

Til: Aurland Kommune
v/ Anja Marken
Kopi til:
Dato: 2018-10-04
Rev.nr. / Rev.dato: 1 / 2022-09-09
Dokumentnr.: 20180549-01-TN
Prosjekt: Aurland Kommune – sikringstiltak flodbølger
Prosjektleder: Sylfest Glimsdal
Utarbeidet av: Sylfest Glimsdal
Kontrollert av: Carl B. Harbitz

Vurdering av sikringstiltak mot flodbølger i Flåm sentrum

Innhold

1	Bakgrunn	2
2	Området ved Flåm sentrum	2
3	Oppskylling av flodbølger etter skred fra Joasetbergi	4
4	Oppskylling av flodbølger etter skred fra Stiksmoen	6
5	Om sikring mot flodbølger	8
6	Mulige tiltak	8
7	Referanser	9

Kontroll- og referanseside

1 Bakgrunn

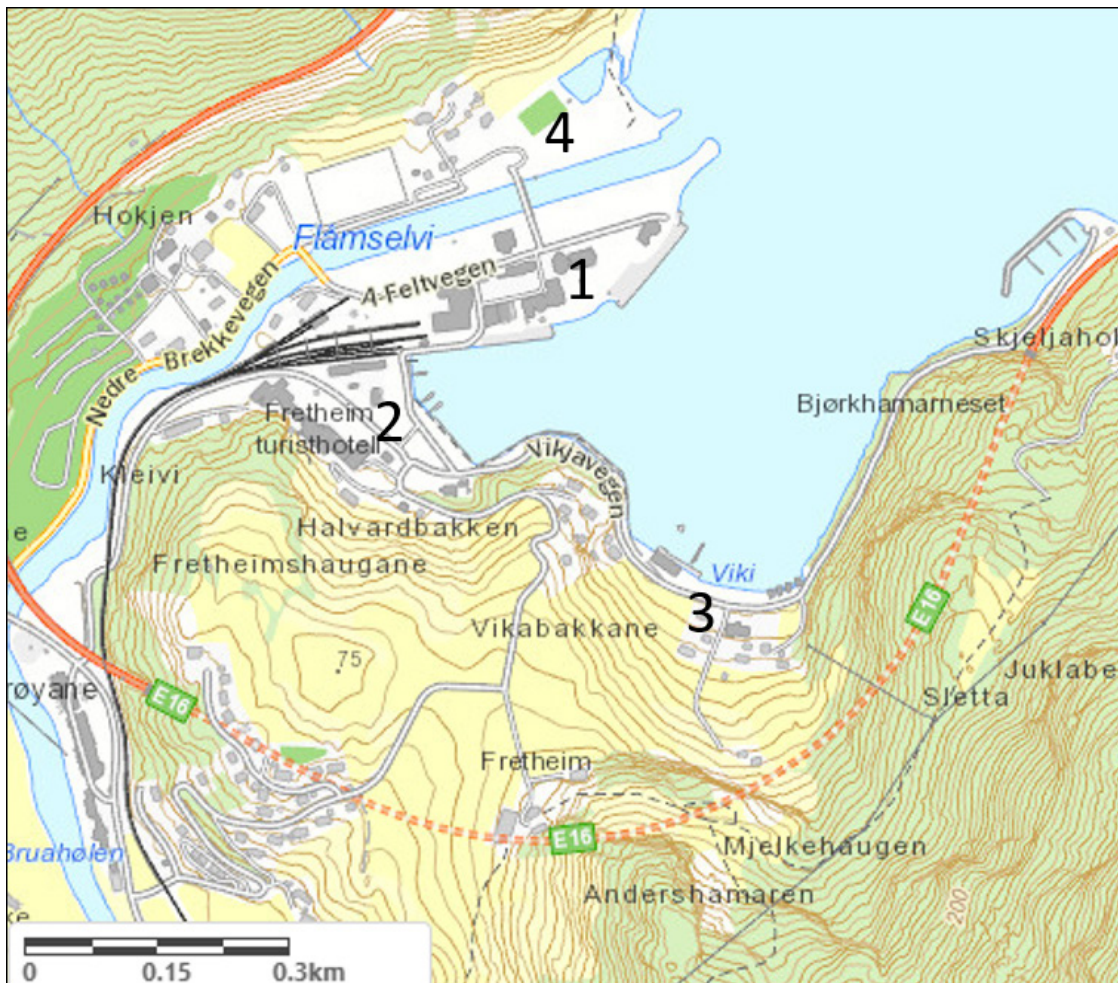
På oppdrag fra Aurland kommune har NGI vurdert effekten av mulige sikringstiltak mot oppskylling av flodbølger i Flåm sentrum. Dette notatet er en revisjon (rev. 01) av opprinnelig rapport (20180549-01-TN rev. 0) som nå inkluderer vurdering av sikrings-tiltak for bølger fra potensielle skred fra Stiksmoen i tillegg til tidligere vurdering av sikringstiltak for bølger fra potensielle skred fra Joasetbergi.

