

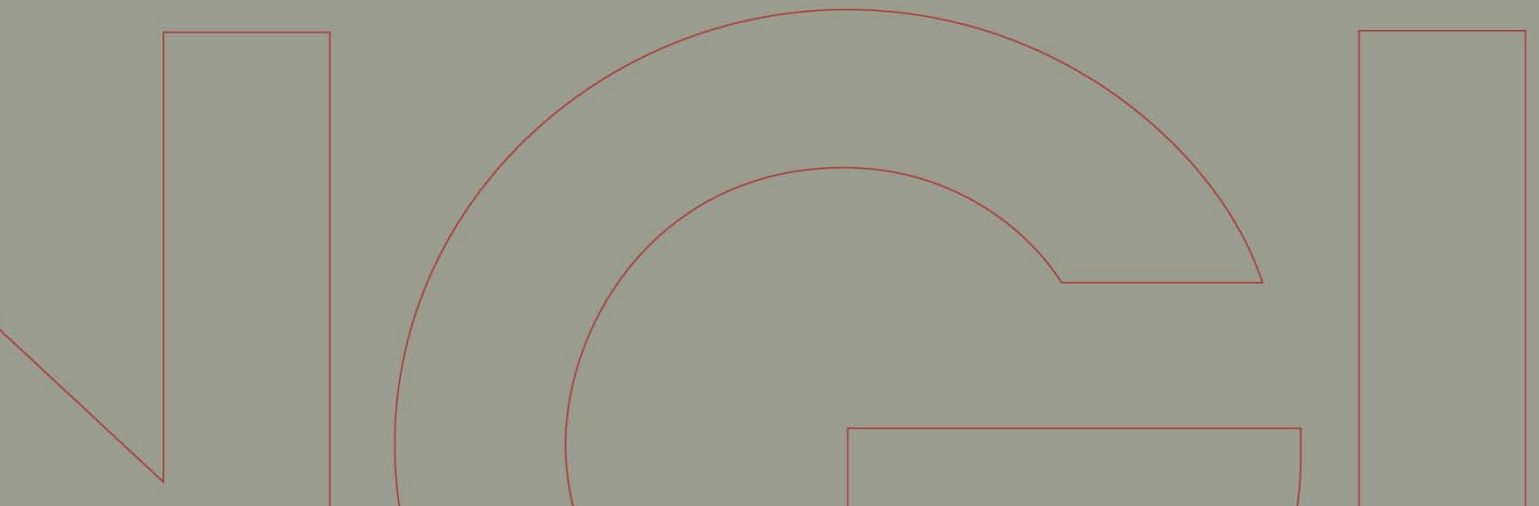


Rapport / Report

Ørskog kommune – flodbølgeberegninger Sjøholt

Beregning av oppskylling ved nytt bygg på gnr/bnr 97/162 og 97/404

20120425-00-1-R
6. juni 2012



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: Ørskog kommune – flodbølgeberegninger
Sjøholt
Dokumentnr.: 20120425-00-1-R
Dokumenttittel: Beregning av oppskylling ved nytt bygg på
gnr/bnr 97/162 og 97/404
Dato: 6. juni 2012

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Pirsenferet
7462 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Sjøholt Næringsbygg AS
Oppdragsgivers
kontaktperson: Erling Keiseraas
Kontraktreferanse: Oppdragsbekreftelse signert 2012-05-04

For NGI

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

Sammendrag

På oppdrag fra Sjøholt Næringsbygg AS har NGI gjort detaljerte oppskyllingsberegninger av flodbølger for et scenario med fjellskred på 54 mill. m³ (sikkerhetsklasse S3 med største nominelle årlige sannsynlighet på 1/5000) fra Åknes. Området som er vurdert er gnr/bnr 97/162 og 97/404 i Sjøholt sentrum, Ørskog kommune.

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

Etter anbefaling fra NVE og Fylkesmannen i Møre og Romsdal, er det i oppskyllingsberegningene gitt et tillegg for antatt fremtidig havnivåstigning på 0,7 m (d.v.s. 0,7 m over dagens middelvannstand).

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

Sammendrag (forts.)



Dokumentnr.: 20110232-00-1-R

Dato: 2012-06-06

Side: 4

Etter ytterligere anbefaling fra NVE, kan situasjonen for den aktuelle tomte vurderes som en flomsituasjon. Med sikring av tomte ved hjelp av en 1m høy mur nord, vest og sør for tomte (alternativ 2) eller formet som en plog med retning mot vest (alternativ 4), vil verdiene på partikkelhastighet og oversvømmelseshøyde under oppskylling være under grenseverdiene brukt i sikkerhetsklasse F2. Sikkerheten er da ivaretatt i kombinasjon mellom sikkerhetsklassene F2 og S3. På denne måten anvendes §7.3 og ikke §7.4 i Teknisk forskrift, se DIBK (2011). Fra NGI's side er det viktig å understreke at vi, basert på våre erfaringer, ikke ville vurdert dette område som trygt for liv og helse uten tilstrekkelig varslings. Ankomsttid for bølgene er 13 minutter etter at skredet har gått i fjorden.

Fra våre beregninger ser vi at det vil være en fordel om muren mot vest er vinklet slik som i alternativ 4. På den måten blir det mindre oppstuvning av vann, siden vannet da i større grad blir ledet bort (mot sørsiden av tomte). Om alternativ 2 velges, vil det være fordelaktig om muren mot vest blir vinklet slik som alternativ 4 (dvs. samme retning som sidevegg til bygget).

Det er viktig å påpeke at det under en oppskylling sannsynligvis vil oppstå drivgods som kan gjøre mer skade enn selve vannet. Videre må man også ta hensyn til erosjon rundt bygg og sikringstiltak. Bygget på den aktuelle tomte er for øvrig godt forankret med pæler ned til fast grunn.

Rømningsveier bør sikres slik at det er mulig å komme seg ut selv med vann utenfor.

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.

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>).

Innhold



Dokumentnr.: 20110232-00-1-R
Dato: 2012-06-06
Side: 5

1	Innledning	6
1.1	Bakgrunn	6
1.2	Anvendte begreper og metoder	8
2	Kort beskrivelse av bunnforhold og topografi	9
3	Skredvolumer og dynamikk	9
4	Bølgeberegninger	10
4.1	Om beregningsområdet og beregningsmodellene	10
4.2	Bølgeutbredelse	11
4.3	Generelt om oppskylling	12
4.4	Oppskyllingsberegninger	13
5	Konklusjon	23
6	Referanser	23

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 Sjøholt Næringsbygg AS har NGI gjort detaljerte oppskyllingsberegninger av flodbølger for et scenario med fjellskred på 54 mill. m³ (sikkerhetsklasse S3 med største nominelle årlige sannsynlighet på 1/5000) fra Åknes. Området i Sjøholt sentrum (Ørskog kommune) som er vurdert er gnr/bnr 97/162 og 97/404, se Figur 1 til Figur 3.

Volum, utfallsområde, dynamikk og sannsynligheter for hvert av skredene er gitt gjennom Åknes-Tafjord prosjektet, se ÅTB (2011) og NGI (2011).

Etter anbefaling fra NVE og Fylkesmannen i Møre og Romsdal, 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 framtidig havnivåstigning på 0.7 m (d.v.s. 0,7 m over dagens middelvannstand).

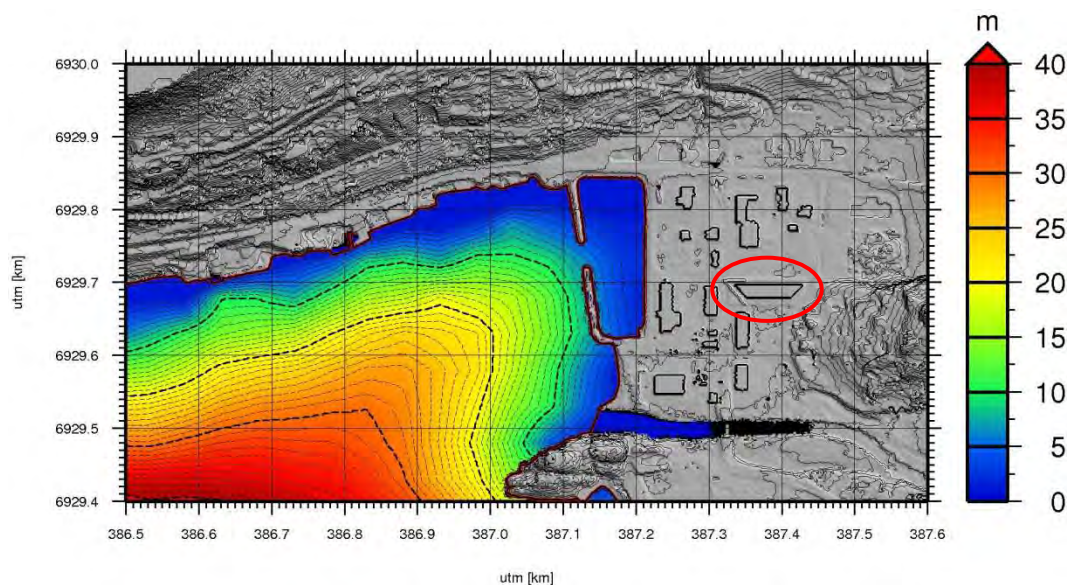
Det tas forbehold om at de digitale dataene som er brukt i beregningene kan avvike fra reell dybde i fjorden eller høyde på land, og at dette kan innvirke på resultatene.

