



RAPPORT

Flodbølger etter fjellskred i Lyngen

OPPSKYLLINGSBEREGNINGER VED HJELP AV
PROBABILISTISKE METODER

DOK.NR. 20170309-01-R
REV.NR. 0 / 2018-06-01

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: Flodbølger etter fjellskred i Lyngen
Dokumenttittel: Oppskyllingsberegninger ved hjelp av probabilistiske metoder
Dokumentnr.: 20170309-01-R
Dato: 2018-06-01
Rev.nr. / Rev.dato: 0 /

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: NVE
Kontaktperson: Lars Harald Blikra
Kontraktreferanse: Signert kontrakt datert 6. juli 2017

for NGI

Prosjektleder: Sylfest Glimsdal
Utarbeidet av: Sylfest Glimsdal og Finn Løvholt
Kontrollert av: Carl B. Harbitz

Sammendrag

På oppdrag fra NVE har NGI laget nye farekart for oppskylling av flodbølger etter potensielle skred fra Jettan, Indre Nordnes, og Revdalsfjellet i Lyngen. Skredvolumene varierer fra 0.8 til 6 millioner m³.

Hensikten med oppdraget er å kartlegge sannsynligheten for oppskylling av flodbølger. For dette formålet er det utarbeidet oppskyllingsgrenser for ulike returperioder. De ulike oppskyllingsgrensene som er produsert er for bruk i arealplan (TEK17) samt for hjelp til aktuelle myndigheter som skal etablere evakueringssoner. Beregningene er etter avtale gjort for de samme lokasjonene som NGI tidligere har benyttet i forbindelse med flodbølgeberegninger i Lyngen (NGI, 2013a). Beregningene er gjennomført for ulike fareklasser, men det er fokusert på fareklassene B (nominell årlig sannsynlighet 1/1000; skredsone) og D (nominell årlig sannsynlighet 1/5000; skredsone) for arealbruk, samt fareklasse F (maksimal oppskyllingsgrense for alle scenarier) for bruk i evakuerings-sammenheng.

I dette oppdraget er det etablert et nytt rammeverk for å beregne flodbølgefaren fra skred ved hjelp av en probabilistisk tilnærming. Ved hjelp av det nye rammeverket kan usikkerheten i bølgeberegningene knyttes til oppskyllingsgrenser for ulike returperioder. Den probabilistiske analysen tar utgangspunkt i skredparameterne som hovedsakelig styrer flodbølgegenereringen. Hver parameter er gitt en sannsynlighet. Sannsynlighetene er funnet ved hjelp av beregninger, statistikk på utløpslengde for skred, samt ekspertvurderinger basert på tidligere beregninger for både farevurderinger og historiske flodbølgehendelser.

Oppløsningen på beregningene i oppskyllingsområdene er 10 m. Ved ønske om ulike sikringstiltak for å redusere båndlagte områder, eller ved endringer av terreng som kan innvirke på grensene, vil det være nødvendig med nye beregninger med oppdaterte terrengdata og gjerne høyere oppløsning enn 10 m.

De beregnede grensene for oppskyllingsområdet ved Indre Nordnes inkluderer ikke fullt ut bølger fra Indre Nordnes i seg selv. Her vil selve skredet gi opphav til en faresone med en sannsynlighet tilsvarende den som er gitt for skredutløsningen.

Et stort antall scenarier inngår i de probabilistiske beregningene som gir oppskyllingsgrensene: Totalt er det satt opp 600 ulike skredscenarier som framkommer av alle kombinasjoner av parametere. For hvert eneste skredscenario er det gjennomført beregninger for 31 oppskyllingsområder (lokasjoner), som totalt gir 18600 oppskyllingsberegninger. Modelloppsett for hvert enkelt scenario er identisk med det som ble benyttet i NGI (2013a).

Alle resultater er levert som digitale oppskyllingsgrenser, totalt 8 grenser for hvert oppskyllingsområde (for å dekke bølger med ulike sannsynligheter fra ulike skredlokaliteter). Sammenliknet med tidligere analyser (NGI, 2013a), er båndlagte arealer betydelig redusert. Grunnene til dette er:

1. At det nå er estimert et mindre volum for Jettan enn i NGI (2013a).
2. At det nye rammeverket som er utviklet tar hensyn til usikkerhet i alle ledd. Dette gjør det mulig å unngå at konservative antakelser får unødvendig stor vekt. Siden usikkerheten i beregningene nå er knyttet til ulike fareklasser, nyanseres oppskyllingsgrensene bedre, og de er ikke lenger knyttet til maksimale oppskyllingsgrenser. Denne nyanseringen kan ikke gjennomføres uten det probabilitisk rammeverket.

Maksimal verdi langs oppskyllingsgrensene for hver av de 31 oppskyllingsområdene for en nominell årlig sannsynlighet på 1/1000 og 1/5000 er vist i Tabell 1.

En begrensing i studiet er at fareberegningene er gjennomført med gitte volumer oppgitt av oppdragsgiver for de fire ulike skredlokalitetene. Farevurdering for eventuelle andre volumer er ikke gjennomført.

Tabell 1: Maksimal høyde langs oppskyllingsgrensene for nominell årlig sannsynlighet 1/1000 og 1/5000. Høydene referer til dagens havnivå. Beregningene er gjort med et framtidig havnivå 0.7 m over dagens.

Lokasjon	Navn	Maks oppskylling [m]		
		Alle skred		Revdalsfjell 2
		1/1000	1/5000	1/5000
1	Koppangen	<2	<2	<2
2	Årøybukt	3	4	<2
3	Elvejord	7	10	<2
4	Lyngseidet	10	13	2
5	Karnes	7	9	<2
6	Kjeldnes	6	9	6
7	Pollneset	6	8	8
8	Lyngspollen	4	5	4
9	Furuflaten	3	4	3
10	Rasteby	<2	3	2
11	Elvenes	<2	2	<2
12	Elvevollen	<2	3	<2
13	Oteren	<2	<2	<2
14	Horsnes-Elsnes	<2	<2	<2
15	Skibotn	3	4	2
16	Forrneset	3	8	3
17	Brattvoll	7	12	4
18	Indre-Nordnes	9	12	4
19	Nordnesodden	7	11	<2
20	Mann dalen	3	4	<2
21	Skardalen	<2	<2	<2
22	Birtavarre	<2	2	<2
23	Trollvik	<2	<2	<2
24	Langneset-Strand	<2	<2	<2
25	Strand	4	5	<2
26	Olderdalen	5	7	<2
27	Nordmannvik	<2	3	<2
28	Strandli-Engeneset	<2	<2	<2
29	Djupvik	<2	<2	<2
30	Spåkenes	<2	<2	<2
31	Havnes	<2	<2	<2

Innhold

1	Innledning	8
2	Om faresonene	10
3	Skredscenarioene	13
4	Kort beskrivelse av Lyngen, Storfjorden og Kåfjorden	15
5	Parametere og sannsynligheter	16
6	Resultater	17
7	Sikringstiltak	26
8	Sammenligning med tidligere resultater	27
9	Referanser	29

Vedlegg

Vedlegg A	Resultater for utvalgte områder
Vedlegg B	Rammeverk for probabilistisk metode
Vedlegg C	Modelleringstekniske detaljer
Vedlegg D	Om beregningsmodellene
Vedlegg E	Om flodbølger generert av fjellskred

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

På oppdrag fra NVE har NGI laget nye farekart for oppskylling av flodbølger etter potensielle skred fra Jettan, Indre Nordnes, og Revdalsfjellet (2 stykk) i Lyngen. Skredvolumene varierer fra 0.8 til 6 millioner m³.

Hensikten med oppdraget er å kartlegge sannsynligheten for oppskylling av flodbølger, ved hjelp av oppskyllingsgrenser for ulike returperioder. Dette er gjort ved å utvikle et rammeverk for probabilistisk analyse av oppskylling av flodbølger etter mulige skred. Sannsynligheten er en kombinasjon av sannsynligheten for skredutløsning og vurdering av usikkerhet i modelleringen. De ulike grensene som er produsert er for bruk i arealplan (TEK17) samt for hjelp til aktuelle myndigheter som skal etablere evakueringssoner.

NGI har tidligere gjort flere beregninger av flodbølger etter potensielle skred i Lyngen. Det ble i 2008 gjort beregninger av flodbølger med oppskylling (analyse langs vertikal-snitt) ved 13 lokasjoner for mulige skred fra Nordnes (Jettan) på 7 og 11 millioner m³ (NGI, 2008). I 2010 gjorde NGI en grovanalyse for et skred på 22 millioner m³ (NGI, 2010), og i 2013 ble det beregnet detaljert oppskylling av flodbølger fra et skred fra Nordnes (Jettan) på 11 millioner m³ for 31 områder (NGI, 2013a). Denne rapporten skal dekke de nye beregningene for de samme 31 områdene som i NGI (2013a), se Figur 1 og Figur 2.

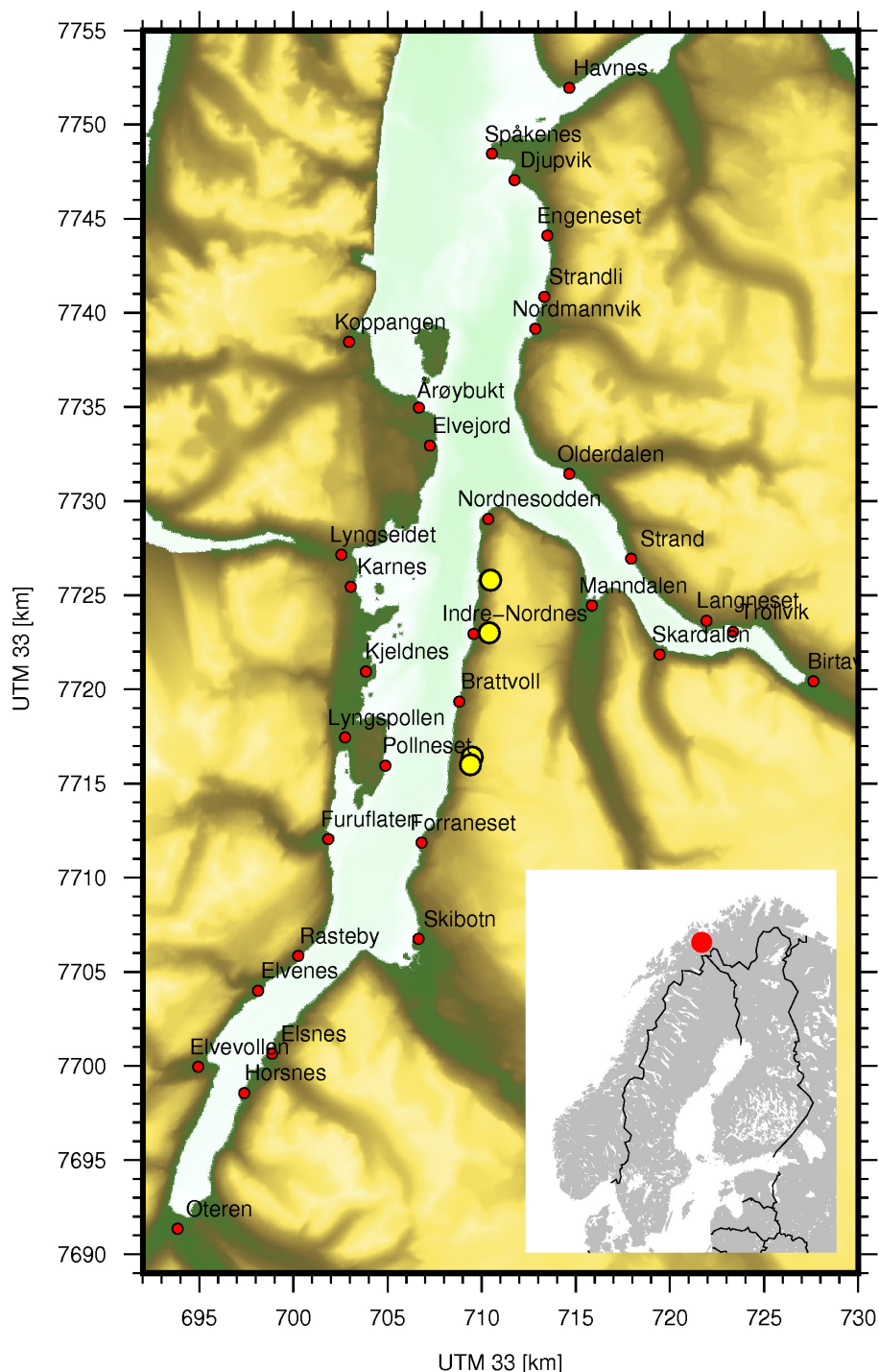
Som tidligere anbefalt fra NVE og Fylkesmannen i Troms, skal det i oppskyllings- og hastighetsberegningene tas hensyn til antatt framtidig havnivåstigning. Tillegget på havnivået estimert for 2010 – 2100 er beskrevet av DSB (2009). Ut fra dette er det i analysen gitt et tillegg for fremtidig havnivåstigning på 0,7 m (dvs. 0,7 m over dagens middel-vannstand).

I forbindelse med NGIs beregninger i 2008 ble skredområdet og de antatt mest utsatte steder for oppskylling besøkt vha. helikopter og båt 28. september 2007. For fotografier og flere detaljer fra denne befaringen, se NGI (2008).

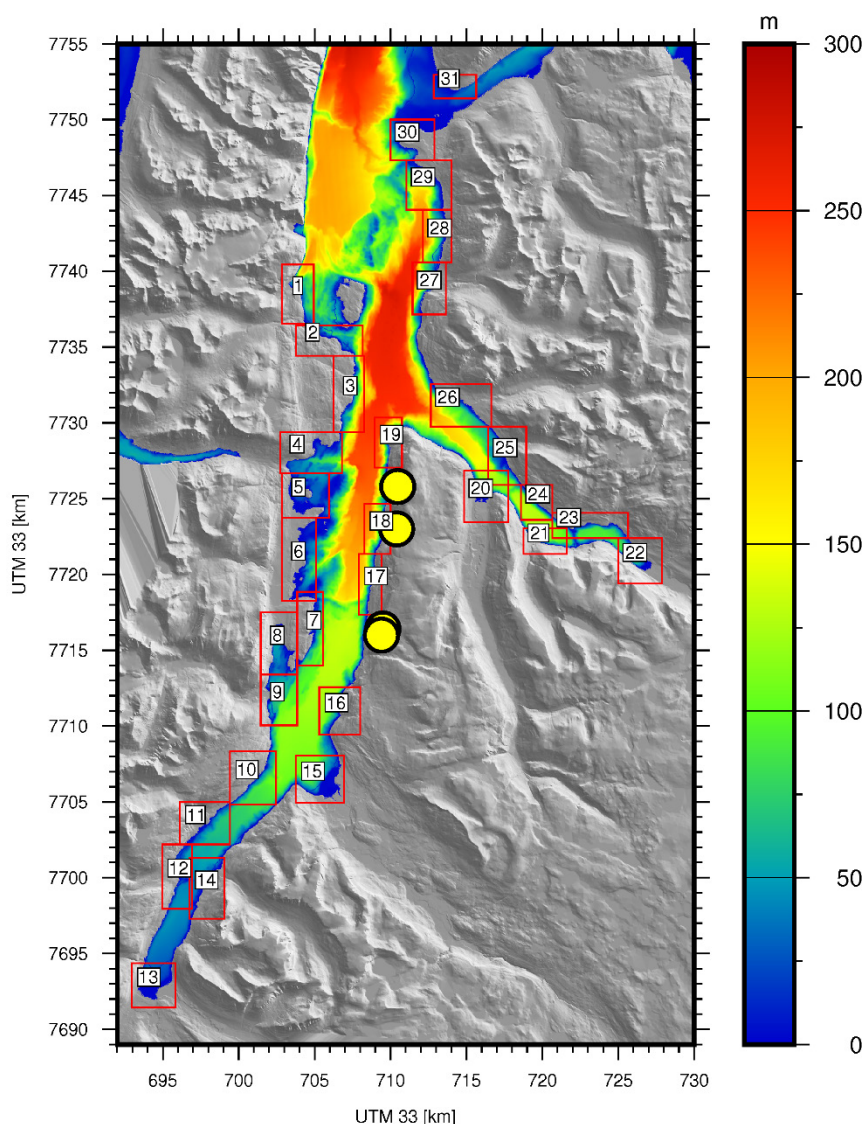
NGI tar forbehold om at terrengdataene som er brukt i beregningene ikke er oppdatert med nyere utfyllinger i fjorden m.m. Slike utfyllinger vil kunne gi reduserte båndlagte områder.

Parameterne for de ulike skredene (returperiode, omriss og tykkelse til glideplan) er gitt av NVE.

Beregningene som ligger til grunn for de nye faresonene presentert i denne rapporten har ikke tatt hensyn til mulig sammenfall med høyvann (hyppig hendelse) eller stormflo (sjelden hendelse). Å øke oppskyllingshøydene med slike tillegg ville gjøre resultatene mer konservative, hvilket er i strid med tanken bak et probabilistisk rammeverk. Høyeste astronomiske tidevann (HAT) er for Tromsø 155 cm over middelvannstand (se Statens Kartverk <http://vannstand.no>).



Figur 1: Kart over beregningsområdet og stedsnavn det er henvist til i denne rapporten. Skred-områdene er markert med gule punkt (fra nord: Jettan, Indre Nordnes, Revdalsfjell 1B og Revdalsfjell 2).



Figur 2: Oversikt over de 31 beregningsområdene. Fargene angir dybder i fjorden gitt i meter.

2 Om faresonene

I Byggteknisk forskrift (TEK17) betraktes flodbølger som sekundærvirkning av skred (§7.3), og det opereres derfor med flodbølge faresoner med største nominelle årlige sannsynlighet på 1/1000 og 1/5000. De ulike grensene som er produsert for Lyngen er forklart i Figur 3 og Tabell 2. Siden den innerste delen av en oppskyllingssone har mindre skadepotensial (lavere hastighet og mindre vanddyp), har det fra NVEs side vært en aksept (første gang benyttet av NGI, 2012) for å kunne definere denne innerste delen som en flomsone, og bruke §7.2 i TEK17 med grenseverdier som skiller mellom stort og lite skadepotensial. Grenseverdiene i TEK17 er relatert til *flomsoner* når:

strømningsdyp \times strømningshastighet $< 2 \text{ m}^2/\text{s}$,

når samtidig strømningsdypet $< 2 \text{ m}$.

Eksempelvis får vi da for en hendelse med sannsynlighet større eller lik 1/1000 en faresone med høyt skadepotensiale (fra strandlinje og opp til grense A, der man forholder seg til §7.3) og en faresone med mindre skadepotensial (området mellom grensene A og B, der man forholder seg til §7.2). Tilsvarende vil en hendelse med sannsynlighet større eller lik 1/5000 gi grensene C og D. Hvis man ikke ønsker å bruke flomsone-tilnærmingen er B og D de relevante grensene.

Det er for alle oppskyllingsområder relativt liten forskjell på grense A og B samt grense C og D. Basert på dette er det enighet med NVE om at for arealplanlegging i oppskyllingssonene fra fjellskred i Lyngen presenteres grensene B (rød – 1/1000) og D (grønn – 1/5000) som er knyttet til TEK 17 §7.3 og unntak etter §7.4. Disse to grensene viser akkumulert resultat for alle fire skredlokasjonene i analysen (Jetta, Indre Nordnes og to fra Revdalsfjell), se Figur 4. Siden Revdalsfjell pr. i dag ikke er kontinuerlig overvåket, vil man trenge eksplisitte grenser for Revdalsfjell 2 og håndtere disse separat (Revdalsfjell 1B gir vesentlig mindre bølger enn Revdalsfjell 2 og er derfor utelatt). Således ønskes også grense D og F (se under) for Revdalsfjell. Grense B eksisterer ikke for Revdalsfjell 2 siden sannsynligheten for skredutfall er under 1/1000. Grensene for Revdalsfjell er levert for områdene som vist i Figur 4 i tillegg til ovennevnte grenser. For de andre områdene hvor grensene for Revdalsfjell ikke er inntegnet er høyden på grense F for Revdalsfjell 2 mindre enn 2 m (og følgelig er høyden til grense D enda mindre).

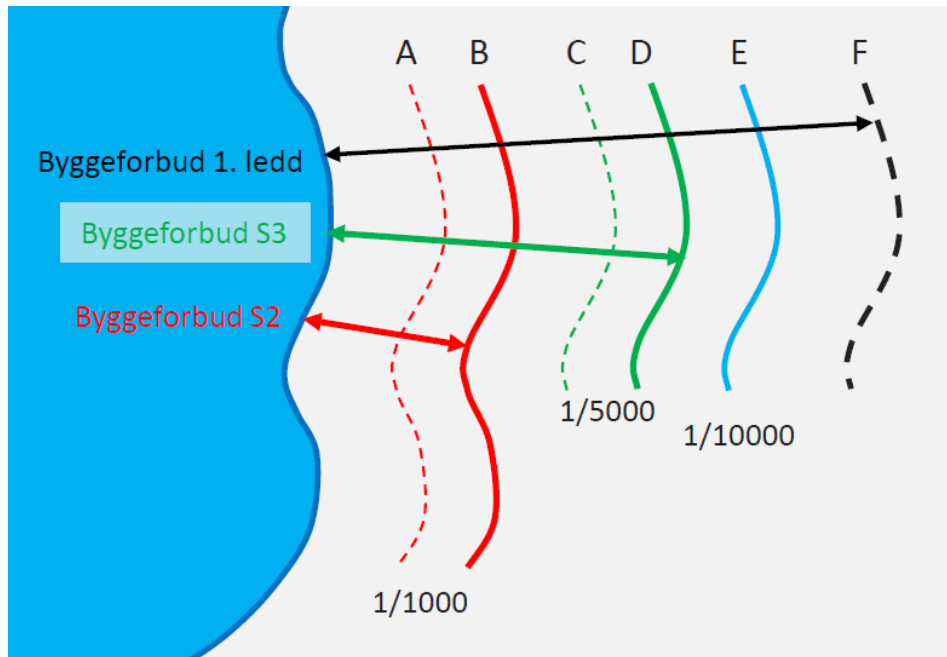
For bruk i utarbeidelse av evakueringsplaner leveres som avtalt også en grense for flodbølge oppskylling med sannsynlighet 1/10000 (grense E) samt en grense for maksimal flodbølge oppskylling (grense F). Sistnevnte er den største oppskyllingen vi får for alle 600 kombinasjoner av parametere og skred som inngår i analysen. Sannsynligheten for oppskylling opp til grense F er meget liten. Grense E er kun inntegnet hvor D og E avviker hverandre.