Gjeldene skredscenario for Joasetbergi har et volum på 280.000 m³. Nominell årlig sannsynlighet for utløsning av dette volumet er anslått til 1/100-1/1000 (NVE, 2016). Faresonene som er presentert under er knyttet opp mot TEK17 med samme sannsynligheter som sannsynligheten for utløsning. Beregningene av skred, flodbølger og faresoner er nærmere beskrevet i blant annet NGI (2017a og 2017b).

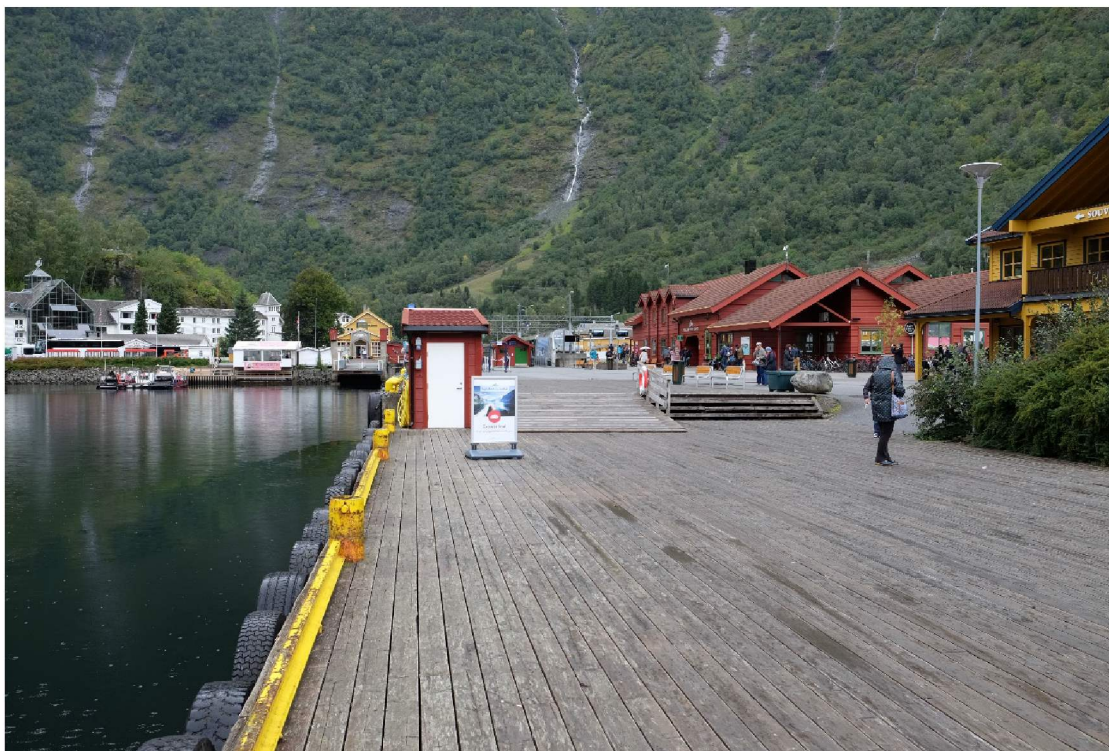
De siste beregninger av flodbølger inn mot Flåm er gjort for et potensielt skred fra Stiksmoen (NGI, 2022). For disse analysene har vi anvendt den probabilistiske modellen utviklet av NGI i samarbeid med NVE til å beregne oppskyllingslinjer for ulike sannsynligheter. Gjeldende skredscenario fra Stiksmoen har et volum på ca. 400.000 m³ og en medianverdi på nominell årlig sannsynlighet anslått til ca. 1/200. I dette tekniske notatet har vi gjentatt beregningene som utført for NVE (NGI, 2022), men nå med ulike høyder på sikringstiltak.