Befaring av oppskyllingsområdene ble foretatt 23. mai 2012. Befaringene ble utført av Sylfest Glimsdal (NGI) og ble gjort fra land. Hensikten med befaringen var å få en oversikt over forhold som kan påvirke oppskyllingen ved det aktuelle området. Foto fra befaringen er vist i Vedlegg D.

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. Lokasjonen til Sjøholt og området som er utredet med hensyn til oppskylling (vist med rødt rektangel i nederste figur). Gislink ©.



Figur 2: Området rundt Sjøholt sentrum. Høydekoter i terrenget og dybdekoter i fjorden utenfor sentrum er vist for hver meter. Tomt til Sjøholt Næringsbygg AS er innringet.



Figur 3: Foto fra tomta til Sjøholt Næringsbygg AS, mot vest.

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 innover vannet har nådd under oppskylling. Videre brukes her også strømningsdybde (høyde over terrenget 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 ovennevnte 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

Mellom Åknes og oppskyllingsområdet ved Sjøholt varierer dypet i fjorden fra 300 til 700 m, med et "fjordkryss" der Norddalsfjorden tar av inn mot øst, se Figur 4. Fjorden varierer fra en minste bredde på ca. 2 km nord for Åknes til største bredde på 3-4 km sør for Sjøholt. I forbindelse med fjordkryss eller der hvor fjorden blir videre og/eller dypere vil bølgene reduseres i høyde.

Selve Storfjorden utenfor Sjøholt er ca. 650 m dyp. I løpet av de første 2 km inn mot Sjøholt avtar dypet til 200 m. Videre inn mot Sjøholt sentrum (ytterligere ca. 2 km) avtar dypet gradvis fra 200 m.

3 Skredvolumer og dynamikk

De viktigste parametrene for scenarioet fra Åknes er listet opp i Tabell 3.3.1. Scenario 1C (54 mill. m³) som brukes for vurdering av tomte til Sjøholt Næringsbygg AS representerer det tilfellet at hele fjellsiden løsner samtidig (1C tilsvarer sikkerhetsklasse S3).

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).

Utløpsdistansen for skredet er basert på vurdering av dybdeprofilet 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. For mer detaljer, se NGI (2011).

Tabell 3.3.1: De viktigste parametrene for 1C scenarioet som ligger til grunn for oppskyllingsberegningene, verdier tatt fra ÅTB (2011).

Scenario	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

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 også 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.

For oppskyllingsberegningene ved Sjøholt sentrum er topografi basert på laserskanning. Disse dataene er levert av Ørskog kommune.

Beregningene er gjort i to steg. I det første steget modelleres bølgeutbredelsen fra Åknes fram til området utenfor Sjøholt, mens i det andre steget modelleres bølgenes bevegelse inn mot strandlinjen samt oppskyllingen innover tørt land. 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.

4.2 Bølgeutbredelse

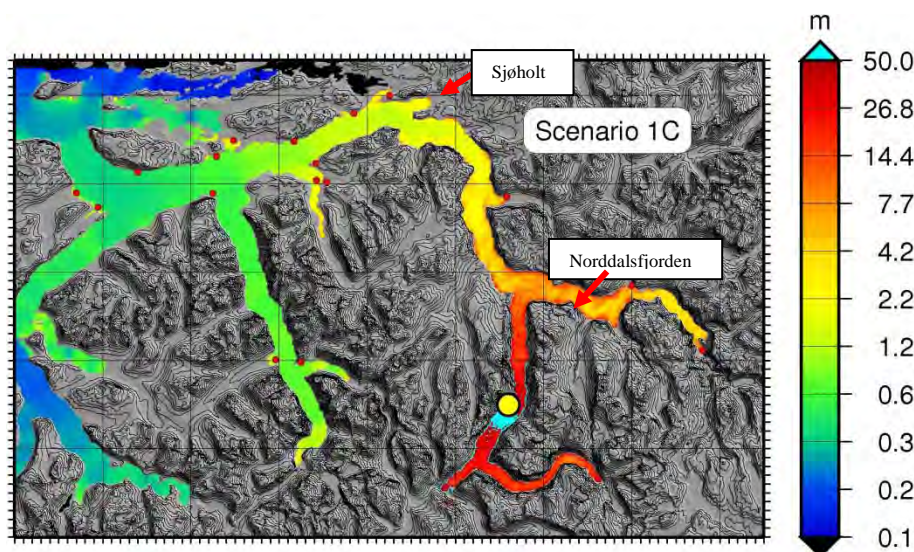
Bølger etter skred i en fjord blir som nevnt over påvirket av både dybdeforhold og bredde på fjorden. Hastigheten slike bølger beveger seg med avhenger av hvor dyp fjorden er. Dess grunnere fjorden er dess langsommere beveger bølgen seg. Det betyr at når en bølge beveger seg inn mot grunnere vann, vil fronten av bølgen bevege seg langsommere enn halen. Bølgen vil dermed bli kortere og samtidig også høyere. Blir bølgen høy nok i forhold til vanddyppet 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, eller at 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 Norddalsfjorden går inn mot Tafjord. På veien videre utover reduseres bølgene der fjorden blir videre og/eller dypere.

Maksimal overflatehevning for scenario 1C for hele Storfjorden er vist i Figur 4. Høydene er målt ut fra middelvannstand og en mulig framtidig havnivåstigning er ikke tatt med her. Utenfor skredområdet er overflatehevningen 80-100 m. Flodbølgen i åpent farvann utenfor Sjøholt er på ca. 1.5 m (dvs. ca. 2.2 m inkludert havnivåstigning) og øker til ca. 1.7 m (2.4 m) halvveis inn mot Sjøholt. Ved 40 m dyp er bølgen 2.5 m (3.2 m) og ved moloen er den på ca. 4 m (4.7 m). Fra Storfjorden blir bølgene sterkt avbøyd på tur inn mot Sjøholt. Sjøholt blir på denne måten til en viss grad skjermet. Større oppskylling ville vi fått om bølgene kunne beveget seg rett inn mot Sjøholt uten å avbøyes mer enn 90 grader mot øst.

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 dybdataene 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.

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 i oppskyllingsområdet samt sjøbunnen utenfor er slak, samt at bølgene beveger seg normalt på stranda og "fanges" av terrenget, slik som innerst i en fjord 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 2 m. Beregningene er gjort for ledende bølger, det vil si inntil ca. 10 minutter etter at første bølge når oppskyllingsområdet.

4.4 Oppskyllingsberegninger

Vi har beregnet både overflatehevningen, strømningsdybden samt partikkelhastigheten under oppskylling (se avsnitt 1.2). Det er verdt å merke seg at sistnevnte størrelse ofte er størst når vannet trekker seg tilbake og at strømmen kan erodere fyllinger, undergrave bygg, etc.

Vi har gjort beregninger for følgende fire alternativer:

1. Uten omkringliggende hus
2. Rett mur ved sjøsiden samt på nord- og sørside av tomt
3. Rett mur ved sjøsiden av tomt
4. Skrå mur ved sjøsiden av tomt

Alle sikringstiltak rundt tomta har øvre høyde på kote 3.5 m over dagens middelvannstand, dvs. ca. 1 m over terrenget ved det planlagte bygget.

Tabell 1: Resultat fra beregningene.

Alternativ	Strømningsdybde (A) (m)	Partikkelhastighet (B) (m/s)	A x B (m ² /s)	Figurer
1	1.5-2	1-3	1-6	Figur 5 - Figur 8
2	1	1-1.5	1-2	Figur 9 - Figur 12
3	1-1.5	1-2	1-3	Figur 13 - Figur 16
4	1-1.5	1-1.5	1-2	Figur 17 - Figur 20

Alle beregningene viser at både overstrømningshøyde og partikkelhastighet går ned med sikringstiltak (alternativ 2-4 sammenlignet med alternativ 1). Produktet av overstrømningshøyde og partikkelhastighet er et mål brukt i Teknisk forskrift for en flomsituasjon, DIBK (2011).

Verdiene fra Tabell 1 er å se på som konservative, da maksimalverdiene som er brukt er de høyeste verdiene gjennom beregningstiden, og tar ikke hensyn til at høyeste verdi av overstrømningshøyde og partikkelhastighet kan oppstå på forskjellige tidspunkter.

For alle tre alternativer vil ikke belastningen vannet påfører bygningen under oppskylling overstige den belastning bygget er designet til å tåle (bygget skal tåle en sideveis skjærkraft ved bakken på ca 4700kN). Ut fra beregnet strømningsdyp vil det vil kunne forventes vannskade i 1. etasje for alle alternativer, slik at det vil være fordelaktig å plassere kritiske installasjoner (strømstyring etc.) i annen etasje eller over.