Fra beregningene har vi funnet de seks grensene (A-F) i fem ulike sett:

1. Summert opp for alle fire skredlokaliteter
2. Kun for Jettan
3. Kun for Indre Nordnes
4. Kun for Revdalsfjell 1B
5. Kun for Revdalsfjell 2

Totalt blir det 30 grenser. Som nevnt over leveres foreløpig kun grensene B-D-E-F for alle skred samlet (punkt 1 over) og grensene D og F for Revdalsfjell 2 (punkt 5). Resterende grenser utover de 6 som er levert, er produsert for mulig framtidig bruk.

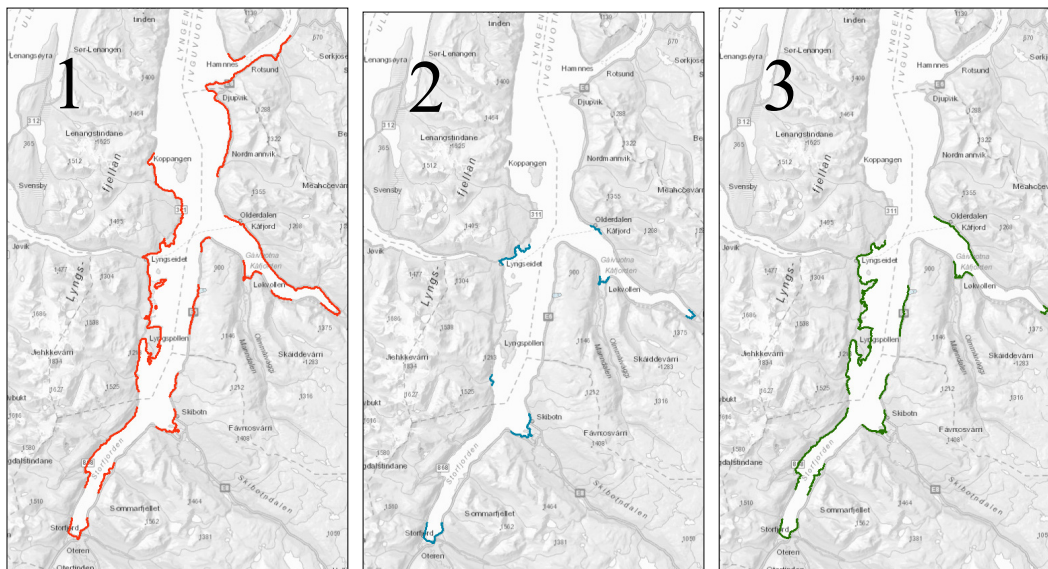
Det er for noen områder avvik mellom tilgjengelige terrengdata brukt i beregningene (i noen tilfeller også på grunn av oppløsningen i beregningene på 10 m) og det reelle terrenget. I disse områdene forsøker vi å trekke vi grensene på riktig høyde i det reelle terrenget. Der det er liten forskjell på E og D, samt at F ligger nær disse i avstand så er ikke grensen E inntegnet, se Figur 4. På grunn av oppløsningen på inntegnede grenser, kan deler av disse ligge i fjorden for høyder på < 2 m.



Figur 3: Skisse med de ulike grensene brukt i denne rapporten. Det er også vist mulige tolkninger av hvilke klasser som ikke kan bygges ut fra til TEK17. (Figur etter Einar Anda, NVE). Grensene A og C angir øvre grense for stort skadepotensiale med nominell årlig sannsynlighet henholdsvis 1/1000 og 1/5000. Tilsvarende angir grensene B og D øvre grense for lite skadepotensiale med nominell årlig sannsynlighet henholdsvis 1/1000 og 1/5000.

Tabell 2: Ulike grenser benyttet i denne rapporten.

Grenser for faresoner flodbølger:
A: Grense stort skadepotensiale, sannsynlighet > 1/1000 pr. år
B: Oppskyllingsgrense, sannsynlighet > 1/1000 pr. år
C: Grense stort skadepotensiale, sannsynlighet > 1/5000 pr. år
D: Oppskyllingsgrense, sannsynlighet > 1/5000 pr. år
Andre grenser:
E: Grense for sannsynlighet 1/10000 (til hjelp for planlegging av evakuering)
F: Maksimal oppskylling (til hjelp for planlegging av evakuering og 1. ledd)



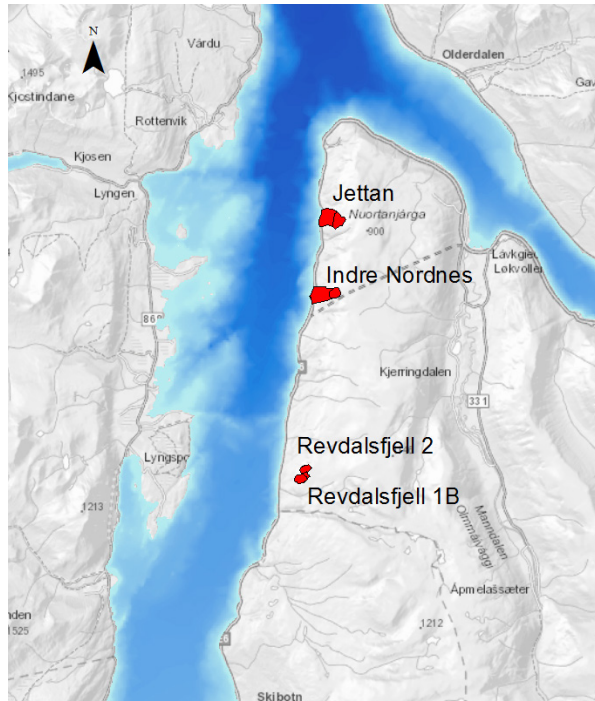
Figur 4: Oversikt over hvor de ulike grensene er inntegnet. 1: B, D og F for alle skred, 2: E for alle skred, 3: D og F for Revdalsfjell 2.

3 Skredscenariene

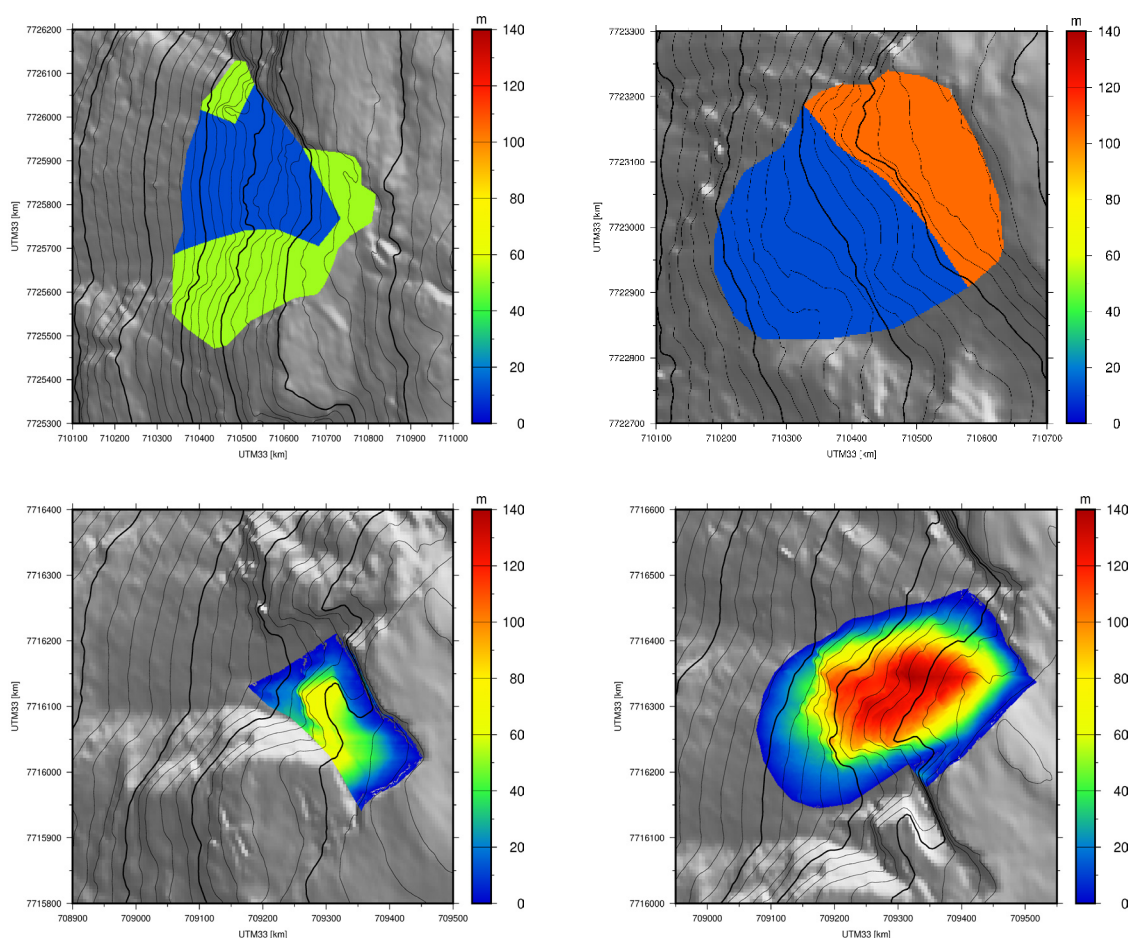
Lokaliseringen til de fire skredscenariene i analysen er vist i Figur 4 med detaljer for volum og sannsynlighet for utfall gitt i Tabell 3. Verdier og intervaller for sannsynlighetene er basert på NGU's kartlegging, og avviker derfor fra sannsynlighetene i NVE (2016) der intervallgrensene er satt ut fra TEK17 (for mer informasjon om kartleggingen og risikomatrix se http://geo.ngu.no/kart/ustabilefjellparti_mobil/) Volumene varierer mellom 0.8 og 6 mill. m³ som er vesentlig mindre enn tidligere beregninger (NGI; 2008 – 7 til 11 mill. m³, NGI; 2010 – 22 mill. m³, NGI; 2013a – 11 mill. m³). I modelleringen har vi benyttet tykkelsen på skredene ned til glideplan som utgangspunkt, se Figur 5. For mer informasjon om skredscenariene, se NVE (2016) og NVEs hjemmeside; <https://gis3.nve.no/link/?link=Fjellskred>.

Tabell 3: Volumer (millioner m³), oppgitt medianverdi og utfallsrom for skredfrekvensen. Øvre og nedre grenser for utfallsrommet ligger henholdsvis mellom 5% og 95% av alle utfall. Dette er basert på risikomatrixer som er laget av NGU i forbindelse med risikoklassifiseringen av fjellskred (Hermanns m.fl. 2012, NVE 2016).

Scenario	Volum Mm ³	Frekvens (1/år): Medianverdi og utfallsrom
Jettan	6	1/800, intervall ∈ [1/200, 1/2000]
Indre Nordnes	6	1/2000, intervall ∈ [1/400, 1/8000]
Revdalsfjell 1B	0.8	1/3000, intervall ∈ [1/1000, 1/10000]
Revdalsfjell 2	5	1/2000, intervall ∈ [1/300, 1/4000]



Figur 5: De fire skredlokasjonene



Figur 6: Tykkelse ned til glideplan for de ulike skredene basert på data gjort tilgjengelig av NVE. Øvre venstre: Jettan; øvre høyre: Indre Nordnes; nedre venstre, Revdalsfjell 1B; nedre høyre: Revdalsfjell 2.

4 Kort beskrivelse av Lyngen, Storfjorden og Kåfjorden

Fjorden Lyngen strekker seg omtrent 75 km sørover fra Lyngenhavøya og Uløya som omgir fjorden på hver sin side i nord til Storfjorden innerst i sør, se Figur 1. De dypeste områdene på ca. 250 m ligger nord for Nordnes. Dypet mellom Nordnesfjellet og Lyngseidet ligger på 200-250 m og avtar ganske jevnt sørover.

Langs vestsiden av Lyngen fra Lyngseidet og sørover til Kvalvikneset er det grunnere enn 40 m opptil 2-3 km fra land. Øst for Lyngseidet er det flere holmer, skjær og grunne områder. Omtrent midtveis mellom Lyngseidet og skredområdet ligger Nortasgrunnen. Denne strekker seg NØ-SV og er ca 1.5 km lang. Dypet her er mindre enn 6-7 m. Alle disse grunne områdene vil kunne føre til reduserte bølgehøyder i områdene innenfor som et resultat av bølgebrytning.

Dypet mellom Nordnesodden og Olderdalen går ned til rundt 200 m. Innover i Kåfjorden avtar også dypet, men her med terskler utenfor Manddalsklubben og Båneset.

Inn mot Skibotn, Storfjorden, Manddalen og Birtavarre er det større grunne områder som delvis ligger tørt under lavvann (tørrfallsområder).

5 Parametere og sannsynligheter

Modellering ved hjelp av probabilistisk analyse av flodbølgeoppskylling involverer mange ulike steg. De viktigste stegene er

1. Bestemme skredscenarioer inkl. sannsynligheter (utført av NVE)
2. Bestemme hvilke skredparametere med tilhørende utvalg av verdier som skal inngå, samt å tilordne sannsynligheter til disse. Her har vi valgt ut de parametrene som har størst innvirkning på oppskyllingen. Parametrene er valgt ut ved hjelp av omfattende sensitivitetstester
3. Kjøre beregninger med alle kombinasjoner av parametere. For hvert av de 31 oppskyllingsområdene er det 600 ulike scenarioer som blir beregnet (totalt 18600 beregninger)
4. Sammenstille oppskyllingsberegningene og kombinere dette med sannsynligheter for å etablere oppskyllingsgrenser for ulike returperioder
5. Kvalitetssikring i alle ledd

Skredparametere som inngår er:

- Skredets undersjøiske utløpsdistanse R (bestemmes ved analyse av skredstatistikk)
- Skredets frontareal A (bestemmes ved hjelp av modellering, erfaring, tidligere arbeider samt kalibrering mot historiske hendelser som Tafjord og Tjelle).
- Skredets treffhastighet U (bestemmes ved hjelp av modellering, erfaring, tidligere arbeider og energilinjebetraktning)
- Siden beregning av flodbølgegenereringen innebærer enn viss grad av forenklinger, gjennomføres flodbølgeberegningene med to alternative modeller for bølgegenerering. De to alternative modellene er enten et kort eller et uendelig langt skred. For et uendelig langt skred betyr dette at vi kun tar med bidrag fra fronten av skredet, men med identisk frontareal som for det korte.

Det er i størst mulig grad forsøkt å koble valg av parametere og sannsynligheter til modellering og statistikk. I analysen har vi for hver av de 4 skredene brukt 2 ulike skredformer (kort og uendelig langt skred), 5 ulike utløpsdistanser, 5 ulike frontarealer, samt 3 ulike treffhastigheter. Alle parametere og sannsynligheter er gitt i Tabell 4, bortsett fra sannsynlighet for kort og uendelig langt skred. Sannsynligheten for disse er satt til henholdsvis 0.3 (kort) og 0.7 (uendelig langt). Beregningene ble kjørt på en 8 kjernes ThinkStation P320 med 64GB RAM. Tiden for alle 18600 kjøringene var på ca. fem døgn. Det ble gjort mange kryssjekker av resultatfiler for å kvalitetssikre

modelleringen. Mer utførlige detaljer er beskrevet i Vedlegg B (probabilistisk metode) og C (valg av parametere og sannsynligheter).

Tabell 4: Parametere og tilhørende sannsynligheter (P) brukt i beregningene oppsummert for hver skredlokalitet. R er undersjøisk utløpsdistanse (5 verdier), A er skredets frontareal (5 verdier) og U er skredets treffhastighet (3 verdier).

Undersjøisk utløp			Frontareal			Treffhastighet		
Param	R [m]	P_R	Param	A [m ²]	P_A	Param	U [m/s]	P_U
Jettan								
R1	1946	0.07	A1	22500	0.05	U1	30	0.3
R2	1404	0.24	A2	15000	0.2	U2	55	0.55
R3	945	0.38	A3	12000	0.35	U3	80	0.15
R4	694	0.24	A4	9000	0.25			
R5	500	0.07	A5	6000	0.15			
Indre Nordnes								
R1	1718	0.07	A1	27000	0.05	U1	30	0.3
R2	1189	0.24	A2	18000	0.2	U2	43	0.55
R3	740	0.38	A3	14400	0.35	U3	70	0.15
R4	494	0.24	A4	10800	0.25			
R5	305	0.07	A5	7200	0.15			
Revdalsfjell 1B								
R1	575	0.07	A1	3000	0.05	U1	30	0.3
R2	125	0.24	A2	2000	0.2	U2	38	0.55
R3	0*	0.38	A3	1600	0.35	U3	60	0.15
R4	0*	0.24	A4	1200	0.25			
R5	0*	0.07	A5	800	0.15			
Revdalsfjell 2								
R1	1357	0.07	A1	10500	0.05	U1	30	0.3
R2	899	0.24	A2	7000	0.2	U2	38	0.55
R3	506	0.38	A3	5600	0.35	U3	60	0.15
R4	86	0.24	A4	4200	0.25			
R5	0*	0.07	A5	2800	0.15			

*Skredet når ikke fjorden

6 Resultater

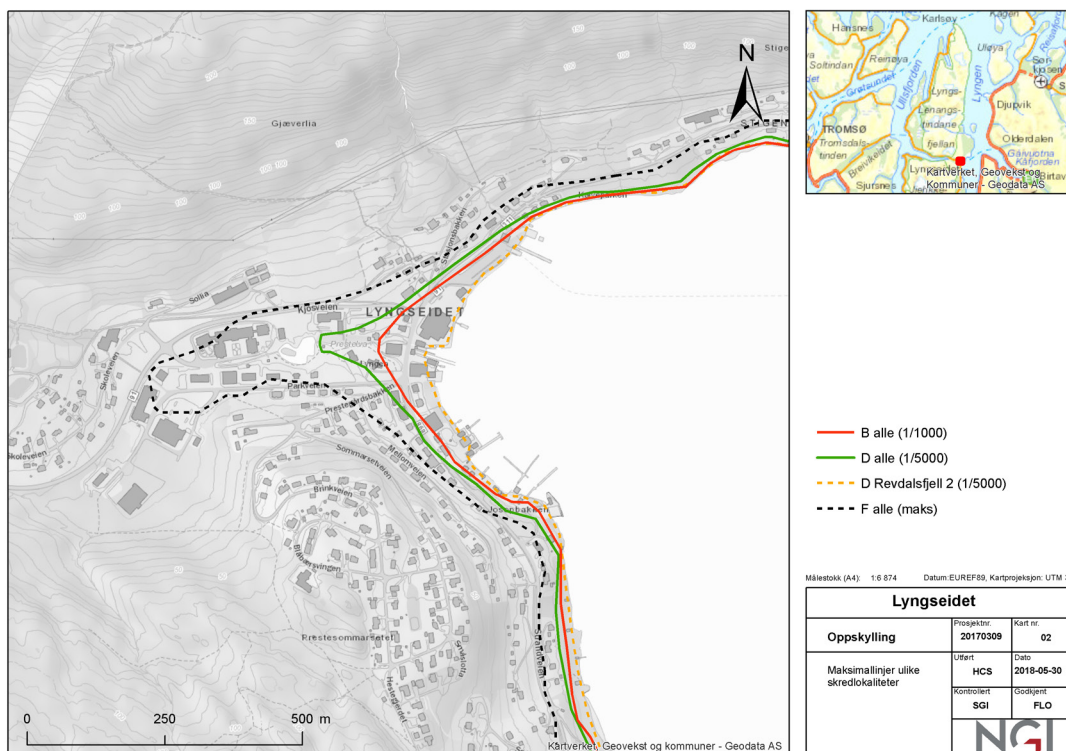
Resultatene fra analysen kan beskrives ved hjelp av 30 ulike oppskyllingsgrenser, se kapittel 2. Under vises eksempler med grensene B-D-F (summert opp for alle fire skredlokaliteter) samt linje D for Revdalsfjell 2 for Lyngseidet (Figur 6) og Furuflaten (Figur 7). Den maksimale oppskyllingen (grense F) går vesentlig lenger inn enn de andre grensene, men har en meget liten sannsynlighet. Det er for alle oppskyllingsområder relativt liten forskjell på grense A og B samt grense C og D. Dette er hovedgrunnen til at det i utgangspunktet bare presenteres grensene B og D for arealplan i området

(grensene for A og C er derfor ikke vist), se kapittel 2. Dette betyr igjen at sonen med lite skadepotensial er liten, og at kun marginale arealer frigjøres ved å bruke flomsone-tilnærmingen i stedet for "skredsoner" tilnærmingen for dette eksemplet. I områder med oppskylling av en viss størrelse og med flattere/slakere terreng i oppskyllingssonen kan imidlertid effekten være større. Ved ønske om å vurdere sikringstiltak for å redusere båndlagte arealer ytterligere, kan man vurdere å skille mellom flomsone og "skredsoner" og oppdatere grensene for arealplan (ABCD) gjennom nye beregninger med høyere oppløsning og effekten av eventuelle sikringstiltak inkludert.

