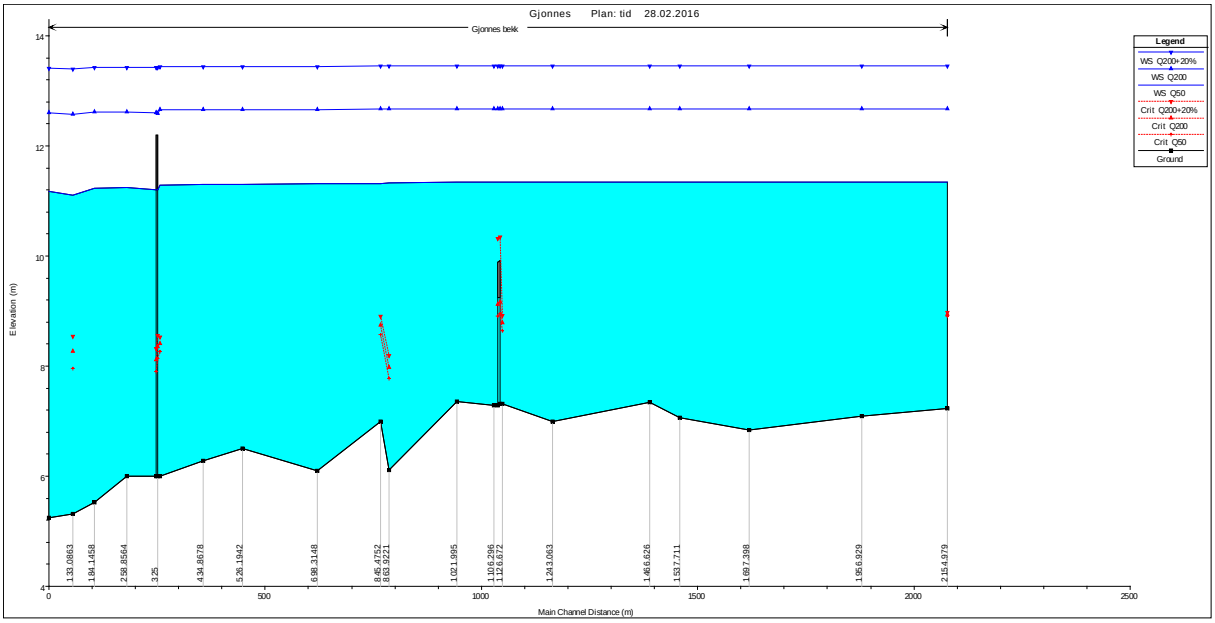
Den hydrauliske modellen for Gjønnesbekken er koblet til Numedalslågen slik at denne virker som nedstrøms grensebetingelse i Gjønnesbekken. Denne modellen er kalibrert i forhold til flommen 2000 i Numedalslågen ved Evjebakken og Bommen bru, men ikke opp langs Gjønnesbekken. Beregnede flomvannstander 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 Gjønnesbekken er vist med fylt areal, mens de to øvre linjene viser 200-års flom i Numedalslågen med og uten flom i Gjønnesbekken. Vertikale linjer er lokale bruer.

Figur 4-56 viser med fylt areal en 200 års flomvannføring fra lokalfelt Gjønnesbekken kombinert med 5 års flom i Numedalslågen. Vannstanden er da slik at den ligger på vegfyllingen på lokalvegen og blir trykket under brua Gjønnes. 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 Gjønnes, 2) 200 års flom i både hovedvassdrag og sidevassdrag, ser en at flom i Numedalslågen dominerer totalt, uavhengig av kanal- og brukapasitet opp langs Gjønnesbekken. 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.

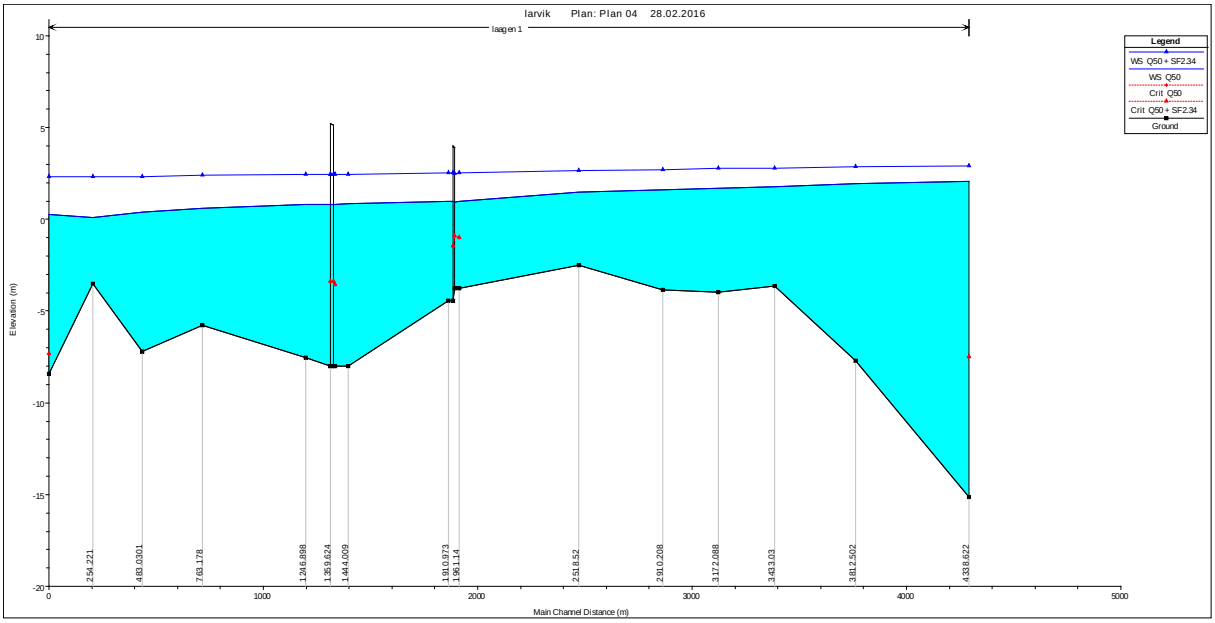


Figur 4-57: Vannstand langs Gjønnesbekken for 50-års flom (Q50) vist som fylt areal, 200-års flom (Q200) og 200-års flom + 20 % (Q200 + 20%) vist som ovenforliggende linjer. Vertikale linjer er lokale bruer.

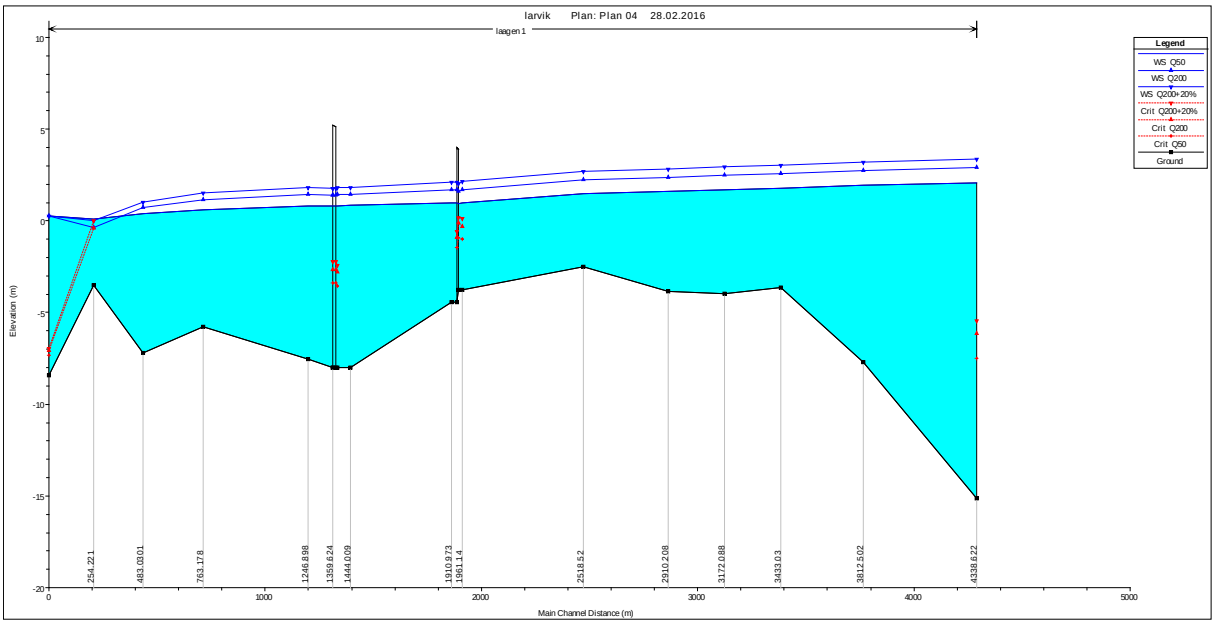
4.3.4.4 Utløp Numedalslågen, Larvik

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.

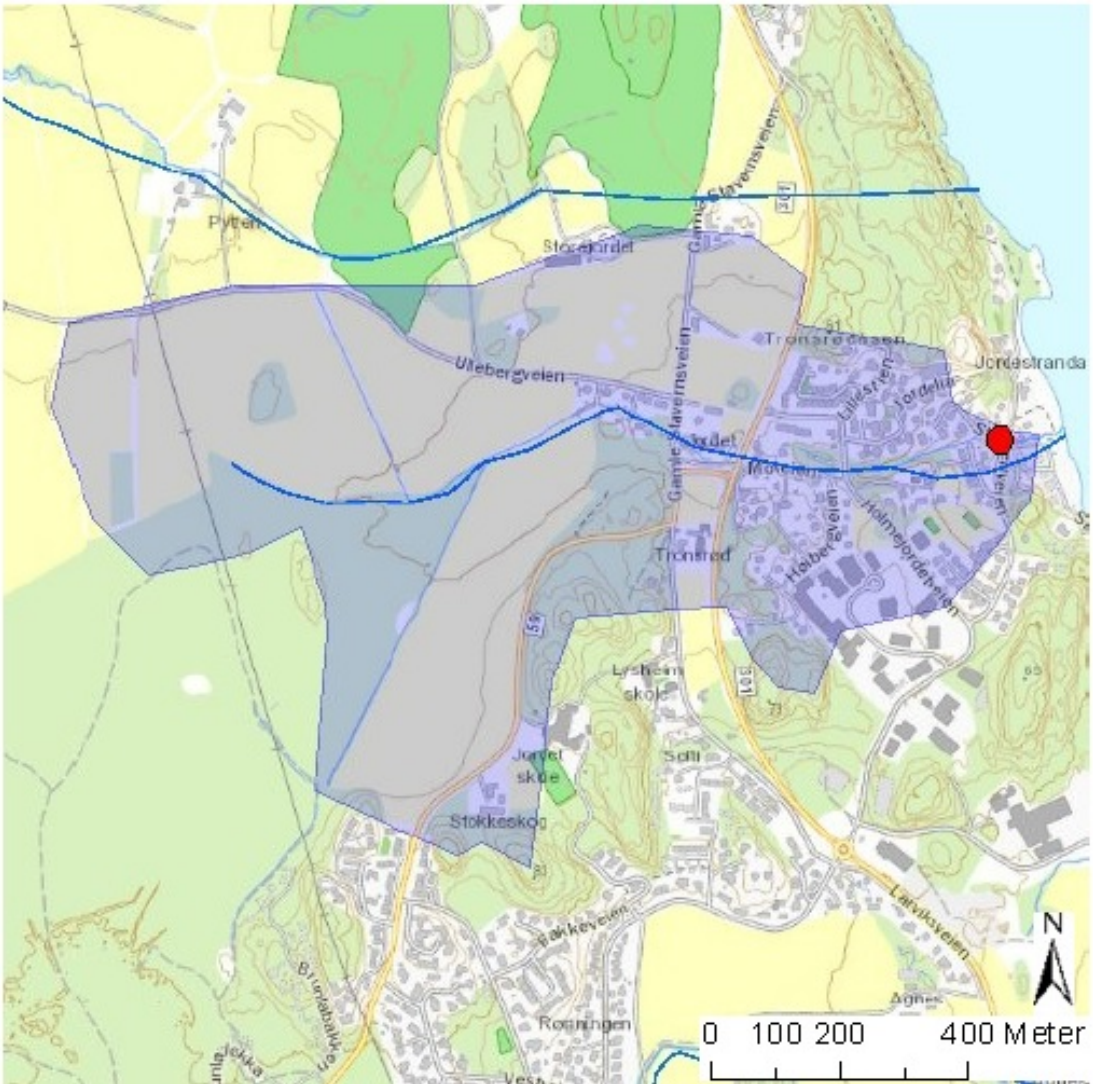
Resultatene er presentert som flomsonekart F16-F18 med profiler samt tabell med flom-vannstandshøyder i Vedlegg F. Resultatene viser at stormflo dominerer høyt opp i elva

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

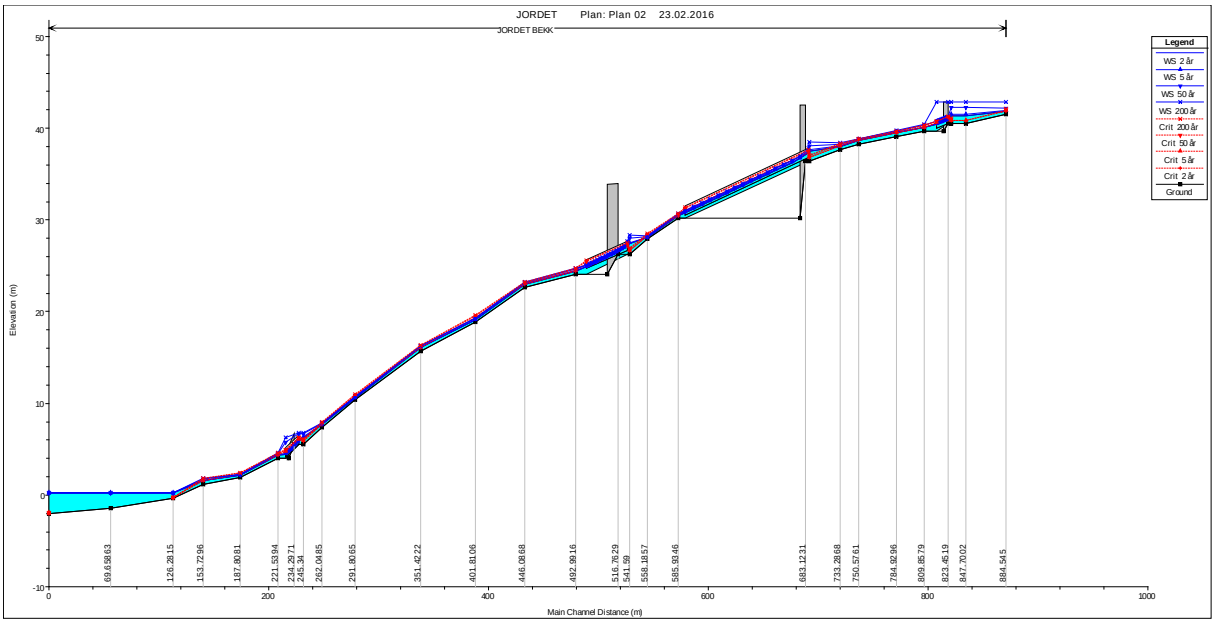


Figur 4-60: Blått areal viser nedbørfelt Holmjordet. NVE NEVINA (Nedbørfelt- og vannførings-indeksanalyse).

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 km^2, 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 gjentaksintervall. Nedbørintensiteter er hentet fra analyser i eklima 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 flom-utsatt. 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 oppstuving som ved Stavernveien og en vil få lukket strømning 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 periodevise 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) drensveier 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 oppstuving 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 landhevning 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 flomvarsling 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 gjentaksintervaller opptil 1000 år. Imidlertid må det gjennomføres modellering for bølger og vindoppstuving 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

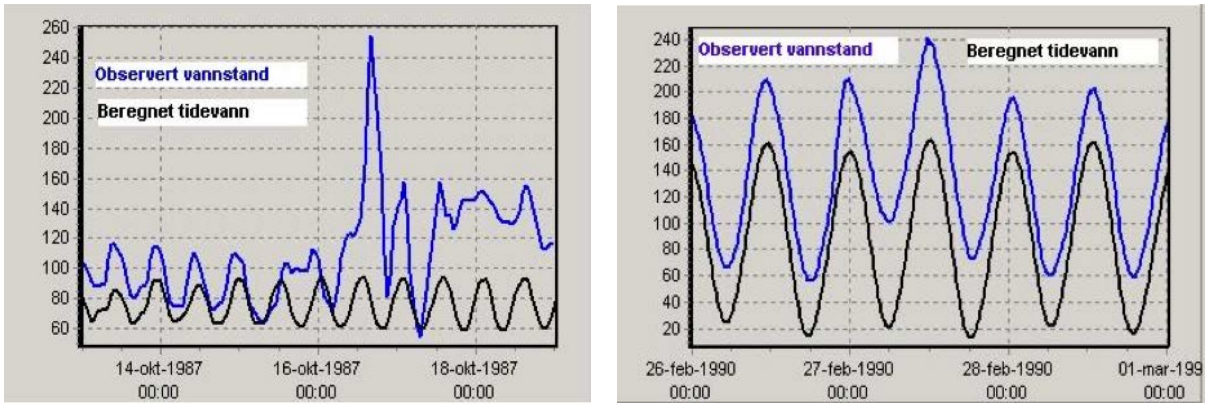
Den 16. oktober 1987 ble store deler av kysten av Øst-, Sør- og Vestlandet rammet av en kraftig stormflo med ekstremt høye vannstandsverdier (Figur 4-64). Dette hang sammen med et lågtrykk og sterke vinder ute i Atlanterhavet. Vindene presset vannet inn fra sør-sørvest og sammen med store mengder nedbør 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

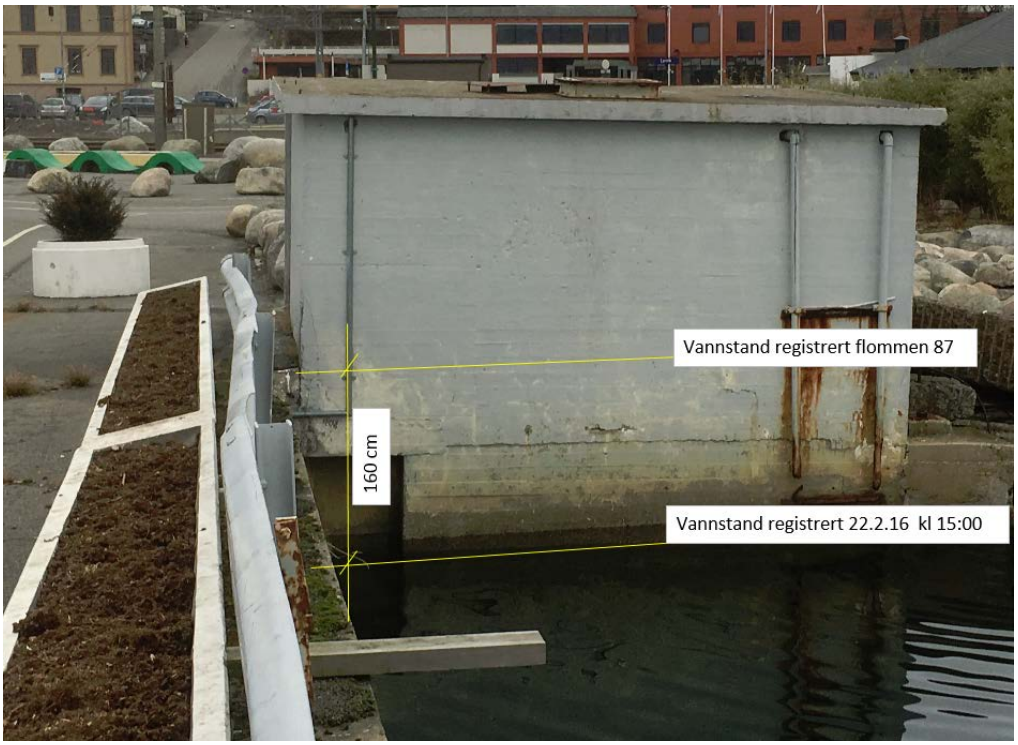
(Figur 4-68 og Figur 4-69, punkt B). Her er terrenget ca. 1.7 m (NN54). Dette underbygger målingene nevnt over.

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



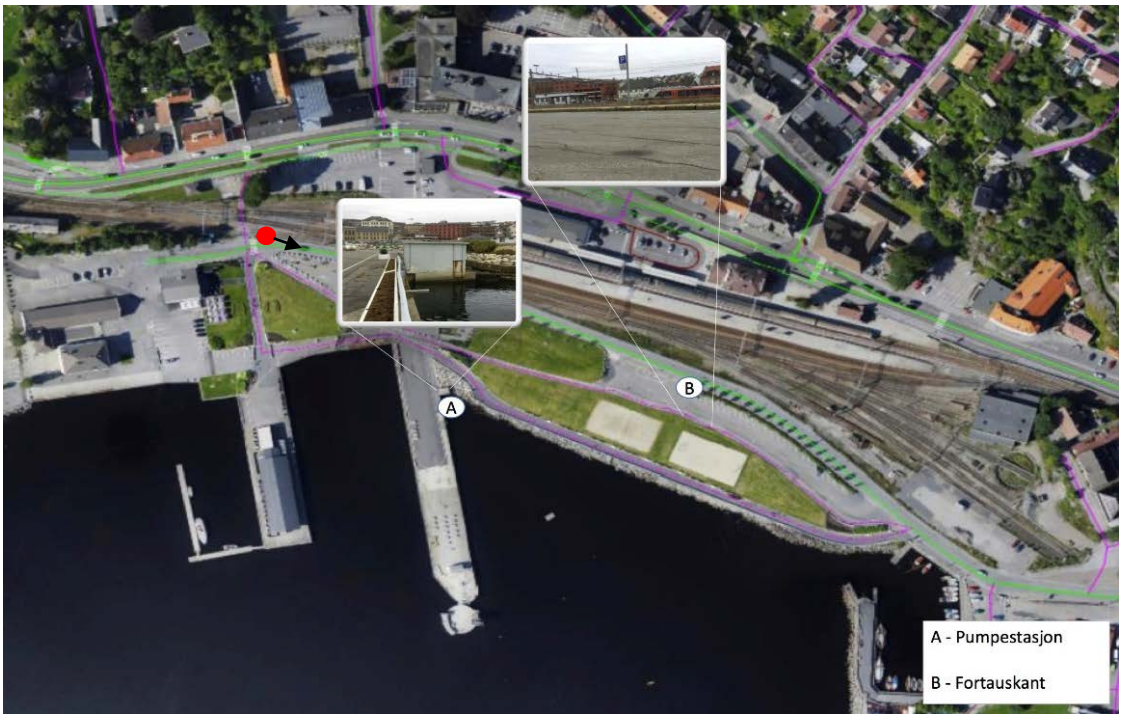
Figur 4-65: Observert vannstand og beregnet tidevann i Oslo 1987 (venstre) og Bergen 1990 (høyre) (www.vannstand.no).

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 vindoppstuving på en større regional skala. Den lokale effekten av vindoppstuvingen 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 (oppstuving og bølger) og eventuelt flom fra Numedalslågen (kun for områdene rundt Larvik) på 142+15+21+5 cm = 183 cm (NN54). For oppstuving 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 vindoppstuving
15 cm	142 cm (NN1954)	5 cm (50 år)	Modelleres

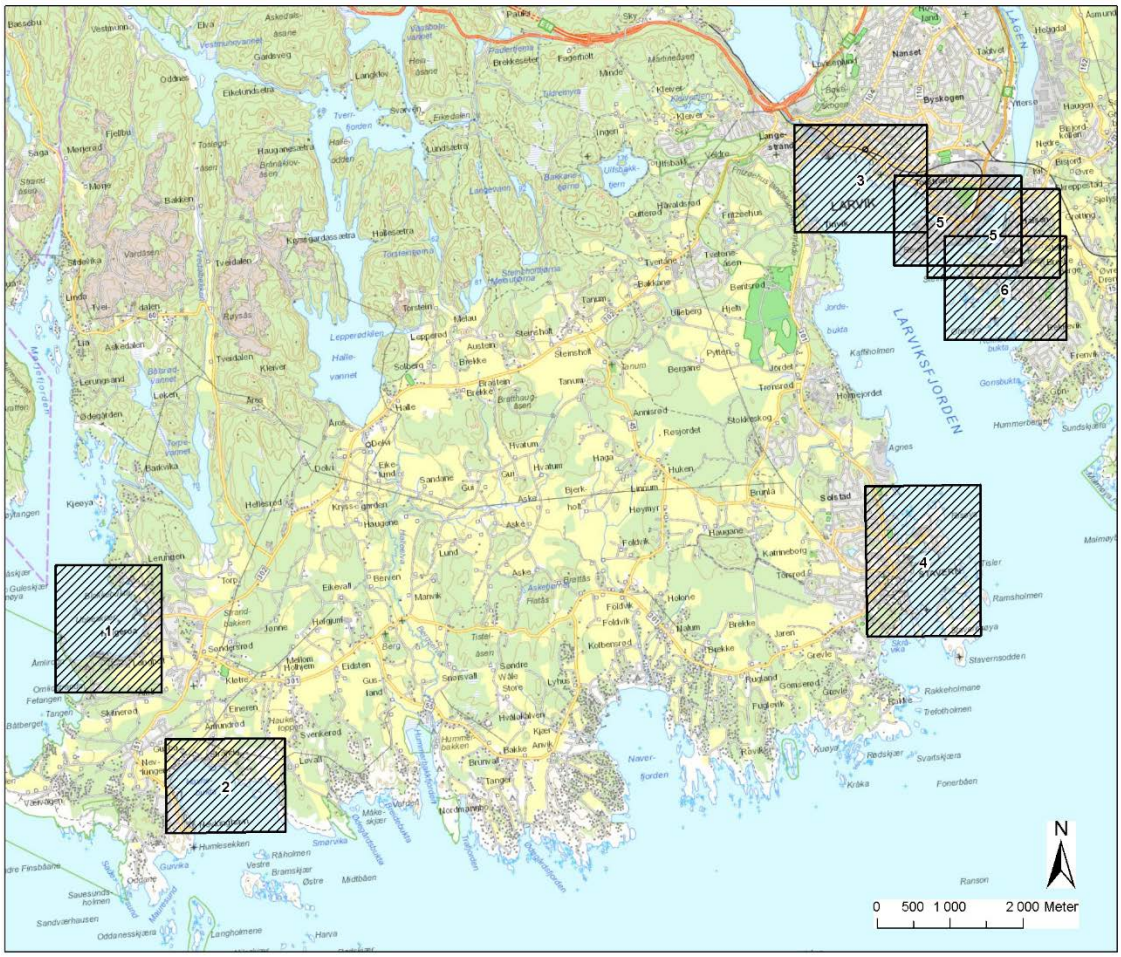
** estimert for 2065 fra Simpson m.fl. (2015).*
*** Lowe & Gregory (2005) og DSB (2009).*

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 regnflom 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 stormflofaren 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.

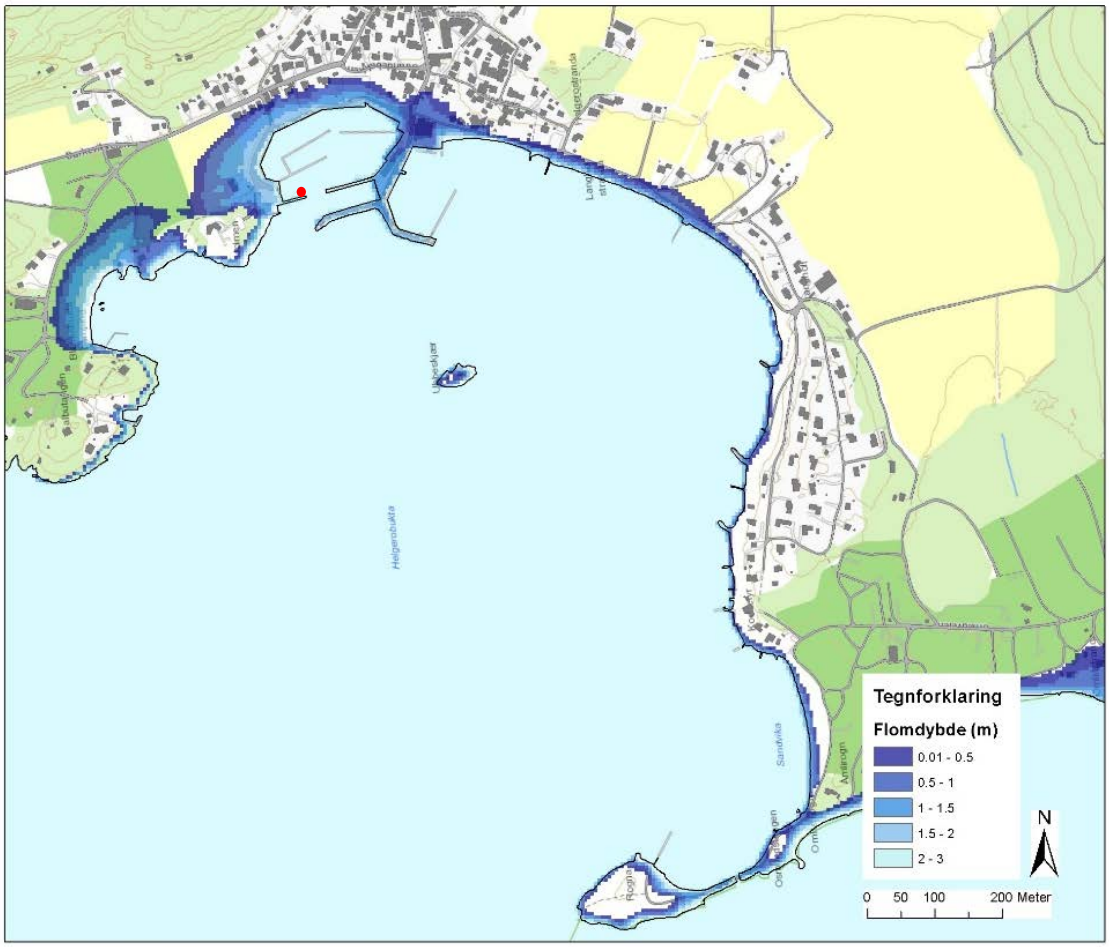
4.4.4.2 Område 1 – Helgeroa

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 vann-inntrenging 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.

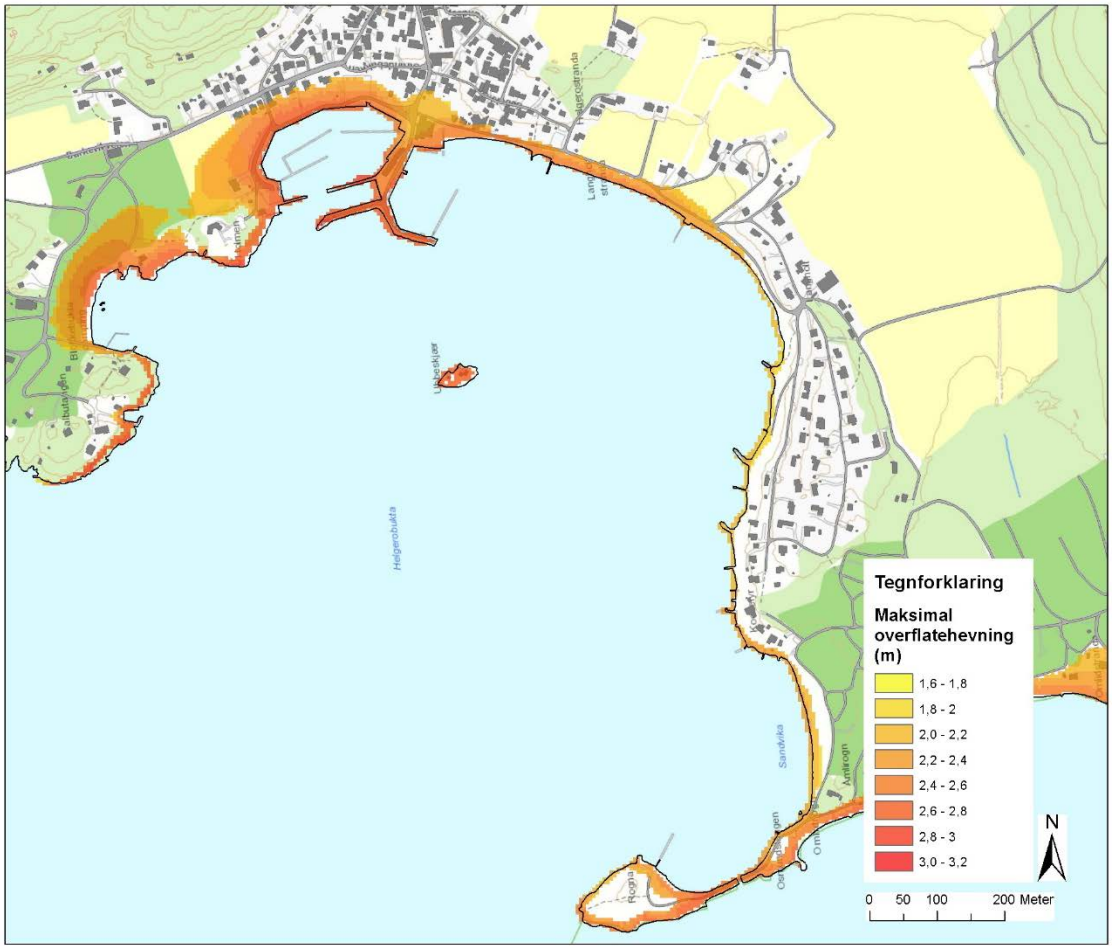
Resultatene fra stormfloberegningene er vist som maksimal flomdybde og maksimal overflatehevning i Figur 4-73 og Figur 4-74. Helgeroa har noe slakere terreng enn Nevlunghavn, slik at det her kan bli et større areal som rammes, men likevel færre bygninger enn i Nevlunghavn. I faresonen ligger blant annet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



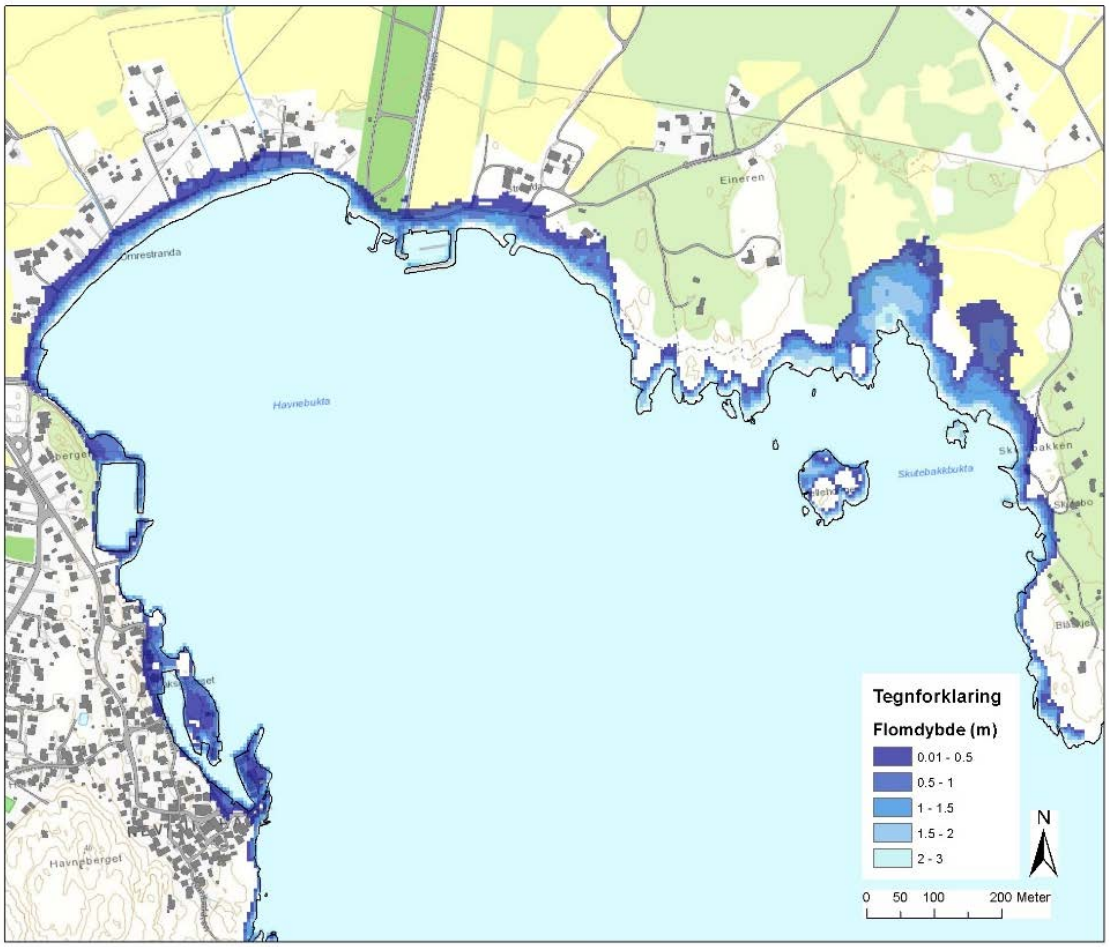
Figur 4-74: Maksimal overflatehevning for Helgeroa.

4.4.4.3 Område 2 – Nevlunghavn

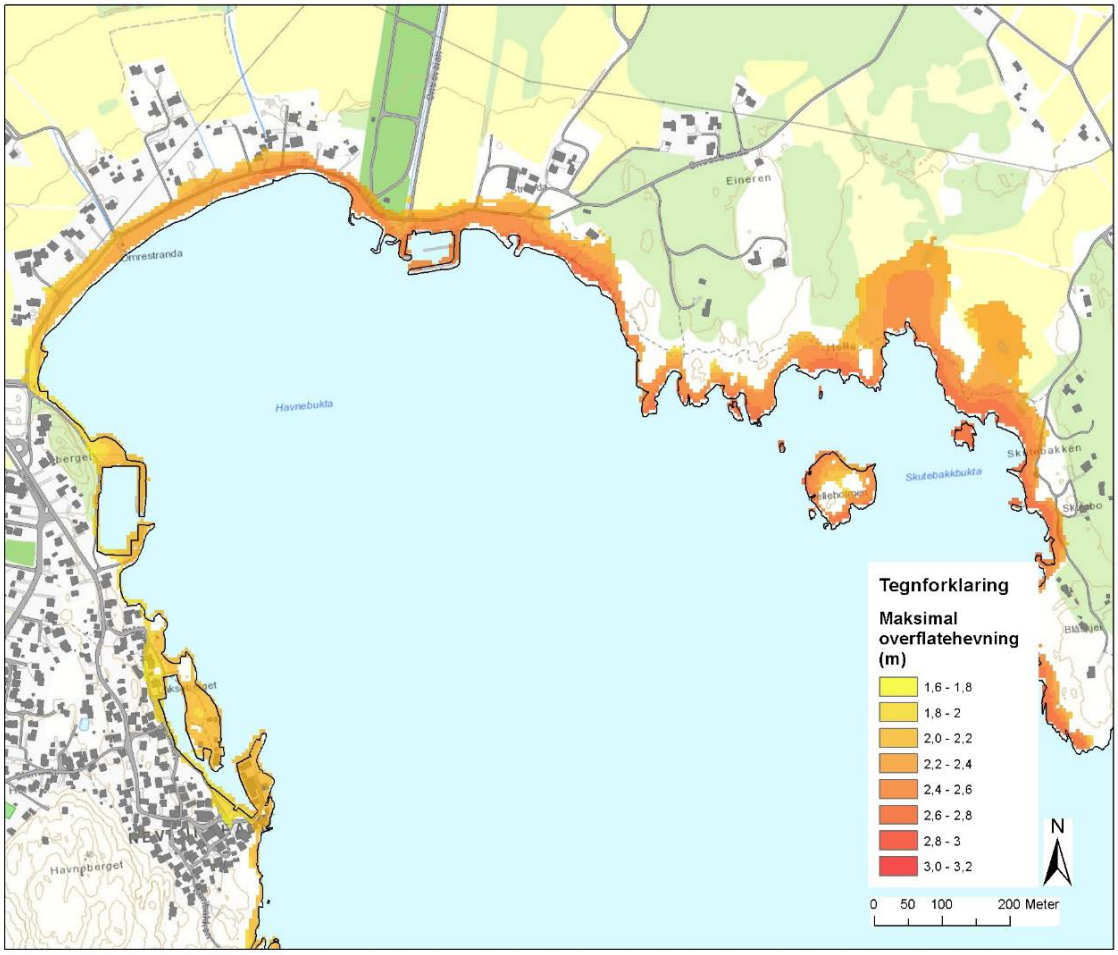
Nevlunghavn ligger i en bukt hvor bebyggelsen generelt befinner seg i god høyde fra fjorden (Figur 4-75). Det finnes noen slakere områder i øst, men her er det ikke bebyggelse. Veien langs Omrestranda ligger lavt og tett ned mot fjorden. Det er nylig bygget ny kai på området, se foto. Nevlunghavn er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

Resultatene fra stormfloberegningene er vist som maksimal flomdybde og maksimal overflatehevning 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 (Ormestranda).

Figur 4-75: Bilder fra befaringen ved Nevlunghavn.



Figur 4-76: Maksimal flomdybde for Nevlunghavn.



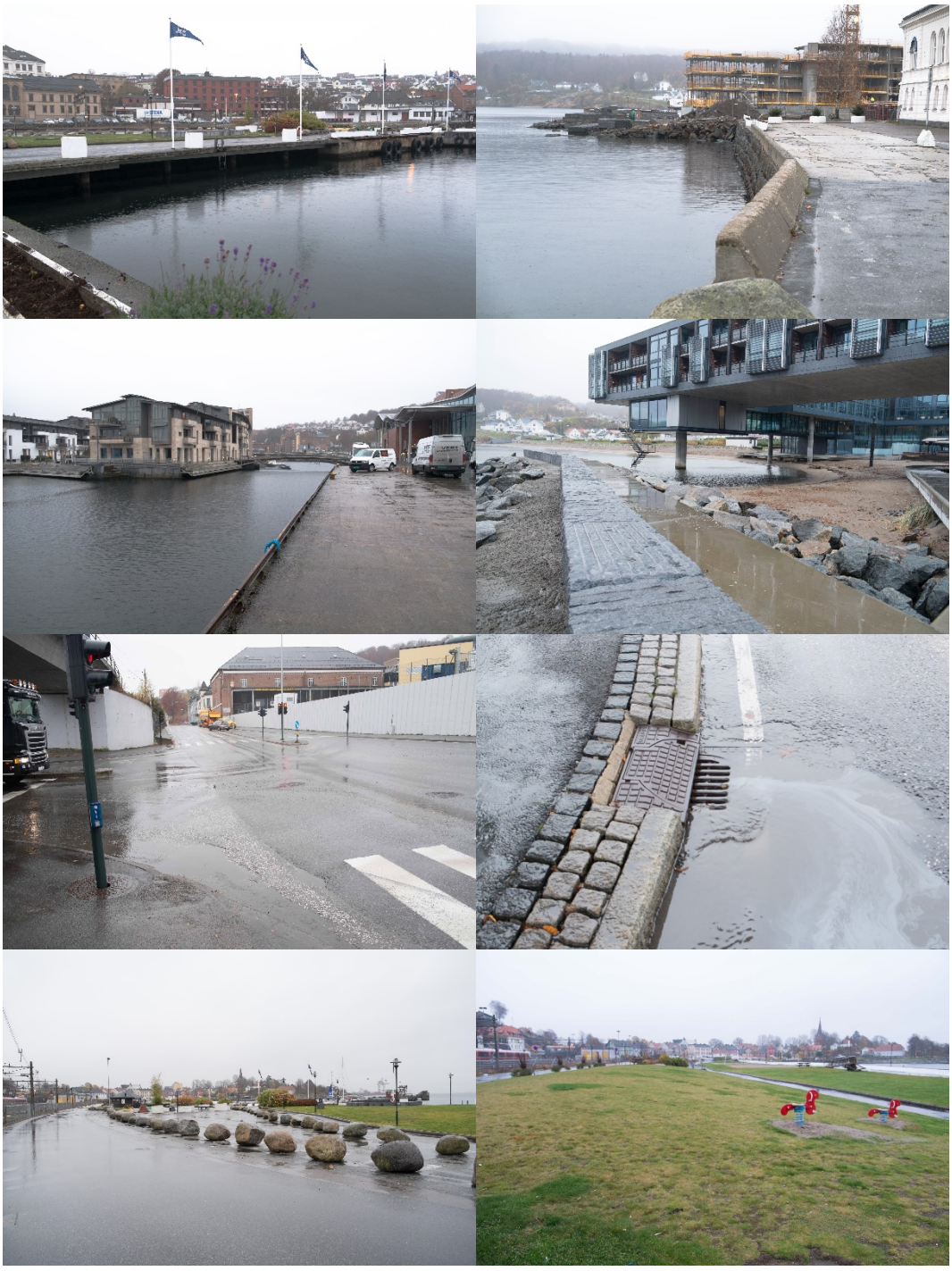
Figur 4-77: Maksimal overflatehevning for Nevlunghavn.

4.4.4.4 Område 3 – Indre havn og Stavernkrysset

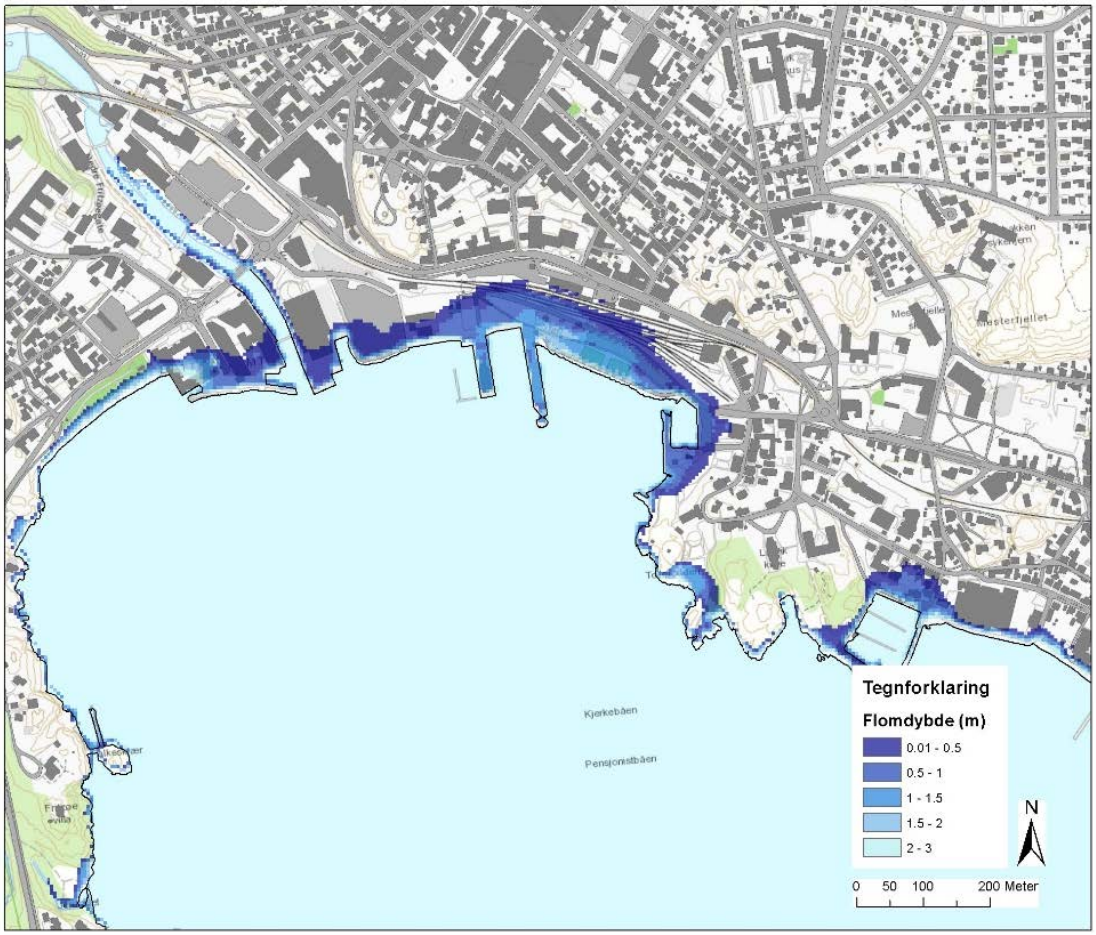
Ved indre havn er det større arealer som er potensielt sårbare med tanke på stormflo. Dette gjelder særlig området mellom jernbanen og fjorden. Her sto vannet også under 1987 hendelsen (se over). Se bilder fra befaringen i Figur 4-78. Stavernkrysset er det laveste punktet i denne delen av byen og risten 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 overflatehevning i Figur 4-79 og Figur 4-80. For indre havn vil vi kunne få oversvømmelse over togskinnene og en sone helt vest for utløpet til Farris ut til Tollerodden. Vanndypet 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

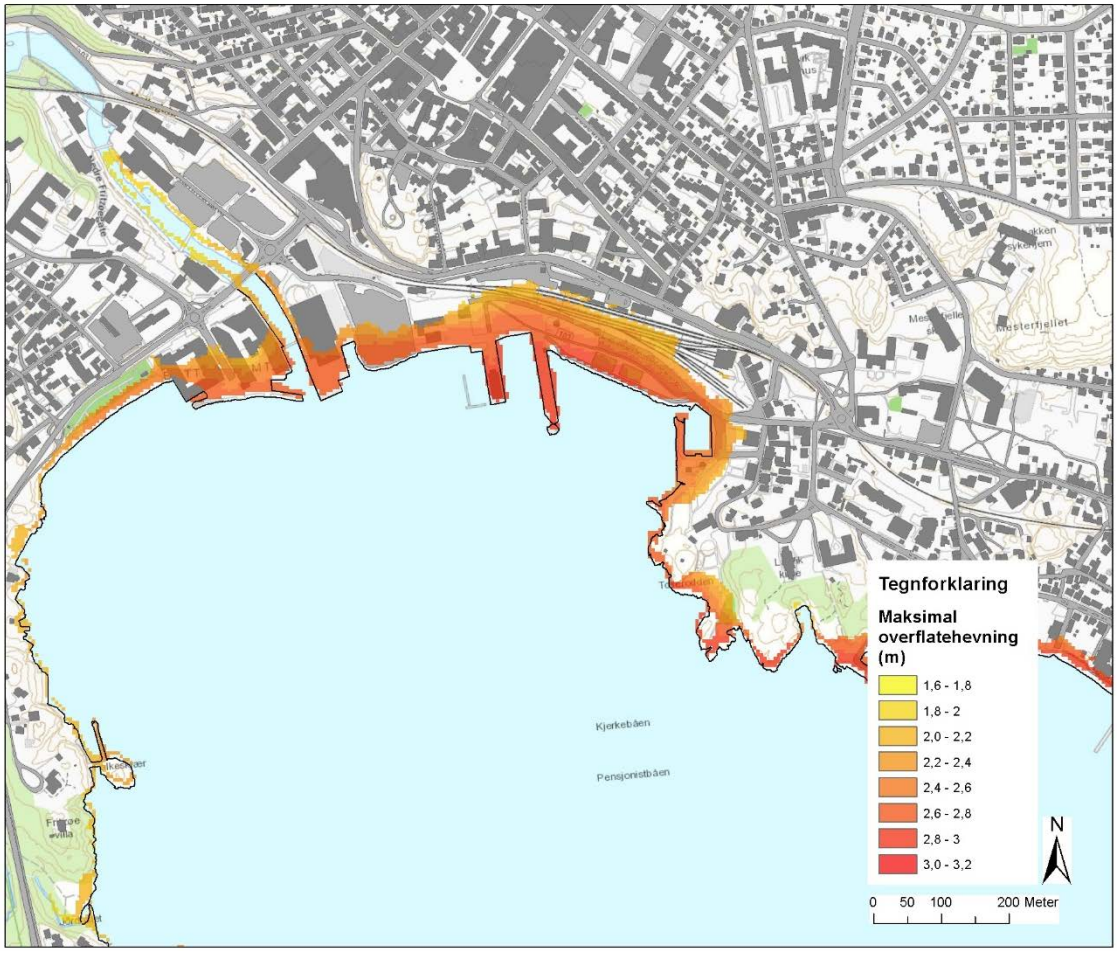
i liten grad bli ytterligere oversvømmet på grunn av en eventuell flom fra Numedalslågen.



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.



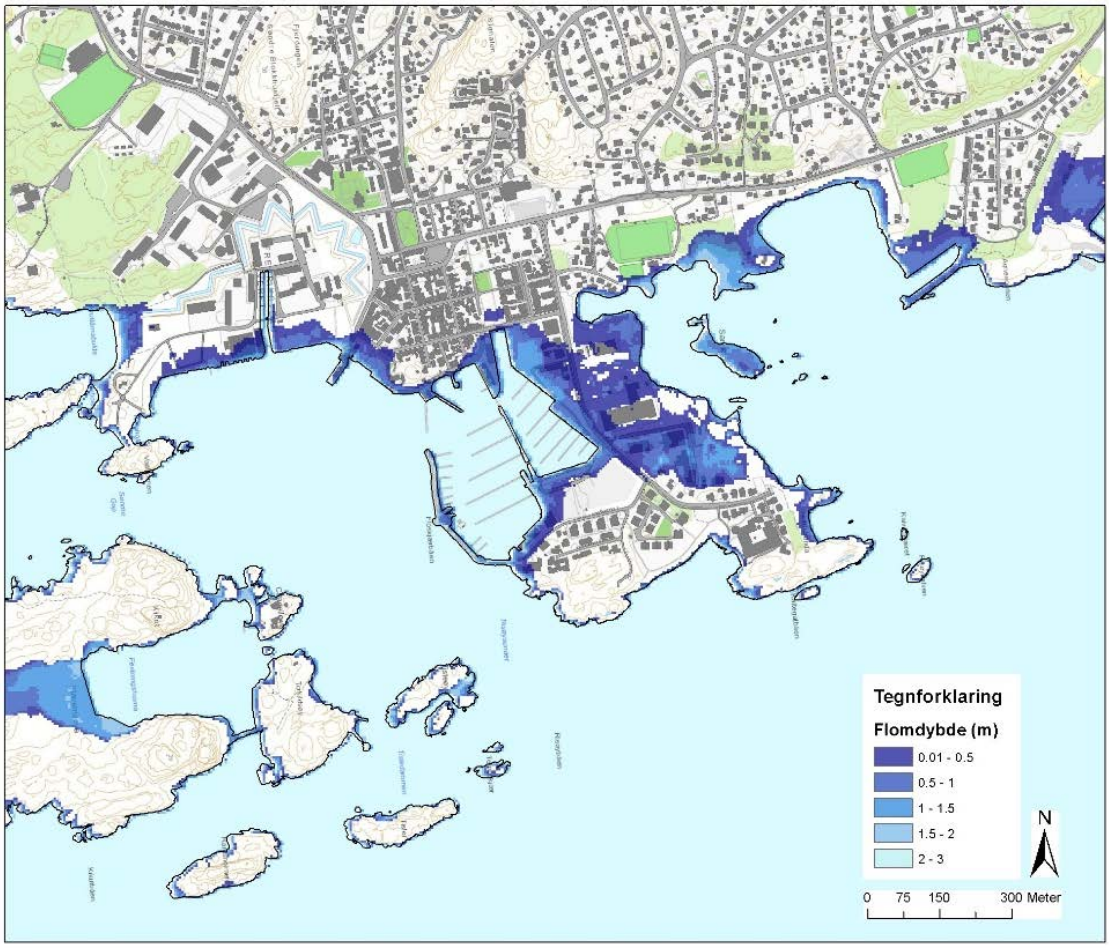
Figur 4-80: Maksimal overflatehevning Indre havn, Larvik.