2 Området ved Flåm sentrum

Flåm sentrum langs utløpet til Flåmselvi er flatt med terrenghøyde mellom 2.0 og 2.5 m over middelvannstand, område 1 i Figur 1 og foto i Figur 2. Her ligger det blant annet butikker, spisesteder og togstasjon. Videre mot sørvest ligger Fretheim hotell, område 2. Foran hotellet er terrenget nederst delvis flatt fra bryggen (som går langs hele området fra sentrum og helt ut til Viki sørøst i område 3) og deretter delvis svakt stigende opp til hotellet som ligger på ca. kote 3 m. I Viki ligger Flåm Marina & Apartments i strandsonen, med brygge rett utenfor selve bygget. Videre østover er det en uberørt strand med noen rorbuer. Terrenget her stiger 5 m på ca. 15 m innover fra sjøen. Mellom område 2 og 3 er terrenget bratt opp fra bryggen (bergknauser). Nord for Flåmselvi ligger et åpent område 4 med parkeringsplass og rekreasjonsområde (ballplass m.m.). Terrenget her ligger rett under 2 m. Lengst inn (sørvestover) på område 4 er det flere bolighus og en fotballbane. Langs hele strandlinjen i Flåm inkludert nedre del av elva er det steinsatt eller bygget brygge mot fjorden/elva bortsett fra lengst nord (område 4) og sørøst (østre del av område 3).



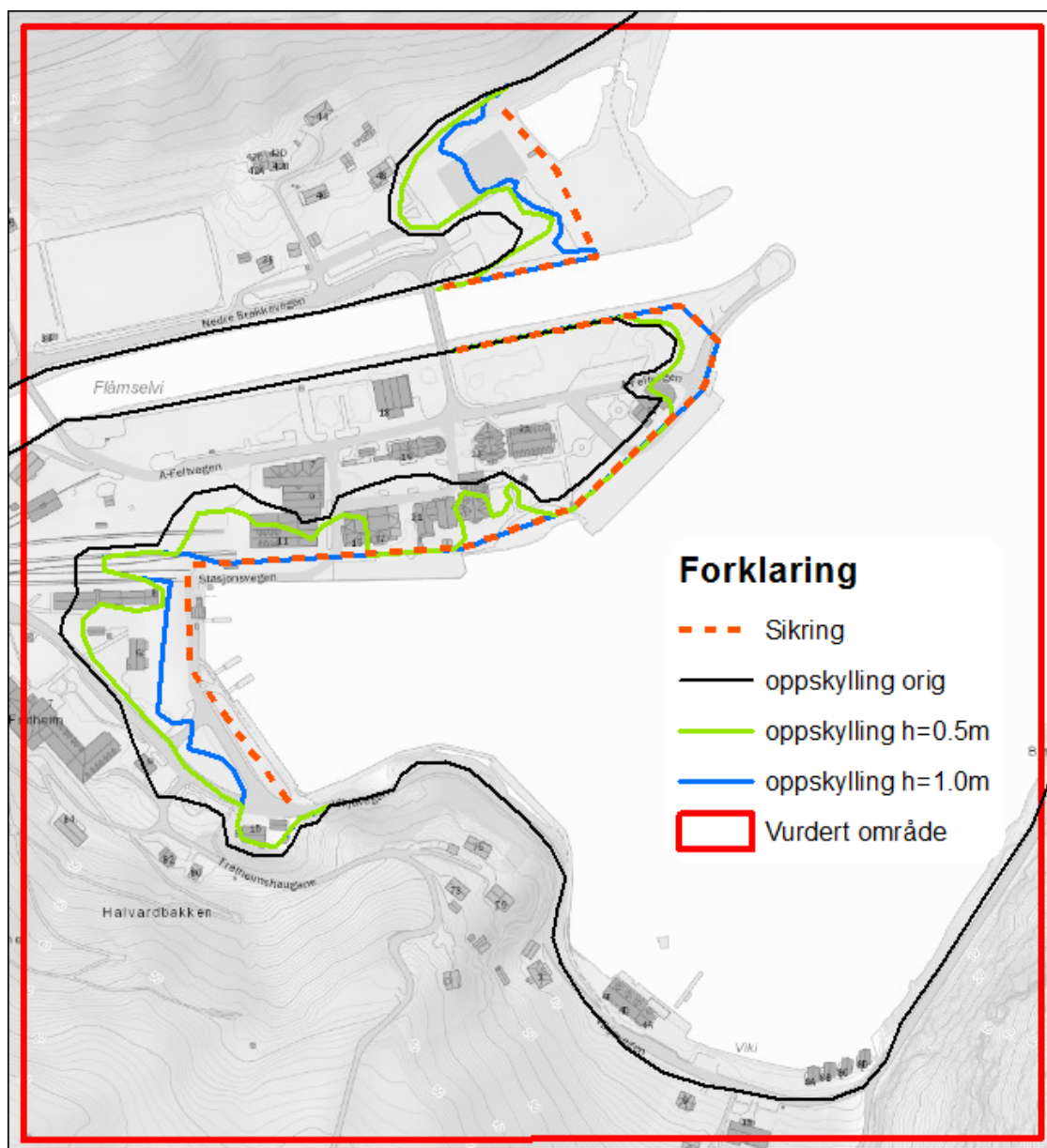
Figur 1: Oversikt over Flåm sentrum og nærliggende områder. Nummereringen 1-4 refereres til i teksten.