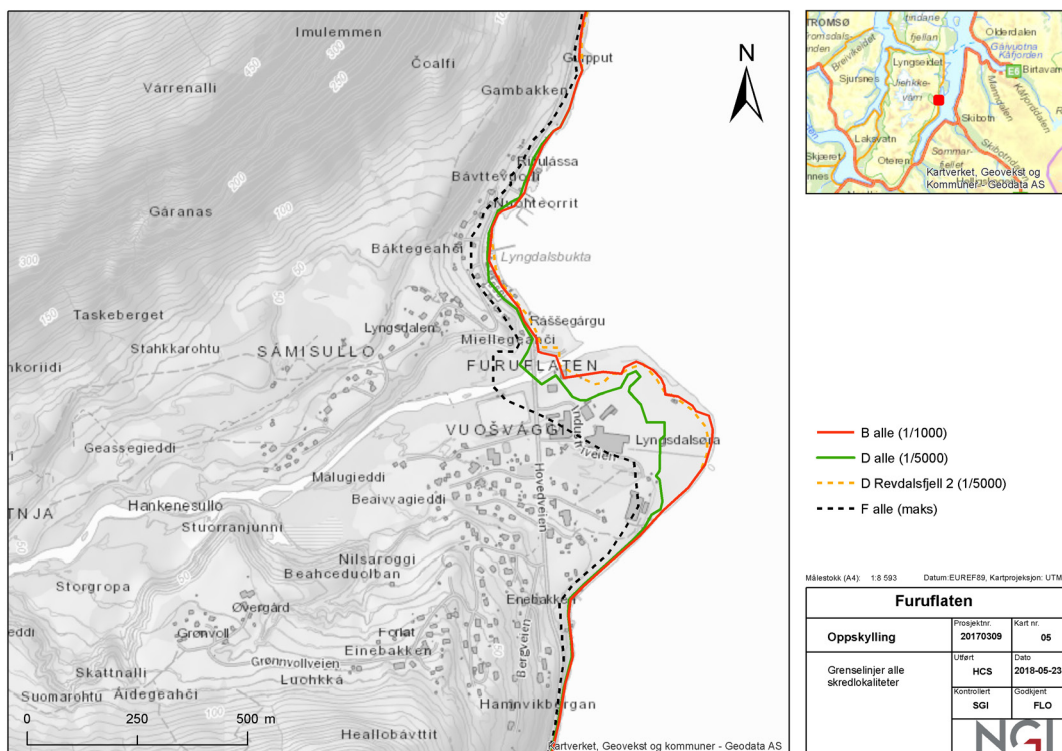
Grense D for Revdalsfjell 2 (1/5000) ligger nærmere strandlinja enn grense D for alle skred selv ved Furufalten som ligger nær denne skredlokasjonen. Grunnen til dette er en kombinasjon av at 1) sannsynligheten for at skredet fra Revdalsfjell 2 løsner er mindre enn for eksempel Jettan og 2) terrenget under Revdalsfjell gir kortere utløp under vann (større del av utløpet på land). Punkt 1) er et eksempel på hvordan en probabilistisk analyse kan være med å begrense båndlagt arealer. Grense F for alle skred og F for Revdalsfjell er derimot tilnærmet lik i Furufalten (da grense F viser maksimumsverdier uten å ta hensyn til sannsynligheter). Se for øvrig Vedlegg A for flere eksempler. Høyden på oppskyllingsgrensene for alle beregningsområdene for henholdsvis grense B, D og F (alle skred samlet), er vist i Figur 8 - Figur 10. Ankomsttider for skred fra Jettan (potensielt største bølger) vises i Figur 11. Maksimal høyde langs oppskyllingsgrensene (lavt skadepotensiale) for nominell årlig sannsynlighet 1/1000 (B) og 1/5000 (D) er vist i Tabell 5, mens ankomsttider for bølger fra de ulike skredlokalitetene er oppgitt i Tabell 6. NVE ønsket også å vurdere området lenger inn i Rotsundet (sørsiden). Dette området ble ikke inkludert direkte i analysen, siden anslåtte oppskyllingshøyder er lave. Basert på beregningene for områdene like ved (område 30 og 31) vil høydene langs grensene B og D (samt E) være lavere enn 2 m. Mens høyde på grense F er anslått til det samme som for område 31, dvs. ca. 4 m. Grenser for dette området er inkludert i den leveransen.

Oppløsningen på beregningene i oppskyllingsområdene er 10 m. Ved ønske om ulike sikringstiltak for å redusere båndlagte områder, eller ved endringer av terreng som kan innvirke på grensene, vil det være nødvendig med nye beregninger med oppdaterte terrengdata og gjerne høyere oppløsning enn 10 m.

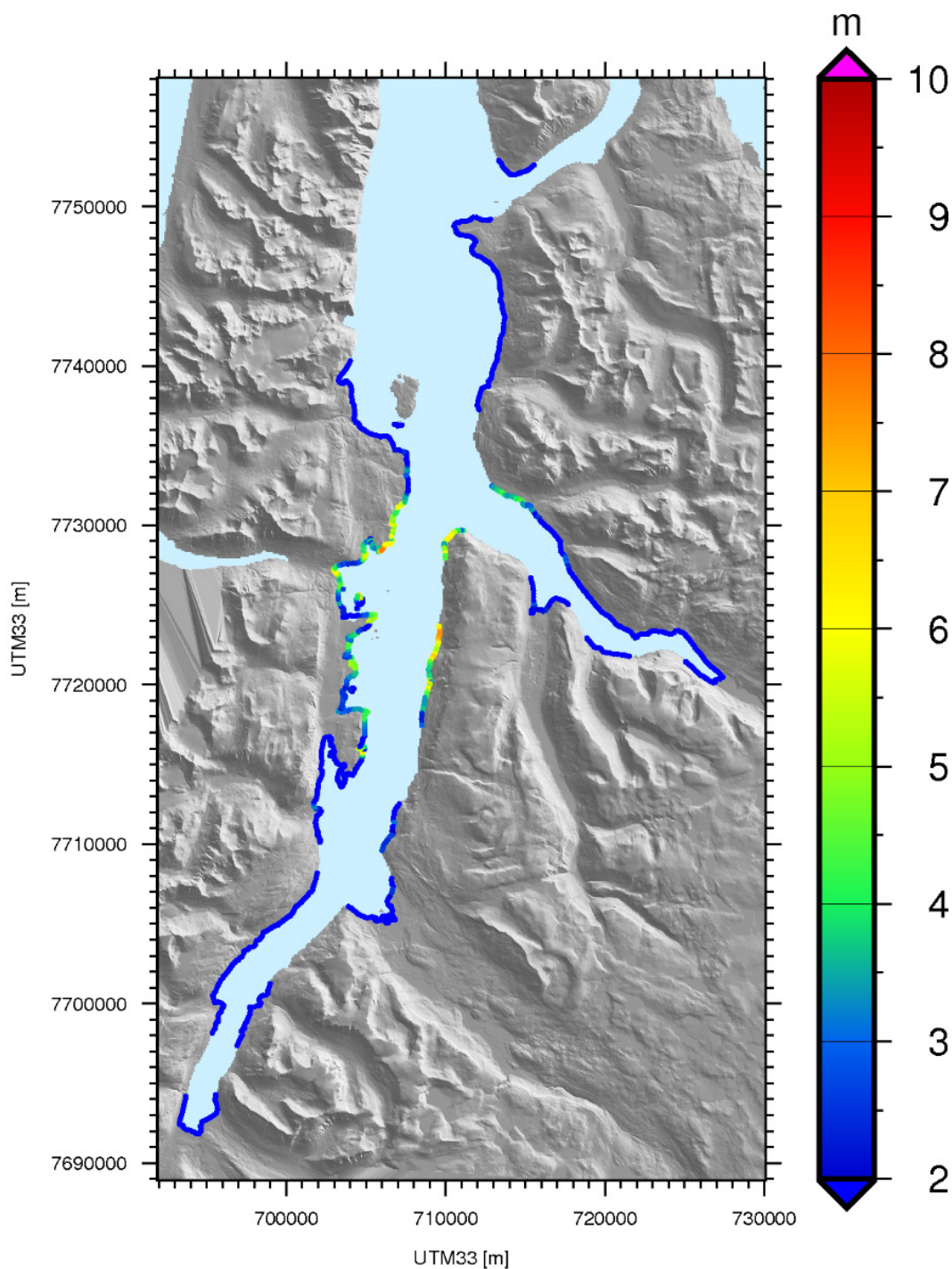
De beregnede grensene for oppskyllingsområdet ved Indre Nordnes inkluderer ikke fullt ut bølger fra Indre Nordnes i seg selv. Her vil selve skredet gi opphav til en faresone med en sannsynlighet tilsvarende den som er gitt for skredutløsningen.



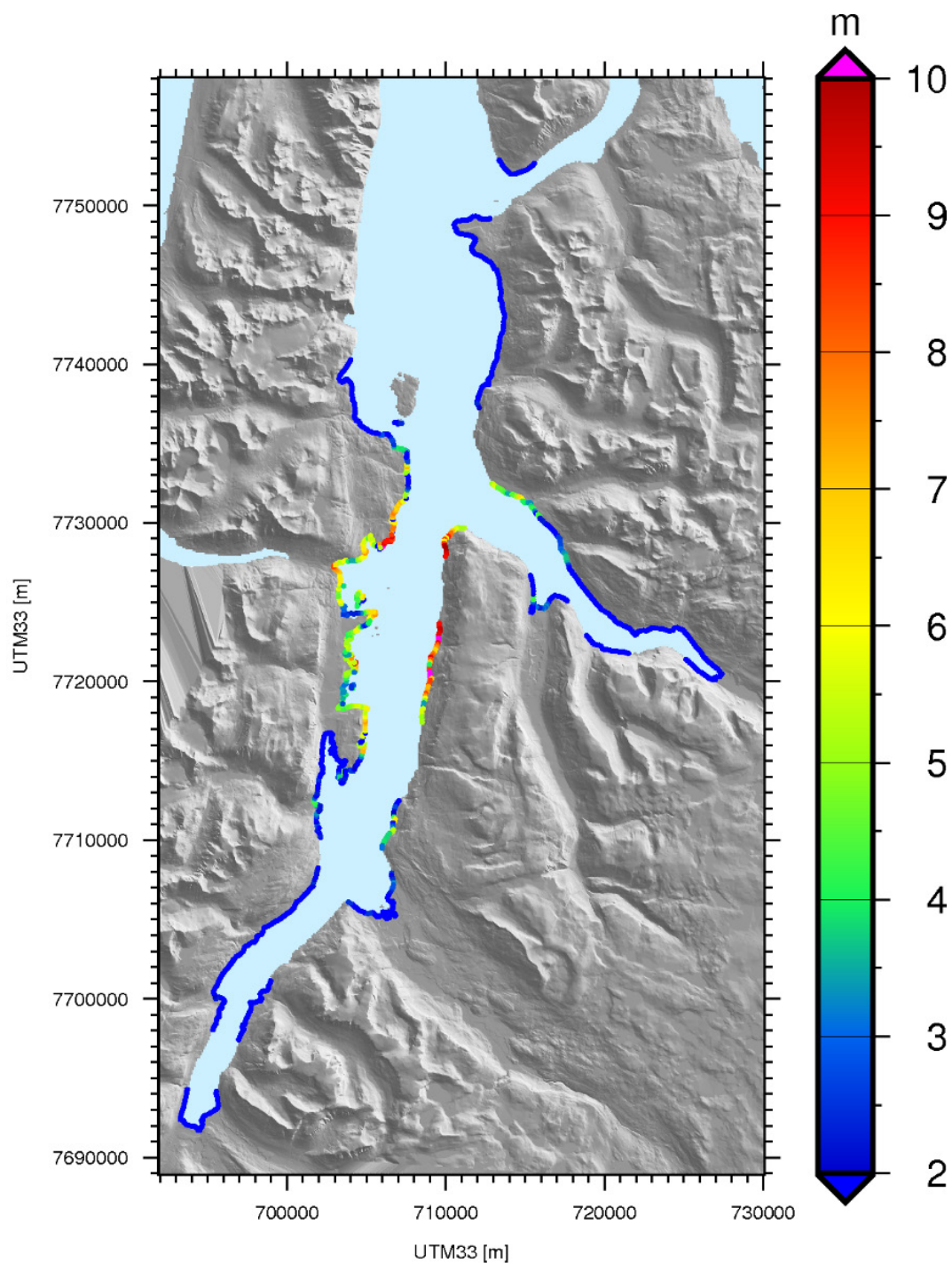
Figur 7: Eksempler på oppskyllingsgrenser i Lyngseidet. For forklaring se kapittel 2. For "B alle", "D alle", og "F alle" er oppskylling fra alle fire skredlokaliteter summert opp. Grensen "D Revdalsfjell 2" viser nominell årlig oppskyllingssannsynlighet 1/5000 fra Revdalsfjell.



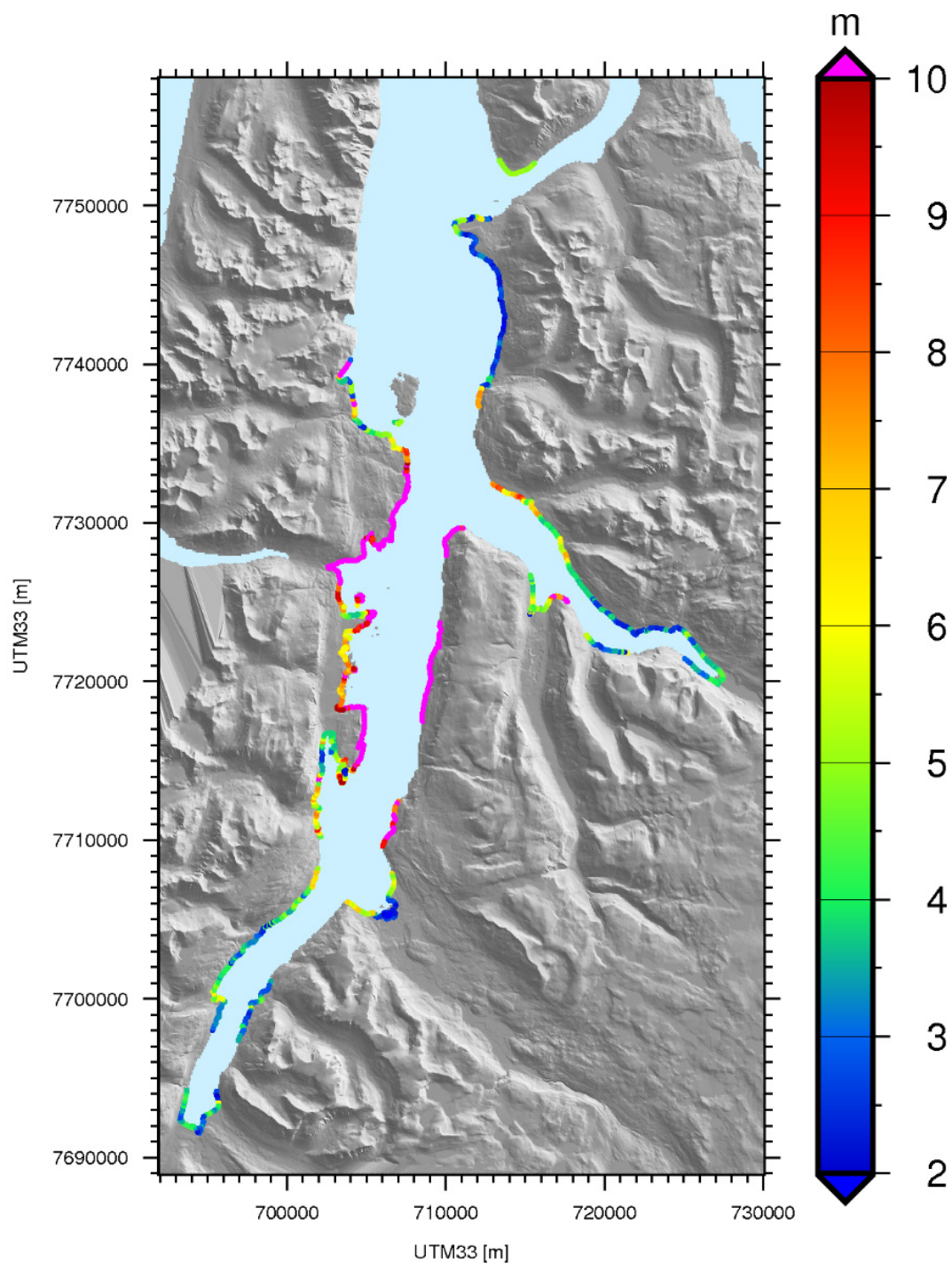
Figur 8: Eksempler på oppskyllingsgrenser ved Furuflaten. For forklaring se kapittel 2. For "B alle", "D alle", og "F alle" er oppskylling fra alle fire skredlokaliteter summert opp. Grensen "D Revdalsfjell 2" viser nominell årlig oppskyllingssannsynlighet 1/5000 fra Revdalsfjell.



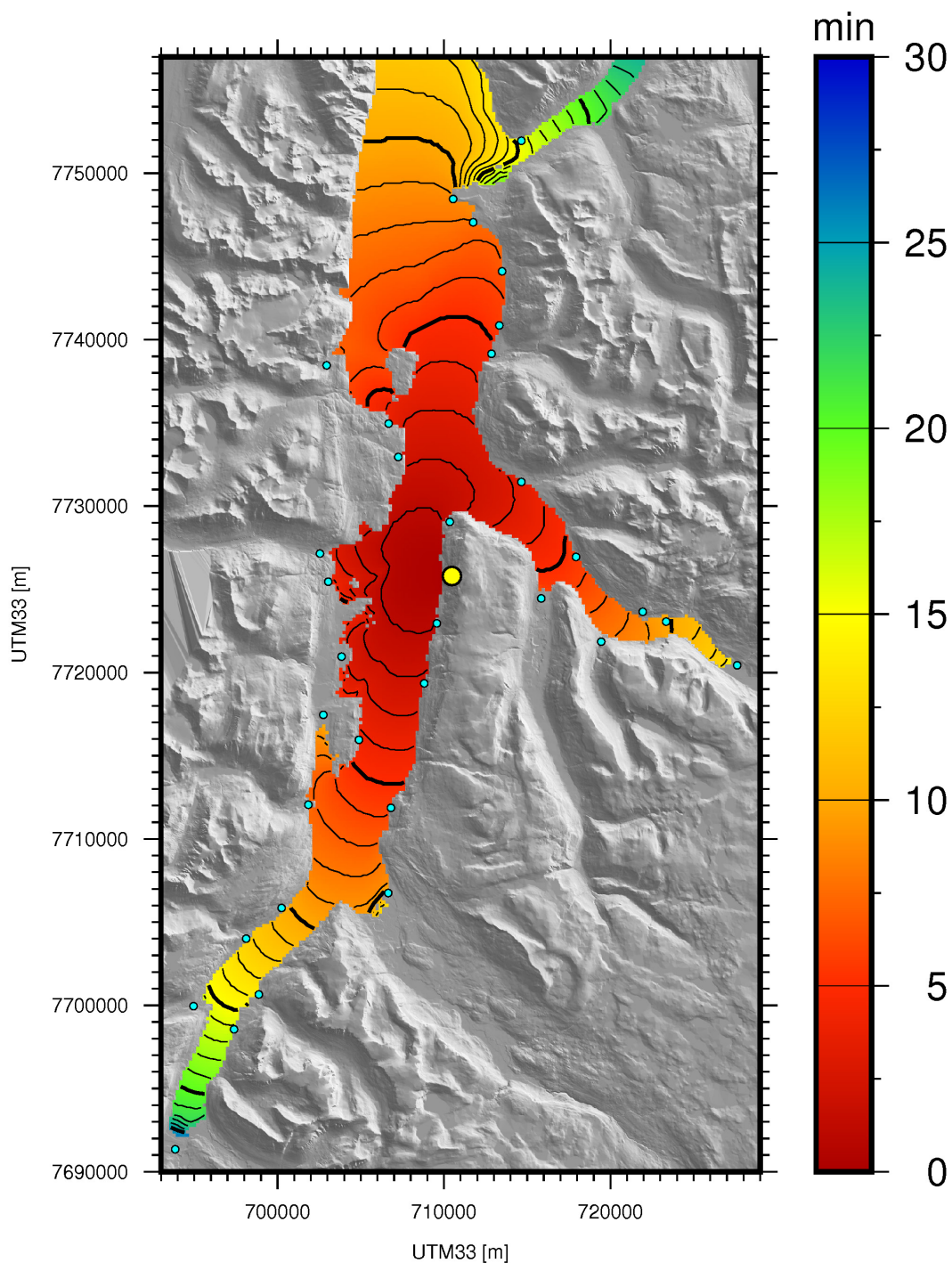
Figur 9: Høyde på oppskyllingsgrense for sannsynlighet 1/1000 (grense B, kapittel 2). Oppskylling fra alle fire skredlokaliteter summert opp.



Figur 10: Høyde på oppskyllingsgrense for sannsynlighet 1/5000 (grense D, kapittel 2). Oppskylling fra alle fire skredlokaliteter summert opp.



Figur 11: Høyde på maksimal oppskyllingsgrense (grense F, kapittel 2). Oppskylling fra alle fire skredlokaliteter inkludert.



Figur 12: Ankomsttid i minutter for flodbølger fra skred ved Jettan. For andre skred se Vedlegg A. Tynne linjer er trukket for hvert minutt, mens tykke hvert femte minutt.

Tabell 5: Maksimal oppskylling (maksimal høyde langs oppskyllingsgrensene). Høydene referer til dagens havnivå. Beregningene er gjort med et framtidig havnivå 0.7 m over dagens.

Lokasjon	Navn	Maks oppskylling [m]		
		Alle skred		Revdalsfjell 2
		1/1000	1/5000	1/5000
1	Koppangen	<2	<2	<2
2	Årøybukt	3	4	<2
3	Elvejord	7	10	<2
4	Lyngseidet	10	13	2
5	Karnes	7	9	<2
6	Kjeldnes	6	9	6
7	Pollneset	6	8	8
8	Lyngspollen	4	5	4
9	Furuflaten	3	4	3
10	Rasteby	<2	3	2
11	Elvenes	<2	2	<2
12	Ellevollen	<2	3	<2
13	Oteren	<2	<2	<2
14	Horsnes-Elsnes	<2	<2	<2
15	Skibotn	3	4	2
16	Forrneset	3	8	3
17	Brattvoll	7	12	4
18	Indre-Nordnes	9	12	4
19	Nordnesodden	7	11	<2
20	Manndalen	3	4	<2
21	Skardalen	<2	<2	<2
22	Birtavarre	<2	2	<2
23	Trollvik	<2	<2	<2
24	Langneset-Strand	<2	<2	<2
25	Strand	4	5	<2
26	Olderdalen	5	7	<2
27	Nordmannvik	<2	3	<2
28	Strandli-Engeneset	<2	<2	<2
29	Djupvik	<2	<2	<2
30	Spåkenes	<2	<2	<2
31	Havnes	<2	<2	<2

Tabell 6: Ankomsttider for bølger fra de ulike skredlokalitetene.