4.4.4.5 Område 4 – Stavern

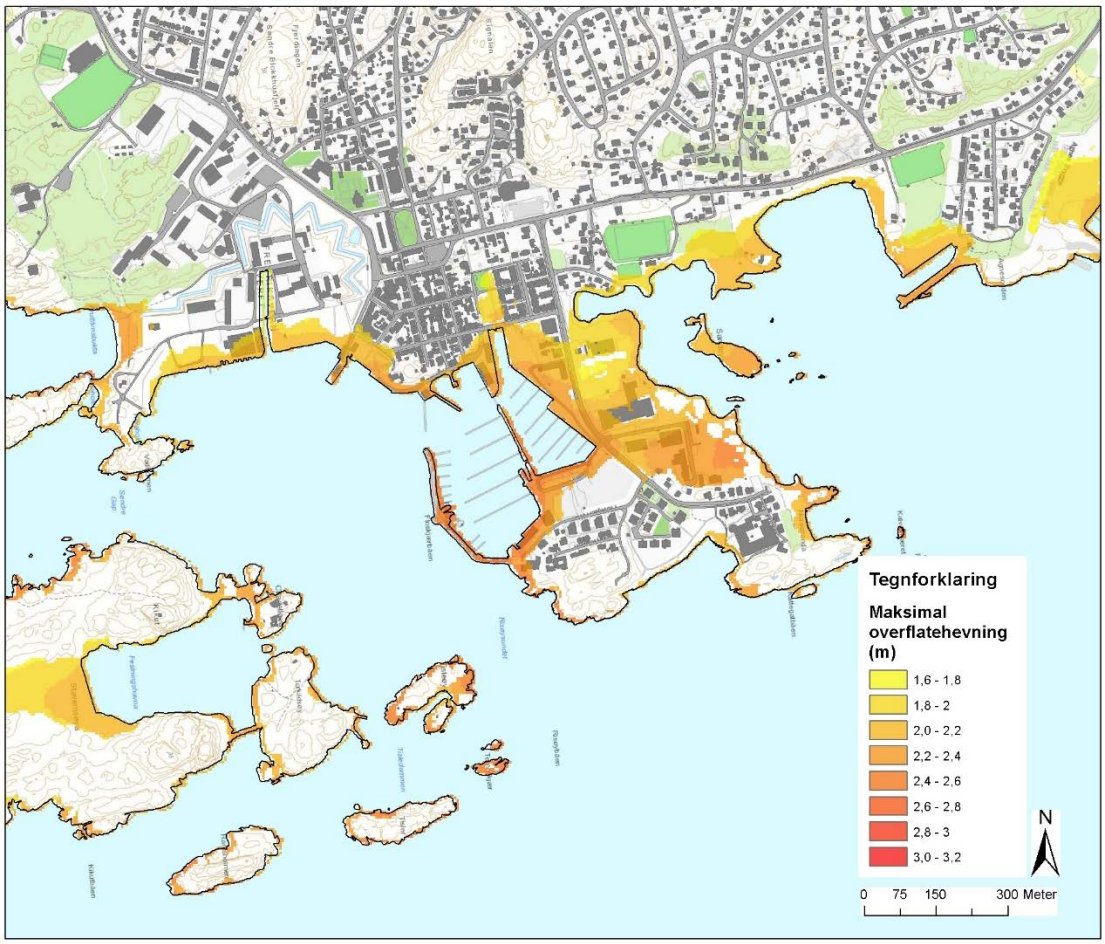
Stavern ligger på vestsiden av Larviksfjorden, og ligger derfor noe i le for vinder fra sør-vest. Bilder fra befaring sees i Figur 4-81. Stavern har en del lavtliggende områder sør for båthavna hvor det primært er industriområde.

Resultater fra stormfloberegningene er vist som maksimal flomdybde og maksimal overflatehevning 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. Vanndyp 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 overflatehevning Stavern.

4.4.4.6 Område 5 – Revet og utløpet av Numedalslågen

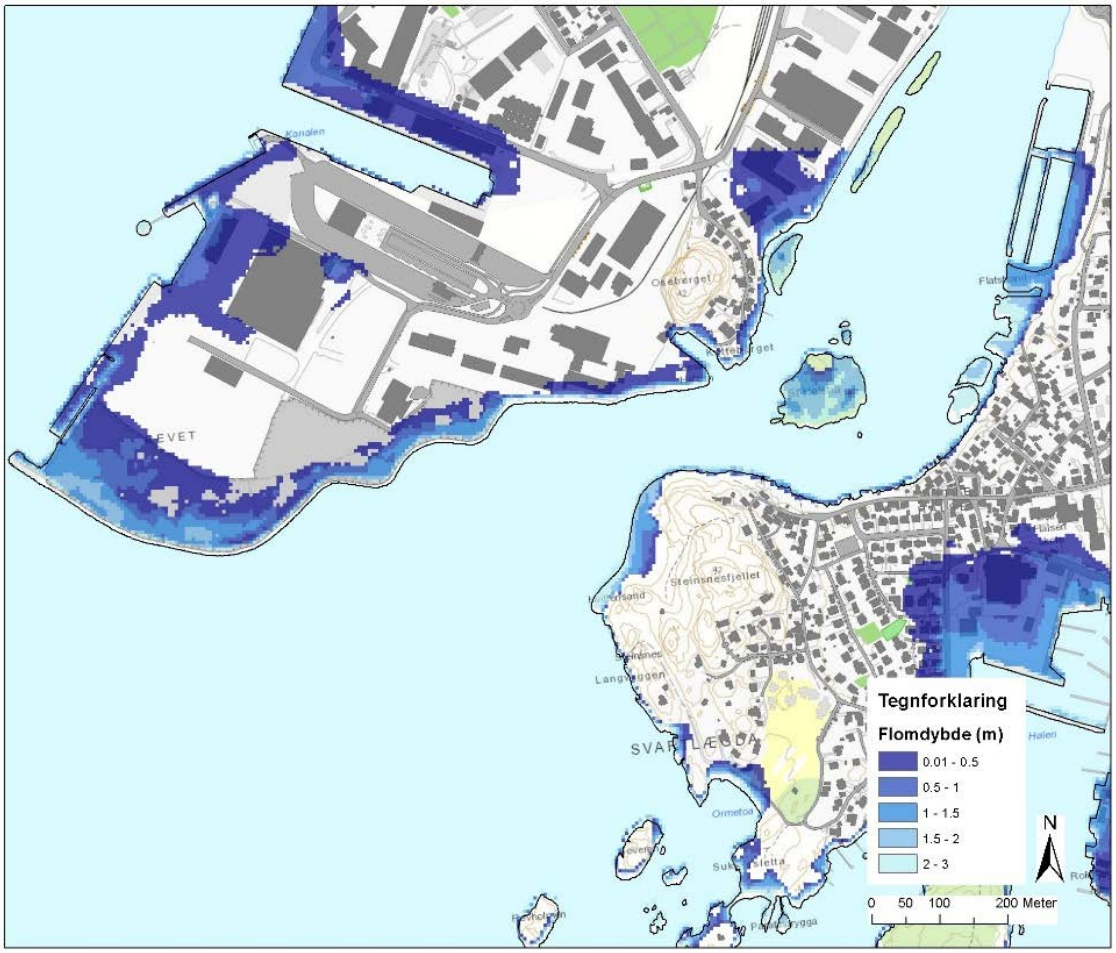
Revet er et område for industri og containerhavn (Figur 4-70). På nordsiden ligger havneområder, mens på sørsiden er det anlagt en sti mot Numedalslågen (Revestien, ferdigstilt i 2010).

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 bølgerefleksjon 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.

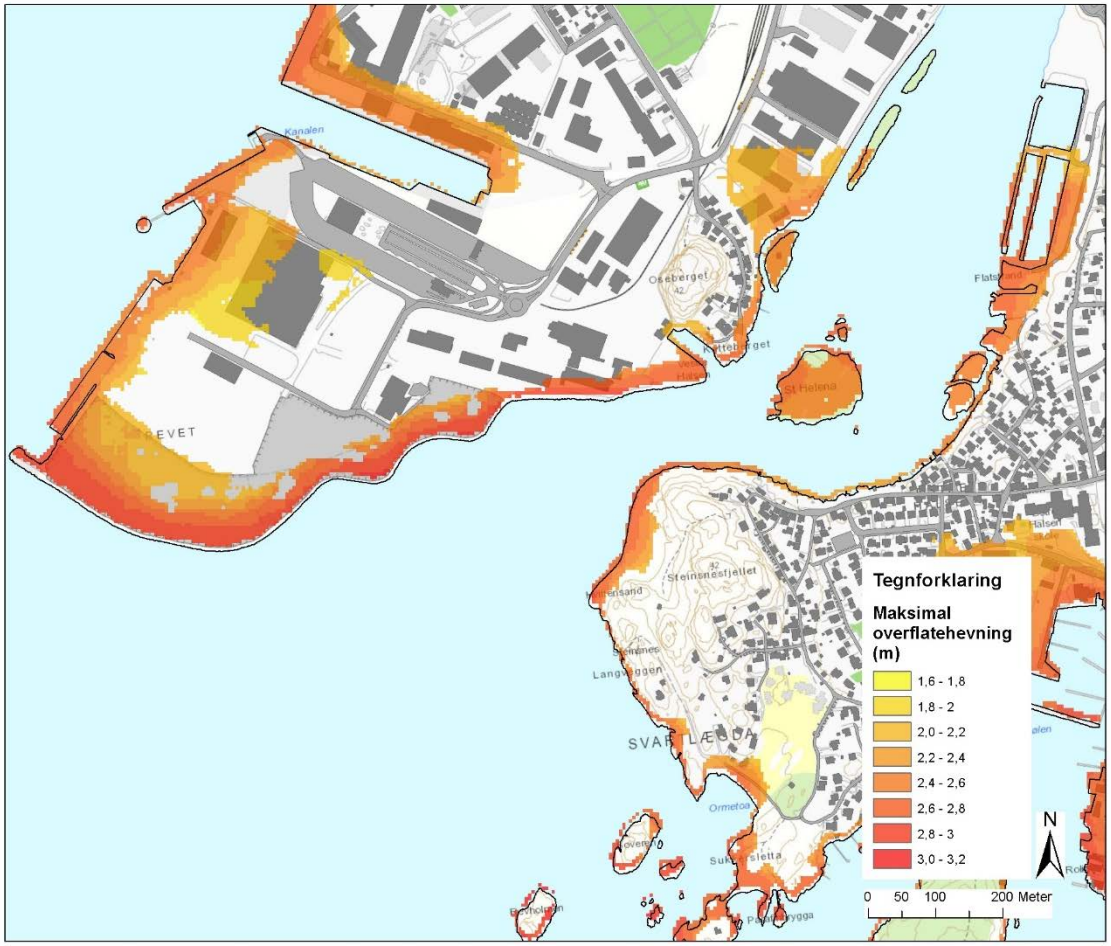
Resultater fra stormfloberegningene er vist som maksimal flomdybde og maksimal overflatehevning i Figur 4-85 og Figur 4-86. Store deler av ytre Revet ligger lavt med tanke på fare for vanninntrenging og utvasking av arealer under en eventuell stormflo.

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.



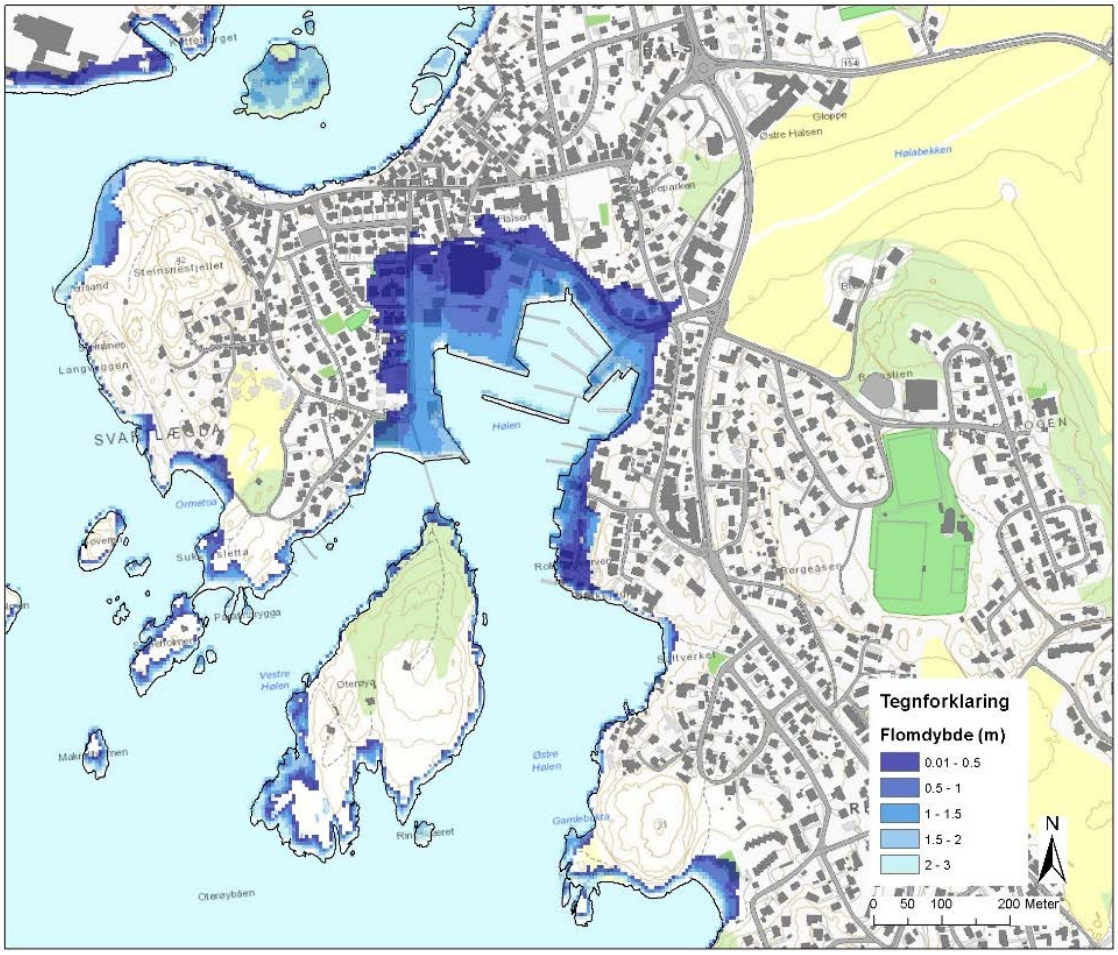
Figur 4-86: Maksimal overflatehevning ved Revet og utløp Numedalslågen, Larvik.

4.4.4.7 Område 6 – Hølen

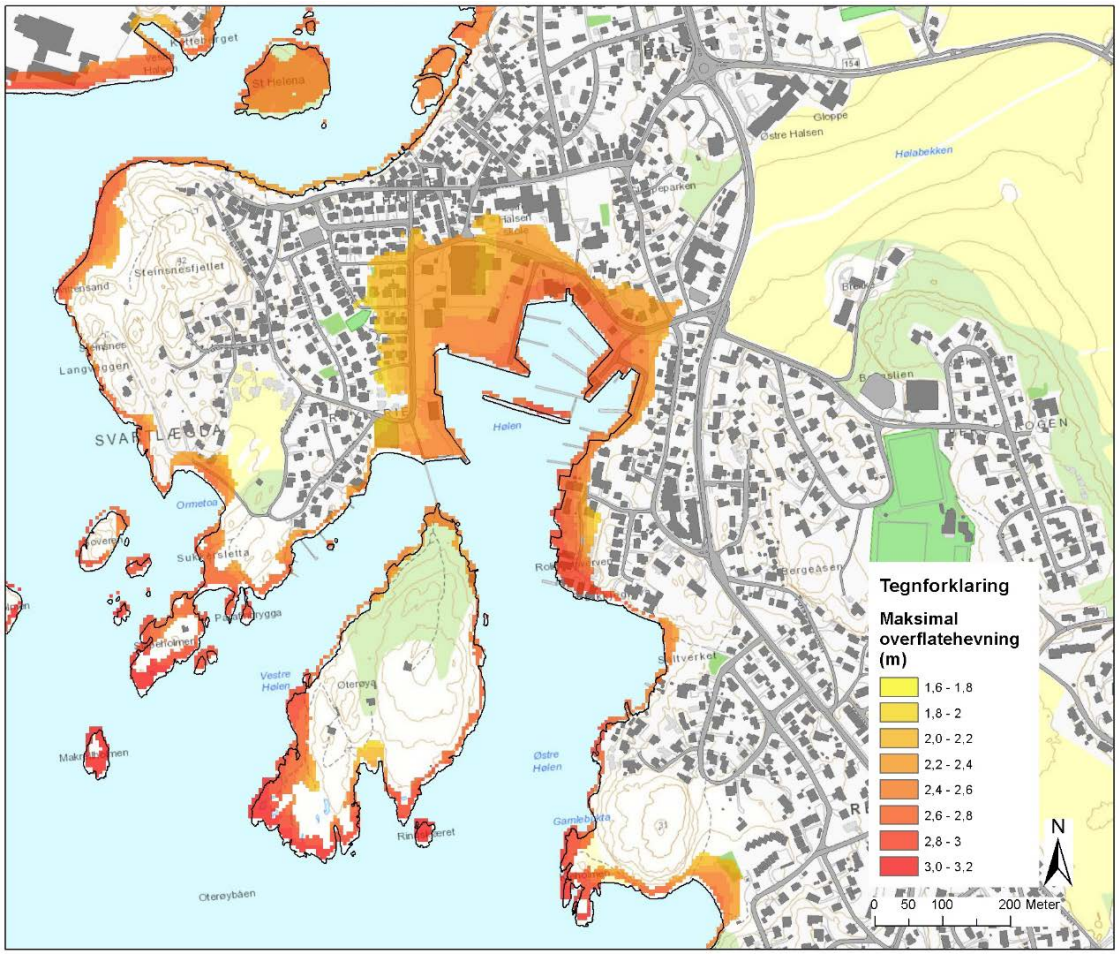
Hølen ligger øst for utløpet av Numedalslågen (Figur 4-87). Her er terrenget lavt og slakt. Det er mye nyetablering av bebyggelse, og det ligger også noe industri samt skole her. Hølen er delvis beskyttet av en stor holme (Oterøya) rett utenfor.

Resultatene fra stormfloberegningene er vist som maksimal flomdybde og maksimal overflatehevning 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 vanndyp 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 overflatehevning 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 oppstuving og lite bølger.

4.4.5 Tiltak for å redusere skader på grunn av stormflo

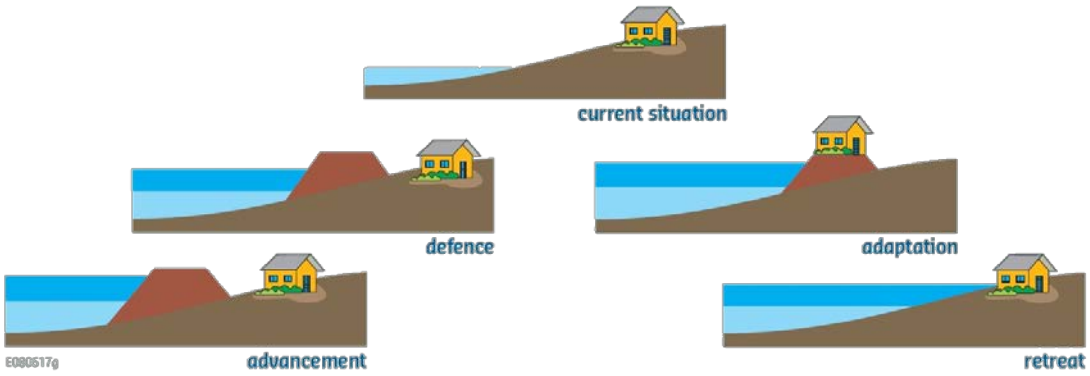
Et endret klima med stigende havnivå og økende stormfloaktivitet er en trussel mot lavereliggende kystområder, deres samfunn og økonomiske verdier. Stormflo kan lede til store økonomiske skader på grunn av bølgenes eroderende kraft, tidevann og strømmer.

For å håndtere konsekvensene av det stigende havnivået, som f. eks. erosjon eller over-svømmelse, 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 skogsbilveier, 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. strømbrudd → 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 infrastruktur 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.

Vedlegg A

UTDYPNING AV KLIMAPROGNOSER;
FRAMTIDIGE NEDBØRSSCENARIER FOR
PROSJEKTOMRÅDET

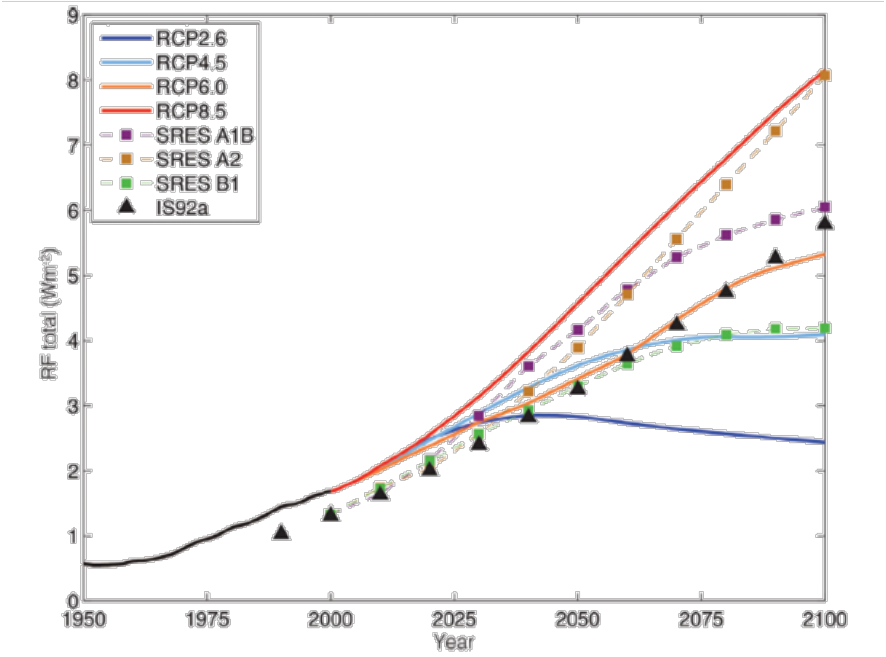
Innhold

A1 Framtidige klimaendringer **2**
A2 Nedbørverdier i referanseperiodene 1961-1990 og 1971-2000 **3**
A2.1 Om normal- og referanseperioder 3
A2.2 Nedbørverdier for prosjektområdet i referanseperiodene 3
A3 Framtidige nedbørsscenarier for prosjektområdet **5**
A4 Ekstremstatistikk **14**
A4.1 Ekstremstatistikk for stasjon Lardal-Hærland 14
A4.2 Ekstremstatistikk for stasjon Hedrum 16
A4.3 Ekstremstatistikk for stasjon Larvik 18

A1 Framtidige klimaendringer

Prognoser om framtidige klimaendringer avhenger av hvilket utslippsscenario en legger til grunn. Utslippsscenarioer framstilles som "Representative Concentration Pathways" (RCPer). Disse beskriver forskjellige scenarioer 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. I klimaforskningen regnes utslippene om til ekstra klimapådriv til atmosfæren. Tallet som er knyttet til RCPene refererer til anslått klimapådriv i året 2100 i forhold til ca. år 1765. Ved slutten av vårt århundre vil f. eks. RCP4.5 scenarioet bety en ekstra varmetilførsel på 4,5 W/m^2 til jord-atmosfæresystemet (Hanssen-Bauer m.fl., 2015).

RCP2.6 (mørkeblå kurve i Figur 1-1) er et lavutslippsscenario. Klimagasskonsentrasjonene i atmosfæren minker fra 2040 og er mot slutten av århundret bare litt høyere enn dagens nivå. RCP8.5 (rød kurve i Figur 1-1) er et scenario med høye klimagassutslipp. Det kalles ofte "business as usual" scenarioet, fordi økningen i klimagassutslipp i stor grad følger samme utvikling som vi har hatt de siste tiårene. Scenarioet innebærer at dagens CO_2-utslipp tredobles innen 2100 i tillegg til en rask økning i metanutslipp. I Hanssen-Bauer m.fl. (2015) er de fleste beregninger gjort for RCP4.5 (lyseblå kurve i Figur 1-1) og RCP8.5 (rød kurve i Figur 1-1).



Figur 1-1: Historisk og framtidig klimapådriv ("total radiative forcing") i W/m$_2$fra 1950 til 2100. Pådrivet er gitt i forhold til førindustriell tid. Scenarioer fra tidligere IPCC rapporter (IS92a, SRES A1B, A2 og B1) er framstilt sammen med de nye "Representative Concentration Pathways" (RCP) (Figur 1.15 fra IPCC, 2013; gjengitt som Figur 5.1.1 i Hanssen-Bauer m.fl., 2015)

A2 Nedbørverdier i referanseperiodene 1961-1990 og 1971-2000

A2.1 Om normal- og referanseperioder

Klimaet på et sted beskrives vanligvis ved hjelp av middelverdier og variasjonene rundt disse. Et vanlig begrep innen klimatologi er "normaler", som er betegnelsen på middelverdier over flere tiår. Normaler beregnes for en rekke meteorologiske og hydrologiske elementer, og de er nyttige i analyser av klimavariasjoner i tid så vel som i rom. For at man over hele verden skal kunne sammenligne middelverdier for samme periode, er det avtalt internasjonalt at middelverdier for årene 1901–30, 1931–60, 1961–90, 1991–2020 osv. skal beregnes i alle land. Disse periodene kalles "standard normalperioder". I dagens digitaliserte verden er det vanlig å beregne klimanormaler også for andre 30-årsperioder. I den nyeste utgaven av rapporten "Klima i Norge 2100" (Hanssen-Bauer m.fl., 2015) ble perioden 1971–2000 valgt som referanseperiode for å ha en nyere referanseperiode enn 1961–1990 å forholde seg til.

A2.2 Nedbørverdier for prosjektområdet i referanseperiodene

Tabell A2-1: Månedsnormaler for nedbør for referanseperioden 1961-1990 for stasjonene Lardal-Hærland, Hedrum og Larvik (eKlima)

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
27920	LARDAL - HÆRLAND	77	60	68	54	75	73	91	106	120	141	114	81	1060
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	75	55	68	50	75	69	79	110	121	135	114	76	1027
30000	LARVIK	85	61	71	55	70	64	79	109	112	135	121	88	1050

Tabell A2-2: Månedsnormaler for nedbør for referanseperioden 1971-2000 for stasjonene Lardal-Hærland, Hedrum og Larvik (beregnet fra stasjonsdata fått fra MET)

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
27920	LARDAL - HÆRLAND	78	56	73	53	68	76	83	94	125	139	122	85	1051
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	78	55	74	48	66	72	75	98	119	128	119	80	1012
30000	LARVIK	85	60	79	53	61	65	73	98	111	126	120	91	1022

Tabell A2-3: Månedsnormaler seNorge grid, for referanseperioden 1961-1990 (Kilde: Anita Verpe Dyrrdal v/MET basert på seNorge-grid data)

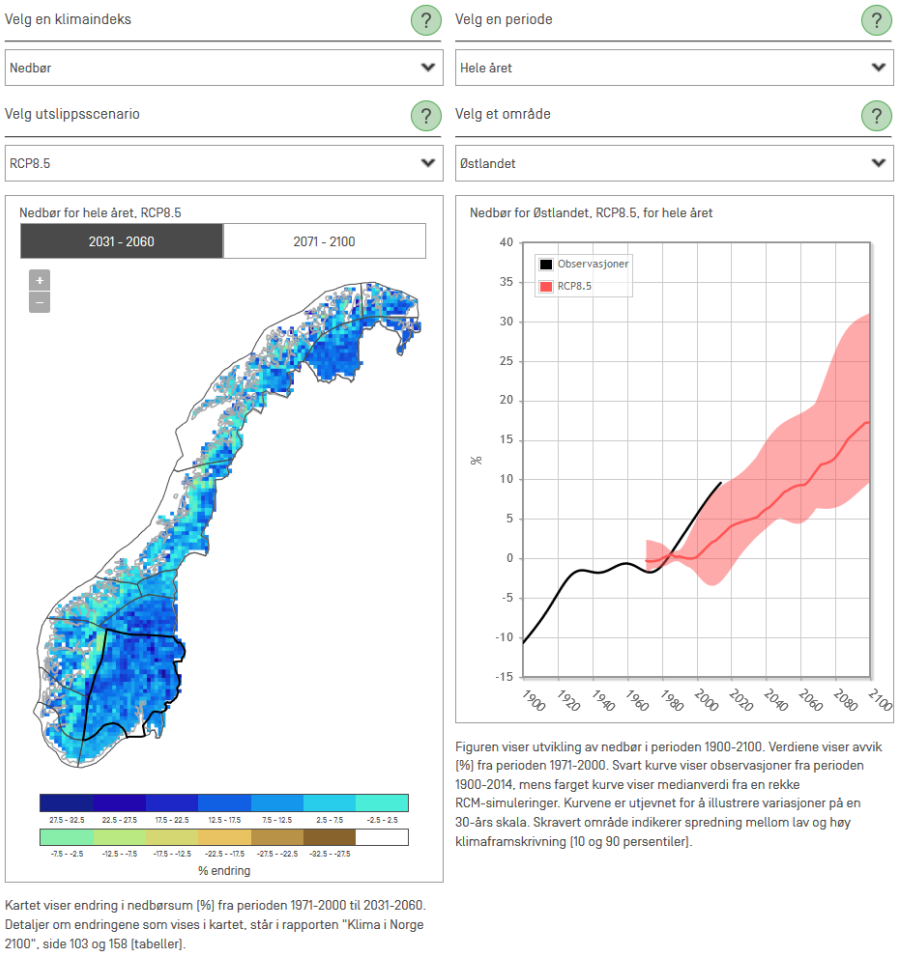
Lokalitetsnr.	Lokalitetsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
1	Hukstrøm bru	74	57	67	52	73	70	87	103	114	135	108	77	1017
2	Oddbergneset	82	61	74	55	79	74	86	114	125	141	119	83	1093
3	Husvann	86	63	78	57	82	76	88	119	130	146	125	87	1137
4	Kvelde og Jordstøyp	89	65	81	58	84	78	90	123	134	149	129	89	1169
5	Gjønnes/Gjone	91	66	81	58	80	76	87	119	128	145	129	91	1151
6	Gloppe bru	103	75	88	61	74	70	83	114	115	142	132	104	1161
7	Revet	107	78	92	63	76	72	86	117	119	147	137	108	1202
8	Stavernkrysset	106	77	90	62	76	72	86	117	120	146	136	108	1196
9	Fritzøeparken	115	85	99	69	84	80	95	130	132	161	150	117	1317
10	Holmjordet	103	75	88	61	74	69	82	113	114	141	132	104	1156
11	Stavern	104	76	90	61	75	70	82	112	114	141	133	105	1163
12	Nevlungshavn	113	82	96	64	78	72	86	116	117	148	141	112	1225
13	Helgeroa	115	84	99	66	80	75	89	122	123	153	146	115	1267

Tabell A2-4: Månedsnormaler seNorge grid, for referanseperioden 1971-2000. (Kilde: Anita Verpe Dyrrdal v/MET basert på seNorge-grid data)

Lokalitetsnr.	Lokalitetsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
1	Hukstrøm bru	82	59	77	57	68	77	84	95	120	132	119	87	1057
2	Oddbergneset	86	61	82	55	70	78	82	103	125	135	126	88	1091
3	Husvann	89	64	85	56	72	79	83	106	128	139	131	91	1123
4	Kvelde og Jordstøyp	91	65	87	57	74	81	84	110	132	143	134	93	1151
5	Gjønnes/Gjone	93	67	88	57	70	77	82	107	127	139	133	96	1136
6	Gloppe bru	104	77	96	62	67	71	80	107	120	137	134	107	1162
7	Revet	108	80	99	63	69	74	82	110	123	141	139	110	1198
8	Stavernkrysset	107	77	97	62	69	73	82	109	123	140	138	109	1186
9	Fritzøeparken	116	85	107	69	76	81	91	120	135	154	152	120	1306
10	Holmjordet	104	78	95	61	66	71	79	105	117	135	133	106	1150
11	Stavern	105	78	96	62	67	71	78	105	117	135	133	106	1153
12	Nevlungshavn	111	82	102	64	70	74	81	110	123	141	139	111	1208
13	Helgeroa	114	85	105	66	72	77	84	114	128	147	144	115	1251

A3 Framtidige nedbørsscenarier for prosjektområdet

Framtidige forventede nedbørsendringer for Østlandet for årene 2045 og 2065 gjengitt i denne rapporten er hentet fra Norsk klimaservicesenter (https://klimaservicesenter.no). Klimaframskrivninger i portalen til Norsk klimaservicesenter vises som et Norgeskart med tilhørende graf. Verdiene for spesifikke år leses ut av grafene. Figur A3-1 viser et eksempel for klimaindeks "Nedbør" for Østlandet for utslippsscenario "business as usual (RCP8.5)" – det vil si at en regner med at økningen i klimagassutslipp i stor grad kommer til å følge samme utvikling som vi har hatt de siste tiårene. Valgt framskrivingsperiode er "2031-2060", og valgt årstid/periode er "hele året".



Figur A3-1: Eksempel fra klimaservicesenter for klimaindeks "Nedbør" med utslippsscenario "business as usual" (RCP8.5), framskrivingsperioden "2031-2060", årstid/periode "hele året" og området "Østlandet" (kilde: https://klimaservicesenter.no). Den sorte kurven viser observasjoner fra 1900-2014, mens den røde kurven viser medianverdien beregnet fra et ensemble av ti klimaframskrivninger. Rødskravert område indikerer spredning mellom lav og høy klimaframskrivning (såkalte 10 og 90 persentiler). Dette er en enkel måte å illustrere usikkerhetsspennet i framskrivningene.

*Tabell A3-1: Månedsnormaler for nedbør for tre stasjoner, framskrivninger for **2045.***

Klimaframskrivning "lav"

Framtidige månedsnormaler for nedbør *basert på referanseperioden 1961-1990*

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
27920	LARDAL - HÆRLAND	79	62	69	55	77	69	86	101	114	134	109	83	1038
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	77	56	69	51	77	66	75	105	115	129	109	78	1005
30000	LARVIK	87	63	72	56	71	61	75	104	107	129	115	90	1030

Framtidige månedsnormaler for nedbør *basert på referanseperioden 1971-2000*

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
27920	LARDAL - HÆRLAND	80	58	75	54	69	72	79	89	119	132	116	87	1029
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	80	57	76	49	67	68	71	93	113	122	114	82	991
30000	LARVIK	87	62	80	54	62	61	69	93	106	120	115	93	1003

Klimaframskrivning "middels"

Framtidige månedsnormaler for nedbør *basert på referanseperioden 1961-1990*

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
27920	LARDAL - HÆRLAND	89	70	79	63	87	75	94	109	126	148	119	94	1154
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	87	64	79	58	87	71	82	114	127	141	119	88	1117
30000	LARVIK	99	71	83	64	81	66	82	112	117	141	127	102	1145

Framtidige månedsnormaler for nedbør *basert på referanseperioden 1971-2000*

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
27920	LARDAL - HÆRLAND	91	65	85	62	79	78	86	97	130	146	128	99	1145
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	90	64	86	56	76	74	77	101	124	135	125	93	1102
30000	LARVIK	99	70	92	62	71	67	75	101	117	132	126	106	1116

Klimaframskrivning "høy"

Framtidige månedsnormaler for nedbør *basert på referanseperioden 1961-1990*

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
27920	LARDAL - HÆRLAND	99	77	82	65	90	84	105	122	141	166	134	97	1263
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	97	71	82	60	90	80	91	127	142	159	134	91	1223
30000	LARVIK	110	79	85	66	84	74	91	126	132	159	142	106	1253

Framtidige månedsnormaler for nedbør *basert på referanseperioden 1971-2000*

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
27920	LARDAL - HÆRLAND	101	73	88	64	81	87	96	108	146	163	143	110	1260
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	100	71	89	58	79	83	86	113	139	151	140	103	1214
30000	LARVIK	110	78	95	64	73	74	84	114	131	148	141	117	1228

*Tabell A3-2: Månedsnormaler for nedbør for tre stasjoner, framskrivninger for **2065.***

Klimaframskrivning "lav"

Framtidige månedsnormaler for nedbør *basert på referanseperioden 1961-1990*

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
27920	LARDAL - HÆRLAND	85	66	73	58	80	68	84	98	113	133	108	89	1055
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	83	61	73	54	80	64	73	102	114	128	108	84	1021
30000	LARVIK	94	67	76	59	75	59	73	101	106	128	114	97	1048

Framtidige månedsnormaler for nedbør *basert på referanseperioden 1971-2000*

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
27920	LARDAL - HÆRLAND	86	62	78	57	73	70	77	87	118	131	115	94	1047
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	85	61	79	52	70	67	69	91	112	121	113	88	1008
30000	LARVIK	93	66	84	57	65	60	68	91	105	119	114	100	1022

Klimaframskrivning "middels"

Framtidige månedsnormaler for nedbør *basert på referanseperioden 1961-1990*

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
27920	LARDAL - HÆRLAND	90	70	83	66	91	75	93	108	129	151	122	95	1172
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	88	64	83	61	91	70	81	112	130	145	122	89	1136
30000	LARVIK	99	71	86	67	85	65	81	111	120	145	130	103	1164

Framtidige månedsnormaler for nedbør *basert på referanseperioden 1971-2000*

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
27920	LARDAL - HÆRLAND	91	66	89	65	82	77	85	96	134	149	131	99	1163
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	91	65	90	59	80	74	76	100	127	138	128	93	1120
30000	LARVIK	99	70	96	65	74	66	75	100	119	135	129	106	1135

Klimaframskrivning "høy"

Framtidige månedsnormaler for nedbør *basert på referanseperioden 1961-1990*

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
27920	LARDAL - HÆRLAND	98	76	89	71	98	88	109	127	140	164	133	103	1296
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	95	70	89	66	98	83	95	132	141	157	133	97	1255
30000	LARVIK	108	77	93	72	92	77	95	131	130	157	141	112	1285

Framtidige månedsnormaler for nedbør *basert på referanseperioden 1971-2000*

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
27920	LARDAL - HÆRLAND	99	72	96	70	89	91	99	113	145	162	142	108	1285
27800	HEDRUM (v/Kvelde)	99	70	97	63	86	86	89	118	138	150	139	101	1237
30000	LARVIK	108	77	103	70	80	77	88	118	130	146	140	116	1252

*Tabell A3-3: Månedsnormaler for nedbør for 13 seNorge grid lokaliteter, framskrivninger for **2045** basert på **referanseperioden 1961-1990.***

Klimaframskrivning "lav"

Lokalitetsnr.	Lokalitetsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
1	Hukstrøm bru	76	58	68	53	74	67	83	98	109	129	103	79	996
2	Oddbergneset	84	63	75	56	81	70	82	108	119	134	113	85	1071
3	Husvann	88	65	80	58	84	72	84	113	124	139	119	89	1114
4	Kvelde+Jordstøyp	91	67	83	59	86	74	86	117	128	142	123	91	1145
5	Gjønnes/Gjone	93	68	83	59	82	72	83	113	122	138	123	93	1128
6	Gloppe bru	106	77	90	62	75	67	79	108	109	135	126	107	1140
7	Revet	110	80	94	64	78	68	82	111	113	140	130	111	1181
8	Stavernkrysset	109	79	92	63	78	68	82	111	114	139	129	111	1175
9	Fritzøeparken	118	87	101	70	86	76	90	124	126	153	143	120	1293
10	Holmjordet	106	77	90	62	75	66	78	107	109	134	126	107	1136
11	Stavern	107	78	92	62	77	67	78	106	109	134	127	108	1143
12	Nevlungshavn	116	84	98	65	80	68	82	110	111	141	134	115	1204
13	Helgeroa	118	86	101	67	82	71	85	116	117	146	139	118	1245

Klimaframskrivning "middels"

Lokalitetsnr.	Lokalitetsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
1	Hukstrøm bru	86	66	78	60	85	72	90	106	119	141	113	89	1107
2	Oddbergneset	95	71	86	64	92	76	89	118	131	148	125	96	1190
3	Husvann	100	73	91	66	95	78	91	123	136	153	131	101	1238
4	Kvelde+Jordstøyp	103	75	94	67	98	80	93	127	140	156	135	103	1273
5	Gjønnes/Gjone	120	77	94	67	93	78	90	123	134	152	135	106	1269
6	Gloppe bru	120	87	102	71	86	72	86	118	121	149	138	121	1270
7	Revet	124	91	107	73	88	74	89	121	125	154	144	125	1315
8	Stavernkrysset	123	89	105	72	88	74	89	121	126	153	143	125	1308
9	Fritzøeparken	134	99	115	80	98	83	98	134	138	169	157	136	1440
10	Holmjordet	120	87	102	71	86	71	85	117	119	148	138	121	1265
11	Stavern	121	88	105	71	87	72	85	116	119	148	139	122	1273
12	Nevlungshavn	131	95	112	74	91	74	89	120	123	155	148	130	1341
13	Helgeroa	134	98	115	77	93	77	92	126	129	160	153	134	1387

Klimaframskrivning "høy"

Lokalitetsnr.	Lokalitetsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
1	Hukstrøm bru	95	74	80	62	88	81	100	119	134	159	127	99	1218
2	Oddbergneset	106	79	89	66	95	85	99	132	147	166	140	107	1310
3	Husvann	111	81	94	68	98	88	102	137	153	172	147	112	1363
4	Kvelde+Jordstøyp	115	84	97	70	101	90	104	142	157	175	152	115	1401
5	Gjønnes/Gjone	138	85	97	70	96	88	100	137	150	170	152	117	1401
6	Gloppe bru	138	97	106	73	89	81	96	132	135	167	155	134	1402
7	Revet	138	101	110	76	91	83	99	135	140	173	161	139	1446
8	Stavernkrysset	137	99	108	74	91	83	99	135	141	172	160	139	1439
9	Fritzøeparken	148	110	119	83	101	92	110	150	155	189	176	151	1584
10	Holmjordet	133	97	106	73	89	80	95	131	134	166	155	134	1391
11	Stavern	134	98	108	73	90	81	95	129	134	166	156	135	1400
12	Nevlungshavn	146	106	115	77	94	83	99	134	137	174	166	144	1475
13	Helgeroa	148	108	119	79	96	87	103	141	145	180	172	148	1525

*Tabell A3-4: Månedsnormaler for nedbør for 13 seNorge grid lokaliteter, framskrivninger for **2045** basert på **referanseperioden 1971-2000.***

Klimaframskrivning "lav"

Lokalitetsnr.	Lokalitetsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
1	Hukstrøm bru	84	60	79	58	69	73	80	90	114	126	113	89	1036
2	Oddbergneset	88	63	84	56	71	74	78	98	119	129	120	90	1069
3	Husvann	91	66	87	57	73	75	79	101	122	132	125	93	1101
4	Kvelde+Jordstøyp	93	67	89	58	75	77	80	105	126	136	128	95	1128
5	Gjønnes/Gjone	95	69	90	58	71	73	78	102	121	132	127	98	1114
6	Gloppe bru	107	79	98	63	68	67	76	102	114	130	128	110	1142
7	Revet	111	82	101	64	70	70	78	105	117	134	132	113	1177
8	Stavernkrysset	110	79	99	63	70	69	78	104	117	133	131	112	1165
9	Fritzøeparken	119	87	109	70	78	77	86	114	129	147	145	123	1283
10	Holmjordet	107	80	97	62	67	67	75	100	111	129	127	109	1130
11	Stavern	108	80	98	63	68	67	74	100	111	129	127	109	1134
12	Nevlungshavn	114	84	104	65	71	70	77	105	117	134	132	114	1188
13	Helgeroa	117	87	107	67	73	73	80	108	122	140	137	118	1230

Klimaframskrivning "middels"

Lokalitetsnr.	Lokalitetsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
1	Hukstrøm bru	95	68	89	66	79	79	87	98	126	138	125	101	1152
2	Oddbergneset	100	71	95	64	81	80	85	106	131	141	132	102	1189
3	Husvann	103	74	99	65	84	82	86	109	134	146	137	106	1224
4	Kvelde+Jordstøyp	106	75	101	66	86	84	87	114	138	150	140	108	1255
5	Gjønnes/Gjone	121	78	102	66	81	79	85	110	133	146	139	111	1252
6	Gloppe bru	121	89	112	72	78	73	83	110	126	144	140	124	1272
7	Revet	125	93	115	73	80	76	85	114	129	148	146	128	1311
8	Stavernkrysset	124	89	113	72	80	75	85	112	129	147	145	127	1298
9	Fritzøeparken	135	99	124	80	88	84	94	124	141	161	159	139	1429
10	Holmjordet	121	91	110	71	77	73	82	108	123	141	139	123	1259
11	Stavern	122	91	112	72	78	73	80	108	123	141	139	123	1263
12	Nevlungshavn	129	95	119	74	81	76	84	114	129	148	146	129	1323
13	Helgeroa	132	99	122	77	84	79	87	118	134	154	151	134	1370

Klimaframskrivning "høy"

Lokalitetsnr.	Lokalitetsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
1	Hukstrøm bru	106	76	92	68	82	89	97	110	141	155	140	112	1268
2	Oddbergneset	111	79	98	66	84	90	95	119	147	159	148	114	1309
3	Husvann	115	83	102	67	86	91	96	122	150	163	154	117	1348
4	Kvelde+Jordstøyp	117	84	104	68	89	94	97	127	155	168	157	120	1381
5	Gjønnes/Gjone	139	86	106	68	84	89	95	124	149	163	156	124	1384
6	Gloppe bru	139	99	115	74	80	82	92	124	141	161	157	138	1404
7	Revet	139	103	119	76	83	85	95	127	145	166	163	142	1442
8	Stavernkrysset	138	99	116	74	83	84	95	126	145	165	162	141	1428
9	Fritzøeparken	150	110	128	83	91	94	105	139	159	181	179	155	1572
10	Holmjordet	134	101	114	73	79	82	91	121	137	159	156	137	1385
11	Stavern	135	101	115	74	80	82	90	121	137	159	156	137	1389
12	Nevlungshavn	143	106	122	77	84	85	94	127	145	166	163	143	1455
13	Helgeroa	147	110	126	79	86	89	97	132	150	173	169	148	1507

Tabell A3-5: Månedsnormaler for nedbør for 13 seNorge grid lokaliteter, framskrivninger for ***2065*** *basert på* ***referanseperioden 1961-1990.***

Klimaframskrivning "lav"

Lokalitetsnr.	Lokalitetsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
1	Hukstrøm bru	81	63	72	56	78	65	80	95	108	128	102	85	1012
2	Oddbergneset	90	67	79	59	85	68	80	105	118	133	112	91	1088
3	Husvann	95	69	83	61	88	70	81	110	123	138	118	96	1133
4	Kvelde+Jordstøyp	98	72	87	62	90	72	83	114	127	141	122	98	1164
5	Gjønnes/Gjone	100	73	87	62	86	70	80	110	121	137	122	100	1148
6	Gloppe bru	113	83	94	65	79	65	77	105	109	134	125	114	1163
7	Revet	118	86	98	67	81	67	80	108	112	139	129	119	1205
8	Stavernkrysset	117	85	96	66	81	67	80	108	113	138	129	119	1198
9	Fritzøeparken	127	94	106	74	90	74	88	120	125	152	142	129	1319
10	Holmjordet	113	83	94	65	79	64	76	105	108	133	125	114	1159
11	Stavern	114	84	96	65	80	65	76	104	108	133	126	116	1166
12	Nevlungshavn	124	90	103	68	83	67	80	107	111	140	133	123	1229
13	Helgeroa	127	92	106	71	86	69	82	113	116	145	138	127	1271

Klimaframskrivning "middels"

Lokalitetsnr.	Lokalitetsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
1	Hukstrøm bru	86	67	81	63	89	71	89	105	122	145	116	90	1125
2	Oddbergneset	96	71	90	67	96	76	88	116	134	151	128	97	1210
3	Husvann	100	74	95	69	100	78	90	121	140	157	134	102	1259
4	Kvelde+Jordstøyp	104	76	98	70	102	80	92	126	144	160	139	104	1294
5	Gjønnes/Gjone	120	77	98	70	97	78	89	121	137	156	139	106	1289
6	Gloppe bru	120	88	107	74	90	71	85	116	124	153	142	121	1290
7	Revet	125	91	112	77	92	74	88	119	128	158	147	126	1336
8	Stavernkrysset	124	90	109	75	92	74	88	119	129	157	146	126	1329
9	Fritzøeparken	134	99	120	84	102	82	97	133	142	173	161	137	1463
10	Holmjordet	120	88	107	74	90	70	84	115	122	151	142	121	1285
11	Stavern	121	89	109	74	91	71	84	114	122	151	143	123	1293
12	Nevlungshavn	132	96	117	78	95	74	88	118	126	159	151	131	1363
13	Helgeroa	134	98	120	80	97	77	91	125	132	164	157	134	1409

Klimaframskrivning "høy"

Lokalitetsnr.	Lokalitetsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
1	Hukstrøm bru	94	72	88	68	96	84	104	124	133	157	126	98	1244
2	Oddbergneset	104	77	97	72	103	89	103	137	146	164	139	105	1337
3	Husvann	109	80	102	75	107	91	106	143	151	170	146	110	1391
4	Kvelde+Jordstøyp	113	83	106	76	110	94	108	148	156	174	150	113	1430
5	Gjønnes/Gjone	136	84	106	76	105	91	104	143	149	169	150	116	1429
6	Gloppe bru	136	95	115	80	97	84	100	137	134	165	154	132	1429
7	Revet	136	99	121	83	100	86	103	140	139	171	160	137	1474
8	Stavernkrysset	135	98	118	81	100	86	103	140	140	170	158	137	1467
9	Fritzøeparken	146	108	130	90	110	96	114	156	154	188	175	149	1615
10	Holmjordet	131	95	115	80	97	83	98	136	133	164	154	132	1418
11	Stavern	132	97	118	80	98	84	98	134	133	164	155	133	1427
12	Nevlungshavn	144	104	126	84	102	86	103	139	136	172	164	142	1503
13	Helgeroa	146	107	130	86	105	90	107	146	143	178	170	146	1555

*Tabell A3-6: Månedsnormaler for nedbør for 13 seNorge grid lokaliteter, framskrivninger for **2065** basert på **referanseperioden 1971-2000.***

Klimaframskrivning "lav"

Lokalitetsnr.	Lokalitetsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
1	Hukstrøm bru	90	65	82	61	73	71	78	88	113	125	112	96	1054
2	Oddbergneset	95	67	88	59	75	72	76	95	118	128	119	97	1088
3	Husvann	98	70	91	60	77	73	77	98	121	131	124	100	1120
4	Kvelde+Jordstøyp	100	72	93	61	79	75	78	102	125	135	127	102	1148
5	Gjønnes/Gjone	102	74	94	61	75	71	76	99	120	131	126	106	1135
6	Gloppe bru	114	85	103	66	72	66	74	99	113	129	127	118	1166
7	Revet	119	88	106	67	74	68	76	102	116	133	131	121	1202
8	Stavernkrysset	118	85	104	66	74	68	76	101	116	132	130	120	1189
9	Fritzøeparken	128	94	114	74	81	75	84	111	128	146	144	132	1310
10	Holmjordet	114	86	102	65	71	66	73	97	111	128	126	117	1154
11	Stavern	116	86	103	66	72	66	72	97	111	128	126	117	1157
12	Nevlungshavn	122	90	109	68	75	68	75	102	116	133	131	122	1213
13	Helgeroa	125	94	112	71	77	71	78	105	121	139	136	127	1256

Klimaframskrivning "middels"

Lokalitetsnr.	Lokalitetsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
1	Hukstrøm bru	96	69	94	69	83	79	86	97	129	142	128	102	1171
2	Oddbergneset	100	71	100	67	85	80	84	105	134	145	135	103	1209
3	Husvann	104	75	103	68	87	81	85	108	137	149	141	106	1245
4	Kvelde+Jordstøyp	106	76	106	69	90	83	86	112	142	154	144	109	1275
5	Gjønnes/Gjone	121	78	107	69	85	79	84	109	136	149	143	112	1273
6	Gloppe bru	121	90	117	75	81	72	82	109	129	147	144	125	1293
7	Revet	126	93	120	77	84	76	84	112	132	151	149	128	1333
8	Stavernkrysset	125	90	118	75	84	75	84	111	132	150	148	127	1319
9	Fritzøeparken	135	99	130	84	92	83	93	123	145	165	163	140	1453
10	Holmjordet	121	91	115	74	80	72	81	107	126	145	143	124	1280
11	Stavern	123	91	117	75	81	72	80	107	126	145	143	124	1283
12	Nevlungshavn	130	96	124	78	85	76	83	112	132	151	149	130	1345
13	Helgeroa	133	99	128	80	87	79	86	116	137	158	155	134	1392

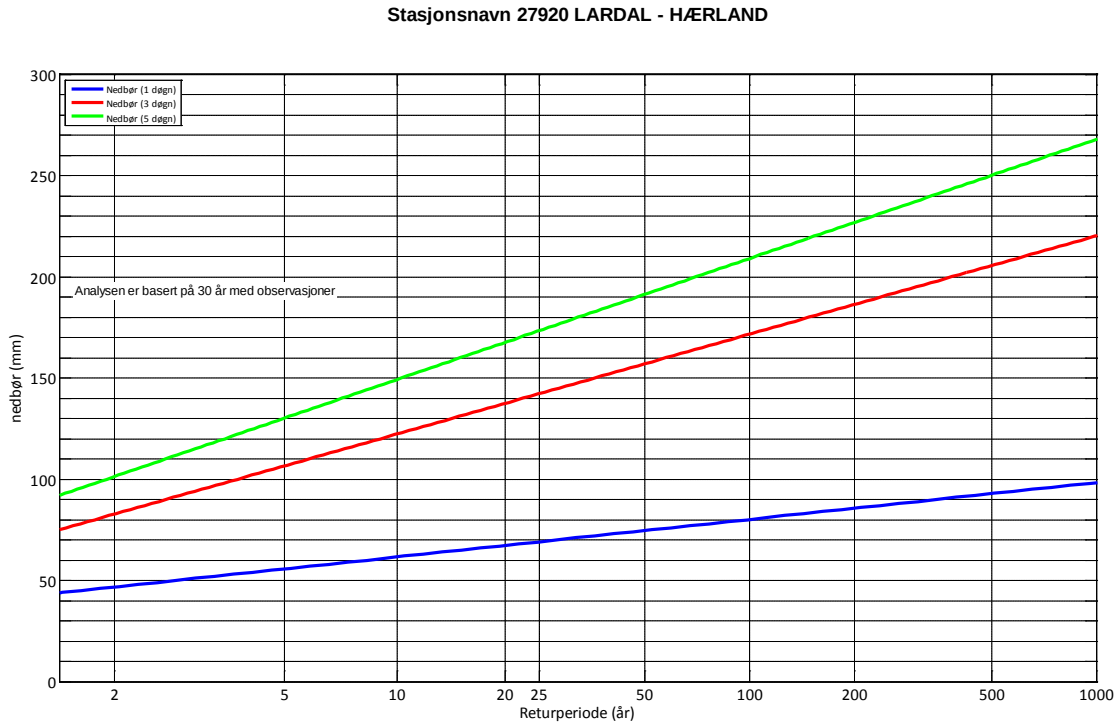
Klimaframskrivning "høy"

