

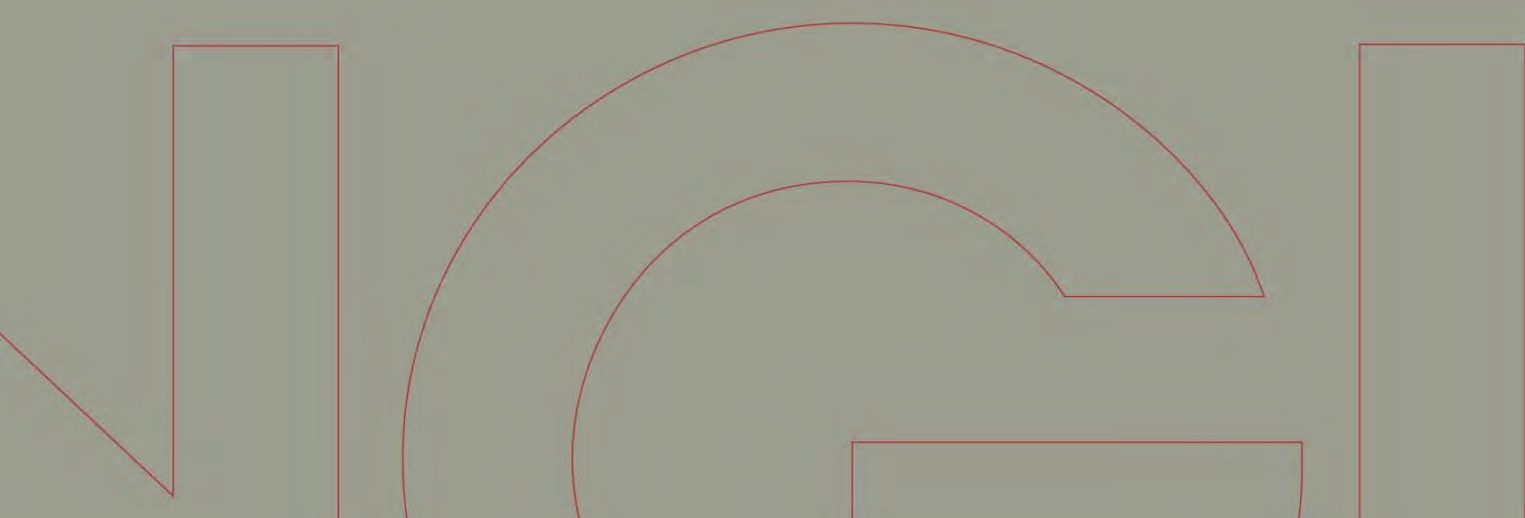


Rapport / Report

Ørsta kommune - flodbølger etter skred fra Åknes

Beregning av oppskylling

20110232-00-1-R
15. november 2011



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 tredjemand uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGL.

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 NGL.



Prosjekt

Prosjekt: Ørsta kommune - flodbølger etter skred fra Åknes
Dokumentnr.: 20110232-00-1-R
Dokumenttittel: Beregning av oppskylling
Dato: 15. november 2011

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Pilsenteret
7462 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontnr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Ørsta kommune
Oppdragsgivers
kontaktperson: Gunnar Wangen
Kontraktreferanse: E-post fra Gunnar Wangen 2011-04-15

For NGI

Prosjektleder: Sylfest Glimsdal
Utarbeidet av: Sylfest Glimsdal
Kontrollert av: Carl Bonnevie Harbitz

Sammendrag

På oppdrag fra Ørsta Kommune har NGI beregnet oppskylling av flodbølger ved totalt 18 lokasjoner basert på fjellskred scenarioer på 18 mill. m³ (med henblikk på dimensjonering, største nominelle årlige sannsynlighet på 1/1000) og 54 mill. m³ (med henblikk på evakuering, største nominelle årlige sannsynlighet på 1/5000) fra Åknes. Lokasjonene som det er gjort beregninger for er gitt av kommunen.

Volum, utfallsområde og dynamikk for skredet er gitt gjennom Åknes-Tafjord prosjektet, se Åknes/Tafjord (2011) og NGI (2011).

Etter anbefaling fra NVE og Fylkesmannen i Møre og Romsdal, er det i oppskyllingsberegninger tatt hensyn til en antatt framtidig havnivåstigning. Ut fra dette er det i analysen gitt et tillegg for fremtidig havnivåstigning på 0.7 m (d.v.s. 0.7 m over dagens middelvannstand).

BS EN ISO 9001
Serifisert av BSI
Reg. No. FS 32989

Sammendrag (forts.)



Dokumentnr.: 20110232-00-1-R
Dato: 2011-11-15
Side: 4

Våre beregninger for de 18 lokasjonene er oppsummert i Tabell 0.1. Det er verdt å merke seg at beregningene er basert på estimert fremtidig middelvannstand og inkluderer en estimert havnivåstigning på 0.7 m, men tar ikke hensyn til flo sjø. Oppskyllingen i tabellen er gitt i meter i forhold til dagens middelvannstand.

Innenfor de fleste oppskyllingsområdene er det liten variasjon på oppskyllingshøyden. Hovedgrunnene til dette er at bølgene er lange, at de ved disse lokasjonene beveger seg langs land og at det er liten variasjon i terrenget (ikke bukter og nes som kan fokusere og samle bølgeenergien). Størst variasjon er det for lokasjon 3 (Øye), innerst i Norangsfjorden. Her varierer oppskyllingen mellom 2 og 4 m for det største scenarioet. Videre er det også en del variasjon for lokasjonene 5 (Bjørke), 7 (Sæbø) og 18 (Ørsta sentrum). Ankomsttiden for bølgene i de undersøkte lokasjonene i Ørsta kommune vil være fra 19-35 minutter.

For bruk i kommunens planarbeid leveres oppskyllingslinjer for de lokasjonene med størst variasjon i oppskyllingshøydene (lokasjoner 3, 5, 7 og 18). For de øvrige lokasjonene anbefales det å angi de oppgitte oppskyllingshøydene ved hjelp av høydekontene i kommunens kart. For området ytterst i Ørstafjorden (lokasjon 16) anbefales det å bruke en kombinasjon av verdiene i tabellen under og fordelingen gitt i Figur 20 og Figur 21.

For Sæbø er det også gjort beregninger av hastigheten på vannet (strøm- eller partikkelhastighet) under oppskyllingen. Beregningene viser at denne hastigheten kan være opp mot 4-5 m/s og 2-3 m/s for henholdsvis 54 og 18 mill. m³. Disse dataene vil kunne brukes som et grunnlag for en eventuell seinere beregning av laster på konstruksjoner i oppskyllingsområdet.

NGI har tidligere gjort beregninger av oppskyllingshøyder ved Barstadvika (lokasjon 11), se NGI (2008b). Disse beregningene er riktignok gjort for et scenario på 35 mill. m³ og ga maksimalt 1.5 m oppskylling. Videre har NGI gjort en vurdering av oppskylling for et tilsvarende skred for Urke Fiskeoppdrett AS, se NGI (2008a). Det ble også her konkludert med at oppskyllingen ikke ville overstige 1.5 m. Det ble ikke tatt hensyn til havnivåstigning for noen av beregningene. Det er verdt å merke seg at NGI siden den gang innehar et bedre sett med beregningsmodeller og kan nå gjøre oppskyllingsberegninger mer nøyaktig. Ut fra volum og havnivå er de gamle beregningene konservative i forhold til det vi har kommet fram til i denne rapporten.

Det tas forbehold om at de digitale dataene som er brukt i beregningene kan avvike fra reell dybde i fjorden eller høyde på land, og at dette kan innvirke på resultatene.

Den største usikkerheten er knyttet til formen og volumet et eventuelt skred fra Åknes vil ha når det treffer vannet. Når bølgene først er dannet gir beregningsmodellene derimot et sikrere bilde av hendelsesforløpet. Dette er

Sammendrag (forts.)



Dokumentnr.: 20110232-00-1-R
Dato: 2011-11-15
Side: 5

kontrollert ved å teste beregningsmodellen blant annet mot modellforsøkene ved SINTEF Kyst- og havneteknikk i Trondheim, se SINTEF (2008) og NGI (2011).

Det er ikke lagt inn noen sikkerhetsmargin i de beregnede oppskyllingshøydene. Verdiene er heller ikke å betrakte som ekstremverdier utover det som kommer til uttrykk gjennom skredvolumene. Oppskyllingshøydene presentert i denne rapporten har ikke tatt hensyn til mulig sammenfall med høyvann (hyppig hendelse) eller springflo (sjelden hendelse). Høyeste astronomiske tidevann (HAT) er for Ålesund 119 cm over middelvannstand (se Statens Kartverk <http://vannstand.statkart.no>).

Det er verdt å merke seg at det flere steder (for eksempel ved Øye) er observert bølger etter snøskred. Vi presiserer at denne rapporten kun vurderer faren for bølger etter skred fra Åknes og ikke fra andre kilder.

Tabell 0.1: Maksimale oppskyllingshøyder og ankomsttid for alle 18 lokasjoner. Oppskyllingshøydene er målt i meter over dagens middelvannstand (avviker høyde i NN1954/NGO-null kun med noen få centimeter) og inkluderer effekten av fremtidig havnivåstigning på 0.7 m.

Lokasjon	Maksimal oppskylling [m]		Ankomsttid [minutter]	Foto
	18 Mm ³	54 Mm ³		Vedlegg D, avsnitt nr.
1 – Trandal	1	2	23	1
2 – Lekneset-Urke	1	2	25	2
3 – Norangsfjorden-Øye	1-2	2-4	30	3
4 – Viddal	1	2	28	4
5 – Bjørke-Finnes	1-2	2-3	31	5
6 – Skår	1	2	26	6
7 – Sæbø	1-2	2-3	25	7
8 – Store Standal	1	2	22	8
9 – Ytre Standal	1	2	21	9
10 – Skarbøen	1	2	19	10
11 – Festøya-Barstadvika	1	2	19	11
12 – Mellom Barstadvika og Nordre Vartdal	1	2	21	12
13 – Nordre Vartdal	1	2	23	13
14 – Vartdal	1	2	25	14
15 – Sør for Vartdal	<1	1	27	15
16 – Ytterst i Ørstafjorden	1	1-2	30	16
17 – Ørstafjorden	<1	1	33	17
18 – Ørsta sentrum	1	1-2	35	18

Innhold



Dokumentnr.: 20110232-00-1-R
Dato: 2011-07-04
Side: 6

1	Innledning	7
1.1	Bakgrunn	7
1.2	Anvendte begreper og metoder	10
2	Kort beskrivelse av bunnforhold og topografi	10
3	Skredvolumer og dynamikk	10
4	Bølgeberegninger	11
4.1	Om beregningsområdet og beregningsmodellene	11
4.2	Bølgeutbredelse	12
4.3	Generelt om oppskylling	14
4.4	Oppskyllingsberegninger	15
5	Referanser	37

Vedlegg A: Om flodbølger generert av fjellskred

Vedlegg B: Om beregningsmodellene

Vedlegg C: Konvergenstest

Vedlegg D: Foto fra befaring

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

På oppdrag fra Ørsta Kommune har NGI beregnet oppskylling av flodbølger ved totalt 18 lokasjoner for to fjellskred scenarioer fra Åknes, se Figur 1.

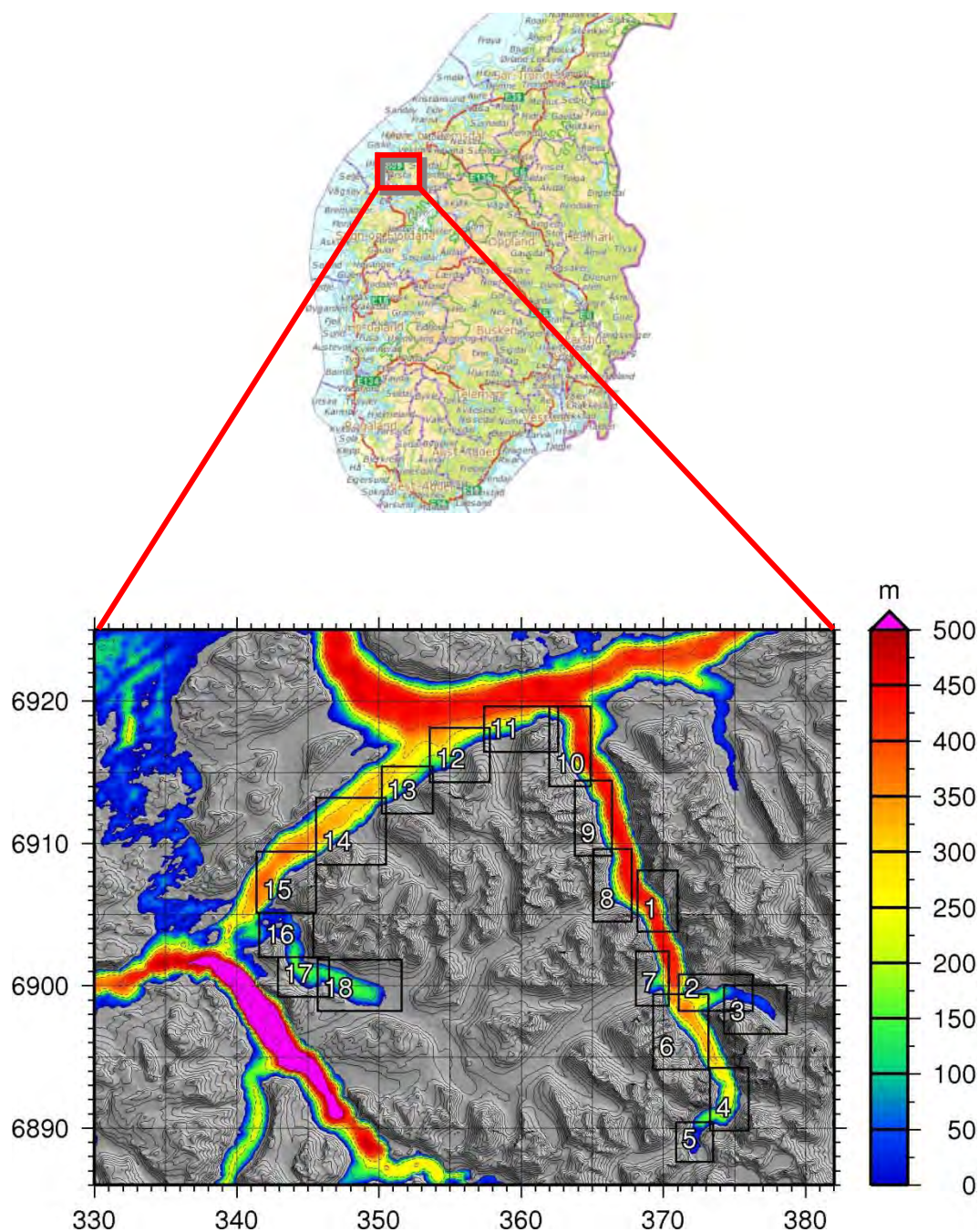
Volum, utfallsområde, skreddynamikk og sannsynligheter for hvert av skredene er gitt gjennom Åknes-Tafjord prosjektet, se Åknes/Tafjord (2011) og NGI (2011). Det er for denne rapporten gjort beregninger for et skred på 18 mill. m³ (med henblikk på dimensjonering) og 54 mill. m³ (med hensyn på evakuering). Ser man anbefalingene gitt i Åknes/Tafjord (2011) i lys av Byggeteknisk forskrift i Plan og Bygningsloven (FOR 2010-03-26 nr. 489), så er disse to scenarioene utarbeidet med tanke på henholdsvis sikkerhetsklasse 2 (største nominelle årlige sannsynlighet 1/1000) og sikkerhetsklasse 3 (med største nominelle årlige sannsynlighet på 1/5000). Sikkerhetsklassene refererer til plassering av byggverk i skredområde og område for sekundærvirkning av skred. For mer om sannsynligheter for de aktuelle scenarioene, se Åknes/Tafjord (2011).

Etter anbefaling fra NVE og Fylkesmannen i Møre og Romsdal, er det i oppskyllings- og hastighetsberegninger tatt hensyn til en 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 (d.v.s. 0.7 m over dagens middelvannstand).

Det tas forbehold om at de digitale dataene som er brukt i beregningene kan avvike fra reell dybde i fjorden eller høyde på land, og at dette kan innvirke på resultatene.

Befaring av oppskyllingsområdene ble foretatt 31. august – 6. september. Befaringene ble utført av Sylfest Glimsdal (NGI) og ble gjort fra land og fra båt (ferge). Hensikten med befaringen var å få en oversikt over forhold som kan påvirke oppskyllingen hvert enkelt sted.

Det er ikke lagt inn noen sikkerhetsmargin i de beregnede oppskyllingshøydene. Verdiene er heller ikke å betrakte som ekstremverdier utover det som kommer til uttrykk gjennom skredvolumene. Oppskyllingshøydene presentert i denne rapporten har ikke tatt hensyn til mulig sammenfall med høyvann (hyppig hendelse) eller springflo (sjelden hendelse). Høyeste astronomiske tidevann (HAT) er for Ålesund 119 cm over middelvannstand (se Statens Kartverk <http://vannstand.no>).



Figur 1. Oversikt over oppskyllingsområdene (nummerert 1-18) hvor det er gjort oppskyllingsberegninger. Figuren viser også dyppet i fjorden, fargeskala viser dybde i meter.