Lokasjon	Navn	Ankomsttid [minutter]		
		Jettan	Indre Nordnes	Revdalsfjell
1	Koppangen	5	9	11
2	Årøybukt	3	5	7
3	Elvejord	2	4	6
4	Lyngseidet	2	4	7
5	Karnes	3	5	7
6	Kjeldnes	3	2	3
7	Pollneset	3	2	1
8	Lyngspollen	8	7	6
9	Furuflaten	7	6	4
10	Rasteby	9	8	5
11	Elvenes	10	9	6
12	Ellevollen	15	14	11
13	Oteren	24	23	20
14	Horsnes-Elsnes	13	12	9
15	Skibotn	9	9	6
16	Forrneset	5	4	2
17	Brattvoll	2	1	1
18	Indre-Nordnes	<1	0	3
19	Nordnesodden	<1	2	5
20	Manndalen	5	7	10
21	Skardalen	7	9	12
22	Birtavarre	12	14	17
23	Trollvik	8	10	13
24	Langneset-Strand	6	8	11
25	Strand	4	6	9
26	Olderdalen	3	5	8
27	Nordmannvik	4	6	9
28	Strandli-Engeneset	5	7	10
29	Djupvik	6	8	11
30	Spåkenes	8	10	13
31	Havnes	13	15	18

7 Sikringstiltak

Aktuelle fysiske tiltak for å redusere konsekvensen av oppskylling av flodbølger er moloer, voller og diker, og andre bølgedempende tiltak. Høyden på disse kan variere i forhold til hva man vil dimensjonere mot. I noen tilfeller vil for eksempel en økning av høyde på en molo gi god effekt (utredning i Sjøholt, se NGI, 2012; 2013b; 2015). De ulike tiltakene må plasseres og utformes med varsomhet, da slike tiltak også kan føre til økt fare i nærliggende områder, som for eksempel at hastigheter på vannet øker gjennom trange passasjer både i sjø og på land. Slik kanalisering av vannet vil videre kunne

medføre sterk erosjon, som i neste omgang kan gi større skade ved at for eksempel sikringstiltak rives med som drivgods. Utvasking kan også medføre utglidninger av ulik karakter. Tiltak for å redusere oppskyllingen må også vurderes opp mot at disse kan bli skjemmende, kan endre strømningsforhold, økologi, erosjonsforhold, sediment transport m.m. Videre så er flodbølger langbølgede, hvilket medfører at vannet kan strømme rundt og bak konstruksjoner etablert som sikringstiltak. Skadepotensialet i slike tilfeller vil likevel kunne reduseres, ved at hastigheten på vannet blir redusert ved hjelp av sikrings-tiltak. Dette gjelder spesielt områdene mellom grense A og B og mellom C og D. Linje A og C kan trekkes nærmere strandlinjen (så lenge strømningsdyp er under 2 m) ved hjelp av tiltak som reduserer hastigheten på vannet uten at man nødvendigvis får redusert oppskyllingen (linje B og D). Dette er utredet for Sjøholt i forbindelse med vurdering av endring av eksisterende molo, se NGI (2012; 2013b; 2015). Der fant man at linje C ble trukket betraktelig nærmere strandlinjen, mens linje D flyttet seg i mindre grad. Områdene som har størst gevinst av tiltak som reduserer hastigheten på vannet (målt i redusert faresone areal), er der det er slakt/flatt terreng. For å få redusert faresonene på denne måten forutsetter at strømningsdypet ikke er over 2 m (jfr. grenseverdier beskrevet i kapittel 2).

For å vurdere eventuelle sikringstiltak må detaljerte beregninger av oppskyllingen gjennomføres. Ved bruk av regnemodellene kan ulike løsninger testes ut før bygging. Det er ellers viktig å merke seg at drivgods øker skadepotensialet under en oppskylling av flodbølger.

8 Sammenligning med tidligere resultater

Beregningene som ble gjort av NGI (2008, 2013a) er basert på et skredscenario på 11 mill. m³ fra Jettan. Mens NGI (2008) beregnet oppskylling med forenklet metode langs vertikalsnitt, så brukte NGI (2013a) samme modelloppsett for generering, utbredelse og oppskylling som er benyttet i denne rapporten. Modelloppsettet i NGI (2013a) og i denne rapporten tar hensyn til bølgebrytning og beregner oppskyllingen ved hjelp av en oppskyllingsmodell i to horisontale dimensjoner. I NGI (2008) ble brytningen i fjorden i begrenset grad inkludert kun utenfor Lyngseidet (over Nortasgrunnen), og ingen andre steder. I Tabell 7 vises en sammenligning mellom de nye resultatene og tidligere resultater fra NGI (2008, 2013a). Det kan se ut som at mangel på brytning i modelleringen (NGI 2008) utover området ved Nortasgrunnen er en viktig grunn til avviket mellom resultatene i NGI (2008) og NGI (2013a) fra Råttenvik i nord til og med Kvalvik i sør. Det er også verdt å merke seg at tredimensjonale effekter som fokusering i bukter og fjordbunner (som er med i denne studien og i NGI, 2013a) ikke er tatt hensyn til i NGI (2008). Dette kan være en forklaring på at NGI (2013a) gir høyere verdier enn NGI (2008) for lokasjonene der fokusering inntreffer (Skibotn, Oteren, Manndalen, Birtavarre). Sammenligning mellom NGI (2013a) og den akkumulerte oppskyllingsgrensen for alle fire skredlokasjoner med årlig sannsynlighet 1/5000 i denne studien viser at sistnevnte i hovedsak gir ca. halvparten så stor oppskylling som NGI (2013a). En hovedgrunn er at skredvolumene er nærmest halvert sammenliknet med NGI

(2013a). En annen viktig grunn er anvendelsen av det nye probabilistiske rammeverket. Til forskjell fra tidligere farestudier, som er basert på enkelte scenarioanalyser, gir det nye probabilistiske rammeverket mulighet til å vekte hvordan et stort antall forskjellige utfall av skredscenarier påvirker flodbølgefaren, samt for første gang å kvantifisere og sammenlikne returperioder eksplisitt med lovverket (TEK17). På denne måten gjøres farevurderingene mer metodisk, noe som igjen gjør det mulig å unngå at konservative antakelser får unødvendig stor vekt. I tillegg gjør metoden det mulig å knytte usikkerheten i oppskyllingen til faregrenser med ulike sannsynligheter, og derved nyansere faregrensene bedre. Merk at NGI (2013a) og maksimal oppskylling i denne rapporten (grense F) er sammenlignbare. Sett i lys av mindre volum fra Jettan, tyder det likevel på at resultatene i NGI (2013a) er nærmere en maksimal oppskyllingsgrense (med lav sannsynlighet) enn grensene gitt i TEK17. Sannsynligheten for oppskyllingsgrensene for NGI (2013a) ble ikke kvantifisert utover sannsynligheten for skred-utløsning fra Jettan.

Det probabilistiske rammeverket vi har utviklet har gitt resultater som har medført at båndlagte arealer frigjøres sammenliknet med NGI (2013a). Samtidig bør det nevnes at metoden, ved også å representere maksgrensene fra alle beregninger, kan ta hensyn til ekstreme hendelser for bruk i evakueringssituasjoner, etc.

Tabell 7: Sammenligning av oppskyllingshøyder i denne studien (oppskyllingshøyde for årlig sannsynlighet 1/5000, grense D) med resultatene fra NGI (2008) og NGI (2013a). Oppskylling i tabellen henviser direkte til der vertikalsnittene ble lagt i NGI (2008) og ikke hele oppskyllingsområdet for stedene.

Sted	NGI (2008)	NGI (2013a)	Denne studien (1/5000, D)	Denne studien (maks, F)
Rottenvik	25-35	12	7	13
Lyngseidet	25-45	20	9	17
Karnes	30-45	15	7	12
Oksvik	20-25	10	6	8
Kjeldnes	12-18	10	5	9
Kvalvik	10-18	10	5	7
Sandvika	10	8	4	10
Furuflaten	9	10	5	9
Skibotn	5	8	4	7
Oteren	3	6	< 2	6
Olderdalen	10	10	7	9
Manndalen	4	6	3	6
Birtavarre	3	6	2	5

9 Referanser

- Hermanns, R., Oppikofer, T., Anda, E., Blikra, L.H., Böhme, M., Bunkholt, H., Crosta, G.B., Dahle, H., Devoli, G., Fisher, L., Jaboyedoff, M., Loew, S., Sætre, S., Yugsi Molina, F.X. (2012). Hazard and risk classification for large unstable rock slopes in Norway. Geological Survey of Norway Report 2012.029. 53s.
- Romstad B., Harbitz C., Domaas U. (2009). A GIS method for assessment of rockslide tsunami hazard in all Norwegian lakes and reservoirs. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 9, 1–13.
- NGI (2008). Flodbølger etter mulig fjellskred Nordnes, Lyngen kommune. Beregning av mulige fjellskred og flodbølger. NGI rapport 20071677-1.
- NGI (2010). Flodbølger etter mulig fjellskred Nordnes, Lyngen kommune II. Grovanalyse for et skredvolum på 22 millioner kubikkmeter. NGI rapport 20100617-00-1-R.
- NGI (2011). Numerical simulations of tsunamis from potential and historical rock slides in Storfjorden; Hazard zoning and comparison with 3D laboratory experiments. NGI rapport 20051018-00-1-R. Revisjon 01, 21. Februar 2011.
- NGI (2012). Ørskog kommune – flodbølgeberegninger Sjøholt. Beregning av oppskylling ved nytt bygg på gnr/bnr 97/162 og 97/404. NGI rapport 20120425-00-1-R.
- NGI (2013a). Flodbølger i Lyngen etter mulig skred, Nordnes, Lyngen kommune III. Detaljeberegning av oppskylling for skred på 11 millioner kubikkmeter. NGI rapport 20130206-01-R.
- NGI (2013b) Ørskog kommune – beregninger av flodbølge ved Sjøholt. Sikringstiltak for Sjøholt sentrum. NGI rapport 20130150-01-R.
- NGI (2015) Beregning av oppskylling i Sjøholt for nye løsninger på moloanlegg og sikring på land. NGI teknisk notat 20140364-01-TN.
- NVE (2016). Fare- og risikoklassifisering av ustabile fjellparti. Faresoner, arealhåndtering og tiltak. NVE rapport 77-2016.

Vedlegg A

RESULTATER FRA UTVALGTE OMRÅDER

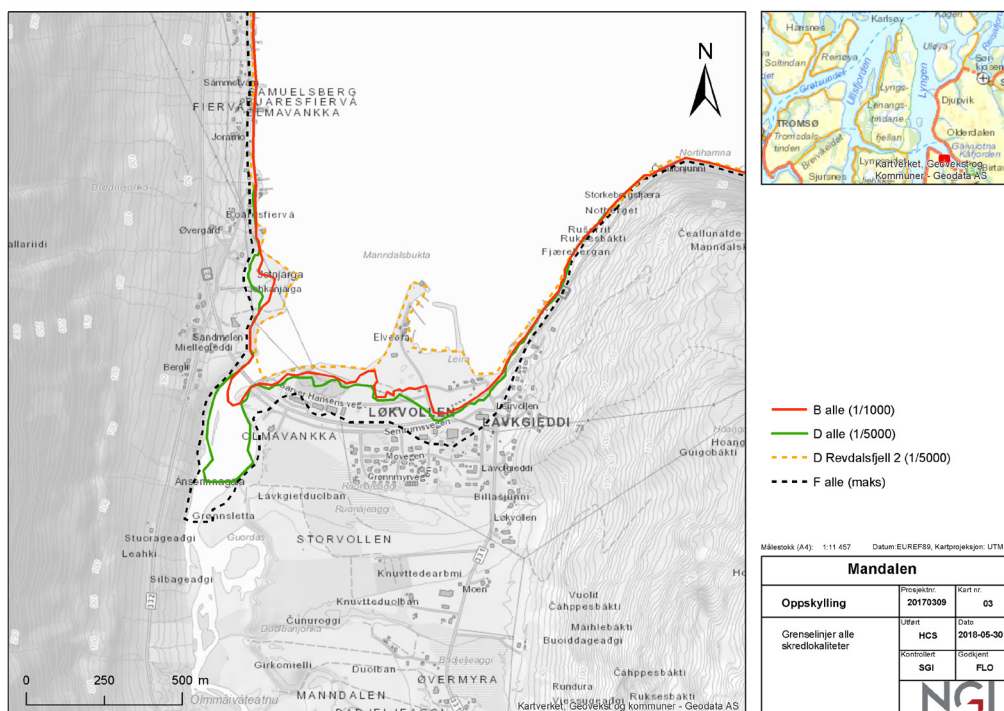
Innhold

A1 Ytterligere resultater – eksempler	2
---------------------------------------	---

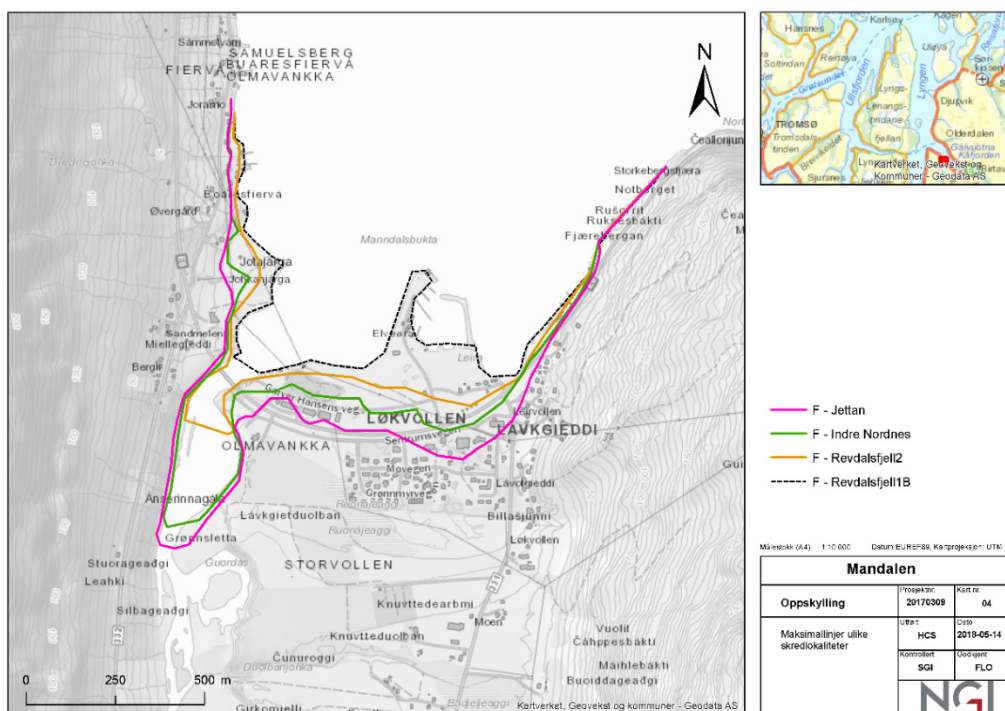
A1 Ytterligere resultater – eksempler

Som beskrevet i hovedrapporten produseres i alt 30 grenselinjer for hver av de 31 lokasjonene der detaljert beregning av oppskylling er utført. De ulike typer grenselinjer er nærmere forklart i hovedrapporten. Etter avtale med oppdragsgiver leveres i denne omgang 6 grenser digitalt.

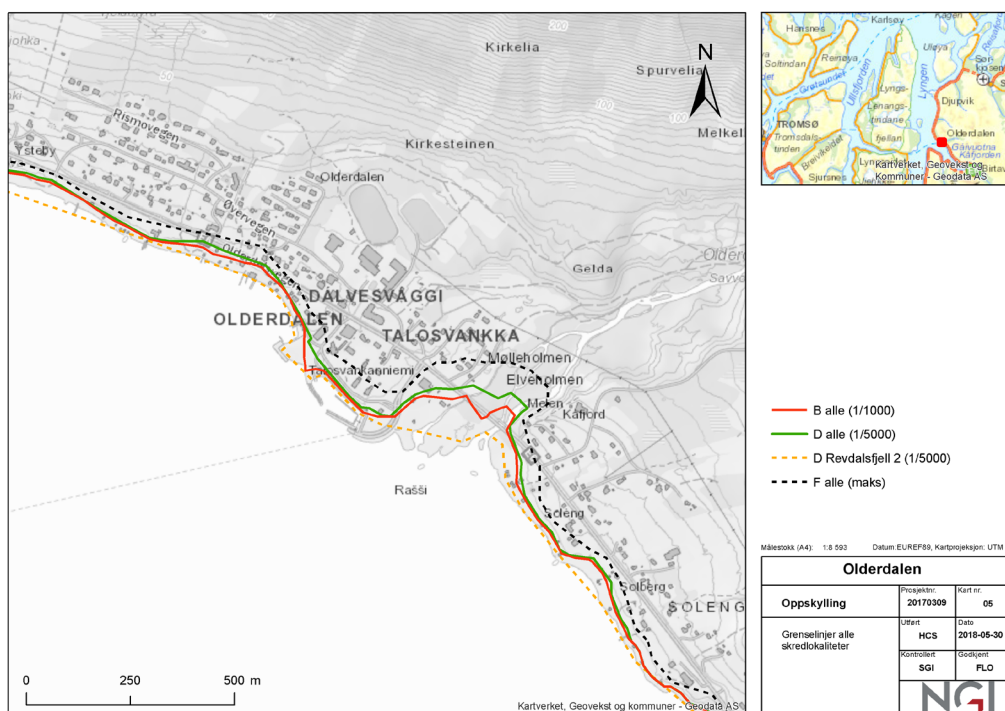
I dette vedlegget viser vi noen flere eksempler på grenselinjer utover det som er vist i hovedrapporten. I Figur 1 vises de ulike grensene B-D-F summert for bølger fra alle fire skredlokasjoner samt grense D for Revdalsfjell 2 i Manndalen. Videre i Figur 2 vises maksimal oppskylling for hele analysen (dog med meget liten sannsynlighet) i oppskyllingsområdet ved Manndalen for bølger fra hver av de fire skredlokasjonene. Tilsvarende for Olderdalen vises i henholdsvis Figur 3 og Figur 4. Grensene B-D-F samt D for Revdalsfjell 2 er også vist for Birtavarre, Oteren/Hatteng og Skibotn i Figur 5-Figur 7. Ankomsttidene for skred fra Indre Nordnes samt Revdalsfjell 1B og Revdalsfjell 2 er vist i henholdsvis Figur 8 og Figur 9.



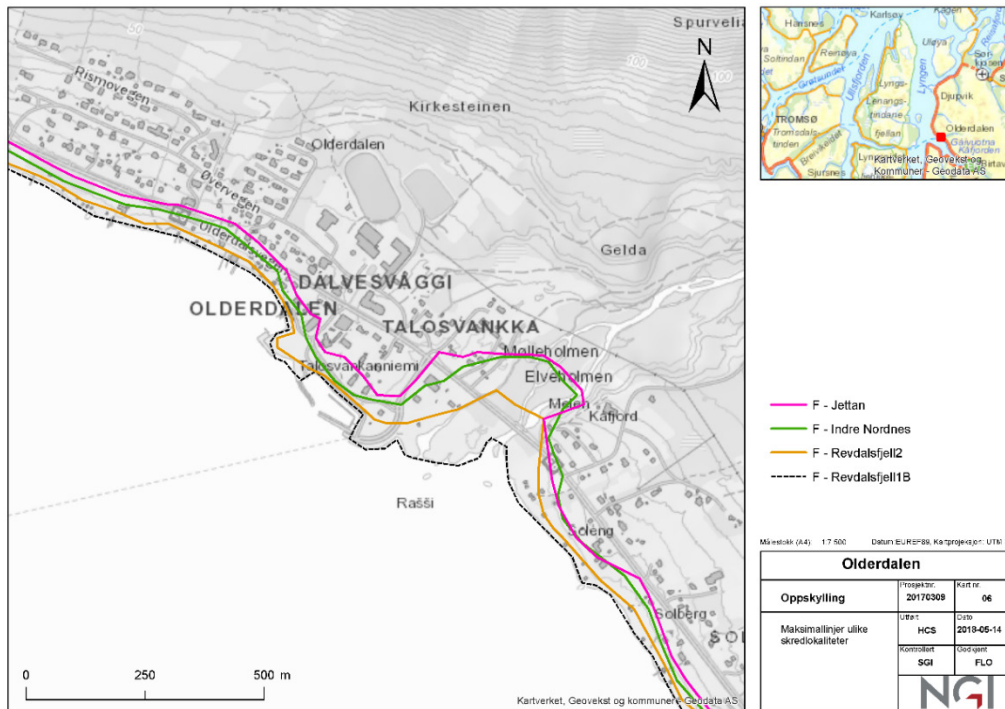
Figur 1: Eksempler på oppskyllingsgrenser i Manndalen. For forklaring se hovedrapport. For "B alle", "D alle", og "F alle" er oppskylling fra alle fire skredlokaliteter summert opp. Grense F er den maksimale beregnete oppskyllingen (meget liten sannsynlighet) og grensen "D Revdalsfjell 2" viser nominell årlig oppskyllingssannsynlighet 1/5000 fra Revdalsfjell.



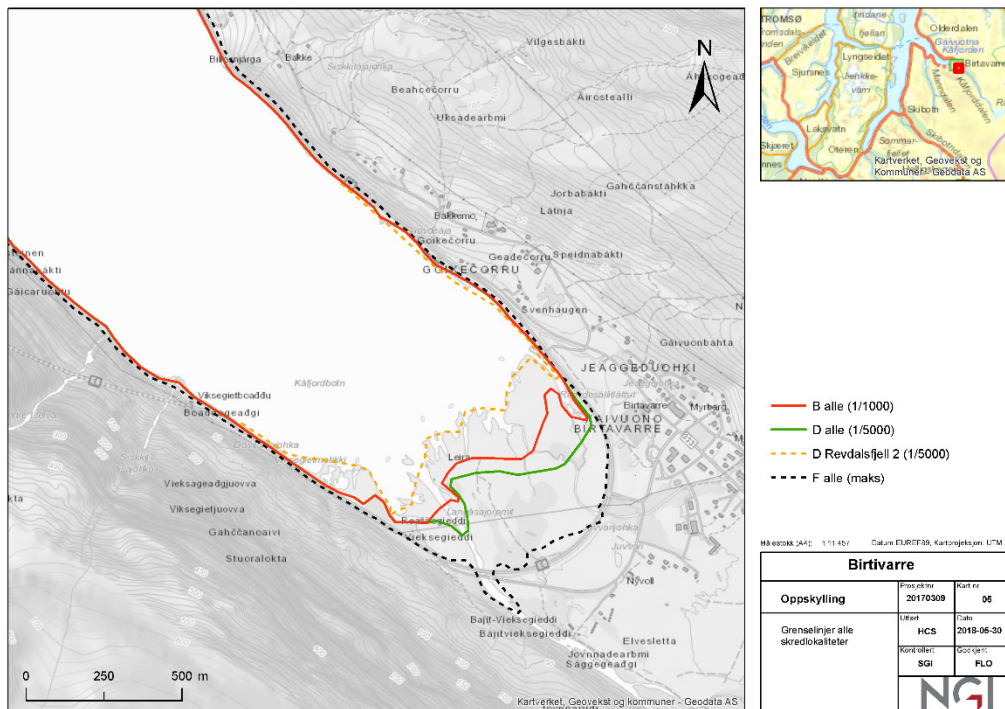
Figur 2: Eksempler på maksimal oppskylling (grense F) i Mandalen for bølger fra de fire ulike skredlokalitetene.