Lokalitetsnr.	Lokalitetsnavn	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
1	Hukstrøm bru	104	75	101	75	89	92	101	114	140	154	139	110	1294
2	Oddbergneset	109	77	107	72	92	94	98	124	146	157	147	112	1335
3	Husvann	113	81	111	73	94	95	100	127	149	162	153	116	1374
4	Kvelde+Jordstøyp	116	83	114	75	97	97	101	132	154	167	156	118	1408
5	Gjønnes/Gjone	137	85	115	75	92	92	98	128	148	162	155	122	1410
6	Gloppe bru	137	98	126	81	88	85	96	128	140	160	156	136	1431
7	Revet	137	102	130	83	90	89	98	132	143	164	162	140	1470
8	Stavernkrysset	136	98	127	81	90	88	98	131	143	163	161	138	1455
9	Fritzøeparken	147	108	140	90	100	97	109	144	157	179	177	152	1602
10	Holmjordet	132	99	124	80	86	85	95	126	136	157	155	135	1411
11	Stavern	133	99	126	81	88	85	94	126	136	157	155	135	1415
12	Nevlungshavn	141	104	134	84	92	89	97	132	143	164	162	141	1483
13	Helgeroa	145	108	138	86	94	92	101	137	149	171	168	146	1535

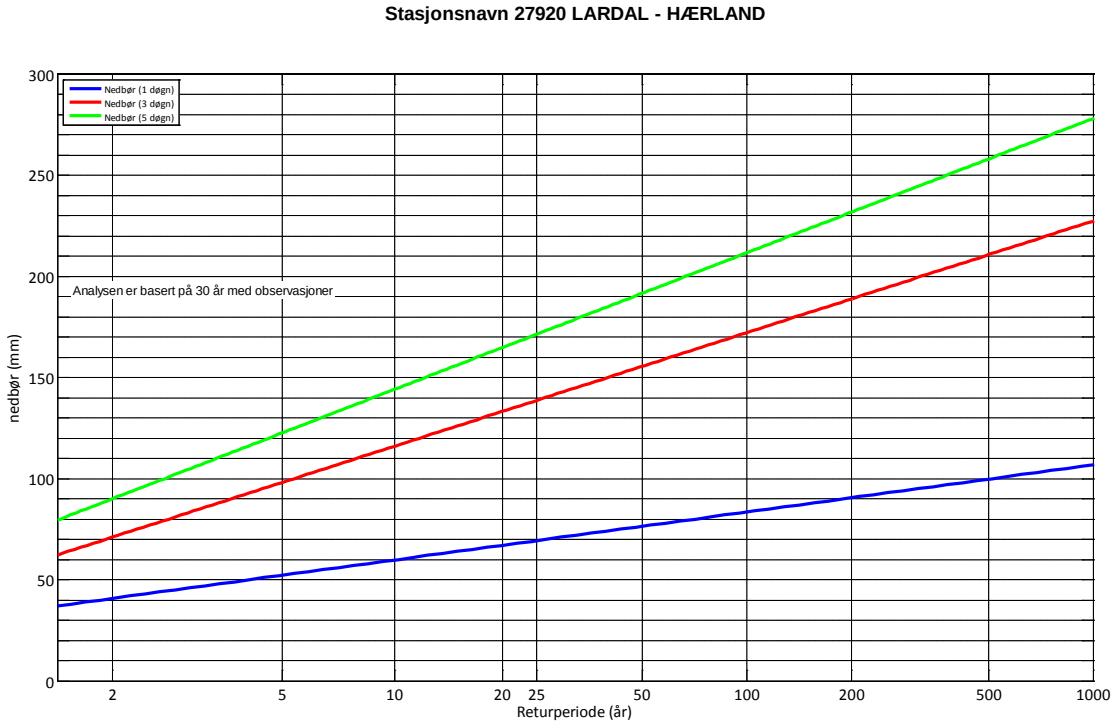
A4 Ekstremstatistikk

A4.1 Ekstremstatistikk for stasjon Lardal-Hærland

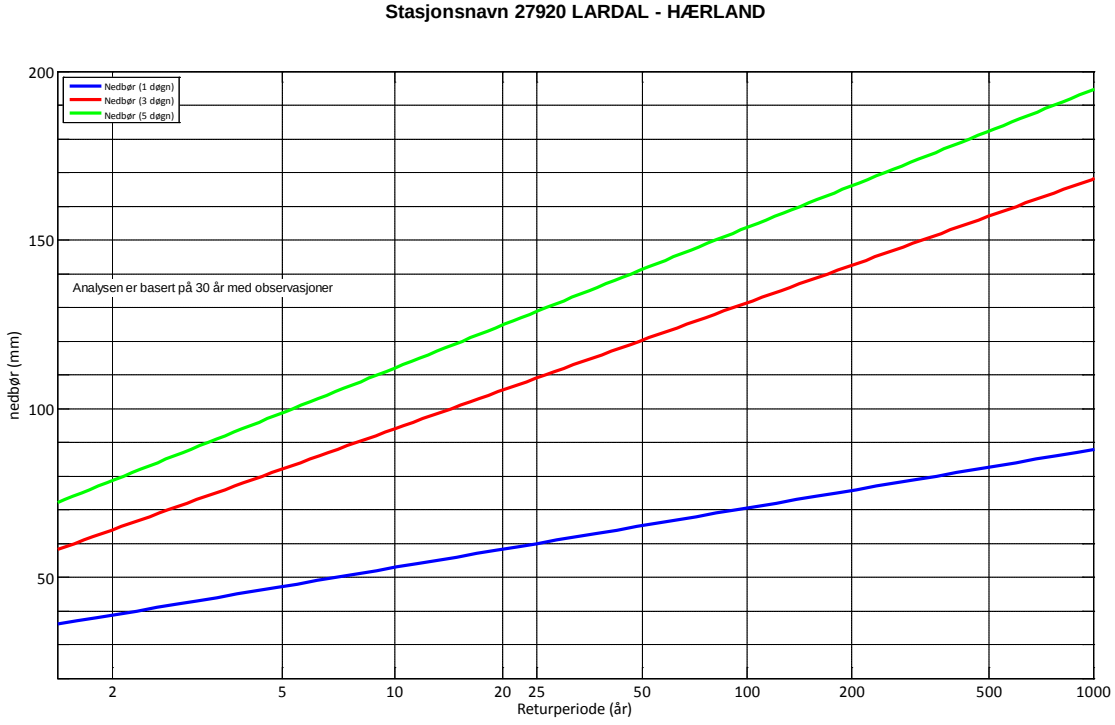
Hele året



Vinter (okt-mar)



Sommer (apr-sep)



Ti høyeste verdier for valgt periode

Stasjonsnummer	27920
Stasjonsnavn	LARDAL - HÆRLAND

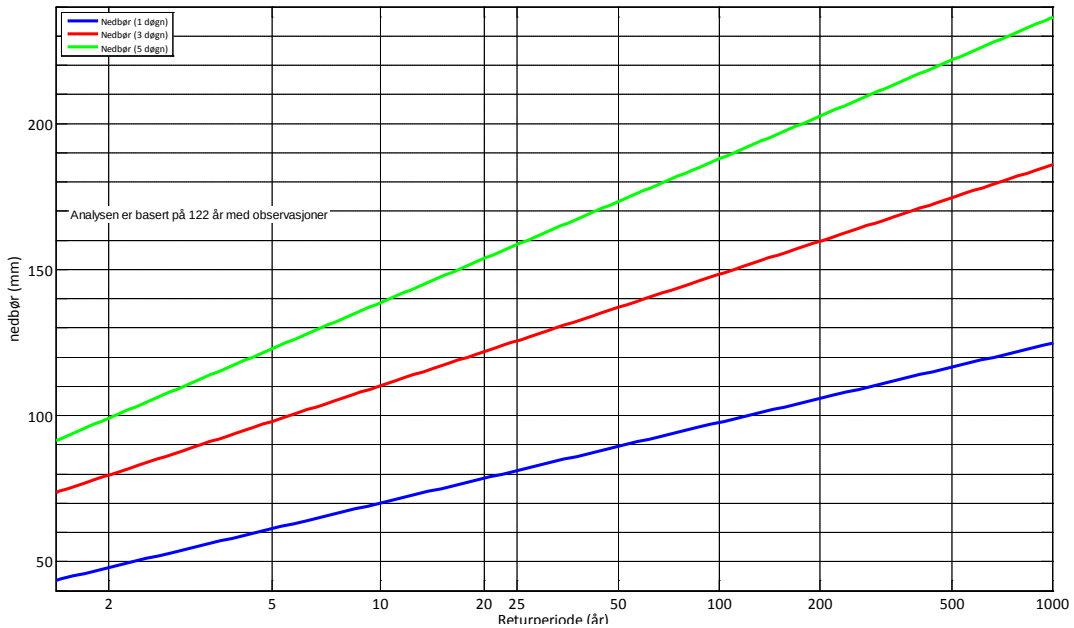
Valgt tidsrom 31/03/1973 - 20/12/2002

TA (^{o}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	19/12/2002	0.0	19/12/2002	77.0	15/10/1976	171.6	16/10/1976	212.0	17/10/1976	140.0	11/02/1994
0.0	19/12/2002	0.0	19/12/2002	65.0	24/01/2001	154.9	15/10/1976	200.2	16/10/1976	140.0	10/02/1994
0.0	19/12/2002	0.0	19/12/2002	61.6	08/11/2000	134.1	17/10/1976	193.7	18/10/1976	140.0	25/03/1978
0.0	18/12/2002	0.0	18/12/2002	61.3	16/10/1987	131.4	11/09/1994	159.8	15/10/1976	139.0	24/03/1978
0.0	18/12/2002	0.0	18/12/2002	60.5	23/09/1973	128.0	10/11/2000	154.8	17/10/1987	138.0	12/02/1994
0.0	18/12/2002	0.0	18/12/2002	55.2	04/09/1995	121.4	25/01/2001	154.5	19/10/1976	135.0	04/03/1994
0.0	17/12/2002	0.0	17/12/2002	54.7	10/09/1994	119.7	26/01/2001	151.9	12/11/2000	135.0	26/03/1978
0.0	17/12/2002	0.0	17/12/2002	54.5	11/07/2000	118.1	17/10/1987	150.3	22/11/2000	132.0	14/02/1994
0.0	17/12/2002	0.0	17/12/2002	53.9	14/10/1976	114.3	04/11/1991	149.5	11/09/1994	132.0	13/02/1994
0.0	16/12/2002	0.0	16/12/2002	53.6	30/10/1990	113.0	10/09/1994	145.3	27/01/2001	130.0	15/02/1994

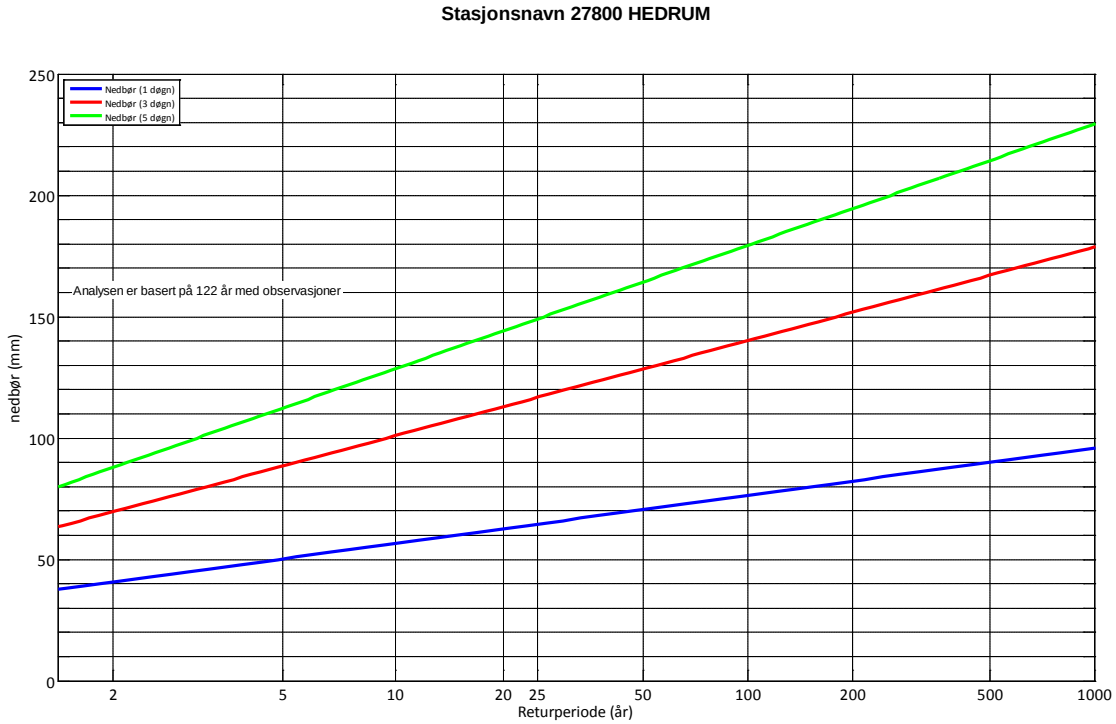
A4.2 Ekstremstatistikk for stasjon Hedrum

For hele året

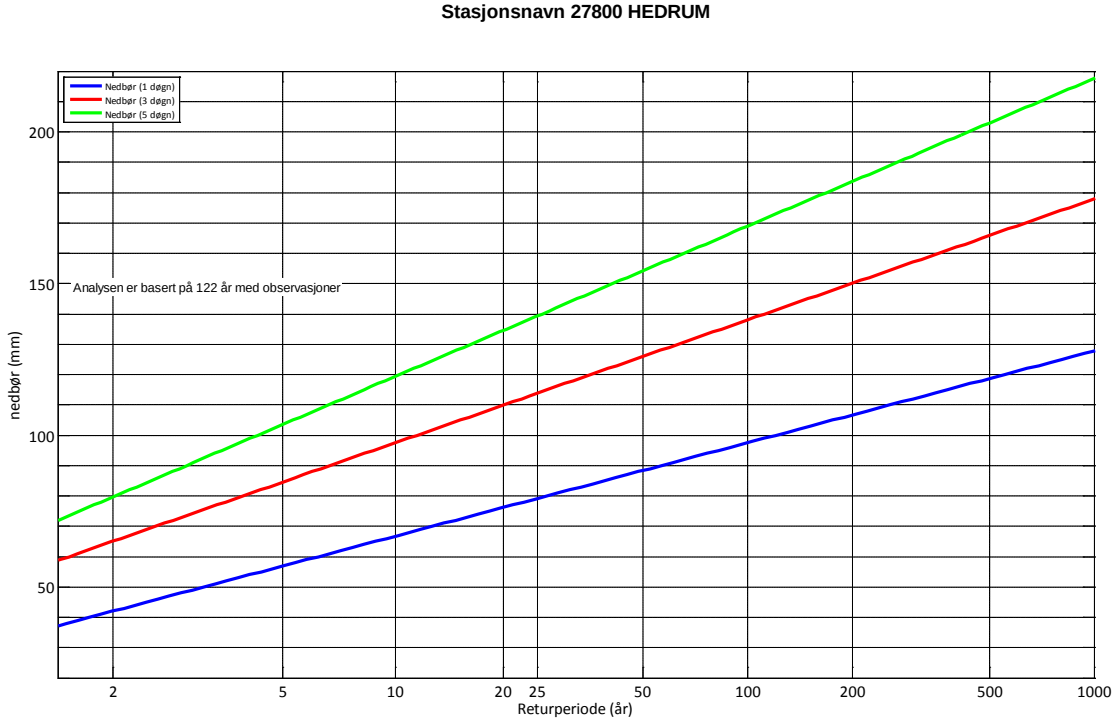
Stasjonsnavn 27800 HEDRUM



Vinter (okt-mars)



Sommer (apr-sep)



Ti høyeste verdier for valgt periode

Stasjonsnummer	27800
Stasjonsnavn	HEDRUM

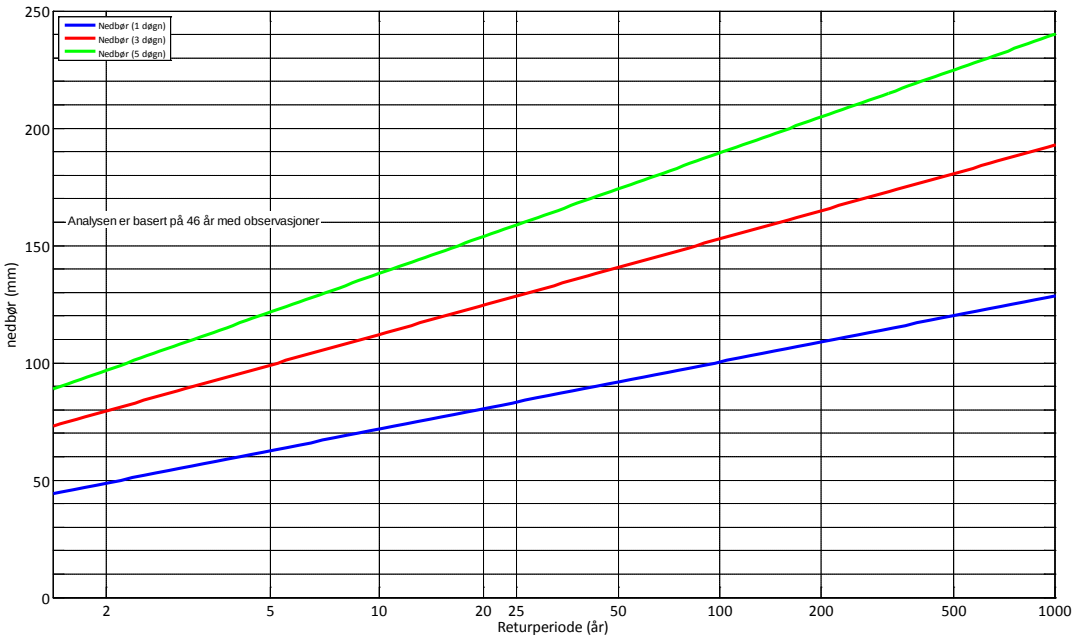
Valgt tidsrom 01/07/1895 - 16/02/2016

TA (^{O}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	111.0	10/09/1905	138.0	14/08/2008	185.5	11/09/1905	180.0	01/03/1900
0.0	14/02/2016	0.0	14/02/2016	108.5	23/08/1988	136.5	16/08/2008	185.5	10/09/1905	180.0	28/02/1900
0.0	13/02/2016	0.0	13/02/2016	94.0	14/08/2008	134.5	07/10/2010	181.2	18/09/2015	180.0	27/02/1900
0.0	12/02/2016	0.0	12/02/2016	92.0	25/08/1950	133.5	15/08/2008	180.8	23/09/2015	180.0	26/02/1900
0.0	11/02/2016	0.0	11/02/2016	78.0	06/08/1985	130.5	18/09/2015	170.4	20/08/2008	178.0	03/03/1900
0.0	10/02/2016	0.0	10/02/2016	76.0	13/01/1934	128.0	05/07/2007	162.3	16/01/1934	178.0	02/03/1900
0.0	09/02/2016	0.0	09/02/2016	75.5	21/09/1930	126.9	23/08/1988	160.9	23/08/1988	172.0	04/03/1900
0.0	09/02/2016	0.0	09/02/2016	73.0	04/07/2007	124.2	24/08/1988	159.6	17/01/1934	170.0	05/03/1900
0.0	08/02/2016	0.0	08/02/2016	72.5	15/08/2011	124.0	15/01/1934	158.9	12/10/2014	165.0	06/03/1900
0.0	08/02/2016	0.0	08/02/2016	71.5	08/08/1931	124.0	11/09/1905	158.1	24/08/1988	165.0	25/02/1900

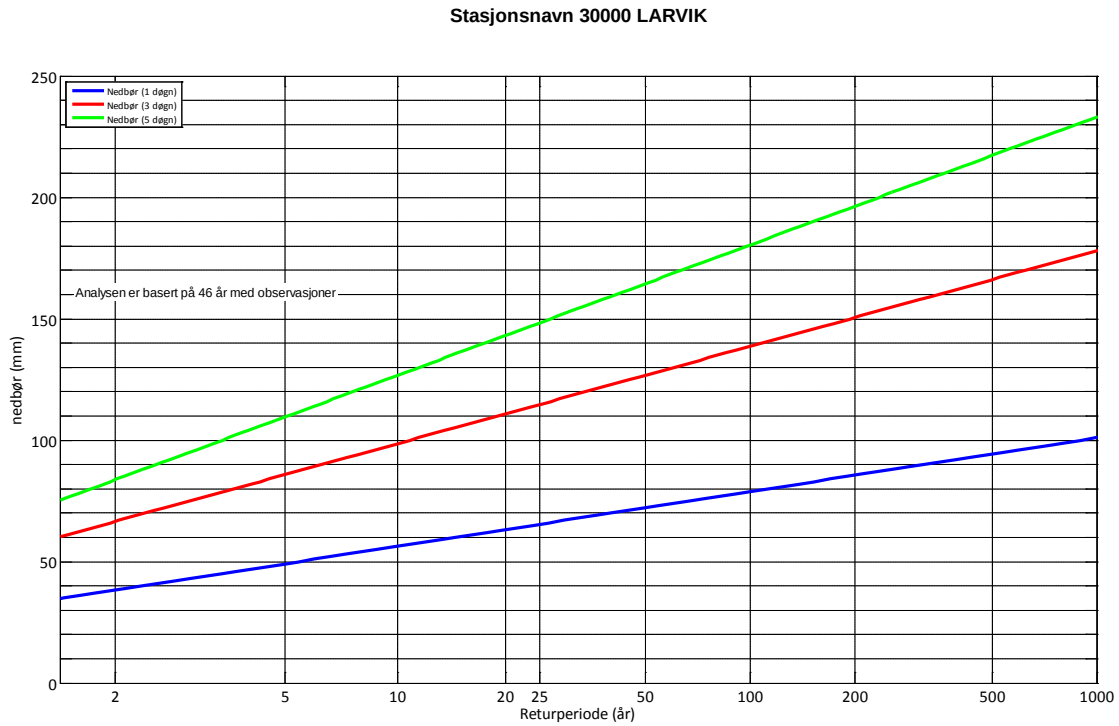
A4.3 Ekstremstatistikk for stasjon Larvik

For hele året

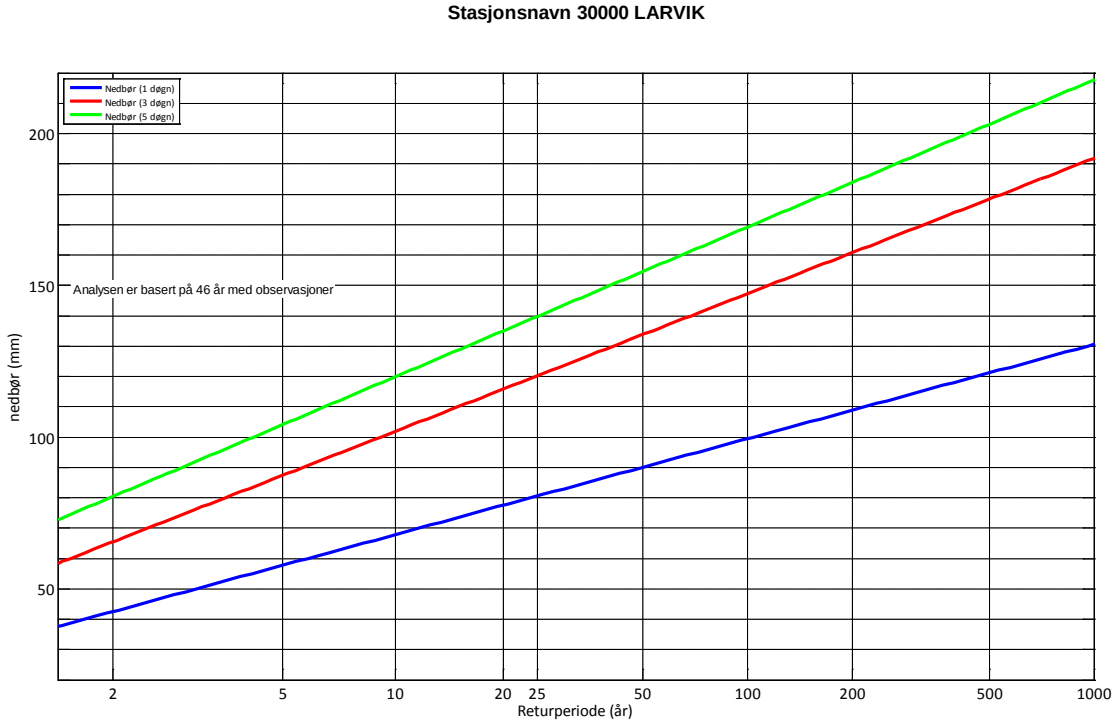
Stasjonsnavn 30000 LARVIK



Vinter (okt-mar)



Sommer (apr-sep)



Ti høyeste verdier for valgt periode

Stasjonsnummer	30000
Stasjonsnavn	LARVIK

Valgt tidsrom 30/09/1971 - 16/02/2016

TA (^{o}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

Vedlegg B

KLIMAPROFIL VESTFOLD

Norsk klimaservicesenter

Klimaprofil Vestfold

Desember 2015

Meløstranda Camping, 2007. Foto: NRK/Yngve Tørrestad.

Meteorologisk institutt
uniResearch
Norges vassdrags- og energidirektorat
NVE

Klimaprofilen gir et kortfattet sammendrag av klimaet, forventede klimaendringer og klimautfordringer i Vestfold fylke. Den er ment som kunnskapsgrunnlag og hjelpemiddel i overordnet planlegging, samt supplement til Klimahjelperen [1]. Klimaprofilen gir en oversikt over klimarelaterte problemstillinger og opplysninger om hvor en kan få mer detaljert informasjon om disse. Mye av innholdet i klimaprofilen er hentet fra «Klima i Norge 2100» [2], og har fokus på endringer frem mot slutten av århundret (2071-2100) i forhold til 1971-2000. Klimaet vil fortsette å endre seg etter 2100 dersom ikke de menneskeskapte utslippene reduseres vesentlig. I klimaprofilen beskrives forventede klimaendringer med høye klimagassutslipp fordi regjeringen i Stortingsmeldingen om Klimatilpasning [3] sier at en for å være «føre var» skal legge til grunn høye alternativer fra de nasjonale klimafremskrivningene når konsekvensene av klimaendringer vurderes. Dette tilsvarer at de globale klimagassutslippene fortsetter å øke som i de siste tiårene. «Klima i Norge 2100» inkluderer også klimafremskrivninger basert på såkalte middels og lave utslipp. Sistnevnte oppfyller 2-gradersmålet, som innebærer at temperaturøkningen relativt til 1850 holder seg under to grader globalt. Dette vil kreve drastiske utslippsreduksjoner. Selv med laveutslipp får vi et varmere og våtere klima i Norge, men endringene blir vesentlig mindre enn med høye utslipp. For samme klimagassutslipp vil ulike klimamodeller gi forskjellig resultat. I klimaprofilen beskrives gjennomsnittet fra ulike modeller. Spredningen i resultater er beskrevet nærmere i «Klima i Norge 2100».

Klimaendringene vil særlig føre til behov for tilpasning i forhold til ekstremnedbør og økte problemer med overvann; havnivåstigning og stormflo; endringer i flomforhold; og skred.

Tabell 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.

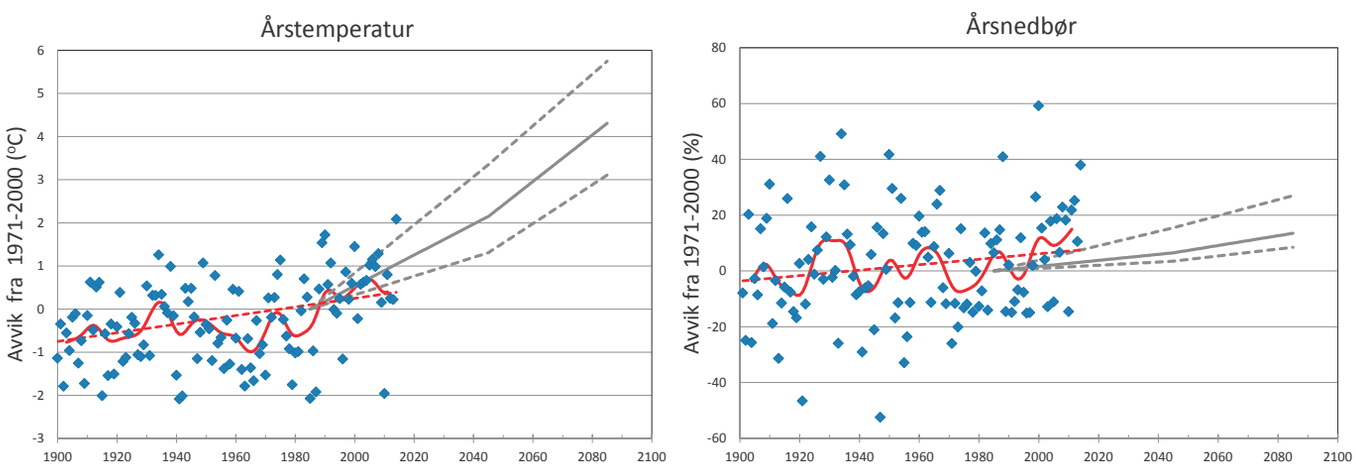
Økt sannsynlighet	Mulig økt sannsynlighet	Uendret eller mindre sannsynlighet	Usikkert
	Forklaring		
Ekstremnedbør	*Det er forventet at episoder med kraftig nedbør øker vesentlig både i intensitet og hyppighet. Dette vil også føre til mer overvann*		
Sterk vind	*Liten endring.*		
Regnflom	*Det forventes 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*		

1. Klimaet og klimaendringer i Vestfold

Klimaet i Vestfold kjennetegnes 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. 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. Når det gjelder vind beregnes ingen store endringer, men usikkerheten er stor.

1.1 Temperatur

Gjennomsnittlig årstemperatur i Vestfold er beregnet å øke med ca.4,5 °C. Den største temperatur-økningen (ca. 5,5 °C) beregnes for vinteren, mens sommertemperaturen er beregnet å øke med ca. 3,5 °C. Vekstsesongen vil øke med 1-2 måneder. Dager med svært lave temperaturer blir sjeldnere.



Figur 1. Historisk og beregnet fremtidig årsmiddeltemperatur og årsnedbør i Vestfold.

Figuren viser avvik i årsmiddeltemperatur (˚C) og nedbør (%) fra gjennomsnittsverdi for perioden 1971-2000. For utvalgte steder i Vestfold er disse gjennomsnittverdiene for temperatur og nedbør: Færder: 7,8 ˚C / 650 mm, Tønsberg, Sandefjord og Tønsberg: 6,7 ˚C / 900 mm, Stokke: 6,0 ˚C / 1150 mm og Lardal: 5,2 ˚C / 1050 mm

- Blå prikker viser verdier for enkeltår i perioden 1900-2014 Stiplet rød strek er observert trend, mens heltrukket rød strek viser glattede 10-års variasjoner
- Heltrukken grå strek og stiplete grå streker viser hhv. gjennomsnitt, lav og høy modellberegning for høye utslipp

1.2 Nedbør

Årsnedbøren i Vestfold er beregnet å øke med ca. 15 %. Sesongmessig fordeler dette seg slik:

- Vinter: ca. 30 %
- Vår: ca. 25 %
- Sommer: ca. 0 % (ingen vesentlig endring)
- Høst: ca. 10 %

Det er forventet at episoder med kraftig nedbør øker vesentlig både i intensitet og hyppighet i alle årstider.

Dette vil stille større krav til bl.a. overvannshåndteringen i fremtiden. Nedbørmengden for døgn med kraftig nedbør forventes å øke med 15-20 %. For kortvarige nedbørepisoder er det indikasjoner på at økningen i intensitet kan være større enn for verdiene i løpet av ett døgn.

1.3 Vind

Klimamodellene gir liten eller ingen endring i midlere vindforhold i dette århundret, men usikkerheten i fremskrivningene for vind er stor. Det viktigste for kommuner er at kunnskap om lokale vindforhold tas med i planleggingen.

1.4 Snø

Det beregnes en betydelig reduksjon i snømengdene og antall dager med snø i lavereliggende områder nær kysten. I slike områder vil snøen bli nesten borte i mange år, men det vil fortsatt være enkelte år med betydelig snøfall også her. Det vil bli flere smelteepisoder om vinteren som følge av økning i temperaturen. Snølast på tak vil neppe øke ut over det som omfattes av gjeldende standard.

2. Effekter på hydrologi

Gradvis reduserte snømengder vil gi gradvis mindre snøsmelteflommer, mens regnflommene i kystnære vassdrag i lavlandet forventes å bli større. Økt forekomst av lokal, intens nedbør øker sannsynligheten for flom i tettbygde strøk og i små elver som reagerer raskt på regn. Man må være spesielt oppmerksom på at mindre bekker og elver kan finne nye flomveier. Flomfare i et endra klima skal det tas hensyn til jf. kravene i TEK10

2.1 Flom og vannføring

Dagens forhold

Numedalslågen er Vestfolds største elv. Nedbørfeltet dekker drøyt 5 500 km^2 og vassdraget har sitt utspring på Hardangervidda i Buskerud og munner ut ved Larvik i Vestfold. Vassdraget er sterkt regulert med store magasiner blant annet i Tunhovdfjorden og Pålsbufjorden. I Numedalslågen er vårflommen med hovedbidrag fra snøsmelting, vanligvis årets største flom. Imidlertid kan også rene regnflommer bli svært store og gi skade. Målinger viser at Numedalslågen nedenfor reguleringene kan få stor flomvannføring forårsaket av mye regn og stort lokaltilsig. I de mindre elvene i Vestfold for øvrig, er det gjerne regnflommer om sommeren og høsten som er årets største flom. I enkelte tilfeller gir også snøsmelting et bidrag til høstflommene.

Sideelver og bekker som bryter ut av sitt normale løp kan være en viktig skadeårsak i flomsituasjoner. Skadepotensialet er spesielt stort når elva går gjennom tettsteder og byggefelt. Mange norske byggefelt er anlagt på skredvifter rundt småelver og på dalfyllinger i leirjordsområder. Skadene her skyldes ofte oversvømmelse eller erosjon/graving.

Ved NVEs målestasjoner i Numedalslågen, er det registrert flere store flomhendelser på slutten av 1800-tallet og begynnelsen av 1900-tallet. Ved målestasjonen Holmfoss i Vestfold som ble opprettet i 1970, er en regnflom i juli 2007 på drøyt 1000 m^3/s, den største siden registreringene startet. Flommen gav relativt store skader, men i et historisk perspektiv var ikke denne flommen ekstrem. I september 2015 ble det målt ca. 950 m3/s ved Holmfoss. Også dette var en ren regnflom som forårsaket en del stengte veier og oversvømte jordbruksarealer.

I Vestfold er det flere byer og tettsteder i tillegg til mye spredt bebyggelse. Flomskadene kan derfor bli relativt store både på bebyggelse og jordbruksområder. Dessuten skaper flom ofte problemer for fremkommelighet på vegnettet.

Observerte endringer

Basert på utvalgte målestasjoner er det beregnet at vannføringen i Vestfold i perioden 1985-2014 er ca. 5 % større enn perioden 1971-2000. Vannføringen har økt i alle årstider.

Fremtidige endringer

Gjennomsnittsvannføringen over året og nedbørendringer henger sammen, men økt temperatur vil også påvirke vannføringen (påvirker både snøakkumulasjon, snøsmeltning og fordampning). I Vestfold forventes gjennomsnittlig årlig vannføring å endres lite. Derimot er det forventet endringer i sesongvannføring: vinter - økt vannføring (økt nedbør og mer vil komme som regn), vår - økt vannføring i fjellet og dermed i Numedalslågen, redusert i lavlandet (snøsmeltingen stort sett ferdig i lavlandet), sommer - redusert vannføring (økt fordampning), høst – liten endring (mer regn, men større fordampning).

Klimaendringer i form av mer intense nedbørepisoder, høyere temperatur og mer nedbør som regn forventes å endre flomregimet i Vestfold:

- Snøsmelteflommene i Numedalslågen vil komme stadig tidligere på året og bli mindre mot slutten av århundret. Flere store skadeflommer i nedre del av Numedalslågen har vært rene regnflommer og etter hvert vil regnflommer dominere helt. Det anbefales derfor et klimapåslag på 20 % på flomvannføringen i Numedalslågen i Vestfold.
- Nedbøren er forventet å øke. I lavereliggende elver, inkludert sideelver til hovedløpet av Numedalslågen, hvor årets største flom i dag er en regnflom, forventes det en økning i flomstørrelsen. Dersom det utføres flomberegninger og fremstilles flomsonekart, bør en regne med en 20 % økning i flomvannføringen.
- I mindre, vassdrag (elver og bekker) som reagerer raskt, og i tettbygde strøk vil mer intens lokal nedbør skape særlige problemer. I mindre bekker og elver må man også forvente en 20 % økning i flomvannføringene og man må være spesielt oppmerksom på at mindre elver kan finne nye flomveier.

Anbefalt klimapåslag på flomvannføring i alle vassdrag i Vestfold: 20%

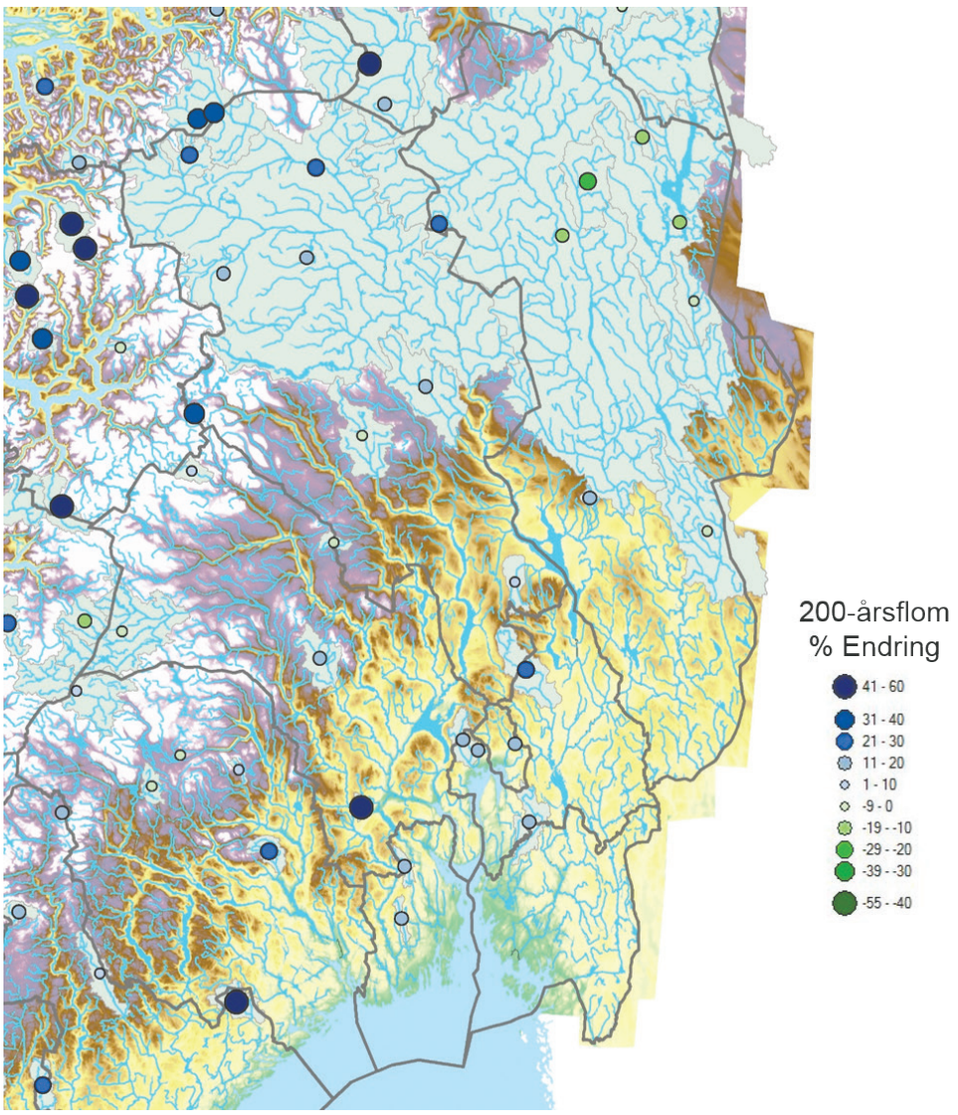
Flomfarekart i Vestfold

NVE kartlegger flomfaren langs vassdrag med størst skadepotensial. NVE har ikke utarbeidet flomfarekart (flomsonekart) for noen vassdragsstrekninger i Vestfold. For tiden arbeider NVE med en nasjonal kartleggingsplan for flomfare hvor også flomutsatte områder i Vestfold blir vurdert. Det pågår et arbeid i regi av Lardal og Larvik kommuner for å lage flomsonekart for deler av kommunene (2016).

Dersom farekart (flomsonekart) ikke finnes, gjelder anbefalingene som står i NVEs Retningslinje 2-2011 for dagens klima også for fremtiden (sone på 20 m på hver side av bekk og 50-100 m på hver side av elv - unntak store, flate elvesletter hvor sikkerhetssonen bør utvides). Kapittel 5 beskriver hvordan man kan ta hensyn til klimaendringer i arealplanleggingen.

For flom i små vassdrag har NVE laget en ny veileder «Flaumfare langs bekker» (Rettleiar 3-2015) som beskriver hvordan man kan identifisere og kartlegge flomutsatte områder langs bekker.

For alle typer elver og bekker er kunnskap om lokale forhold viktig.



Figur 2: Forventet prosentvis endring i 200-års flom fra 1971-2000 til 2071-2100 [4]

2.2 Tørke

Sommernedbøren i Vestfold forventes ikke å øke vesentlig, men lokale intense nedbørepisoder vil opptre oftere. Fordampningen forventes å øke så mye at det er sannsynlig at man kan få noe lengre perioder med liten vannføring i elvene om sommeren, lengre perioder med lav grunnvannstand og større markvannsunderskudd. Dette medfører noe økt sannsynlighet for skogbrann mot slutten av århundret og kan også gi et økt behov for jordbruksvanning.

2.3 Erosjon

Det har tidligere vært iakttatt at drenering og grøfting av landbruksområder har medført økt erosjon i nedenforliggende områder i tiden etter dreneringsarbeidet ble utført. Dette har sammenheng med at dreneringsarbeidet fører til en raskere avrenning og skarpere flomtopper.
Økt nedbør, hyppigere forekomst av intens nedbør og større flommer forventes å føre til økt jorderosjon og avrenning fra dyrket mark. Elveløpserosjonen vil også øke i små vassdrag på arealer med løsmasser.

3. Effekter på skred

Skredfaren er sterkt knyttet til lokale terrengforhold, men været er en av de viktigste utløsningsfaktorene for skred. I bratt terreng vil klimautviklingen kunne gi økt hyppighet av skred som er knyttet til regnskyll/ flom og snøfall. Dette gjelder først og fremst jordskred, flomskred, og sørpeskred. Det er derfor grunn til økt aktsomhet mot disse skredtypene. Ved utredning og kartlegging av skredfare i forbindelse med arealplanlegging og utbygging er det derfor viktig at alle typer skred vurderes nøye. Det er likevel ikke grunn til å anta at de sjeldne, svært store skredene vil bli større eller skje hyppigere. Det vil derfor ikke være noen grunn til å endre kravene til sikkerhet som er gitt i TEK 10.

3.1 Kvikkleireskred

De fleste kvikkleireskred utløses av menneskelig aktivitet eller erosjon i elver og bekker. Økt erosjon som følge av hyppigere og større flommer kan utløse flere kvikkleireskred. I Vestfold som har store kvikkleireforekomster, er det spesielt grunn til å være oppmerksom på dette. Klimautviklingen gir likevel ikke grunn til å legge til noen ekstra sikkerhetsmargin i forhold til kravene som er beskrevet i TEK 10 og NVEs Retningslinje 2-2011 for utredning av fare for kvikkleireskred.

3.2 Steinsprang og steinskred

Steinsprang og steinskred utløses ofte av økt vanntrykk i sprekksystemer i forbindelse med intens nedbør. Hyppigere episoder med kraftig nedbør vil derfor kunne øke hyppigheten også av disse skredtypene, men hovedsakelig på mindre steinspranghendelser. Det er ikke forventet en vesentlig endret hyppighet eller utstrekning på de store sjeldne steinsprangene og steinskredene. Det er derfor ikke grunn til å legge til noen ekstra sikkerhetsmargin i forhold til kravene som er beskrevet i TEK 10 og NVEs Retningslinje 2-2011 for utredning av fare for steinsprang og steinskred.

3.3 Snøskred (løssnøskred, flakskred)

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.Det er likevel ikke grunn til å tro at det vil bli økt hyppighet eller størrelse på de store, sjeldne snøskredene. Det trengs derfor ikke noen ekstra sikkerhetsmargin i forhold til kravene som er beskrevet i TEK 10 og NVEs Retningslinje 2-2011 for utredning av fare for snøskred.

3.4 Jord-, flom- og sørpeskred

Det er grunn til økt aktsomhet mot skredtypene jord- flom- og sørpeskred fordi disse skredtypene kan bli både vanligere og mer skadelige. Sørpeskred som har høyt vanninnhold og kan gå i svært slakt terreng, vil i enkelte tilfeller kunne rekke utenfor disse aktsomhetsområdene. Kravene til sikkerhet mot jord-, flom- og sørpeskred finnes i TEK 10. For utredning av fare for jord-, flom og sørpeskred vises det til NVEs Retningslinje 2-2011.

Skredfarekart i Vestfold

Aktsomhetskart for skred i bratt terreng finnes under «Naturfare» på det nye NVE-Atlas. Aktsomhetskartet viser potensielle løsne- og utløpsområder for skred. Kartene er landsdekkende og utarbeidet med bakgrunn i en landsdekkende høydemodell på 25x25 meter. Mindre skråninger med høydeforskjell mellom 20-50 meter blir ikke fanget opp i kartleggingen.

For kvikkleireskredfare brukes marin grense som det groveste aktsomhetskartet. Marin grense viser områ-

der med marine avsetninger hvor det er mulighet for kvikkleire. Store deler av Vestfold ligger under marin grense og kan dermed ha mulig fare for kvikkleireskred. Kun for enkelte områder i Tønsberg, Stokke, Sandefjord, Sande, Re, Larvik, Lardal, Horten og Holmestrand kommuner er det utført nasjonal kartlegging av kvikkleireområder som kan være skredfarlige jf. nye NVE-Atlas. Kvikkleirefaresonene som er kartlagt i den nasjonale kartleggingen angir områder hvor det kan være fare for store skred, dvs.at det kan skje mindre skred også utenfor disse sonene dersom det er kvikkleire i grunnen og tilstrekkelig høydeforskjeller. I følge Plan for skredfarekartlegging, delrapport kvikkleireskred, NVE 17/2011 skal områder i følgende kommuner i Vestfold prioriteres: Tønsberg, Nøtterøy, Tjøme, Stokke, Horten og Larvik.

Plan for skredfarekartlegging har også delrapporter som identifiserer behovet for kartlegging av skred i bratt terreng. Delrapport steinsprang, steinskred og fjellskred identifiserer områder i Vestfold hvor steinsprang, steinskred og fjellskred er et problem. Kartlegging av disse områdene har lav prioritet i den nasjonale planen.

For enkelte kommuner i Vestfold finnes det også lokale faresonekart for skred i bratt terreng og kvikkleireskred, som er utarbeidet i forbindelse med tidligere plan og byggesaker. Statens Vegvesen og NSB har også utført kartlegginger av skred i bratt terreng og kvikkleireskred langs deler av vei- og jernbanenettet.

Dersom det ikke foreligger skredfarekart eller utredning av skredfaren, gjelder anbefalingene som står i NVEs Retningslinje 2-2011 for utredning av skredfare. Kapittel 5 beskriver hvordan man kan ta hensyn til klimaendringer i arealplanleggingen.

4. Havnivå, stormflo og bølgepåvirkning

Havnivåstigningen kan føre til at stormflo og bølger strekker seg lenger inn på land, enn hva som er tilfelle i dag. I Vestfold er det mye bebyggelse langs kysten. Havnivåstigning kan føre til skader på bebyggelse og infrastruktur på grunn av stormflo og oversvømmelse i områder hvor en i dag ikke har registrert skader. I rapporten «Sea Level Change for Norway» [5] oppgis forventet havnivåstigning, hvor det er tatt hensyn til landhevning, for alle kommuner i Vestfold. Med høye utslipp ventes en stigning på 30-38 cm mot slutten av århundret. Anbefalte klimapåslag på 200-års stormflonivå er under utarbeidelse. I tillegg må det gjøres egne vurderinger for bølge- og vindoppstuving

5. Overvann

Som en konsekvens av at episoder med kraftig nedbør ventes å øke vesentlig både i intensitet og hyppighet, se avsnitt 1.2 om nedbør, kan utfordringene med overvann bli større enn i dag. I Vestfold, hvor store deler av befolkningen er konsentrert langs kysten og i byer med stort arealpress, er det derfor særlig viktig å integrere dette hensynet i overvannsplanleggingen. Norsk Vann har utgitt en veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering.

Litteratur:

[1] DSB TEMA/Klimahjelperen – En veileder i hvordan ivareta samfunnssikkerhet og klimatilpasning i planlegging etter plan- og bygningsloven - http://www.dsb.no/no/toppmeny/Publikasjoner/2015
[2] Hanssen-Bauer, I., E.J. Førland, I. Haddeland, H. Hisdal, S. Mayer, A. Nesje, J.E.Ø. Nilsen, S. Sandven, A.B. Sandø, A. Sorteberg, B. Ådlandsvik (Red.) (2015) Klima i Norge 2100 Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NCCS report no. 2/2015 – https:\\klimaservicesenter.no
[3] Meld.St.33 (2012-2013) Klimatilpasning i Norge – https:\\www.regjeringen.no
[4] Lawrence, D. (2015). Flom i et fremtidig klima. NVE Rapport (under utarbeidelse)
[5] Simpson, M.J.R., J.E.Ø. Nilsen, O.R. Ravndal, K. Breili, H. Sande, H.P. Kierulf, H. Steffen, E. Jansen, M. Carson, O. Vestøl (2015) Sea Level Change for Norway, NCCS report no. 1/2015 - https://klimaservicesenter.no/

Vedlegg C

KARTLEGGINGSSKJEMAER

TEMA

Klimahjelperen

En veileder i hvordan ivareta samfunnssikkerhet og klimatilpasning i planlegging etter plan- og bygningsloven

dsb
Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap

Utgitt av: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) 2015

Omslagsfoto: Ronald Johansen/ITroms

ISBN: 978-82-7768-353-9

Grafisk produksjon: Erik Tanche Nilssen AS, Skien

VEDLEGG 3: KARTLEGGINGSSKJEMAER

Om kartleggingsskjemaene
Skjemaene ble laget i oppstarten av «Klimaprosjekt Troms» som en måte for prosjektgruppa å få en oversikt over hvilke klimautfordringer kommunene står overfor. Prosessen var grundig og alle deltakerne i prosjektet deltok med å fylle inn informasjon og erfaringer fra eget arbeid. Vi mener at fordi prosjektgruppen hadde kompetanse og erfaring fra forskning, forvaltning, regionalt og lokalt arbeid med klimatilpasning, bidro det til at skjemaene gir mye nyttig informasjon på mange ulike områder. Kartleggingsprosessen dannet også et viktig grunnlag for det videre arbeidet i prosjektet, blant annet utarbeidelsen av Klimahjelperen, Klimaprofil Troms og NVEs bestillerskjema.

Kartleggingen gir oversikt over hvilke klimautfordringer som kommunene må ta hensyn til i sitt arbeid med samfunnssikkerhet, som skred (alle typer skred), flom, overvann og havnivå. For hver av disse temaene er det laget en oversikt over:

- Aktuelt lovverk
- Klima (nåtid/projeksjon) – hva finnes, hva finnes ikke?
- Utviklingsbehov (basert på kommunenes ønsker og behov avdekket av forvaltning og forskning)
- Oppfølging i plan (arealdel og reguleringsplan)
- Hva er under utvikling (forskning og forvaltning)
- Hva finnes av tilgjengelig informasjon (retningslinjer, veiledere, data m.m.)

Under hvert punkt er det lagt inn lenker direkte til relevant informasjon. En slik detaljert kartlegging er ikke gjort før i Norge.

Viktige funn
Gjennom kartleggingen fant vi at det er mye tilgjengelig informasjon, bare man får samlet den, men også at det er flere huller i eksisterende kunnskap. Dette gjelder både innenfor forskning og forvaltning. For eksempel ble det tydelig at det er et stort sprik mellom kommunenes forventninger og behov og hva klimaforskningen faktisk kan levere.

I gjennomgangen fant prosjektet også at kommunene ikke trenger klimaframskrivninger for alle deler av planleggingen – dagens kunnskap er i mange tilfeller tilstrekkelig.

Hvordan kan skjemaene brukes?
I utgangspunktet ble kartleggingen gjennomført for Troms fylke, men skjemaet som ligger som vedlegg til Klimahjelperen, er bearbeidet slik at det kan brukes av alle kommuner i Norge.

Skjemaene tar for seg en rekke naturhendelser som kommunene kan oppleve som utfordringer i sin egen arealplanlegging. I skjemaene er det samlet den informasjonen prosjektet har funnet på de ulike områdene, og lenket til der informasjonen finnes.

Prosjektet håper at oversikten over hva som finnes, og ikke minst hva som ikke finnes, vil være en nyttig kunnskapsbank for kommuner i arbeid med arealplanlegging, i ulike kartleggings- og utredningsoppgaver.