Figur 2: Kart over de indre delene av Hjørundfjorden. Gislink ©.



Figur 3: Kart over den nordlige delen av Ørsta kommune. Gislink ©.

1.2 Anvendte begreper og metoder

Med overflatehevning menes bølgetoppens høyde over stille vannstand (likevektsnivå), 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 vannet har nådd under oppskylling. Videre brukes her også oversvømmelseshøyde (høyde over likevektsnivå i ethvert punkt) og oppskyllingshøyde (høyde over likevektsnivå langs oppskyllingslinje). 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 overnevnte størrelser beregnes ved å ta ut høyeste oppnådde verdi i hvert punkt i løpet av beregningstiden.

Se for øvrig Vedlegg A for en nærmere beskrivelse av flodbølger generert av fjellskred. Se også om beregningsmodellene i Vedlegg B og konvergenstest i Vedlegg C.

2 Kort beskrivelse av bunnforhold og topografi

De 18 lokasjonene som skal undersøkes dekker i praksis hele kystlinjen i Ørsta kommune hvor det er bebyggelse nær fjorden, se Figur 1. Mellom Åknes og oppskyllingsområdene varierer dypet i fjorden fra 300 til 700 m, med fire "fjordkryss", se Figur 2-Figur 4 hvor også stedsnavn som refereres til senere i rapporten samt oversikt over fjordsystemet er vist. Det første krysset er der Norddalsfjorden går inn mot Tafjord, det andre er der Sykkylvsfjorden tar av fra Storfjorden, det tredje er der Hjørundfjorden tar av, mens Storfjorden deles i Sulafjorden (nord) og Vardalsfjorden (sør) ved Hareid. Til slutt tar Ørstafjorden av fra Vardalsfjorden inn mot Ørsta sentrum. I forbindelse med fjordkryss eller der hvor fjorden blir videre og/eller dypere vil bølgene reduseres i høyde.

Fjorden utenfor lokasjonene langs Vardalsfjorden nord i kommunen er ca. 300 m dyp. Hjørundfjorden er mer enn 400 m lengst nord og avtar gradvis sørover samtidig som fjorden blir smalere. Ved Sæbø/Lekneset deler Hjørundfjorden seg i Norangsfjorden inn mot øst og en indre fjordarm som også heter Storfjorden mot sør. Ørstafjorden er meget grunn i de ytre delene (ned mot 20 m dyp) før den blir dypere (opp mot 170 m) inn mot Ørsta sentrum.

3 Skredvolumer og dynamikk

De viktigste parametrene for de to scenarioene fra Åknes er listet opp i Tabell 3.3.1. Scenario 1C (54 mill. m³) representerer det tilfellet at hele fjellsiden løsner samtidig som en stor blokk, mens scenario 2B (18 mill. m³) brukes for å modellere en kollaps av vestre flanke. Bølgene fra førstnevnte skred danner som nevnt over grunnlaget for å beregne evakueringsområder, mens bølgene fra det

minste skredet brukes for dimensjonering. Det er i denne rapporten gjort beregninger for begge scenarioene for alle lokasjoner.

Hvordan skredparametrene (form, volum, hastighet og utløpslengde) påvirker bølgedannelsen er grundig testet ved hjelp av regnemodeller. Testene viser at bølgehøyden er avhengig av tykkelsen på skredet (eller mer presist skredets frontareal), hastigheten i første fasen etter at skredet har gått i vannet og hvor langt skredet beveger seg under vann. Mindre betydning har skredets form, dvs. helning i fronten, og hvor langt selve skredet er (NGI 2008c; 2011).

Undersjøiske utløpsdistanser er basert på vurdering av dybdeprofilen utenfor skredområdet samt kjente (statistiske) sammenhenger mellom skredvolum og utløpsdistanse. For modellforsøkene i Trondheim (se SINTEF, 2008) ble treffhastigheten til skredet bestemt ut fra en vurdering av total fallhøyde, volum og friksjon. Utløpet under forsøkene stemte godt overens med statistikken for skredutløp i området. Hastighetsforløp og utløpsdistanse fra disse forsøkene er derfor brukt som inngangsparametre i beregningsmodellene. Dette er samme tilnærming som er brukt i NGI (2011).

Tabell 3.3.1: De viktigste parametrene for de to skred scenarioene som ligger til grunn for oppskyllingsberegningene, verdier tatt fra Åknes/Tafford (2011).

Scenarioer	Dimensjoner			Treffhastighet	Volum	Største årlige sannsynlighet
	Høyde [m]	Bredde [m]	Lengde [m]	[m/s]	$10^6 m^3$	
1C	120	450	1000	45	54	1/5000
2B	80	450	500	45	18	1/1000

4 Bølgeberegninger

4.1 Om beregningsområdet og beregningsmodellene

For området mellom Åknes og Stordal er batymetri og topografi levert av Norges Geografiske Undersøkelse (NGU). Videre ut fra Stordal er batymetrien basert på de beste tilgjengelige datasettene fra Statens kartverk Sjø, som i dette tilfellet har vesentlig grovere oppløsning enn i de godt kartlagte indre områdene av Storfjorden. For beregninger av flodbølge utbredelsen i dypt vann er likevel nøyaktigheten av disse dataene tilstrekkelig. Disse dataene er levert av NGU og er

i likhet med dataene for de indre områdene sammenstilt med høydeverdiene på land (i praksis benyttes kun strandlinjen, da oppskylling ikke beregnes her). Høydeverdiene på land er også basert på data levert av NGU.

Bortsett fra for Sæbø er høyoppløselige topografiske data levert av Fylkesmannen i Møre og Romsdal (data langs 1 m koter). For Sæbø har Statens Kartverk levert data (punktsky) fra laserskanning fra 2009. Når man bruker 1 m koter vil man i noen tilfeller få noe konservativt resultat ved at terrenget mellom to koter kan bli slakere i modellene enn i virkeligheten. I tillegg må terengdataene glattes noe for at modellen skal kunne kjøres stabilt. Dette gjør terrenget (særlig i strandsonen) noe slakere enn dataene skulle tilsi. Begge deler kan øke vanninntrengningen noe. Utenfor oppskyllingssonene er det anvendt dybde data levert av NGU (se over).

Beregningene er gjort i to steg. I det første steget modelleres bølgeutbredelsen fra Åknes fram til oppskyllingsområdene, mens i det andre steget blir bølgenes bevegelse inn mot strandlinjen samt oppskyllingen innover tørt land beregnet for hver enkelt lokasjon. Det er to ulike beregningsmodeller som brukes i disse to stegene, henholdsvis GloBouss og MOST. For detaljer om disse beregningsmodellene, se Vedlegg B.

Den største usikkerheten i beregningene er knyttet til formen og volumet et eventuelt skred fra Åknes vil ha når det treffer vannet. Fra bølgene er dannet gir beregningsmodellene derimot et godt bilde av hendelsesforløpet.

Vedlegg B gir mer teknisk informasjon rundt beregningene og inngangsdataene til beregningsmodellene.

4.2 Bølgeutbredelse

Bølger etter skred i en fjord blir som nevnt over påvirket av både dybdeforhold og bredde på fjorden. Hastigheten slike bølger beveger seg med avhenger av hvor dyp fjorden er. Dess grunnere fjorden er dess langsommere beveger bølgene seg. Det betyr at når en bølge beveger seg inn mot grunnere vann, vil fronten av bølgen bevege seg langsommere enn halen. Bølgen vil dermed bli kortere og samtidig også høyere. Blir bølgen høy nok i forhold til vanddypet vil bølgen til slutt kunne bryte. Tilsvarende vil bølger som beveger seg fra grunnere mot dypere vann bli strukket, og høyden reduseres.

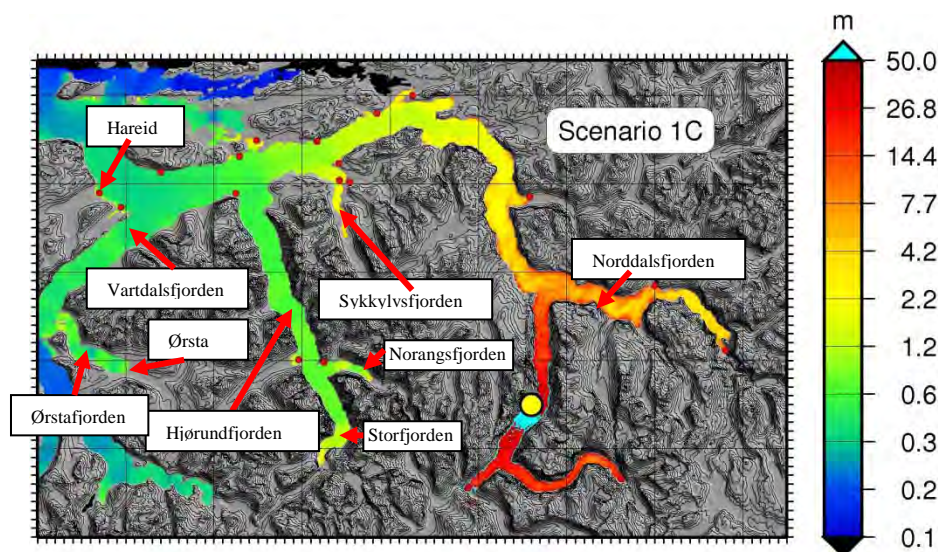
Når fjorden smalner inn vil også bølgene bli høyere, mens der fjorden vider seg ut vil bølgene reduseres. I en idealisert fjord med samme bredde og dyp hele veien, kan man noe forenklet si at bølgene vil bevege seg uten å endre form eller høyde. Reduksjonen i bølgehøyden vil derfor komme av at bølgene beveger seg ut i en dypere eller videre del av fjorden, og at de kommer til deler av fjordsystemet hvor bølgene brer seg ut i flere fjordarmer.

Bølger fra Åknes vil bre seg nord- og sørover i Sunnlyvsfjorden. De nordgående bølgene vil dempes noe når de kommer til fjordkrysset der Stordalsfjorden går inn

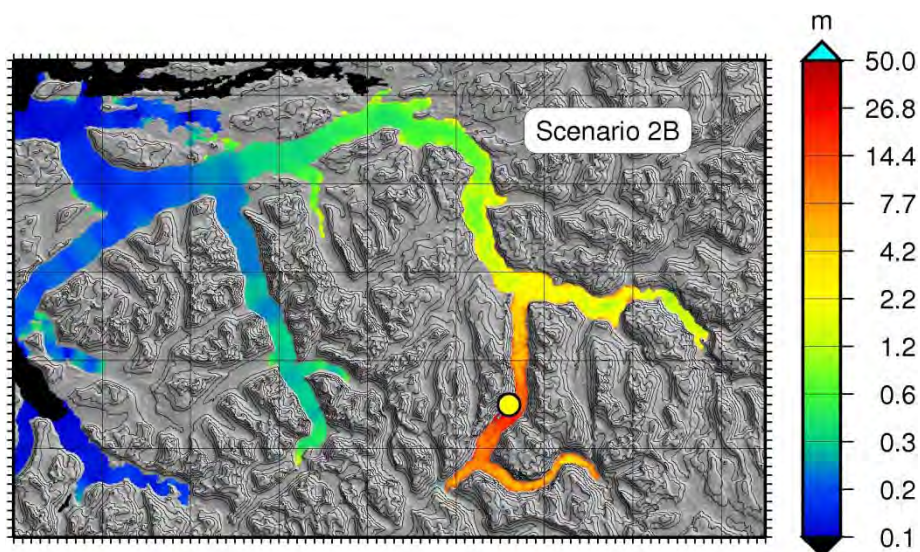
mot Tafjord. På veien videre utover reduseres bølgene der fjorden blir videre og/eller dypere samt ved de neste fjordkryssene.

Maksimal overflatehevning for scenario 1C og 2B for hele Storfjorden er vist henholdsvis i Figur 4 og Figur 5, samt ankomsttidene i hele fjordsystemet i Figur 6. Høydene er målt ut fra middelvannstand og en mulig framtidig havnivåstigning er ikke tatt med i disse figurene. Utenfor skredområdet er overflatehevingen 80-100 meter for 1C, mens den for 2B er 30-40 m. Flodbølgen i Vartdalfjorden er på ca. 0.5 m og 0.2 m for henholdsvis 1C og 2B (tilsvarende 1.2 m og 0.9 m når havnivåstigning tas med i betraktning). For Hjørundfjorden øker bølgene fra henholdsvis 0.6 m og 0.25 m ytterst i fjorden (for henholdsvis 1C og 2B) til ca. 2 m og 1 m innerst i fjorden (Storfjorden). Denne økningen i høyde innover i fjorden henger sammen med at fjorden både blir smalere og grunnere. Bølgene vil bruke fra ca. 19 minutter ytterst i Hjørundfjorden til 31 minutter innerst i fjorden ved Bjørke.

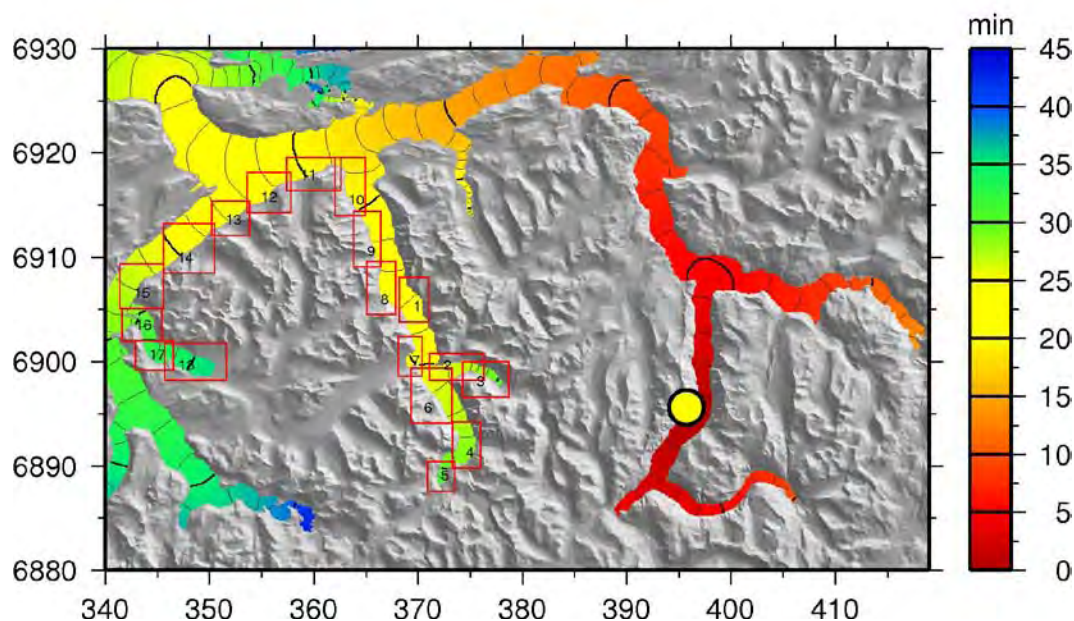
Basert på tester av gitteroppløsningen (se Vedlegg C) er en oppløsning på 100 m tilstrekkelig for disse beregningene. I beregningene har vi derfor ekstrahert et nytt datasett for dybde dataene med oppløsning 100 m fra datasettet med oppløsning 50 m beskrevet over.



Figur 4: Maksimal overflatehevning gitt i meter for scenario 1C. Åknes er markert med et gult punkt. Indigo markerer overflatehevning på mer enn 50 m. Framtidig havnivåstigning på 0.7 m er ikke tatt med.



Figur 5: Maksimal overflatehevning gitt i meter for scenario 2B. Åknes er markert med et gult punkt. Framtidig havnivåstigning på 0.7 m er ikke tatt med.



Figur 6: Ankomsttid etter at et eventuelt skred har gått i fjorden ved Åknes. Fargeskalaen viser tiden i minutter. Posisjonen til ledende bølge for hvert minutt er markert med svarte linjer i fjorden. Posisjonen for hvert femte minutt er markert med tykkere linjer. Langs aksene er posisjonen oppgitt i kilometer (UTM32).

4.3 Generelt om oppskylling

Det er flere faktorer som bestemmer oppskyllingen ved en lokasjon. De viktigste er:

- Lengde, høyde og retning på innkommende bølge

- Bølgetype/bølgeform
- Dybdeforholdene utenfor lokasjonen
- Terrenget (spesielt helningen og om det er en bukt eller et nes, etc.) i oppskyllingsområdet

Størst amplifikasjon får vi der både terrenget og sjøbunnen oppskyllingsområdet samt sjøbunnen utenfor er slak, samt at bølgene beveger seg normalt på stranda og ”fanges” av terrenget, slik som i en fjordbunn eller i en bukt. Lavest oppskylling (det vil si mindre forsterkning av bølgene under oppskylling) får vi når bølgene beveger seg langs strandlinjen og spesielt der terrenget er bratt. Når en bølge beveger seg rett mot en vertikal vegg (loddrett fjellside) vil bølgen reflekteres og oppskyllingen vil typisk nå dobbelt så høyt som bølgen utenfor. Store lokale variasjoner ved oppskylling kan riktignok oppstå avhengig av terreng, dybdeforhold, bygninger, infrastruktur med mer.