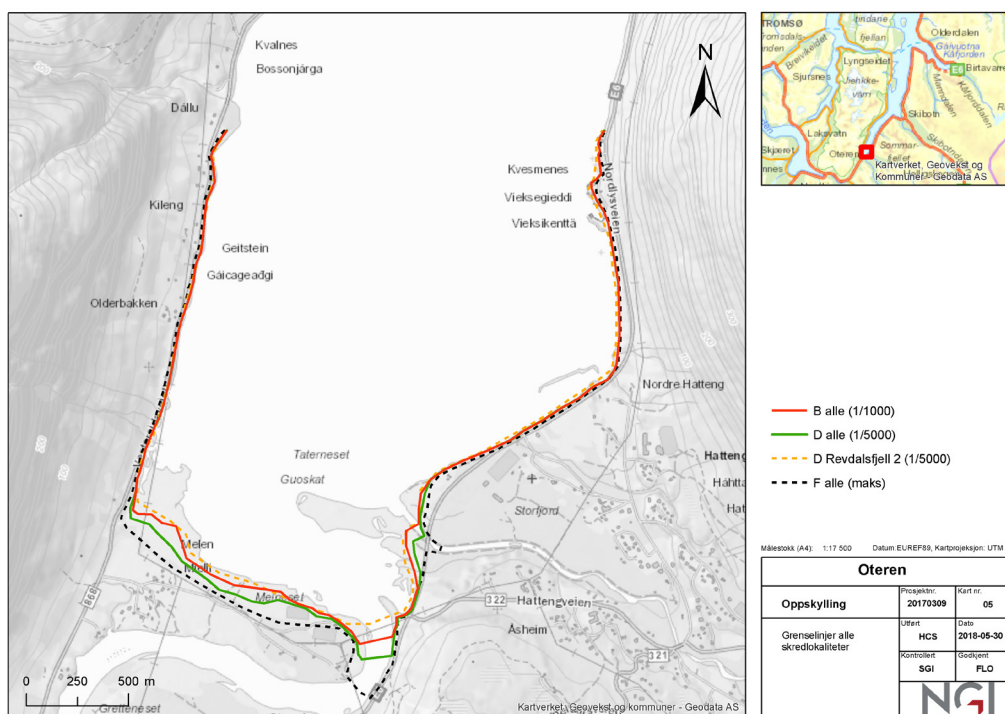
Figur 3: Eksempler på oppskyllingsgrenser i Olderdalen, se Figur 1.



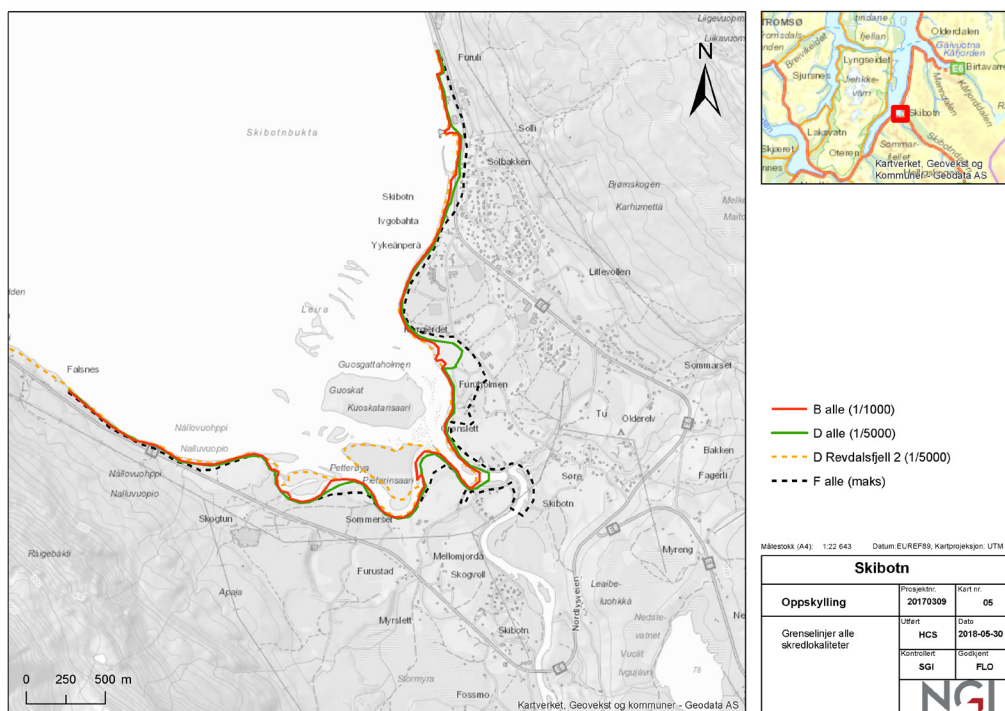
Figur 4: Eksempler på maksimal oppskylling (grense F) i Olderdalen for bølger fra de fire ulike skredlokalitetene.



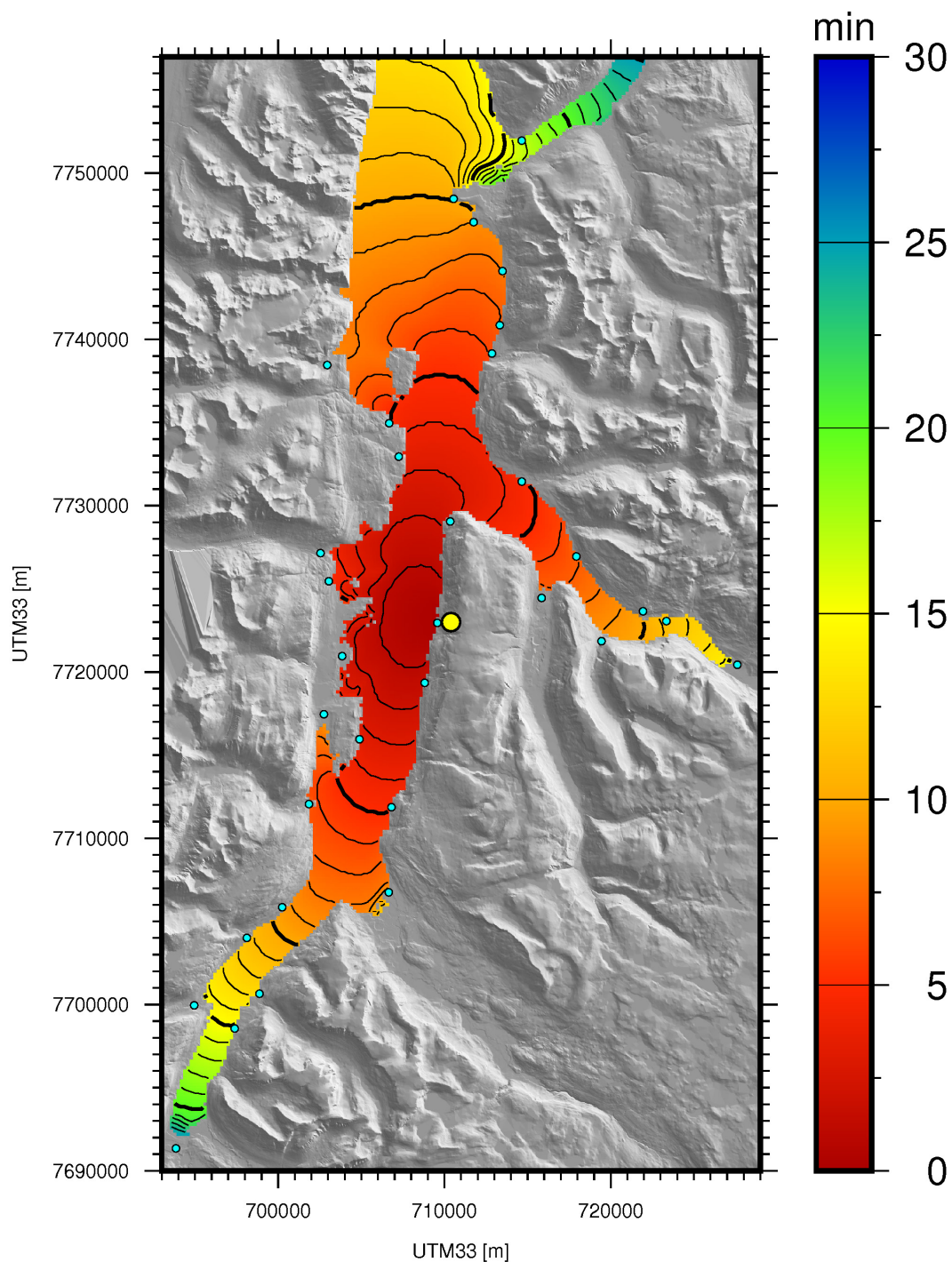
Figur 5: Eksempler på oppskyllingsgrenser i Birtavarre, se Figur 1.



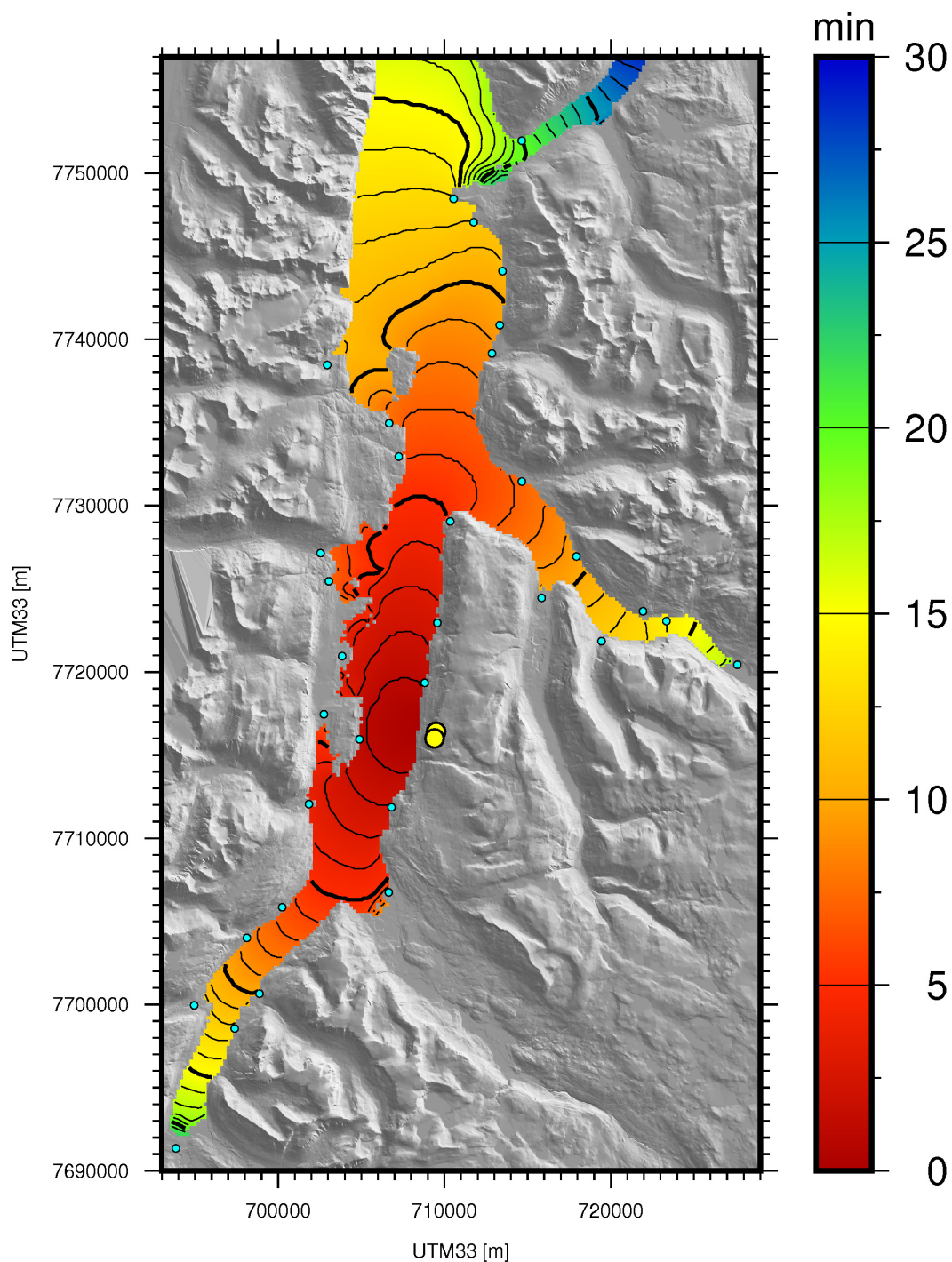
Figur 6: Eksempler på oppskyllingsgrenser ved Oteren/Hatteng, se Figur 1.



Figur 7: Eksempler på oppskyllingsgrenser i Skibotn, se Figur 1.



Figur 8: Ankomsttid i minutter for bølger fra skred ved lokalitet Indre Nordnes (skredlokalitet markert med gult punkt). Tynne linjer er trukket for hvert minutt, mens tykke hvert femte minutt.



Figur 9: Ankomsttid i minutter for bølger fra skred ved lokalitetene Revdalsfjell 1B og Revdalsfjell 2 (skredlokalitetene markert med gult punkt). Tynne linjer er trukket for hvert minutt, mens tykke hvert femte minutt.

Vedlegg B

PROBABILISTISK METODE

Innhold

B1	Probabilistisk rammeverk	2
B2	Beregning av returperioder	7
B3	Referanser	9

B1 Probabilistisk rammeverk

Det probabilistiske rammeverket er en modell for utarbeidelse av farekart for oppskylling av flodbølger fra skred. Farekartene skal angi årlig sannsynlighet for oppskyllingen, som igjen er bestemt av sannsynligheten for ulike skredutfall gitt ved hjelp av rammeverket. Ulike skredutfall er knyttet til usikkerheten i skreddynamikken, for eksempel skredets hastighet i det skredet treffer vannet, usikkerheten i skredets form, skredets utløp osv. Til hver enkelt sannsynlighet er det knyttet en numerisk beregning som angir hvilke områder som vil bli oversvømt. I denne rapporten tallfestes usikkerhet knyttet til skredets hastighet, skredets frontareal, og skredets utløpsdistanse. I tillegg benyttes returperiodene til de ulike skredvolumene som er omfattet av studiet (oppgift av NVE), til å tallfeste årlig sannsynlighet for oppskylling. Volumene og lokalitetene for skredene er gitt av oppdragsgiver, og sannsynlighet for skred med andre volumer og lokaliteter er derfor ikke omfattet her.

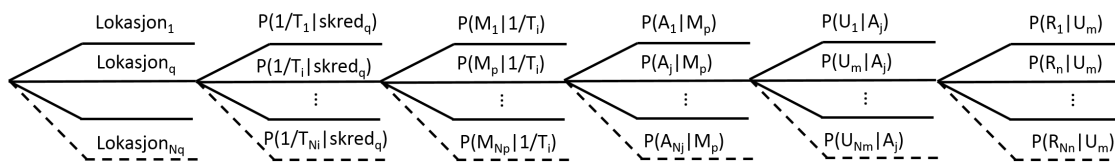
Generelt avhenger flodbølgegenereringen av skredets dynamikk og volum (Løvholt et al., 2015). For fjellskred som løsner over vann, er det imidlertid skredets hastighet og frontareal som er viktigst (Fritz et al., 2004). Skreddynamikken kan bestemmes ved hjelp av numeriske modeller, men siden verken data fra tidligere hendelser eller modeller kan angi skreddynamikken nøyaktig, er det som oftest knyttet betydelig usikkerhet til den. Således vil også treffhastighet, form og utløpsdistanse for fremtidige skredhendelser være usikre. I tilfeller hvor skredparameterne som styrer flodbølgefaren er beheftet med usikkerheter som ikke kan fastslås ved hjelp av data, er usikkerheten angitt som "epistemisk". Formelt er den epistemiske usikkerheten definert som usikkerhet knyttet til fravær av kunnskap og data. Denne usikkerheten vil reduseres dersom mer nøyaktig kunnskap frembringes. Motsatsen er den "aleatoriske" usikkerheten, som er usikkerheten som er tilstede i naturlige prosesser og som dermed ikke kan reduseres ved hjelp av mer data og bedre modeller. Det er ofte vanskelig å skille de to typene av usikkerhet fra hverandre (en omfattende diskusjon kan finnes i Grezio et al., 2017). I dette prosjektet, og for skredgenererte flodbølger generelt, kan de styrende parametere (skreddynamikk og sannsynlighet for at et skredvolum løsner) likevel antas som epistemiske usikkerheter siden vi har unøyaktig kunnskap om disse.

Fordi det verken finnes skreddata eller modeller som kan angi bølgegenereringen nøyaktig, så er fastsettelsen av parametere og tilhørende sannsynligheter gjennomført ved hjelp av en kombinasjon av statistikk, ekspertvurderinger og numerisk modellering. Med unntak av bestemmelse av usikkerhet på skredvolumets returperiode, er dette beskrevet i detalj i Vedlegg C. Rammeverket som er brukt for å bestemme sannsynligheten for oppskylling er basert på et såkalt hendelsestre, oftere omtalt som "event tree". Hendelsestreet som er benyttet her, er vist i Figur 1.1. Hendelsestreet består av forgreninger av ulike skredutfall, der hvert utfall er gitt en betinget sannsynlighet. Summen av sannsynligheten over alle utfall på hver forgrening er 1. Ved å summere sannsynligheter over ulike utfall i hendelsestreet, benyttes hendelsestreet til å tallfeste årlig sannsynlighet for at oppskyllingen overskrider en høyde ved en gitt posisjon på

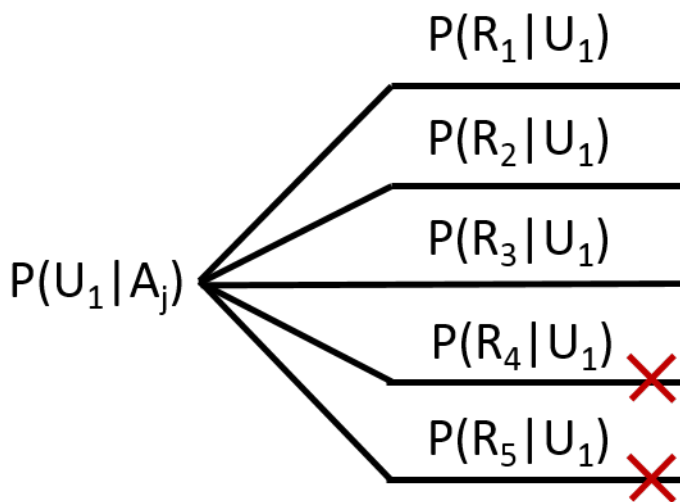
land. Sannsynligheten er også koblet til strømhastigheten og flux av bevegelsesmengde. Fareklassene knyttet til ulike returperioder og forskjellige strømningshastigheter er definert i hovedrapporten til dette vedlegget, og angis med verdier A-E.

For tallfesting av sannsynligheter i dette prosjektet benyttes følgende struktur for hendelsestreet:

- Sannsynlighet for oppskylling sammenstilt for alle de ulike skredlokalitetene. I dette rammeverket er sannsynligheten for flodbølger fra de fire skredlokalitetene (angitt som $q=1,2,3,4$), Jettan, Indre Nordnes, Revdalsfjellet 1B og Revdalsfjellet 2 kombinert for en felles farevurdering. I tillegg er det med tanke på akutte situasjoner og evakuering utarbeidet farekart enkeltvis for bølger fra hver av skredlokalitetene.
- Årlig sannsynlighet for utløsning ved gitt skredlokalitet q , $P(I/T_i|lok_q)$. Her er P sannsynlighet i intervallet $[0,1]$, I/T_i er frekvens $[1/\text{år}]$ for utfall i . Ulike sannsynligheter $P(I/T_i|lok_q)$ gir sannsynligheten for ulike deler av usikkerhetsintervallet som er oppgitt for returperioden (Tabell 1). Årlig sannsynlighet vil variere fra skredlokalitet til skredlokalitet. Ved å dele opp usikkerhetsintervallet, er 20 ulike utfall i for skredets årlige sannsynlighet tatt med i beregningene. Beregning av $P(I/T_i|lok_q)$ er beskrevet mer detaljert under kapittel B2.
- Sannsynlighet for ulike alternative bølgegenereringsmodeller $P(M_p|I/T_i)$. To alternative modeller (utfall $p=\{1,2\}$) er brukt, en blokk med endelig lengde, og en blokk med uendelig lengde.
- Sannsynlighet for skredets frontareal $P(A_j|M_p)$, der A_j er skredets frontareal for utfall j . 5 ulike utfall for skredets frontareal er tatt med i beregningene (utfall $j=\{1,2,3,4,5\}$). Rammeverket åpner for å gjøre sannsynligheten $P(A_j|M_p)$ avhengig av hvilken bølgegenereringsmodell som er brukt, men i dette prosjektet er sannsynligheten $P(A_j|M_p)$ uavhengig av om skredet har endelig eller uendelig lengde. Areal og tilhørende sannsynlighet vil imidlertid variere fra skred til skred.
- Sannsynlighet for skredets hastighet når det treffer vannskorpen $P(U_m|A_j)$, der U_m er skredets treffhastighet for utfall m . 3 ulike utfall for skredets treffhastighet er tatt med i beregningene (utfall $m=\{1,2,3\}$). Rammeverket åpner for å gjøre sannsynligheten $P(U_m|A_j)$ avhengig av frontarealet, men i dette prosjektet er sannsynligheten $P(U_m|A_j)$ satt uavhengig av frontarealet. Hastighet og tilhørende sannsynlighet vil imidlertid variere fra skred til skred.
- Sannsynlighet for skredets undersjøiske utløpsdistanse (fra vannskorpen og ut i vannet) $P(R_n|U_m)$, der R_n er skredets utløpsdistanse for utfall n . 5 ulike utfall for skredets undersjøiske utløpsdistanse er tatt med i beregningene (utfall $n=\{1,2,3,4,5\}$). Sannsynligheten til utløpsdistansen avhenger av skredets treffhastighet, slik at for et gitt skred, settes de to lengste utløpsdistansene til 0 for den minste skredhastigheten, mens de to korteste utløpsdistansene settes til 0 for den største skredhastigheten. Behandlingen av de betingede sannsynlighetene er vist i Figur 1.2. I slike tilfeller normaliseres øvrige betingede sannsynligheter, slik at summen av alle sannsynligheter fortsatt er 1 for en gitt forgrening.



Figur 1.1: Skisse som viser ulike elementer i den probabilistiske beregningen som inngår i hendelsestreet. For et gitt skred kombinerer hendelsestreet alle mulige utfall for: mulige sannsynligheter for en returperiode for en gitt skredlokalitet ($P(1/T_i | \text{skred}_q)$), sannsynlighet for modellantagelse / skredform for gitt sannsynlighet for returperiode ($P(M_p | 1/T_i)$), sannsynlighet for skredets areal i det det treffer vannet for en gitt modell ($P(A_j | M_p)$), sannsynlighet for skredets hastighet i det det treffer vannet for et gitt areal ($P(U_m | A_j)$), og sannsynligheten for skredets totale utløpsdistanse for en gitt skredhastighet ($P(R_n | U_m)$).



Figur 1.2: Skisse som viser betinget sannsynlighet mellom skredhastighet og utløpsdistanse. Eksemplet viser utfallet for den minste skredhastigheten (U_1). I dette tilfellet tas utfallene med de lengste utløpsdistanse ut. I det motsatte tilfellet (U_3) vil de to korteste utløpsdistanse tas ut. For U_2 tas alle utløpsdistanse med.