PLANNIVÅ: KOMMUNEPLANENS AREALDEL OG OMRÅDEREGULERING DER DET ER KRAV OM SENERE DETALJREGULERING)			
	SNØSKRED	JORDSKRED/FLOMSKRED/ SØRPESKRED	STEINSPRANG
Lovverk	Overordnet arealbruk innenfor aktsomhetsområder for naturfare vurderes jf. PBL. Bestemmelsene til arealplan og områderegulering (med krav om detaljregulering) vil styre hvordan f.eks. krav om sikker byggegrunn og kravene i TEK 10, § 7 - 3 vil kunne ivaretas på siste plannivå.	Se snøskred.	Se snøskred.
Klima (nåtid/ projeksjon)	Dekkes av dagens aktsomhetskart.	Dekkes av dagens aktsomhetskart for jord- og flomskred.	Dekkes ved bruk av dagens aktsomhetskart for steinsprang (NVE).
Utviklingsbehov	Faresonekart for tett befolkede områder innenfor aktsomhetsområdet. Kartene kan da brukes både til areal- og reguleringsplan. Enklere fakta-ark (nettbasert) for ulike plannivåer ønskelig.	Se snøskred.	Se snøskred.
Oppfølging i arealplanlegging	Faresonekartlegging er nødvendig der hvor aktsomhetskart viser potensiell skredfare. Reel fare kartlegges på siste plannivå. Bruk av faresonekart hvor dette eksisterer. Det er viktig å bruke kunnskap om lokale forhold/erfaring i tillegg til temakart. Veiledning for bestilling av faresonekartlegging ligger som vedlegg til denne rapporten, jf. også krav til bestillerkompetanse i NVEs retningslinjer 2/2011: Flaum- og skredfare i arealplanar, kap 7.3.	Faresonekartlegging er nødvendig der hvor aktsomhetskart viser potensiell skredfare. Reell fare kartlegges på siste plannivå. Tiltak langs vassdrag og på skredvifter må vurderes spesielt ved utarbeidelse av reguleringsplaner og ved andre tiltak. NVE har utarbeidet et faktaark som er ment å øke kunnskapsnivået og fungere som en veileder for planleggere, jf. faktaark 2-2013 Identifisering av skredvifter. Veiledning for bestilling av faresonekartlegging ligger som vedlegg til denne rapporten, jf. også krav til bestillerkompetanse i NVEs retningslinjer 2/2011 – Flaum- og skredfare i arealplanar, kap 7.3.	Faresonekartlegging er nødvendig der hvor aktsomhetskart viser potensiell skredfare. Reell fare kartlegges på siste plannivå. Veiledning for bestilling av faresonekartlegging ligger vedlagt i denne rapporten, jf. også krav til bestillerkompetanse i NVEs retningslinjer 2/2011 – Flaum- og skredfare i arealplanar, kap 7.3.

	SNØSKRED FORTS.	JORDSKRED/FLOMSKRED/ SØRPESKRED FORTS.	STEINSPRANG FORTS.
Under utvikling	Ikke avdekket	Ikke avdekket	Ikke avdekket
Tilgjengelig informajon	Aktsomhetskart for snø- og steinsprang fra NGI (i de områder denne ikke finnes, brukes NVEs kart for snøskred). Se NVE Atlas. Kunnskap om lokale forhold/ erfaring NVE s retningslinjer 2/2011, "Flaum og skredfare i arealplanar" og sikkerhetskravene i TEK 10, vil gi en tilstrekkelig sikkerhet mot snøskred i Troms.	Aktsomhetskart NVE Atlas for: 1. Snø- og steinsprang fra NGI (i de områder dette ikke finnes brukes NVEs kart for snøskred). 2. Jord- og flomskred. Faktaark om identifisering av skredvifter (kanalisert jordskred, flom og sørpeskred). NVE s retningslinjer 2/2011,"Flaum og skredfare i arealplanar" og sikkerhetskravene i TEK 10, vil gi en tilstrekkelig sikkerhet mot disse skredtypene. Veileder: NVE 8/2014 "Sikkerhet mot skred i bratt terreng". Veiledning til bestilling av skredkartlegging ligger som vedlegg til Klimahjelperen.	Aktsomhetskart for steinsprang – se NVE Atlas. NVE s retningslinjer 2/2011, Flaum og skredfare i arealplanar" og sikkerhetskravene i TEK 10, vil gi en tilstrekkelig sikkerhet mot disse skredtypene. Veileder: NVE 8/2014 "Sikkerhet mot skred i bratt terreng". Veiledning til bestilling av skredkartlegging ligger som vedlegg til Klimahjelperen.

	FLOM	HAVNIVÅSTIGNING, STORMFLO OG BØLGEPÅVIRKNING	OVERVANN
Loverk	TEK 10: § 7-2 og sikkerhetsklassene 1/20, 1/200 og 1/1000.	Overordnet arealbruk innenfor aktsomhetsområder vurderes jf. PBLs krav om sikker byggegrunn. TEK 10: § 7-2 og sikkerhetsklassene 1/20, 1/200 og 1/1000, gjelder også for stormflo.	Plan og bygningsloven. Vannressursloven § 7. Forurensningsloven, § 24 A.
Klima (nåtid/ projeksjon)	I kystnære vassdrag hvor årets største flom i dag er regnflom, forventes større flommer i framtiden. NVE har beregnet hvor stor økning som er forventet i ulike deler av landet og anbefaler å legge til minimum 20 % på flomvannføringen. Enkelte steder bør 40 % legges til. I alle små vassdrag som reagerer raskt på nedbør forventes også en økning, og det legges til 20 %. Dersom farekart (flomsonekart) ikke finnes, gjelder anbefalinger i Retningslinje 2-2011 for dagens klima også for fremtiden (sone på 20 m på hver side av bekk og 50–100 m på hver side av elv – unntak store, flate elvesletter). Flomfaren må her utredes og terrenget har avgjørende betydning i tillegg til bufferavstanden. Her må også kunnskap om lokale forhold inn samt en vurdering av NVE.	Estimater for havnivåstigning og stormflo for alle landets kystkommuner Kommunene bør også ta hensyn til erfaringer og lokalkunnskap i planlegging (bølge/vind justeres inn), men dette er komplisert på grunn av lite kunnskap om vind. Kunnskap om lokale forhold kan være viktig. MET kan evt bidra med data om vind.	Lite data på kortidsnedbør (med mindre kommunen selv har fått utredet dette). I Klima i Norge 2100 finnes oversikt over endring i % i antall dager med mye nedbør og endring i % i nedbørmengde på dager med mye nedbør (sammenlignet periodene 1961–1990 med 2071–2100) for hver nedbørregion (side 93–94). Kommunen kan etablere samarbeid med MET om overføring og bearbeiding av data fra lokale nedbørmålere (kommunen må selv bekoste nedbørmålerne).
Utviklingsbehov	Aktsomhetskart med et bedre høydegrunnlag (laserskanning ønskelig). Detaljert terrengmodell (10x10m). Faktaark for identifisering av små vassdrag som ikke er kartlagt av NVE. Slike små vassdrag kan finne nye veier/bekkeløp osv. Kommunene må selv betale for en egen detaljkartlegging for å identifisere disse i reguleringsplan.	Behov for nasjonal myndighet som har anledning til å sette krav og utarbeide retningslinjer for hvordan dette arbeidet skal gjennomføres lokalt/regionalt.	Estimater for økt nedbør i fylker/kommuner nødvendig (forskning). Spesielt behov for bedre data på kortidsnedbør. Venter på Lovutvalgets utredning.

	FLOM FORTS.	HAVNIVÅSTIGNING, STORMFLO OG BØLGEPÅVIRKNING FORTS.	OVERVANN FORTS.
Oppfølging i arealdelen	Kommunen må selv sjekke om det finnes informasjon om problempunkter i kommunen og større flomhendelser som har inntruffet. Dersom farekart (flomsonekart) ikke finnes, gjelder anbefalinger i NVEs Retningslinje 2-2011 for dagens klima også for fremtiden (sone på 20 m på hver side av bekk og 50–100 m på hver side av elv – unntak store, flate elvesletter hvor sikkerhetssonen bør utvides). Flomfaren må utredes og terrenget har avgjørende betydning i tillegg til bufferavstanden. Her må også kunnskap om lokale forhold inn, samt en vurdering av NVE.	Kommunene bør utforme bestemmelser for kotehøyde knyttet til bygging i kommuneplanens arealdel. Bestemmelsene skal basere seg på tilgjengelige tall for havnivåstigning og stormflo. Håndtering av havnivåstigning i kommunal planlegging (revidert mars 2015 med eksempler på utregning av sikkerhetsklasser for stormflo). Rapport: Kommunenes arbeid med stormflo og framtidig havnivåstigning (eksempler på hvordan havnivåstigning er ivaretatt i planlegging, DSB mars 2015). Kommunene bør også utarbeide et temakart som viser de sårbare områdene basert på aktuell kotehøyde.	Kommunene bør utforme bestemmelser knyttet til håndtering av overvann i kommuneplanens arealdel (overvann skal håndteres lokalt på overflaten). Kartlegge sårbare områder i forbindelse med areal-ROS/ konsekvensutredning. Kommunene bør kartlegge flomveier, skaffe seg god oversikt over ledningsnettet, 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. Viktig med gode samarbeidsrutiner mellom VA og plan.
Under utvikling	Faresonekartleggingsplan fra NVE underveis (vassdragsstrekningene med størst skadepotensial – behov kan meldes inn av kommunene).	Nye havnivåstigningstall vil komme ila 2015 ifm den nye rapporten fra FNs klimapanel.	Projeksjoner for maksimal og forventet maksimale estimater for økt nedbør for historisk og nåtidsklima under utvikling. Lovutvalg som skal se på gjeldende lovgivning og rammebetingelser for kommunenes håndtering av overvann og komme med forslag til endringer og forbedringer. Skal være ferdig innen 1. desember 2015 (se under lovverk over).

	FLOM FORTS.	HAVNIVÅSTIGNING, STORMFLO OG BØLGEPÅVIRKNING FORTS.	OVERVANN FORTS.
Tilgjengelig informasjon	Aktsomhetskart – ikke offentliggjort grunnet at det er for grovt og vanskelig å anvende. For tilgang til kartet, kontakt NVE. Retningslinjer 2-2011 fra NVE: der det ikke finnes faresonekart (flomsonekart) – anbefalinger om hvordan vurdere flomfare på veldig flatt terreng. Report 5-2011 om flom i et fremtidig klima (på engelsk, oppdatert utgave kommer på Norsk). Veileder NVE nr. 3-2015: Flaumfare langs bekker. Råd og tips om kartlegging. Informasjon fra NVE om temaet NVEs regionkontorer.	Estimater av framtidig havnivåstigning og stormflo i norske kystkommuner Håndtering av havnivåstigning i kommunal planlegging (revidert veileder fra DSB, 2015) DSB rapport: Kommunenes arbeid med stormflo og framtidig havnivåstigning (mars 2015)	Norsk Vann-veiledere: • Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer. • Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering (må kjøpes). • Åpne flomveger i bebygde områder nr. 204/2014 (må kjøpes). Veileder utarbeidet av Oslo kommune v/Vann- og avløpsetaten og Norsk vann: Overvannshåndtering – en veileder for utbygger. Kommunen kan etablere nedbørmålere for korttidsnedbør i samarbeid med MET (som tar imot og bearbeider dataene).

	ISGANG	KVIKKLEIRE	
Lovverk	TEK 10: § 7-1 Generelt om naturfarer.	Overordnet arealbruk innenfor aktsomhetsområder for naturfare vurderes jf. PBL. Bestemmelsene til arealplan og områderegulering (med krav om detaljregulering) vil styre hvordan eks. krav om sikker byggegrunn og kravene i TEK 10, § 7-3 vil kunne ivaretas på siste plannivå.	
Klima (nåtid/ projeksjon)	Klimaendringer med økt temperatur gir kortere sesong for isgang, men kan føre til isganger andre steder i vassdraget.	Økt fare for erosjon i bekker/elver på grunn av økt vannføring/flom kan føre til økt fare for kvikkleireskred. Kjennskap til lokale forhold og oppfølging av erosjon viktig. Menneskelig aktivitet er den største utløsende årsak til kvikkleireskred, derfor er kartlegging av kvikkleireområder og kontrollert utbygging viktig.	
Utviklingsbehov	Fortsatt behov for forskning om temaet.	Enklere faktaark og maler for bestilling av utredninger (nettbaserte) for ulike plannivåer ønskelig, inkludert krav til faglig kompetanse. Mer kartlegging samt systematisering av ny og eksisterende kunnskap fra tidligere boringer.	
Oppfølging i arealplanlegging	Kunnskap om lokale forhold knyttet til tidligere isganger og NVEs regionkontorer benyttes i planleggingen.	Nasjonal kartlegging som er gjort legges inn som hensynssone. Kart over marin grense finnes i NVE Atlas Kjennskap til lokale forhold og oppfølging av erosjon er viktig. Menneskelig aktivitet er den største utløsende årsak til kvikkleireskred, derfor er kartlegging av kvikkleireområder og kontrollert utbygging viktig.	

	ISGANG FORTS.	KVIKKLEIRE FORTS.	
Tilgjengelig informasjon	Kunnskap om lokale forhold knyttet til tidligere isganger og NVEs regionkontorer. Generell beskrivelse finnes i NVE-rapport 15:2010: Klima-tilpasning innen NVEs ansvars-områder – Strategi 2010–2014 Om isgang Retningslinjer for planlegging og utbygging i fareområder langs vassdrag	NGUs kart over marin grense og løsmasser er det beste kartgrunnlaget for å vurdere om det kan finnes marine avsetninger med mulighet for kvikkleire. Kan brukes som aktsomhetskart. Kart over marin grense finnes i NVE Atlas. Papirkart med punktinformasjon finnes også. Ny veileder 7/2014 "Sikkerhet mot kvikkleireskred". Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper" er ment for det geotekniske fagmiljøet i Norge, og skal bidra til en kvalitetsmessig god og mest mulig lik vurdering av stabilitet i disse områdene. NVEs retningslinjer 2-2011: Flaum- og skredfare i arealplanar.	

PLANNIVÅ: REGULERINGSPLAN			
	SNØSKRED	JORDSKRED/FLOMSKRED/ SØRPESKRED	STEINSPRANG
Lovverk	PBLs krav om sikker bygge-grunn § 28-1 TEK 10 § 7-3 – krav til sikker-hetsklasse og gjentaksintervall 1/100, 1/1000 og 1/5000	PBLs krav om sikker bygge-grunn TEK 10 § 7-3 – krav til sikker-hetsklasse og gjentaksintervall 1/100, 1/1000 og 1/5000	PBLs krav om sikker byggegrunn TEK 10 § 7-3 – krav til sikker-hetsklasse og gjentaksintervall, 1/100, 1/1000 og 1/5000
Klima (nåtid/ projeksjon)	Dekkes av dagens faresonekart der det eksisterer.	Nåtidsklima tilstrekkelig. Må kontrolleres ved hvert tilfelle om disse skredtypene er vurdert i faresonekart der det eksisterer.	Nåtidsklima tilstrekkelig. Dekkes av dagens faresonekart der det eksisterer.
Utviklings-behov	Faresonekart for tett befolkede områder innenfor aktsomhets-områder. Kartene kan da brukes direkte i detaljreguleringsplan. Enklere faktaark (nettbasert) for ulike plannivåer ønskelig.	Se snøskred.	Se snøskred.
Oppfølging i detaljplan	Faresonekartlegging er nød-vendig der hvor aktsomhets-kart viser potensiell skredfare. Reell fare skal være utredet og kartlagt på siste plannivå, dvs. detaljreguleringsplan. Reell fare avsettes som hensynssone i detaljplanen. Det er viktig å anvende kunn-skap om lokale forhold/erfaring Veiledning for bestilling av faresonekartlegging ligger som vedlegg i denne rapporten, jf. også krav til bestillerkompe-tanse i NVEs retningslinjer 2/2011 – Flaum- og skredfare i arealplanar, kap 7.3.	Se snøskred.	Se snøskred.
Under utvikling	Se Plan for skredfarekart-legging, NVE Rapport 14/2011	Se snøskred.	Metode under utvikling. Se Plan for skredfarekartlegging NVE Rapport 14:2011.

	SNØSKRED FORTS.	JORDSKRED/FLOMSKRED/ SØRPESKRED FORTS.	STEINSPRANG FORTS.
Tilgjengelig informasjon	Kommunen bør ha oversikt over hva som er kartlagt tidligere og hva som blir utført i kommunen. Still krav til digital levering. Retningslinjer for flaum- og skredfare i arealplanar (2-2011) NVE Atlas	For noen områder kan det ha vært gjort befaring lokalt som gir mer detaljerte beskrivelser. NVEs faktaark om identifisering av skredvifter beskriver standardisert metode (kartleggingsmetode på aktsomhetsnivå). NVE Atlas Veileder om skogsbilveier og skredfare	Retningslinjer for flaum- og skredfare i arealplanar (2-2011) NVE Atlas Der det finnes lokale farevurderinger, skal de brukes.
Må kjøpes av kommunen	Faresonekart utarbeides av tiltakshavere. I enkelte tilfeller kan kommunen utarbeide faresonekart for større utbyggingsområder jf. Lyngen.	Se snøskred.	Se snøskred.

	FLOM	HAVNIVÅSTIGNING, STORMFLO OG BØLGEPÅVIRKNING	OVERVANN
Lovverk	TEK 10: § 7-2 og sikkerhetsklassene 1/20, 1/200 og 1/1000	TEK 10: § 7-2 og sikkerhetsklassene 1/20, 1/200 og 1/1000, gjelder også for stormflo	Plan- og bygningsloven Vannressursloven Forurensningsloven Sivilbeskyttelses–loven (kommunal beredskapsplikt – helhetlig ROS) Regjeringen har nedsatt et utvalg som skal gå gjennom gjeldende lovgivning og rammebetingelser for kommunenes håndtering av overvann og komme med forslag til endringer og forbedringer. Utvalget skal avgi sin rapport (NOU) innen 1. desember 2015. Om utvalget Om utvalgets mandat
Klima (nåtid/ projeksjon)	Klimaendringer vil gi større flommer i vassdrag som domineres av regnflom og i små vassdrag som reagerer raskt på nedbør. I store vassdrag som i dag domineres av snøsmelteflom, vil smelteflommene gradvis bli mindre etterhvert som temperaturen stiger og snømengdene reduseres. Dersom farekart (flomsonekart) ikke finnes, gjelder anbefalinger i Retningslinje 2-2011 for dagens klima også for fremtiden (sone på 20 m på hver side av bekk og 50–100 m på hver side av elv – unntak store, flate elvesletter). Flomfaren må utredes og terrenget har avgjørende betydning i tillegg til bufferavstanden.	Tall for havnivåstigning Kommunene bør også ta hensyn til erfaringer og lokalkunnskap i planlegging (bølge/vind justeres inn). MET kan evt. bidra med data om vind. Kunnskap om lokale forhold er viktig.	Lite data på kortidsnedbør (med mindre kommunen selv har fått utredet dette). I Klima i Norge 2100 finnes oversikt over endring i % i antall dager med mye nedbør og endring i % i nedbørmengde på dager med mye nedbør (sammenlignet periodene 1961–1990 med 2071–2100) for hver nedbørregion (side 93–94). Kommunen kan etablere samarbeid med MET om overføring og bearbeiding av data fra lokale nedbørmålere (kommunen må selv bekoste nedbørmålerne).
Utviklingsbehov	Ikke avdekket	Behov for nasjonal myndighet som har anledning til å sette krav og utarbeide retningslinjer for hvordan dette arbeidet skal gjennomføres lokalt og regionalt.	Spesielt behov for bedre data på kortidsnedbør.

	FLOM FORTS.	HAVNIVÅSTIGNING, STORMFLO OG BØLGEPÅVIRKNING FORTS.	OVERVANN FORTS.
Oppfølging i detaljplan	Faresonekart: Vurdering av potensiell flomfare (oversvømmelse) utenom kartlagte faresoner kan baseres på observasjoner og målinger fra tidligere flommer, lokalkunnskap og historisk informasjon sammen med kartanalyse.Det er anbefalt å få en fagkyndig person til å identifisere aktsomhetsområdene for flomfare.	Kommunene må kartlegge områder som er i faresonen for havnivåstigning, stormflo og bølgepåvirkning (evt. simulere ved bruk av GIS der hvor man har dette verktøyet, eller ved bruk av annet simuleringsverktøy). Estimering av bølger og vannstand bør gjennomføres. Bølgepåvirkning kan vurderes på bakgrunn av kunnskap om lokale forhold.	Kartlegging av sårbare områder/kulverter/anlegg i kommunene og estimater for økt nedbør lokalt. Kartlegging av flomveier (simulering i kart/GIS) – se dsb.no med eksempler på dette fra Oslo, Skien og Nedre Eiker.
Under utvikling	Faresonekartleggingsplan fra NVE underveis (vassdragsstrekningene med størst skadepotensial – behov kan meldes inn av kommunene).	Nye havnivåstigningstall vil komme i løpet av 2015 ifm. den nye rapporten fra FNs klimapanel.	NOU som skal se på gjeldende lovgivning og rammebetingelser for kommunenes håndtering av overvann og komme med forslag til endringer og forbedringer. Skal være ferdig innen 1. desember 2015 (se under lovverk over).
Tilgjengelig informasjon	Retningslinjer for flaum- og skredfare i arealplanar (2-2011) Veileder NVE nr. 3-2015: Flaumfare langs bekker. Råd og tips om kartlegging NVEs flomsonekart På samme side ligger lenker til: • Faktaark flomsonekartlegging • Flomsonekartplan 2003 • Prioriteringsliste videreføring • Retningslinjer for flomberegninger • NVE Atlas • Skrednett • Skrednett, kvikkleire faresonekart NGUs løsmassekart	Beregninger for alle kystkommunene Råd om håndtering av havnivåstigning i kommunal planlegging (revidert veileder fra DSB, mars 2015) DSB rapport (mars 2015): Kommunenes håndtering av stormflo og framtidig havnivåstigning.	Relevante veiledere for klimatilpasning for vann og avløp i kommunale planer, samlet på dsb.no Klimatilpasning.no: gode eksempler på alternativ overvannshåndtering
Må kjøpes av kommunen	Ikke vurdert.	Mange kommuner kjøper utredninger: • ROS. • Kartlegging av bølgepåvirkning.	En del av veilederne fra Norsk Vann må kjøpes.

	ISGANG	KVIKKLEIRE	
Lovverk	TEK 10: § 7-1 Generelt om naturfare	PBLs krav om sikker byggegrunn § 28-1 TEK 10 § 7-3 – krav til sikkerhetsklasse og gjentaksintervall, 1/100, 1/1000 og 1/5000	
Klima (nåtid/ projeksjon)	Generell og lokal kunnskap om temaet.	Nåtidsklima tilstrekkelig. Kvikkleireskred i hovedsak utløst av menneskelig aktivitet. Derfor er kjennskap om eksisterende og kartlegging av nye skredområder, samt kontrollert utbygging det viktigste. Med mer nedbør, kan det bli fare for økt erosjon langs vassdrag. Dette kan føre til økt skredfare (her er lokalkjente viktigst for oppfølging).	
Utviklingsbehov	Fortsatt behov for forskning om temaet.	Kommunen bør samle inn og registrere eksisterende informasjon fra tidligere grunnundersøkelser. For nye planer bør rapporter om grunnforhold leveres digitalt til kommune.	
Oppfølging i detaljplan	Kartlegging av sårbare områder nødvendig – basert på kunnskap om lokale forhold.	Faresonekartlegging er nødvendig der hvor aktsomhetskart viser potensiell skredfare. Reell fare skal være utredet og kartlagt på siste plannivå, dvs. detaljreguleringsplan. Reell fare avsettes som hensynssone i detaljplanen. Det er viktig å anvende kunnskap om lokale forhold/erfaring. Veiledning for bestilling av faresonekartlegging ligger vedlagt i denne rapporten, jf også krav til bestillerkompetanse i NVEs retningslinjer 2/2011 – Flaum- og skredfare i arealplanar, kap 7.3 For en detaljplan under marin grense, skal kvikkleirefaren være vurdert og der det er behov for det utredet av fagkyndige. Utløsnings- og utløpsområder for kvikkleire avsettes som hensynssone med vilkår i detaljplanen.	

	ISGANG FORTS.	KVIKKLEIRE FORTS.	
Under utvikling	Ikke avdekket	Bedre kartlegging av kvikkleire i strandsoner, samt beregning av utløpssoner jf. NIFS prosjekt.	
Tilgjengelig informasjon	Generell beskrivelse finnes i: NVE-rapport 15:2010: Klima-tilpasning innen NVEs ansvars-områder – Strategi 2010–2014 Om isgang Retningslinjer for planlegging og utbygging i fareområder langs vassdrag	Retningslinjer for flaum- og skredfare i arealplanar (2-2011) NVE kvikkleirekart På samme side ligger lenker til: • Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire • Veiledning ved små inngrep i kvikkleiresoner • Skredatlas • NVE Atlas • Løsmassekart NGU NVEs nedlastningsløsning for geodata.	
Må kjøpes av kommunen	Ikke vurdert.	Faresonekart som utarbeides av tiltakshavere. I enkelte tilfeller kan kommunen utarbeide faresonekart for større utbyggingsområder.	

Vedlegg D

GRUNNFORHOLD OG METODER BRUKT FOR ANALYSE AV STABILITET/FARE FOR SKRED

Innhold

D1 Grunnforhold i Lardal og Larvik kommuner 2
D1.1 Hukstrøm 3
D1.2 Odbergneset, Husvann, Farmen og Tussehaugen 7
D1.3 Fritzøeparken/Rosendal området 11
D1.4 Kvelde 11
D2 Analysemetoder for vurdering av stabilitet og fare for skred 13
D2.1 Stabilitetsanalyse - Uendelig skråning 13
D2.2 Numeriske analyser med SLOPE/W og SEEP/W 14
D2.3 Regionale grunnvannsanalyser i ArcGIS 15
D2.4 Modellering av steinsprang 16

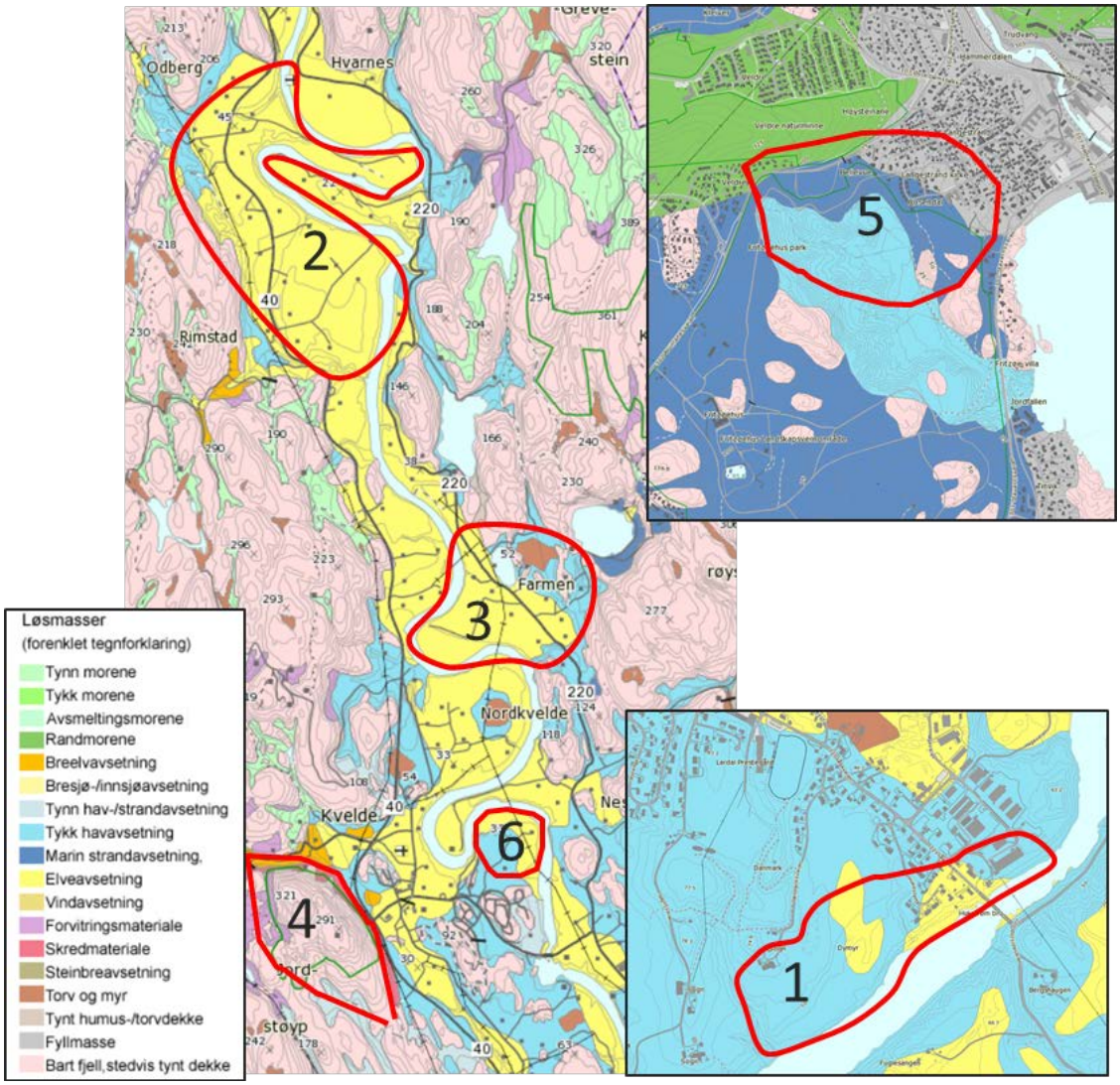
TEGNING D-1 Plassering av tidligere utførte borpunkter ved Hukstrøm bru, Svarstad
TEGNING D-2 Plassering av tidligere utførte borpunkter ved Husvann
TEGNING D-3 Plassering av tidligere utførte borpunkter ved Farmen/Tussehaugen
TEGNING D-4 Plassering av tidligere utførte borpunkter i Fritzøeområdet

D1 Grunnforhold i Lardal og Larvik kommuner

Løsmassene i Larvik og Lardal kommuner er dominert av hav- og fjordavsetninger (marin leire), fluviale og glasifluviale avsetninger (Figur D1-1). 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 leir-avsetningene 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.

Etter hvert som landet hevet seg og fjordbunnen ble tørt land, har Numedalslågen og sideelvene avsatt sortert sand og grus oppå leira. Senere har elven skåret seg ned og fjernet en del av leiravsetningene og på kvartærgeologisk kart over Numedalen er de fluviale avsetningene dominerende. Det understrekes at løsmassekart som vist i Figur D1-1 bare dekker toppmateriale og at det kan være marine sedimenter under for eksempel fluviale avsetninger.

Følgende avsnitt gir en oversikt over tidligere utførte grunnundersøkelser i Larvik og Lardal kommuner. Borpunktene er oppsummert i Tegning D1-D4 til sist i vedlegget.



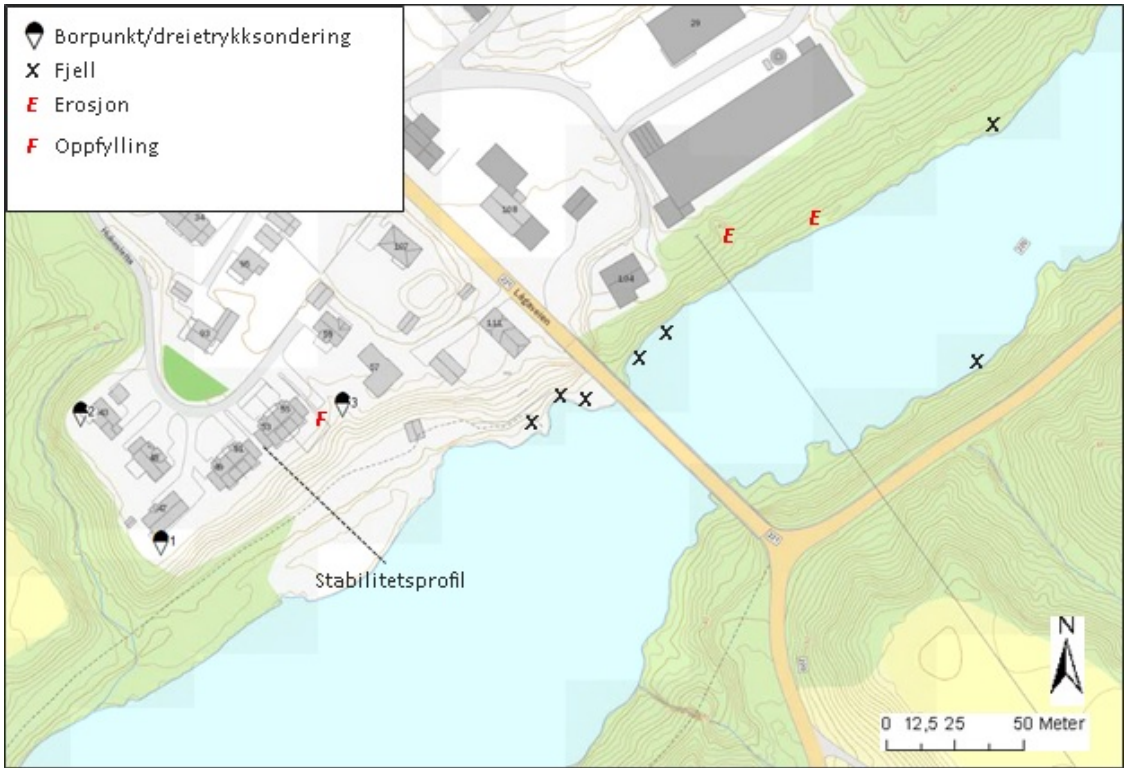
Figur D1-1: Kvartærgeologisk kart for de seks områdene valgt for klimatilpasning i forhold til skred. 1. Hukstrøm bru, 2. Odbergneset, 3. Husvann, 4. Jordstøyp, 5. Fritzøeparken, 6. Kvelde (http://geo.ngu.no/kart/losmasse/).

D1.1 Hukstrøm

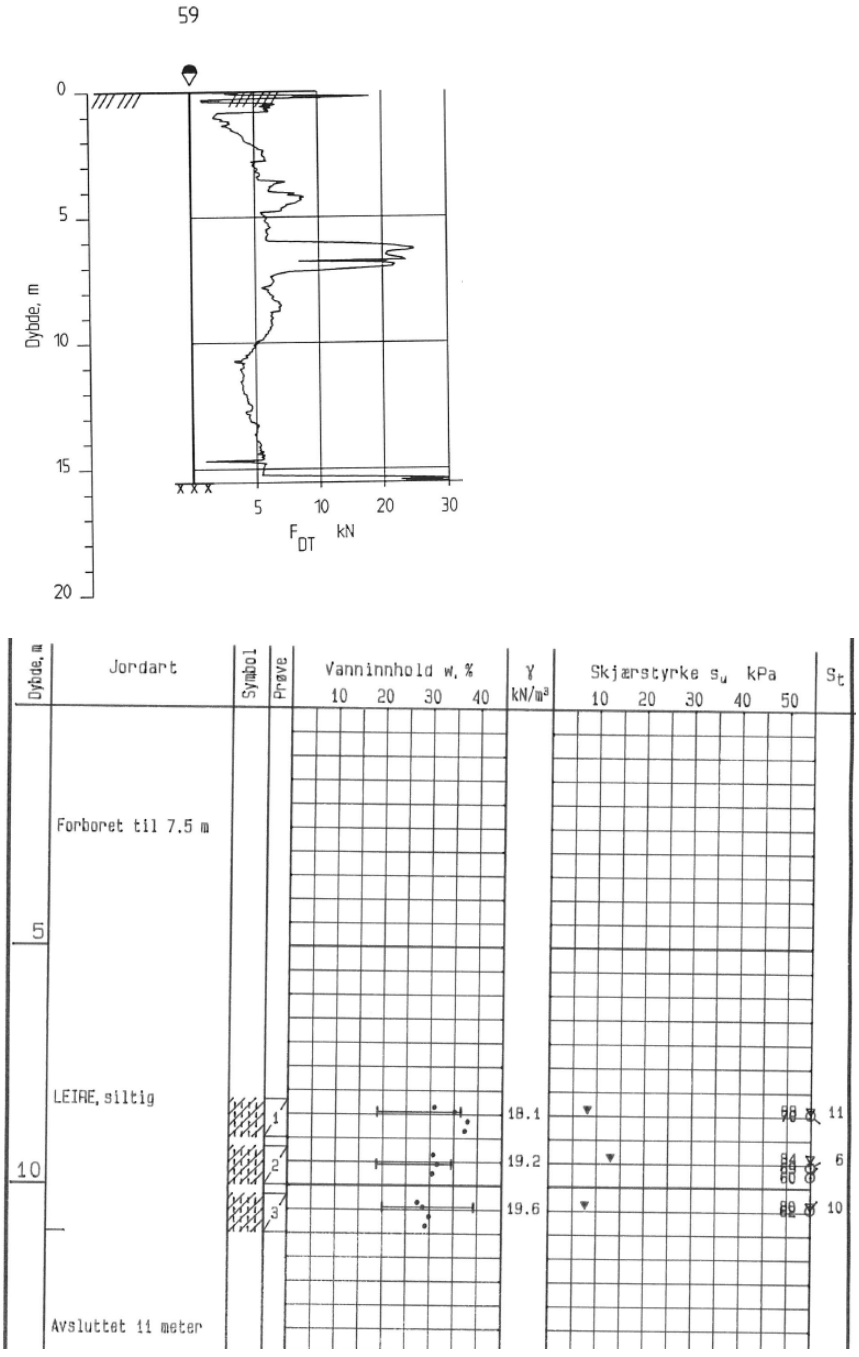
Vurderingsområdet ved Hukstrøm bru er lokalisert langs Numedalslågen og strekker seg fra ravinen vest for Hukesletta fram til trevirkeindustrien nordøst for Hukstrøm bru (Figur D1-1). Området består av en fluvial terrasse ovenfor marine avsetninger (jfr. kvartærgeologiske kart; Figur D1-1).

Tidligere grunnundersøkelser ble utført av Bjørn Strøm AS (2000) ved Hukesletta og av NGI. Plassering av grunnundersøkelser er vist i Figur D1-2 og Tegning D1, mens resultatene er presentert i Figur D1-3 – D1-5. Dreietrykksonderingene utført ved

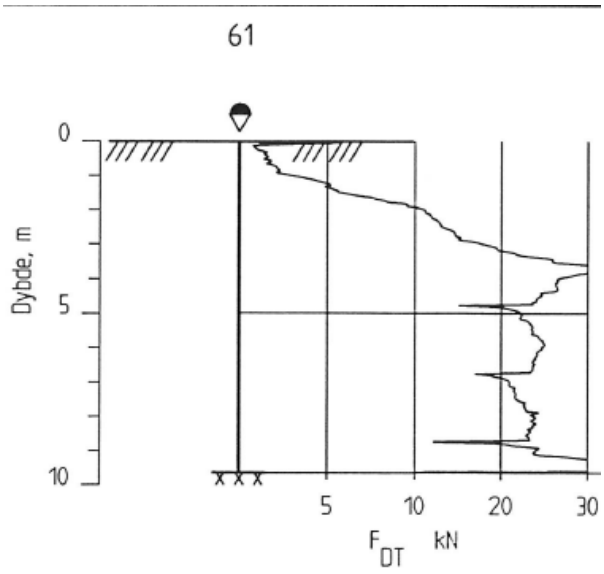
Hukesletta viser opptil 15 m med sand med vekslende lag av leire og silt. Resultater fra vingebor forsøk og dreietrykksonderingene viser at de tynnere leirlag ikke er kvikke. Under befaring høsten 2015 ble det også registrert fjell langs elva ved Hukstrøm bru og oppstrøms brua i flere punkter; Figur D1-2.

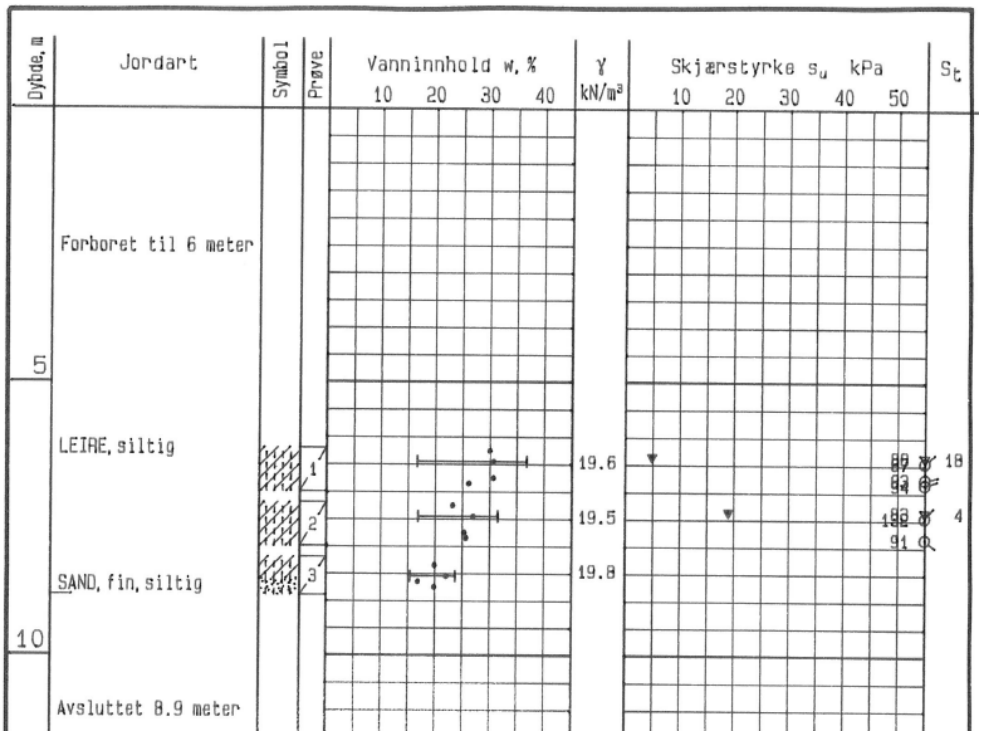


Figur D1-2: Oversiktskart ved Hukstrøm bru, Svarstad, med plassering av tidligere grunnundersøkelser og observasjoner gjort under befaring.

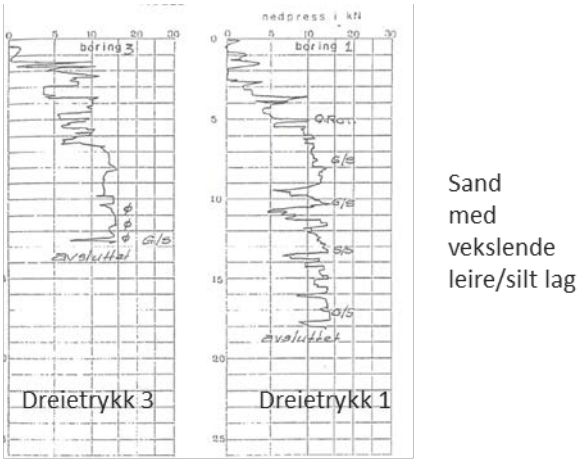


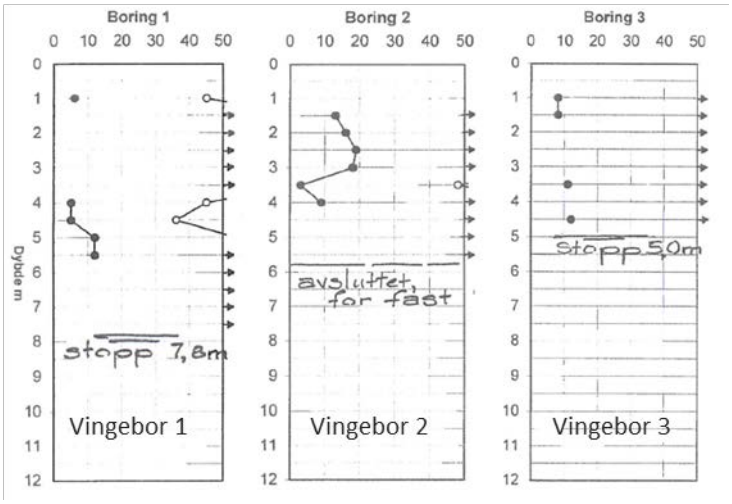
Figur D1-3 Resultater fra dreietrykksondering og laboratorieundersøkelser i borpunkt 59 ved Hukstrøm. Se Tegning D1 for plassering av grunnundersøkelser.





Figur D1-4 Resultater fra dreietrykksondering og laboratorieundersøkelser i borpunkt 61 ved Hukstrøm. Se Tegning D1 for plassering av grunnundersøkelser.

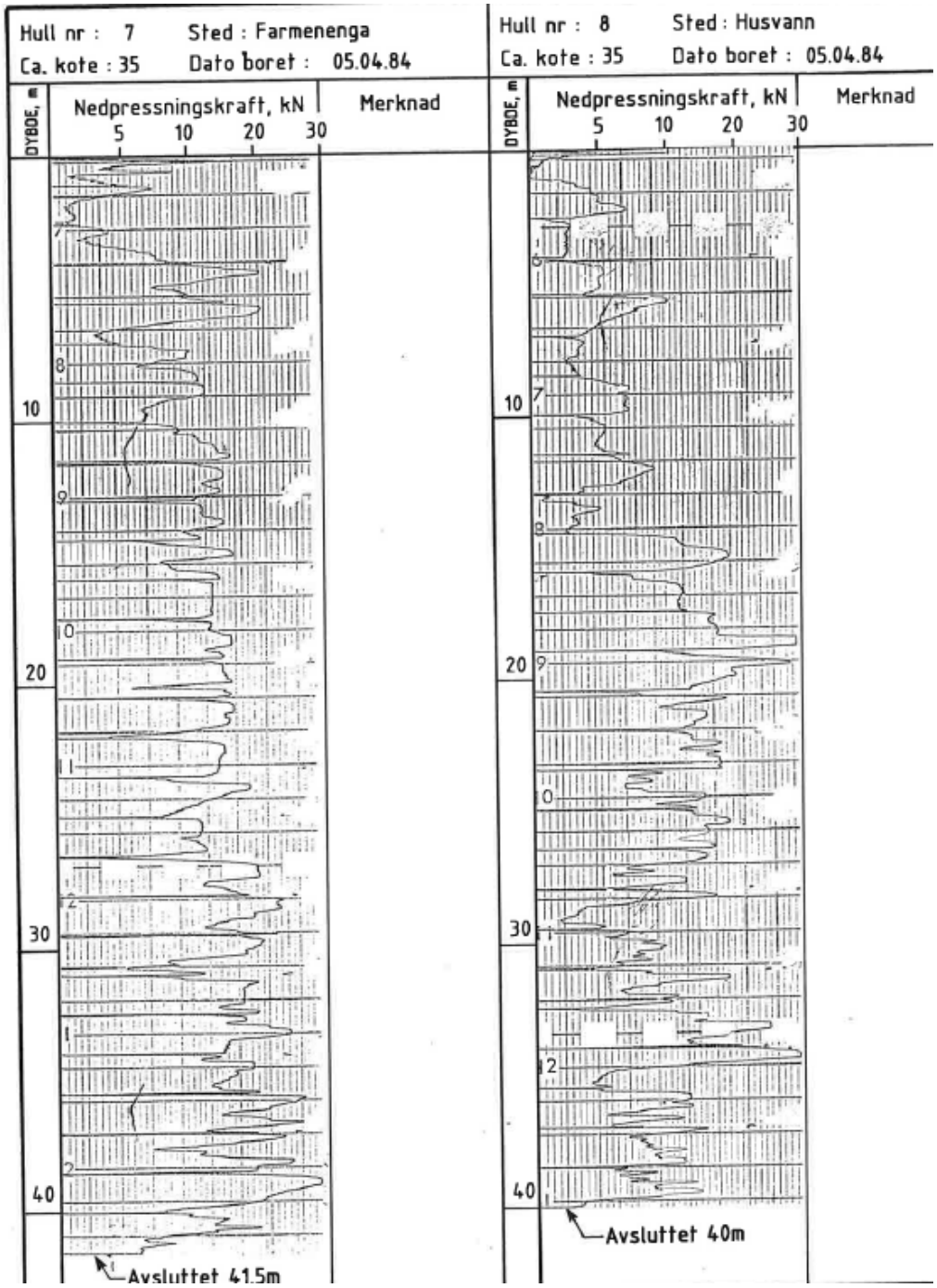




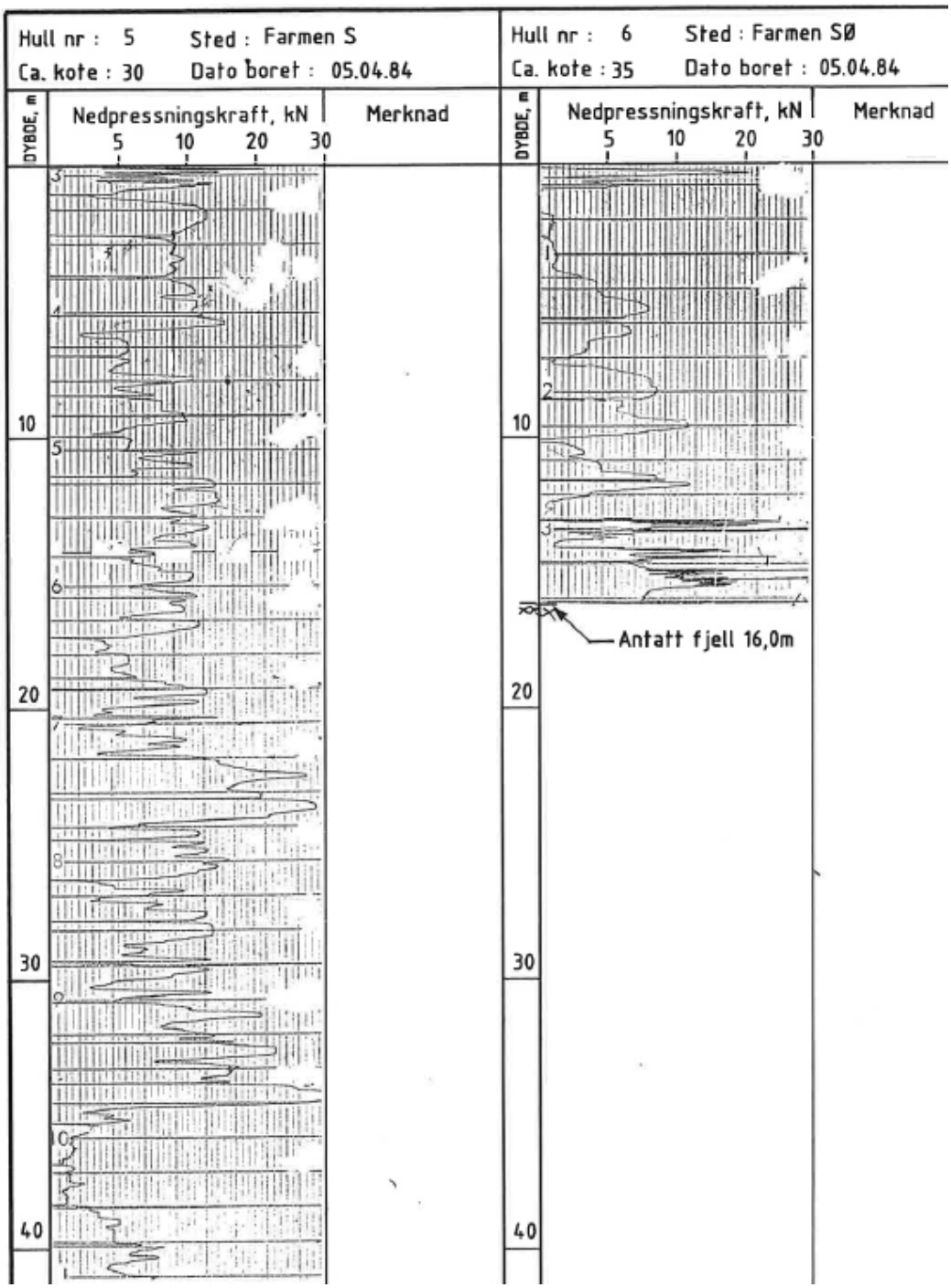
Figur D1-5 Resultater fra tidligere grunnundersøkelser ved Hukesletta; etter Bjørn Strøm AS (21. des. 2000). Se Tegning D1 for plassering av grunnundersøkelser.

D1.2 Odbergneset, Husvann, Farmen og Tussehaugen

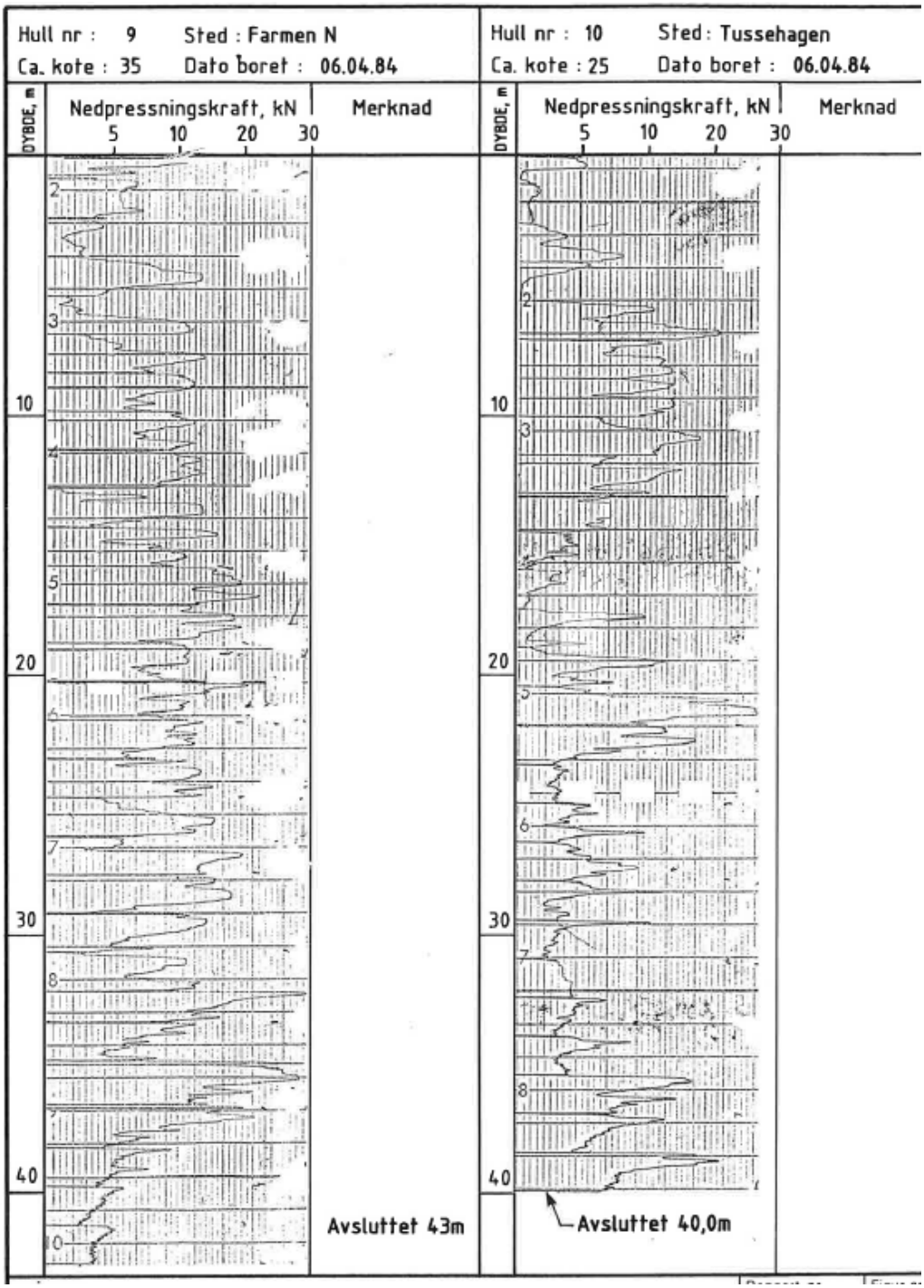
En oversikt over tidligere utførte sonderinger ved Odbergneset, Husvann, Farmen og Tussehaugen er gitt på Tegning D2 og Tegning D3. Det er dessverre ikke funnet tidligere grunnundersøkelser for Odbergneset. Områdene antas likevel å være relativt like og dekket av mektige og graderte sandavsetninger (elveavsetning; Figur D1-1). Resultatene fra tidligere grunnundersøkelser i disse områdene viser at de sandige avsetninger kan være opptil 40 m tykke. En slik jordart antas å være representativ langs Numedalslågen i Lardal og Larvik kommuner. Herunder gjengis resultatene fra sonderingene i disse områdene.