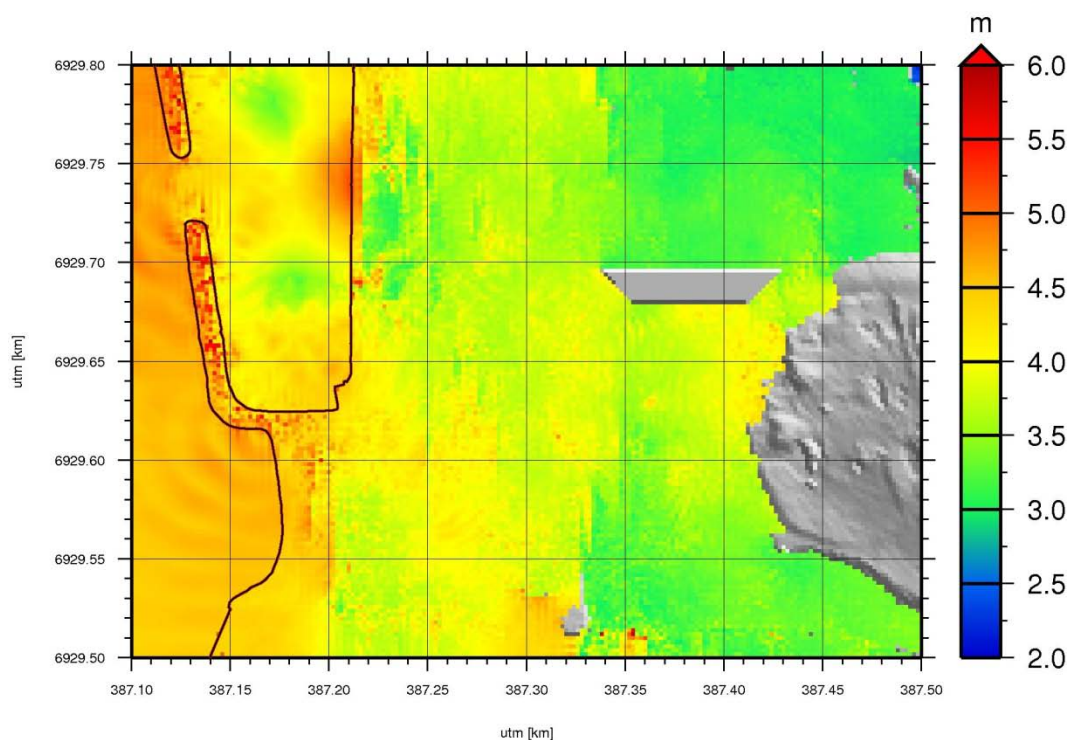
Ved alternativ 2 og 4 vil man i følge Teknisk forskrift kunne bruke sikkerhetsklasse F2 (flomsituasjon med middels konsekvens og største nominelle årlige sannsynlighet på 1/200) hvor overstrømningshøyden er under 2 m (A) og

produktet av overstrømningshøyden (A) og partikkelhastigheten (B) er under 2 m²/s. Det er verdt å merke seg at om man velger alternativ 4 vil den nordlige delen av sikringen (dvs. den delen av sikringen som er orientert øst-vest) gir en bedre (og nødvendig) beskyttelse for rømningsvei.

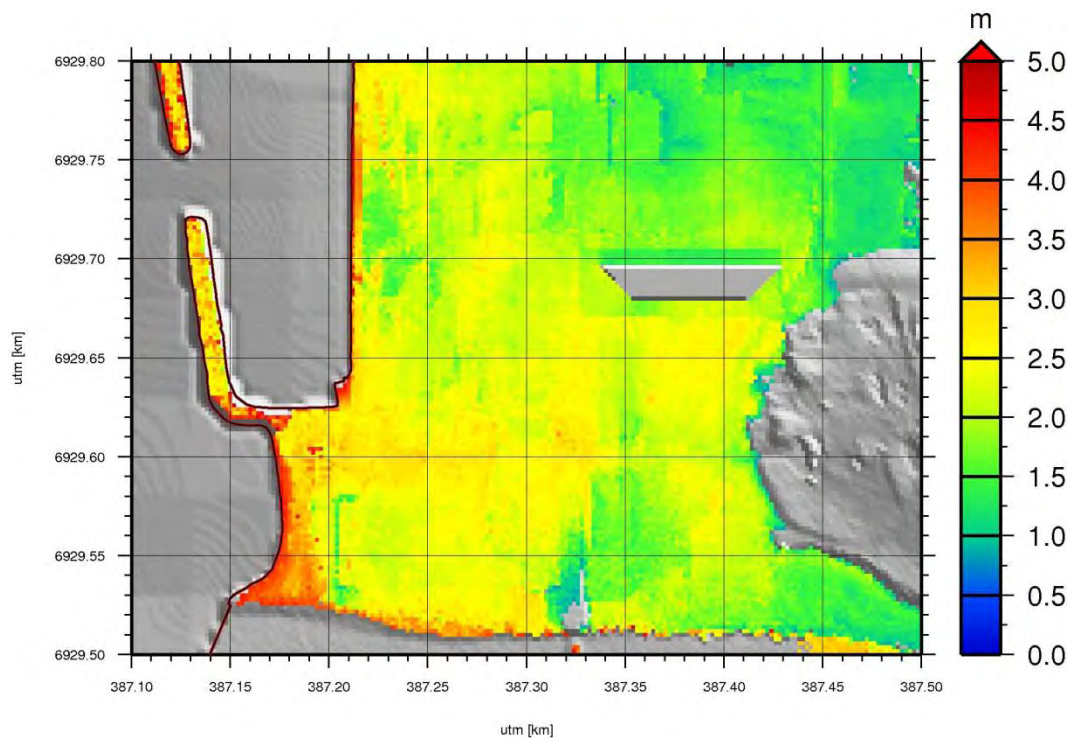
Det er en fordel om muren mot vest er vinklet slik som i alternativ 4. På den måten blir det mindre oppstuvning av vann, siden vannet da i større grad blir ledet bort (mot sørsiden av tomte). En kombinasjon av alternativene 2 og 4 vil således være en mulig løsning.

Vi har i beregningene gått ut fra at byggene foran den aktuelle tomte ikke kolliderer under oppskylling. Ut fra våre vurderinger vil en eventuell kollaps av disse byggene uansett ikke medføre vesentlig høyere verdier enn vist i Tabell 1.

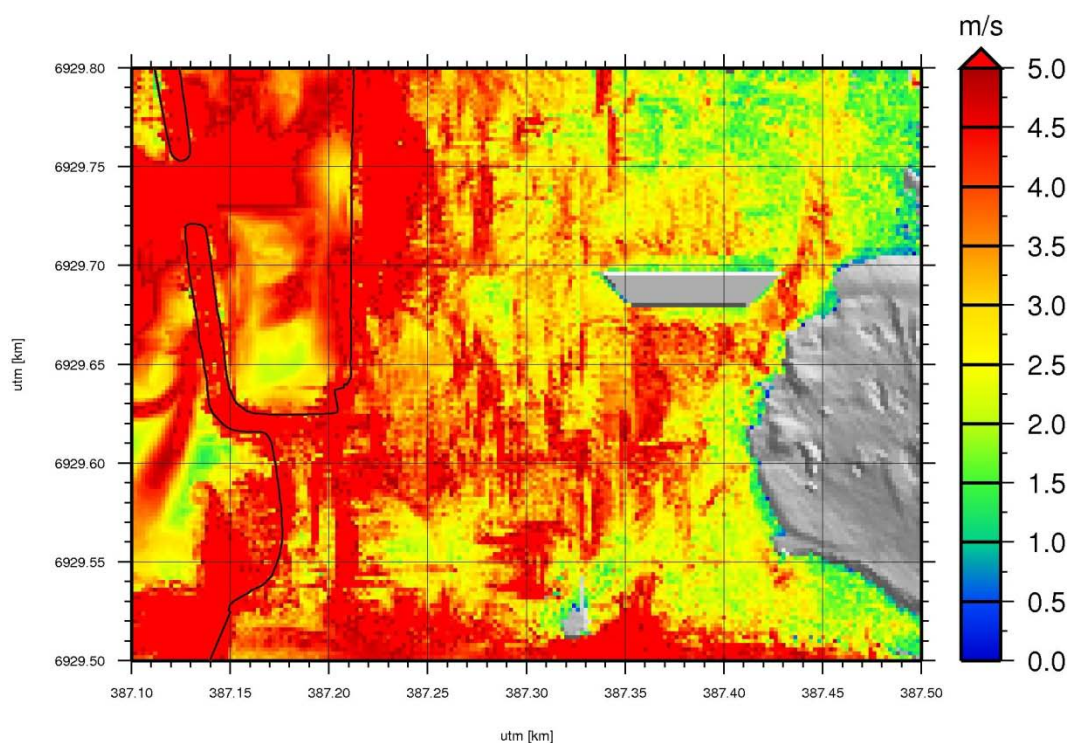
4.4.1 Beregning uten omkringliggende bygg og sikring (alternativ 1)



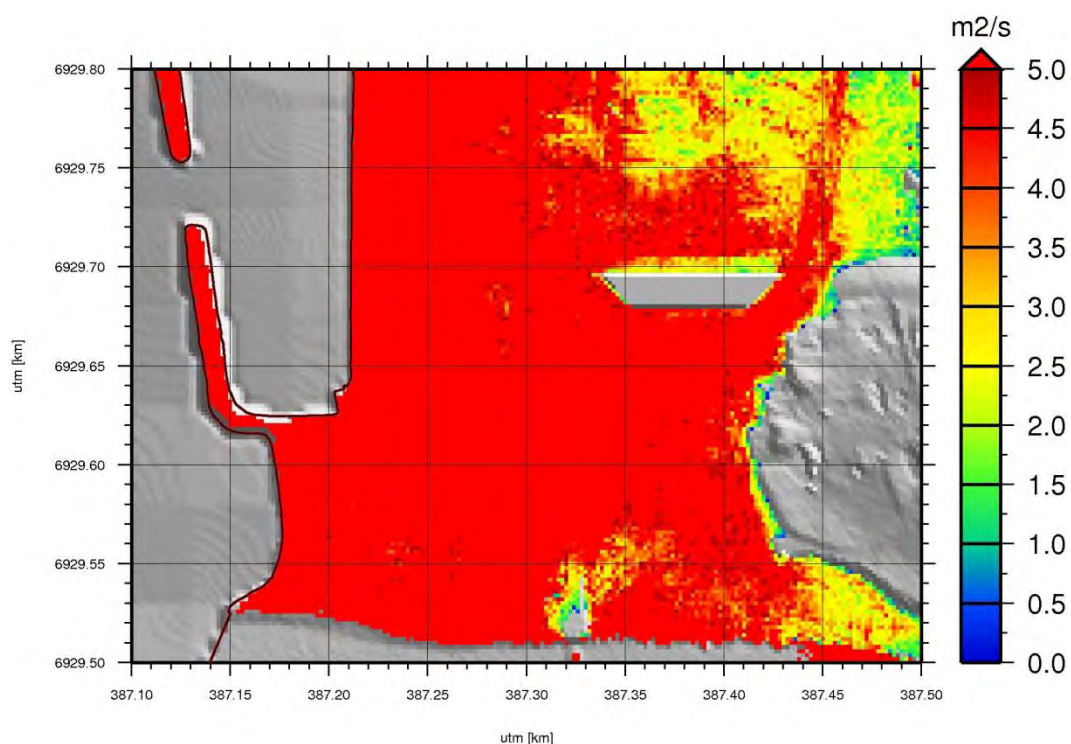
Figur 5: Overflateheving i meter ut fra likevektsnivå. Alternativ 1.