Tabell 1: Oppgitte returperioder (medianverdi og usikkerhetsintervall). Beregnet midlere returperiode (vha. likning 2). Beregnet lognormal usikkerhet.

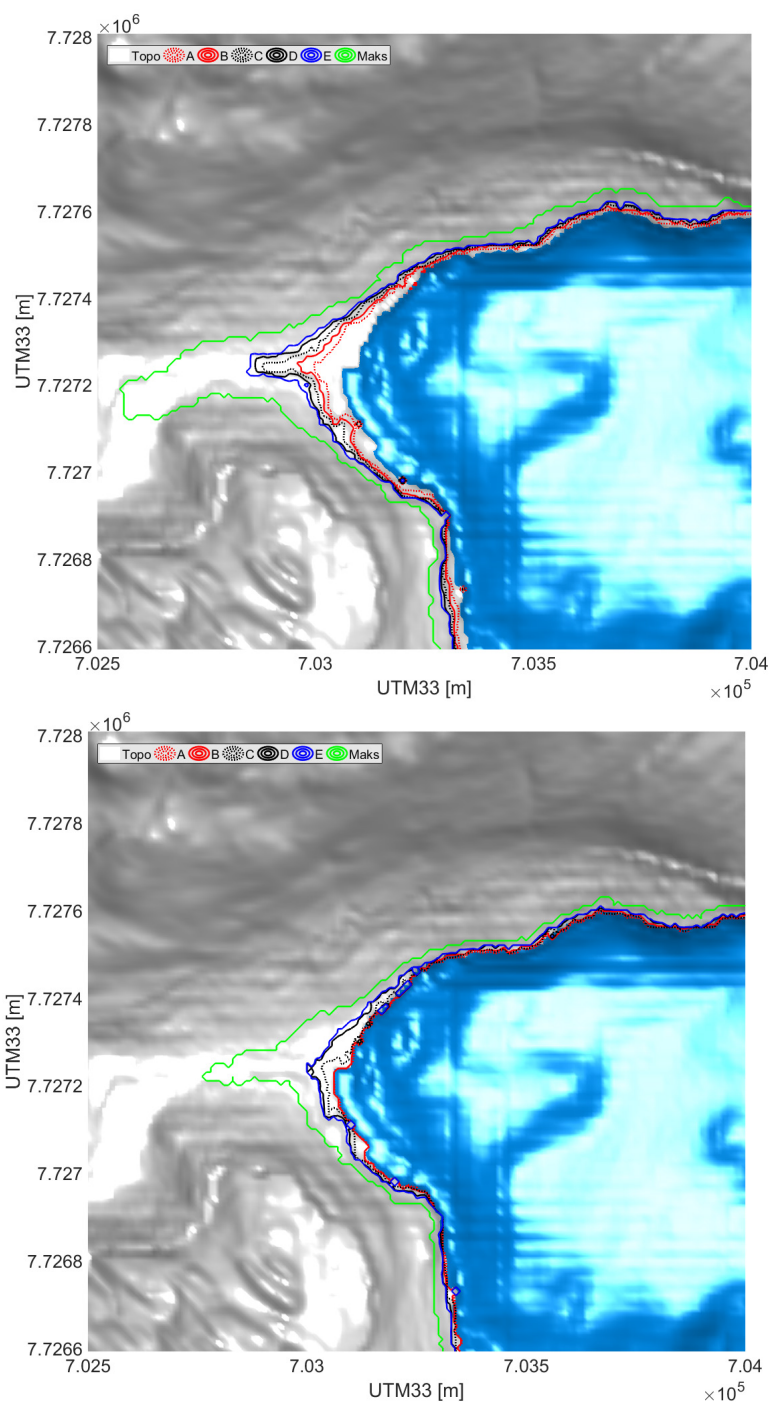
Skred	Jettan	Indre Nordnes	Revdalsfjell 1B	Revdalsfjell 2
Oppgitt medianverdi for returperioden [år]	800	2000	3000	2000
Oppgitt usikkerhetsintervall for returperioden [år]	200-2000	400-8000	1000-10000	300-4000
Midlere returperiode [år]	633	1307	2315	1685
Beregnet lognormal σ for returperioden	0.66	0.91	0.7	0.55

Sannsynligheten for et gitt enkeltutfall langs én forgrening er gitt ved produktet av alle de betingede sannsynlighetene:

$$P_{lok_q,p,i,j,n,m} = P(1/T_i | lok_q) \cdot P(M_p | 1/T_i) \cdot P(A_j | M_p) \cdot P(U_m | A_j) \cdot P(R_n | U_m)$$

For en enkelt oppskyllingsberegning er sannsynligheten med ett gitt parametersett derfor $P_{lok_q,p,i,j,n,m}$. Denne sannsynligheten er gitt i størrelsen [1/år]. For å kunne omsette denne informasjonen til farekart, må sannsynligheten for flere utfall summeres. Dette brukes for å beregne overskridelsessannsynligheten og årlig sannsynlighet. Sannsynlighet for oppskylling for en gitt lokasjon beregnes derfor på følgende måte:

- ↗ For hver beregning identifiseres våte og tørre punkter. Ett punkt gis oppskyllingssannsynligheten $P_o(x,y)$ for en enkeltberegning, der våte punkter gis sannsynligheten $P_o = P_{skred_q,p,i,j,n,m}$, mens tørre punkter gis sannsynligheten $P_o = 0$.
- ↗ For hvert punkt i beregningsområdet summeres sannsynlighetene over alle mulige utfall for å finne sannsynlighet for oppskylling i en gitt lokasjon, $P_{os}(x,y) = \sum_{q,p,i,j,m,n} P_o(x,y)$.
- ↗ Videre beregnes returperioden $T(x,y)$ for at et punkt på land kan bli oversvømt som den inverse av sannsynligheten $T(x,y) = 1/P_{os}(x,y)$.
- ↗ Til slutt beregnes grensen til de ulike returperiodene, 1000 år (opp til grense B), 5000 år (opp til grense D), og 10000 år (opp til grense E) ved å benytte "contour" algoritmen i Matlab. I tillegg beregnes grense for maks oppskylling for alle beregninger (grense F). Eksempler på ulike beregnede faregrenser er vist i Figur 1.3.
- ↗ Prosedyren over benyttes først til å beregne grenser mellom tørre og våte punkter for gitte sannsynligheter. I tillegg beregnes grenser for prosesserte data som beskriver områder med lavere strømhastigheter eller strømningsdybde (se hovedrapporten og Vedlegg C). For disse beregnes kun 1000 års- (opp til grense A) og 5000 års- (opp til grense C) grensene.
- ↗ Sannsynlighetsberegningene gjennomføres både for det samlede datasettet (summert for alle fire skredlokasjoner), og for hver enkelt skredlokasjon for seg.



Figur 1.3: Eksempel på beregnede faregrenser, her for lokasjon 4 Lyngseidet. Øverste figur viser farekartet der resultater fra alle de ulike skredene er integrert. Nederste figur viser et farekart for bølger utelukkende generert fra Indre Nordnes skredet.

B2 Beregning av returperioder

For beregning av returperiodene for de fire ulike skredene er følgende oppgitt fra NVE (se også Tabell 1):

- Jettan, scenario (volum 6 mill. m³).
 - Usikkerhetsområde: 1/200 – 1/2000 pr år
 - Frekvens: $1/T_{\text{Jett}} = 1/800$ år
 - Returperiode $T_{\text{Jett}} = 800$ år
- Indre Nordnes (volum 6 mill. m³).
 - Usikkerhetsområde: 1/400 – 1/8000 pr år.
 - Frekvens: $1/T_{\text{IndreN}} = 1/2000$ år
 - Returperiode $T_{\text{IndreN}} = 2000$ år
- Revdalsfjell1B. (volum 0,8 mill. m³).
 - Usikkerhetsområde: 1/1000 – 1/10000 pr år
 - Frekvens: $1/T_{\text{Rev1B}} = 1/3000$ år
 - Returperiode $T_{\text{Rev1B}} = 3000$ år
- Revdalsfjell 2. (volum 5 mill. m³).
 - Usikkerhetsområde: 1/300 – 1/4000 pr år
 - Frekvens: $1/T_{\text{Revdal2}} = 1/2000$ år
 - Returperiode $T_{\text{Revdal2}} = 2000$ år

Returperioden er gitt med et usikkerhetsområde. I samråd med NVE på telefonmøte 7.5.2018, benyttes den oppgitte returperioden som medianverdi til dette usikkerhetsområdet, mens usikkerhetsområdet antas å dekke 90 % av alle mulige returperioder i samsvar med fare og risiko klassifiseringssystemet for fjellskred (NGU, 2012; NVE, 2016). Det bemerkes at NVE (2016) oppgir grenser for returperiodene på henholdsvis 5% og 95%.

Returperiodene er tydelig skjevfordelte, med medianverdi nærmest den oppgitte nedre grensen til usikkerhetsintervallet. Ettersom usikkerhetsområdet for returperiodene er skjevfordelt, ble den skjevfordelte lognormalfordelingen valgt som fordelingsfunksjon.

Det bemerkes at i de innledende analysene ble den oppgitte returperioden tolket som middelværdi (og ikke som medianverdi). Dette medførte imidlertid at medianverdien plasserte seg langt ut mot siden av usikkerhetsområdet, og videre grensene til usikkerhetsområdet ble plassert skjevt i forhold til den oppgitte returperioden. Derimot, når de oppgitte returperiodene ble tolket som medianverdier, ble medianverdier, grenser, og middelværdier plassert mer fornuftig.

Videre er variabelen $f = 1/T$ valgt som sannsynlighetstetthetsvariabel, der T er den usikre returperioden. Middelværdien \bar{T} til returperioden for en lognormalfordeling med medianverdi $F_{med} = 1/T_{med}$ er gitt ved Likning 1:

$$\bar{F} = \frac{1}{\bar{T}} = e^{\ln\left(\frac{1}{T_{med}}\right) + \frac{1}{2}\sigma^2} = \frac{1}{T_{med}} e^{\frac{1}{2}\sigma^2}$$

Likning 1

Som formelen tilsier vil middelverdien avhenge både av medianverdien og usikkerheten σ til fordelingen. En stor usikkerhetsverdi vil øke middelverdien \bar{F} , og dermed redusere den midlere returperioden \bar{T} . For å etablere usikkerhetsfordelingen for returperioden, ble følgende prosedyre gjennomført:

- Kumulativ lognormalfordeling med variabel f og medianverdi $F_{med}=1/T_{med}$ benyttes som sannsynlighetsfordeling.
- Usikkerheten σ til sannsynlighetsfordelingen for returperioden for hvert skred bestemmes iterativt ved å finne den σ -verdien som gir 90 % av utfallene mellom øvre og nedre grense i usikkerhetsintervallet. Dette er gjort ved å først lage en fordeling med liten σ -verdi, og deretter øke σ inkrementelt inntil 90 % av utfallene ligger mellom øvre og nedre grense i usikkerhetsintervallet. Dette ble gjort for å avstemme antall utfall med lengden på usikkerhetsintervallet fra risikomatrixen (NGU, 2012; NVE, 2016) som ligger mellom 5% og 95%.
- Videre lages en diskret fordelingskurve som kan benyttes direkte i hendelsestreet:
 - Dette gjøres først ved å trunkere sannsynligfordelingen slik at svært store eller svært små returperioder utelukkes:
 - Først trunkeres sannsynlighetsfordeling for den øvre oppgitte sannsynlighetsgrensen for T (som gir den minste frekvensen). Trunkeringsverdi for høyeste verdien til T settes ved 4 ganger av den største verdien av det oppgitte 90% usikkerhetsintervallet (for Jettan er den oppgitte øvre grensen for 90% intervallet 2000 år, som eksempelvis gir en øvre trunkeringsverdi på 8000 år).
 - På samme måte settes trunkeringsverdien til den nedre grensen for returperioden. Trunkeringsverdien for T settes til 1/4 av den nedre grensen i det oppgitte 90% usikkerhetsintervallet (for Jettan er den oppgitte nedre grensen for 90% intervallet 200 år, som eksempelvis gir en nedre trunkeringsverdi på 50 år for den minste returperioden).
 - Til slutt deles sannsynlighetsfordelingen opp i 20 deler. Integrasjon av hver slik del i den kumulative sannsynlighetsfordelingen gir $P(1/T_i|lok_q)$. Ved å regne ut tyngdepunktet til hvert segment bestemmes den karakteristiske returperioden for hver del, $f_i=1/T_i$, som brukes for å estimere den midlere returperioden som vist i Likning 2 under.

Videre antas det at returperioden følger en Poisson prosess, som beskriver sannsynligheten for at et en hendelse, eller et antall hendelser, finner sted innenfor et gitt tidsintervall. Den midlere returperioden finnes da ved å ta produktet av alle de diskrete komponentene i sannsynlighetsfordelingen ved hjelp av formelen:

$$\frac{1}{\bar{T}} = 1 - \prod_{i=1}^{20} e^{-P\left(\frac{1}{T_i}\right)\frac{1}{T_i}}$$

Likning 2

I praksis kan derfor leddet som representerer ulike sannsynligheter for ulike returperioder $P(1/T_i|lok_q)$ i hendelsestreet forenkles med en enkelt midling som vist i Likning 2. Denne prosedyren kan gi et noe annerledes estimat for beregnet midlere returperiode \bar{T} enn uttrykket fra analytisk integrasjon av lognormalfordelingen (Likning 1) når σ er stor, hovedsakelig på grunn av trunkeringen og siden en diskret sannsynlighetsfordeling er valgt. I dette prosjektet ligger imidlertid de fleste returperiodene innenfor usikkerhetsintervallet, og effekten av trunkeringen er liten. Utfallet av beregningene er sammenliknet med oppgitte verdier og gitt i Tabell 1.

B3 Referanser

Fritz, H.M., Hager, W.H., and Minor H.E. (2004), Near field characteristics of landslide generated impulse waves, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean engineering* 130 (6), 287-302.

Grezio, A., Babeyko, A., Baptista, M. A., Behrens, J., Costa, A., Davies, G.,... Thio, H. K. (2017). Probabilistic Tsunami Hazard Analysis: Multiple sources and global applications. *Reviews of Geophysics*, 55, 1158–1198.
<https://doi.org/10.1002/2017RG000579>

Løvholt, F., Pedersen, G, Harbitz, C.B., Glimsdal, S., and Kim, J. (2015) On the characteristics of landslide tsunamis. *Phil. Trans. R. Soc. A* 373: 20140376.
<http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2014.0376>

NGU (2012), Recommended hazard and risk classification system for large unstable rock slopes in Norway. NGU report no 2012.029.

NVE (2016). Fare- og risikoklassifisering av ustabile fjellparti. Faresoner, arealhåndtering og tiltak. NVE rapport 77-2016.

Vedlegg C

MODELLERINGTEKNISKE DETALJER

Innhold

C1	Bestemmelse av modellparametere og sannsynligheter	2
C1.1	Skredform og frontareal	4
C1.2	Hastighetsforløp	7
C1.3	Utløpslengde	9
C2	Bølgeberegninger	11
C2.1	Om beregningsområdet	11
C2.2	Om flodbølgeberegningene	12
C3	Referanser	13

C1 Bestemmelse av modellparametere og sannsynligheter

I dette avsnittet beskrives metodikken for å bestemme hvilke parametre og hvilke verdier på disse parametrene som brukes i beregningene samt tilhørende sannsynligheter, se Tabell 1. Utvelgelsen av hvilke parametre som inngår er basert på sensitivitetsanalyse i dette prosjektet og fra tidligere arbeider (se for eksempel NGI, 2017b). NGI (2014) dokumenterer viktige aspekter ved valg av parametere. Parametre som inngår i analysen er skredets

1. Skredlengde (normal eller uendelig langt) – to verdier
2. Frontareal (A) – fem verdier
3. Treffhastighet (U) – tre verdier
4. Undersjøisk utløpsdistanse (R) – fem verdier

Vi bruker ulike tilnæringer for fastsetting av parameterverdier med tilhørende sannsynlighet. Dette er beskrevet i detalj under. Vi bruker også statistikk fra tidligere relevante NGI arbeider knyttet til skred og bølger, se Figur 1. I disse arbeidene inngår også flere tilbakeregninger av historiske hendelser som viser godt samsvar mellom modellering og observasjoner. Alle parametere kombineres på alle mulige måter, bortsett fra at de to lengste utløpene (R4 og R5) ikke kombineres med den minste hastigheten (U1) og omvendt hvor de to korteste utløpene (R1 og R2) ikke kombineres med den største hastighet (U3).

Tabell 1: Utfallsrommet for parametere og sannsynligheter brukt i analysen. FA er friksjonsvinkelen som den dynamiske skredmodellen (VoellmyClaw) må kjøres med for å få skredet til å nå H/L verdi fra statistikken, se avsnitt C1.3.

Undersjøisk utløp				Frontareal			Treffhastighet		
Param	R [m]	P _R	FA	Param	A [m ²]	P _A	Param	U [m/s]	P _U
Jettan									
R1	1946	0.07		A1	22500	0.05	U1	30	0.3
R2	1404	0.24		A2	15000	0.2	U2	55	0.55
R3	945	0.38	20	A3	12000	0.35	U3	80	0.15
R4	694	0.24		A4	9000	0.25			
R5	500	0.07		A5	6000	0.15			
Indre Nordnes									
R1	1718	0.07		A1	27000	0.05	U1	30	0.3
R2	1189	0.24		A2	18000	0.2	U2	43	0.55
R3	740	0.38	22	A3	14400	0.35	U3	70	0.15
R4	494	0.24		A4	10800	0.25			
R5	305	0.07		A5	7200	0.15			
Revdalsfjell 1B									
R1	575	0.07	10	A1	3000	0.05	U1	30	0.3
R2	125	0.24		A2	2000	0.2	U2	38	0.55
R3	0*	0.38		A3	1600	0.35	U3	60	0.15
R4	0*	0.24		A4	1200	0.25			
R5	0*	0.07		A5	800	0.15			
Revdalsfjell 2									
R1	1357	0.07		A1	10500	0.05	U1	30	0.3
R2	899	0.24		A2	7000	0.2	U2	38	0.55
R3	506	0.38	26	A3	5600	0.35	U3	60	0.15
R4	86	0.24		A4	4200	0.25			
R5	0*	0.07		A5	2800	0.15			

*Skredet når ikke fjorden

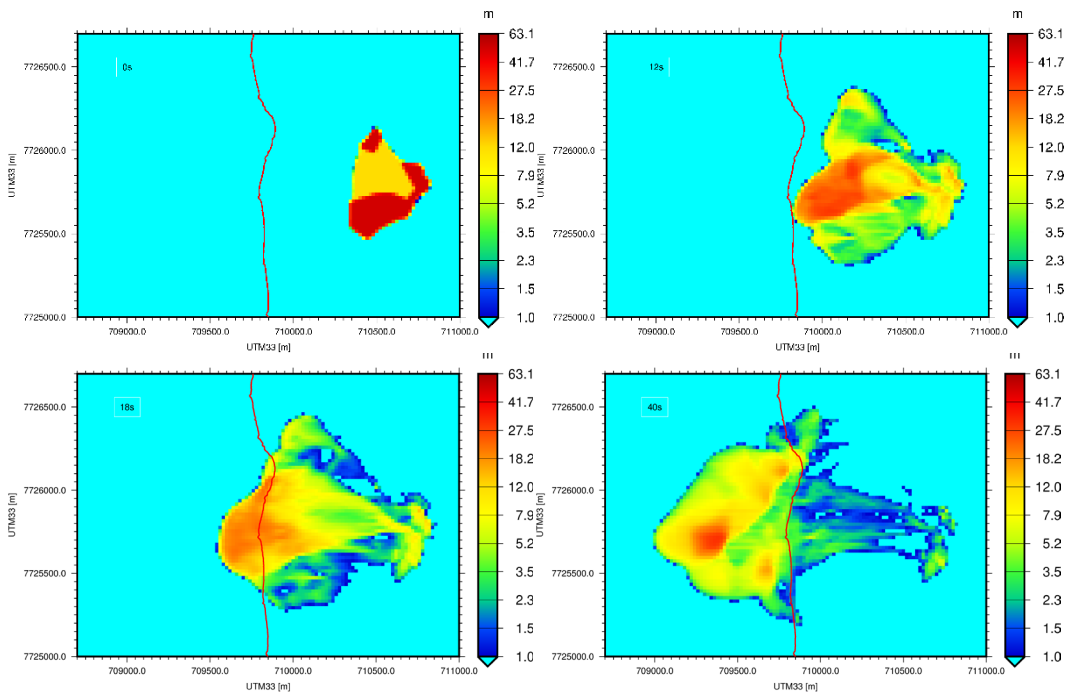
No	Sted	Skrea	meter			Front areal	Mm ³ Volum	m/s	meter	meter	m.o.h	m.o.h	HL	
			L	H	B									
1	Åkerneset	1a				0	8	40		500				
2	Åkerneset	1b				0	8	70		500				
3	Åkerneset	2a				0	35	40		800				
4	Åkerneset	2b				0	35	70		800				
5	Åkerneset	3				0	35			800				
6						0								
7	Hegguraksle	1			150	0	1	50	1400	650	750			
8	Hegguraksle	2			200	0	2	60	1500	750	850			
9	Grande				200	0	2	70	1650	700	1200		0.9?	
10	Langflåa				300	0	4	75	1700	750	1200			
11						0								
12	Åkernes	1A	1000	80	450	36000	36	0.00100	45	2100	1900		0.35-0.45	
13	Åkernes	1B	1000	100	450	45000	45	0.00100	45	2100	1900		0.35-0.45	
14	Åkernes	1C	1000	120	450	54000	54	0.00100	45	2100	1900		0.35-0.45	
15	Åkernes	1D	1500	80	450	36000	54	0.00067	45	2500	2400		0.35-0.45	
16	Åkernes	2A	500	80	450	36000	18	0.00200	65	1750	1400		0.35-0.45	
17	Åkernes	2B	500	80	450	36000	18	0.00200	45	1550	1400		0.35-0.45	
18	Åkernes	3A	800	60	225	13500	11	0.00123	60	2300	1900		0.35-0.45	
19	Åkernes	3B	600	50	200	10000	6	0.00167	60				0.35-0.45	
20	Hegguraksle	H1	200	33	150	4950	1	0.00495	50				0.35-0.45	
21	Hegguraksle	H2	250	40	200	8000	2	0.00400	60				0.35-0.45	
22	Hegguraksle	H3	300	46	250	11500	3.5	0.00329	60				0.35-0.45	
23	Tafjord (1934)		400	75	130	9750	3	0.00325	50		530	750	0.57	
24	Skafjell (1731)		100	160	250	40000	4		34	1000	950	100	-600	0.9
25	Tjelle (1756)		500	60	500	30000	15	0.00200	45	2100	1650	200	-300	0.38
26						0								
27	Nordnes	1a	180	130	230	29900	7	0.00427	45	1345				
28	Nordnes	2	180	130	360	46800	11	0.00425	55	1830				
29						0								
30	Nordnes II		300	130	450	58500	22	0.00266	66		1500			
31						0								
32	Nordnes III		180	100	360	36000	11	0.00327	66		1480			
33						0								
34	Molde	1	400	25	600	15000	6	0.00250	57	2000	1350	600	-200	0.4
35	Molde	2	400	42	600	25200	10	0.00252	57	2000	1350	600	-200	0.4
36	Molde	3	400	83	600	49800	20	0.00249	57	2000	1350	600	-200	0.4
37						0								
38	Kobbelv		150	150	10	1500	0.24	0.00625	50	600				0.6
39						0								
40	Stampa	1	200	5	200	1000	0.2	0.00500	40	1300	400	750	-70	0.63
41	Stampa	2	600	20	400	8000	5	0.00160	50	1800	750	750	-70	0.46
42	Stampa	3	1300	50	600	30000	40	0.00075	50	2100	1000	650	-70	0.34
44	Joasetbergi		250	5	250	1250	0.3	0.00417	55	1400	300	850	-70	0.66
45						0								
46	Vinkfjorden		100	5	200	1000	0.04		53	1000	450	500	-130	0.63
47														

Figur 1: Skred data fra NGI's beregninger av skredgenererte bølger, fra ca. 2005 fram til i dag. Gulmerkede skred har volumer som mer eller mindre samsvarer med volumene for skredene i denne studien.