MOST modellen som er anvendt for beregning av oppskyllingen leser inn data fra bølgemodellen GloBouss. Resultatene som er presentert under er basert på beregninger gjort på tre forskjellige nivåer med økende gitteropløsning fra 40 m på det første nivået, via 20 m, ned til 5 m. Beregningene er gjort for ledende bølger, det vil si de første 8-13 minutter etter at første bølge når oppskyllingsområdene.

4.4 Oppskyllingsberegninger

For Ørsta kommune generelt er både avstanden og alle fjordkryssene bølgene må passere, med på å redusere høyden på bølgene på veien ut fra Åknes. Ved flere av lokasjonene hvor det er gjort oppskyllingsberegninger vil bølgene bevege seg mer eller mindre langs land og i tillegg er terrenget stedvis bratt. Begge deler medfører mindre oppskylling. Fjordbunnene er mest utsatt med tanke på oppskylling på grunn av slakt terreng og at bølgene har retning mer eller mindre rett mot land samt at bølgene blir fokusert som følge av formen på terrenget (Bjørke innerst i Hjørundfjorden/Storfjorden og Øye i Norangsfjorden). Fokusering av bølgeenergi kan man også få ved bukter (for eksempel ved Sæbø) og nes. Partikkelhastigheten under oppskylling er beregnet for Sæbø. Det er verdt å merke seg at denne som oftest er størst når vannet trekker seg tilbake og kan erodere fyllinger etc.

Under følger beskrivelse av hvert enkelt oppskyllingsområde med detaljer og resultatene av beregningene.

De beregnede maksimale oppskyllingshøydene for både scenario 2B og 1C er oppsummert i Tabell 4.1. Høydene er målt over dagens middelvannstand (som tilnærmet tilsvarende NN1954/NGO-null, se for øvrig Vedlegg B) og inkluderer mulig framtidig havnivåstigning. For bruk i planarbeidet leverer NGI oppskyllingslinjer som viser hvor langt inn over land vannet når for lokasjonene 3, 5, 7 og 18. For de andre lokasjonene (1, 2, 4, 6 og 8-17) er det liten variasjon i oppskyllingen og vi anbefaler derfor at man her bruker høydekontene i kommunens

egne kart. Under viser vi kun figurer av overflatehevingen for én av lokasjonene med liten variasjon (lokasjon 1) som et eksempel på hvordan dette tar seg ut.

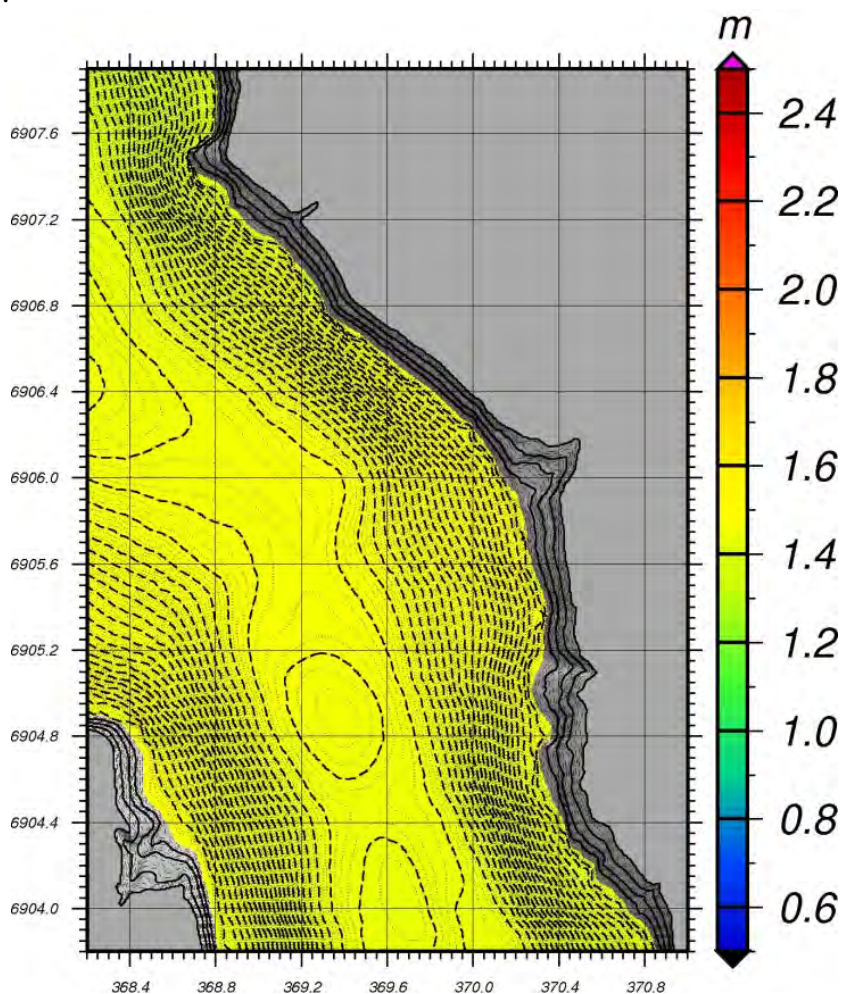
NGI anbefaler å sammenligne verdier i kart/tabell med eventuelle høyder på oppskyllingslinjer for å få et best mulig bilde av oppskyllingen for områdene 3, 5, 7 og 18. Hvis det er gjort utfyllinger som ikke er med i kartgrunnet, eller framtidige utfyllinger som endrer på strandlinje og terreng, kan man som utgangspunkt bruke høydene fra kart/tabell (og ev. høyde fra oppskyllingslinjer). Man skal her være klar over at utfyllinger kan gi høyere oppskylling og at dette må tas hensyn til i planleggingen av disse. Når det er avvik mellom høyder og posisjon i oppskyllingslinjer og høyder på kart, er det høydene i kart som er mest korrekte, siden høydene i oppskyllingslinjene er interpolert fra terrengmodellen som har en ”grov” oppløsning på 5 m og som inkluderer glatting, se avsnitt 4.1.

Tabell 4.1: Maksimale oppskyllingshøyder og ankomsttid for alle 18 lokasjoner. Oppskyllingshøydene er målt i meter over middelvannstand (avviket høyde i NN1954/NGO-null kun med noe få centimeter) og inkluderer effekten av fremtidig havnivåstigning på 0.7 m.

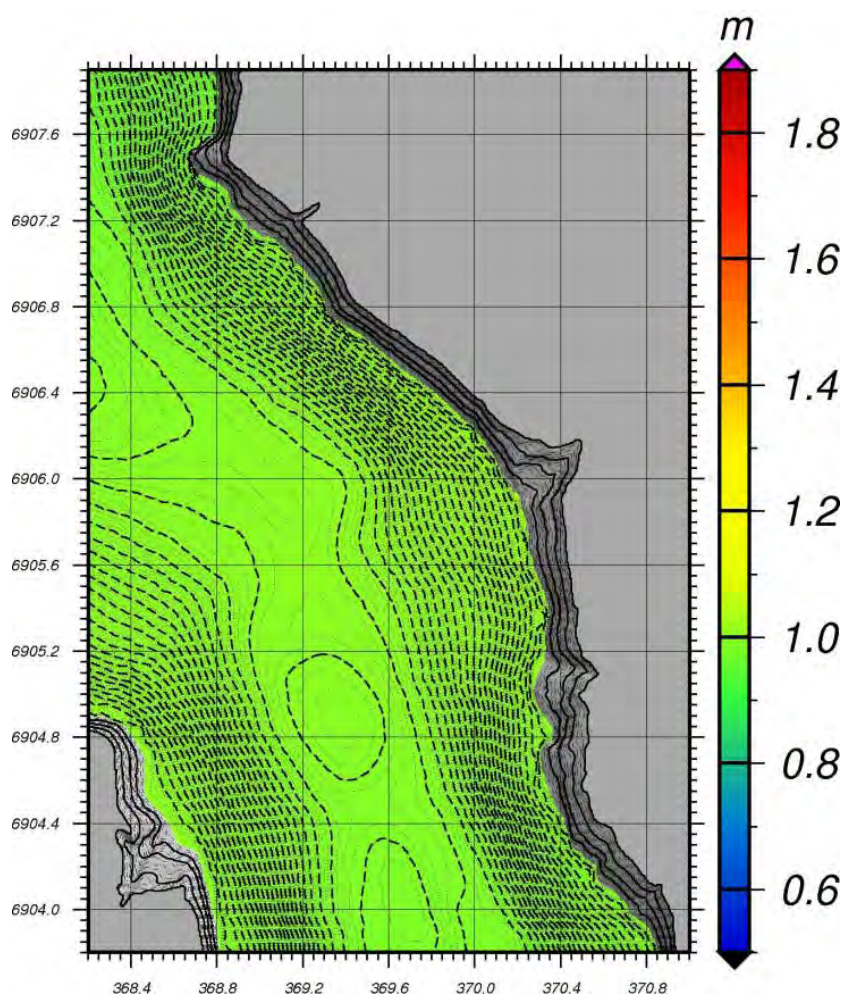
Lokasjon	Maksimal oppskylling [m]		Ankomsttid [minutter]	Foto
	18 Mm ³	54 Mm ³		Vedlegg D, avsnitt nr.
1 – Trandal	1	2	23	1
2 – Lekneset-Urke	1	2	25	2
3 – Norangsfjorden-Øye	1-2	2-4	30	3
4 – Viddal	1	2	28	4
5 – Bjørke-Finnes	1-2	2-3	31	5
6 – Skår	1	2	26	6
7 – Sæbø	1-2	2-3	25	7
8 – Store Standal	1	2	22	8
9 – Ytre Standal	1	2	21	9
10 – Skarbøen	1	2	19	10
11 – Festøya-Barstadvika	1	2	19	11
12 – Mellom Barstadvika og Nordre Vartdal	1	2	21	12
13 – Nordre Vartdal	1	2	23	13
14 – Vartdal	1	2	25	14
15 – Sør for Vartdal	<1	1	27	15
16 – Ytterst i Ørstafjorden	1	1-2	30	16
17 – Ørstafjorden	<1	1	33	17
18 – Ørsta sentrum	1	1-2	35	18

4.4.1 Lokasjon #1, Trandal

Området ligger på østsiden av Hjørundfjorden ca. 15 km inn i denne. Fjorden er over 400 m dyp her, med bratt fjordside opp til oppskyllingsområdet. Terrenget på land er bratt (se vedlegg D), men det er noen hytter og andre bygninger helt nede i strandsonen. Bølgene beveger seg parallelt med strandlinjen og oppskyllingen er tilnærmet lik høyden på bølgene i fjorden. Den maksimale oppskyllingen for 1C og 2B er henholdsvis 2 og 1 m, se Figur 7 og Figur 8. Ankomsttiden er 23 minutter.



Figur 7: Overflatehevning/oppskyllingshøyde for lokasjon 1 (Trandal), scenario 1C. Skalaen viser høyde over dagens middelvannstand inkludert en mulig framtidig havnivåstigning på 0.7 m.



Figur 8: Overflatehevning/oppskyllingshøyde for lokasjon 1 (Trandal), scenario 2B. Skalaen viser høyde over dagens middelvannstand inkludert en mulig framtidig havnivåstigning på 0.7 m.

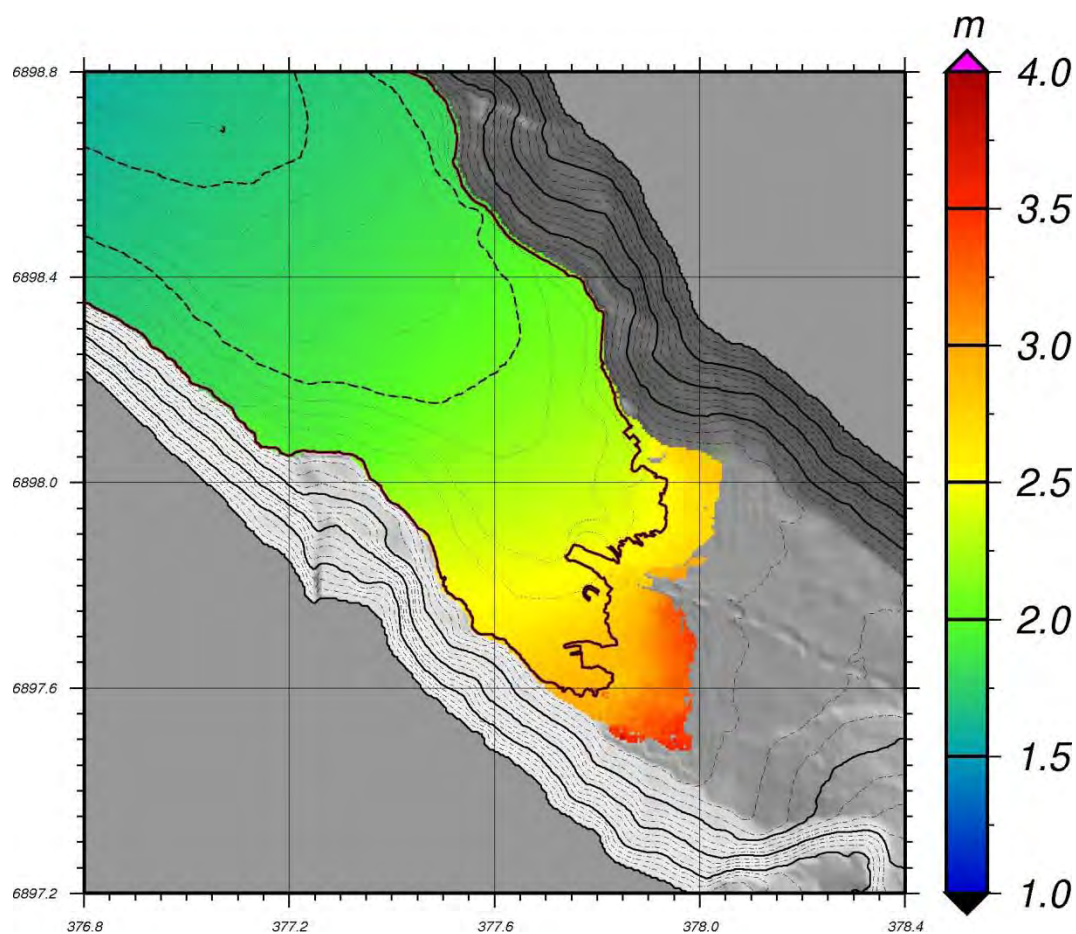
4.4.2 Lokasjon #2, Lekneset og Urke

Dette oppskyllingsområdet ligger ca. 20 km inn i Hjørundfjorden (østside), og er i hovedsak i Norangsfjorden. Området dekker både Lekneset (fergekai) og Urke. Fjorddybden her er mellom 350 m (lengst vest) og ca. 50 m (lengst øst inn i Norangsfjorden). Terrenget langs land er generelt bratt, noe slakere områder ved Urke (fiskeoppdrettsanlegget). Det er kun noen få bygninger nær strandsonen. Bølgene beveger seg delvis parallelt med strandlinjen slik at bølgehøyden i fjorden og oppskyllingsområdet er tilnærmet lik. Ved Urke og øst for Urke hvor Norangsfjorden snevrer inn, får vi en svak forsterkning av bølgene (og oppskyllingen). Den maksimale oppskyllingen for 1C og 2B er henholdsvis 2 og 1 m. Ankomsttiden er 25 minutter.

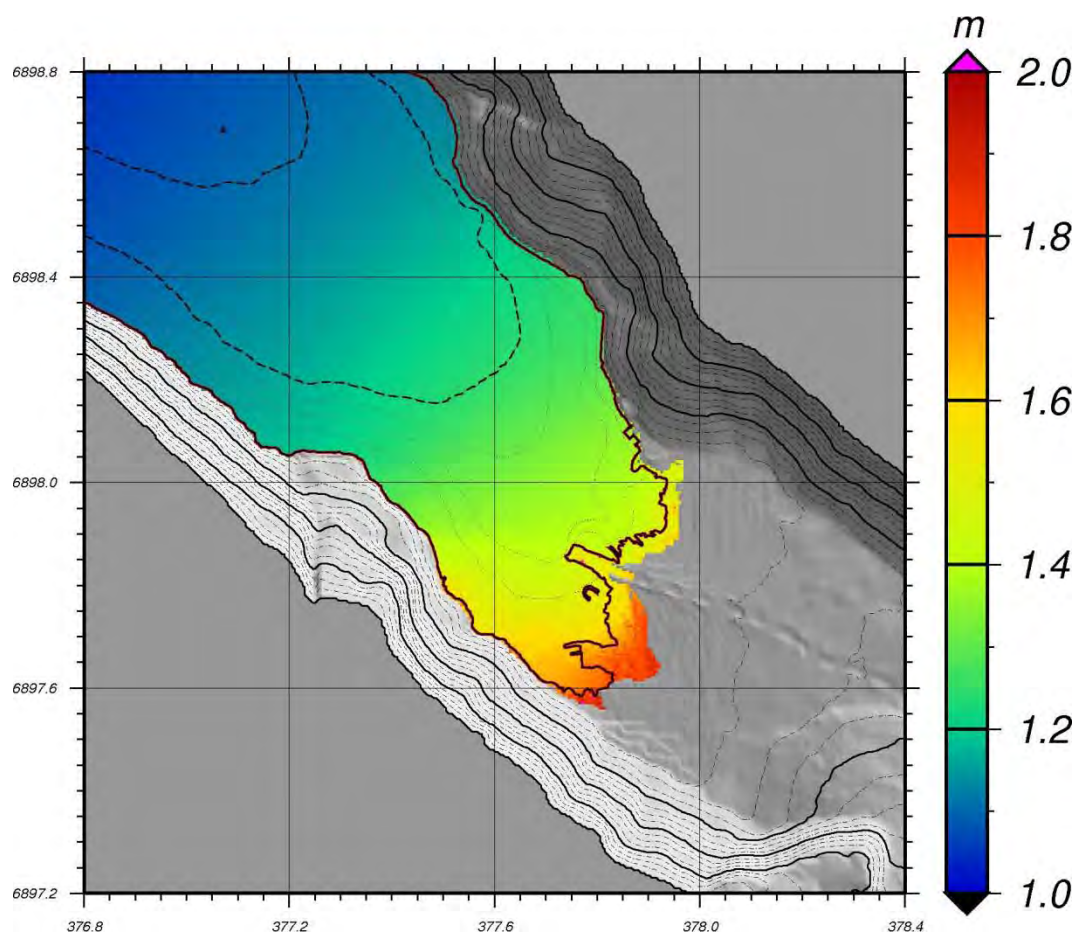
NGI gjorde i 2008 en vurdering av oppskylling for et skred fra Åknes på 35 mill. m³ for Urke Fiskeoppdrett AS, se NGI (2008a). Det ble konkludert med at oppskyllingen ikke ville overstige 1.5 m (uten hensyn til framtidig havnivåstigning). Sett i lys av volumer og havnivå er de gamle resultatene konservative. Forskjellen på de gamle og de nye beregningene (sett bort fra forskjellig volum) er at vi nå har mye mer nøyaktige beregningsmodeller, både for bølgeutbredelsen i fjorden og for selve oppskyllingen. Beregninger som ble gjort tidligere kunne medføre noe overestimering da detaljnivået i modelleringen var begrenset der man brukte empiriske resultater for å beregne oppskyllingshøydene.