Figur 2: Foto fra område 1, retning fra bryggen mot togstasjon. Sentrum med butikker og spisesteder m.m. ligger inn til høyre. Fretheim hotell sees bak til venstre.

3 Oppskylling av flodbølger etter skred fra Joasetbergi

Beregninger fra NGI (2017a; 2017b) viser at for selve sentrum i Flåm (område 1) er hastigheten på vannet som trenger inn over land i hovedsak rundt 1.0 m/s med hastigheter opp mot 2.0 m/s på noen begrensede områder. Strømningsdyp (høyde på vannet over bakkenivå) i område 1 er stort sett mindre eller lik 0.5 m. I de andre områdene er det noe større verdier på både strømningsdyp og hastigheter. Oppskyllingslinjer (som avgrenser området som vil kunne bli vått under en oppskylling) er vist i Figur 3. Her er vist både linjen fra NGI (2017a; 2017b) og linjer hvor vi har lagt inn eksempel på effekten av sikring på land (i form av en vertikal mur). Om man ønsker å sette opp sikring for bare deler av området må man gjøre spesifikke vurderinger av oppskyllingen. Beregningene viser at en sikring med høyde tilsvarende 1.0 m over bakkenivå medfører at det ikke vil trenge vann inn i Flåm sentrum. I hele området i og rundt Flåm vil man således ha flere mulige tilnærminger for å kunne tilfredsstille TEK17, se under.