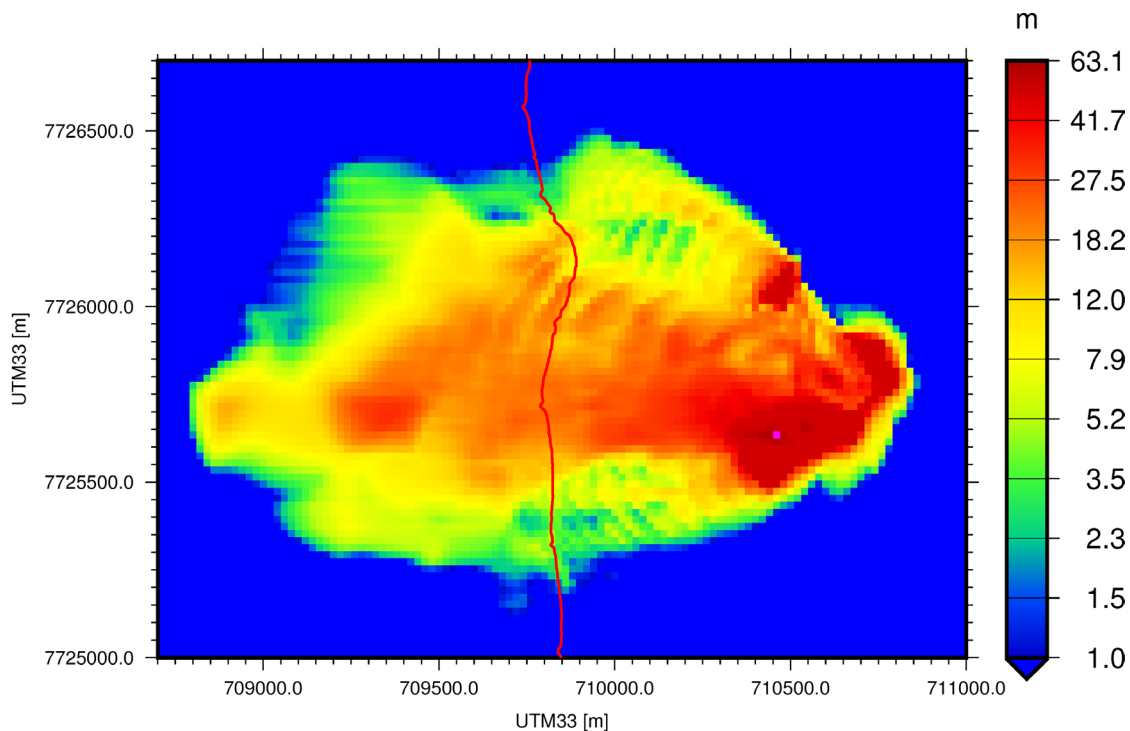
C1.1 Skredform og frontareal

Den sannsynligvis viktigste parameteren for generering av flodbølger er frontarealet på skredet. For den probabilistiske analysen bruker vi fem ulike verdier på frontarealet, se A1-A5 i Tabell 1. For best mulig parametrisering av skredet bruker vi et blokkformet skred (avrundet). For å bestemme form og frontareal på blokken bruker vi beregninger av skredet med en nylig utviklet dynamisk skredmodell (VoellmyClaw, se Kim; 2014). Modellen tunes til å nå de gitte midlere utløpene (R3, se også avsnitt C1.3) og beregnede/forventede hastigheter. For Revedalsfjell 1B gir R3 ikke utløp i fjorden. I dette tilfellet bruker vi R1 for å bestemme parametere for skredform. Det er to parametere i modellen, friksjonsvinkel (viktig med tanke på utløpslengde) og et mål på friksjon på grunn av turbulens og viskøst drag (ξ – viktig for bestemmelse av hastighet).

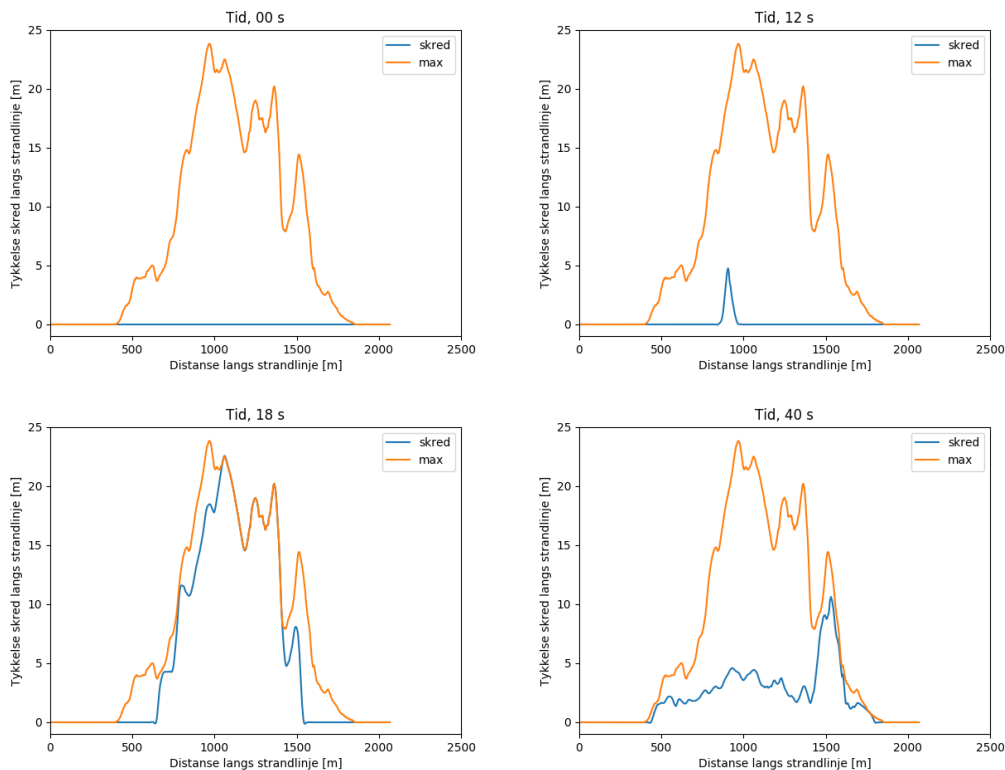
Anvendt friksjonsvinkel er vist i Tabell 1 mens $\xi=500$ gir hastighet som tilsvarer resultatet fra energilinjebetraktningen. Formen på fronten av skredet vurderes ut fra et tverrsnitt av skredene på strandlinja. I Figur 2 vises skredtykkelse for noen tidspunkter for beregninger for Jettan. Maksimale verdier på tykkelse summert opp under hele beregningen er vist i Figur 3. Tilhørende verdier i tverrsnitt langs strandlinja er vist i Figur 4. Det maksimale samtidige arealet oppnås etter 18 s og tilsvarer verdien til A3 (blå linje etter 18 s i Figur 4, med areal 11839 m²). A2 er det maksimale frontarealet (gul linje "max" i Figur 4, med areal 15416 m²) summert over hele beregningen. A1 er bestemt som 1.5*A2, A4 og A5 er henholdsvis 0.6*A2 og 0.4*A2. Beregninger viser at $A3 \approx 0.8*A2$ for alle ulike skred. Forholdet mellom tykkelse og bredde for blokkformet skred er konstant for alle frontareal ved gitt lokalitet (0.015 for Jettan og Indre Nordnes, 0.01 for Revdalsfjell 1B og 2) og er bestemt ut fra forholdet gitt av beregningene med VoellmyClaw for bestemmelse av frontarealet, se over. Ved å sammenligne genereringen av flodbølgene for blokkskredet med ulike frontareal med tilsvarende beregninger hvor vi bruker skredet fra VoellmyClaw, får vi viktig informasjon om hvor effektive de ulike skredene er til å generere bølger. Grunnen til at vi ikke bruker VoellmyClaw direkte i beregningene er at vi med en blokk har mye bedre kontroll på formen på skredet (lettere å parametrisere) og at vi i en analyse som inkluderer tusenvis av kjøring vil bruke for lang tid på beregningene. Sammen med erfaring og statistikk fra tidligere NGI arbeider (ved blant annet å se på forholdet mellom frontareal og volum) samt ulike kjøring med VoellmyClaw har vi vurdert sannsynlighetene slik: A1 – 0.05, A2 – 0.2, A3 – 0.35, A4 – 0.25, A5 – 0.15. En av grunnene til at vi vektet de lavere frontarealene noe høyere enn de største er at A1 nærmer seg urealistisk i forhold til lengden av skredet. En annen grunn er at et blokkskred er mer effektivt med tanke på generering av flodbølger enn deformerbare skred (begrunnes også gjennom beregninger og sammenligninger med VoellmyClaw, resultater ikke vist her).



Figur 2: Beregninger med VoellmyClaw for et skred fra Jettan. Figurene viser skredtykkelse (merk at fargeskala er logaritmisk) før skredet blir løst ut (øverst til venstre), etter 12 s (øverst til høyre), 18 s (nederst til venstre) og 40 s (nederst til høyre). Rød linje indikerer strandlinjen.



Figur 3: Maksimal skredtykkelse summert opp for hele beregningen som er vist i Figur 2. Rød linje indikerer strandlinjen.

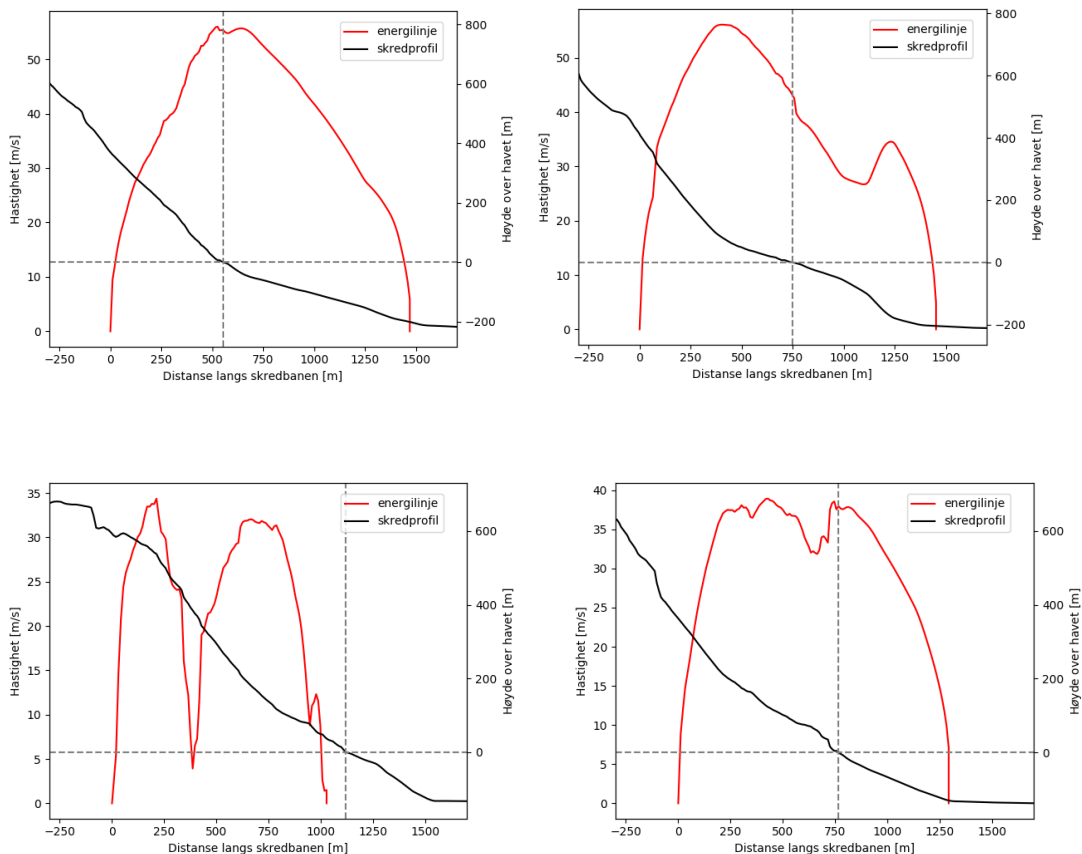


Figur 4: Beregninger med VoellmyClaw for et skred fra Jettan. Figurene viser skredtykkelse langs strandlinja etter 0 (øverst til venstre), 12 (øverst til høyre), 18 (nederst til venstre) og 40 s (nederst til høyre) for skredet vist i Figur 2 (blå linje merket "skred"). Høyden langs strandlinjen fra maksfeltet i Figur 3 er også vist ("max").

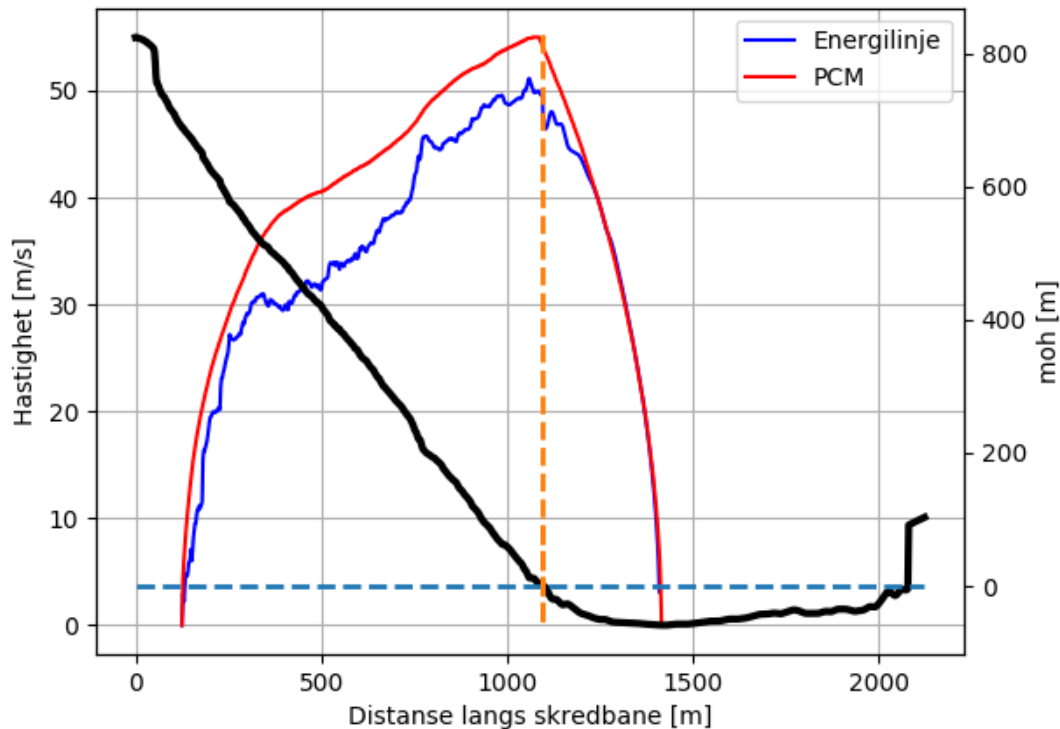
C1.2 Hastighetsforløp

I analysen bruker vi tre ulike treffhastigheter, se Tabell 1. Som minste verdi brukes 30 m/s som er den minste verdi som er brukt i NGI's beregninger av flodbølger etter fjellskred (statistikk fra tidlig 2000-tallet og fram til i dag se Figur 1). Midlere treffhastighet er beregnet ved hjelp av en energilinjebetraktning (se NGI, 2011) tilpasset midlere utløp (R3 i Tabell 1) for hvert enkelt skred, se NGI (2011). Analysen av utløpsdistanse over viser at for Revdalsfjell 1B vil kun de to lengste utløpene nå fjorden. Midlere treffhastighet i dette tilfellet er satt til å være den samme som for Revdalsfjell 2, det vil si 38 m/s. For de største skredene med størst midlere treffhastighet (U2) det vil si Jettan og Indre Nordnes, bruker vi den høyeste hastigheten som tidligere er brukt i NGI's beregninger, 80 m/s. For skredene fra Revdalsfjell bruker vi omtrent samme fordeling ut fra midlere hastighet og ender opp med 60 og 70 m/s som størst midlere treffhastighet for henholdsvis 1B og 2. Se Figur 5 for hastighetsprofilene fra energilinjebetraktningen. Det er treffhastigheten herfra som brukes videre inn i analysen. Hastighetsforløpet i bølgeberegningene følger en analytisk form ut til den riktige utløpslengden, med treffhastighetene U1-U3 fra Tabell 1. Som en verifisering av beregning av hastighet ut

fra energilinjebetraktningen har vi plottet opp en sammenligning med PCM-modellen (som også inkluderer effekten av vann) mot hastighetsforløpet beregnet ved hjelp av energilinjebetraktningen, se Figur 6. Figuren viser at det er godt samsvar, spesielt under den undersjøiske delen av utløpet. Vår vurdering av sannsynligheter endte opp med U1 – 0.3, U2 – 0.55 og U3 – 0.15.



Figur 5: Beregninger for å bestemme midlere treffhastighet for de ulike skredene. Øvre venstre: Jettan; øvre høyre: Indre Nordnes; nedre venstre, Revdalsfjell 1B (midlere utløp når ikke fjorden), nedre høyre: Revdalsfjell. De stiplede grå linjene viser henholdsvis lokasjonen til strandlinjen (vertikal) og null-nivået i fjorden (horisontal, høyre akse).

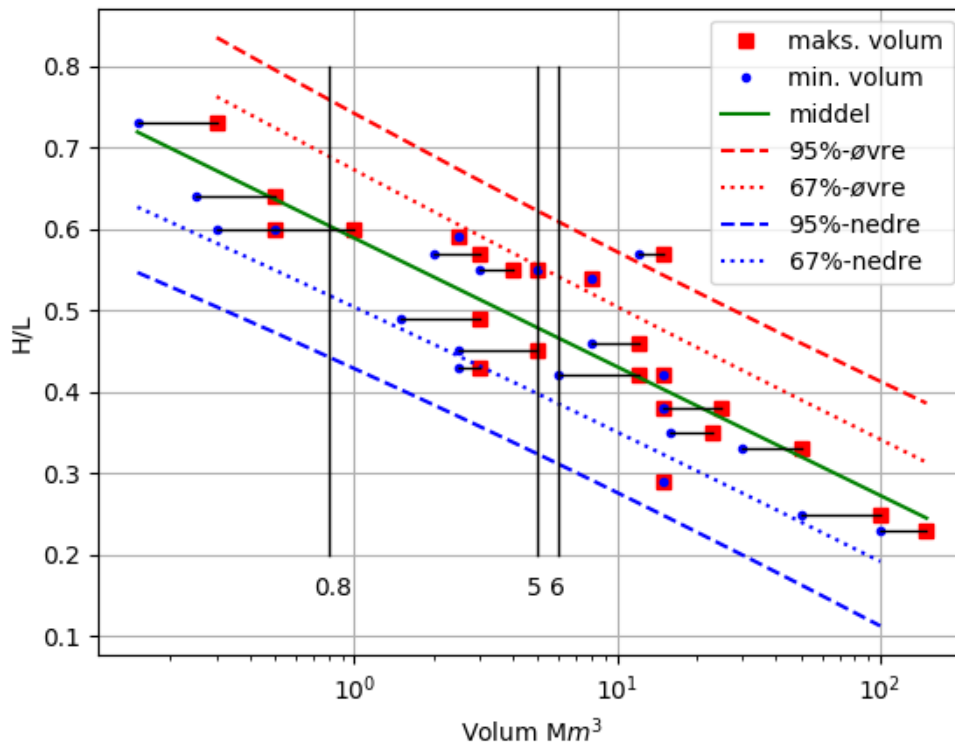


Figur 6: Sammenligning mellom hastighetsprofil (verdier på venstre akse) for PCM (inkludert motstand av vann) og energilinjebetraktningen. Svart tykk linje er terrengprofilen (verdier på høyre akse). Resultater for PCM er tatt fra beregninger ved Joasetbergi; Aurland kommune (NGI, 2017a).

C1.3 Utløpslengde

For å bestemme utløpslengde har vi brukt tilgjengelig statistikk på skredavsetninger i Norge. Dataene vi har basert analysen på er tatt fra NGU (2002), se også Romstad et al. (2009). Dataene gir volum, fallhøyde (H) og totalt utløp (L) målt fra øvre del av skredet før utløsning til front av skredmassene etter at skredet har kommet til ro. Volumet er i mange tilfeller gitt som et intervall. Figur 7 viser fordelingen av disse dataene samt resultatet fra en regresjonsanalyse av disse. Middelerdien fra statistikken er vist som en grønn linje, mens øvre og nedre 95 percentil (+/- 2σ) er vist som henholdsvis stiplet rød og stiplet blå linje. 67 percentilene (+/- σ) er vist med tilsvarende farge, men kortere stipling. Øvre 95 og 67 percentil er beregnet ved å bruke det største volumet i intervallet, mens det minste volumet er brukt for nedre 95 og 67 percentil. I beregningene bruker vi fem ulike H/L verdier for hvert aktuelt volum i studien, henholdsvis øvre og nedre 95 og 67 percentil samt middelerdi. Det er tatt bort to hendelser fra statistikken; begge skiller seg ut med meget korte utløp sannsynligvis på grunn av spesiell terrengform. I

Tabell 1 har vi omregnet de ulike H/L verdiene for volumene på skredene til undersjøisk utløp, fem realiseringer for hvert skred, R1-R5. Sannsynlighetene for disse regnes ut ved å integrere opp delene av normalfordelingskurven mellom de ulike percentilene, vi får da sannsynlighetene : R1 – 0.07, R2 – 0.24, R3 – 0.38, R4 – 0.24, og R5 – 0.07.