4.4.3 Lokasjon #3, Øye - Norangsfjorden

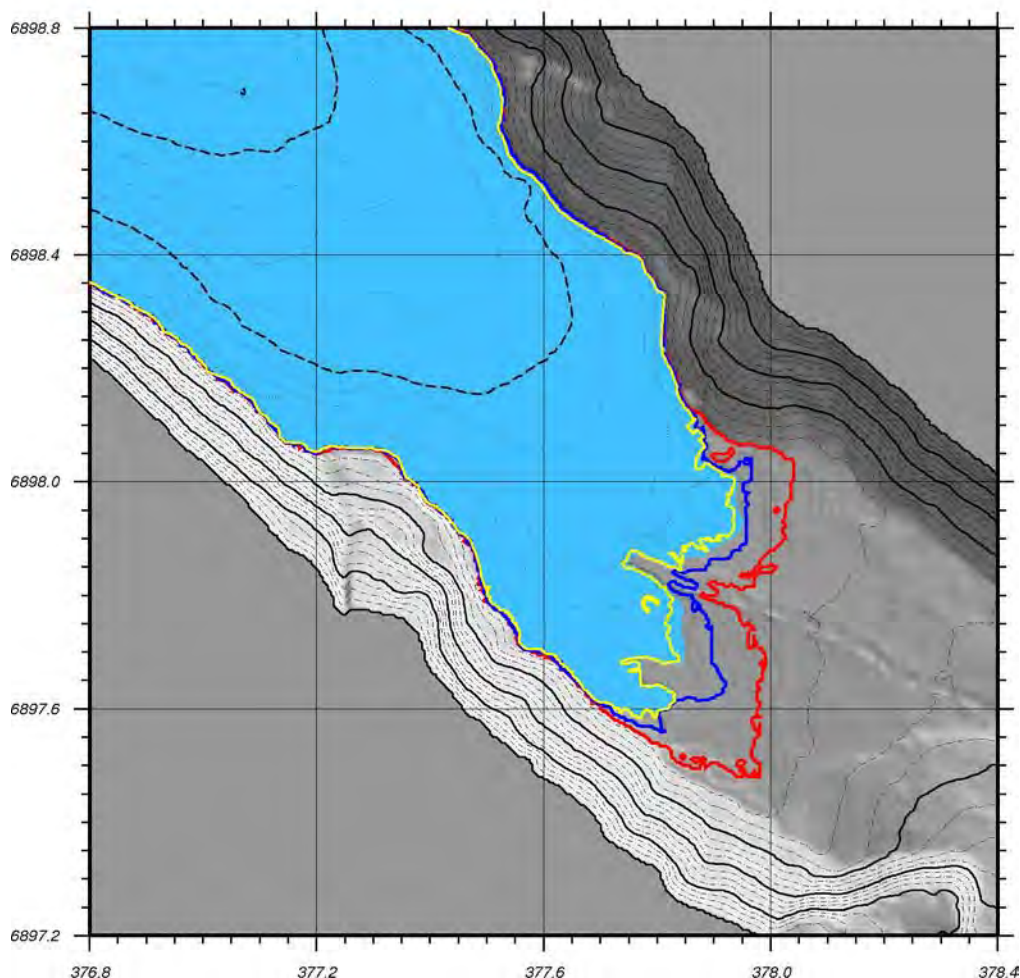
Denne lokasjonen dekker innerste del av Norangsfjorden (Øye). Fjorden i oppskyllingsområdet er grunn med et største dyp på ca. 100 m lengst vest mot Urke. Videre innover mot Øye har vi først en terskel med mindre enn 20 m dyp, før fjorden blir noe dypere igjen (30-50 m). Utenfor Øye er fjordbunnen slakt skrånende. Terrenget lengst inne ved Øye er slakt og favoriserer høyere oppskylling, se vedlegg D. Så langt NGI kunne vurdere under befaringen, var det kun naust som lå nær strandsonen. På sørsiden av Norangsfjorden ligger det en gård (Stenes) på en flate helt nede i strandsonen. Bølgene vil innerst i fjorden bli fanget av terrenget og bevege seg rett inn mot land. På grunn av dette og i tillegg en slak fjordbunn/terreng på land, blir forsterkningen av bølgene stor her (for det største scenarioet: fra ca. 1.5 m 500 m før Øye til ca. 4 m under oppskylling, d.v.s. en forsterkning på over 2.5 ganger). Den maksimale oppskyllingen for scenario 1C og 2B er henholdsvis 2-4 m og 1-2 m, se Figur 9 og Figur 10. Oppskyllingslinjene er vist i Figur 11. Ved gården Stenes ligger verdiene på henholdsvis litt over 2 m og 1.5 m. Ankomsttiden til Øye er 30 minutter.



Figur 9: Overflatehevning/oppskyllingshøyde for lokasjon 3 (Øye), scenario 1C. Skalaen viser høyde over dagens middelvannstand inkludert en mulig framtidig havnivåstigning på 0.7 m. Dagens strandlinje er markert med en rød/svart linje.



Figur 10: Overflatehevning/oppskyllingshøyde for lokasjon 3 (Øye), scenario 2B. Skalaen viser høyde over dagens middelvannstand inkludert en mulig framtidig havnivåstigning på 0.7 m. Dagens strandlinje er markert med en rød/svart linje.



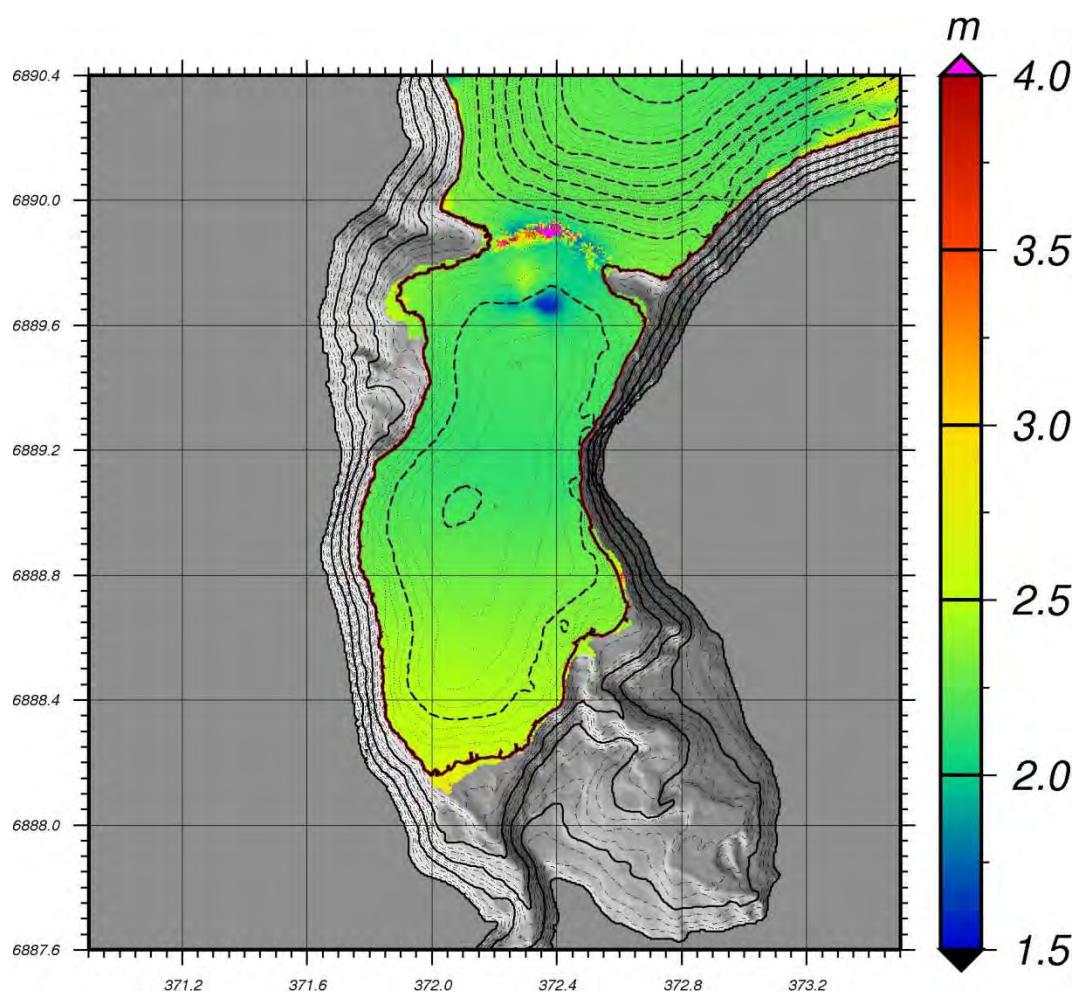
Figur 11: Oppskyllingslinjer for Øye. Gul linje er dagens strandlinje, blå og rød linje er for henholdsvis 2B og 1C. Det lyseblå er det våte området (fjorden) i modellen før bølgene kommer inn (havnivåstigning på 0.7 m er inkludert).

4.4.4 Lokasjon #4, Viddal

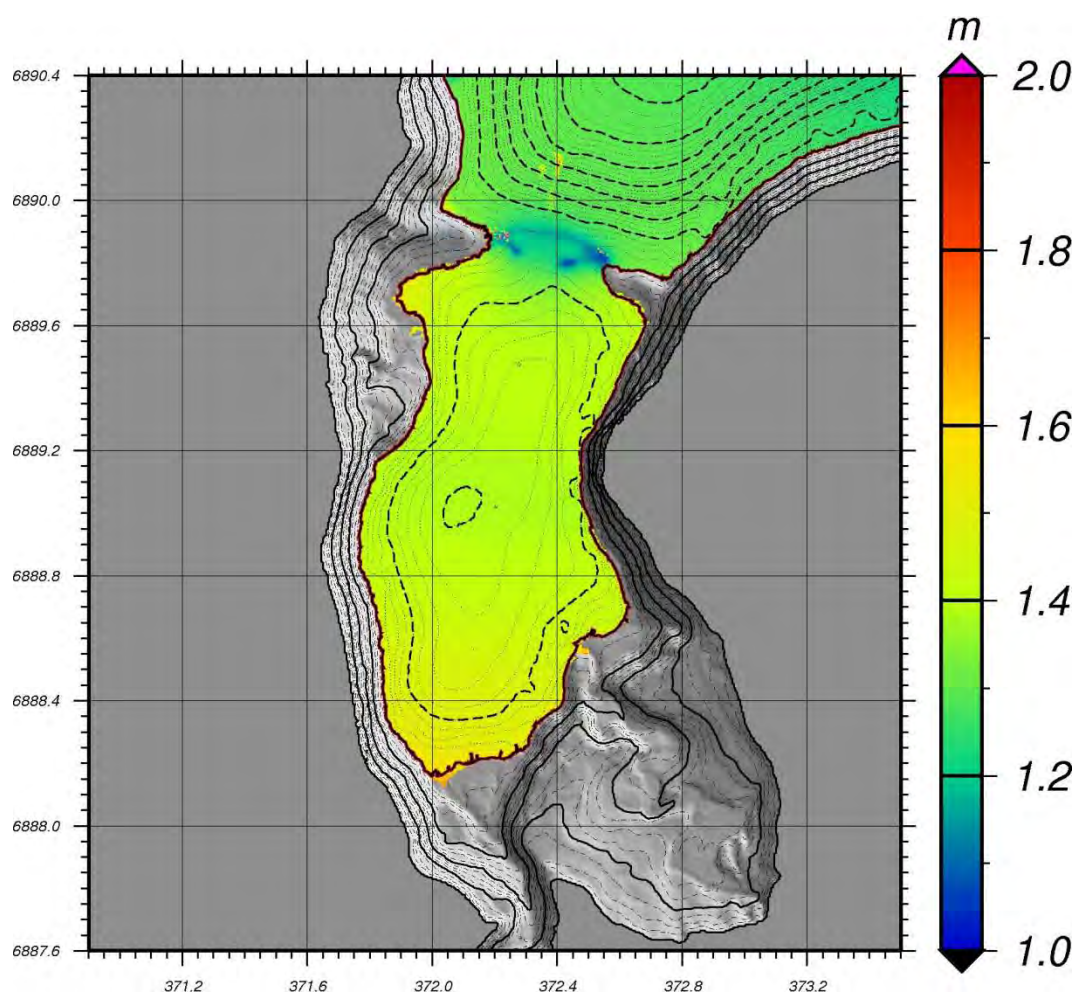
Dette oppskyllingsområdet dekker Viddal og ligger på østsiden av Storfjorden (innerst i Hjørundfjorden) ca. 30 km fra innløpet til Hjørundfjorden. Fjorden er ved Viddal ca. 200 m dyp, med bratte sider. Terrenget på land er også relativt bratt, med noen bygninger (naust og annet) nær strandsonen. I likhet med lokasjoner over som ligger langs fjorden, vil bølgene også her bevege seg parallelt med strandlinjen slik at bølgehøyden i fjorden og oppskyllingsområdet er tilnærmet lik. Den maksimale oppskyllingen for 1C og 2B er henholdsvis 2 og 1 m. Ankomsttiden er 28 minutter.

4.4.5 Lokasjon #5, Bjørke-Finnes

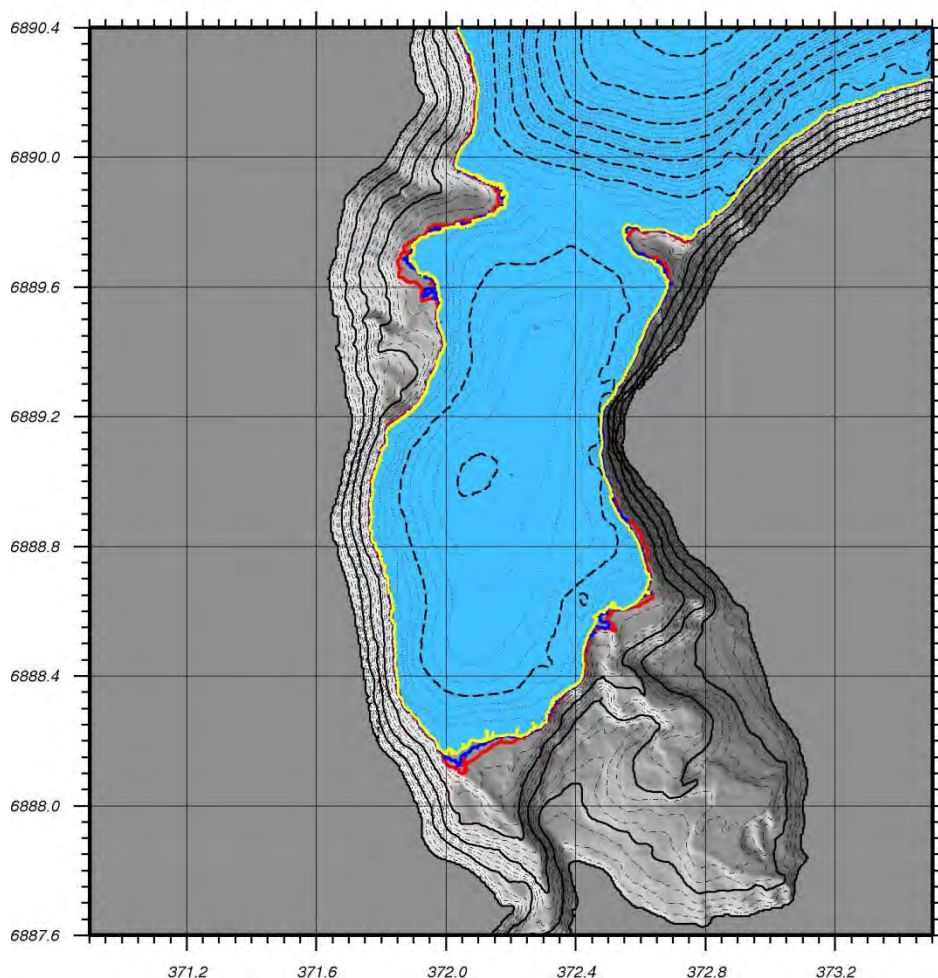
Innerst i Storfjorden ligger Bjørke. Ved Finnes (ca. 2 km nord for Bjørke på fjordens vestside) ligger en terskel med mindre enn 10 m dyp. Fra denne og inn til Bjørke er vanddypet 20-40 m. Terrenget på land er generelt bratt, noe slakere innerst i fjorden ved elveosen og ved Finnes. Ved terskelen blir en god del av bølgene reflektert. Dette er med på å redusere oppskyllingen i Bjørke. Den maksimale oppskyllingen for 1C og 2B er henholdsvis 2-3 m og 1-2 m, se Figur 12 og Figur 13. Oppskyllingslinjene er vist i Figur 14. Bølgene vil her bevege seg rett inn mot land i enden av fjorden. Ankomsttiden er 31 minutter.