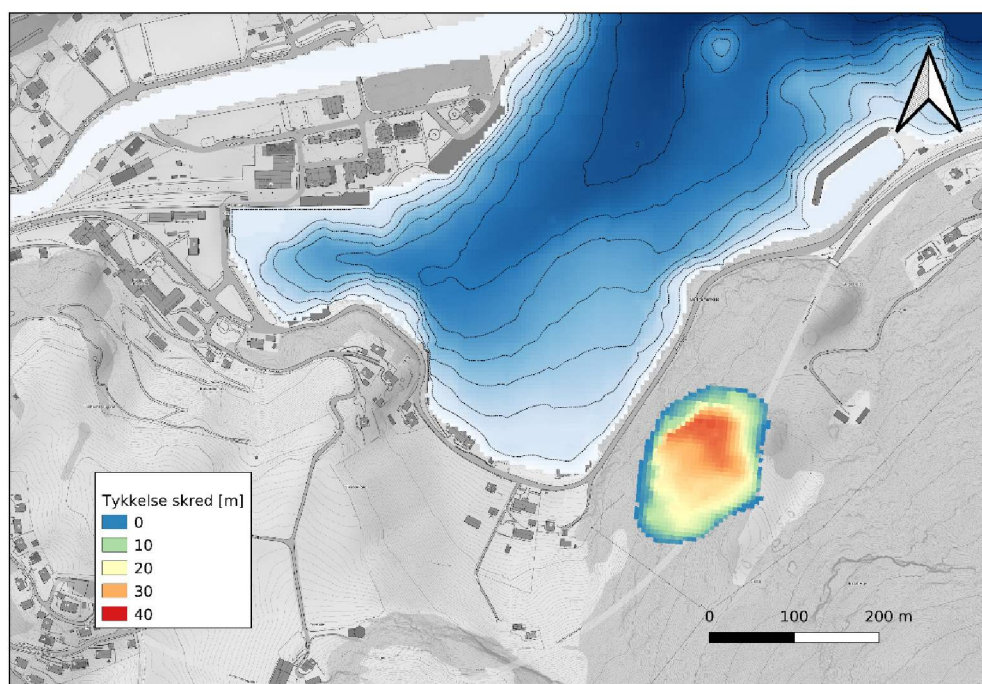


Figur 3: Oppskyllingslinjer uten sikring ("orig") og med sikring i form av vertikal mur i ulik høyde over bakkenivå ("h=0.5m" og "h=1.0m"). Plassering av selve sikringen som er brukt som eksempel er stiplet med rød linje.

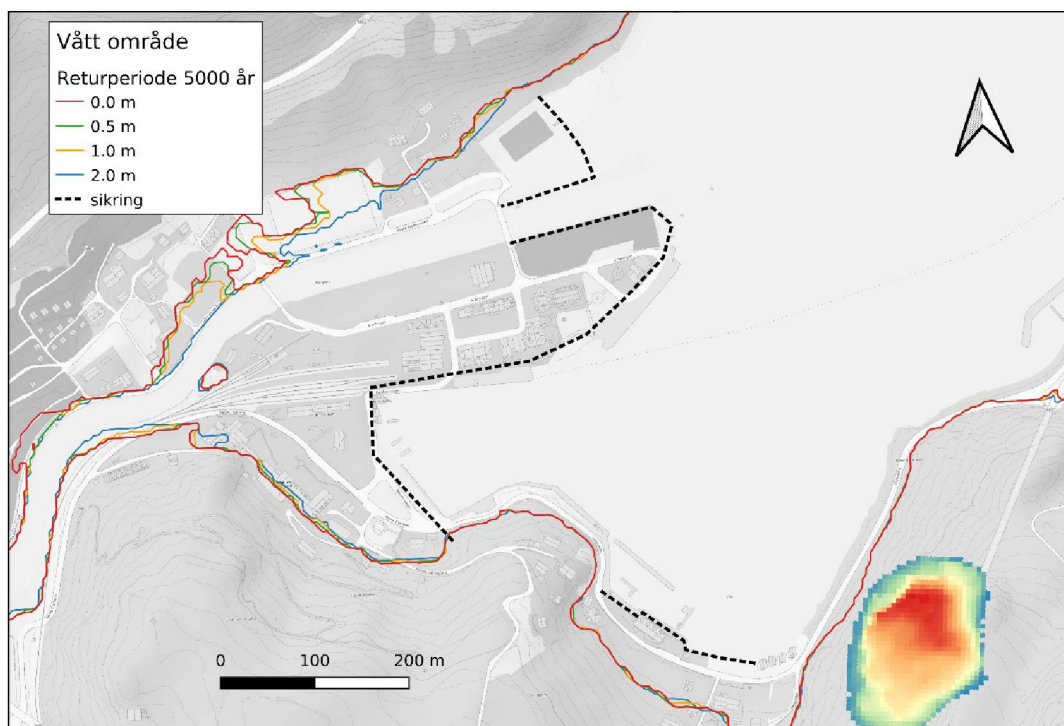
4 Oppskylling av flodbølger etter skred fra Stiksmoen