Figur D1-6 Resultater fra dreietrykksondering ved Husvann og Farmenenga. Resultatene viser hovedsakelig silt/sand til store dyp.



Figur D1-7 Resultater fra dreietrykksondering ved Farmen S. Resultatene viser hovedsakelig silt/sand til store dyp.



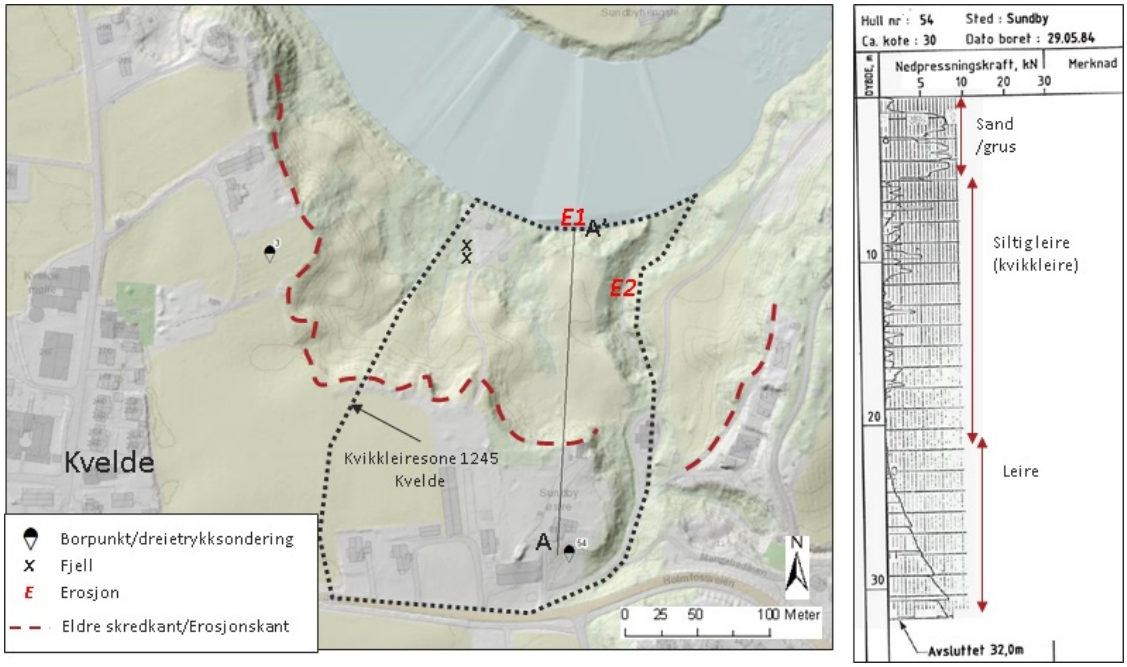
Figur D1-8 Resultater fra dreietrykksondering ved Farmen N og Tussehaugen. Resultatene viser hovedsakelig silt/sand til store dyp. Borpunkt 10 indikerer kvikkleire fra ca. 15-18 m, 23-25 m og 28-31 m under terreng ved Tussehaugen.

D1.3 Fritzøeparken/Rosendal området

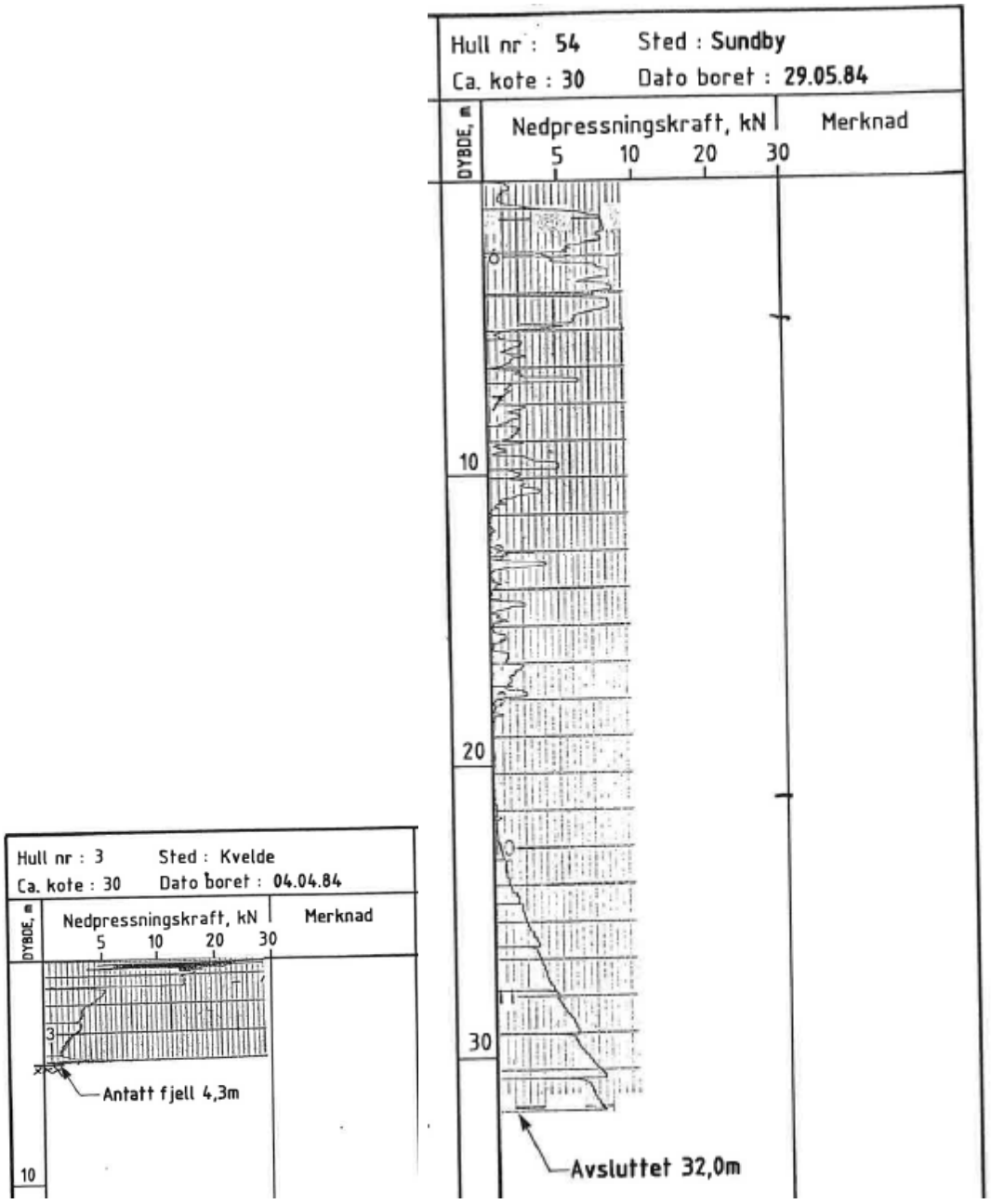
Et oversiktskart med tidligere utførte grunnundersøkelser i området er presentert i Tegning D4**Error! Reference source not found.**. Som det kommer frem av tegningen er det svært lite tilgjengelig informasjon om grunnforhold ved Rosendal. NGI har ikke funnet resultater fra tidligere undersøkelser i dette området. Derimot er det utført flere undersøkelser i tilknytning til kvikkleiresone Fritzøehus Nordre. Her viser grunnundersøkelser lag av kvikkleire med varierende tykkelse 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.

D1.4 Kvelde

Kvartærgeologiske kart viser elveavsetninger over marine avsetninger i området ved Kvelde (Figur D1-10). Dette stemmer overens med resultatene fra dreietrykksondering vist i Figur D1-9 og Figur D1-10. Dreietrykksondering nr. 54 indikerer 5 m med sand/silt over leire. Leira ser ut til å være kvikk i dybdeintervallet 5-21 m. En oversikt over grunnboringer i området er presentert i Tegning D3.



Figur D1-9: 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.



Figur D1-10: Resultater fra dreietrykksondering ved Kvelde. Borpunkt 3 indikerer kvikkleire fra ca. 1-m under terreng, mens borpunkt 54 indikerer kvikkleire fra 5-21 m under terreng.

D2 Analysemetoder for vurdering av stabilitet og fare for skred

Effekt av nedbør og flom på stabilitet av skråninger i valgte profiler i Lardal og Larvik kommuner er blitt undersøkt ved hjelp av grunnvannsstrømning- og stabilitetsanalyser. Herunder gis en oversikt over metodene som er blitt brukt sammen med input parameterne. Resultatene fra analysene er presentert i rapporten i avsnitt 4.2.3.

D2.1 Stabilitetsanalyse - Uendelig skråning

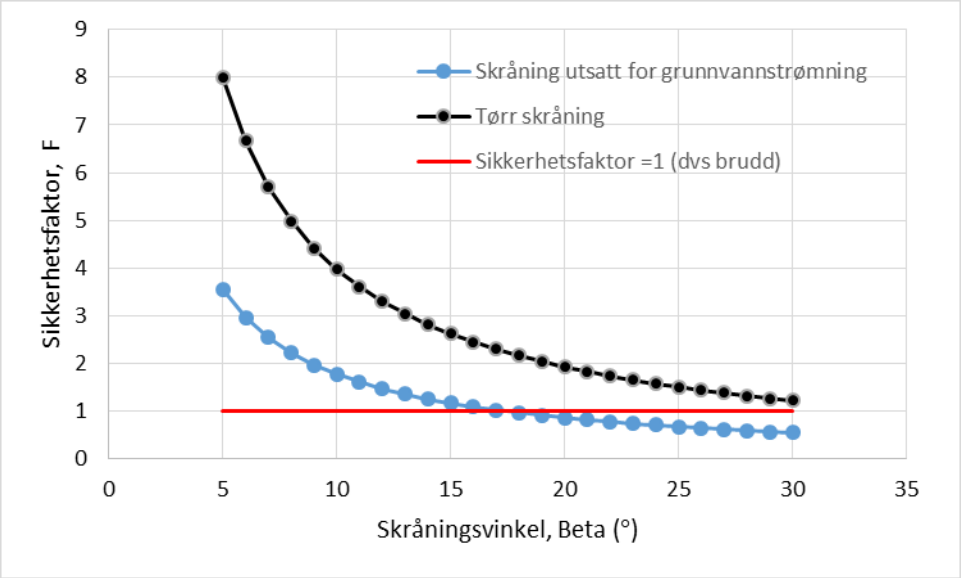
Ved naturlige skråninger i sand er overflateparallelle skred det mest vanlige. For en tørr skråning med ren sand (kohesjon = 0) vil sikkerheten (F) mot brudd for en uendelig lang skråning være:

$$F = \frac{tan\varphi}{tan\beta}$$

φ er jordas styrke eller friksjonsvinkel i grader og β er skåningshelning. Tilsvarende, for en uendelig lang skråning utsatt for grunnvannsstrømning parallelt med overflaten og med ren sand vil sikkerheten mot brudd være:

$$F = \frac{\gamma' \cdot tan\varphi}{\gamma \cdot tan\beta}$$

hvor γ er tyngdetettheten til jorda og γ' er effektiv tyngdetetthet (redusert for oppdrift). Resultatene fra likningene ovenfor er presentert i Figur D2-1 for en skråning bestående av ren sand med friksjonsvinkel antatt lik 35°. I tørr sand vil en skråningshelning på 1:2 (26,5°), 1:3 (18,4°) og 1:4 (14°) ha sikkerhet på henholdsvis 1,4, 2,1 og 2,8, hvilket tilfredsstiller de alle fleste regelverk. En skråning langs Numedalslågen vil derimot være utsatt for grunnvannstrømning. Resultatene i Figur D2-1 viser at skred vil oppstå (dvs. F=1.0) hvis skråningen er brattere enn 17°. Grovt sagt vil en stabil skråning i mettet tilstand med porevannsstrømning kunne ha halve helningen sammenlignet med en tørr skråning. Disse resultatene brukes i rapporten i avsnitt 4.2.3 for å velge områder utsatt for jordskred ved Odbergneset og Husvann.



Figur D2-1: 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 overflateparallell grunnvannsstrømning.

D2.2 Numeriske analyser med SLOPE/W og SEEP/W

Resultatene ovenfor viser viktigheten av grunnvannsstrømning og poretrykkssituasjon for stabilitet av skråninger. Effekt av nedbør og flom på stabilitet av skråninger er i denne studien blitt vurdert ved hjelp av strømning- og stabilitetsanalyser utført med SEEP/W og SLOPE/W fra GeoStudio (www.geoslope.com). SEEP/W er et todimensjonalt numerisk modelleringsverktøy for å analysere grunnvannsstrømning i jord og fjell. Resultatene fra SEEP/W kan implementeres i SLOPE/W for å beregne en sikkerhets-faktor for en gitt skråning med hjelp av lamellmetoden. Strømning og stabilitetsanalyser er blitt utført på valgte profiler ved 1) Hukstrøm bru, 2) Fritzøeparken/Rosendal, 3) Kvelde, og 4) Odbergneset og Husvann.

Det ble uført både effektivspenningsanalyser (c-φ) og totalspenningsanalyser i denne studien. Effektivspenningsanalyser tar for seg en langsiktig situasjon hvor spennings-endringer i skråningen skyldes for eksempel nedbør og poretrykksendringer. En total-spenningsanalyse antar en korttidssituasjon som følge av raske spenningsendringer, som skyldes for eksempel menneskelig aktivitet (oppfylling eller utgraving).

Materialparameterne benyttet for strømnings- og stabilitetsanalysene er som anbefalt i Vegvesenets Håndbok 220 og typiske for norske forhold. En oversikt over parameterne brukt i de forskjellige områdene er gitt i Tabell D2-1 til D-2-4.

Tabell D2-1: Geotekniske parametere brukt i beregningene ved Hukstrøm bru.

Material	Romvekt (kN/m³)	Friksjonsvinkel (°)	Kohesjon (kPa)	Permeabilitet (m/s)
Sand	18,0	35	1	4e-5

Tabell D2-2: Geotekniske parametere brukt i beregningene for profil 1 ved Fritzøeparken/-Rosendal (fra NGI 2013).

Material	Romvekt (kN/m³)	Friksjonsvinkel (°)	Kohesjon (kPa)	Permeabilitet (m/s)
Sand	18,0	35	1	4e-5
Kvikkleire	19,0	30	3	1e-8

Tabell D2-3: Geotekniske parametere brukt i beregningene ved Kvelde.

Material	Romvekt (kN/m³)	Friksjonsvinkel (°)	Kohesjon (kPa)	Skjærfasthet (kPa)	Aa	Ad	Ap
Sand	18,0	35	1				
Kvikkleire	19,0	-	-	20+2,5·z	1	0,65	0,35

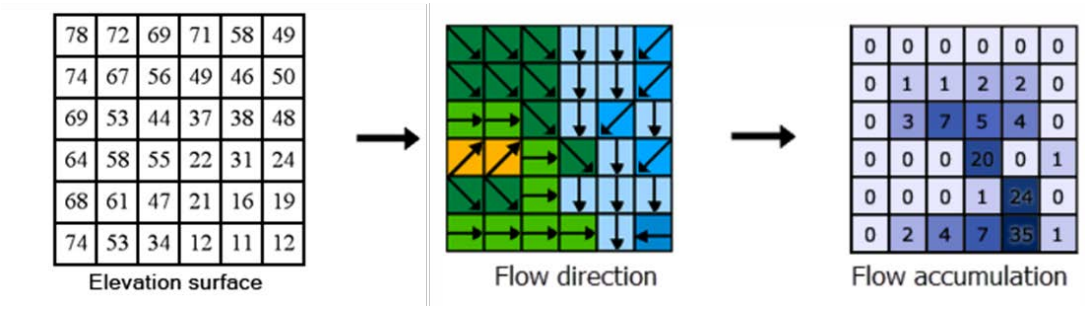
z er definert som dybde fra kote 28 m. Aa, Ad og Ap er anisotropi faktorer. For kvikkleire antar vi et tidligere terrengnivå på kote 28 m. Leirpakken nedenfor den eldre skredkanten antas å være noe overkonsolidert.

Tabell D2-4: Geotekniske parametere brukt i beregningene ved Husvann/Odbergneset.

Material	Romvekt (kN/m³)	Permeabilitet (m/s)	Friksjonsvinkel (°)	Kohesjon (kPa)
Sand	18,0	4e-5	35	1

D2.3 Regionale grunnvannsanalyser i ArcGIS

Regionale grunnvannsanalyser er blitt benyttet for å identifisere områder utsatt for kritiske hydrauliske gradienter, grunnvannserosjon og dermed mulig ravinering og skred ved Odbergneset og Husvann. Analysene er utført ved hjelp av ArcGIS og terrengmodellen. I ArcGIS er det først utført "Fill" og "Sink" analyser med "spatial analyst" verktøy. Dette gjøres for å gi et noenlunde hydrologisk riktig bilde og for å definere hvilke piksler som faktisk er områder der dreneringen stopper naturlig. Det er deretter utført "flow direction" analyser for å finne hvor vann strømmer til og fra hvilke celler i rasteret (Figur D2-2). Flow direction-rasteret blir så input til "Flow accumulation", som beregner hvilke celler som har høyest (konsentrert) gjennomstrømning, og fra dette kan man identifisere strømningsnettverk (elver, bekker, overvann og grunnvann).



Figur D2-2: Illustrasjon av flow direction og flow accumulation verktøyet i ArcGIS, ESRI.

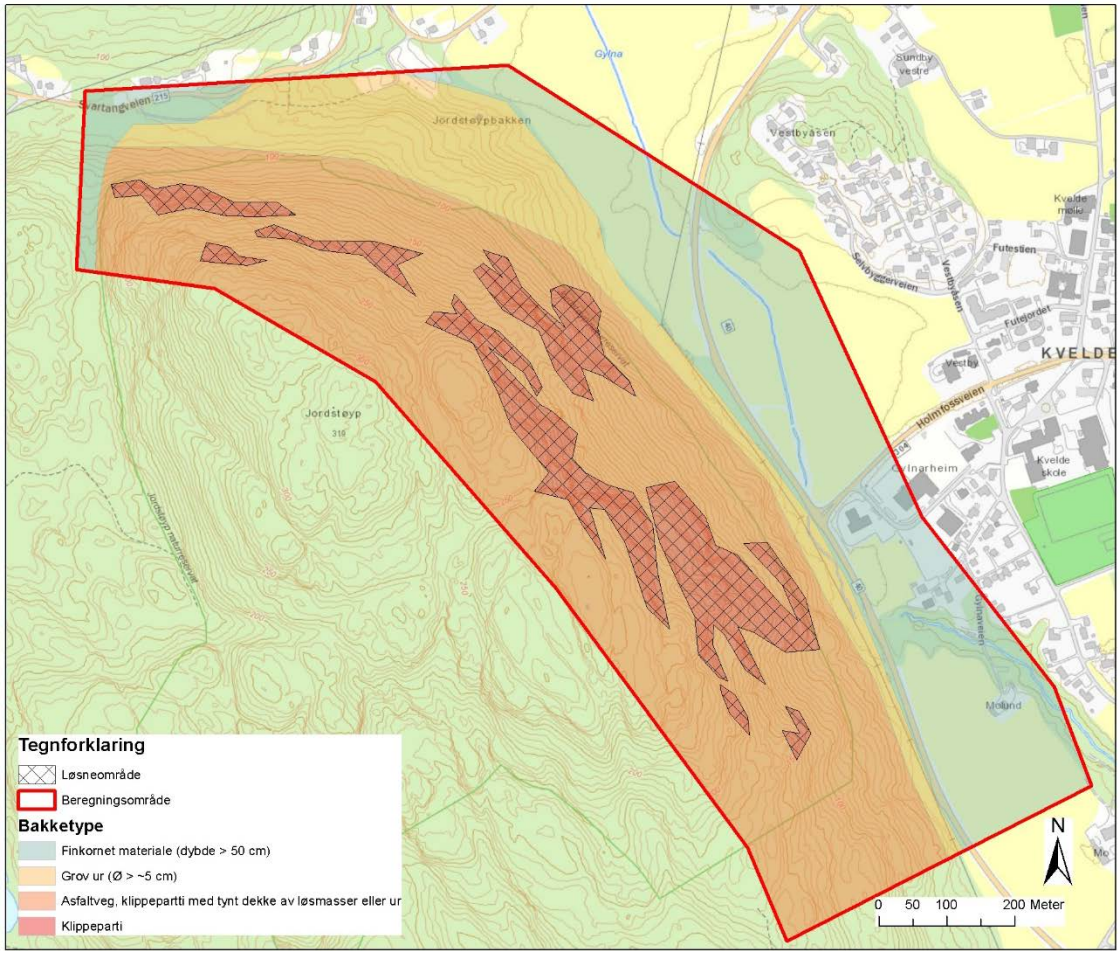
D2.4 Modellering av steinsprang

Modellering av steinsprang er gjort med 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.

Parametere som må inkluderes i modellen er kort beskrevet:

- Antall simuleringer per celle
  - Antall blokker som simuleres fra hver celle i terrengmodellen
- Variasjon av blokkvolum (%)
  - Gir mulighet til å legge inn variasjon av forhåndsdefinert blokkvolum
- Ekstra startfallhøyde (m)
  - Blokker kan gis ekstra oppstartsenergi ved å gi dem ekstra fallhøyde i starten
- Terrengmodell
  - Terrengmodellen (raster) som ønskes brukt
- Beregningsområde
  - Et polygon som definerer hvilket område beregningene skal kjøres for
  - Et enkelt polygon må være selektert
- Bakketype
  - Definisjoner for bakketyper. Det er 6 forskjellige forhåndsdefinerte bakketyper som kan velges mellom, med ulike overflatekvaliteter
- Løsneområde
  - Laget med definisjoner av potensielle utløsningsområder for steinsprang. Form og mål (lengde x bredde x høyde) på blokker må defineres for hvert løsneområde
- Ruhet
  - Terrengets ruhet, angitt i prosentandel av størrelse på blokker innen bakketype-polygonet – 70%, 20% og 10% av blokktilfellene innen polygonet

Et eksempel på hvordan parameterne over kan benyttes i modellen er således vist for Jordstøyp i Figur D2-3.



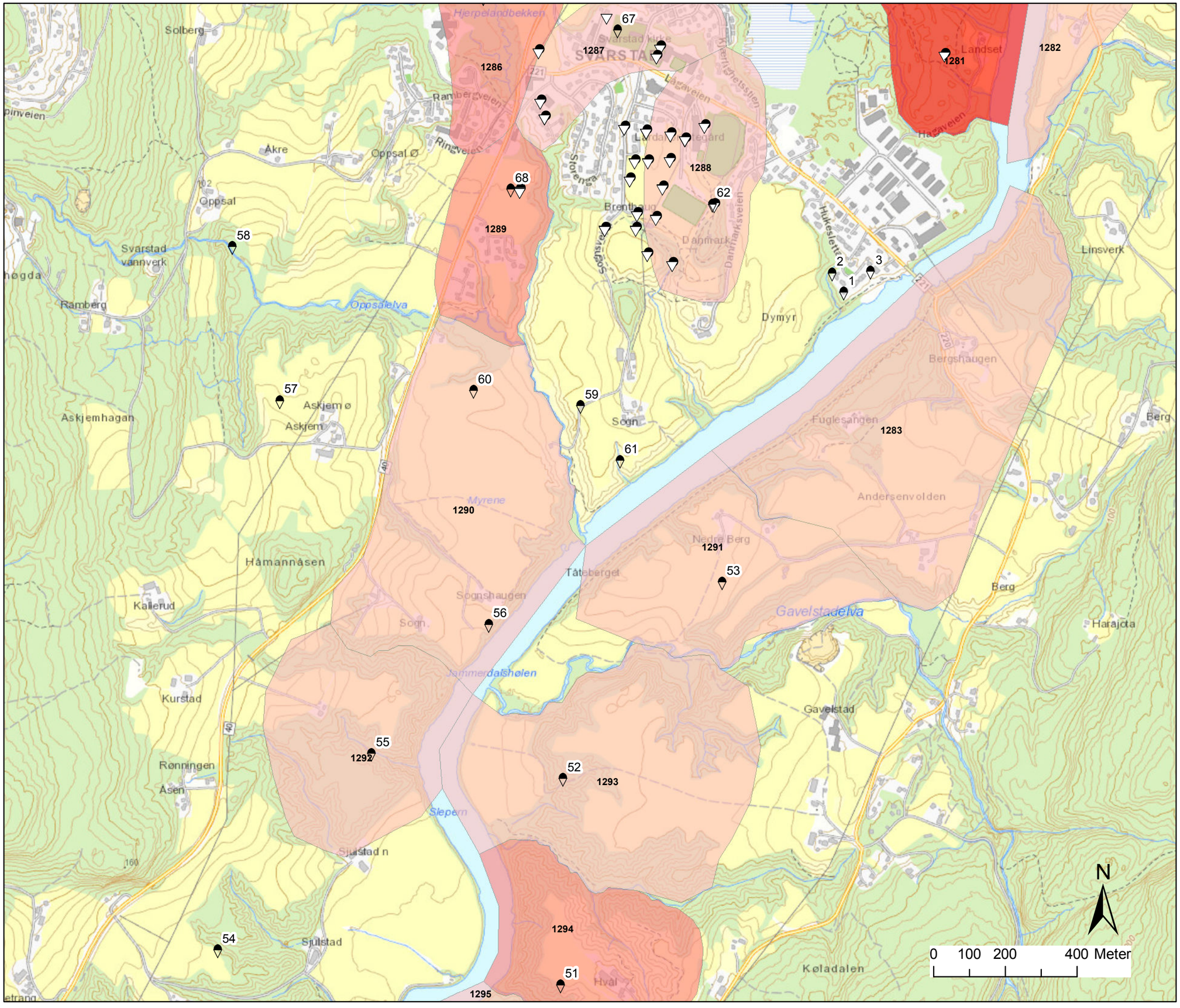
Figur D2-3: Inngående parametere for Rockyfor 3D-kjøring ved Jordstøyp. Løsneområder og ulike bakketyper (med tilhørende ruhet) legges inn for å få best mulig resultat av modelleringen.

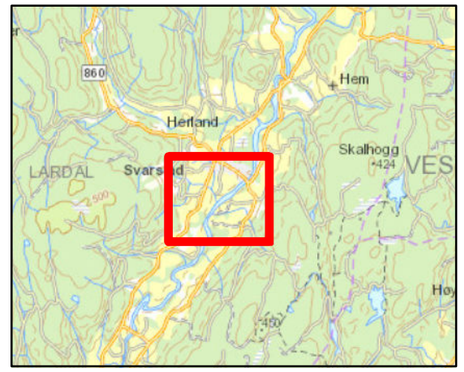
Rockyfor3D er i alle områder kjørt med median blokkvolum på 5 m^3 og variasjon +/- 50 % (dvs. 3,1-7,5 m^3). Ved å kjøre samme volumfordeling har en mulighet til å sammenligne de geometriske forskjellene i ulike potensielle skredbaner, og vurdere observerte blokkutløp i forhold til størrelse. I samme løsneområde er hyppighet av utfall likt. Resultatet av modellen gir en relativ sannsynlighet for hvordan terrenget bremser opp eller sprer (styrer) blokkene. Absolutt sannsynlighet vurderes ut fra vurdert opptredende utfall av stein, ur og urfot, og andre skredblokker.

Starthastighet for alle blokker er i simuleringen 3 m fall. Fra hver celle er det simulert 1000 blokker. Terrengdataene ble nedsamplet til et 5x5 meter gitter. Resultatet av en slik modellering brukes blant annet til støtte i faresonering. 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.

Detaljert faresonekartlegging skal alltid baseres på befaring. Terrengformer i berg-veggen 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.





Tegnforklaring

- Metode ukjent
- Dreietrykksondering
- CPTU
- Bergkontrollboring
- DreieSondering
- EnkelSondering
- RamSondering
- TotalSondering

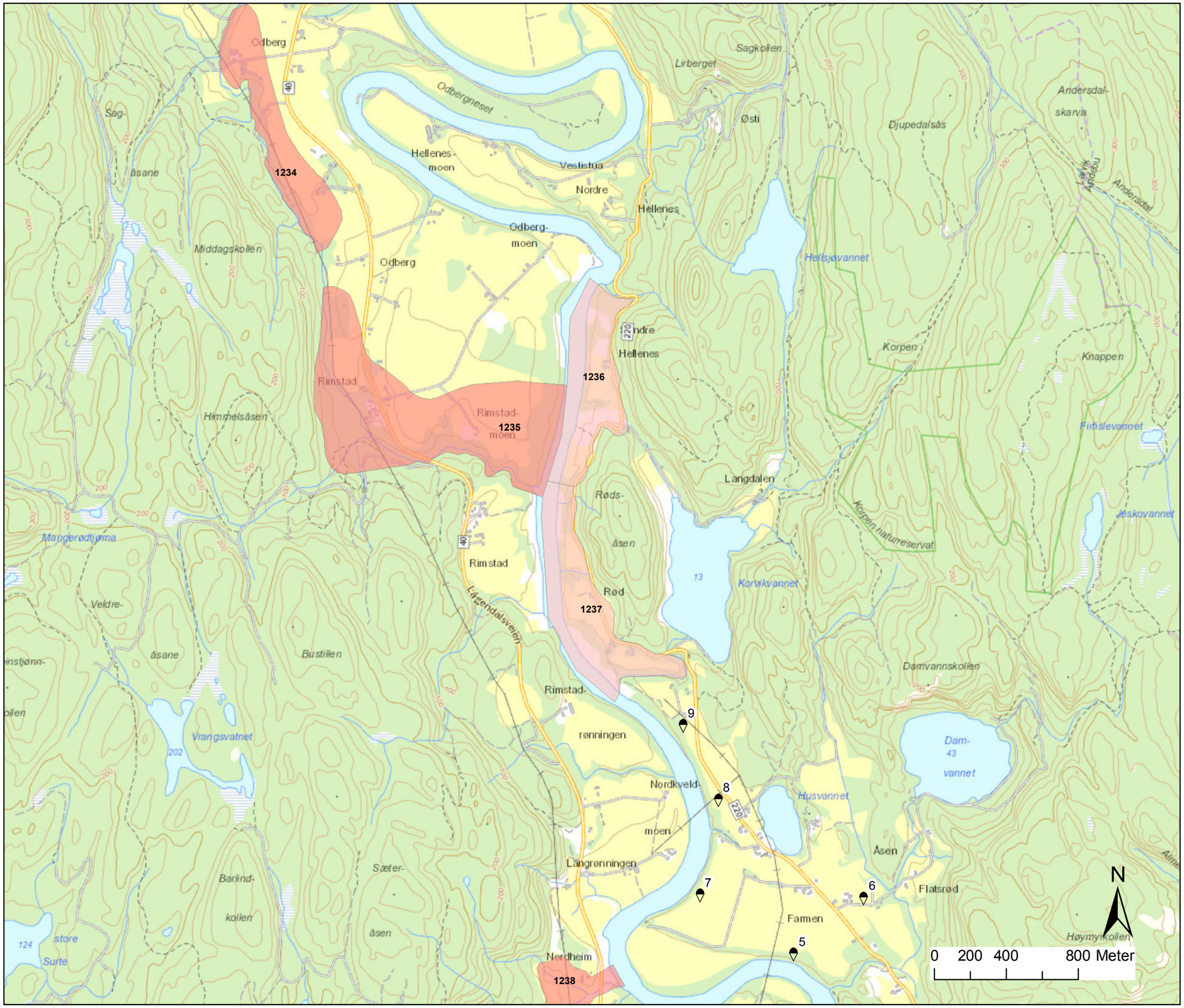
Faregradklasse - Kvikkleire

SkredfaregradKlasse

- 1 - Lav
- 2 - Middels
- 3 - Høy

Målestokk (A3): 1:10 000

Lardal og Larvik kommuner		
Borpunkt plasseringer	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **D-1**
Hustrøm bru og Svarstad	Utført **JSL**	Dato **2016-02-17**
	Kontrollert **ØAH**	Godkjent **CH**
	NGI	



Tegnforklaring

- Metode ukjent
- Dreietrykksondering
- CPTU
- Bergkontrollboring
- DreieSondering
- EnkelSondering
- RamSondering
- TotalSondering

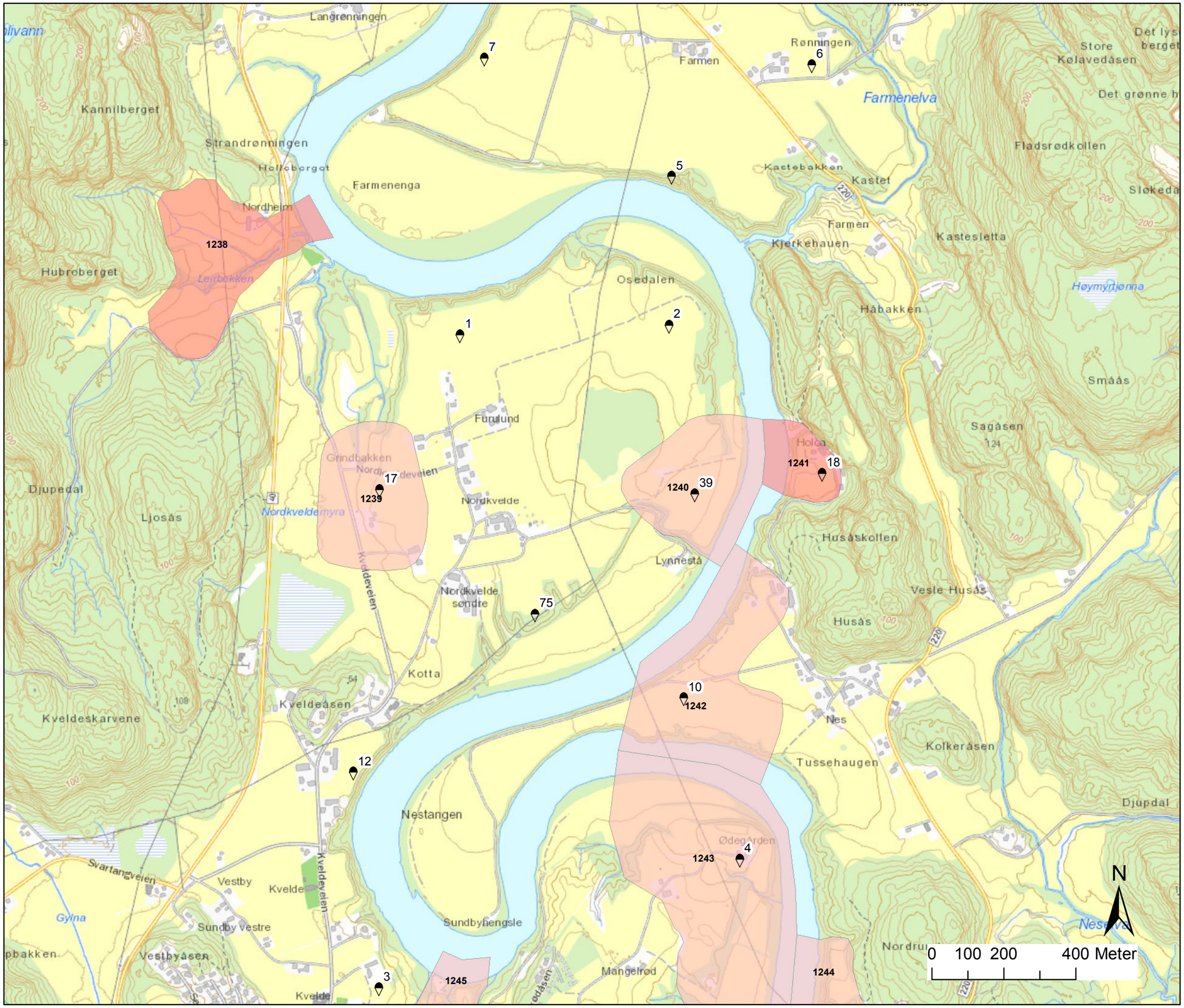
Faregradklasse - Kvikkleire

SkredfaregradKlasse

- 1 - Lav
- 2 - Middels
- 3 - Høy

Målestokk (A3): 1:20 000

Lardal og Larvik kommuner		
Borpunkt plasseringer	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **D-2**
Odbergneset og Husvann	Utført **JSL**	Dato **2016-02-17**
	Kontrollert **ØAH**	Godkjent **CH**
	NGI	



Tegnforklaring

- Metode ukjent
- Dreietrykksondering
- CPTU
- Bergkontrollboring
- DreieSondering
- EnkelSondering
- RamSondering
- TotalSondering

Faregradklasse - Kvikkleire

SkredfaregradKlasse

- 1 - Lav
- 2 - Middels
- 3 - Høy

Målestokk (A3): 1:10 000

Lardal og Larvik kommuner		
Borpunkt plasseringer	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **D-3**
Farmen og Tussehaugen	Utført **JSL**	Dato **2016-02-17**
	Kontrollert **ØAH**	Godkjent **CH**
	NGI	

Tegnforklaring

- Metode ukjent
- Dreietrykksondering
- CPTU
- Bergkontrollboring
- DreieSondering
- EnkelSondering
- RamSondering
- TotalSondering

Faregradklasse - Kvikkleire

SkredfaregradKlasse

- 1 - Lav
- 2 - Middels
- 3 - Høy

Målestokk (A3): 1:5 000

Lardal og Larvik kommuner		
Borpunkt plasseringer	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **D-4**
Fritzøeområdet	Utført **JSL**	Dato **2016-02-17**
	Kontrollert **ØAH**	Godkjent **CH**
	NGI	

Vedlegg E

GRUNNLAG FOR BEREGNINGER AV
STORMFLO OG HAVNIVÅSTIGNING

Innhold

E1 Havnivåstigning og stormflo i Norge 2
E2 Valg av scenario for stormflo 2
E3 Resultater – regional modellering av stormflo 4

E1 Havnivåstigning og stormflo i Norge

Årsak til høy vannstand langs norskekysten er astronomisk påvirkning, f. eks. springflo (høyeste vannstand: HAT-highest astronomical tide) og værets påvirkning, f. eks. lågtrykk og/eller SV vind som trykker vannet inn mot kysten. Lågtrykk, sterke vinder og nedbør i kombinasjon med springflo kan lede til meget høy vannstand og stormflo (DSB, 2009). I Sør-Norge er værets innvirkning mye sterkere enn den astronomiske, slik at stormflo kan oppstå uavhengig av tidevann (Simpson m.fl., 2015). For Oslofjorden og Sørlandet er det vind og lufttrykk i Nordsjøen og Skagerak som bestemmer hvor høy vannstanden kan bli (Gjevik og Hareide, 2000; Gjevik m.fl., 2003). For områdene lenger nord langs norskekysten så er det andre elementer som dominerer vannivået (f.eks. i Midt-Norge så er det lavtrykkenes fart og retning i forhold til kontinentalsokkelen som først og fremst har betydning; Johansen, 1959). Generelt kan et trykkfall på 1 hPa gi en økning på havnivå på 1 cm (og tilsvarende omvendt ved trykkøkning). For at dette skal gjelde må trykkendringen få virke på havet over en tilstrekkelig lang periode (ikke flyktige lavtrykk; Gjevik, 2009). Store nedbørsmengder kan ha en viss innvirkning på stormflo, men primært i såkalte terskelfjorder som har trange og grunne innløp. Eksempler på dette er indre Oslofjord samt Drammensfjorden. Tersklene i disse fjordene demmer opp flomvannet som renner ut i fjorden fra elvene innenfor (Gjevik, 2009).

Nåværende vannstand kan påvirkes av (framtidig) stigende havnivå. Havnivåstigningen i Norge er sterkt avhengig av landhevningen og derfor er det store lokale variasjoner. Observert havnivåstigning i Norge de seneste 100 årene er ca. 14 cm, mens landhevningen var mer enn 14 cm/100 år i store deler av Norges kystområder og dermed også større enn havnivåstigningen (Hanssen-Bauer m.fl., 2009). Dette forventes å endre seg med klimaendringer. I følge DSB (2009) kan havnivået ved Sørlands- og Vestlandskysten stige med rundt 70 cm fram til år 2100. Dette kan lede til at stormfloene blir høyere og strekker seg lengre inn på land, spesielt i de lavereliggende områdene (DSB, 2011). På grunn av Norges topografi er det ingen stor sjanse for alvorlige stormflokatastrofer under nåværende klimaforhold. Men stormflo forekommer, spesielt langs SV kysten. En undersøkelse av DSB (2015b) viser at 6 av 10 kommuner langs den norske kysten er blitt rammet av stormflo en eller flere ganger de siste 15 årene. I de siste tiår er det rapportert oversvømmelser og materielle skader blant annet i 1987, 1990, 2005 og 2011 (www.vannstand.no, 2015; DSB, 2015b). Lowe and Gregory (2005) og Debernard og Røed (2008) har undersøkt potensielle framtidige forandringer av stormflohøyder langs den norske kysten, og kom fram til at stormflohøydene kommer til å øke i framtiden. Om det blir alvorlige konsekvenser eller skader kommer an på vind, vannstand, bølger, vassdrag, nedbør, topografi, batymetri (dybde i sjø), forhold i strandlinjen, bebyggelse og vegetasjon.

E2 Valg av scenario for stormflo

I Hanssen-Bauer m.fl. (2009) og DSB (2009) finnes det scenarier for en 100 års stormflo for norske kystkommuner, basert på Rahmstorf (2007) og Drange m.fl. (2007), se Tabell

E2-1. Beregningen for Larvik baserer seg på vannstandsdata fra Helgeroa, inkl. HAT, havnivåstigning (Rahmstorf, 2007; Drange m.fl., 2007), landhevning og klimapåslag på grunn av økende stormaktivitet (Lowe og Gregory, 2005). Det som er inkludert i beregningene er relativ havnivåstigning (dvs. at landhevning er trukket i fra) i Larvik, i gjennomsnitt 15 cm til 2050 og 58 cm til 2100. 100 års stormflo 2100 beregnes til å ligge gjennomsnittlig på 230 cm.

Tabell E2-1: Øvre og nedre verdier for havnivåstigning og stormflo (100 års gjentaksintervall) medregnet usikkerheter i havnivåstigning (Hanssen-Bauer, 2009; DSB, 2009).
Havnivåstigning beregnes: 31 cm/50 år (90 cm/100 år) – lokal landhevingsrate.
100 års stormflo beregnes: HAT relativt NN1954 + 100 års gjentaksintervall relativt HAT + havnivåstigning i år 2050/2100 + antatt økning i stormaktivitet (5cm/50 år, 10 cm/100 år).
**Middelverdier for Larvik.*

	2050				2100			
	Havstigning (cm)		100 års stormflo (cm) relativt NN1954		Havstigning (cm)		100 års stormflo (cm) relativt NN1954	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Tromsø	10	32	229	251	43	98	267	322
Trondheim	-1	21	246	268	22	77	274	329
Bergen	15	37	178	200	53	108	221	276
Stavanger	17	39	143	165	58	113	189	244
Oslo	-1	21	189	211	21	76	216	271
Larvik	7	29	174	196	38	93	210	265
Larvik*	15		182		58		230	

Nyere resultater basert på IPCC (2013) scenarier finnes i Simpson m.fl. (2015). De har beregnet gjentaksintervaller av ekstreme vannivåer (fra målestasjoner) med ACER (Average conditional exceedance rate) metoden, Tabell E2-2. Verdiene i Tabell E2-2 viser gjentakshøyder over middelvannstand, uten klimapåslag, bølger eller lokal oppstuvning av vann på grunn av vind.

Tabell E2-2: Gjentakshøyder ved norske tidevannsmålere (1996-2014), Simpson m.fl. (2015)

Lokasjon	Nærmeste tidevanns-måler (korreksjons-faktor)	20 års gjentakshøyde (cm over middel-vannstand)	200 års gjentakshøyde (cm over middel-vannstand)	200 års gjentakshøyde (cm, NN1954)	1000 års gjentakshøyde (cm over middel-vannstand)
Larvik	Helgeroa (-9 cm)	126	151	142	167

Beregnede verdier for stormflo kan øke dramatisk når havnivået stiger (Simpson m.fl., 2015). Simpson m.fl. (2015) har beregnet regionale framskrivninger for havnivåstigning i Norge som baserer seg på IPCC Fifth Assessment Report (AR5) og resultat fra

”Coupled Model Intercomparison Project” Phase 5 (CIMP5). Resultatene for Larvik er presentert i Tabell E2-3.

Tabell E2-3: Regional framskrivning for endring av havnivå (Simpson m.fl., 2015). Scenariene er basert på AR5 (Fifth Assessment Report of ICPP) og CMIP5 (klimamodel) og inkluderer effekten av landhevning.

	Lokasjon	2041-2060 (middel) (cm)	2081-2100 (middel) (cm)	2100 (middel) (cm)
RCP 2.6	Larvik	5	7	7
RCP 4.5	Larvik	6	14	15
RCP 8.5	Larvik	10	32	38

Scenariet som er valgt for stormfloberegningene for Larvik kommune er sammenfattet i Tabell E2-4. Vi har brukt 200 års vannstand fra Simpson m.fl. (2015), se Tabell E2-2. I dette tallet ligger også effekten av det atmosfæriske trykket samt effekten av vindoppstuving på en større regional skala. Den lokale effekten av vindoppstuvingen og bølgene kommer i tillegg. Havnivåstigningen for 2065 har vi ut fra verdiene i Tabell E2-3 estimert til 15 cm. Vi har også valgt å bruke HAT for tidevannets innvirkning (den er ifølge www.sehavniva.no på 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 (oppstuving og bølger) og eventuelt flom fra Numedalslågen (kun for områdene rundt Larvik) på 142+15+21+5 cm = 183 cm (NN54). For oppstuving 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 E2-4: Valgt scenario for stormfloberegninger, Larvik kommune

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

** estimert for 2065 fra Simpson m.fl. (2015)*
*** Lowe & Gregory (2005) og DSB (2009).*

E3 Resultater – regional modellering av stormflo

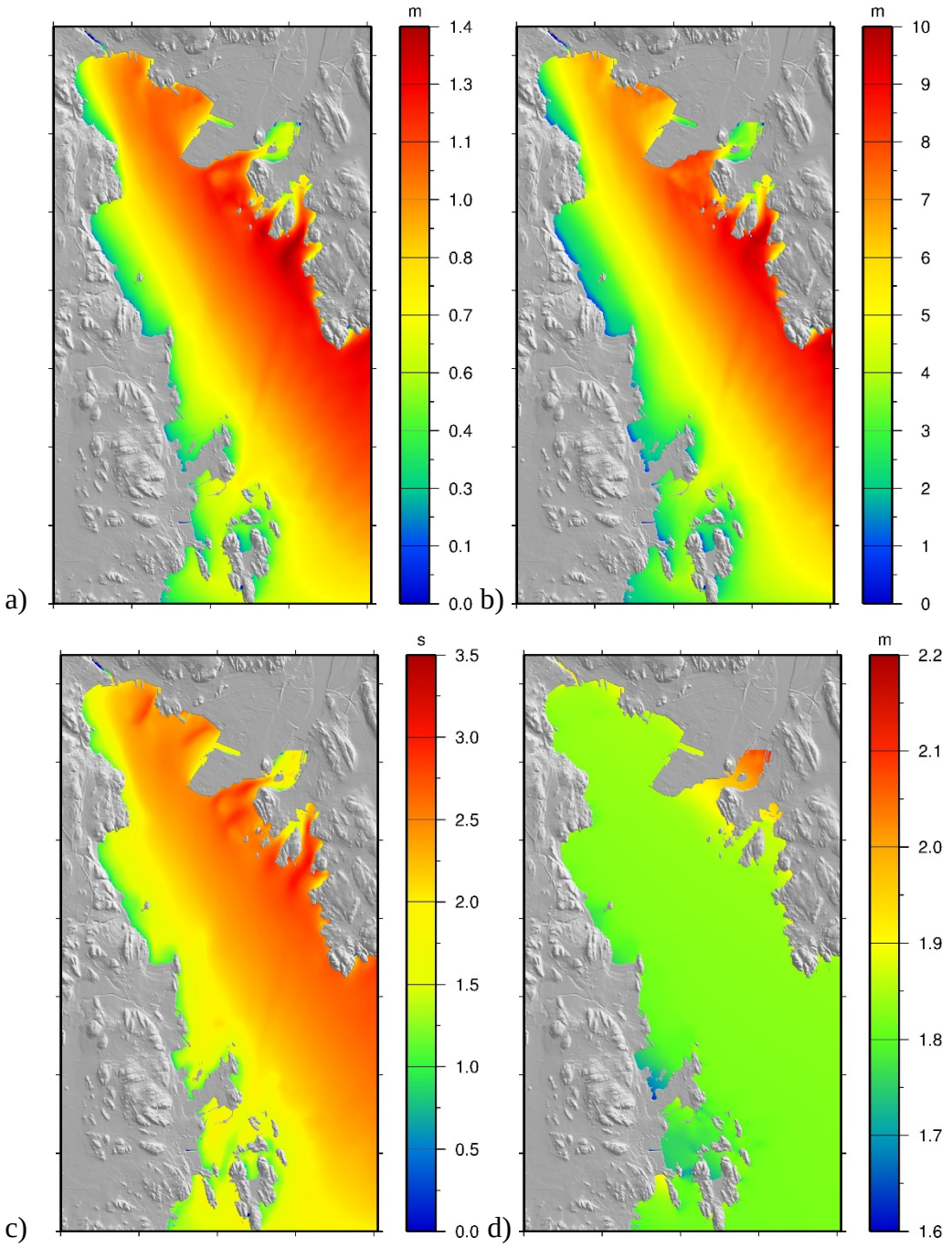
Delft3D er en verdensledende 3-dimensjonal modelleringspakke for å undersøke og beregne ulike former for hydrodynamikk, sediment-transport og morfologi samt vannkvalitet i kystnære miljøer (https://oss.deltares.nl/web/delft3d/). Store deler av denne modellpakken er tilgjengelig i åpen kildekode. I våre beregninger har vi brukt modellene Delf3D-FLOW og Delft3D-WAVE. Førstnevnte brukes for å modellere vindoppstuving mens sistnevnte er en bølgemodell (som frittstående kalles denne SWAN, Simulating Waves Near-Shore). Denne er egnet for modellering av vind-genererte bølger, også for områder med høy gitteroppløsning som er nødvendig å bruke i kompliserte geometrier. Modellen brukes bl.a. for varsling i Trondheimsleia. Modellen

tar hensyn til de spesielle forhold som gjelder for bølger når de kommer inn på grunt vann. For stormfloberegningene som er gjort for Larvik er modellene for stormflo og bølger koblet. Sluttresultatet gir da samlet effekt av vindoppstuving og bølger.

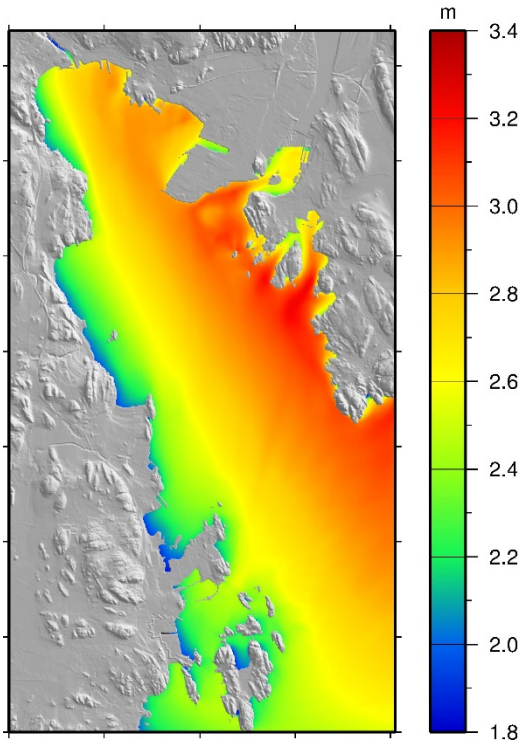
Delft3D-WAVE beregner signifikant bølgehøyde. Vi er interessert i å ta ut de høyeste bølgetoppene. I følge met.no så vil de høyeste bølgene være 1.6-1.8 ganger høyere enn signifikant bølgehøyde. Samtidig måles bølgehøyde som den vertikale høydeforskjellen mellom bølgedal og bølgetopp. Amplituden som er høyden fra likevekt til bølgetopp er derfor omtrent halvparten av bølgehøyden. For å finne bølgenes innvirkning på vannivået både i fjorden og innover land ganger vi signifikant bølgehøyde med 1.8 og deler på 2.

For beregningene har vi brukt batymetriske data for sjø og laserdata for land. Sjødataene baserer seg på de best tilgjengelige dataene for sjødybder, interpolert over på et gitter med 25 m oppløsning. Dataene er levert av Geodatasenteret AS. Laserdataene er formidlet av Larvik kommune og har høydereferanse NN2000.