Figur 12: Overflatehevning/oppskyllingshøyde for lokasjon 5 (Bjørke-Finnes), scenario 1C. Skalaen viser høyde over dagens middelvannstand inkludert en mulig framtidig havnivåstigning på 0.7 m. Dagens strandlinje er markert med en rød/svart linje.



Figur 13: Overflatehevning/oppskyllingshøyde for lokasjon 5 (Bjørke), scenario 2B. Skalaen viser høyde over dagens middelvannstand inkludert en mulig framtidig havnivåstigning på 0.7 m. Dagens strandlinje er markert med en rød/svart linje.



Figur 14: Oppskyllingslinjer for Bjørke/Finnes. Gul linje er dagens strandlinje, blå og rød linje er for henholdsvis 2B og 1C. Det lyseblå er det våte området (fjorden) i modellen før bølgene kommer inn (havnivåstigning på 0.7 m er inkludert).

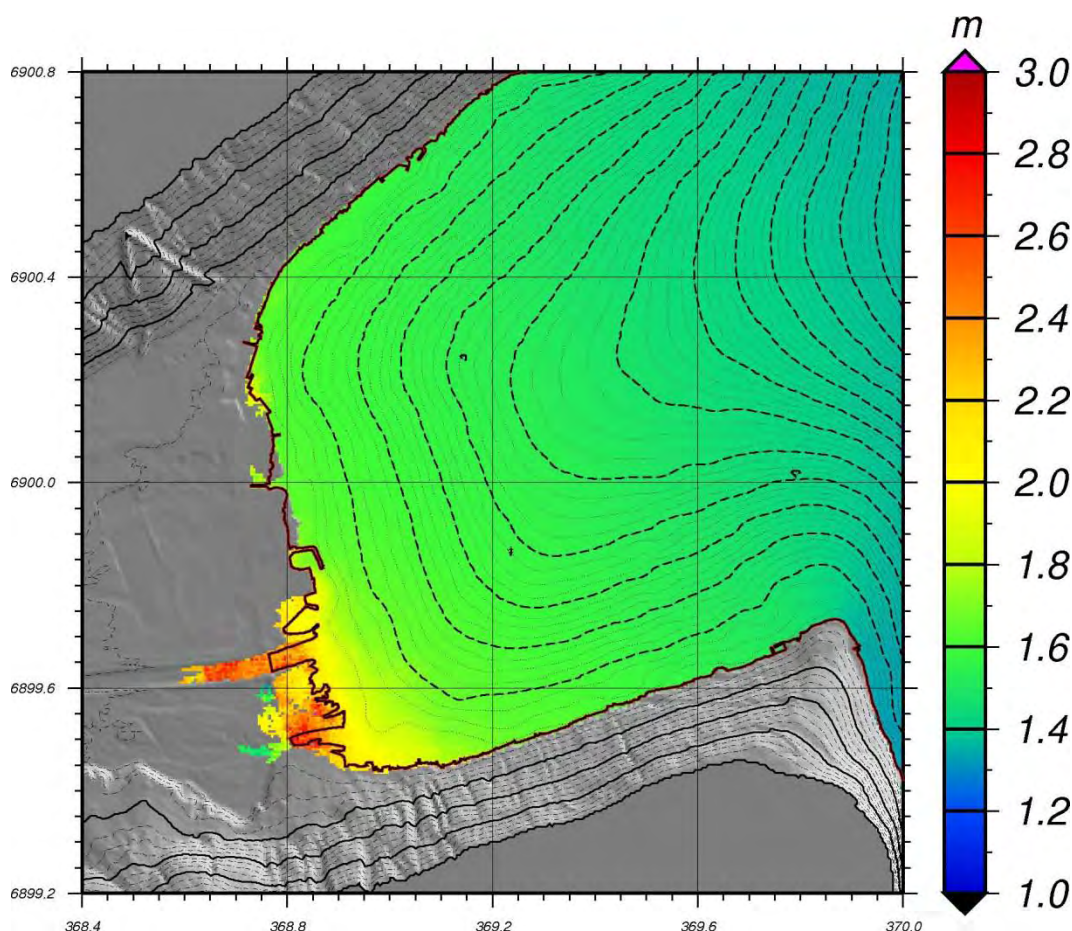
4.4.6 Lokasjon #6, Skår

Skår ligger sør for Sæbø (se lokasjon 7) ca. 23 km inn i Hjørundfjorden (vestside) hvor Hjørundfjorden deler seg i Norangsfjorden mot øst og Storfjorden mot sør. Fjorden her er noe over 300 m dyp. Terrenget på land er bratt (se foto i Vedlegg D, seksjon 6), og bolighus ligger i god høyde over fjorden. Bølgene beveger seg parallelt med strandlinjen og bølgehøyden i fjorden og oppskyllingsområdet er igjen tilnærmet lik. Den maksimale oppskyllingen for 1C og 2B er henholdsvis 2 og 1 m. Ankomsttiden er ca. 26 minutter.

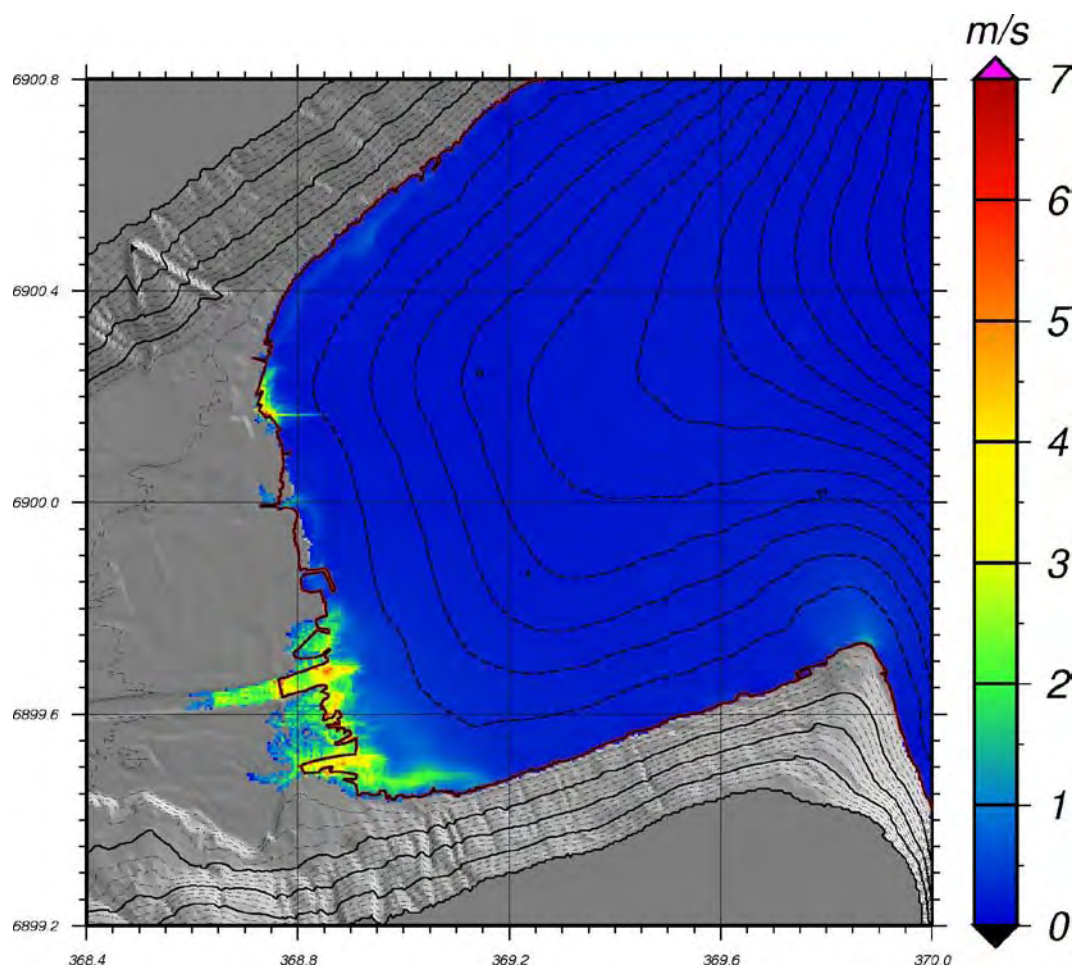
4.4.7 Lokasjon #7, Sæbø

Sæbø ligger i en ca. 2 km bred og ca. 1.5 km lang bukt ca 20 km inn langs vestsiden av Hjørundfjorden. Fjorden utenfor lokasjonen er ca. 400 m dyp, mens terrenget er stedvis helt flatt og slakt skrånende ut mot selve fjorden som er med

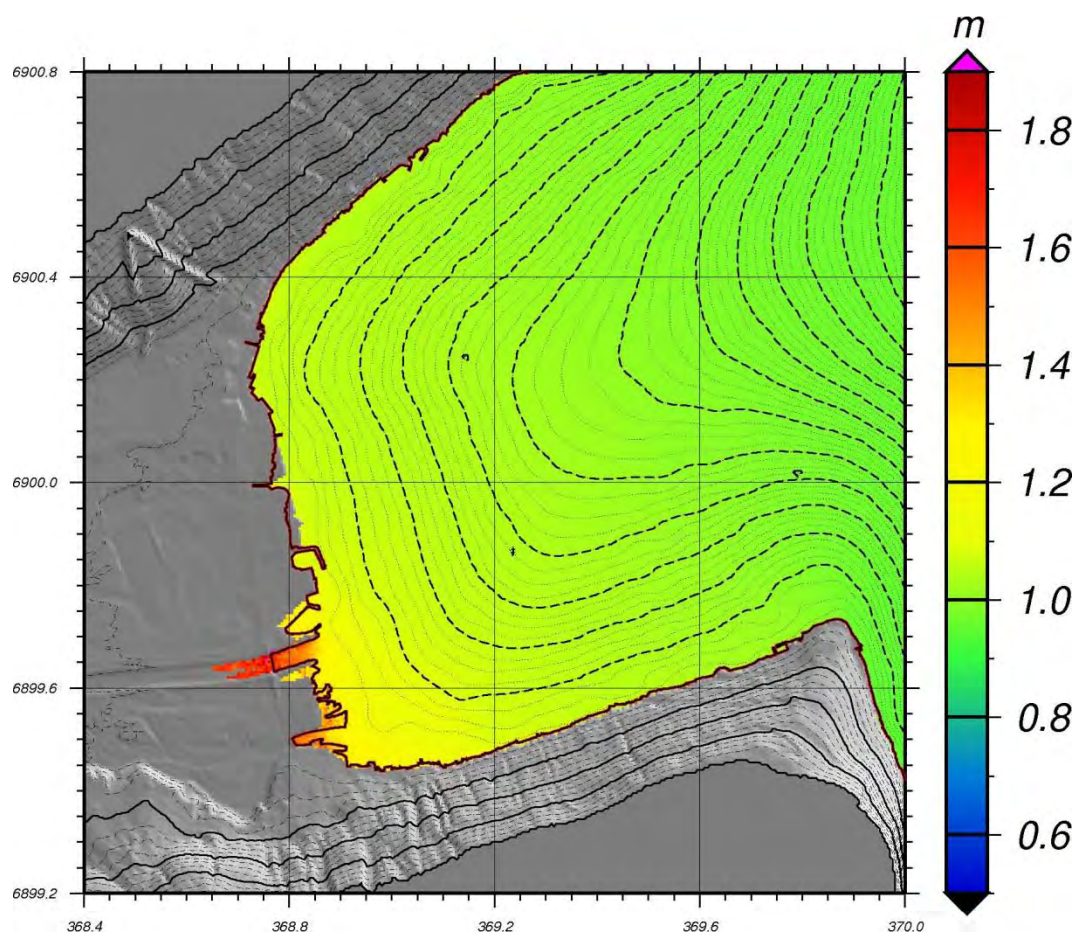
på å forsterke oppskyllingen. Bebyggelse i og nær faresonen ligger i hovedsak i selve sentrum. Bølgene i Hjørundfjorden blir avbøyd inn mot Sæbø og disse beveger seg mer eller mindre rett inn mot strandlinjen, noe som sammen med formen på bukta gjør at vi her får en større oppskylling enn ved de andre lokasjonene som ligger langs fjorden (og som ikke er lokalisert i fjordbunnene hvor bølgene blir ”fanget”). Den maksimale oppskyllingen for 1C og 2B er henholdsvis 2-3 og 1-2 m, se Figur 15 og Figur 17. For Sæbø er det også gjort beregninger av partikkelhastigheten (vannbevegelsen) under oppskyllingen. Den maksimale partikkelhastigheten er 4-5 og 2-3 m/s for henholdsvis 1C og 2B, se Figur 16 og Figur 18. Litt ut fra land går denne hastigheten kraftig ned. Oppskyllingslinjene er vist i Figur 19. Nyere fyllinger utenfor aldersheimen og nord for denne (se Figur 15 under) er tatt med i beregningene. Ankomsttiden er ca. 25 minutter.



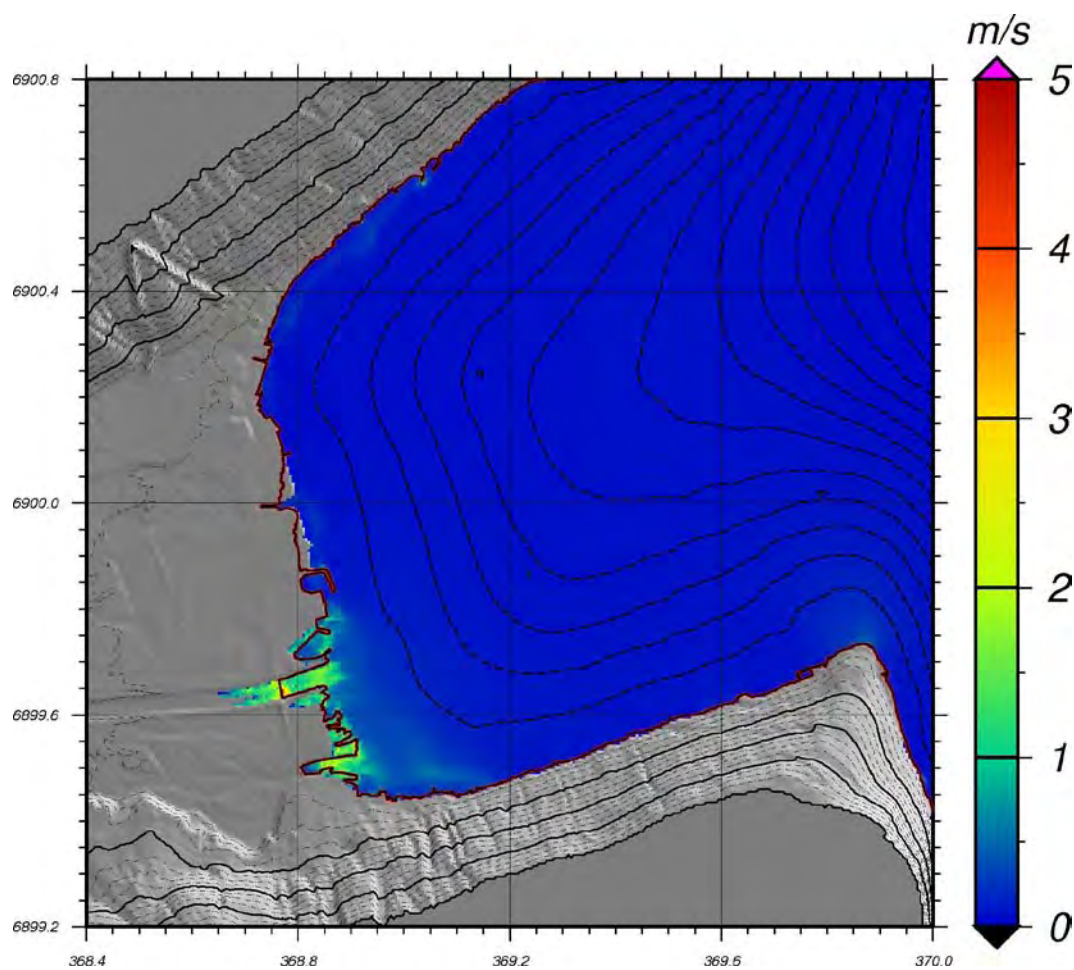
Figur 15: Overflatehevning/oppskyllingshøyde for lokasjon 7 (Sæbø), scenario 1C. Skalaen viser høyde over dagens middelvannstand inkludert en mulig framtidig havnivåstigning på 0.7 m. Dagens strandlinje er markert med en rød/svart linje. Nyere fyllinger kan sees som grå områder utenfor strandlinjen midt i bukta, nord for moloen.