I Figur 4 ser vi at det potensielle skredet fra Stiksmoen ligger veldig nær Flåm sentrum. Sikringsløsningene som er testet her har samme plassering som de som er testet for Joasetbergi over (Figur 5, svart stiplet linje). Vi har i den probabilistiske modellen beregnet oppskylling i Flåm sentrum for sikringshøyde på 0.5, 1.0, og 2.0 m over eksisterende terreng. I Figur 5 og Figur 6 vises oppskyllingslinjer (området som blir vått under oppskylling) med nominell årlig sannsynlighet på henholdsvis 1/5000 og 1/1000. Sammenlignet med bølger fra Joasetbergi, så vil en sikring mot oppskyllingen for bølger generert av skredet fra Stiksmoen gi liten effekt. Grunnen til dette er at bølger fra Stiksmoen er vesentlig høyere, noe som igjen hovedsakelig skyldes den korte avstanden mellom skredområdet og Flåm sentrum. , Volumet fra Stiksmoen er også noe større enn fra Joasetbergi. I tillegg virker det også inn på risikobildet når man sammenligner faresonene for skred fra Joasetbergi og Stiksmoen at årlig nominell sannsynlighet for utløsning av Stiksmoen er så høy som ca. 1/200.

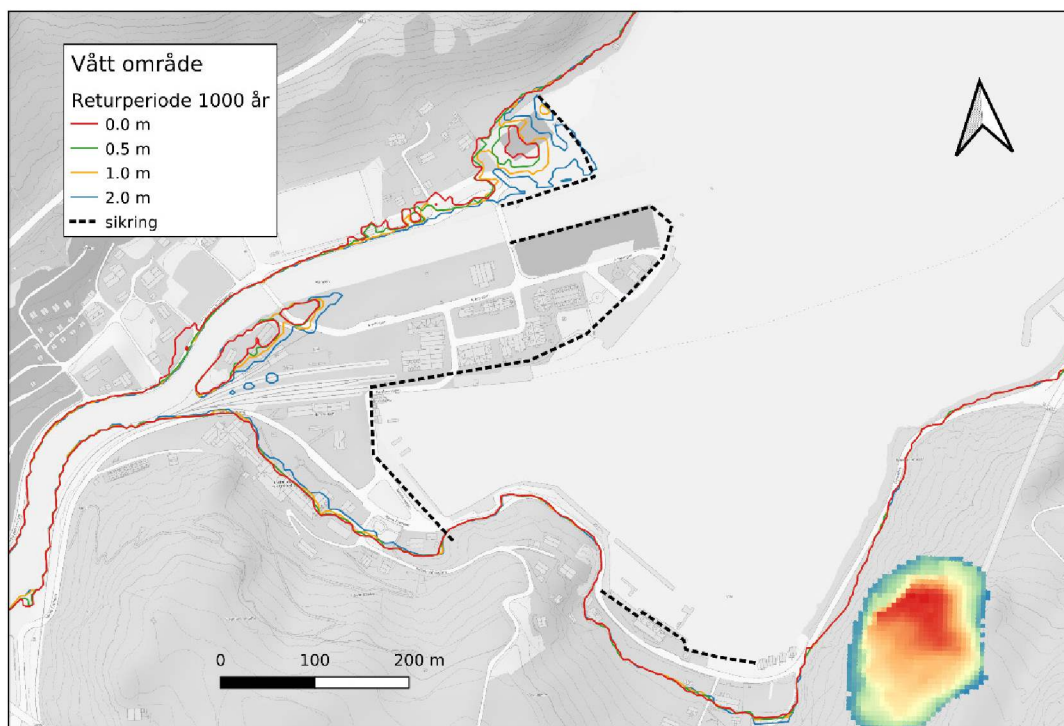
For beskrivelse av modellering og mer informasjon om skredet, se NGI (2022).



Figur 4: Tykkelse av skredet ved Stiksmoen før skredutløsning, etter beregning av NGU.



Figur 5: Oppskyllingslinjer for årlig nominell sannsynlighet på 1/5000 med ulike høyder på sikringstiltak i form av vertikal mur (oppgitt i meter, 0.0 m betyr ingen sikring).



Figur 6: Oppskyllingslinjer for årlig nominell sannsynlighet på 1/1000 med ulike høyder på sikringstiltak i form av vertikal mur (oppgitt i meter, 0.0 m betyr ingen sikring).