Figur 6: Strømningsdybde i meter. Alternativ 1.

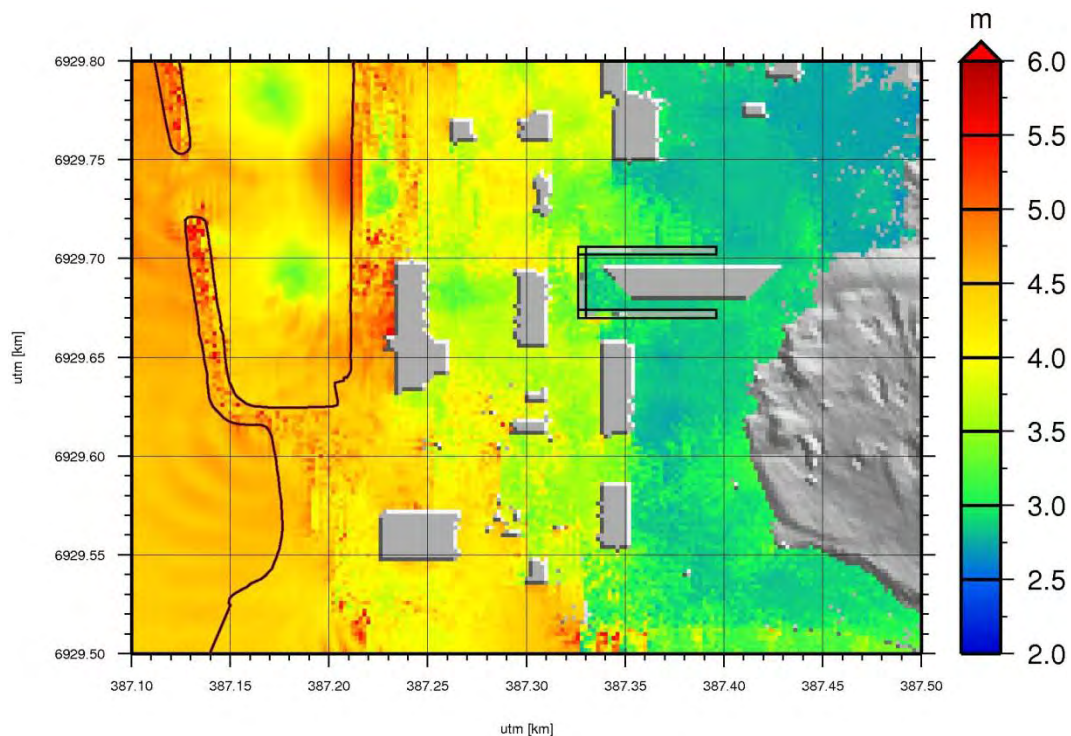


Figur 7: Strømningshastighet/partikkelhastighet i meter per sekund. Alternativ 1.

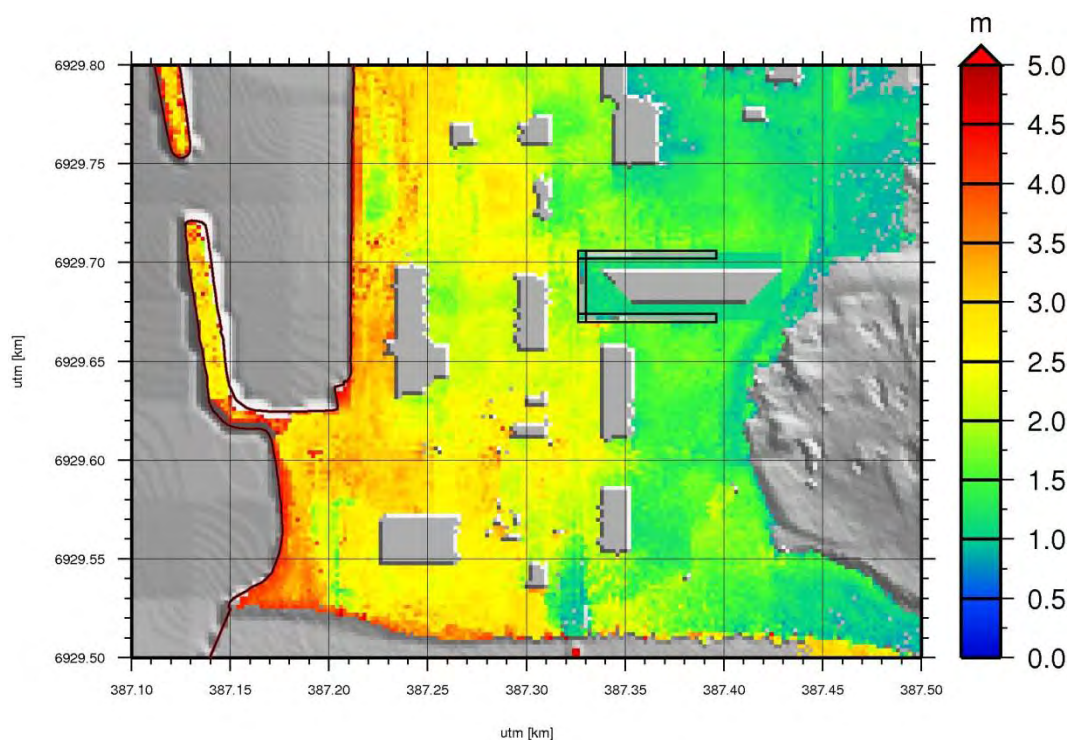


Figur 8: Hastighet x strømningsdybde (meter x meter per sekund). Alternativ 1.

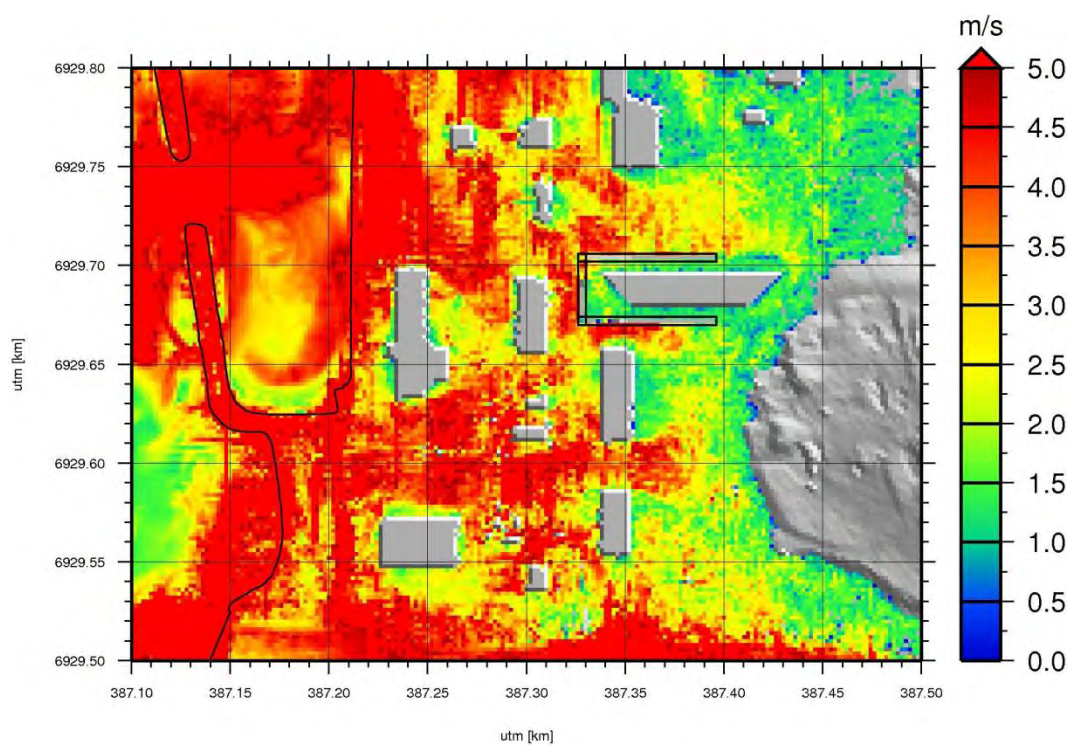
4.4.2 Beregning med rett mur ved sjøsiden samt på nord- og sørside av tomt (alternativ 2)