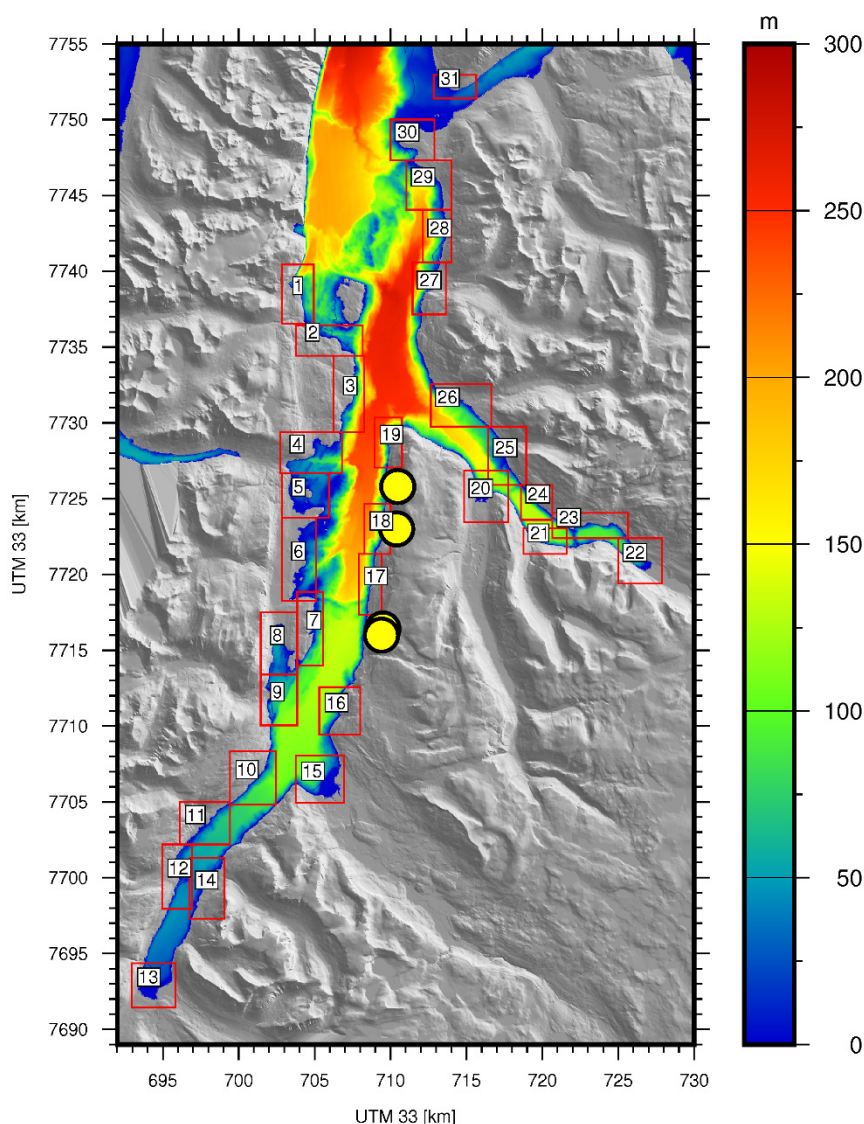
Figur 7: Regresjonsanalyse på utløp av norske skred basert på data fra NGU (2002) og Romstad et al. (2009). Figuren viser forholdet mellom fallhøyde (H) og utløpslengde (L) som funksjon av volum. Rød firkant og tilhørende blått punkt er øvre og nedre anslag på volum. Grønn linje viser middelverdier, mens rød og blå viser hhv øvre og nedre 67- og 95-persentil. De vertikale svarte linjene viser hvor scenariene for studiet plasserer seg (angitt med volum i Mm³).

C2 Bølgeberegninger

C2.1 Om beregningsområdet

Beregningsområdet dekker et areal på ca. 38 km x 66 km, se Figur 8. Området inkluderer Lyngen, Kåfjorden og Storfjorden. Terrengdata og dybdata er framskaffet av NGI og NGU. Dybdataene fra NGU er basert på Sjøkartverkets data med en oppløsning på 25 m x 25 m og 50 m x 50 m (begge ekstrahert fra datasett fra FFI i 3m x 3m), og nye data innsamlet ved hjelp av interferometrisk sonar. På grunnere enn 40 m dyp finnes generelt kun 50 m x 50 m oppløsning, bortsett fra enkelte områder der NGU har målt opp med ca. 5 m x 5 m oppløsning. NGU har sammenstilt disse datasettene, og for bølgeberegningene er denne sammenstillingen gjort med en oppløsning på 25 m x 25 m. I noen grunne områder har det manglet data. Vi har ut fra data fra sjøkart i skala 1:50 000 funnet at et dyp på 5 m vil være representativt her. For Rotsundet og de siste 3-4 km inn mot Birtavarre innerst i Kåfjorden hvor dataene fra NGU ikke hadde dybdeverdier, har vi anvendt et datasett innkjøpt av NGI fra Geodatasenteret AS med oppløsning 25 m.

Modellene for detaljerte beregninger av oppskylling av flodbølger krever høyere oppløsning. For at disse beregningene skal kunne gjennomføres uten bruk av ekstremt kraftige datamaskiner, deles områdene opp i tilpassede delområder hvor hvert enkelt område beregnes for seg. Totalt har vi i våre beregninger brukt 31 slike mindre delområder. I Figur 8 er alle disse områdene inntegnet og nummerert. For disse områdene har vi som utgangspunkt anvendt de best tilgjengelige dataene kommunene har tilgang til. Disse er lastet ned via Norge Digitalt. For noen lokasjoner dekket de fine dataene kun deler av beregningsområdet. Da disse så ble sammenstilt med grove data for resten av området, fikk vi for noen områder en terrengmodell som inneholdt falske bratte skrenter, eller bratte terskler ved strandlinja osv. Siden dette i stor grad ville påvirke beregningene (refleksjon og instabilitet i modellene), måtte vi her benytte en terrengmodell kun basert på de grove dataene. I oppskyllingsberegningene er det brukt en oppløsning på 10 m, detaljeringsgraden i de grove dataene skal da være tilstrekkelig. I tillegg gjøres det en manuell sjekk av at høyder stemmer med inntegning av de ulike grenselinjene. De stedene hvor vi ser at det er avvik mellom faktisk terreng og dataene vi har brukt, trekker vi oppskyllingslinjene inn til riktig høydekote.



Figur 8: Batymetri og topografi for beregningsområdet. Dypet er vist i meter. Her er også alle beregningsområder for de detaljerte oppskyllingsberegningene lagt inn (bokser nummerert 1-31). De fire skredlokalitetene er markert med gule punkter.

C2.2 Om flodbølgeberegningene

Beregningene av hvert enkelt skred basert på parametriseringen gitt i Tabell 1 ovenfor, følger det samme modelloppsettet som forklart i siste rapport for Lyngen, se NGI (2013). Modellene vi bruker er GloBouss for generering og propageringsfasen, og MOST for beregning av oppskyllingen, se Vedlegg D. Forskjellen på beregningene som vi nå gjør i den probabilistiske analysen er at vi i NGI (2013) hadde ett skred med et gitt sett av parametere, mens vi nå har totalt 600 ulike skred (dvs. 150 ulike konfigurasjoner av de fire skredene i analysen) som vi for hvert eneste ett beregner skredforløp, med den

påfølgende generering, propagering og oppskylling av flodbølgen. Med 31 beregningsområder får vi totalt 18600 slike kjøring. Skredet er som nevnt formet som en deformerbar blokk. Dette gjør parametriseringen av formen enklere, og vi har derfor bedre kontroll. Ved alle numeriske beregninger må man ha kontroll på konvergensen (at løsningen konvergerer ved finere oppløsning av beregningsområdet). Siden beregningene er gjort på samme oppløsning og tilnærming som i NGI (2013) henviser vi til den rapporten for konvergens tester.

Oppsettet for de 18600 kjøringene er laget slik at det er lett å kontrollere at simuleringene er gjort med riktig parameter. I tillegg har vi lagt inn en serie med kontrollrutiner:

- 1) At alle kombinasjoner av de ulike parameterne for hvert skred faktisk er kjørt
- 2) Ved alle numeriske beregninger er det en viss sjanse for at løsningen blåser opp og blir helt eller delvis instabil. Blir den delvis instabil kan kjøringen gå gjennom og produsere resultatfiler, men med verdier i deler av beregningsområdet som ikke er fysikalske. Vi har laget en rutine som gjør at vi visuelt kan inspisere enkeltkjøring som har stor variasjon på oppskyllingshøyde (langs oppskyllingslinjen).
- 3) Sjekke at alle kjøring har produsert resultatfiler (at de ikke har stoppet opp på grunn av for eksempel instabilitet eller andre årsaker).
- 4) Stikkprøver på log-filer for å sjekke at riktige parametere er kjørt. Organiseringen av beregningene gjør at det vil være nok med noen få kontroller for å være sikker på at alle kjøring er gjort med riktige parametere.

C3 Referanser

- Kim, J (2014). Finite volume methods for tsunamis generated by submarine landslides. PhD Thesis. Univ Washington
- NGI (2011). Numerical simulations of tsunamis from potential and historical rock slides in Storfjorden; Hazard zoning and comparison with 3D laboratory experiments. NGI rapport 20051018-00-1-R. Revisjon 01, 21. Februar 2011.
- NGI (2014). Evaluation of the flow characteristics of the potential Åkerneset rockslide, western Norway — contributions to the design of laboratory experiments on wave generation. Norwegian Geotechnical Institute Report 20061333-01-R.
- NGI (2017a). Aurland kommune - oppskylling av flodbølger etter skred fra Joasetbergi. NGI rapport 20160855-01-R.
- NGI (2017b). Midsund kommune - oppskylling av flodbølger etter skred fra Opstadhornet. NGI rapport 20170280-01-R

Vedlegg D

OM BEREGNINGSMODELLENE

Innhold

D1	Anvendte begreper	2
D2	Modeller basert på Geoclaw	2
D3	Bølgeomodellen GloBouss	2
D4	Oppskyllingsmodellen MOST	3
D5	Referanser	4

D1 Anvendte begreper

Med overflateheving menes bølgetoppens høyde over stille vannstand (likevekts-nivå), mens bølgehøyde er definert som høydeforskjellen mellom bølgetopp og bølgedal. Disse begrepene benyttes for å beskrive bølger i åpent vann. I oppskyllingssonene benyttes begrepet oppskyllingslinje for den linjen som kan trekkes på land for å vise hvor langt innover vannet har nådd under oppskylling. Videre brukes her også strømningsdybde (høyde over terrenget i ethvert punkt) og oppskyllingshøyde (høyde over likevektsnivå langs oppskyllingslinje). Vannivå brukes på høyden av vannet mellom oppskyllingslinje og strandlinje, målt ut fra middel vannstand. For vannbevegelse brukes partikkelhastighet for å beskrive hvor fort vannet beveger seg både i åpent vann og under oppskylling. Det er verdt å merke seg at partikkelhastighet (strømhastigheten) ikke er det samme som hastigheten bølgene forplanter seg med. Maksimale verdier for ovennevnte størrelser beregnes ved å ta ut høyeste oppnådde verdi i hvert punkt i løpet av beregningstiden.

D2 Modeller basert på Geoclaw

NGI har over en tid utviklet nye beregningsmodeller for skredgenererte bølger. Disse er basert på Open Source modeller fra Geoclaw (<http://www.geoclaw.org>). I oppsettet inngår en modell for bølgeforplantning ("BoussClaw") og to skredmodeller basert på henholdsvis Coulumb-Voellmy friksjon ("VoellmyClaw") og Bingham/Herschel-Bulkley reologier ("BingClaw"). For den probabilistiske analysen som er gjort i Lyngen, har vi brukt VoellmyClaw for å beregne parametere knyttet til skredenes frontareal. Dette gjelder primært selve frontarealet, men beregninger med VoellmyClaw er også brukt for å begrunne valg av sannsynligheter for de ulike parametere. BoussClaw-versjonen av Geoclaw inkluderer effekten av dispersjon i tillegg til ikke-lineære effekter som allerede er implementert i Geoclaw. Videre har tsunami-modellen til Geoclaw det store fortinnet framfor oppsettet med GloBouss/MOST (se under) at skredmodellene har en sømløs kobling til flodbølgeberegningene, og at oppskylling beregnes automatisk i hele beregningsområdet. Utfordringen kan være at det kreves mer data-kraft for større beregningsområder med fin oppløsning. For bølgeberegninger i den probabilistiske analysen, har vi derfor brukt oppsettet med GloBouss/MOST. For mer detaljer rundt de nye modellene, se Kim (2014).

D3 Bølgemodellen GloBouss

GloBouss er en regnemodell for flodbølger som følge av skred eller jordskjelv, utviklet av Universitetet i Oslo og NGI. Modellen er dybdemidlet (benytter langbølgelikninger) og beskriver blant annet ikke-lineære og dispersive (ikke-hydrostatisk) effekter. Modellen beskriver ikke oppskyllingsfasen (se neste avsnitt).

GloBouss er med godt resultat sammenliknet med analytiske løsninger og andre numeriske modeller, se Pedersen og Løvholt (2008). Den har også gitt gode resultater i forbindelse med Åknes/Tafjord-prosjektet der den er sammenliknet med skalamodellen av Sunnylv- og Geirangerfjorden ved SINTEF Kyst- og havneteknikk i Trondheim (NGI, 2011; SINTEF, 2008), se også neste avsnitt. For mer informasjon om modellen henviser vi til Pedersen og Løvholt (2008).

D4 Oppskyllingsmodellen MOST

Oppskyllingsmodellen MOST tar hensyn til ikke-lineære effekter og håndterer bølgebrytning. Den tillater også at vann beveger seg inn på områder som i utgangspunktet ikke var våte. Det er ikke tilfellet med modellen for bølge-forplantning (GloBouss) som reflekterer bølgene ved strandlinjen. MOST er kanskje den oppskyllingsmodell som er mest brukt internasjonalt i dag. Den er grundig verifisert ved hjelp av laboratorieforsøk og standardiserte tester (benchmark tests). MOST leser data (partikkelhastighet og overflatehevning) fra GloBouss og beregner oppskylling i angitte områder (dvs. lokasjonene nevnt i hovedrapport). Data for vanddyp og terreng innenfor beregningsområdet til MOST angis i forskjellige oppløsninger fra 10 m til 40 m siden MOST beregner oppskyllingen vha. tre gittere med stadig finere oppløsning. Modellen er beskrevet av Titov og Gonzalez (1997).

De opprinnelige dybde- og terrengdata er gitt i UTM 33. Siden MOST kun kan regne i geografiske koordinater, blir inngangsdataene transformert fra UTM 33 til geografiske koordinater.

Modeloppsettet (GloBouss og MOST) er beskrevet av Løvholt med flere (2010) og er i tillegg til testene av GloBouss (beskrevet over) grundig testet og sammenliknet med laboratorieforsøkene ved SINTEF Kyst- og havneteknikk i forbindelse med beregningene av flodbølger dannet av mulige fjellskred fra Åknes. Resultatene er oppsummert av NGI (2011), mens laboratorieforsøkene er beskrevet av SINTEF (2008), Lindstrøm m. fl. (2014) og NGI (2014).

D5 Referanser

- Kim, J (2014). Finite volume methods for tsunamis generated by submarine landslides. PhD Thesis. Univ Washington
- Lindstrøm, E.K., Pedersen, G.K., Jensen, A., and Glimsdal, S. (2014). Experiments on slide generated waves in a 1:500 scale fjord model. Coastal Engineering vol 92 p. 12–23.
- Løvholt F., Pedersen G., og Glimsdal S. (2010). Coupling of dispersive tsunami propagation and shallow water coastal response, Open Oceanography Journal, Caribbean Waves Special Issue, Vol 4, 71-82, doi: 10.2174/1874252101004020071, available online from <http://www.bentham.org/open/tooceaj/openaccess2.htm>
- NGI (2011). Numerical simulations of tsunamis from potential and historical rock slides in Storfjorden; Hazard zoning and comparison with 3D laboratory experiments. NGI rapport 20051018-00-1-R. Revisjon 01, 21. Februar 2011.
- NGI (2014). Evaluation of the flow characteristics of the potential Åkerneset rockslide, western Norway — contributions to the design of laboratory experiments on wave generation. Norwegian Geotechnical Institute Report 20061333-01-R.
- Pedersen, G. og Løvholt, F. (2008). Documentation of a global Boussinesq solver, Preprint Series in Applied Mathematics 1, Dept. of Mathematics, University of Oslo, Norway,
URL: <http://urn.nb.no/URN:NBN:no-27775>
- SINTEF (2008). Notat – rasmodell, datert 2008-09-12.
- Titov, V.V. og Gonzalez, F.I. (1997). Implementation and testing of the Method of Splitting Tsunami (MOST) model. NOAA. Technical Memorandum ERL PMEL-112, 11 pp.

Vedlegg E

OM FLODBØLGER GENERERT AV
FJELLSKRED

Innhold

E1	Om flodbølger generert av fjellskred	2
E2	Referanser	3

E1 Om flodbølger generert av fjellskred

Flodbølger generert av skred som faller ned i fjorder eller innsjøer inngår i den type bølger som gjerne betegnes "tsunamis". Slike bølger befinner seg mellom dønninger og tidevann i spekteret av tyngdebølger.

Generering og utbredelse av flodbølger etter skred er et komplisert fenomen som kan deles i tre faser: 1) energioverføring fra skred- til vannbevegelse; 2) bølgeutbredelse i åpent vann; 3) bølgeoppskylning i strandsonen.

Bølgenes karakteristika avhenger av skredets volum, form og hastighet, så vel som av vanddyptet. I de tilfeller der karakteristisk overflateheving er mye mindre enn vanddyptet vil enklere, lineære likninger for bølgeforplantningen være gyldige. Utgjør derimot den karakteristiske overflatehevingen mer enn ca. 10 % av dypet vil ikke-lineære effekter være viktige.

Bølgene klassifiseres som lange bølger dersom størsteparten av den energi som overføres fra skred- til vannbevegelse fordeles på bølgelengder mye større enn karakteristisk vanddyp. Ut fra dette følger at de vertikale variasjoner i horisontal-hastigheten er små, og at trykket er tilnærmet hydrostatisk.

Vår erfaring med større fjellskred med høy treffhastighet (som for eksempel Åknes) viser at bølgene ikke nødvendigvis er lange og at bruk av hydrostatiske modeller kan føre til en overestimering av bølgene.

Bevegelsen i vannmassene som følge av en bølge som passerer, avtar normalt med dypet. For lange bølger beveger vannet seg tilnærmet like mye i hele dypet fra overflaten til bunnen. Den såkalte "bunnbølgen" er kun en myte. Begrepet har oppstått fordi bølgen ofte ikke observeres før den "dukker opp" inne ved land. Øyenvitner har derfor konkludert med at bølgen følger bunnen. At bølgen synes best inne ved land skyldes imidlertid bare at den blir krappere, dvs. både kortere og høyere, på grunnere vann inn mot land.

Under utbredelsen bort fra skredområdet vil bølgens form endres avhengig av dempning og bunntopografi. I åpent farvann avtar bølgehøyden som følge av radiell dempning når energien spres over et stadig større område. Bølgehøyden er således omvendt proporsjonal med kvadratroten av avstanden fra skredområdet. I en fjord vil den radielle dempningen være mye mindre framtrædende. Bølgene kan følge fjorden som i en kanal og bevege seg over lengre avstander uten å reduseres vesentlig. Under utbredelsen vil flodbølgen i tillegg utsettes for refraksjon, refleksjon, og interferens samt amplifikasjon som følge av fokusering eller avtagende dyp.

Amplifikasjonsfaktoren, dvs. forholdet mellom oppskyllingshøyden og overflatehevingen for innkommende bølge på dypt vann, er hovedsakelig bestemt av

bølgelengden og helningen i strandsonen, eller mer presist forholdet mellom lengden på innkommende bølge og lengden på horisontalprojeksjonen av oppskyllingsskråningen. Det er også stor forskjell på oppskylling langs en bratt fjordside der bølgene beveger seg mer eller mindre parallelt med strandlinja og oppskylling innerst i fjordarmene der bølgene beveger seg rett mot land og blir forsterket av både den svakt hellende skråningen av bunnen (grunnere vann) og fokuseringen på grunn av topografien (inn-snevringen).

Fjellskred kan sette opp svingninger i (delvis) lukkede fjorder eller innsjøer. Dette kan oppleves som en serie av innkommende bølger der den første ikke nødvendigvis er størst. Bølgebevegelsen kan vare i timevis. For nærmere beskrivelser av flodbølger generert av skred anbefales artikler av Harbitz (2014) og Løvholt m.fl. (2015).

E2 Referanser

Harbitz, C. (2014). Flodbølger forårsaket av skred. I: Høeg, K., Karlsrud, K., Lied, K. (eds.). Skred, skredfare og sikringstiltak – praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper. Universitetsforlaget. ISBN 978-82-15-02391-5.

Løvholt, F., Pedersen, G., Harbitz, C.B., Glimsdal, S. Kim, J. (2015). On the characteristics of landslide tsunamis. *Phil. Trans. R. Soc. A* 373, 20140376, doi:10.1098/rsta.2014.0376. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2014.0376>.

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Oppskyllingsberegninger ved hjelp av probabilistiske metoder		Dokumentnr./Document no. 20170309-01-R
Dokumenttype/Type of document Rapport / Report	Oppdragsgiver/Client NVE	Dato/Date 2018-06-01
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ Proprietary rights to the document according to contract Oppdragsgiver / Client		Rev.nr.&dato/Rev.no.&date 0 /
Distribusjon/Distribution BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/Keywords Skred, flodbølge, numerisk modellering, probabilistisk analyse, faregrenser, Lyngen, Indre Nordnes, Revedalsfjell, Lettan		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country Norge, Troms	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality Lyngen, Storfjord, Kåfjord, Nordreisa	Felt navn/Field name
Sted/Location	Sted/Location
Kartblad/Map	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: 33 Øst: 710770 Nord: 7725500	Koordinater/Coordinates Projeksjon, datum: 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	2018-06-01 Sylfest Glimsdal	2018-06-01 Finn Løvholt	2018-06-01 Carl B. Harbitz	

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 1. juni 2018	Prosjektleder/Project Manager Sylfest Glimsdal
--	----------------------------------	--

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