Det er gjort to beregninger for denne studien, en for Larvik/Nevlunghavn og en for alle områder i Larviksfjorden. For førstnevnte område har vi brukt en oppløsning på 10 m for både vindoppstuvingen og bølgene. For Larviksfjorden har vi brukt henholdsvis 10 m og 20 m. Før beregningene starter legger vi på en vannføring i Lågen tilsvarende 50 års flom, samt hever vannivået til 183 cm (se over). I dette tallet er det medtatt 200 års vannstandsnivå, klimapåslag, tidevann og framtidig havnivåstigning. Randbetingelsene ut mot storhavet er gitt som en fast verdi på vannivået tilsvarende initialbetingelsen over (183 cm). Dette vil kunne innvirke noe på løsningen i de ytre delene av beregnings-områdene, men ikke inn mot områdene som vi skal undersøke. I Figur E3-1 vises spesifikke resultater for bølge- og stormflomodellen. Vi ser tydelig effekten av at vinden kommer fra SV ved at fjorden er minst påvirket i vest, men desto større oppstuving og effekt av bølger mot øst. Bidraget til overflatehevningen på grunn av bølger er opp til 1.4 m utenfor Hølen, men avtar en del når bølgene kommer inn mot land og ikke minst beveger seg inn over land hvor bølgene utsettes for brytning og dermed reduksjon av høyden. Videre ser vi at gjennomsnittlig bølgelengde varierer fra under 1 m i vest til opp mot 10 m i øst. Bølgeperioden ligger i området 1.0-3.0 s. Den rene effekten av vind-oppstuvingen varierer fra negativ verdi i vest (vinden blåser vannet mot øst), til opptil 10-30 cm. Størst oppstuving får vi inn mot Numedalslågen og Hølen. Ved å kombinere bidraget fra bølger og vindoppstuving, får vi en samlet effekt på den overflatehevningen som varierer fra 1.8 m i vest til opptil 3.2 m i øst, se Figur E3-2. Igjen ser vi at den samlede maksimale overflatehevningen avtar inn mot grunnere områder hvor bølger bryter.



Figur E3-1: Resultater i Larviksfjorden for bølgemodellen og modellen for vindoppstuving: a) maksimal høyde for bølgene (målt fra likevektsnivå), b) gjennomsnittlig bølgelengde c) gjennomsnittlig bølgeperiode, og d) oppstuving av vannet på grunn av vinden (uten effekten av bølger). Alle høyder over er gitt i NN54. I nedre høyre delfigur inkluderer verdiene startverdien på vannivået før beregningene starter på 1.83 m. Verdier på land er ikke medtatt her.



Figur E3-2: Maksimalverdier for kombinasjonen vindoppstuving og bølger, målt ut fra NN54. Verdiene inkluderer startverdien på vannivået på 1.83 m.

Vedlegg F

KART OG TEGNINGER - RESULTATER

Innhold

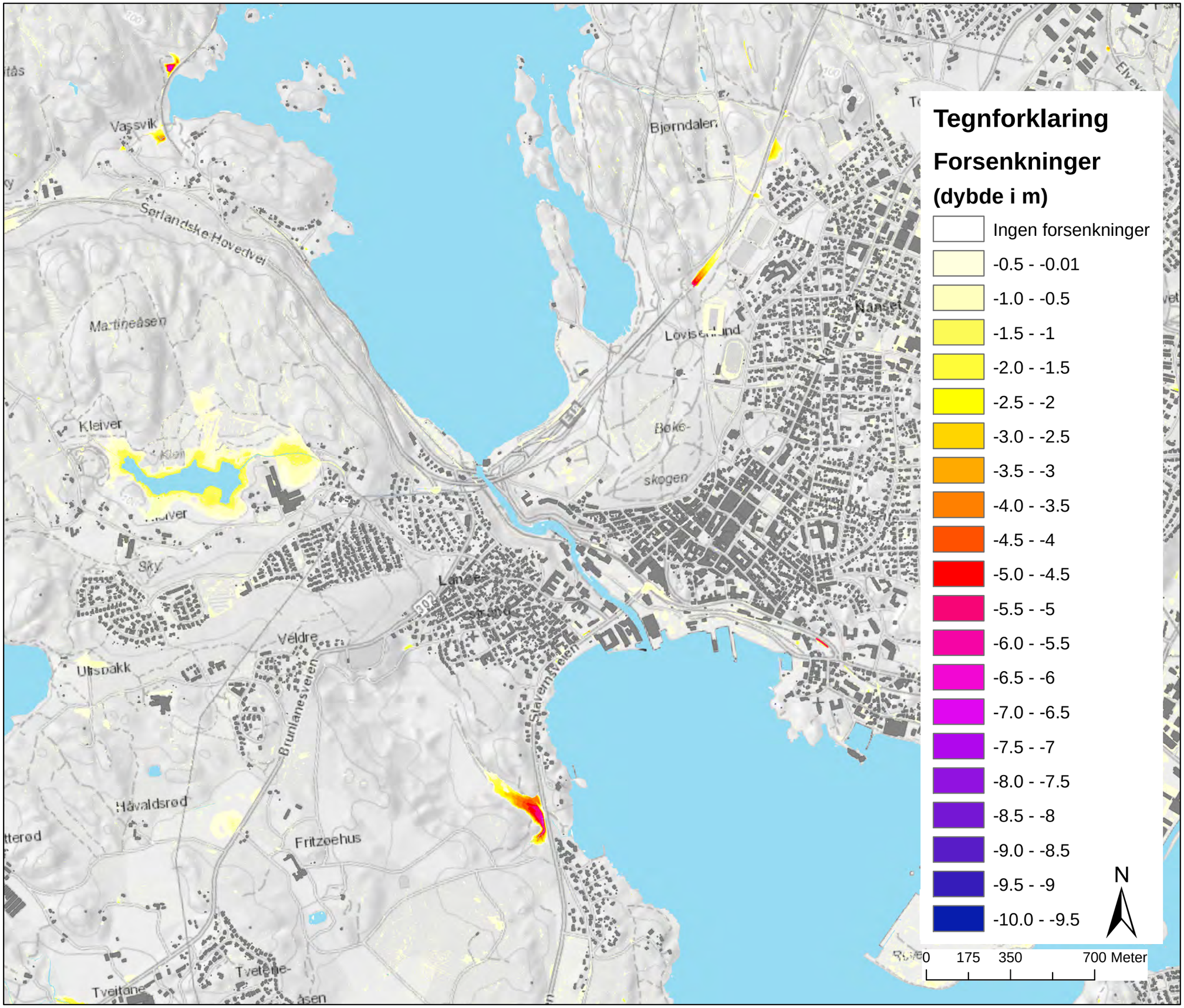
F1 Kart
F1.1 Urban flom
F1.2 Steinsprang
F1.3 Flomarealkart
F1.4 Stormflo
F1.4.1 Maksimal flomdybde
F1.4.2 Maksimal overflatehevning

F2 Tegninger
F2.1 Kvikkleire
Tegning nr. K1 Oversiktskart kvikkleiresoner med faregrad i Lardal kommune
Tegning nr. K2 Oversiktskart kvikkleiresoner med faregrad i Larvik kommune

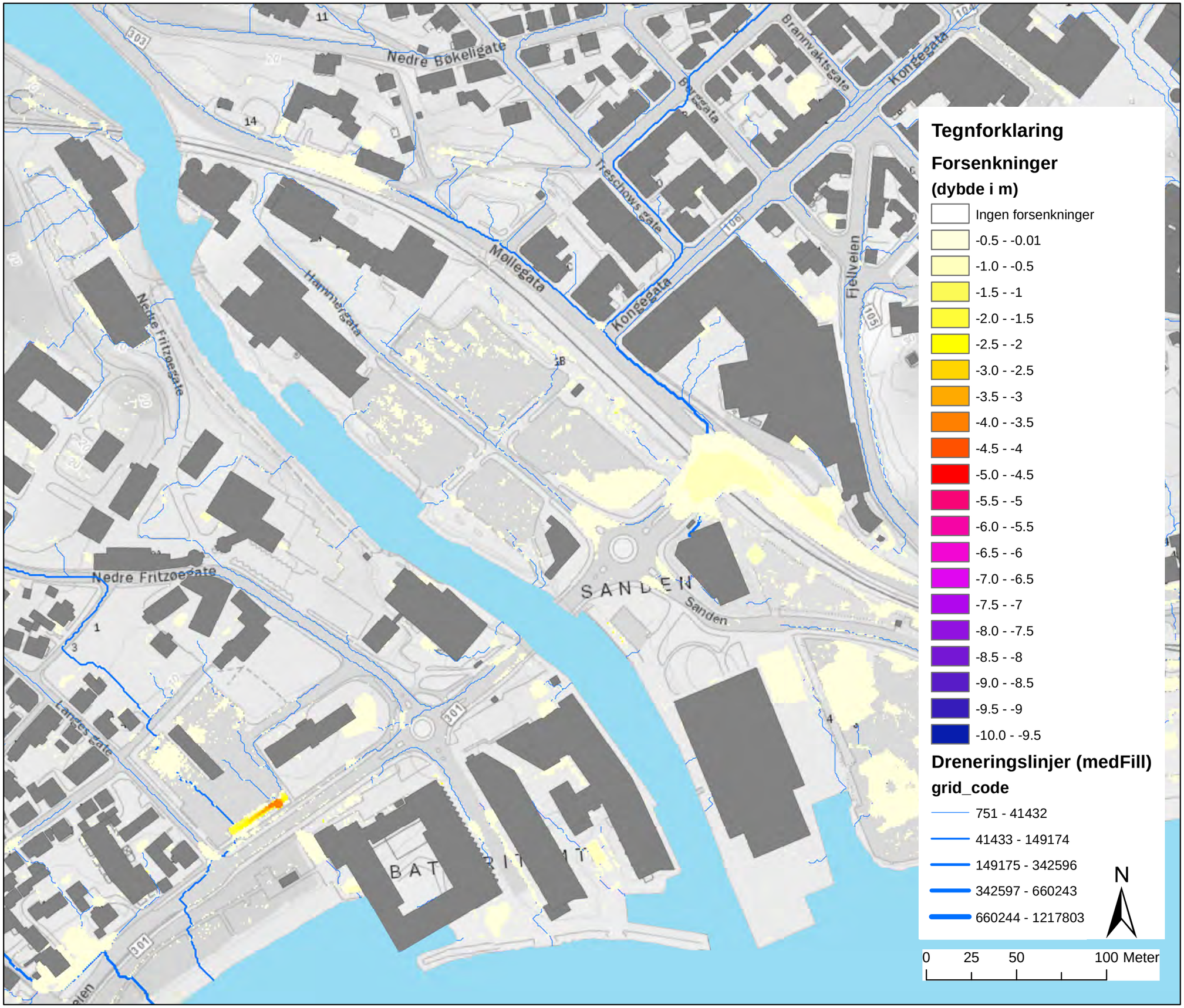
F2.2 Aktsomhetskart ravinering
Tegning nr. S1 Aktsomhetskart for jordskred og ravinering – Odbergneset Nord
Tegning nr. S2 Aktsomhetskart for jordskred og ravinering – Odbergneset Sør
Tegning nr. S3 Aktsomhetskart for jordskred og ravinering – Svingdalen
Tegning nr. S4 Aktsomhetskart for jordskred og ravinering – Husvann

F1 Kart

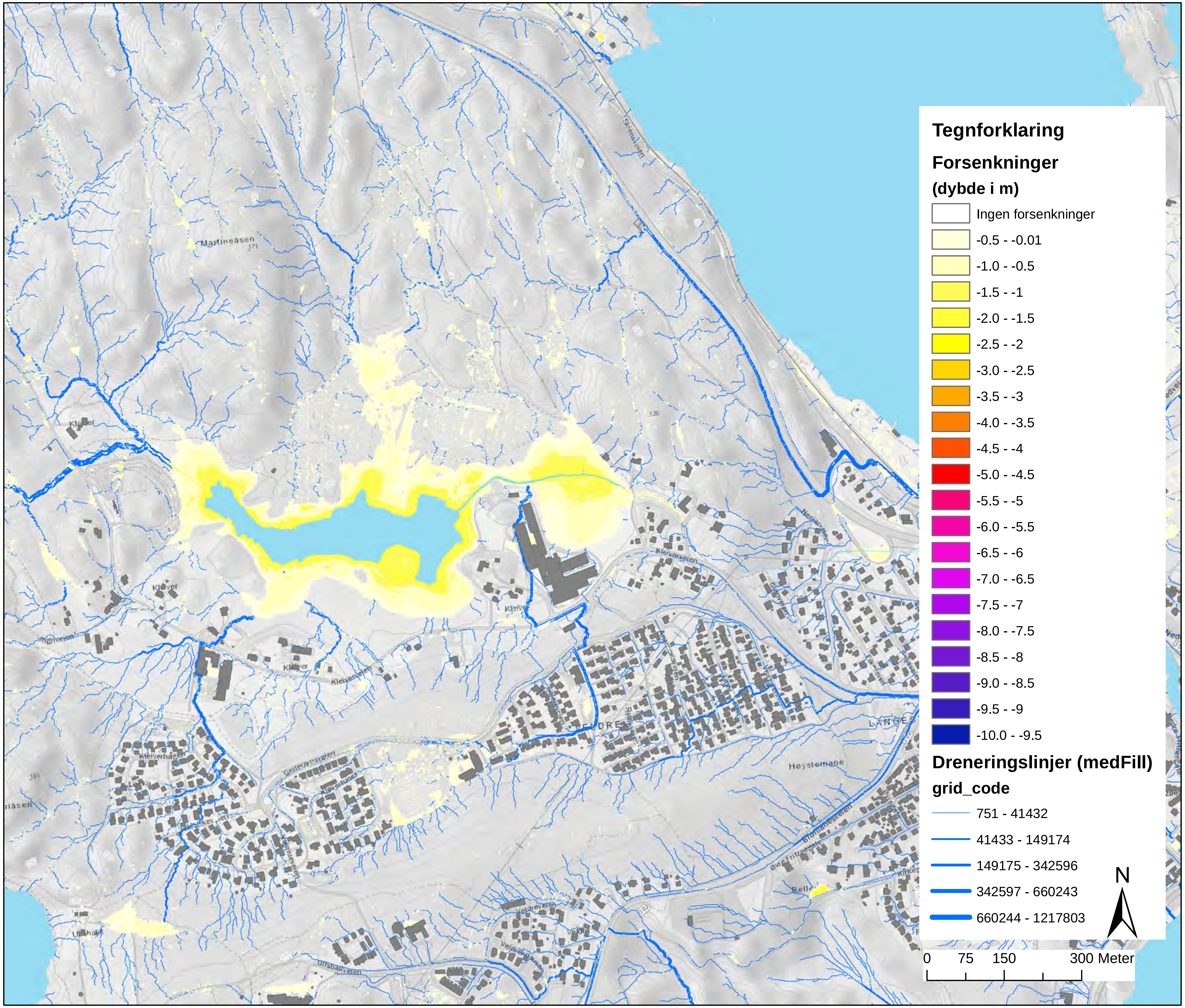
F1.1 Urban flom



Urban flom, forsenkninger (dybde)		
Oversiktskart	Prosjektnr. 20150471	Kart nr. F4-4
	Utført RF	Dato 2016-04-13
	Kontrollert HCS	Godkjent CH
	NGI	

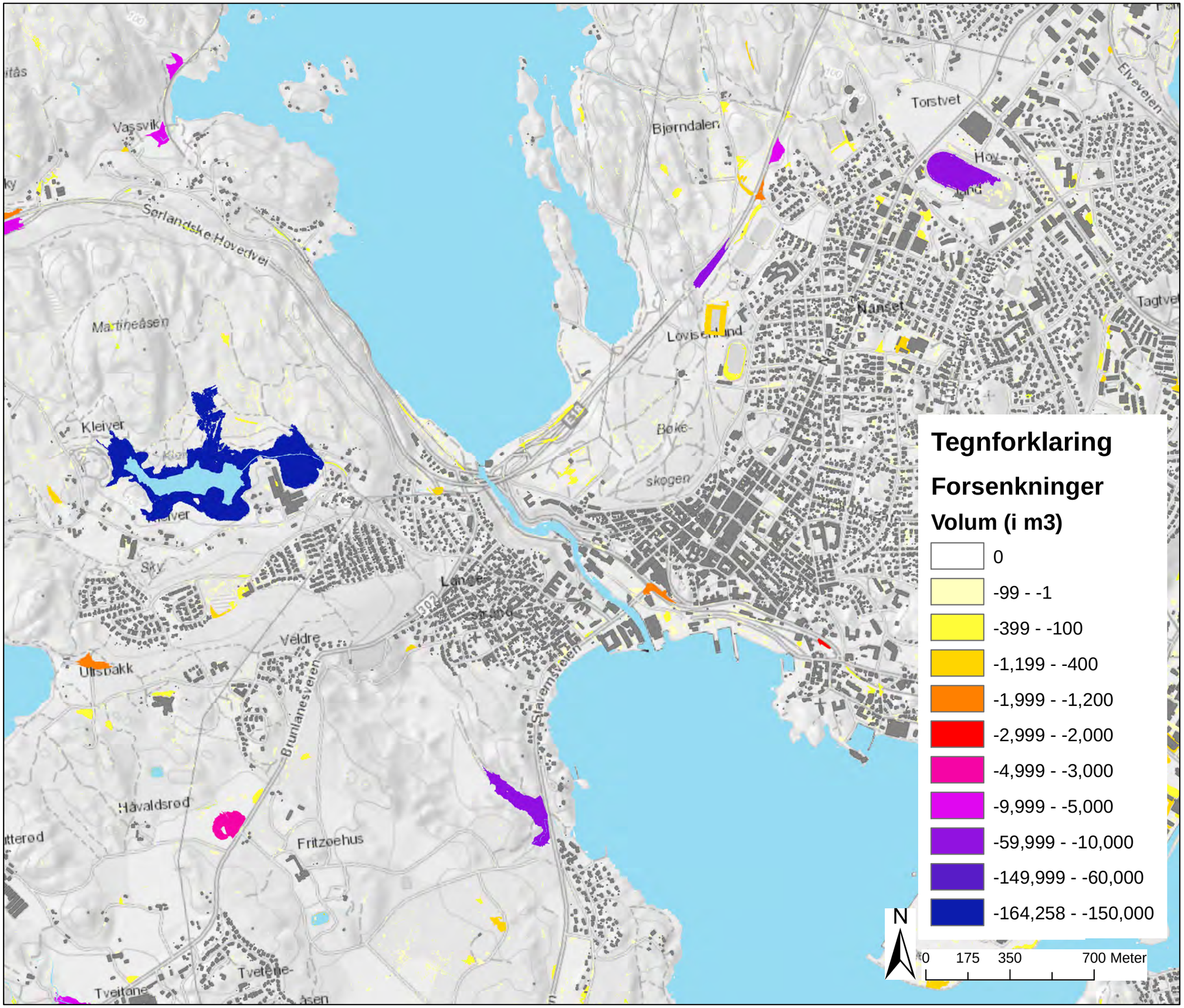


Urban flom, forsenkninger (dybde)		
Detaljkart	Prosjektnr. 20150471	Kart nr. F4-5
	Utført RF	Dato 2016-04-13
	Kontrollert HCS	Godkjent CH
	NGI	

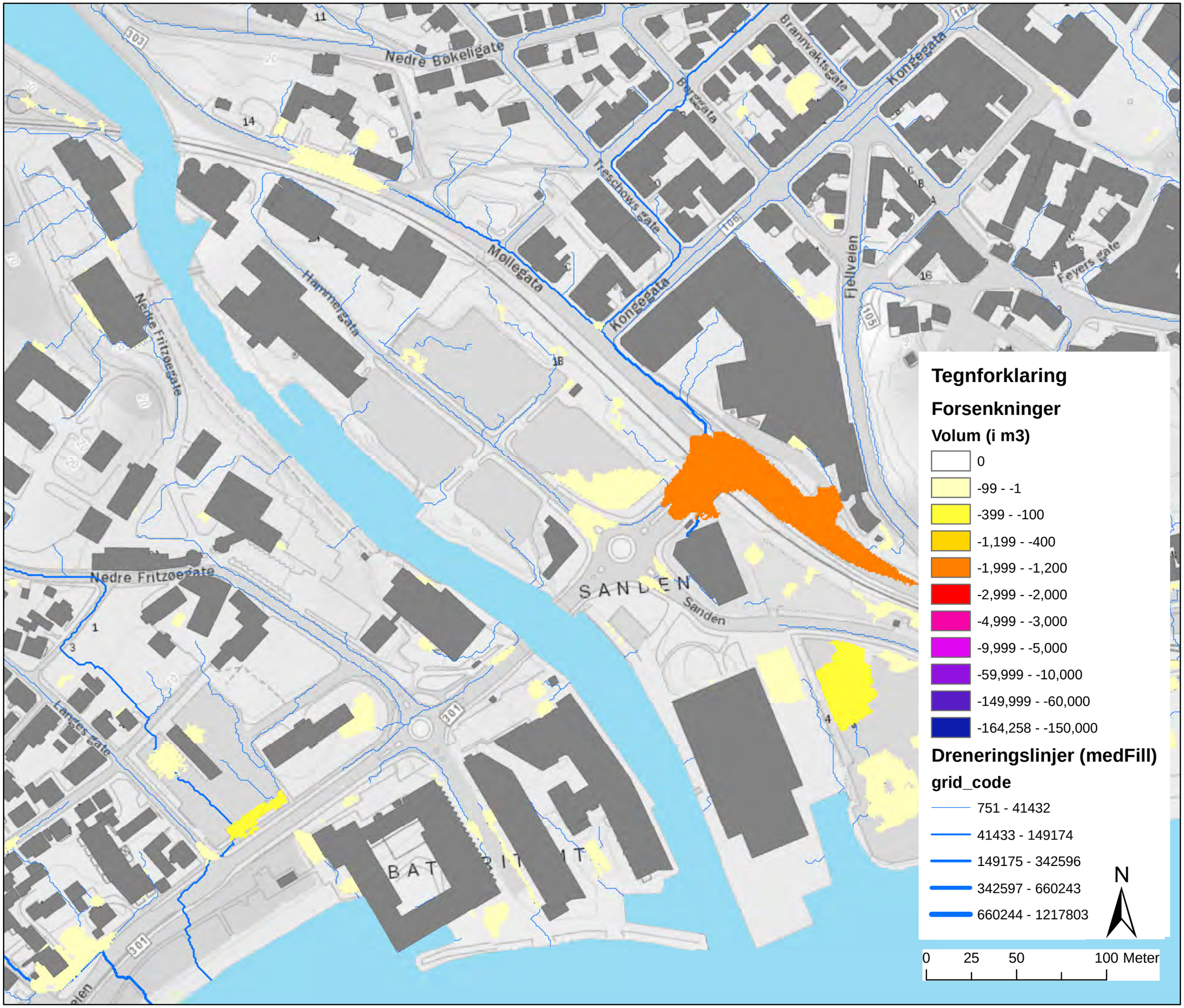


Urban flom, forsenkninger (dybde)		
Detaljkart	Prosjektnr. 20150471	Kart nr. F4-6
	Utført RF	Dato 2016-04-13
	Kontrollert HCS	Godkjent CH

NGI



Urban flom, forsenkninger (volum)		
Oversiktskart	Prosjektnr. 20150471	Kart nr. F4-7
	Utført RF	Dato 2016-04-13
	Kontrollert HCS	Godkjent CH
	NGI	



Urban flom, forsenkninger (volum)		
Detaljkart	Prosjektnr. 20150471	Kart nr. F4-8
	Utført RF	Dato 2016-04-13
	Kontrollert HCS	Godkjent CH
	NGI	

Tegnforklaring

Forsenkninger

Volum (i m3)

- 0
- -99 - -1
- -399 - -100
- -1,199 - -400
- -1,999 - -1,200
- -2,999 - -2,000
- -4,999 - -3,000
- -9,999 - -5,000
- -59,999 - -10,000
- -149,999 - -60,000
- -164,258 - -150,000

Dreneringslinjer (medFill)

grid_code

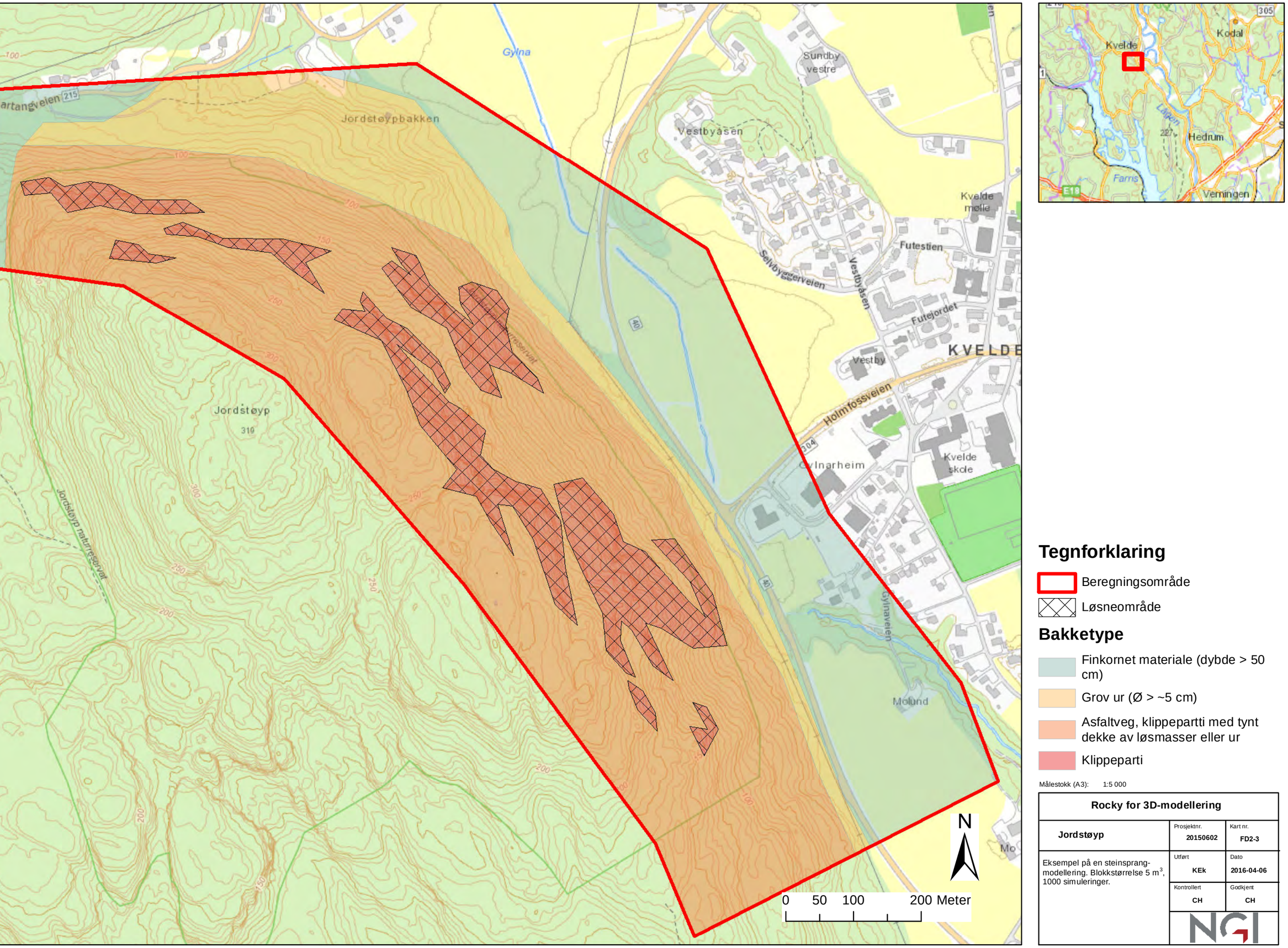
- 751 - 41432
- 41433 - 149174
- 149175 - 342596
- 342597 - 660243
- 660244 - 1217803

N

0 75 150 300 Meter

Urban flom, forsenkninger (volum)		
Detaljkart	Prosjektnr. **20150471**	Kart nr. **F4-9**
	Utført **RF**	Dato **2016-04-13**
	Kontrollert **HCS**	Godkjent **CH**
	NGI	

F1.2 Steinsprang



Tegnforklaring

- Beregningsområde
- Løsneområde

Bakketype

- Finkornet materiale (dybde > 50 cm)
- Grov ur (Ø > ~5 cm)
- Asfaltveg, klippepartti med tynt dekke av løsmasser eller ur
- Klippeparti

Målestokk (A3): 1:5 000

Rocky for 3D-modellering		
Jordstøyp	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **FD2-3**
Eksempel på en steinsprang-modellering. Blokkstørrelse 5 m^3, 1000 simuleringer.	Utført **KEk**	Dato **2016-04-06**
	Kontrollert **CH**	Godkjent **CH**

Tegnforklaring

Løsneområde

Sannsynlig utstrekning (%)

- 0
- 0.001 - 0.1
- 0.101 - 0.2
- 0.201 - 0.5
- 0.501 - 1
- 1.01 - 2
- 2.01 - 5
- 5.01 - 10
- 10.1 - 50
- 50.1 - 99.6

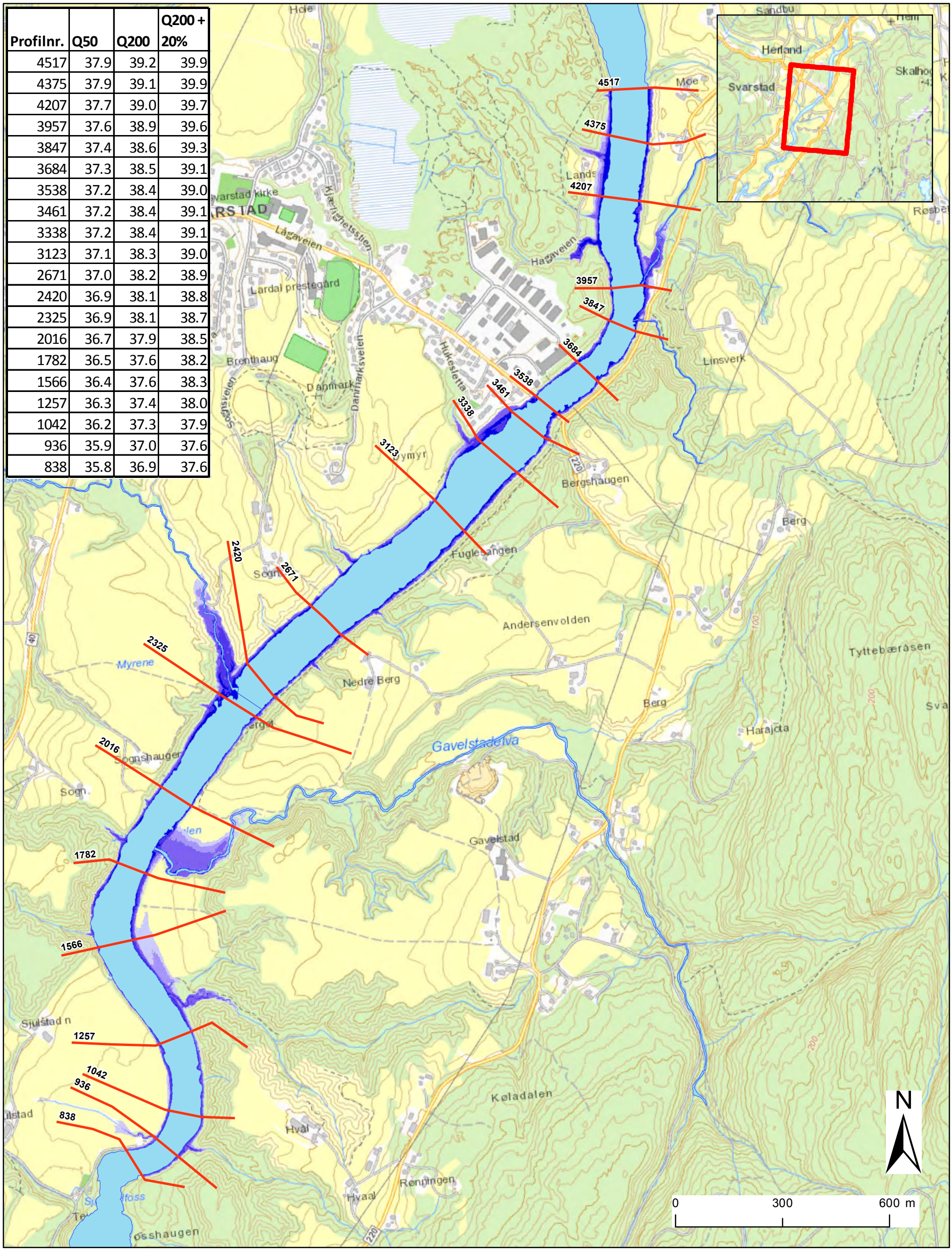
Målestokk (A3): 1:5 000

Rocky for 3D-modellering		
Jordstøyp	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **F4-28**
Eksempel på en steinsprang-modellering. Blokkstørrelse 5 m^3, 1000 simuleringer.	Utført **KEk**	Dato **2016-04-06**
	Kontrollert **CH**	Godkjent **CH**

NGI

F1.3 Flomarealkart

Profilnr.	Q50	Q200	Q200 + 20%
4517	37.9	39.2	39.9
4375	37.9	39.1	39.9
4207	37.7	39.0	39.7
3957	37.6	38.9	39.6
3847	37.4	38.6	39.3
3684	37.3	38.5	39.1
3538	37.2	38.4	39.0
3461	37.2	38.4	39.1
3338	37.2	38.4	39.1
3123	37.1	38.3	39.0
2671	37.0	38.2	38.9
2420	36.9	38.1	38.8
2325	36.9	38.1	38.7
2016	36.7	37.9	38.5
1782	36.5	37.6	38.2
1566	36.4	37.6	38.3
1257	36.3	37.4	38.0
1042	36.2	37.3	37.9
936	35.9	37.0	37.6
838	35.8	36.9	37.6



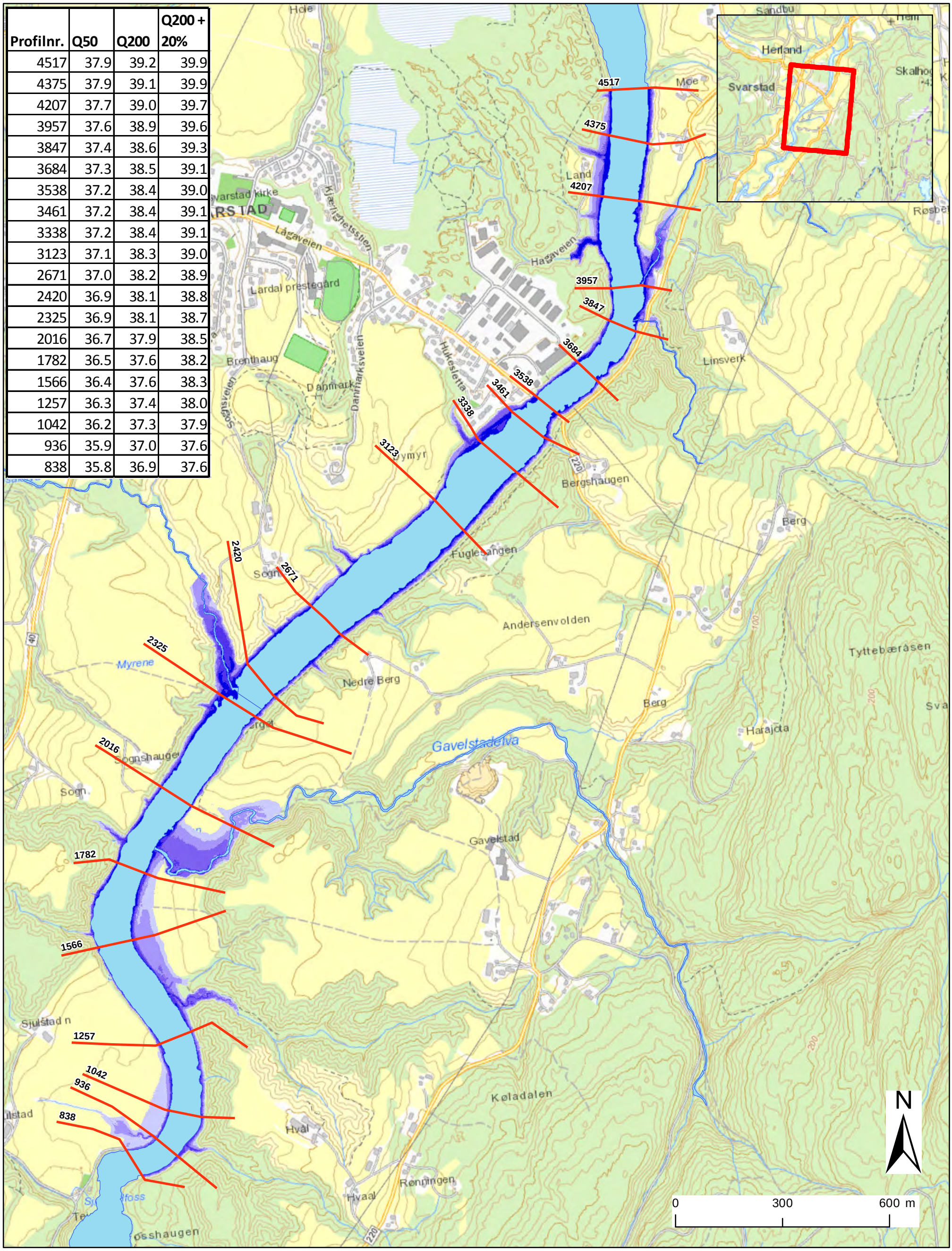
Hukstrøm 50års flom

- 0.07 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4.50
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:10 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag		
Hukstrøm	Prosjektnr. 20150602	Kart nr. F-1
	Utført KEk	Dato 2016-04-08
	Kontrollert OAH	Godkjent CH

Profilnr.	Q50	Q200	Q200 + 20%
4517	37.9	39.2	39.9
4375	37.9	39.1	39.9
4207	37.7	39.0	39.7
3957	37.6	38.9	39.6
3847	37.4	38.6	39.3
3684	37.3	38.5	39.1
3538	37.2	38.4	39.0
3461	37.2	38.4	39.1
3338	37.2	38.4	39.1
3123	37.1	38.3	39.0
2671	37.0	38.2	38.9
2420	36.9	38.1	38.8
2325	36.9	38.1	38.7
2016	36.7	37.9	38.5
1782	36.5	37.6	38.2
1566	36.4	37.6	38.3
1257	36.3	37.4	38.0
1042	36.2	37.3	37.9
936	35.9	37.0	37.6
838	35.8	36.9	37.6



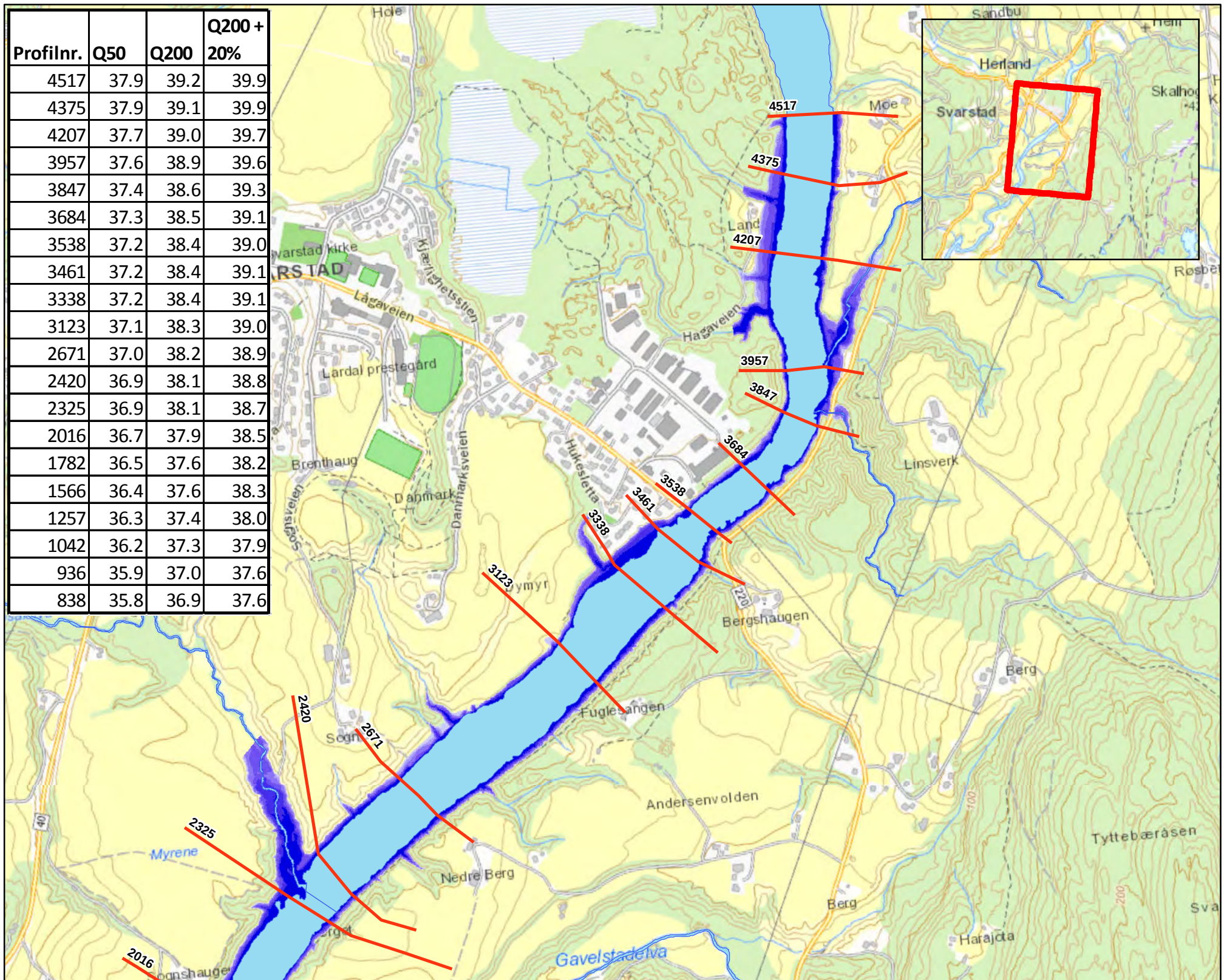
Hukstrøm 200års flom

- 0.14 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5.78
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:10 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag		
Hukstrøm	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **F-2**
	Utført **KEk**	Dato **2016-04-08**
	Kontrollert **OAH**	Godkjent **CH**

Profilnr.	Q50	Q200	Q200 + 20%
4517	37.9	39.2	39.9
4375	37.9	39.1	39.9
4207	37.7	39.0	39.7
3957	37.6	38.9	39.6
3847	37.4	38.6	39.3
3684	37.3	38.5	39.1
3538	37.2	38.4	39.0
3461	37.2	38.4	39.1
3338	37.2	38.4	39.1
3123	37.1	38.3	39.0
2671	37.0	38.2	38.9
2420	36.9	38.1	38.8
2325	36.9	38.1	38.7
2016	36.7	37.9	38.5
1782	36.5	37.6	38.2
1566	36.4	37.6	38.3
1257	36.3	37.4	38.0
1042	36.2	37.3	37.9
936	35.9	37.0	37.6
838	35.8	36.9	37.6

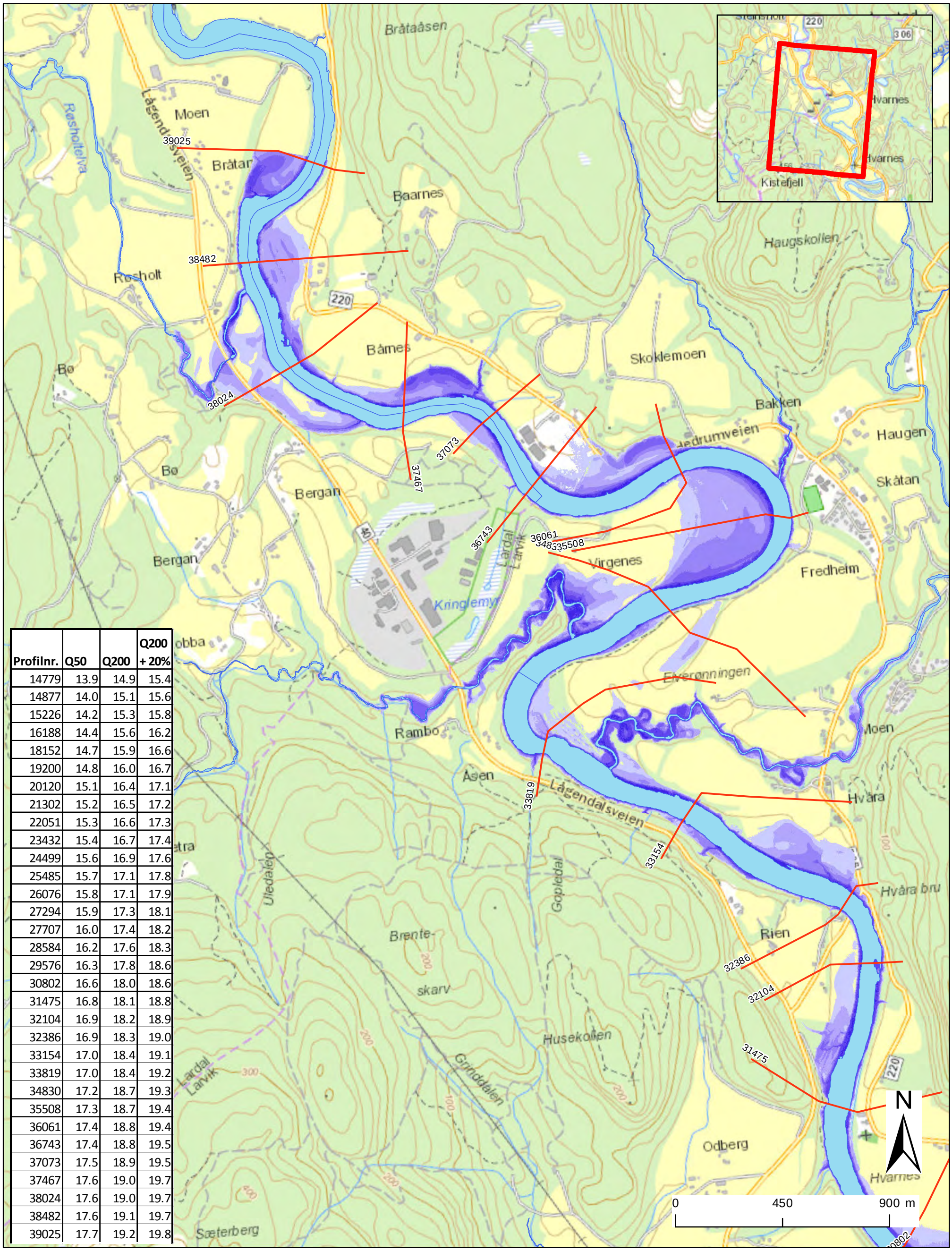


Hukstrøm 200års flom + 20%

- 0.16 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 6.5
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:10 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag		
Hukstrøm	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **F-3**
	Utført **KEk**	Dato **2016-04-08**
	Kontrollert **OAH**	Godkjent **CH**



Profilnr.	Q50	Q200	Q200 + 20%
14779	13.9	14.9	15.4
14877	14.0	15.1	15.6
15226	14.2	15.3	15.8
16188	14.4	15.6	16.2
18152	14.7	15.9	16.6
19200	14.8	16.0	16.7
20120	15.1	16.4	17.1
21302	15.2	16.5	17.2
22051	15.3	16.6	17.3
23432	15.4	16.7	17.4
24499	15.6	16.9	17.6
25485	15.7	17.1	17.8
26076	15.8	17.1	17.9
27294	15.9	17.3	18.1
27707	16.0	17.4	18.2
28584	16.2	17.6	18.3
29576	16.3	17.8	18.6
30802	16.6	18.0	18.6
31475	16.8	18.1	18.8
32104	16.9	18.2	18.9
32386	16.9	18.3	19.0
33154	17.0	18.4	19.1
33819	17.0	18.4	19.2
34830	17.2	18.7	19.3
35508	17.3	18.7	19.4
36061	17.4	18.8	19.4
36743	17.4	18.8	19.5
37073	17.5	18.9	19.5
37467	17.6	19.0	19.7
38024	17.6	19.0	19.7
38482	17.6	19.1	19.7
39025	17.7	19.2	19.8

Hvåra-Kvelde 50 års flom

- 0.42 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5
- 5 - 6
- 6 - 7
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:15 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag

Hvåra - Kvelde	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **F-4**
	Utført **KEk**	Dato **2016-04-08**
	Kontrollert **OAH**	Godkjent **CH**

NGI

Profilnr.	Q50	Q200	Q200 + 20%
14779	13.9	14.9	15.4
14877	14.0	15.1	15.6
15226	14.2	15.3	15.8
16188	14.4	15.6	16.2
18152	14.7	15.9	16.6
19200	14.8	16.0	16.7
20120	15.1	16.4	17.1
21302	15.2	16.5	17.2
22051	15.3	16.6	17.3
23432	15.4	16.7	17.4
24499	15.6	16.9	17.6
25485	15.7	17.1	17.8
26076	15.8	17.1	17.9
27294	15.9	17.3	18.1
27707	16.0	17.4	18.2
28584	16.2	17.6	18.3
29576	16.3	17.8	18.6
30802	16.6	18.0	18.6
31475	16.8	18.1	18.8
32104	16.9	18.2	18.9
32386	16.9	18.3	19.0
33154	17.0	18.4	19.1
33819	17.0	18.4	19.2
34830	17.2	18.7	19.3
35508	17.3	18.7	19.4
36061	17.4	18.8	19.4
36743	17.4	18.8	19.5
37073	17.5	18.9	19.5
37467	17.6	19.0	19.7
38024	17.6	19.0	19.7
38482	17.6	19.1	19.7
39025	17.7	19.2	19.8

Hvåra-Kvelde 50 års flom

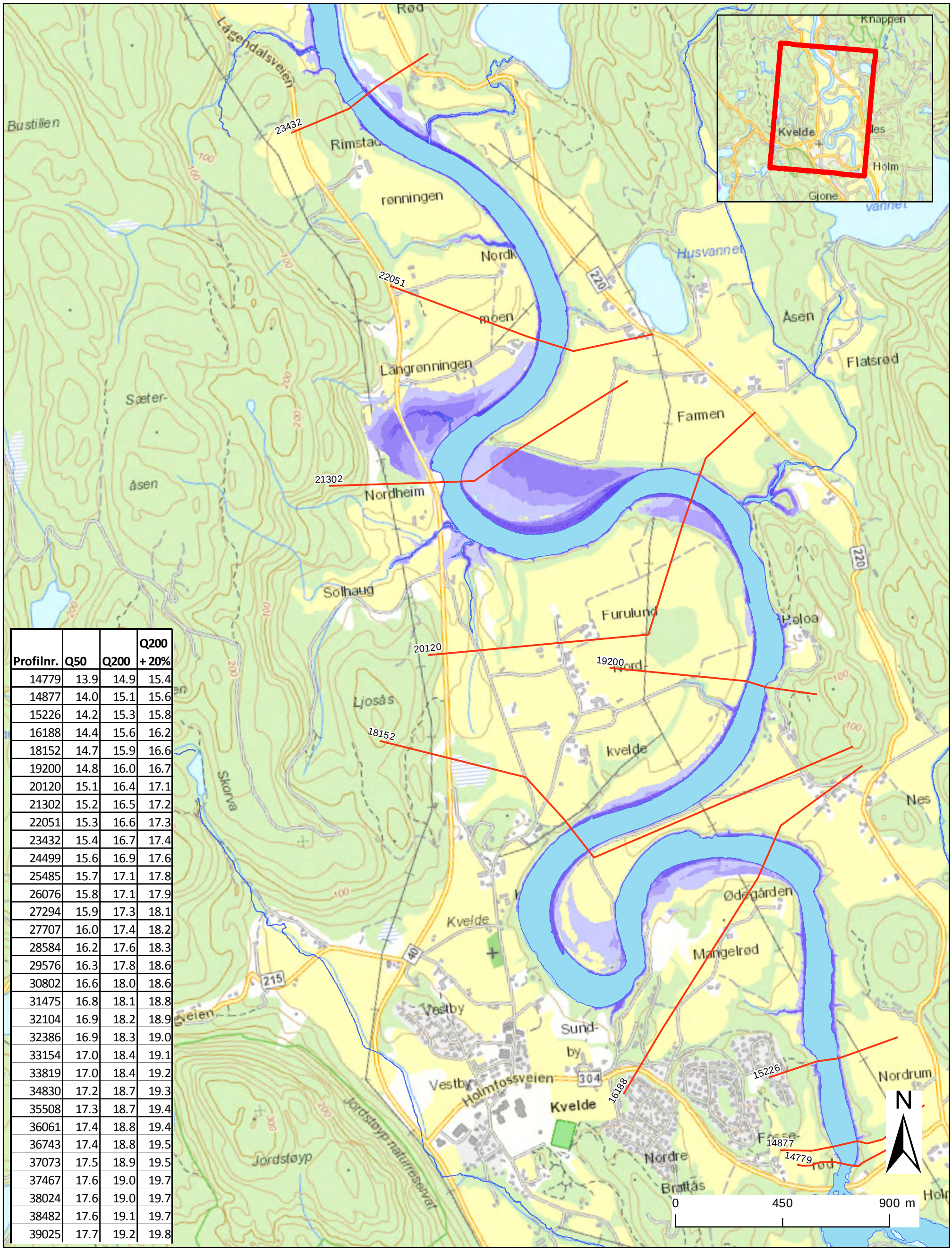
- 0.42 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5
- 5 - 6
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:15 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag

Hvåra - Kvelde	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **F-5**
	Utført **KEk**	Dato **2016-04-08**
	Kontrollert **OAH**	Godkjent **CH**

NGI



Profilnr.	Q50	Q200	Q200 + 20%
14779	13.9	14.9	15.4
14877	14.0	15.1	15.6
15226	14.2	15.3	15.8
16188	14.4	15.6	16.2
18152	14.7	15.9	16.6
19200	14.8	16.0	16.7
20120	15.1	16.4	17.1
21302	15.2	16.5	17.2
22051	15.3	16.6	17.3
23432	15.4	16.7	17.4
24499	15.6	16.9	17.6
25485	15.7	17.1	17.8
26076	15.8	17.1	17.9
27294	15.9	17.3	18.1
27707	16.0	17.4	18.2
28584	16.2	17.6	18.3
29576	16.3	17.8	18.6
30802	16.6	18.0	18.6
31475	16.8	18.1	18.8
32104	16.9	18.2	18.9
32386	16.9	18.3	19.0
33154	17.0	18.4	19.1
33819	17.0	18.4	19.2
34830	17.2	18.7	19.3
35508	17.3	18.7	19.4
36061	17.4	18.8	19.4
36743	17.4	18.8	19.5
37073	17.5	18.9	19.5
37467	17.6	19.0	19.7
38024	17.6	19.0	19.7
38482	17.6	19.1	19.7
39025	17.7	19.2	19.8

Hvåra-Kvelde 50 års flom

- 0.42 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:15 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag		
Hvåra - Kvelde	Prosjektnr. 20150602	Kart nr. F-6
	Utført KEk	Dato 2016-04-08
	Kontrollert OAH	Godkjent CH