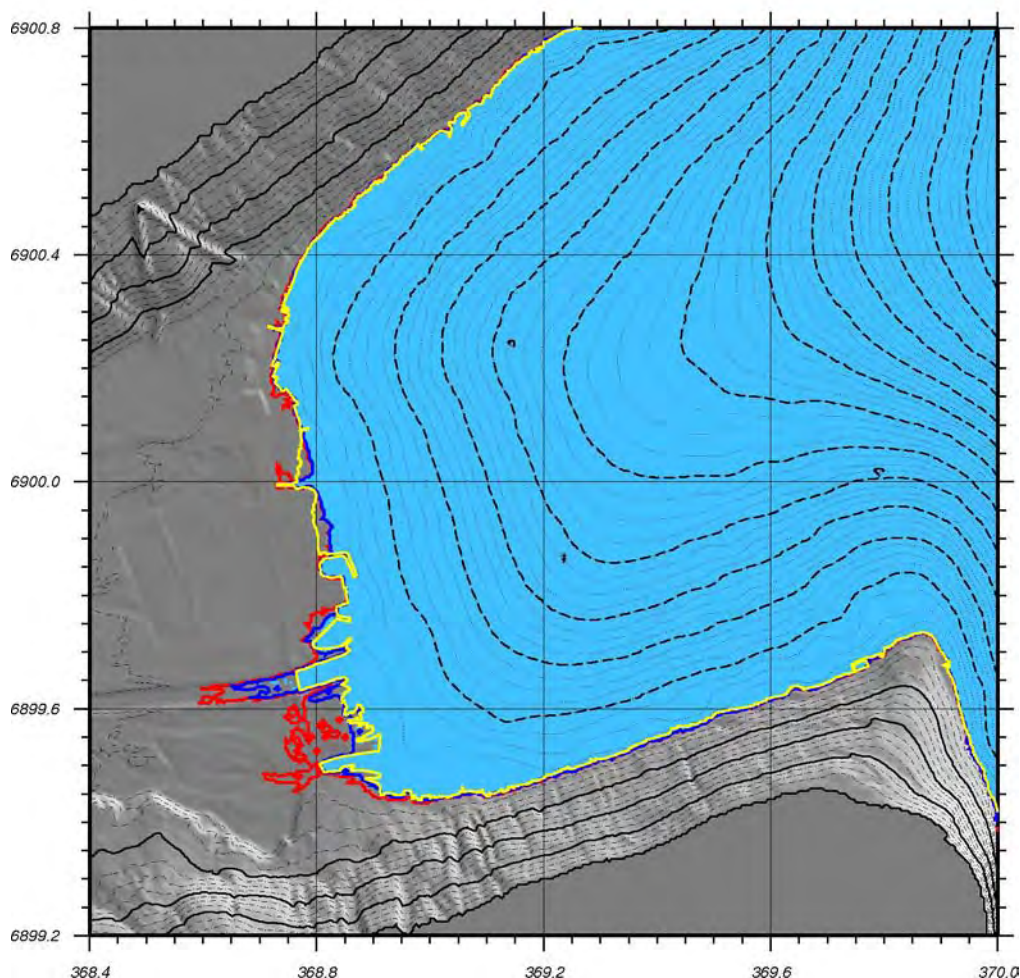
Figur 16: Maksimal vannhastighet for lokasjon 7 (Sæbø), scenario 1C. Skalaen viser hastighet i meter per sekund. Dagens strandlinje er markert med en rød/svart linje.



Figur 17: Overflatehevning/oppstyllingshøyde for lokasjon 7 (Sæbø), scenario 2B. Skalaen viser høyde over dagens middelvannstand inkludert en mulig framtidig havnivåstigning på 0.7 m. Dagens strandlinje er markert med en rød/svart linje.



Figur 18: Maksimal vannhastighet for lokasjon 7 (Sæbø), scenario 2B. Skalaen viser hastighet i meter per sekund. Dagens strandlinje er markert med en rød/svart linje.



Figur 19: Oppskyllingslinjer for Sæbø. Gul linje er dagens strandlinje, blå og rød linje er for henholdsvis 2B og 1C. Det lyseblå er det våte området (fjorden) i modellen før bølgene kommer inn (havnivåstigning på 0.7 m er inkludert).

4.4.8 Lokasjon #8, Store Standal

Denne lokasjonen ligger ca. 12 km inne i Hjørundfjorden (vestside). Fjorden utenfor er mer enn 400 m dyp. Terrenget ned mot fjorden er relativt bratt. Det ligger noen hus og flere naust helt ned mot fjorden. Under befaring ble det også observert et fiskeoppdrett i fjorden utenfor. Ved Store Standal vil bølgene i hovedsak bevege seg langs land, og medfører at den maksimale overflatehevningen i fjorden tilsvarer den største oppskyllingen på land. Den maksimale oppskyllingen for 1C og 2B er henholdsvis 2 og 1 m. Ankomsttiden er ca. 22 minutter

4.4.9 Lokasjon #9, Ytre Standal

Dette området ligger 5-10 km inn i Hjørundfjorden (vestside). Utenfor dette oppskyllingsområdet er fjorden mer enn 400 m dyp. Det er noen bygg nær fjorden, men terrenget på land er bratt (se Vedlegg D). Ved Saltre ble det observert et fiskoppdrettsanlegg i fjorden, mens det ved Ytre Standal ligger et landbasert fiskeoppdrettsanlegg helt nede ved fjorden. Bølgene beveger seg i hovedsak langs land. Den maksimale oppskyllingen for 1C og 2B er henholdsvis 2 og 1 m. Ankomsttiden er ca. 21 minutter.

4.4.10 Lokasjon #10, Skarbøen

Dette oppskyllingsområdet strekker seg fra Storfjorden i nord (i nærheten av Festøya fergekai) og litt over 5 km sørover inn i Hjørundfjorden (vestside). Her er fjorden over 400 m dyp. Terrenget på land er bratt, og det er i hovedsak naust som ligger tett ned mot fjorden. Bølgene beveger seg også her langs land. Den maksimale oppskyllingen for 1C og 2B er henholdsvis 2 og 1 m. Ankomsttiden er ca. 19 minutter.

4.4.11 Lokasjon #11, Festøya-Barstadvika

Denne lokasjonen ligger helt nord i Ørsta kommune (i Storfjorden) vest for innløpet til Hjørundfjorden (merk at Storfjorden her ikke må forveksles med Storfjorden innerst i Hjørundfjorden). Fjorden utenfor oppskyllingsområdet er opp mot 450 m dyp. I likhet med alle lokasjonene under er terrenget på land relativt bratt. Kombinert med at bølgene også her i hovedsak vil bevege seg langs land, så vil dette gi tilnærmet samme oppskyllingshøyde som overflatehevingen i fjorden. Den maksimale oppskyllingen for 1C og 2B er henholdsvis 2 og 1 m. Ankomsttiden er ca. 19 minutter.

NGI har tidligere gjort beregninger av oppskyllingshøyder ved Barstadvika, se NGI (2008b). Disse beregningene er gjort for et scenario på 35 mill. m³ og ga maksimalt 1.5 m oppskylling. Det ble ikke tatt hensyn til havnivåstigning her. Ut fra volum og havnivå er disse gamle beregningene noe mer konservative enn det vi har kommet fram til i denne rapporten siden volumet nå er vesentlig større. Se også avsnitt 4.4.2 over.

4.4.12 Lokasjon #12, mellom Barstadvika og Nordre Vartdal

Dette området ligger øst for lokasjon 11 ved inngangen til Vartdalsfjorden. Fjorden utenfor er på det dypeste rundt 440 m. Bølgene vil her bevege seg parallelt med strandlinjen. Den maksimale oppskyllingen for 1C og 2B vil være henholdsvis 2 og 1 m. Ankomsttiden er ca. 21 minutter.

4.4.13 Lokasjon #13, Nordre Vartdal

Nordre Vartdal ligger i Vartdalsfjorden. Utenfor lokasjonen er fjorden ca. 280 m dyp, og bølgene beveger seg også her parallelt med strandlinja. Den maksimale oppskyllingen for 1C og 2B er henholdsvis 2 og 1 m. Ankomsttiden er ca. 23 minutter.

4.4.14 Lokasjon #14, Vartdal

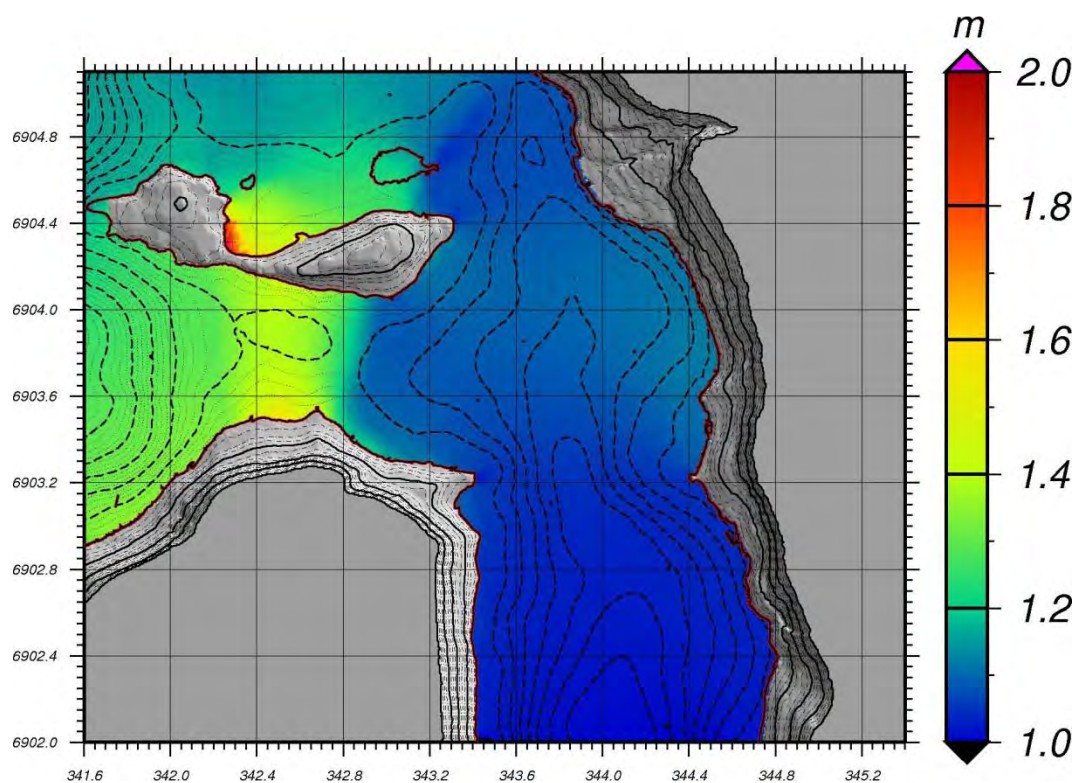
Denne lokasjonen ligger videre sørvestover i Vartdalsfjorden. Fjorden utenfor er ca. 320 m dyp. Bølgene beveger seg parallelt med strandlinjen. Den maksimale oppskyllingen for 1C og 2B er henholdsvis 2 og 1 m. Ankomsttiden er 25 minutter.

4.4.15 Lokasjon #15, Sør for Vartdal

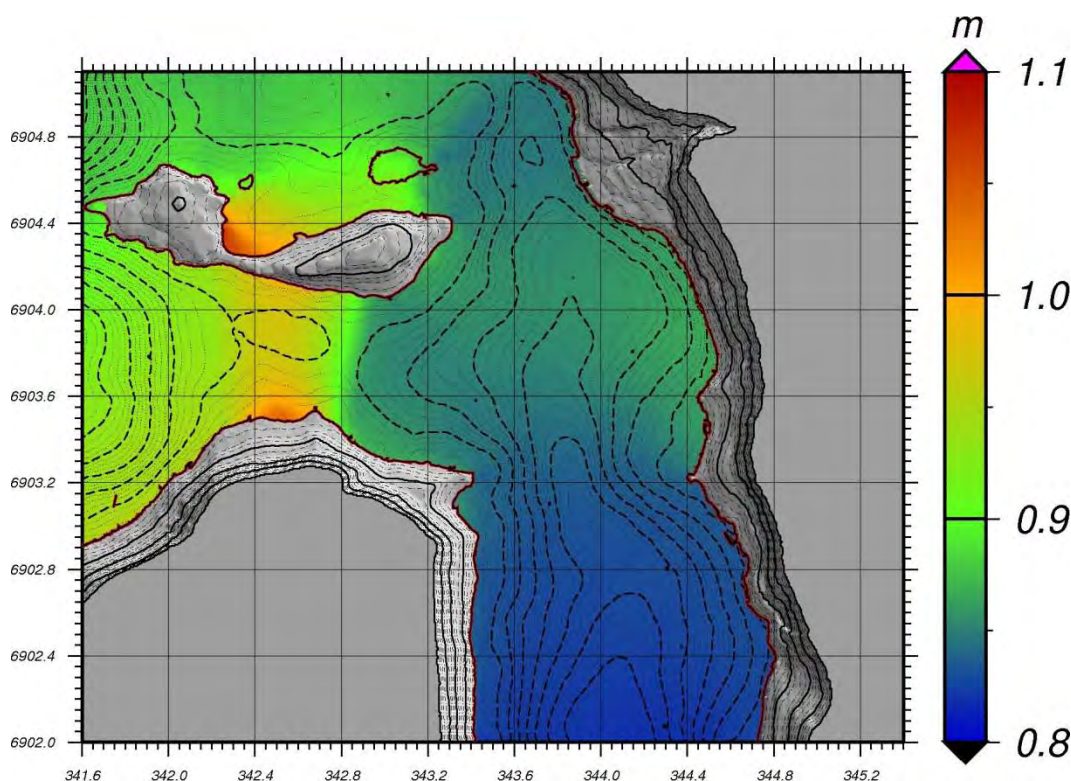
Sør for Vartdal er det spredt bebyggelse, se Vedlegg D – seksjon 15. Fjorden er her ca. 350 m dyp. Bølgene beveger seg parallelt med strandlinjen. Maksimal oppskylling for 1C og 2B er henholdsvis 1 og <1 m. Ankomsttid er ca. 27 min.

4.4.16 Lokasjon #16, Ytre deler av Ørstafjorden

I den ytre delen av Ørstafjorden er det grunt (terskel) og en del øyer. Fjorden her er ned mot 20-50 m dyp. Oppskyllingen varierer noe, med de høyeste verdiene på nordsiden av Raudøyna (bukta som fanger bølgene) og på fastlandet sør for denne (trangt mellom Raudøyna og fastlandet), se Figur 20 og Figur 21. Den maksimale oppskyllingen er her 1-2 m og 1 m for henholdsvis 1C og 2B. Ankomsttiden er 30 min.



Figur 20: Overflatehevning/oppskyllingshøyde for lokasjon 16 (ytre del av Ørstaffjorden), scenario 1C. Skalaen viser høyde over dagens middelvannstand inkludert en mulig framtidig havnivåstigning på 0.7 m. Dagens strandlinje er markert med en rød/svart linje.