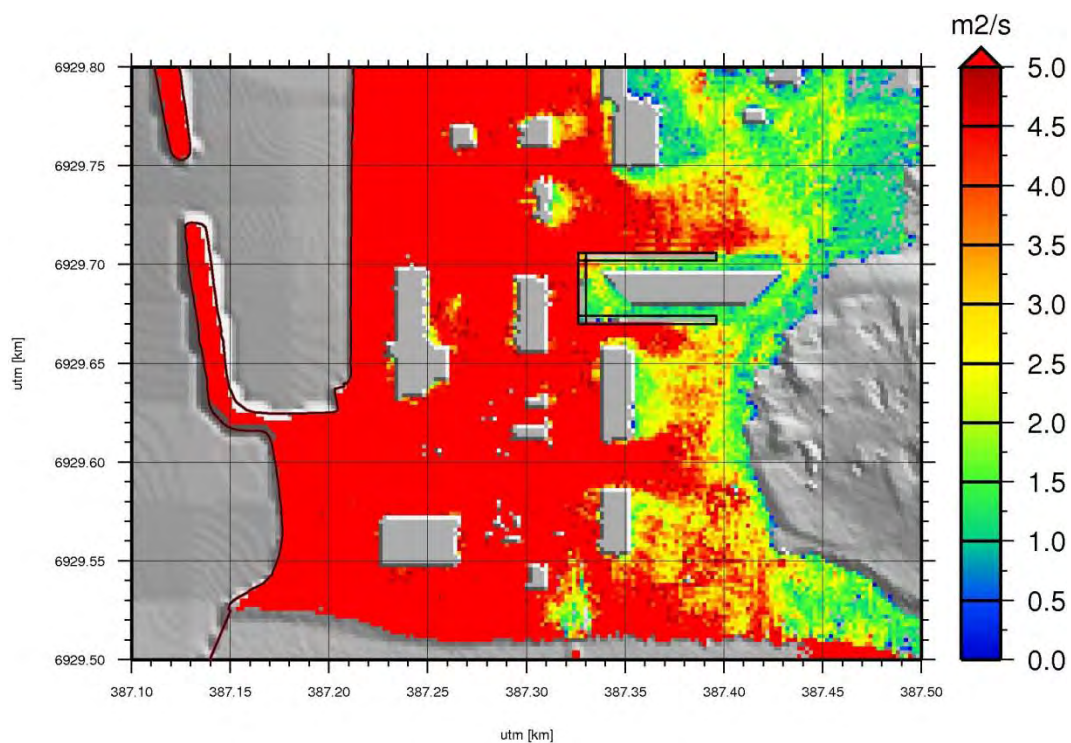
Figur 9: Overflateheving i meter ut fra likevektsnivå. Alternativ 2.



Figur 10: Strømningsdybde i meter. Alternativ 2.

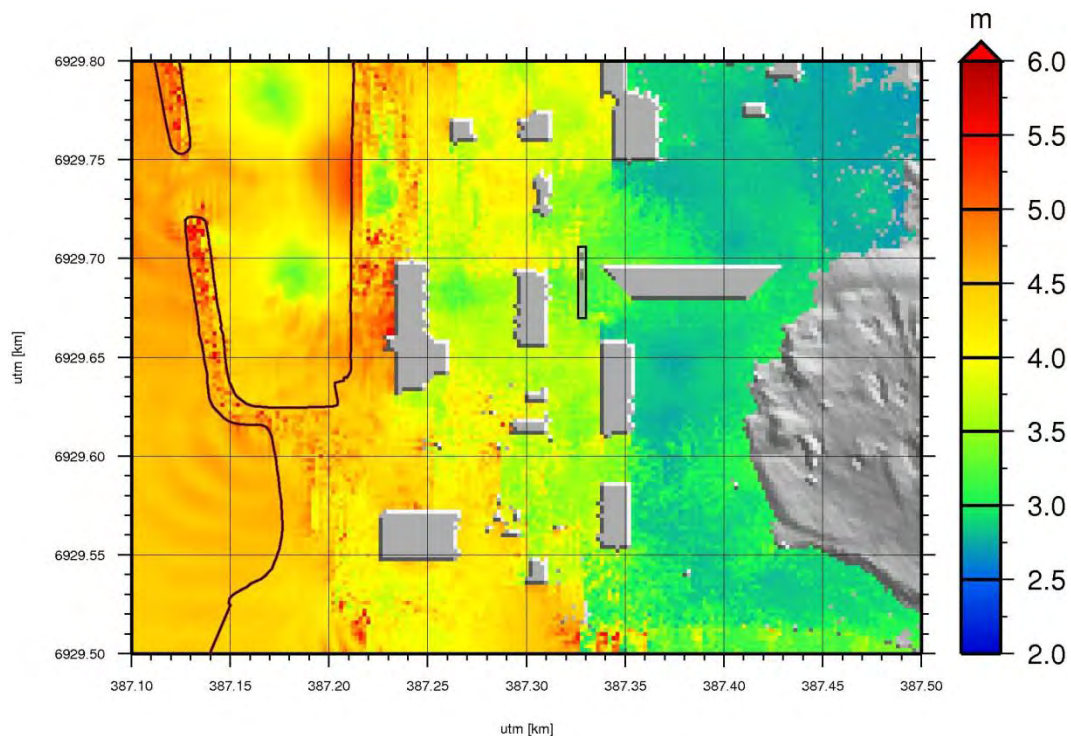


Figur 11: Strømningshastighet/partikkelhastighet i meter per sekund.. Alternativ 2.

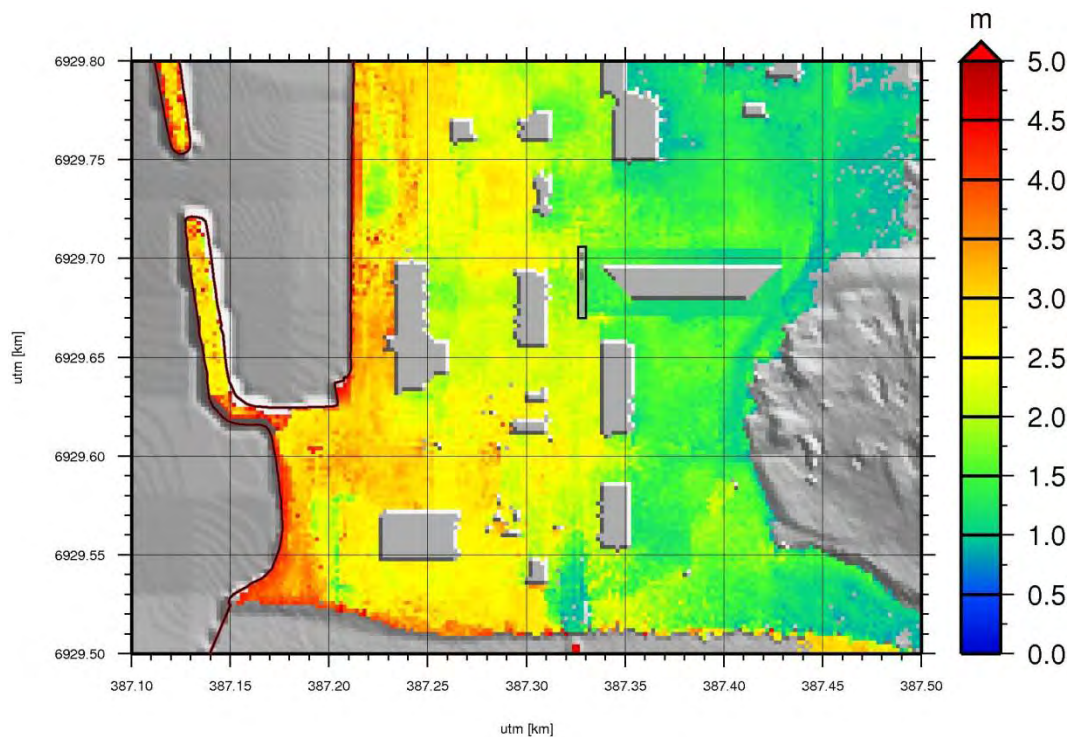


Figur 12: Hastighet x strømningsdybde (meter x meter per sekund). Alternativ 2.

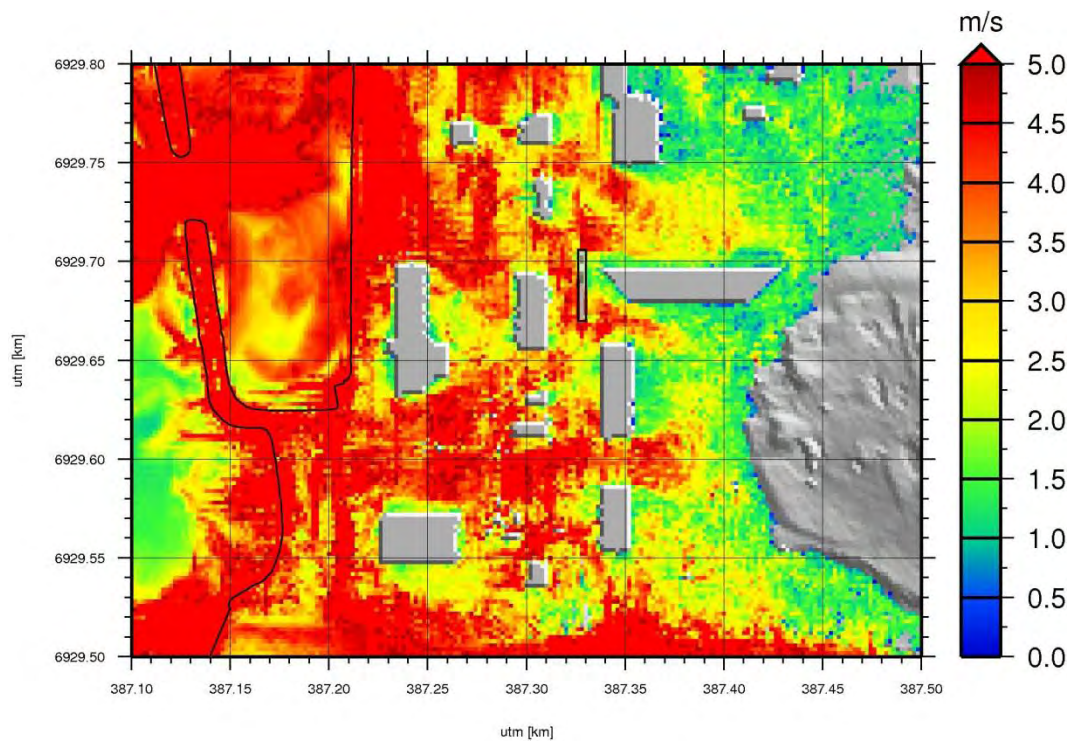
4.4.3 Beregning med rett mur ved sjøsiden av tomt (alternativ 3)