Profilnr.	Q50	Q200	Q200 + 20%
14779	13.9	14.9	15.4
14877	14.0	15.1	15.6
15226	14.2	15.3	15.8
16188	14.4	15.6	16.2
18152	14.7	15.9	16.6
19200	14.8	16.0	16.7
20120	15.1	16.4	17.1
21302	15.2	16.5	17.2
22051	15.3	16.6	17.3
23432	15.4	16.7	17.4
24499	15.6	16.9	17.6
25485	15.7	17.1	17.8
26076	15.8	17.1	17.9
27294	15.9	17.3	18.1
27707	16.0	17.4	18.2
28584	16.2	17.6	18.3
29576	16.3	17.8	18.6
30802	16.6	18.0	18.6
31475	16.8	18.1	18.8
32104	16.9	18.2	18.9
32386	16.9	18.3	19.0
33154	17.0	18.4	19.1
33819	17.0	18.4	19.2
34830	17.2	18.7	19.3
35508	17.3	18.7	19.4
36061	17.4	18.8	19.4
36743	17.4	18.8	19.5
37073	17.5	18.9	19.5
37467	17.6	19.0	19.7
38024	17.6	19.0	19.7
38482	17.6	19.1	19.7
39025	17.7	19.2	19.8

Hvåra-Kvelde 200 års flom

- 0.16 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5
- 5 - 6
- 6 - 7
- 7 - 8.6
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:15 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag

Hvåra - Kvelde	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **F-7**
	Utført **KEk**	Dato **2016-04-08**
	Kontrollert **OAH**	Godkjent **CH**

NGI

Profilnr.	Q50	Q200	Q200 + 20%
14779	13.9	14.9	15.4
14877	14.0	15.1	15.6
15226	14.2	15.3	15.8
16188	14.4	15.6	16.2
18152	14.7	15.9	16.6
19200	14.8	16.0	16.7
20120	15.1	16.4	17.1
21302	15.2	16.5	17.2
22051	15.3	16.6	17.3
23432	15.4	16.7	17.4
24499	15.6	16.9	17.6
25485	15.7	17.1	17.8
26076	15.8	17.1	17.9
27294	15.9	17.3	18.1
27707	16.0	17.4	18.2
28584	16.2	17.6	18.3
29576	16.3	17.8	18.6
30802	16.6	18.0	18.6
31475	16.8	18.1	18.8
32104	16.9	18.2	18.9
32386	16.9	18.3	19.0
33154	17.0	18.4	19.1
33819	17.0	18.4	19.2
34830	17.2	18.7	19.3
35508	17.3	18.7	19.4
36061	17.4	18.8	19.4
36743	17.4	18.8	19.5
37073	17.5	18.9	19.5
37467	17.6	19.0	19.7
38024	17.6	19.0	19.7
38482	17.6	19.1	19.7
39025	17.7	19.2	19.8

Hvåra-Kvelde 200 års flom

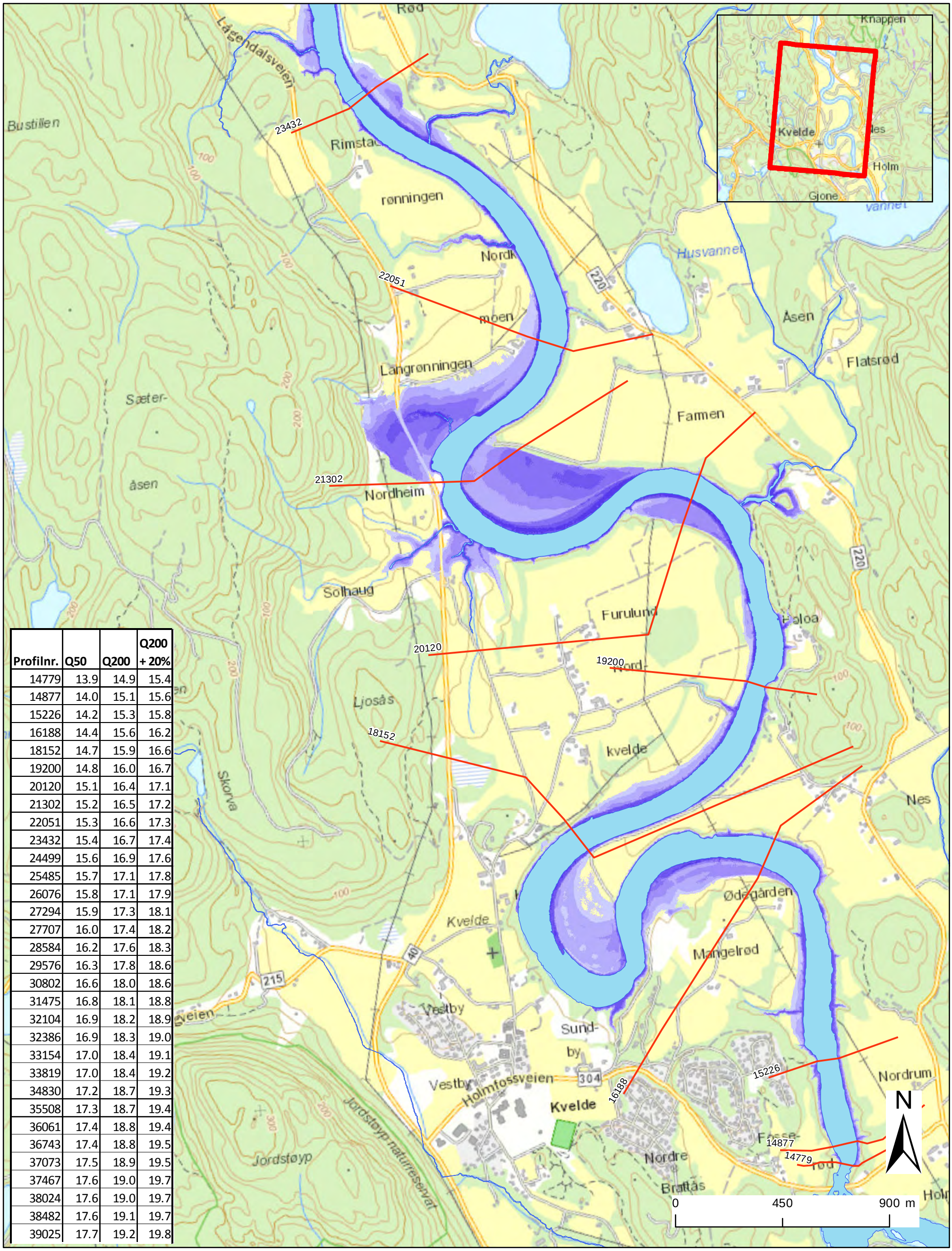
- 0.16 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5
- 5 - 6
- 6 - 7
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:15 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag

Hvåra - Kvelde	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **F-8**
	Utført **KEk**	Dato **2016-04-08**
	Kontrollert **OAH**	Godkjent **CH**

NGI



Profilnr.	Q50	Q200	Q200 + 20%
14779	13.9	14.9	15.4
14877	14.0	15.1	15.6
15226	14.2	15.3	15.8
16188	14.4	15.6	16.2
18152	14.7	15.9	16.6
19200	14.8	16.0	16.7
20120	15.1	16.4	17.1
21302	15.2	16.5	17.2
22051	15.3	16.6	17.3
23432	15.4	16.7	17.4
24499	15.6	16.9	17.6
25485	15.7	17.1	17.8
26076	15.8	17.1	17.9
27294	15.9	17.3	18.1
27707	16.0	17.4	18.2
28584	16.2	17.6	18.3
29576	16.3	17.8	18.6
30802	16.6	18.0	18.6
31475	16.8	18.1	18.8
32104	16.9	18.2	18.9
32386	16.9	18.3	19.0
33154	17.0	18.4	19.1
33819	17.0	18.4	19.2
34830	17.2	18.7	19.3
35508	17.3	18.7	19.4
36061	17.4	18.8	19.4
36743	17.4	18.8	19.5
37073	17.5	18.9	19.5
37467	17.6	19.0	19.7
38024	17.6	19.0	19.7
38482	17.6	19.1	19.7
39025	17.7	19.2	19.8

Hvåra-Kvelde 200 års flom

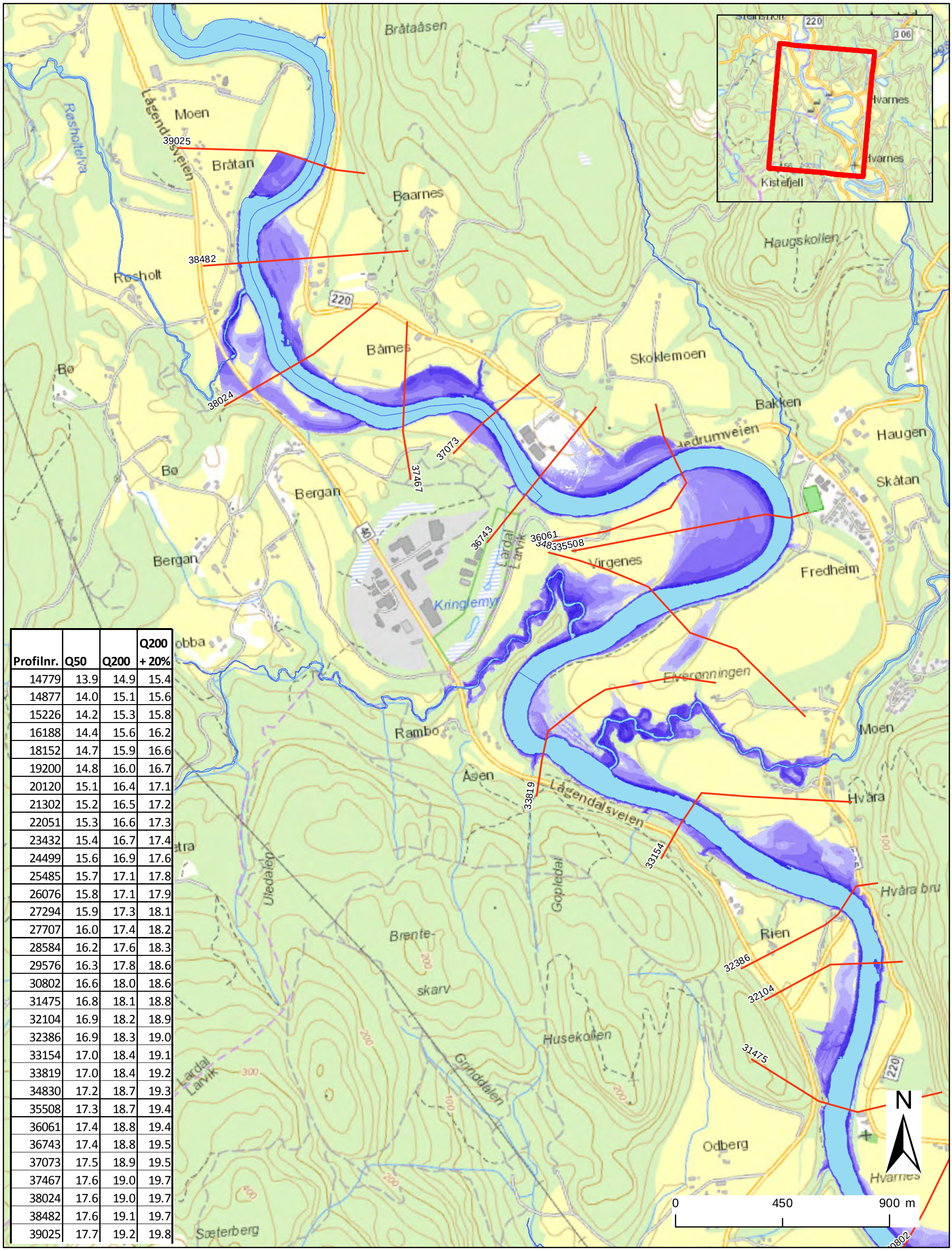
- 0.16 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5
- 5 - 6
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:15 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag

Hvåra - Kvelde	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **F-9**
	Utført **KEk**	Dato **2016-04-08**
	Kontrollert **OAH**	Godkjent **CH**

NGI



Profilnr.	Q50	Q200	Q200 + 20%
14779	13.9	14.9	15.4
14877	14.0	15.1	15.6
15226	14.2	15.3	15.8
16188	14.4	15.6	16.2
18152	14.7	15.9	16.6
19200	14.8	16.0	16.7
20120	15.1	16.4	17.1
21302	15.2	16.5	17.2
22051	15.3	16.6	17.3
23432	15.4	16.7	17.4
24499	15.6	16.9	17.6
25485	15.7	17.1	17.8
26076	15.8	17.1	17.9
27294	15.9	17.3	18.1
27707	16.0	17.4	18.2
28584	16.2	17.6	18.3
29576	16.3	17.8	18.6
30802	16.6	18.0	18.6
31475	16.8	18.1	18.8
32104	16.9	18.2	18.9
32386	16.9	18.3	19.0
33154	17.0	18.4	19.1
33819	17.0	18.4	19.2
34830	17.2	18.7	19.3
35508	17.3	18.7	19.4
36061	17.4	18.8	19.4
36743	17.4	18.8	19.5
37073	17.5	18.9	19.5
37467	17.6	19.0	19.7
38024	17.6	19.0	19.7
38482	17.6	19.1	19.7
39025	17.7	19.2	19.8

Hvåra-Kvelde 200 års flom + 20%

- 0.19 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5
- 5 - 6
- 6 - 7.17
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:15 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag

Hvåra - Kvelde	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **F-10**
	Utført **KEk**	Dato **2016-04-08**
	Kontrollert **OAH**	Godkjent **CH**

NGI

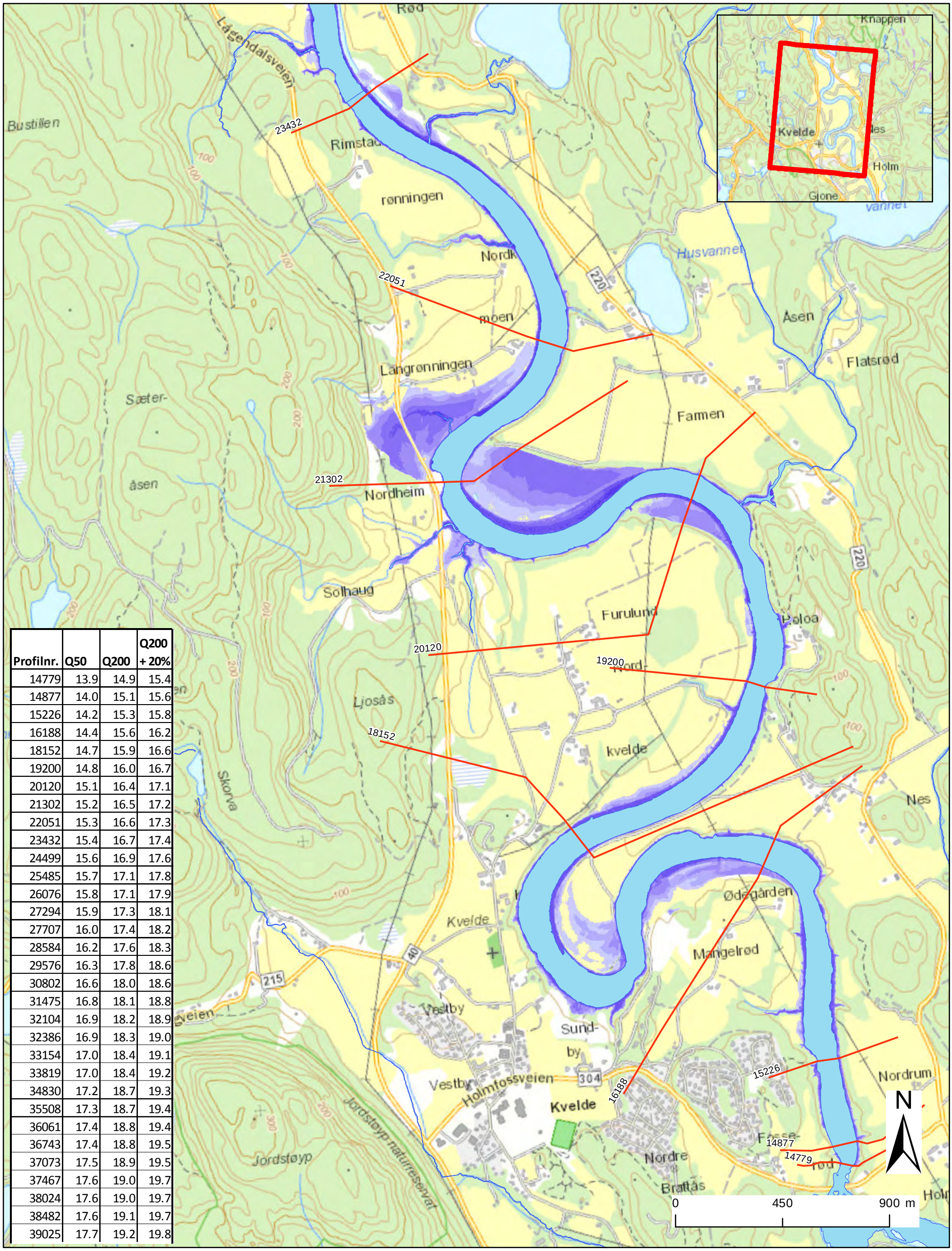
Profilnr.	Q50	Q200	Q200 + 20%
14779	13.9	14.9	15.4
14877	14.0	15.1	15.6
15226	14.2	15.3	15.8
16188	14.4	15.6	16.2
18152	14.7	15.9	16.6
19200	14.8	16.0	16.7
20120	15.1	16.4	17.1
21302	15.2	16.5	17.2
22051	15.3	16.6	17.3
23432	15.4	16.7	17.4
24499	15.6	16.9	17.6
25485	15.7	17.1	17.8
26076	15.8	17.1	17.9
27294	15.9	17.3	18.1
27707	16.0	17.4	18.2
28584	16.2	17.6	18.3
29576	16.3	17.8	18.6
30802	16.6	18.0	18.6
31475	16.8	18.1	18.8
32104	16.9	18.2	18.9
32386	16.9	18.3	19.0
33154	17.0	18.4	19.1
33819	17.0	18.4	19.2
34830	17.2	18.7	19.3
35508	17.3	18.7	19.4
36061	17.4	18.8	19.4
36743	17.4	18.8	19.5
37073	17.5	18.9	19.5
37467	17.6	19.0	19.7
38024	17.6	19.0	19.7
38482	17.6	19.1	19.7
39025	17.7	19.2	19.8

Hvåra-Kvelde 200 års flom + 20%

- 0.19 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5
- 5 - 6
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:15 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag		
Hvåra - Kvelde	Prosjektnr. 20150602	Kart nr. F-11
	Utført KEk	Dato 2016-04-08
	Kontrollert OAH	Godkjent CH



Profilnr.	Q50	Q200	Q200 + 20%
14779	13.9	14.9	15.4
14877	14.0	15.1	15.6
15226	14.2	15.3	15.8
16188	14.4	15.6	16.2
18152	14.7	15.9	16.6
19200	14.8	16.0	16.7
20120	15.1	16.4	17.1
21302	15.2	16.5	17.2
22051	15.3	16.6	17.3
23432	15.4	16.7	17.4
24499	15.6	16.9	17.6
25485	15.7	17.1	17.8
26076	15.8	17.1	17.9
27294	15.9	17.3	18.1
27707	16.0	17.4	18.2
28584	16.2	17.6	18.3
29576	16.3	17.8	18.6
30802	16.6	18.0	18.6
31475	16.8	18.1	18.8
32104	16.9	18.2	18.9
32386	16.9	18.3	19.0
33154	17.0	18.4	19.1
33819	17.0	18.4	19.2
34830	17.2	18.7	19.3
35508	17.3	18.7	19.4
36061	17.4	18.8	19.4
36743	17.4	18.8	19.5
37073	17.5	18.9	19.5
37467	17.6	19.0	19.7
38024	17.6	19.0	19.7
38482	17.6	19.1	19.7
39025	17.7	19.2	19.8

Hvåra-Kvelde 200 års flom + 20%

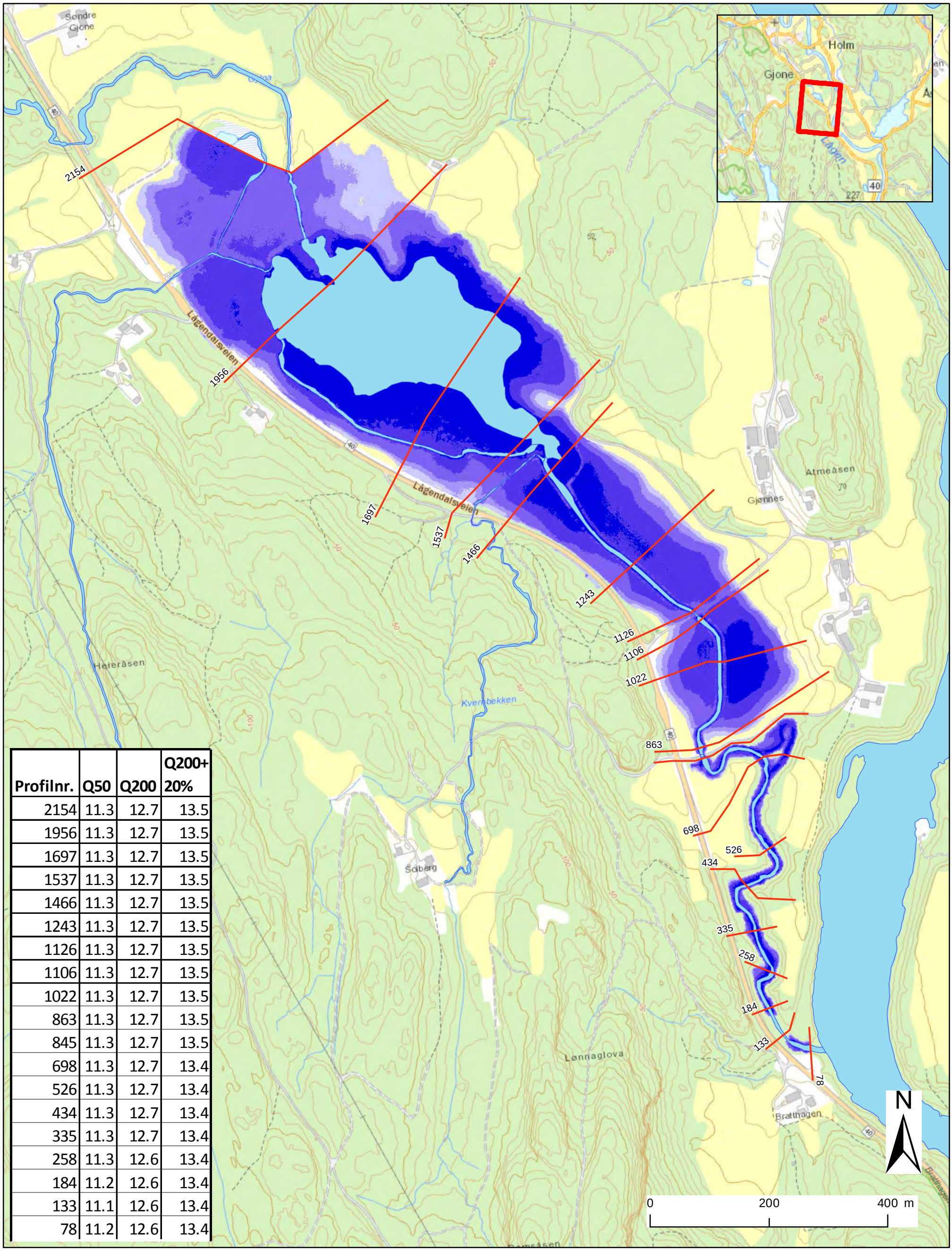
- 0.19 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:15 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag

Hvåra - Kvelde	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **F-12**
	Utført **KEk**	Dato **2016-04-08**
	Kontrollert **OAH**	Godkjent **CH**

NGI



Profilnr.	Q50	Q200	Q200+ 20%
2154	11.3	12.7	13.5
1956	11.3	12.7	13.5
1697	11.3	12.7	13.5
1537	11.3	12.7	13.5
1466	11.3	12.7	13.5
1243	11.3	12.7	13.5
1126	11.3	12.7	13.5
1106	11.3	12.7	13.5
1022	11.3	12.7	13.5
863	11.3	12.7	13.5
845	11.3	12.7	13.5
698	11.3	12.7	13.4
526	11.3	12.7	13.4
434	11.3	12.7	13.4
335	11.3	12.7	13.4
258	11.3	12.6	13.4
184	11.2	12.6	13.4
133	11.1	12.6	13.4
78	11.2	12.6	13.4

Gjønnes 50års flom

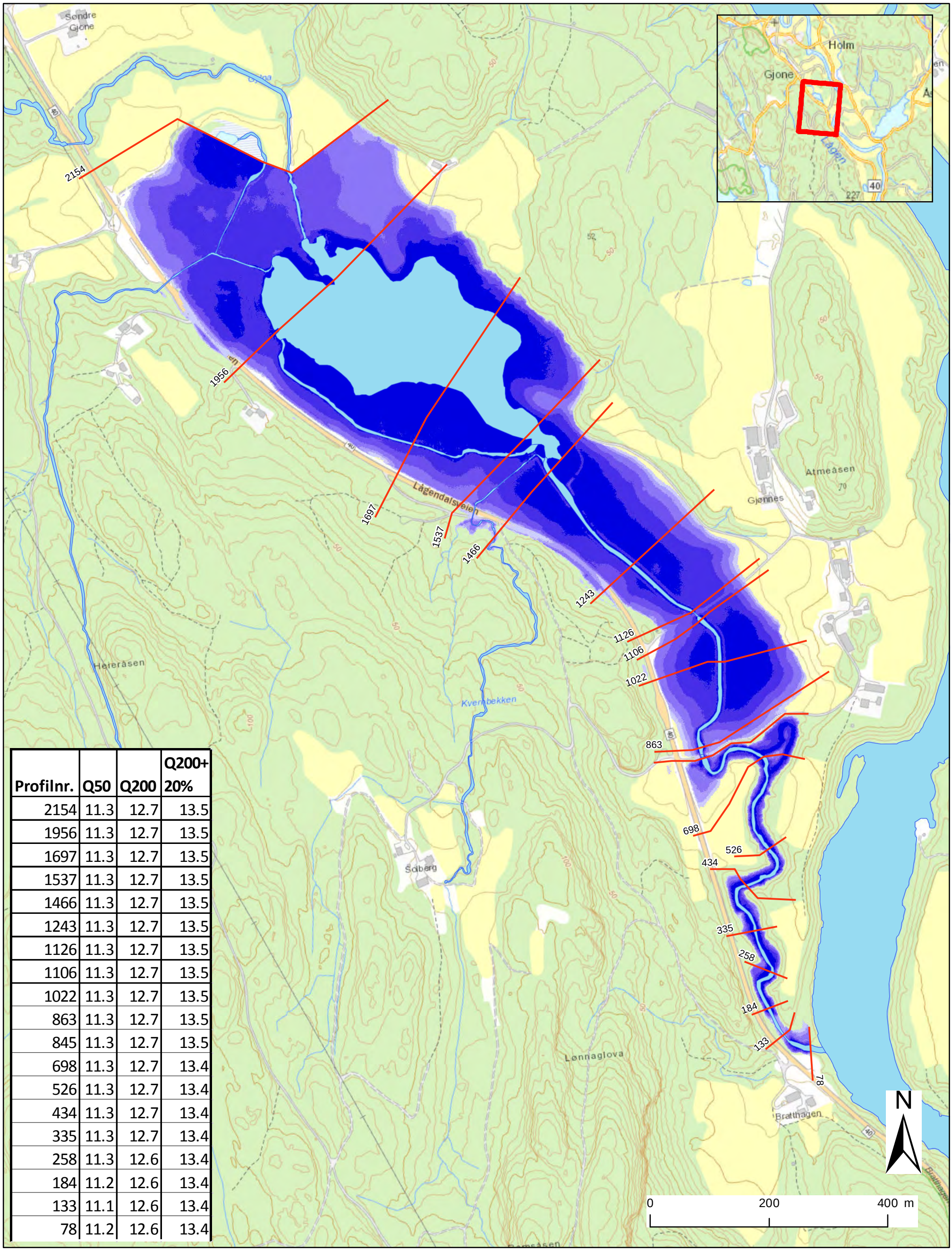
- 0.1 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 3.84
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:6 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag

Gjønnes	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **F-13**
	Utført **KEk**	Dato **2016-04-08**
	Kontrollert **OAH**	Godkjent **CH**

NGI



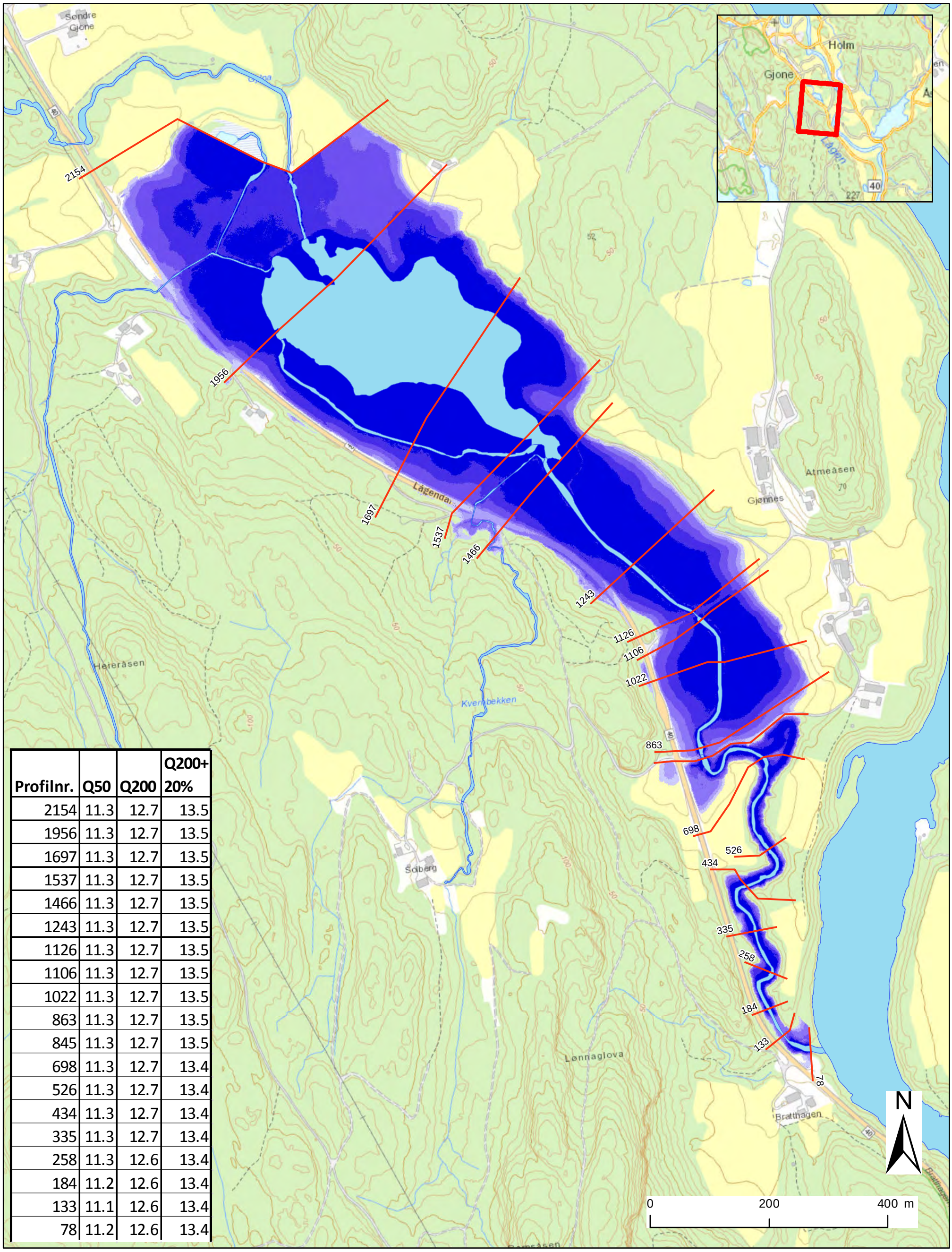
Profilnr.	Q50	Q200	Q200+ 20%
2154	11.3	12.7	13.5
1956	11.3	12.7	13.5
1697	11.3	12.7	13.5
1537	11.3	12.7	13.5
1466	11.3	12.7	13.5
1243	11.3	12.7	13.5
1126	11.3	12.7	13.5
1106	11.3	12.7	13.5
1022	11.3	12.7	13.5
863	11.3	12.7	13.5
845	11.3	12.7	13.5
698	11.3	12.7	13.4
526	11.3	12.7	13.4
434	11.3	12.7	13.4
335	11.3	12.7	13.4
258	11.3	12.6	13.4
184	11.2	12.6	13.4
133	11.1	12.6	13.4
78	11.2	12.6	13.4

Gjønnes 200års flom

- 0.09 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5.2
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:6 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag		
Gjønnes	Prosjektnr. 20150602	Kart nr. F-14
	Utført KEk	Dato 2016-04-08
	Kontrollert OAH	Godkjent CH



Profilnr.	Q50	Q200	Q200+ 20%
2154	11.3	12.7	13.5
1956	11.3	12.7	13.5
1697	11.3	12.7	13.5
1537	11.3	12.7	13.5
1466	11.3	12.7	13.5
1243	11.3	12.7	13.5
1126	11.3	12.7	13.5
1106	11.3	12.7	13.5
1022	11.3	12.7	13.5
863	11.3	12.7	13.5
845	11.3	12.7	13.5
698	11.3	12.7	13.4
526	11.3	12.7	13.4
434	11.3	12.7	13.4
335	11.3	12.7	13.4
258	11.3	12.6	13.4
184	11.2	12.6	13.4
133	11.1	12.6	13.4
78	11.2	12.6	13.4

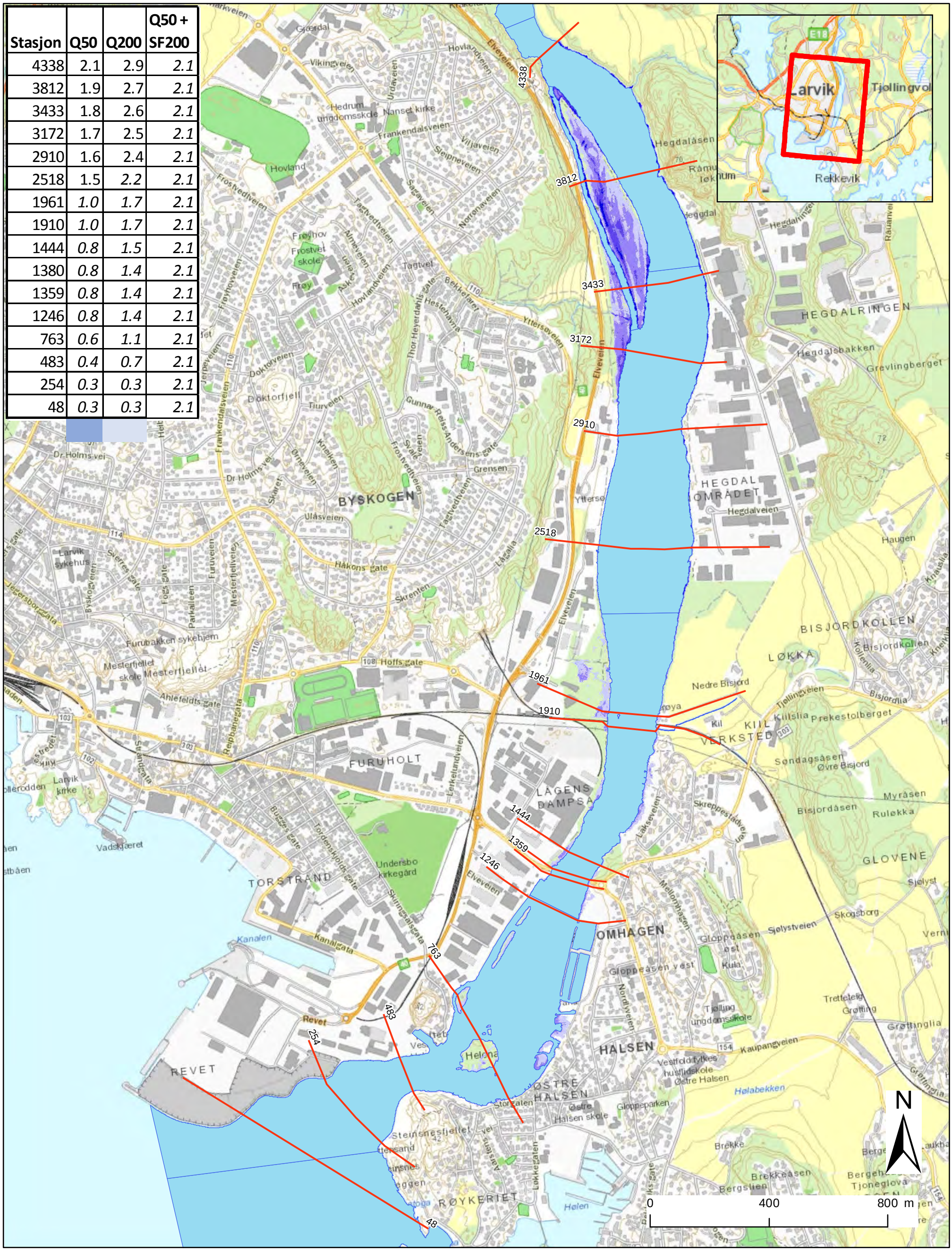
Gjønnes 200års flom + 20%

- 0.01 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 -2
- 2 - 3
- 3 -4
- 4 - 5.9
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:6 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag		
Gjønnes	Prosjektnr. 20150602	Kart nr. F-15
	Utført KEk	Dato 2016-04-08
	Kontrollert OAH	Godkjent CH

Stasjon	Q50	Q200	Q50 + SF200
4338	2.1	2.9	*2.1*
3812	1.9	2.7	*2.1*
3433	1.8	2.6	*2.1*
3172	1.7	2.5	*2.1*
2910	1.6	2.4	*2.1*
2518	1.5	*2.2*	*2.1*
1961	*1.0*	*1.7*	*2.1*
1910	*1.0*	*1.7*	*2.1*
1444	*0.8*	*1.5*	*2.1*
1380	*0.8*	*1.4*	*2.1*
1359	*0.8*	*1.4*	*2.1*
1246	*0.8*	*1.4*	*2.1*
763	*0.6*	*1.1*	*2.1*
483	*0.4*	*0.7*	*2.1*
254	*0.3*	*0.3*	*2.1*
48	*0.3*	*0.3*	*2.1*



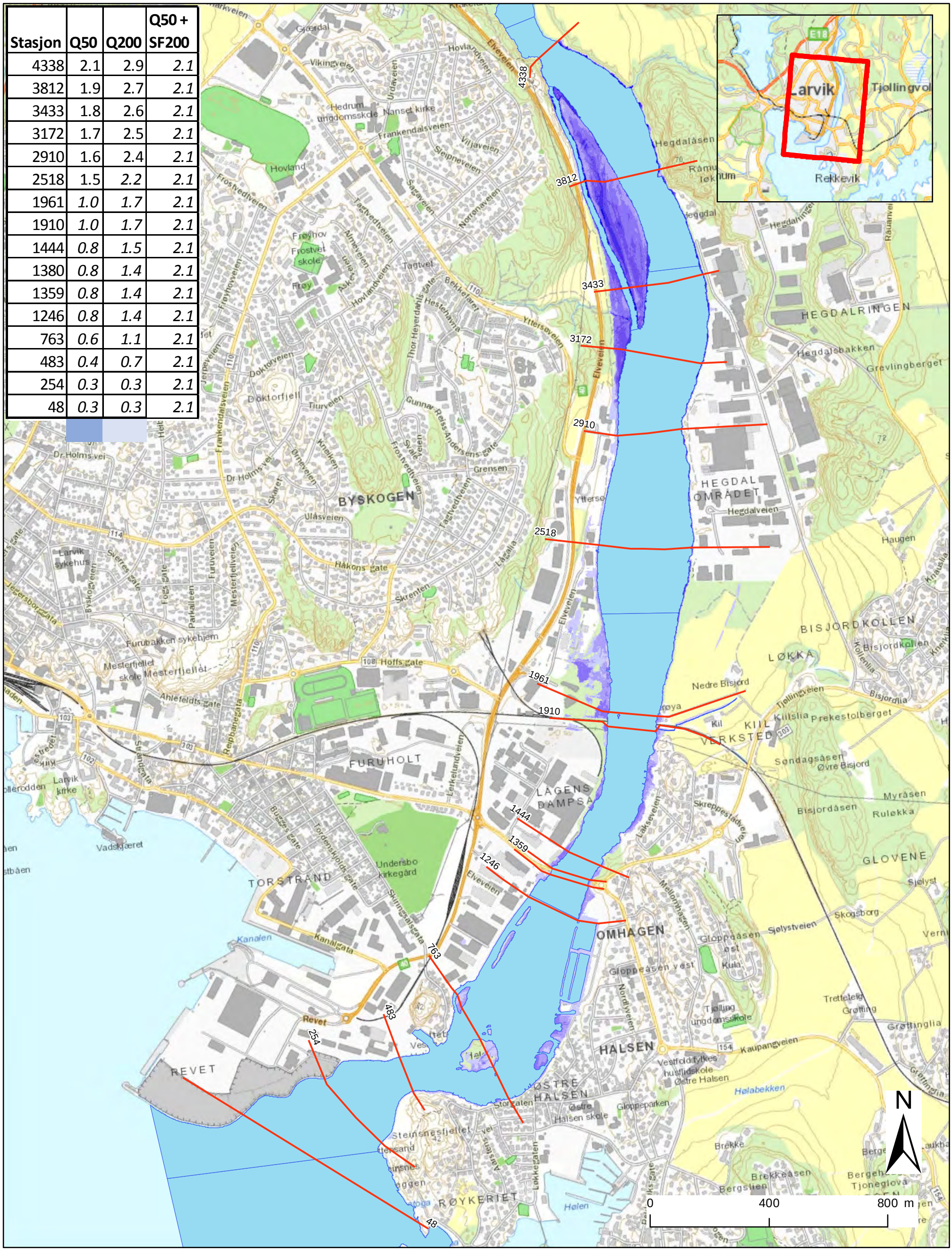
Lågen 50års flom

- 0.1 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2.04
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:12 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag		
Lågen utløp	Prosjektnr. 20150602	Kart nr. F-16
	Utført KEk	Dato 2016-04-08
	Kontrollert OAH	Godkjent CH

Stasjon	Q50	Q200	Q50 + SF200
4338	2.1	2.9	*2.1*
3812	1.9	2.7	*2.1*
3433	1.8	2.6	*2.1*
3172	1.7	2.5	*2.1*
2910	1.6	2.4	*2.1*
2518	1.5	*2.2*	*2.1*
1961	*1.0*	*1.7*	*2.1*
1910	*1.0*	*1.7*	*2.1*
1444	*0.8*	*1.5*	*2.1*
1380	*0.8*	*1.4*	*2.1*
1359	*0.8*	*1.4*	*2.1*
1246	*0.8*	*1.4*	*2.1*
763	*0.6*	*1.1*	*2.1*
483	*0.4*	*0.7*	*2.1*
254	*0.3*	*0.3*	*2.1*
48	*0.3*	*0.3*	*2.1*



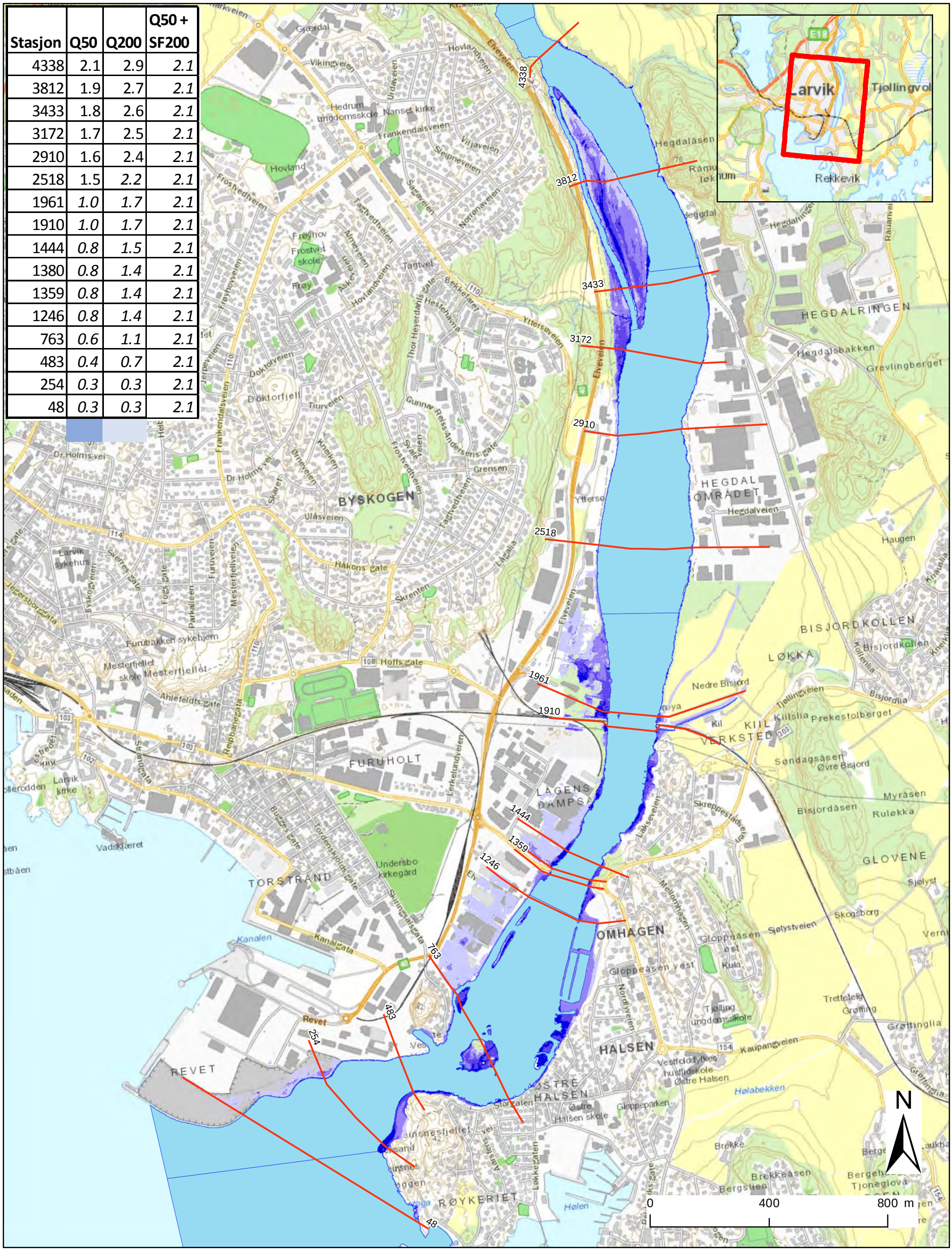
Lågen 200års flom

- 0,01 - 0,5
- 0,5 - 1
- 1,0 - 1,5
- 1,5 - 2
- 2,0 - 2,5
- 2,5 - 3,12
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:12 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag		
Lågen utløp	Prosjektnr. 20150602	Kart nr. F-17
	Utført KEk	Dato 2016-04-08
	Kontrollert OAH	Godkjent CH

Stasjon	Q50	Q200	Q50 + SF200
4338	2.1	2.9	*2.1*
3812	1.9	2.7	*2.1*
3433	1.8	2.6	*2.1*
3172	1.7	2.5	*2.1*
2910	1.6	2.4	*2.1*
2518	1.5	*2.2*	*2.1*
1961	*1.0*	*1.7*	*2.1*
1910	*1.0*	*1.7*	*2.1*
1444	*0.8*	*1.5*	*2.1*
1380	*0.8*	*1.4*	*2.1*
1359	*0.8*	*1.4*	*2.1*
1246	*0.8*	*1.4*	*2.1*
763	*0.6*	*1.1*	*2.1*
483	*0.4*	*0.7*	*2.1*
254	*0.3*	*0.3*	*2.1*
48	*0.3*	*0.3*	*2.1*



Lågen 50års flom og 200års stormflo

- 0,01 - 0,5
- 0,5 - 1
- 1,0 - 1,5
- 1,5 - 2,1
- Stasjoner

Målestokk (A3): 1:12 000

Flom i Lågen og tilgrensende vassdrag		
Lågen utløp	Prosjektnr. 20150602	Kart nr. F-18
	Utført KEk	Dato 2016-04-08
	Kontrollert OAH	Godkjent CH
	NGI	

F1.4 Stormflo

F1.4.1 Maksimal flomdybde

Tegnforklaring

Maksimal flomdybde (m)

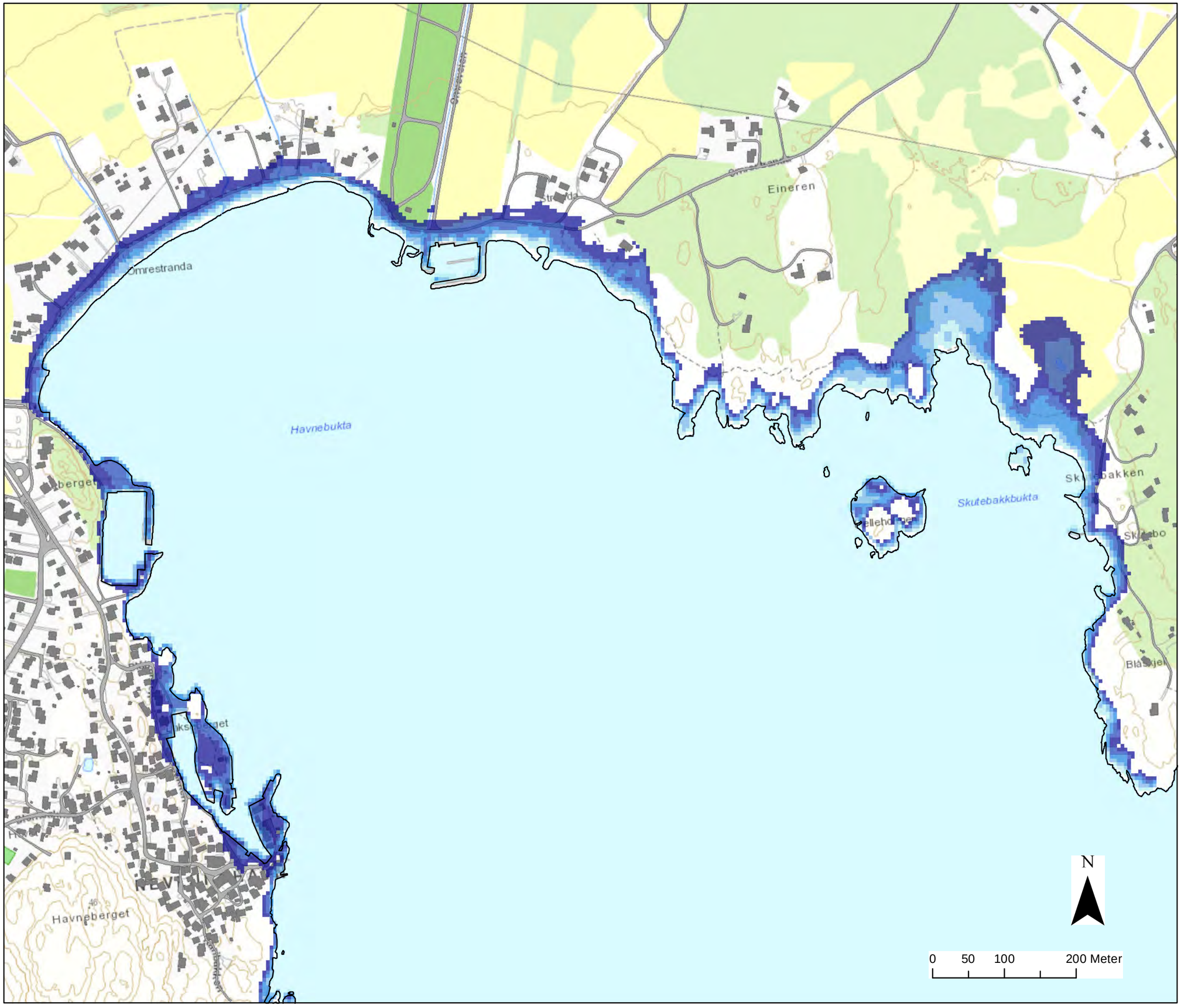
- 0.01 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 3

N

0 50 100 200 Meter

Målestokk (A3): 1:5 000

Maksimal flomdybde		
Helgeroa	Prosjektnr. 20150471	Kart nr. F4-73
	Utført KEk	Dato 2016-04-06
	Kontrollert SG	Godkjent CH
	NGI	



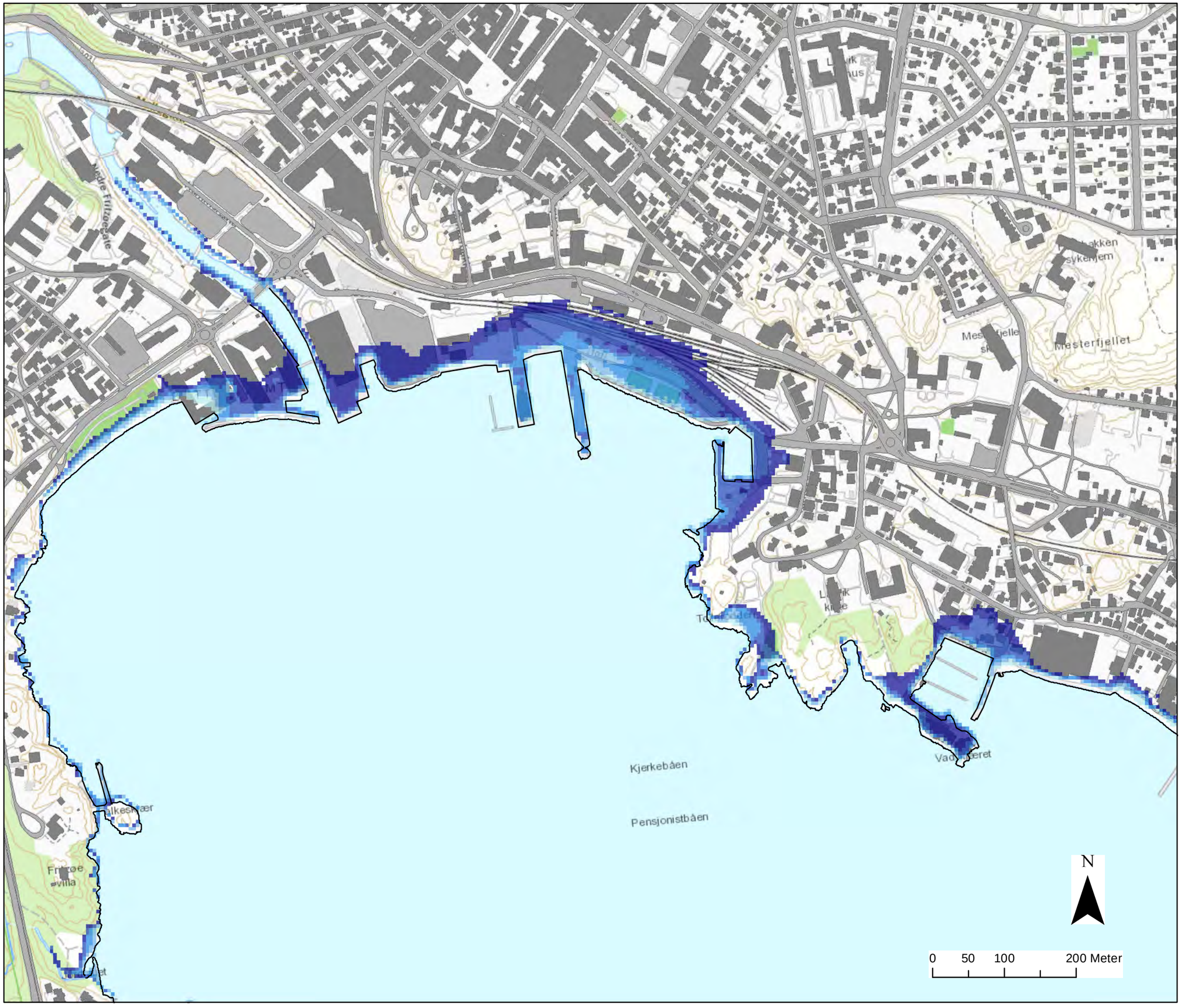
Tegnforklaring

Maksimal flomdybde (m)