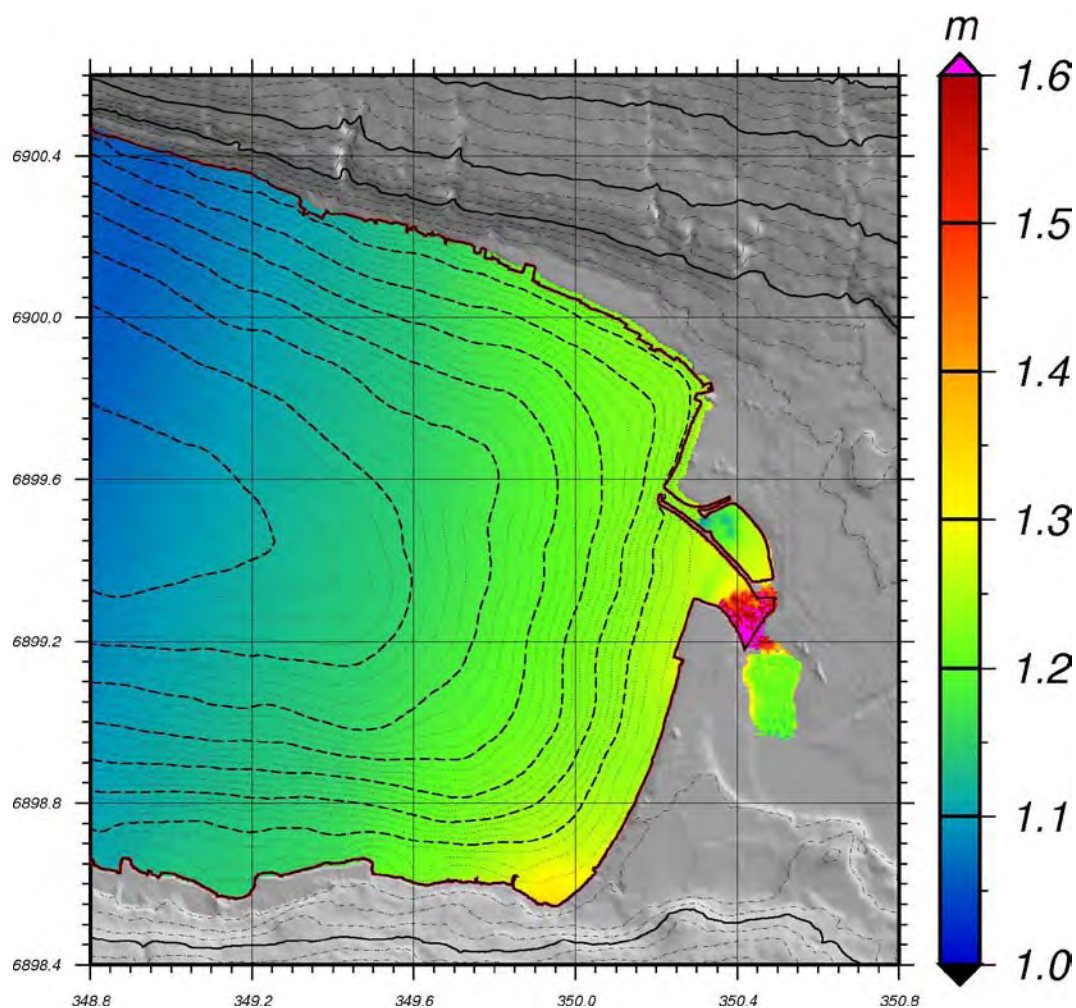
Figur 21: Overflatehevning/oppskyllingshøyde for lokasjon 16 (ytre del av Ørstaffjorden), scenario 2B. Skalaen viser høyde over dagens middelvannstand inkludert en mulig framtidig havnivåstigning på 0.7 m. Dagens strandlinje er markert med en rød/svart linje.

4.4.17 Lokasjon #17, Midtre delene av Ørstaffjorden

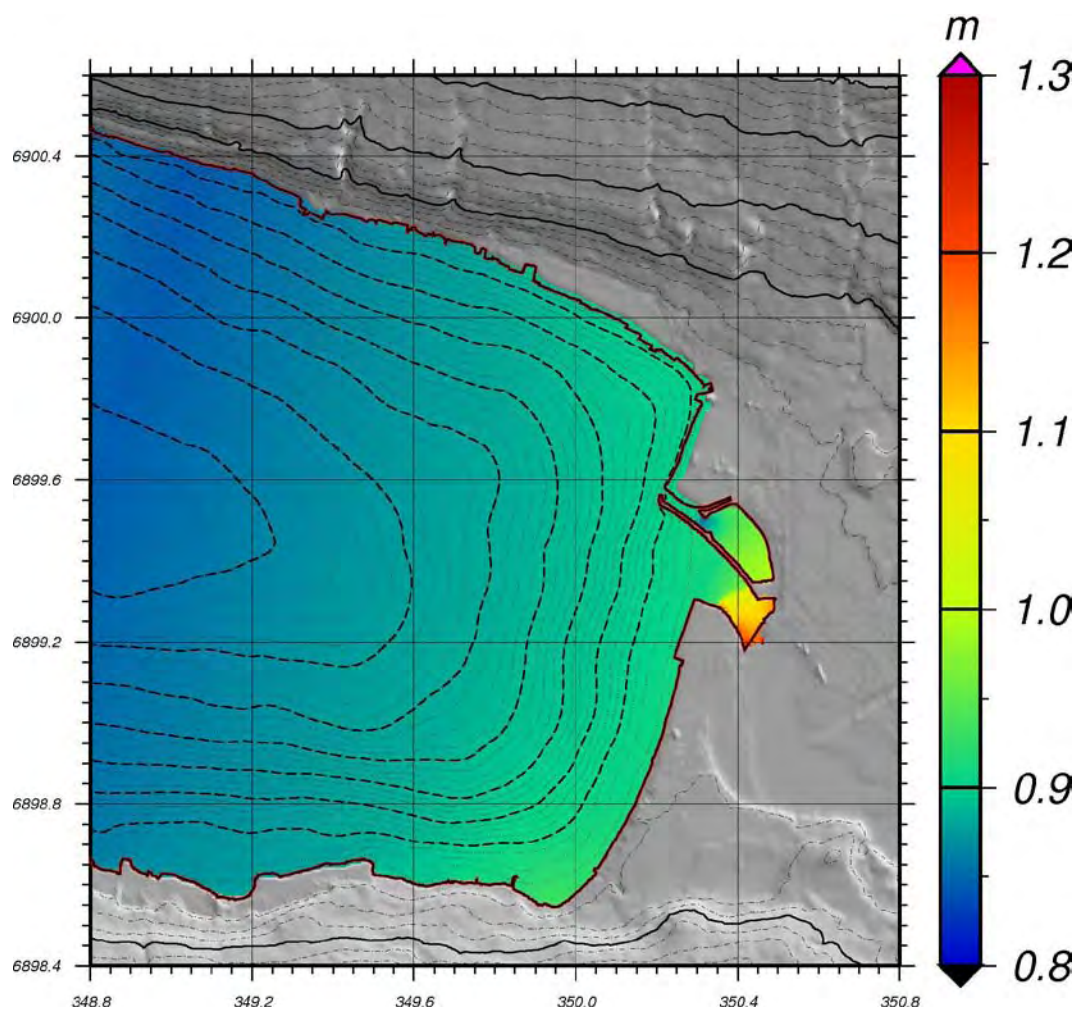
Den midtre delen av Ørstaffjorden er opp mot 170 m dyp. Bølgene beveger seg parallelt med land, og høyden nært land og ute i fjorden er tilnærmet like. Maksimal oppskylling er her ca. 1 og <1 m for henholdsvis 1C og 2B. Ankomsttiden er ca. 33 minutter.

4.4.18 Lokasjon #18, Ørsta sentrum

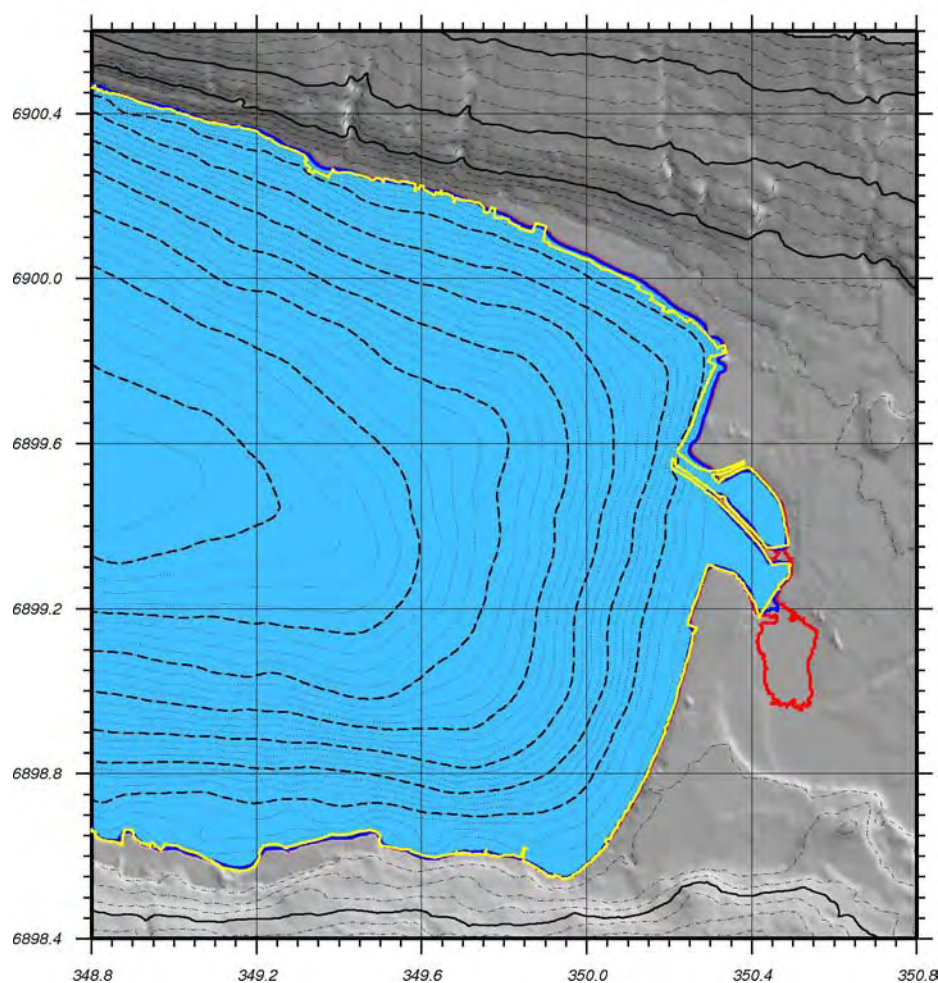
Utenfor Ørsta sentrum er fjorden opp mot 140 m dyp, dypet avtar raskt inn mot land. Bølgene blir her fanget av terrenget og forsterkes på vei inn mot land (normalt på strandlinja). Sterkest oppskylling får vi i forbindelse med elven, se Figur 22 og Figur 23. I Ørsta sentrum er det kun ved foten av moloen ved småbåthavna og for det største scenarioet (1C) at vannet trenger seg inn over land. Nord for småbåthavna trenger vannet ikke inn over land, men dataene er her påvirket av glattingen beskrevet i avsnitt 4.1 slik at strandlinjen i modellen ligger noen meter inn på land. Oppskyllingen for 1C og 2B er maksimalt henholdsvis 1-2 og 1 m. Ankomsttiden for Ørsta sentrum er ca. 35 minutter.



Figur 22: Overflatehevning/oppskyllingshøyde for lokasjon 18 – Ørsta sentrum, scenario 1C. Skalaen viser høyde over dagens middelvannstand inkludert en mulig framtidig havnivåstigning på 0.7 m. Dagens strandlinje er markert med en rød/svart linje.



Figur 23: Overflatehevning/opp skylingshøyde for lokasjon 18 – Ørsta sentrum, scenario 2B. Skalaen viser høyde over dagens middelvannstand inkludert en mulig framtidig havnivåstigning på 0.7 m. Dagens strandlinje er markert med en rød/svart linje.



Figur 24: Oppskyllingslinjer for Ørsta sentrum. Gul linje er dagens strandlinje, blå og rød linje er for henholdsvis 2B og 1C. Det lyseblå er det våte området (fjorden) i modellen før bølgene kommer inn (havnivåstigning på 0.7 m er inkludert).

5 Referanser

- DSB (2009) Havnivåstigning: Estimer av framtidig havnivåstigning i norske kystkommuner. Revidert utgave (2009). Utgitt av: Det nasjonale klimatilpasningssekretariatet ved Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, september 2009.
- NGI (2008a) Flodbølge fra Åkneset – påvirkning på fiskeoppdrettsanlegg i Urke, Ørsta kommune. NGI rapport 20081633-1.
- NGI (2008b) Flodbølge fra Åkneset – innvirkning på oppdrettsanlegg i Barstadvik, Møre. NGI rapport 20071923-1.
- NGI (2008c) Tsunami impact in the outer part of Storfjorden, testing of numerical models for rock slide and tsunami, coupling to laboratory experiments. NGI report 20051018-2.

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.

SINTEF (2008). Notat – rasmodell, dated 2008-09-12.

Åknes/Tafjord (2011). Åknes/Tafjord Beredskap IKS v/Lars Harald Blikra: Scenarios for tsunami modellering. Revidert utgave 05.2011.



Dokumentnr.: 20110232-00-1-R

Dato: 2011-11-15

Side: 1

Vedlegg: A

Vedlegg A - Om flodbølger generert av fjellskred

Innhold

1 Om flodbølger generert av fjellskred

2

1 Om flodbølger generert av fjellskred

Skred som faller i fjorder eller innsjøer genererer tyngdebølger som normalt fortoner seg som en mellomting mellom dønninger og tidevann. Flodbølger generert av skred inngår i den type bølger som gjerne betegnes "tsunamis".

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.

Bølgens karakteristika avhenger av skredets volum, form og hastighet, så vel som av vanddypet. I de tilfeller der karakteristisk overflatehevning er mye mindre enn vanddypet vil enklere, lineære likninger for bølgeforplantningen være gyldige. Utgjør derimot den karakteristiske overflatehevningen 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 horisontalhastigheten 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 framtreddende. 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, interferens, fokusering, og amplifikasjon.

Amplifikasjonsfaktoren, dvs. forholdet mellom oppskyllingshøyden og overflatehevningen for innkommende bølge på dypt vann, er hovedsaklig 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 langs land parallelt med strandlinja og i fjordbunnene 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 (innsnevringen).

Fjellskred kan medføre store svingninger i innelukkede fjorder eller innsjøer. Dette kan arte seg som en serie av innkommende bølger der den første ikke nødvendigvis er størst. Bølgebevegelsen kan vare i timevis.

Vedlegg B - Om beregningsmodellene

Innhold

1	Om bakgrunnsdataene	2
2	Bølgemodellen GloBouss	2
3	Oppskyllingsmodellen MOST	3
4	Referanser	4

1 Om bakgrunnsdataene

For området mellom Åknes og Stordal er batymetri og topografi levert av Norges Geografiske Undersøkelse (NGU). Disse dataene er basert på flere datasett med oppløsning på 3-6 m. Topografi og batymetri er sammenstilt og interpolert over på et uniformt gitter med oppløsning på 5 m ved NGU. I beregningene av forplantningen av flodbølgene er dataene videre interpolert over på et 50 m uniformt grid. For dette datasettet kan man ved strandlinjen få kunstige effekter på grunn av ulik vertikal datum på batymetri ("sjøkartnull") og topografi (NN1954) samt punkter som mangler data. Forskjellen mellom de to referansene er ca. 1,20 m i dette området, noe som i denne sammenheng (kun for beregning av bølgeforplantning) er ubetydelig. Mellom NN1954 og middelvannstand (MSL) er forskjellen vesentlig mindre (av størrelsesorden noen få centimeter).

Videre ut fra Stordal er batymetrien basert på de beste tilgjengelige datasettene fra Statens kartverk Sjø, som i dette tilfellet har vesentlig grovere oppløsning enn i de godt kartlagte indre områdene av Storfjorden. For beregninger av flodbølge utbredelsen i dypt vann er likevel nøyaktigheten av disse dataene tilstrekkelig. Disse dataene er levert av NGU og er i likhet med dataene for de indre områdene sammenstilt med høydeverdiene på land (i praksis benyttes kun strandlinjen, da oppskylling ikke beregnes her). Høydeverdiene på land er også basert på data levert av NGU. Sammenstillingen av dybde-dataene og høydeverdiene på land er interpolert inn på et 50 m uniformt grid. For å unngå falske våte områder innenfor strandlinjen er minste høyde på land satt til 0,5 m. På samme måte er minste dyp på sjøsiden av strandlinjen satt til 0,5 m for å unngå falske tørre områder i fjorden.

For 17 av de 18 beregningsområdene i Ørsta kommune, er høyoppløselige topografiske data levert av Fylkesmannen i Møre og Romsdal (data langs 1 m koter). For Sæbø har Statens Kartverk levert høyoppløselig data fra laserskanning av området i 2009. Utenfor oppskyllingssonene er det anvendt dybde-data levert av NGU (se over). Ved sammenstilling av høydedata på land og dybde-data har vi her også satt minste verdien på land og dyp til 0,5 m. På denne måten får vi en veldefinert strandlinje som følger den reelle strandlinjen så godt som mulig. I siste omgang er havnivået hevet 0,7 m i henhold til mulig framtidig havnivåstigning. Alle dataene er gitt i kartprojeksjon UTM 32.

2 Bølgemodellen GloBouss

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

Ikke-lineære flodbølgemodeller kan bli instabile når bølgedalene blir så dype at fjordbunnen blir tørrlagt. Et vanlig grep er å øke vanddyppet der dette skaper problemer, slik som nær skredområdet og langs land. I beregningene våre for Storfjorden er det brukt et såkalt terskeldyp på 20 m i den delen av beregningsområdet som er mer enn ca. 4 km fra skredområdet. Det vil si at dyp grunnere enn denne verdien er satt til 20 m. I tillegg er det utenfor Åknes satt en terskelverdi på 300 m med en lineært avtagende verdi til 20 m fire kilometer unna, men fortsatt er det kun dyp grunnere enn terskelverdien på det aktuelle stedet som er korrigert.

Til tross for bruk av terskeldyp som er beskrevet over, vil de ikke-lineære leddene i modellen kunne gi instabile løsninger når modellen kjøres over lengre tid (reell tid). Dette gjelder særlig for de største scenarioene fra Åknes. Bølgemodellen er derfor kjørt uten å ta hensyn til ikke-lineariteter (kun dispersive effekter). Numeriske tester viser igjen at dette har lite å si på det overordnede resultatet siden ikke-lineære effekter ikke er avgjørende for denne delen av beregningene. NGI (2008) viser også at i genereringsfasen er dispersive effekter mye viktigere enn ikke-lineære effekter.