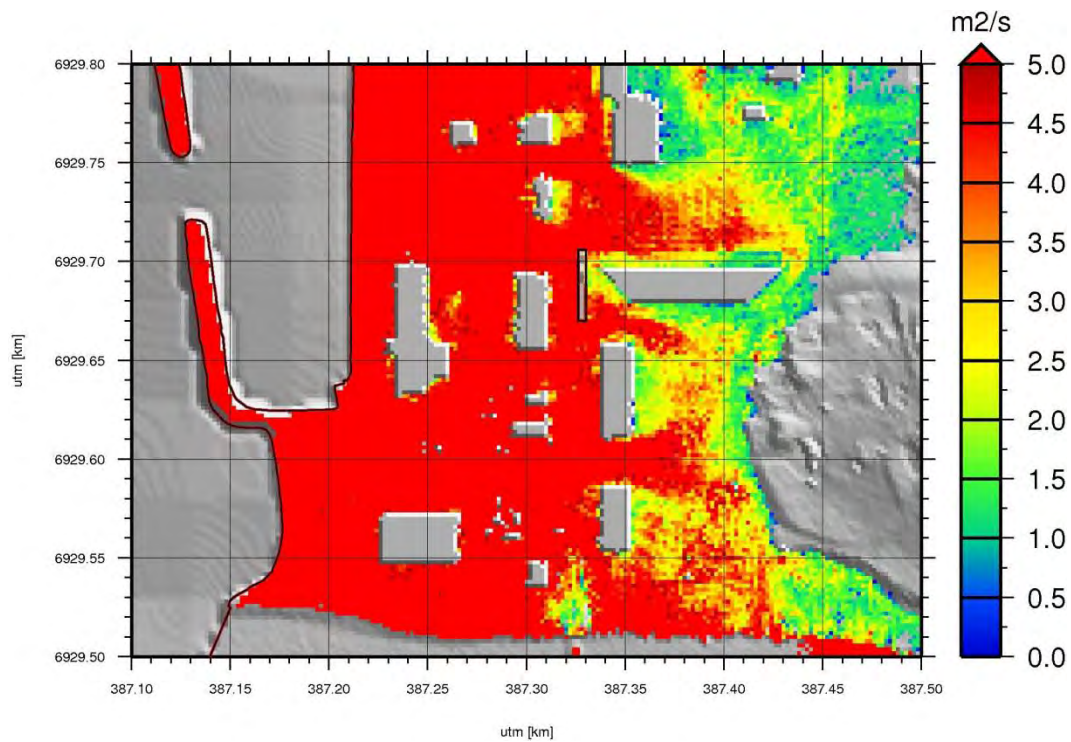
Figur 13: Overflateheving i meter ut fra likevektsnivå. Alternativ 3.



Figur 14: Strømningsdybde i meter. Alternativ 3.

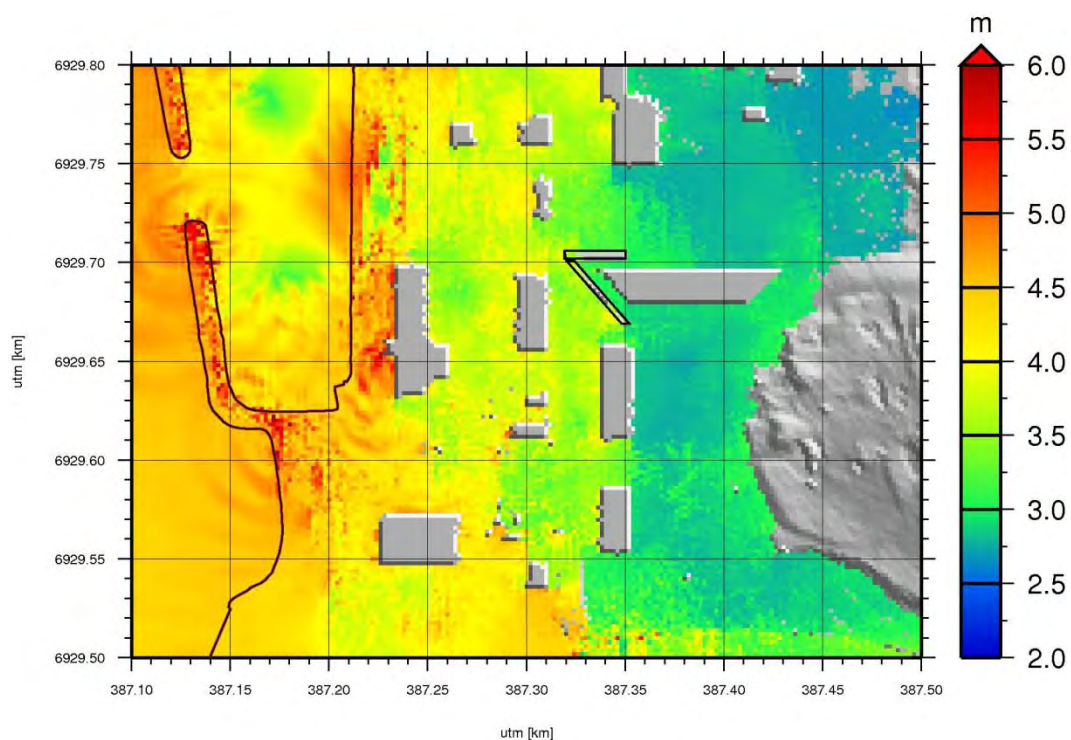


Figur 15: Strømhastighet/partikkelhastighet i meter per sekund. Alternativ 3.

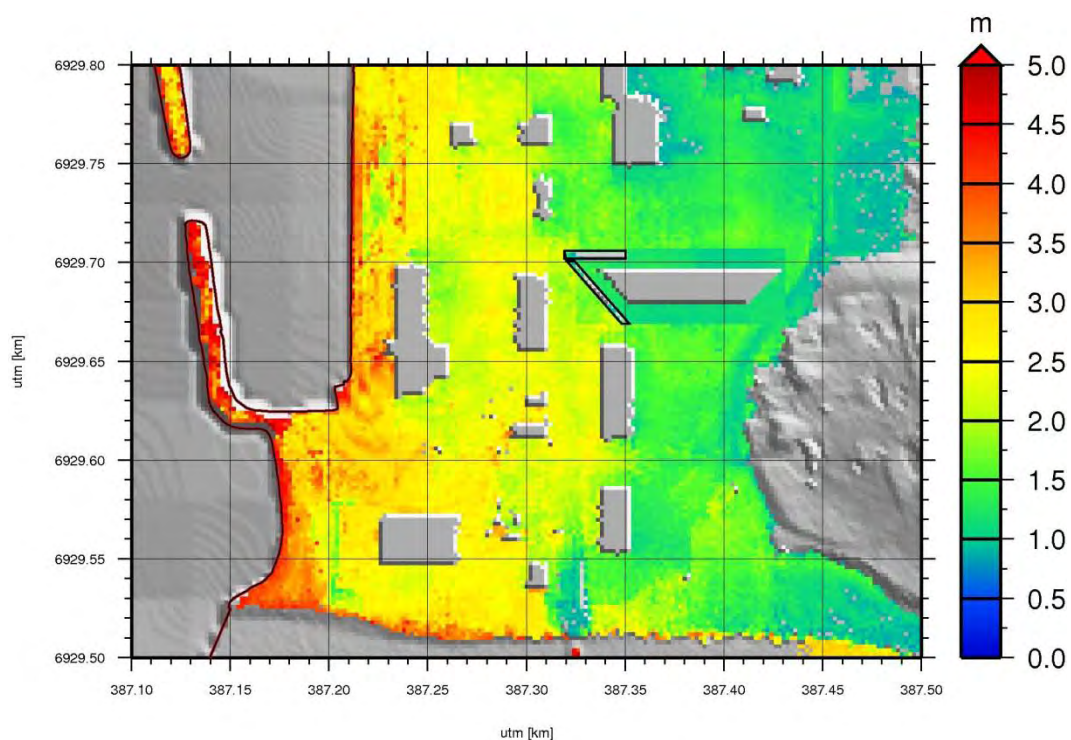


Figur 16: Hastighet x strømningsdybde (meter x meter per sekund). Alternativ 3.