- 0.01 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 3

Målestokk (A3): 1:5 000

Maksimal flomdybde		
Nevlunghavn	Prosjektnr. 20150471	Kart nr. F4-76
	Utført KEk	Dato 2016-04-06
	Kontrollert SG	Godkjent CH



Tegnforklaring

Maksimal flomdybde (m)

- 0.01 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 3

Målestokk (A3): 1:5 000

Maksimal flomdybde		
Indre havn	Prosjektnr. **20150471**	Kart nr. **F4-79**
	Utført **KEk**	Dato **2016-04-06**
	Kontrollert **SG**	Godkjent **CH**
	NGI	

Tegnforklaring

Maksimal flomdybde (m)

- 0.01 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 3

N

0 75 150 300 Meter

Målestokk (A3): 1:7 000

Maksimal flomdybde		
Stavern	Prosjektnr. 20150471	Kart nr. F4-82
	Utført KEk	Dato 2016-04-06
	Kontrollert SG	Godkjent CH
	NGI	

Tegnforklaring

Maksimal flomdybde (m)

- 0.01 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 3

Målestokk (A3): 1:5 000

Maksimal flomdybde		
Revet	Prosjektnr. **20150471**	Kart nr. **F4-85**
	Utført **KEk**	Dato **2016-04-06**
	Kontrollert **SG**	Godkjent **CH**

Tegnforklaring

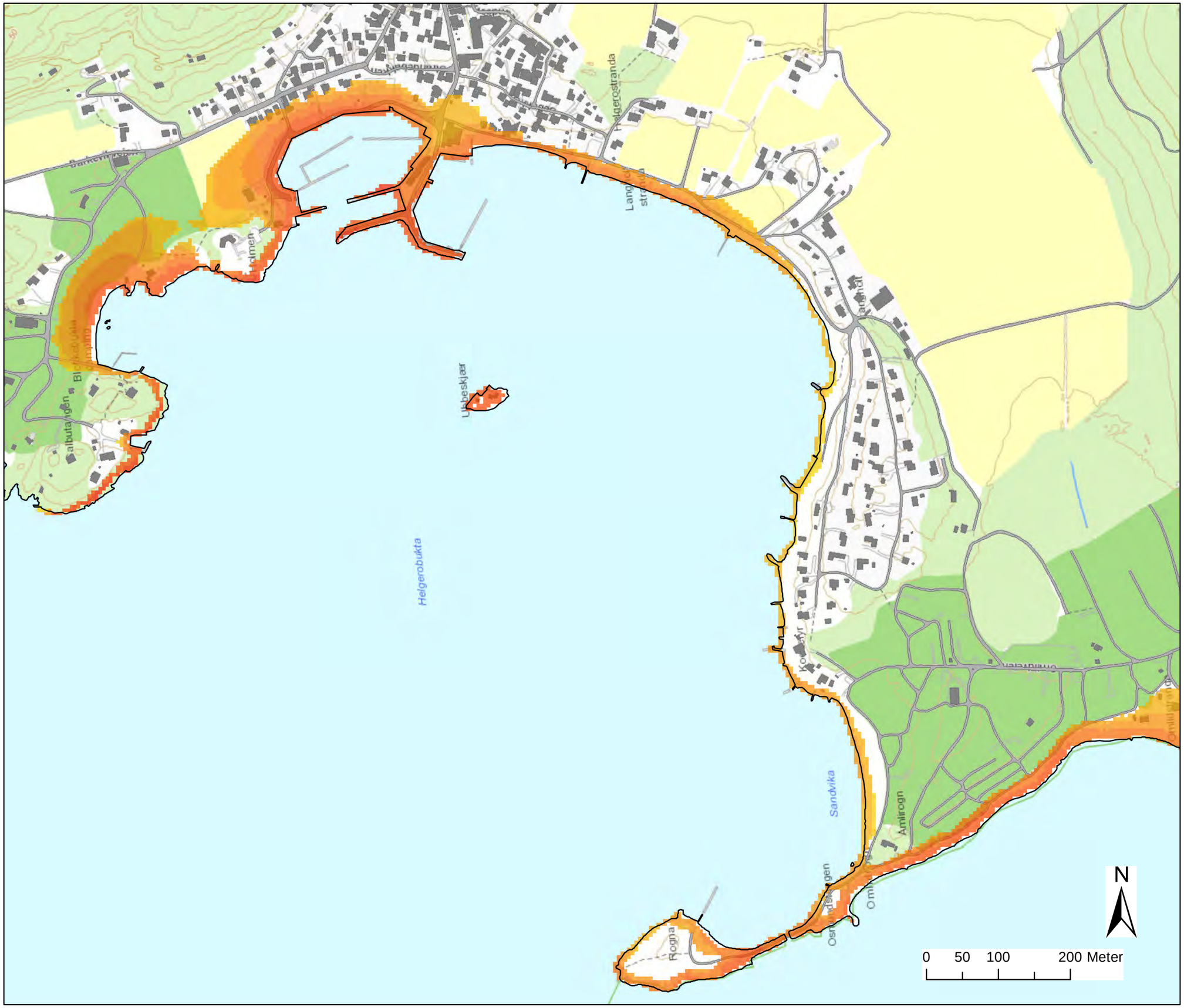
Maksimal flomdybde (m)

- 0.01 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 3

Målestokk (A3): 1:5 000

Maksimal flomdybde		
Hølen	Prosjektnr. 20150471	Kart nr. F4-88
	Utført KEk	Dato 2016-04-06
	Kontrollert SG	Godkjent CH
	NGI	

F1.4.2 Maksimal overflatehevning



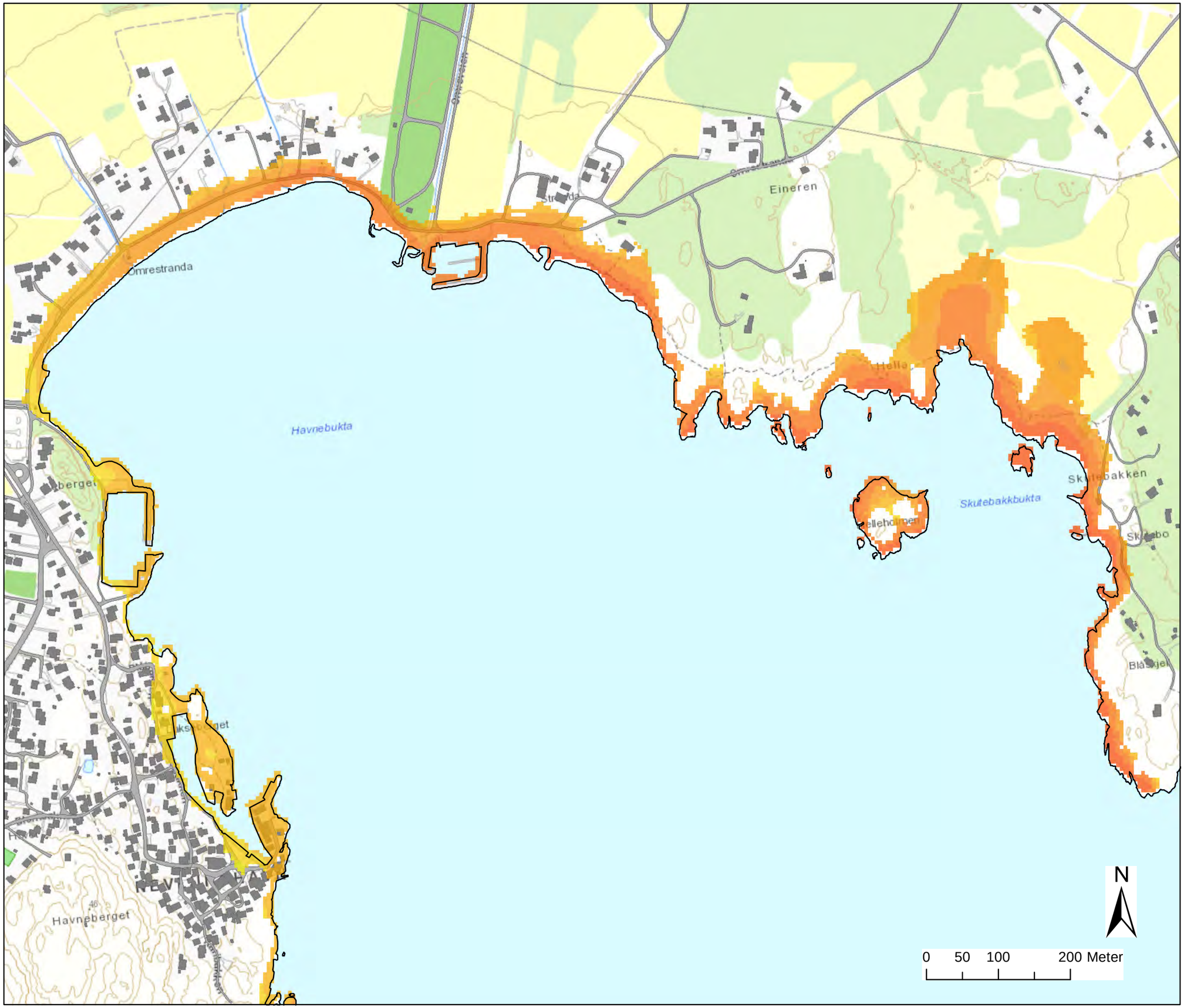
Tegnforklaring

Maksimal overflatehevning (m)

- 1,6 - 1,8
- 1,8 - 2
- 2,0 - 2,2
- 2,2 - 2,4
- 2,4 - 2,6
- 2,6 - 2,8
- 2,8 - 3
- 3,0 - 3,2

Målestokk (A3): 1:5 000

Stormflo		
Helgeroa	Prosjektnr. 20150471	Kart nr. F4-74
	Utført KEk	Dato 2016-04-08
	Kontrollert SG	Godkjent CH



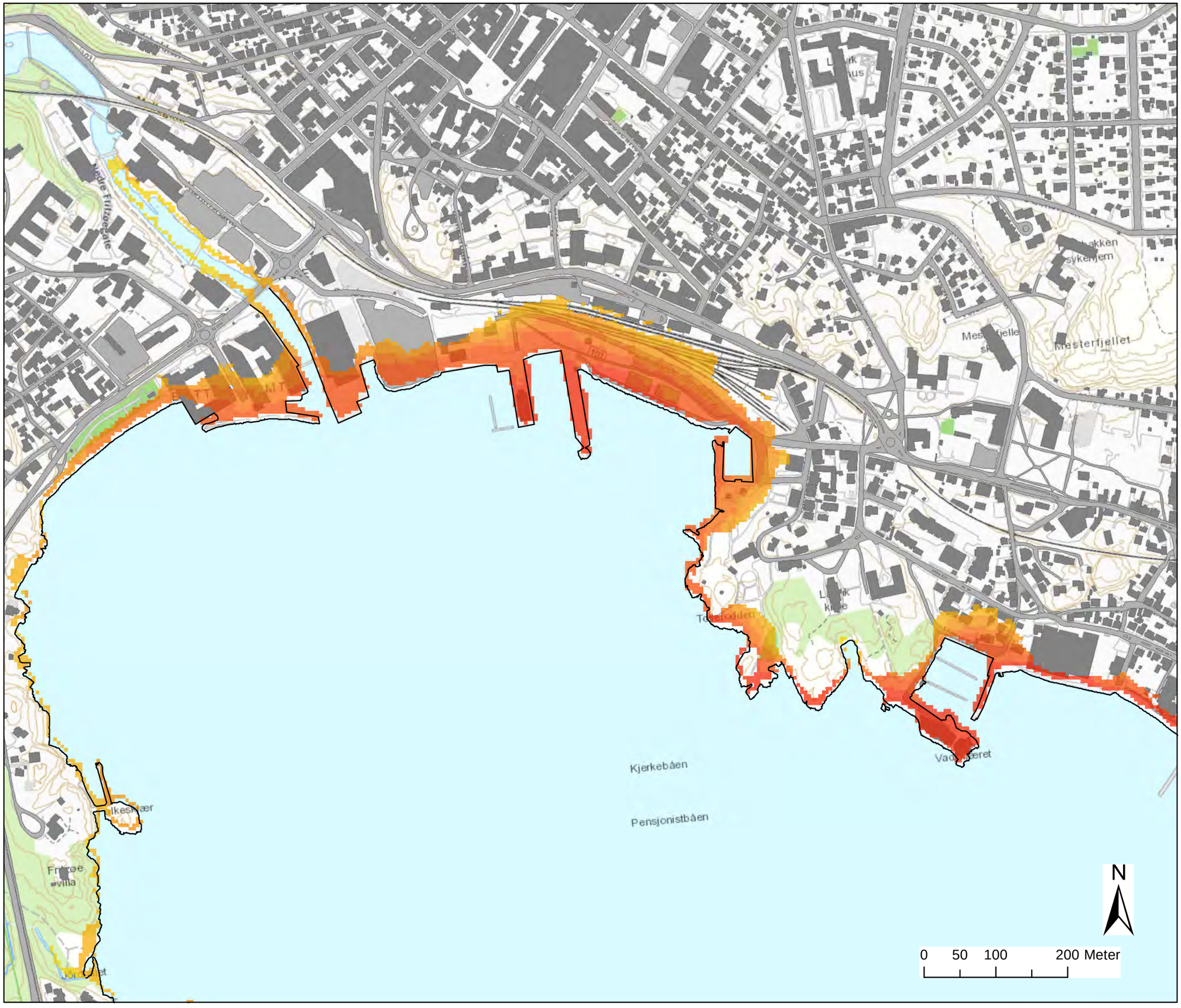
Tegnforklaring

Maksimal overflatehevning (m)

- 1,6 - 1,8
- 1,8 - 2
- 2,0 - 2,2
- 2,2 - 2,4
- 2,4 - 2,6
- 2,6 - 2,8
- 2,8 - 3
- 3,0 - 3,2

Målestokk (A3): 1:5 000

Stormflo		
Nevlunghavn	Prosjektnr. 20150471	Kart nr. F4-77
	Utført KEk	Dato 2016-04-08
	Kontrollert SG	Godkjent CH
	NGI	



Tegnforklaring

Maksimal overflatehevning (m)

- 1,6 - 1,8
- 1,8 - 2
- 2,0 - 2,2
- 2,2 - 2,4
- 2,4 - 2,6
- 2,6 - 2,8
- 2,8 - 3
- 3,0 - 3,2

Målestokk (A3): 1:5 000

Stormflo		
Indre havn	Prosjektnr. 20150471	Kart nr. F4-80
	Utført KEk	Dato 2016-04-08
	Kontrollert SG	Godkjent CH

Tegnforklaring

Maksimal overflatehevning (m)

- 1,6 - 1,8
- 1,8 - 2
- 2,0 - 2,2
- 2,2 - 2,4
- 2,4 - 2,6
- 2,6 - 2,8
- 2,8 - 3
- 3,0 - 3,2

N

0 75 150 300 Meter

Målestokk (A3): 1:7 000

Stormflo		
Stavern	Prosjektnr. **20150471**	Kart nr. **F4-83**
	Utført **KEk**	Dato **2016-04-08**
	Kontrollert **SG**	Godkjent **CH**
	NGI	

Tegnforklaring

Maksimal overflatehevning (m)

- 1,6 - 1,8
- 1,8 - 2
- 2,0 - 2,2
- 2,2 - 2,4
- 2,4 - 2,6
- 2,6 - 2,8
- 2,8 - 3
- 3,0 - 3,2

Målestokk (A3): 1:5 000

Stormflo		
Revet	Prosjektnr. 20150471	Kart nr. F4-86
	Utført KEk	Dato 2016-04-08
	Kontrollert SG	Godkjent CH
	NGI	

Tegnforklaring

Maksimal overflatehevning (m)

- 1,6 - 1,8
- 1,8 - 2
- 2,0 - 2,2
- 2,2 - 2,4
- 2,4 - 2,6
- 2,6 - 2,8
- 2,8 - 3
- 3,0 - 3,2

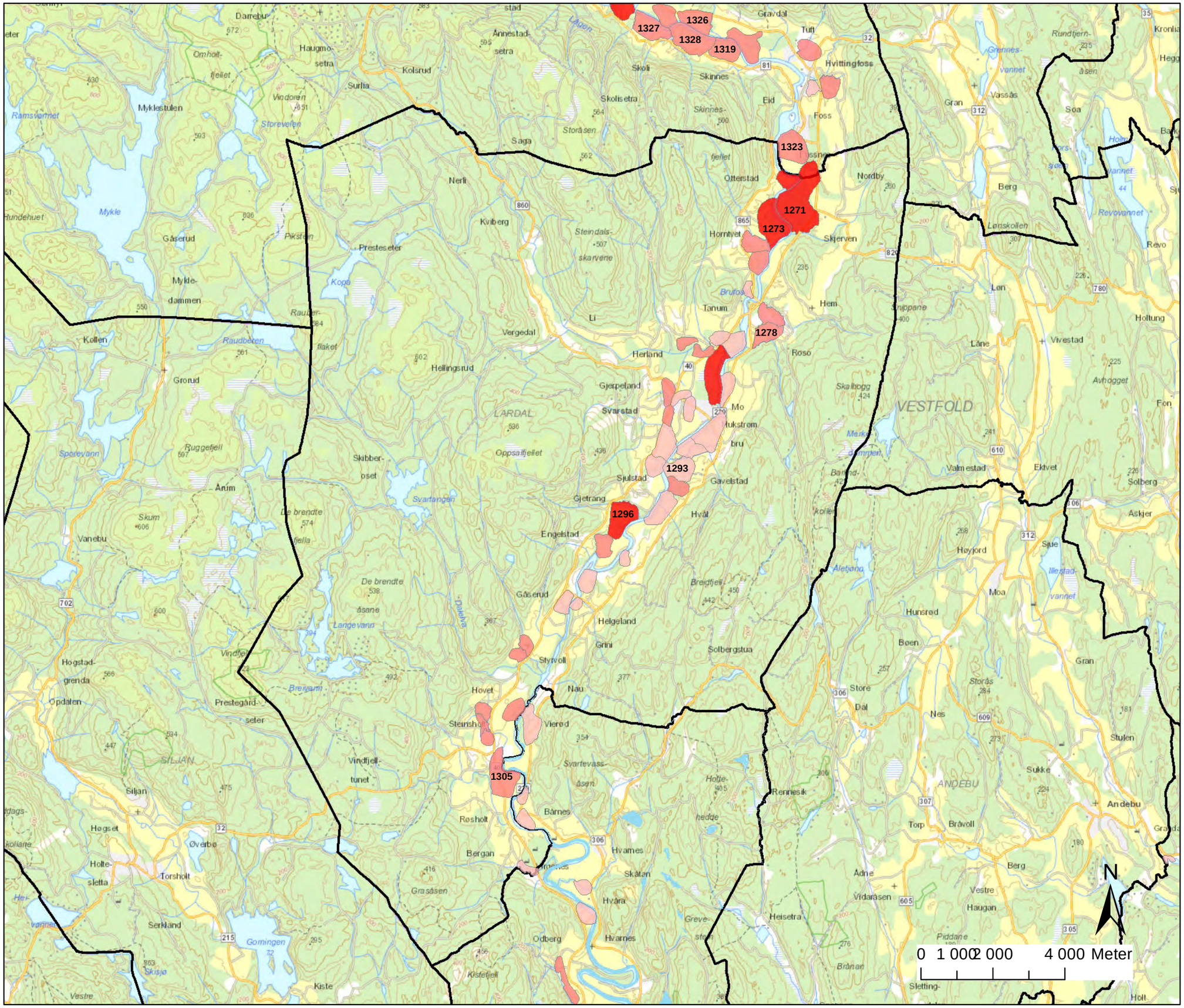
Målestokk (A3): 1:5 000

Stormflo		
Hølen	Prosjektnr. 20150471	Kart nr. F4-89
	Utført KEk	Dato 2016-04-08
	Kontrollert SG	Godkjent CH
	NGI	

F2 Tegninger

F2.1 Kvikkleire

Tegning nr. K1 Oversiktskart kvikkleiresoner med faregrad i Lardal kommune
Tegning nr. K2 Oversiktskart kvikkleiresoner med faregrad i Larvik kommune



Tegnforklaring

Faregradklasse - Kvikkleire

- 1 - Lav
- 2 - Middels
- 3 - Høy

Målestokk (A3): 1:100 000

Lardal og Larvik kommuner		
Tilpasning til klimaendringer	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **K-1**
Fareområder for kvikkleireskred	Utført **JSL**	Dato **2016-02-17**
	Kontrollert **ØAH**	Godkjent **CH**
	NGI	

Tegnforklaring

Faregradklasse - Kvikkleire

- 1 - Lav
- 2 - Middels
- 3 - Høy

Målestokk (A3): 1:150 000

Lardal og Larvik kommuner		
Tilpasning til klimaendringer	Prosjektnr. 20150602	Kart nr. K-2
Fareområder for kvikkleireskred	Utført JSL	Dato 2016-02-17
	Kontrollert ØAH	Godkjent CH
	NGI	

F2.2 Aktsomhetskart ravinering

Tegning nr. S1	Aktsomhetskart for jordskred og ravinering – Odbergneset Nord
Tegning nr. S2	Aktsomhetskart for jordskred og ravinering – Odbergneset Sør
Tegning nr. S3	Aktsomhetskart for jordskred og ravinering – Svingdalen
Tegning nr. S4	Aktsomhetskart for jordskred og ravinering – Husvann

Tegnforklaring

Aktsomhetsområder-ravinering

Faregradklasse - Kvikkleire

SkredfaregradKlasse

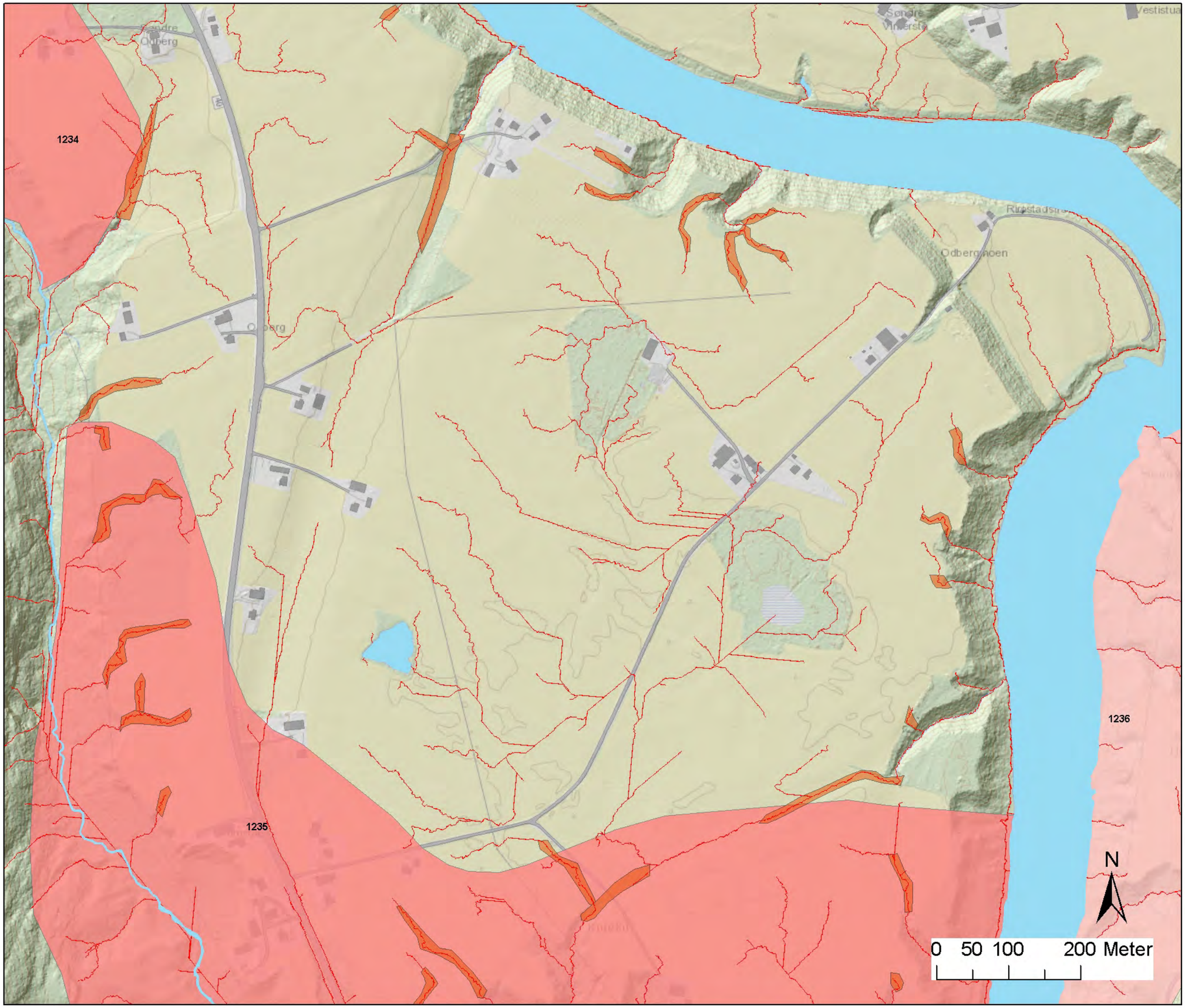
1 - Lav

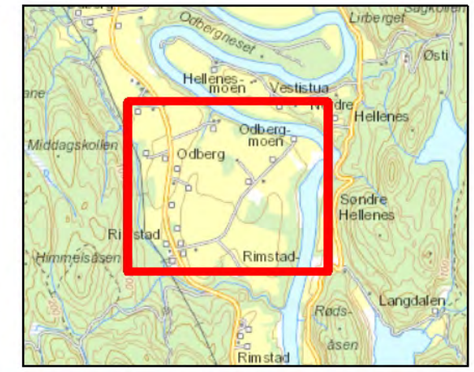
2 - Middels

3 - Høy

Målestokk (A3): 1:5 000

Lardal og Larvik kommuner		
Aktsomhetskart for ravinering	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **S-1**
Odberneset Nord	Utført **JSL**	Dato **2016-02-17**
	Kontrollert **ØAH/KeK**	Godkjent **CH**
	NGI	





Tegnforklaring

Aktsomhetsområder-ravinering

Faregradklasse - Kvikkleire

SkredfaregradKlasse

1 - Lav

2 - Middels

3 - Høy

Målestokk (A3): 1:5 000

Lardal og Larvik kommuner		
Aktsomhetskart for ravinering	Prosjektnr. 20150602	Kart nr. S-2
Odberneset Sør	Utført JSL	Dato 2016-02-17
	Kontrollert ØAH/KeK	Godkjent CH
	NGI	

1236

1235

1237

N

0 50 100 200 Meter

Tegnforklaring

Aktsomhetsområder-ravinering

Faregradklasse - Kvikkleire

SkredfaregradKlasse

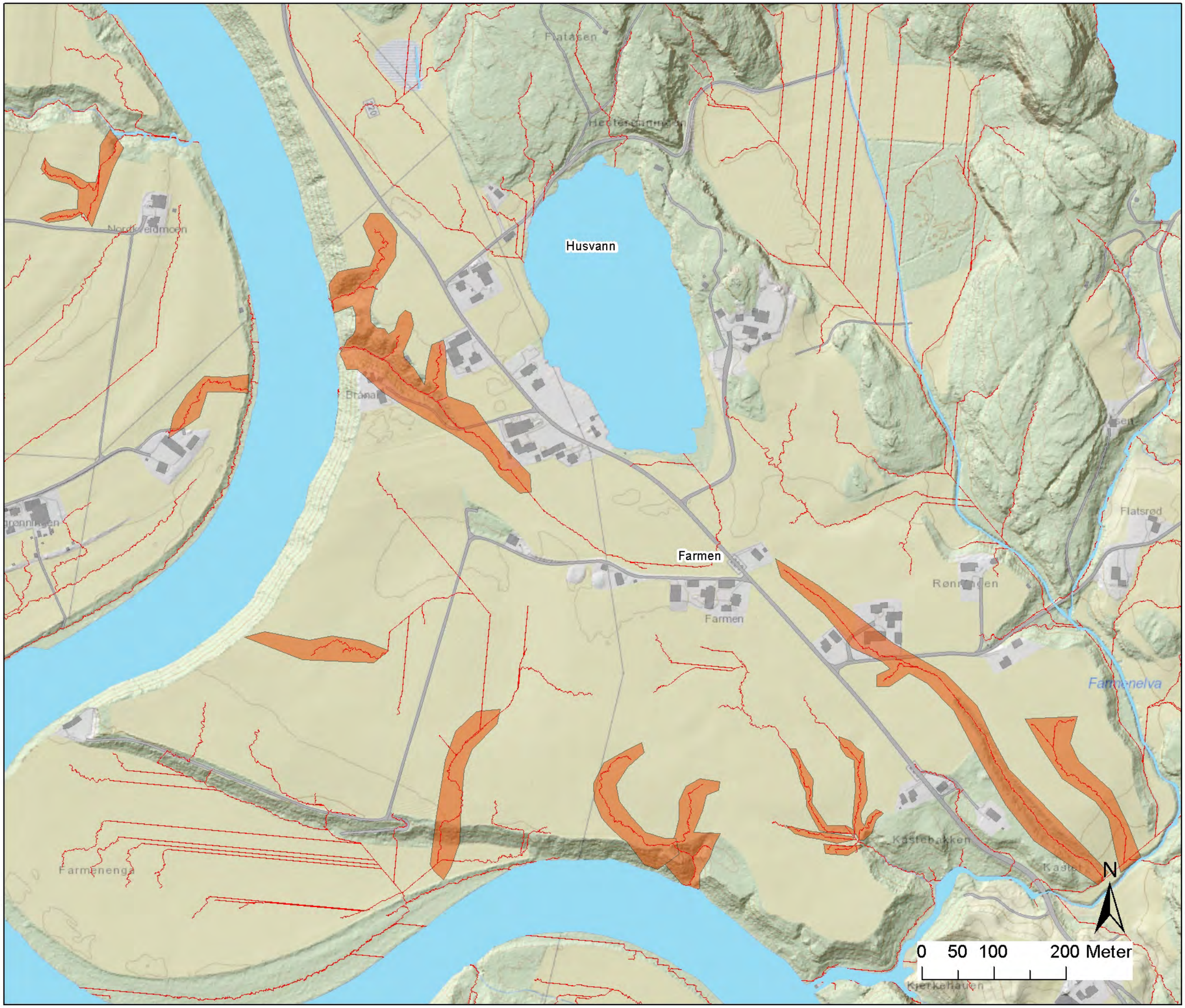
1 - Lav

2 - Middels

3 - Høy

Målestokk (A3): 1:5 000

Lardal og Larvik kommuner		
Aktsomhetskart for ravinering	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **S-3**
Svingdalen	Utført **JSL**	Dato **2016-02-17**
	Kontrollert **ØAH/KeK**	Godkjent **CH**
	NGI	



Tegnforklaring

Aktsomhetsområder-ravinering

Faregradklasse - Kvikkleire

SkredfaregradKlasse

1 - Lav

2 - Middels

3 - Høy

Målestokk (A3): 1:5 000

Lardal og Larvik kommuner		
Aktsomhetskart for ravinering	Prosjektnr. **20150602**	Kart nr. **S-4**
Husvann	Utført **JSL**	Dato **2016-02-17**
	Kontrollert **ØAH/KeK**	Godkjent **CH**
	NGI	

Vedlegg G

ORDLISTE

Innhold

G1 Forklaring av faguttrykk og forkortelser 2

G1 Forklaring av faguttrykk og forkortelser

Faguttrykk/forkortelse	Forklaring
ACER	Average conditional exceedance rate, metode for å beregne gjentakelsesintervaller basert på data fra målestasjoner (stormflo)
Aktsomhetskart	Kart som viser hvilke områder som potensielt kan utsettes for en faretype
AR5	Fifth Assessment Report of ICPP
ArcGIS	Geografisk informasjonssystem
Avrenningsfaktor	C, i den rasjonelle formel
Batymetri	Dybde i sjø
Bergtrykk	Opptreden av spenninger i berg
Bølgefrekvens	Antall bølgelengder som passerer et fast punkt per sekund
Bølgelengde	Avstand mellom bølgetopper
Bølgeperiode	Tiden bølgen bruker på å bevege seg en bølge-lengde
CMIP5	Klimamodell
Delf3D-FLOW	Stormflo modell
Delf3D-WAVE	Bølgemodell (vindbølger), et annet navn er SWAN (se under)
Deterministisk	Fullstendig bestemt av tidligere tilstander. Motsatt av stokastisk
Dreietrykksondering	Normert sonderingsmetode som går ut på å trykke borstenger ned i bakken med konstant hastighet og med konstant omdreinings-hastighet. Omdreiningsmotstanden registreres som det trykk mot boret som skal til for å få den normerte nedpressingshastighet. Dreietrykksonderinger brukes til sondering i finkornede jordarter, fra leire til grus
Døgnmiddelflom	Middelverdi av flomvannføring gjennom et døgn
Early warning system	Varsling basert på tidlig (automatisk) registrering av en fare
Effektivspenningsanalyse	Stabilitetsanalyser som tar for seg en langsiktig situasjon hvor spenningsendringer i skråningen skyldes for eksempel nedbør og poretrykksendringer
eKlima	Internett portal som gir tilgang til Meteorologisk institutts vær- og klimadata fra historiske data til sanntidsobservasjoner
Ekstremanalyse (flom)	Ekstremanalyse av flomstørrelser, vanligvis årsflommer

Faguttrykk/forkortelse	**Forklaring**
Elveavsetning	Avsetning fra masse transportert av elver
Ensgradert avsetning	Referere til silt eller sand med uniform korn-størrelse (dvs. ingen variasjon i kornstørrelse)
Eurokode 7	Felles Europeisk regelverk for prosjektering og utførelse
Faresonekart	Kart som viser utbredelsen av en faretype med angitt returperiode
Fjellbånd	Stålbånd som boltes fast for å binde ustabile partier
Flogstein	Steinsprangblokker som knuses, og blir luftbårne – kan gå langt
Flomdybde	Høyden på vann over bakken hvor det vanligvis er tørt land. Brukes f.eks. ved stormflo
Flomkvantil	For eksempel 90 % kvantil: 90 % av dataene er innenfor denne verdien
Flomsonekart	Kart som viser utbredelsen av flom med angitt returperiode
Fluvial avsetning	Avsetning fra elver
Fluvial terrasse	Flate avsatt av sedimenter fra elver
Friksjonsvinkel	Styrke egenskaper til løsmasser som skyldes kontakt av partikler
Gabionkasse	Nettingkasse med stein, mye brukt til støtte-mur og lignende
Geometrisk tiltak	Sikringstiltak hvor det forandres på geo-metrien av en skråning for å heve stabiliteten
Geostudio	Geoteknisk numerisk beregningsverktøy
Glasifluviale avsetning	Avsetning fra breelver
Glideflate	En glideflate eller glideplan er en flate som danne under et jordvolum i bevegelse
Grunnbrudd	Terreng kollaps i finsand eller silt som skyldes høy hydrauliske gradienter og eller under-jordiske erosjon fra grunnvann
Grunnundersøkelse	Grunnundersøkelse, undersøkelse av grunnens beskaffenhet
Grunnvannsspeil	Grunnvannsspeil er nivået for grunnvannet i berggrunn eller jordgrunn
HAT	Høyeste astronomiske tidevann
Havnivåstigning	Økt havnivå på grunn av termisk ekspansjon (vannet utvider seg når det blir varmere) og økt tilførsel av smeltevann (fra isbreer som ligger på land, f.eks. Grønlandsisen)
HEC-RAS 4.1	Hydraulisk modellverktøy. U.S. Army Corps of Engeeners

Faguttrykk/forkortelse	**Forklaring**
HRV	Høyeste regulerte vannstand
Hydraulisk utløpsgradient	Helningsgraden på grunnvannsspeilet der hvor vannet strømmer ut av en skråning
Hydrodynamikk	Fysisk beskrivelse av trykk og strømning i vann
Hydrostatisk poretrykkfordeling	Poretrykksfordeling som er lik tyngdetetthet til vannet ganger dybden
Infiltrasjon	Innstrømning av vann i løsmassene
Jordskred	Også kalt løsmasseskred, utglidning av løs-masser (i hovedsak jord, stein, grus og sand) i bratte skråninger
Kapasitet stikkrenne	Dimensjonerende vannføring for ei spesifikk stikkrenne
Kohesjon	Styrkeegenskaper til løsmasser som skyldes geokjemiske bindinger mellom partikler
Kornfordelingsanalyse	Standard analyse metode for å beskrive og klassifisere sediment kornstørrelse
Kulminasjonsdata (flom)	Maksimalvannføring ved flomtopp
Klimapådriv	Ytre påvirkning av klimaet på jorden som f.eks. endringer i mengden solstråler kloden mottar, og endring i mengden partikler, drivhusgasser og skyer i atmosfæren
Konsentrasjonstid	Beregnet tid under intens nedbørsituasjon som går før hele nedbørfeltet gir maksimalt flombidrag
Kvartærgeologisk kart	Kart som viser romlig fordeling av løsmasser
Kvikkleire	Kvikkleire er definert som leire som har omrørt skjærstyrke mindre enn 0,5 kPa
Laserscanning	En metode for å måle avstander til terreng og objekter ved hjelp av infrarødt laserlys
Lamellmetode	Metode for beregning av skråningsstabilitet der jordvolumet deles inn i flere like brede lameller
Landhevning	Hevning av landmasser etter at den tunge isen som dekket Norge under istiden smeltet
Løsmasseskred	Utglidning av løsmasser (i hovedsak jord, stein, grus og sand) i bratte skråninger
Løsneområde	Området der et skred blir utløst
Marin grense	Høyeste nivå som havet nådde etter siste istid
Marin leire	Gammel havbunn som etter landhevning er kommet på tørt land
Materialparameter	Parameter for en gitt jordart som brukes i analyser av stabilitet eller lignende
Meanderområde	Område der elva naturlig meandrerer

Faguttrykk/forkortelse	**Forklaring**
Mettet tilstand	Tilstand hvor porene i et sediment er fullt med vann
Morfologi	Læren om landskapsformer
Neddykket tyngde	Tyngde til et sediment minus vannets tyngde
Nett (mot steinsprang)	Nett som festes i (antatt) faste deler av berg-veggen for å begrense utfall av stein
NN54, NN2000	Høydereferanse for terrenghøyder (på land), fra h.h.v. år 1954 og år 2000
Norma konsolidert kvikkleire	En leire som ikke har opplevd spenninger større enn det den opplever i dag
Numerisk analyse	Analyser gjort ved hjelp av et dataprogram
NVS	Normal vannstand
Områdestabilitet	En stabilitetstilstand der et initialt brudd kan igangsette en progressiv frem- eller bakover-rettet bruddutvikling i tilstøtende sprøbrudd-materialer, noe som er typisk for kvikkleire. Skredet kan bli omfattende dersom det omrørte sprøbruddmaterialet får fritt utløp i fallende terreng
Overflatehevning (relatert til stormflo)	Høyden vannet når under f.eks. en stormflo, målt i forhold til nullpunkt for terrenghøyder (f.eks. NN54)
Overkonsolidert kvikkleire	En leire som tidligere har opplevd spenninger større enn det den opplever i dag
Permeabilitet	Et mål for evnen materialet har til å transportere væske
Piezometer	Instrument brukt for å måle poretrykk i grunnen
Pipes	Underjordiske kanaler
Poretrykk	Trykket i vannet i undergrunnen (her: i løsmasser)
Q_m, Q_n, Q_{50}, Q_{200}	Vannføring (middel, normal, 50 års- og 200-årsflom)
Raet	Navn på morenerygg (dannet av isbre) som går fra Mølen (mellom Nevlunghavn og Helgeroa) i vest via Horten og videre østover på østsiden av Oslofjorden og ender opp i Halden
Rasjonelle formel	Formel for å beregne flomvannføring
Ravine	Dypt nedskåret dal i marin leire
RCM	Regional Climate Models: regionale klima-modeller er sirkulasjonsmodeller som kun beskriver et begrenset område

Faguttrykk/forkortelse	Forklaring
RCP	Representative Concentration Pathways: utslippsscenarioer, dvs. antagelser om framtidige utslipp av klimagasser
RCP 8.5	Utslippsscenario "business as usual", der økningen i klimagassutslipp i stor grad følger samme utvikling som vi har hatt de siste tiårene
Reaksjonstid nedbørfelt, se også konsentrasjonstid	Tid før en nedbørhendelse eller slipp av vann kan registreres nedstrøms, stedsavhengig
Responstid	Se reaksjonstid
Risikokart	Kart som viser sannsynlighet for at en gitt fare skal oppstå
Romvekt	Brukes som et synonym til tyngdetetthet
ROS	Risiko- og sårbarhetsanalyse
Sedimenttransport	Sedimenter som følger en vannstrøm
SEEP/W	Beregningsverktøy for å evaluere grunnvann-strømning i jord
Sig	Bevegelse/deformasjon som foregår sakte i en skråning
Sikkerhetsfaktor (F)	Angir en beregnet verdi for forholdet mellom stabiliserende krefter og drivende krefter langs en potensiell glideflate
Silt	Sediment med kornstørrelse varierende mellom 0,06-0,002 mm
Skredgrop	Terrenggropa som står igjen i skredets løsne-område etter de utglidde skredmassene
SLOPE/W	Beregningsverktøy for å vurdere skråning-stabilitet
Sprekkevannstrykk	Vann som trenger inn i sprekker i berget, ved nedbør øker trykket og således risiko for utfall av blokker
Spuntvegg	Avstivningsvegg i stål, mye brukt i bygge-groper, men kan også brukes som tiltak mot steinsprang
Stabilitetsanalyse	Analyse av jordskråninger og deres potensial til å undergå bevegelse
Steinskred	Utfall av stein med volum i størrelsesorden 100 m^3 - 10,000 m^3
Steinsprang	Utfall av stein med volum under 100 m^3
Steinspranggjerde	Gjerde som har til hensikt å fange opp rullende og sprettende stein
Stokastisk	Nøyaktige tilstander på senere tidspunkt er uforutsigbare. Statistisk sett har stokastiske

Faguttrykk/forkortelse	Forklaring
	prosesser en sannsynlighetsfordeling. Motsatt av deterministisk.
Stormflo	Heving av vannivået i havet og fjorder på grunn av pålandsvind, lavere trykk og astronomisk påvirkning (månen og sola)
Strømningsgradient	se Hydraulisk utløpsgradient
Strømningshastighet	Hastighet til vannpartikler
SWAN	Simulating Waves Near-Shore, beregnings-verktøy for vindgenererte bølger, inkludert i stormfloberegningene som Delft3D-Wave
TEK10	Byggteknisk forskrift
Terskelfjord	En fjord som har grunnere områder (terskel) lenger ut, vil kunne få høyere vannstand p.g.a. terskelen når det kommer flom fra elver innenfor
Totalspenningsanalyse	Stabilitetsanalyse hvor man antar en korttids-situasjon som følge av raske spennings-endringer, som skyldes for eksempel men-neskelig aktivitet (oppfylling eller utgraving)
Tyngdetetthet	Total tyngde delt på volumet et material opptar
Tørrmur	Natursteinmur uten bindemiddel (evt. kun jord), brukt til bl.a. voller og murer
Urfot	Den maksimale utbredelsen av hoveddelen av steiner/blokker fra steinsprang/-skred, dvs. nedkant ur
Utløpsdistanse	Rekkevidden til et skred
Utløpssone	Sonen der skredmateriale avsettes
Utløsningsområde	Se løsneområde
Vannføringskurve	Sammenhengen mellom vannføring og vann-stand på spesifikt sted
Vertikalt strømningstrykk	Vertikalkomponent av strømning i sedimenter som påvirker effektivspenninger i sedimenter
Vingebor	Redskap til å bestemme skjærfastheten i leire

Vedlegg H

REFERANSER

Innhold

H1 Referanser **2**

H1 Referanser

Bjørn Strøm AS (2000) Grunnundersøkelser for planlagt boligområde Hukesletta, Svarstad. 3298R1.

Debernard, J., Røed, L.P. (2008) Future wind, wave and storm surge climate in the Northern Seas: a revisit. Tellus A, 60, 427–438.

Dorren, L. (2015) Rockyfor3D (v5.2) revealed. Transparent description of the complete 3D rockfall model. ecorisQ paper. 32 s.

Drange, H. , Marzeion, B., Nesje, A., Sorteberg, A. (2007) Opptil én meter havstigning langs Norskekysten innen år 2100. Cicerone 2, 29-31.

DSB (2009) Havnivåstigning – estimater av framtidig havnivåstigning i norske kystkommuner.

DSB (2011) Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap - Håndtering av havnivåstigning i kommunal planlegging.

DSB (2015) Klimahjelperen – En veileder i hvordan ivareta samfunnssikkerhet og klimatilpasning i planlegging etter plan- og bygningsloven. ISBN 978-82-7768-353-9. http://www.dsb.no/Global/Publikasjoner/2015/Tema/Klimahjelperen.pdf

DSB (2015b) Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap – Kommunenes arbeid med stormflo og framtidig havnivåstigning.

FLOODsite (2009) Flood risk assessment and flood risk management. An introduction and guidance based on experiences and findings of FLOODsite (an EU-funded Integrated Project). Deltares | Delft Hydraulics, Delft, the Netherlands. www.floodsite.net

Gjevik, B. (2009) Flo og fjære langs kysten av Norge og Svalbard. Farleia Forlag.

Gjevik, B., Flather, R.A., Hareide, D. (2003) Sea level oscillations with period 6 hours in the North Sea 29-31 Oct. 2000 – An analysis of data from northern North Sea and along the western coast of Norway. Ocean Dynamics Vol. 54, 477-488.

Gjevik, B., Hareide, D. (2000) Ekstrem vannstandendring og strøm i Oslofjorden natten mellom 3. og 4. desember 1999. Naturen nr. 3, s. 258-263.

Gjevik, B., Røed, L. P. (1976) Storm surges along the Western coast of Norway. Tellus 28 (2), 166-182.

Gönnert, G. (2004) Maximum storm surge curve due to global warming for the European North Sea region during the 20th–21st century. Natural Hazards 32: 211–218.

Gönnert, G., Dube, S. K, Murty, T., Siefert, W. (2001) Global storm surges. Die Küste, 63, 623pp.

Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A., Ådlandsvik, B. (Red.) (2015) Klima i Norge 2100 – Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NCCS report no. 2/2015. https://klimaservicesenter.no/

HEC-RAS (2010) U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC-RAS model version 4.1. http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/

HydraTeam (2015) Oppmåling av tverrprofiler utløp Numedalslågen.

IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel

on Climate Change. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 s. doi:10.1017/CBO9781107415324. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf

Jansson, A., Tveito, O.E., Pirinen, P., Scharling, M. (2007) NORDGRID – a preliminary investigation on the potential for creation of a joint Nordic gridded climate dataset. met.no report 03. Oslo.

Johansen, S. (1959) On the effect of meteorological conditions upon the height of sea level at the coast of southern Norway. Met. Annaler, bind 4, no 14. DNMI, Oslo.

KOU (2013:2) Vann og avløp 2014-2017. https://www.larvik.kommune.no/Documents/Temaplaner/2013/Vann%20og%20avl%C3%B8p%202014_2017.pdf

Larvik kommune (2001) Flomskadekartlegging – innmåling av flomvannstandspunkter i Larvik kommune, brev til Fylkesmannen i Vesfold, 02.03.2001.

Larvik kommune (2015) Planprogram for områdeplan Martineåsen. 24.9.2015 – https://innsyn.e-kommune.no/innsyn_larvik_politisk/wfdocument.ashx?journalpostid=2015072978&dokid=1053350&versjon=1&variant=A&

Larvik kommune (2016) Høydemålinger v/Lågen, Larvik kommune, 22 og 23 februar 2016.

Lowe, J. A., Gregory, J.M. (2005) The effects of climate change on storm surges around the United Kingdom. Philosophical Transactions of the Royal Society 363, 1313–1328.

METU (2014a) Comparison of coastal structures in Europe and Japan. RAPSODI (Risk Assessment and design of Prevention Structures fOr enhanced tsunami DIsaster resilience), Deliverable D3. NGI rapport 20120768-03-R, 40 pp. http://www.ngi.no/en/Project-pages/RAPSODI/Reports-and-Publications

Mohr, M. (2009) Comparison of Version 1.1 and 1.0 of gridded temperature and precipitation data for Norway. met.no note 19. Oslo.

NGI (2013) Utredning av kvikkleiresoner i Larvik kommune. Stabilitet av sonene 1259 Tagtvedt, 1261 Fritzøehus Nordre og 1266 Jordet. Rapport nr. 20110548-01-R

NGI (2014a) Skred, skredfare og sikringstiltak – praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper. Universitetsforlaget.237s. ISNB 978-82-15-02391-5.

NGI (2014b) GBV Storm surge modelling and hazard assessment – Storm surge risk assessment. NGI rapport 20120015-01-R Rev. 1. Oslo, Norway. 162 s.

NIFS (2016) Metode for vurdering av løsne – og utløpsområder for områdeskred. Rapport nr. 14-2016. ISBN 978-82-410-1204-4

Norconsult (2015) Dambruddsbølgeberegninger Dam Pålsbu, Norconsult 2014-09-18 Oppdragsnr. 5133576.

Norsk klimaservicesenter (2015) Klimaprofil Vestfold. https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/klimaprofiler/klimaprofil-vestfold

Norsk Vann Rapport (162/2008) Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. http://norskvann.no/index.php/kompetanse/va-bokhandelen/rapporter

Norsk Vann Rapport (190/2012) Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer. http://norskvann.no/index.php/kompetanse/va-bokhandelen/rapporter

Norsk Vann Rapport (200/2014) Håndtering av overvann fra urbane veger. http://norskvann.no/index.php/kompetanse/va-bokhandelen/rapporter

NVE (2001) Flomberegning for Numedalslågen ved Kongsberg, NVE dokument 15/2001.

NVE (2012) Komplettering av flomberegning for Numedalslågen ved Kongsberg (015.Z), NVE internt notat 05.01.2012.

NVE (2014) Sikkerhet mot kvikkleireskred - Veileder nr 7-2014,» Norges vassdrag- og energidirektorat, 2014.

Rahmstorf S. (2007) A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. Science 315, 368-370.

Simpson, M.J.R., Nilsen, J.E.Ø., Ravndal, O.R., Breili, K., Sande, H., Kierulf, H.P., Steffen, H., Jansen, E., Carson, M., Vestøl, O. (2015) Sea level change for Norway – past and present observations and projections to 2100. NCCS report no. 1/2015.

Sterr, H. (2008): Assessment of vulnerability and adaptation to sea-level rise for the coastal zone of Germany. Journal of Coastal Research, 2 (24), 380 - 393.

Tveito, O.E., Bjørdal, I., Skjelvåg, A.O., Aune, B. (2005) A GIS-based agro-ecological decision system based on gridded climatology. Meteorol. Appl. 12, 57−68.

von Storch, H., Woth, K. (2008) Storm surges: perspectives and options. Sustain Sci, 3, 33-43.

Walling D.E. (2009) The Impact of Global Change on Erosion and Sediment Transport by Rivers: Current Progress and Future Challenges, UNESCO, 2009, 26p. ISBN: 9231041355, 9789231041358.

Wolf, J. (2009) Coastal flooding: impacts of coupled wave-surge-tide models. Natural Hazards, 49, 241-260.

Woth, K. (2006) PhD dissertation: Regionalization of global climate change scenarios: an ensemble study of possible changes in the North Sea storm surges statistics. Universitetet i Hamburg, Tyskland.

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page

Dokumentinformasjon/*Document information*		
Dokumenttittel/*Document title* Vurdering av ekstrem nedbør, skred, flom, stormflo og havnivåstigning		**Dokumentnr./*Document no.*** 20150602-01-R
Dokumenttype/*Type of document* Rapport / Report	**Distribusjon/*Distribution*** Begrenset/Limited	**Dato/*Date*** 2016-04-15
		Rev.nr.&dato/*Rev.no.&date* 0 /
Oppdragsgiver/*Client* Larvik kommune		
Emneord/*Keywords* Larvik, Lardal, klima, ROS, scenario, prognoser nedbør, skred, kvikkleire, steinsprang, steinskred, jordskred, løsmasseskred, flom, stormflo, havnivåstigning, tiltak		

Stedfesting/*Geographical information*	
Land, fylke/*Country* Vestfold	**Havområde/*Offshore area***
Kommune/*Municipality* Larvik, Lardal	**Feltnavn/*Field name***
Sted/*Location*	**Sted/*Location***
Kartblad/*Map*	**Felt, blokknr./*Field, Block No.***
UTM-koordinater/*UTM-coordinates* **Sone: Øst: Nord:**	

Dokumentkontroll/*Document control*
Kvalitetssikring i henhold til/*Quality assurance according to NS-EN ISO9001*

Rev/ Rev.	***Revisjonsgrunnlag/Reason for revision***	**Egenkontroll av/ *Self review by:***	**Sidemanns-kontroll av/ *Colleague review by:***	**Uavhengig kontroll av/ Independent review by:**	**Tverrfaglig kontroll av/ *Inter-disciplinary review by:***
0	Originaldokument	2016-04-18 Carl B. Harbitz	2016-04-18 Anders Solheim/ Bjørn G. Kalsnes		2016-04-15 Carl B. Harbitz

Dokument godkjent for utsendelse/ *Document approved for release*	**Dato/*Date*** 18. april 2016	**Prosjektleder/*Project Manager*** Carl B. Harbitz

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

NGI
OSLO
TRONDHEIM
HOUSTON
PERTH

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

Hovedkontor Oslo
PB. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd. Trondheim
PB. 5687 Sluppen
7485 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48
NGI@ngi.no

BANK
KONTO 5096 05 01281
ORG.NR 958 254 318MVA

ISO 9001/14001
CERTIFIED BY BSI
FS 32989/EMS 612006