GloBouss er med godt resultat sammenlignet med analytiske løsninger og andre numeriske modeller, se Pedersen og Løvholt (2008) og NGI (2008). Den har også gitt veldig gode resultater i forbindelse med Åknes/Tafjord-prosjektet hvor den er sammenliknet med skalamodellen av Sunnylvs- og Geirangerfjorden ved SINTEF Kyst- og havneteknikk i Trondheim, se under.

For mer informasjon om modellen henviser vi til Løvholt og Pedersen (2008). Beregningene i åpent farvann (propageringsfasen) er gjort med en romlig oppløsning på 100 m. Se for øvrig konvergenstest i Vedlegg C.

3 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 bølgeforplantning (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 gjør beregninger i de gitte beregningsområdene (lokasjonene). I tillegg må data for vanddypp og terreng for beregningsområdet til MOST være gitt i forskjellige oppløsninger fra 5 m til 40 m siden MOST må løse oppskyllingen i tre gittere med stadig finere oppløsning. Modellen er beskrevet av Titov og Gonzalez (1997).

De opprinnelige dybde-dataene og terrengdata er gitt i UTM 32. Siden MOST kun kan regne i geografiske koordinater, blir inngangsdataene projisert fra UTM 32 til geografiske koordinater.

Modelloppsettet (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. Resultatene er oppsummert av NGI (2010), mens laboratorieforsøkene er beskrevet av SINTEF (2008).

4 Referanser

- 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 (2008). Semi-annual report: Comparison of 1HD numerical simulations and laboratory experiments; coupling between 3D laboratory and numerical model; sensitivity analyses; the tsunami impact in the outer part of Storfjorden. NGI rapport 20051018-2.
- NGI (2010). 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.
- 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



Dokumentnr.: 20110232-00-1-R
Dato: 2011-11-15
Side: 1
Vedlegg: C

Vedlegg C - Konvergenstest

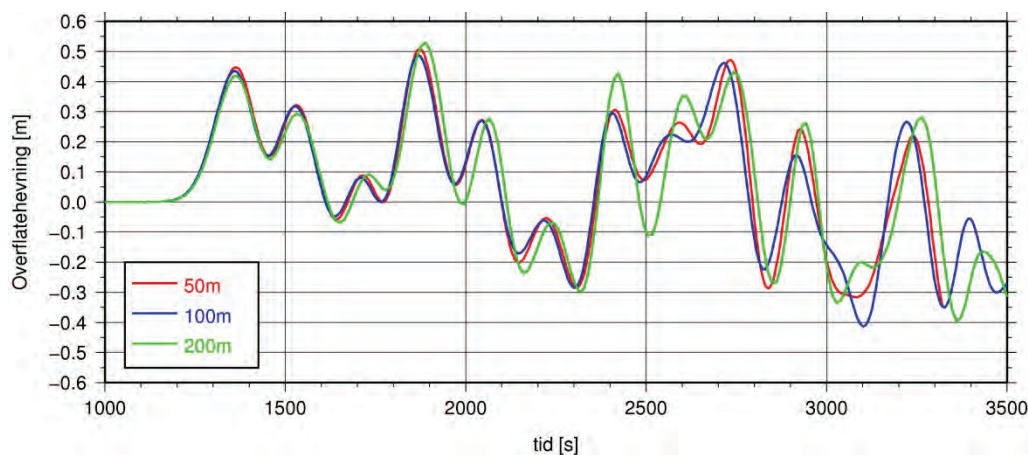
Innhold

1 Konvergenstest for kontroll av nøyaktighet	2
---	----------

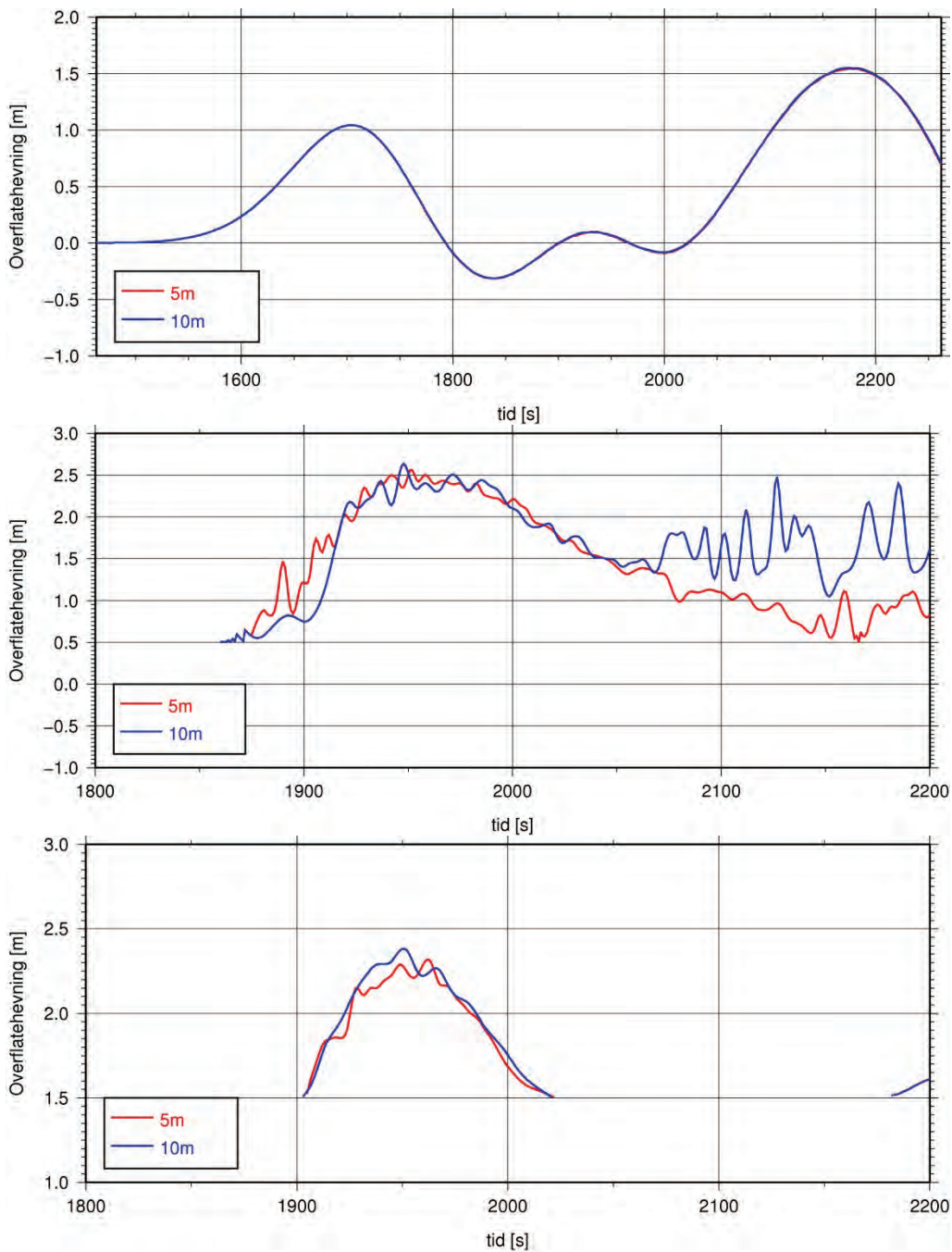
1 Konvergenstest for kontroll av nøyaktighet

Bølgelikningene løses numerisk ved at hele beregningsområdet deles opp i et finmasket nett, deretter beregnes bølgehøyde og strømhastighet i hver enkelt nettmåske eller celle. Ved å sammenlikne beregninger med ulik maskevidde kan vi måle nøyaktigheten til beregningene og den såkalte konvergensten til metoden. Konvergensten oppnås dersom beregningene går mot den samme løsningen for finere og finere nett. I Figur C1 har vi presentert tidsserier fra GloBouss (bølge modellen) simuleringer med forskjellig maskevidde i et punkt med 430 m dyp i fjordkrysset utenfor Hareid. Resultatene er vist for scenario 1C (54 Mm³) og gjenspeiler en god konvergensten for ledende bølge for løsningene fra maskevidde 50 og 100 m, mens det for de påfølgende bølgene divergerer noe, spesielt med tanke på 200 m maskevidde. For ledende bølge er forskjellen på det meste ca. 2.5 % mellom løsningene med henholdsvis 50 og 100 m maskevidde. Konvergensten for oppskyllingsmodellen (MOST) for området ved Øye i Norangsfjorden er vist i Figur C2. I fjorden konvergerer løsningene med oppløsning 5 og 10 m meget bra. Det er også tilstrekkelig konvergensten for punktene på land. I beregningene er det anvendt en maskevidde på 100 m for GloBouss og 5 m (det fineste nettet, "A-nettet") for MOST.

Konklusjonen er at vi har brukt konvergente løsninger, både for bølge- og oppskyllingsberegningene.



Figur C1. Konvergenstest av GloBouss i fjordkrysset utenfor Hareid for scenario 1C. Vanndypet her er ca. 430 m.



Figur C2. Konvergenstest av MOST modellen ved Øye innerst i Norangsfjorden for scenario 1C. I øverste panel er målingene gjort like utenfor strandlinjen, mens for de to nederste figurene er målingene gjort på land henholdsvis 0.5 m og 1.5 m over middelvannstand.

Vedlegg D - Foto fra befaring

Innhold

1	Trandal	2
2	Lekneset-Urke	3
3	Norangsfjorden – Øye	5
4	Viddal	7
5	Bjørke-Finnes	9
6	Skår	12
7	Sæbø	13
8	Store Standal	15
9	Ytre Standal	18
10	Skarbøen	22
11	Barstadvika-Festøy	23
12	Mellom Barstadvika og Nordre Vartdal	26
13	Nordre Vartdal	27
14	Vartdal	29
15	Sør for Vartdal	31
16	Ytre delen av Ørstafjorden	33
17	Midtre delen av Ørstafjorden	35
18	Ørsta sentrum	36

1 Trandal



Figur 1: Trandal.

2 Lekneset-Urke



Figur 2: Lekneset



Figur 3: Fiskeoppdrettsanlegget ved Urke, sett innover mot Øye (Norangsfjorden).



Figur 4: Nordsiden av Urke, sett mot sørvest. Skår sees i bakgrunnen.

3 Norangsfjorden – Øye



Figur 5: Norangsfjorden med Øye innerst. Garden Stenes sees i høyre bildekant.



Figur 6: Innover mot Øye i Norangsfjorden.



Figur 7: Strandsonen ved Øye i Norangsfjorden.

4 Viddal



Figur 8: Fra Viddal sørover mot tunnelåpning fra Bjørke.



Figur 9: Fra tunnelåpning mot Viddal.



Figur 10: Viddal sett fra sør.



Figur 11: Bygninger langs sjøen lengst nord i Viddal.

5 Bjørke-Finnes



Figur 12: Området ved Bjørke kirke.



Figur 13: Innerst i fjorden ved Bjørke.



Figur 14: Ved tunnelinngangen ved Bjørke (mot Viddal).



Figur 15: Finnes, oversikt. Tatt fra Bjørke mot nord.



Figur 16: Finnes.

6 Skår



Figur 17: Skår sett rett nordfra.



Figur 18: Skår i bakgrunnen (rød ring), sett fra fjorden utenfor Sæbø.

7 Sæbø



Figur 19: Nordlige del av Sæbø.



Figur 20: Området rundt fergekaia ved Sæbø.



Figur 21: Sørliche del av Sæbø sentrum med alders og sykehjemmet i bakgrunnen.

8 Store Standal



Figur 22: Stavset nord for Store Standal, sett mot sør. Store Standal i bakgrunnen.



Figur 23: Store Standal. Fergekaia ligger til høyre for bildet.



Figur 24: Store Standal sett mot nord. Fergekaia sees i venstre bildekant bortenfor elveutløpet.



Figur 25: Bolighus ved Store Standal.



Figur 26: Fiskeoppdrettsanlegg lokalisert utenfor Store Standal.

9 Ytre Standal



Figur 27: Saltre sett mot sør.



Figur 28: Bolighus ved Saltre sett mot sørøst.



Figur 29: Området fra Saltre og nordover i retning Festøya/Skarbøen.



Figur 30: Fiskeoppdrettsanlegg ved Saltre.



Figur 31: Foto fra Klubbeneset sett mot sør. Årsneset sees i bakgrunnen.



Figur 32: Sørover fra Årsneset.



Figur 33: Ytre Standal.



Figur 34: Landbasert fiskeoppdrettsanlegg ved Ytre Standal.

10 Skarbøen



Figur 35: Skarbøen med Saltre i bakgrunnen, sett mot sør.

11 Barstadvika-Festøy



Figur 36: Ved Festøya fergekai.



Figur 37: Festøya fergekai sett fra ferga.



Figur 38: Området sørøst for Festøy fergekai.



Figur 39: Barstadvika sett fra sør. Profunda AS med nybygg (rød hall) i forgrunnen.



Figur 40: Naust ved Barstadvika, sett mot nordøst.



Figur 41: Barstadvika sett fra nordøst.

12 Mellom Barstadvika og Nordre Vartdal



Figur 42: Bebyggelse mellom Barstadvika og Nordre Vartdal, bilde tatt mot sør-vest.



Figur 43: Som over, men bilde tatt noe lenger sør-vest (ut i fjorden).

13 Nordre Vartdal



Figur 44: Nordre Vartdal, med Vartdal Helsetun i bakgrunnen, sett fra kirka mot sørvest.



Figur 45: Nordre Vartdal, småbåthavna, sett mot øst.



Figur 46: Kirka ved Nordre Vartdal, Vartdal helsetun sees i bakgrunnen.

14 Vartdal



Figur 47: Vartdal sett fra sørvest.



Figur 48: Industriområde nordvest i Vartdal.



Figur 49: Kaiområde ved Vartdal sentrum.

15 Sør for Vartdal



Figur 50: Område sør for Vartdal.



Figur 51: Småbåthavn ved Rjåneset, bildet tatt mot øst.



Figur 52: Ved Rjåneset, bilde tatt fra småbåthavna mot nord-vest.

16 Ytre delen av Ørstafjorden



Figur 53: Industriområde ved Liadal. Bildet tatt mot nord.



Figur 54: Industriområde ved Liadal sett fra Steines.



Figur 55: Bebyggelse ved Sandvika. Bilde tatt mot sør.



Figur 56: Steinnes sett fra Liadal.

17 Midtre delen av Ørstafjorden



Figur 57: Fra Lianeset inn mot Ørsta sentrum.



Figur 58: Sørheim sett fra motsatt side av Ørstafjorden.

18 Ørsta sentrum



Figur 59: Fra nordlige del av Ørsta sentrum, mot vest.



Figur 60: Fra Ørsta sentrum mot nord-vest.



Figur 61: Kjøpsenter i Ørsta sentrum.



Figur 62: Fra Ørsta sentrum, mot sør-øst.



Figur 63: Strandlinje nedenfor kjøpesenteret, mot sør.



Figur 64: Strandlinje nedenfor kjøpesenteret, mot nord.



Figur 65: Industriområde på sør-vestsiden av Ørsta sentrum (1).



Figur 66: Industriområde på sør-vestsiden av Ørsta sentrum(2).



Figur 67: Industriområde på sør-vestsiden av Ørsta sentrum(3).



Figur 68: Industriområde på sør-vestsiden av Ørsta sentrum(4).

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information													
Dokumenttittel/Document title Ørsta kommune – flodbølger etter skred fra Åknes: Beregning av oppskylling						Dokument nr./Document No. 20110232-00-1-R							
Dokumenttype/Type of document		Distribusjon/Distribution				Dato/Date 2011-11-15							
<input checked="" type="checkbox"/> Rapport/Report		<input type="checkbox"/> Fri/Unlimited				Rev.nr./Rev.No.							
<input type="checkbox"/> Teknisk notat/Technical Note		<input checked="" type="checkbox"/> Begrenset/Limited											
		<input type="checkbox"/> Ingen/None											
Oppdragsgiver/Client Ørsta kommune													
Emneord/Keywords Flodbølge, oppskylling, modellering, skred, Åknes													
Stedfesting/Geographical information													
Land, fylke/Country, County Norge, Møre og Romsdal						Havområde/Offshore area							
Kommune/Municipality Ørsta						Felt navn/Field name							
Sted/Location 18 lokasjoner i Vartdalsfjorden og Hjørundfjorden						Sted/Location							
Kartblad/Map 1119 II Volda, 1219 III Hjørundfjord, 1219 IV Sykkulven, 1119 I Ålesund						Felt, blokknr./Field, Block No.							
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone 32 N6899571 E350448													
Dokumentkontroll/Document control													
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001													
Rev./ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision					Egen- kontroll/ Self review av/by:		Sidemanns- kontroll/ Colleague review av/by:		Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:		Tverrfaglig kontroll/ Inter- disciplinary review av/by:	
0	Originaldokument					SGL		CH					
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release				Dato/Date			Sign. Prosjektleder/Project Manager						

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002 og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in 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 oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002 and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

www.ngi.no



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsvelen 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 1230 Pirsenteret
NO-7462 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281 /IBAN NO26 5096 0501 281
Org. nr/Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989