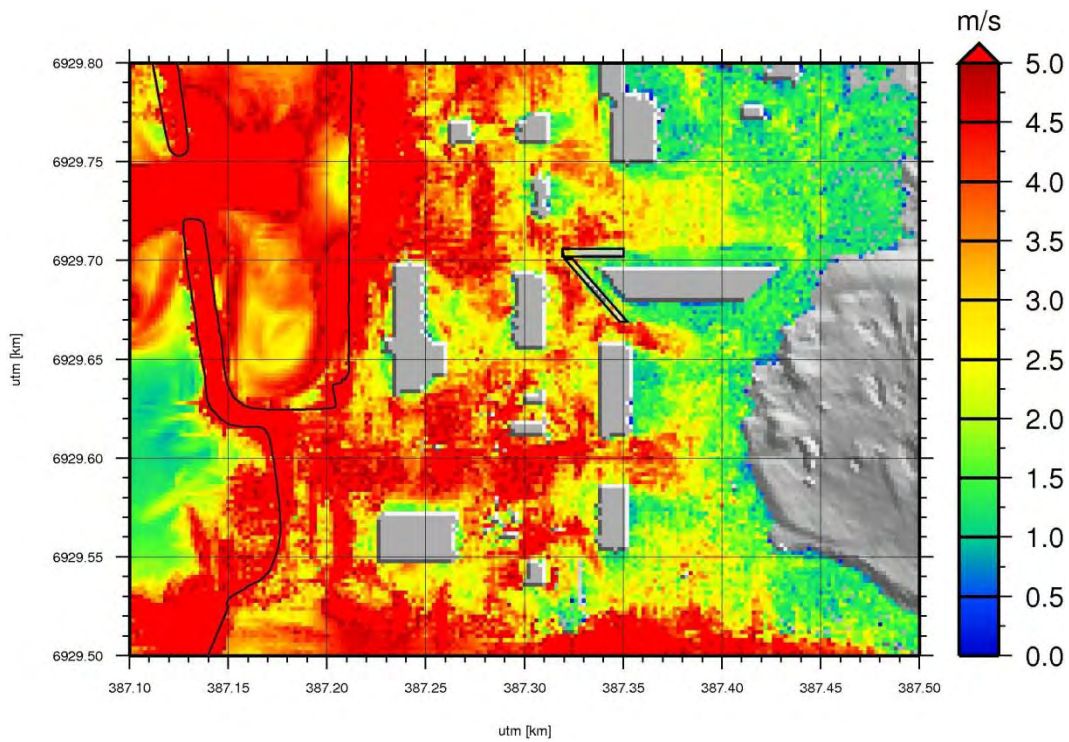
4.4.4 Beregning med skrå mur ved sjøsiden av tomt (alternativ 4)



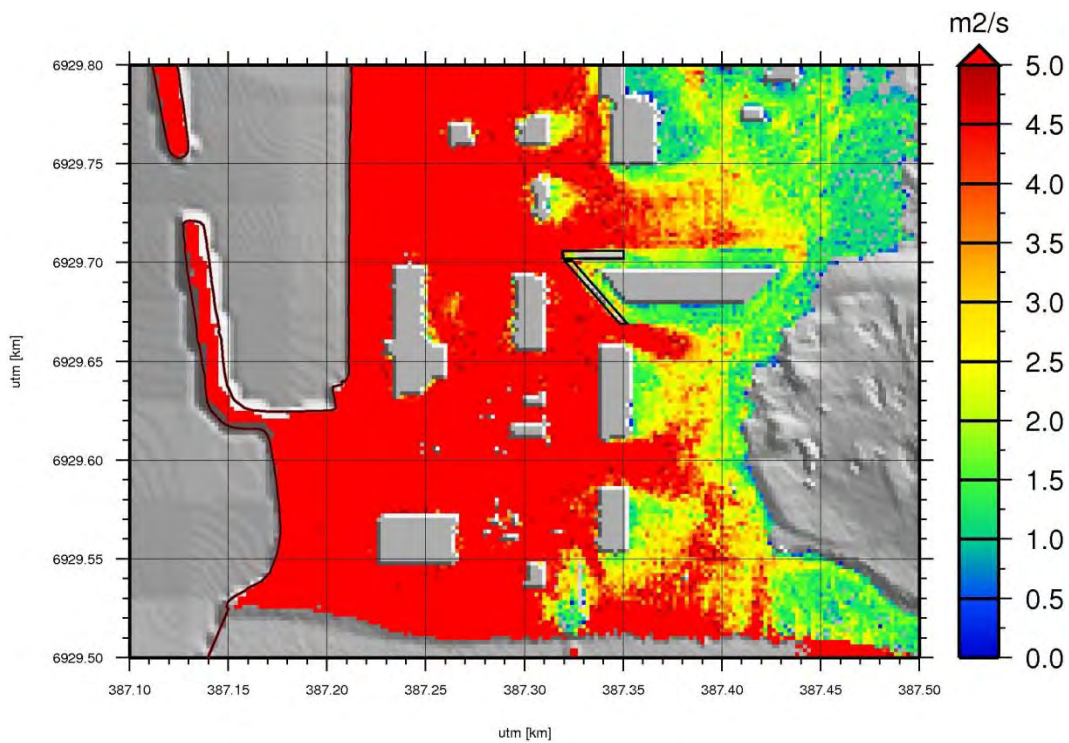
Figur 17: Overflatehevnning i meter ut fra likevektsnivå. Alternativ 4.



Figur 18: Strømningsdybde i meter. Alternativ 4.



Figur 19: Strømningshastighet/partikkelhastighet i meter per sekund. Alternativ 4.



Figur 20: Hastighet x strømningsdybde (meter x meter per sekund). Alternativ 4.

5 Konklusjon

Etter anbefaling fra NVE, kan situasjonen for den aktuelle tomta vurderes som en flomsituasjon. Med sikring av tomta ved hjelp av en 1m høy mur nord, vest og sør for tomta (alternativ 2) eller formet som en plog med retning mot vest (alternativ 4), vil verdiene på partikkelhastighet og oversvømmelseshøyde under oppskylling være under grenseverdiene brukt i sikkerhetsklasse F2. Sikkerheten er da ivaretatt i kombinasjon mellom sikkerhetsklassene F2 og S3. På denne måten anvendes §7.3 og ikke §7.4 i Teknisk forskrift, se DIBK (2011). Fra NGI's side er det viktig å understreke at vi, basert på våre erfaringer, ikke ville vurdert dette område som trygt for liv og helse uten tilstrekkelig varsling. Ankomsttid for bølgene er 13 minutter etter at skredet har gått i fjorden.

Fra våre beregninger ser vi at det vil være en fordel om muren mot vest er vinklet slik som i alternativ 4. På den måten blir det mindre oppstuvning av vann, siden vannet da i større grad blir ledet bort (mot sørsiden av tomta). Om alternativ 2 velges, vil det være fordelaktig om muren mot vest blir vinklet slik som alternativ 4 (dvs. samme retning som sidevegg til bygget).

Det er viktig å påpeke at det under en oppskylling sannsynligvis vil oppstå drivgods som kan gjøre mer skade enn selve vannet. Videre må man også ta hensyn til erosjon rundt bygg og sikringstiltak. Bygget på den aktuelle tomta er for øvrig godt forankret med pæler ned til fast grunn.

Rømningsveier må sikres slik at det er mulig å komme seg ut selv med vann utenfor.

6 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) Flobølge 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.



DIBK (2011). Veiledning om tekniske krav til byggverk. Nettside, besøkt 2012-05-30. <http://byggeregler.dibk.no/dxp/content/tekniskekrav/>
ÅTB (2011). Åknes/Tafjord Beredskap IKS v/Lars Harald Blikra: Scenarios for tsunami modellering. Revidert utgave 05.2011.



Dokumentnr.: 20120425-00-1-R
Dato: 2012-06-06
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

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.

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 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 (innsnevringen).

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 timesvis.



Vedlegg B - Om beregningsmodellene

Innhold

1	Bølgemodellen GloBouss	2
2	Oppskyllingsmodellen MOST	2
3	Referanser	3

1 Bølgemodellen GloBouss

GloBouss er en regnemodell utviklet ved Universitetet i Oslo og ved 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 vanddyptet 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 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 at dette har lite å si for det overordnede resultatet. NGI (2008) viser også at i genereringsfasen er dispersive effekter mye viktigere enn ikke-lineære effekter. Beregningene av flodbølger etter skred fra Åknes er i åpent farvann (propageringsfasen) er gjort med en romlig oppløsning på 100 m.

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 gode resultater i forbindelse med Åknes/Tafjord-prosjektet hvor den er sammenliknet med skalamodellen av Sunnylv- og Geirangerfjorden ved SINTEF Kyst- og havneteknikk i Trondheim, se også neste avsnitt. For mer informasjon om modellen henviser vi til Løvholt og Pedersen (2008). Se for øvrig konvergenstest i Vedlegg C.

2 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 beregner oppskylling i angitte områder (lokasjonene). I tillegg må data for vanddyp og terreng innenfor beregningsområdet til MOST være gitt i forskjellige oppløsninger fra 5 m til 40 m siden MOST må beregne oppskyllingen i tre gittere med stadig finere oppløsning. Modellen er beskrevet av Titov og Gonzalez (1997).

De opprinnelige dybde- og terrengdata er gitt i UTM 32. Siden MOST kun kan regne i geografiske koordinater, blir inngangsdataene projisert fra UTM 32 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 laboratorieforskene ved SINTEF Kyst- og havneteknikk. Resultatene er oppsummert av NGI (2010), mens laboratorieforskene er beskrevet av SINTEF (2008).

3 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



Vedlegg C - Konvergenstest

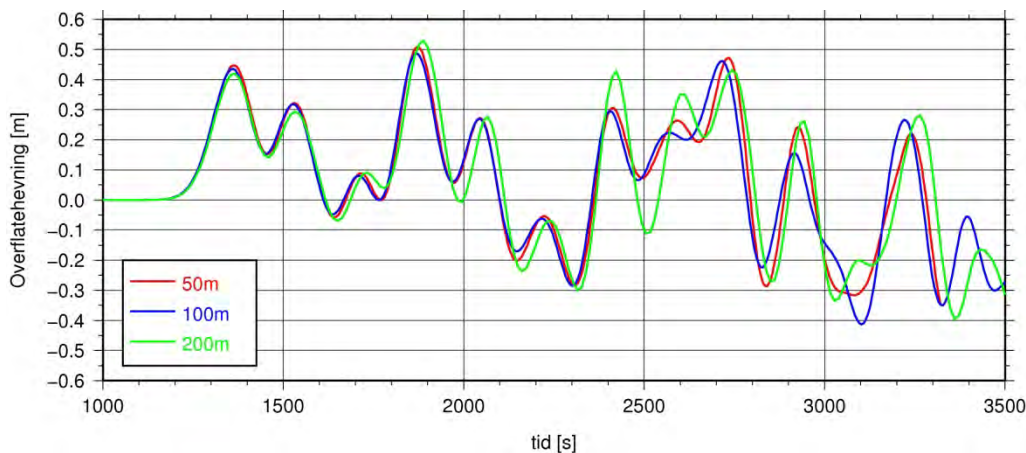
Innhold

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

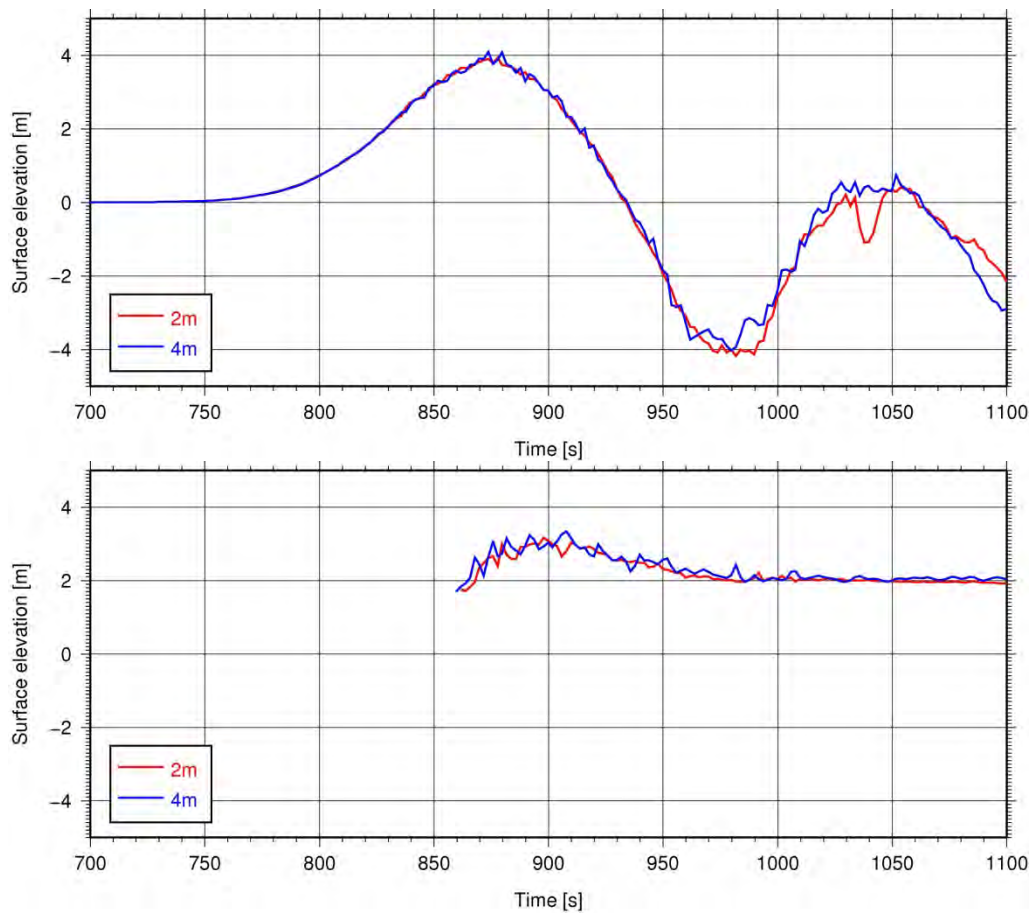
1 Konvergenstest for kontroll av nøyaktighet

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 Sjøholt er vist i Figur C2. Ved moloen konvergerer løsningene med oppløsning 2 og 4 m bra, spesielt for ledende bølge. Det er også tilstrekkelig konvergensten for punktet på land. I beregningene er det anvendt en maskevidde på 100 m for GloBouss og 2 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. Vanddyptet her er ca. 430 m.



Figur C2. Konvergenstest av MOST modellen ved Sjøholt for scenario 1C. I øverste panel er målingene gjort like utenfor moloen, mens det nederste panelet viser resultatene for et punkt på land sør-øst for moloen. Terreng høyden er her ca. 2.1 m over dagens middelvannstand.



Dokumentnr.: 20120425-00-1-R
Dato: 2012-06-06
Side: 1
Vedlegg: D

Vedlegg D - Foto fra befaring 20120523

Innhold

1 Foto

2

1 Foto



Figur 1: Fra molo mot nord.



Figur 2: Fra molo mot sør (Ørskog kirke).



Figur 3: Fra sørlige del av molo, mot øst.



Figur 4: Fra molo, mot øst.



Figur 5: Fra molo, mot nord-øst.



Figur 6: Fra molo mot nord.



Figur 7: Fra molo, nordvest.



Figur 8: Fra molo, mot nordvest, bebyggelse utover nordlige del av fjordarmen som går inn til Sjøholt sentrum.



Figur 9: Fra åpningen i moloen, mot nord.



Figur 10: Fra åpningen i moloen, nordøst.



Figur 11: Fra åpningen i moloen, mot øst.



Figur 12: Fra enden av molo, mot sørøst.



Figur 13: Samme bygg som i Figur 12, sett mot nordvest.



Figur 14: T.K. MEK med Ørskog kirke i bakgrunnen.



Figur 15: Industribygg i murstein stående i andre rekke (d.v.s. mellom tomte til Sjøholt Næringsbygg AS og bygg nærmest sjøen som er vist i Figur 12).



Figur 16: Mindre trehus i andre husrekke, sett mot sørøst.



Figur 17: Samme bygg som i Figur 16, mot nordvest.



Figur 18: Nordlige del av bygg nærmest smørbåthavna (bygg også vist i Figur 12).



Figur 19: Bensinstasjonen i Sjøholt, mot øst. Foto tatt fra sjøpromenaden i havna.



Figur 20: Området sør for bensinstasjonen.



Figur 21: Matbutikk på motsatt side av E39 ved bensinstasjonen, mot nordøst.



Figur 22: Matbutikk vest for butikk vist i Figur 21.



Figur 23: Stort bygg øst for bensinstasjonen. Bygget inneholder kontorer, butikk og verksted/garasjer.



Figur 24: Området nord for E39, øst for butikk fra Figur 21.



Figur 25: Motell i sentrum, mot sørøst.



Figur 26: Rådhuset på nordsiden av E39, mot nord.



Figur 27: Bankbygg, sørøst for Rådhuset, mot nordøst.



Figur 28: Maleforretning lengst øst i sentrum ved siden av området for bussholdeplassen.



Figur 29: Kafé i nærheten av bussholdeplassen, mot sørøst.



Figur 30: Baksiden av bygg vist i Figur 23.



Figur 31: Bussholdeplassen, mot sørøst.



Figur 32: Tomta til Sjøholt Næringsbygg, mot vest.



Figur 33: Ørskog Energi, nabobygg til tomta til Sjøholt Næringsbygg AS. I bakre høyre del av bildet ses mursteinsbygget fra Figur 15. Foto er tatt mot vest.



Figur 34: Ørskog Energi, bygget sett mot nordvest.



Figur 35: Kontor og lagerbygg, rett sør for Ørskog Energi (Figur 34), mot vest.



Figur 36: Område øst for T.K. MEK sett mot vest. Sjøholt kirke sees i bakgrunn.



Figur 37: Samme område som i Figur 36, med retning mot sørvest. Her ligger blant annet et bilverksted.

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information														
Dokumenttittel/Document title Ørskog kommune – flodbølgeberegninger Sjøholt. Beregning av oppskylling ved nytt bygg på gnr/bnr 97/162 og 97/404						Dokument nr./Document No. 20120425-00-1-R								
Dokumenttype/Type of document		Distribusjon/Distribution				Dato/Date 2012-06-06								
<input checked="" type="checkbox"/> Rapport/Report		<input type="checkbox"/> Fri/Unlimited				Rev.nr./Rev.No. 0								
<input type="checkbox"/> Teknisk notat/Technical Note		<input checked="" type="checkbox"/> Begrenset/Limited												
		<input type="checkbox"/> Ingen/None												
Oppdragsgiver/Client Sjøholt Næringsbygg AS														
Emneord/Keywords Flodbølge, oppskylling, modellering, skred, Åknes														
Stedfesting/Geographical information														
Land, fylke/Country, County Norge, Møre og Romsdal						Havområde/Offshore area								
Kommune/Municipality Ørskog						Felt navn/Field name								
Sted/Location Sjøholt sentrum						Sted/Location								
Kartblad/Map 1220 III Brattvåg						Felt, blokknr./Field, Block No.								
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone 32 N6929704 E387363														
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