5 Om sikring mot flodbølger

Hvis man ønsker å bygge nytt eller gjøre andre tiltak krever TEK17 §7.2/§7.3 andre ledd at "(...) Byggverk skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot flom (eller skred) slik at største nominelle årlige sannsynlighet i tabellen ikke overskrides. (...)". For Flåm er det også viktig å huske på at liv og helse er ivaretatt gjennom NVEs overvåkning og varsling av skred fra Joasetbergi.

Aktuelle fysiske tiltak for å redusere oppskylling av flodbølger er moloer/bølgebrytere, voller/diker, eller andre bølgedempende tiltak. Høyden på disse kan variere ut fra hva man vil dimensjonere mot. I noen tilfeller vil for eksempel en økning av høyden på en molo gi god effekt (NGI, 2013; 2015). De ulike tiltakene må plasseres og utformes med varsomhet, da slike tiltak også kan føre til økt fare i nærliggende områder, som for eksempel at hastigheter på vannet øker gjennom trange passasjer både i sjø og på land. Slik kanalisering av vannet vil videre kunne medføre sterk erosjon, som i neste omgang kan gi større skade ved at for eksempel sikringstiltak rives med som drivgods. Utvasking kan også medføre utglidninger av ulik karakter. Tiltak for å redusere oppskyllingen må også vurderes i lys av at disse kan virke skjemmende, kan endre strømningsforhold, økologi, erosjonsforhold, sediment transport m.m. Videre så er flodbølger å anse som lange bølger, hvilket medfører at vannet kan strømme rundt og bak konstruksjoner etablert som sikringstiltak (på samme måte som et tidevann). Skadepotensialet i slike tilfeller vil likevel kunne reduseres, ved at hastigheten på vannet blir redusert ved hjelp av sikringstiltak. Områdene som har størst gevinst av tiltak som reduserer hastigheten på vannet (målt i redusert faresone areal), er der det er slakt/flatt terreng.

6 Mulige tiltak

For områdene i og rundt Flåm sentrum ser vi for oss følgende muligheter for skade-reducerende tiltak:

1. Lokalisere utenfor faresone
2. Heve byggegrunnen
3. Dimensjonere selve bygget slik at det tåler belastningen. Inngangsparametere (strømningsdyp og -hastighet) for dimensjoneringen er gitt av NGIs beregninger
4. Bygge sikring (molo/bølgebryter, mur, dike/voll)

For Flåm sentrum vil sannsynligvis det mest hensiktsmessige være å bruke et av alternativene 1-3. Dette siden oppskyllingen er begrenset og håndterbar og at man med slike tiltak slipper å legge føringer på hvor folk kan bevege seg (som f.eks. en mur i alternativ 4 vil kunne gjøre). Det kan også tenkes at man enkelte steder ønsker å bruke alternativer 1-3 i en kombinasjon med alternativ 4. Går man inn for alternativ 4 så vil man på den annen side kunne frikjenne et helt område, uten å måtte dimensjonere tiltak for hver ny bygning som skal oppføres eller endres.

Moloer/bølgebrytere vil sannsynligvis ha en god effekt for å redusere skadepotensialet i området vi har undersøkt, men kan være til hinder for de funksjonene som brygger og kaier må ivareta langs sjøsiden av Flåm sentrum. Det kan derimot være bedre egnet for Viki, hvor terrenget/bygninger er utformet slik at det er vanskelig å få noen god effekt av sikringsvoll, -mur eller lignende på land. Moloer/bølgebrytere i fjorden er imidlertid vanligvis mer kostbart og må vurderes ut fra dybdeforhold og en kost/nytte analyse.

Det er viktig å påpeke at for bølger fra Stiksmoen vil det være krevende å sikre områder i sentrum av Flåm og områder nær skredet uten store inngrep (høyere sikringer enn testet her), siden bølgene herfra vil være vesentlig større enn bølgene fra Joasetbergi.

7 Referanser

NGI (2013) Ørskog kommune – beregninger av flodbølge ved Sjøholt. Sikringstiltak for Sjøholt sentrum. NGI rapport 20130150-01-R.

NGI (2015) Beregning av oppskylling i Sjøholt for nye løsninger på moloanlegg og sikring på land. NGI teknisk notat 20140364-01-TN.

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

NGI (2017a). *Aurland kommune - oppskylling av flodbølger etter skred fra Joasetbergi.* NGI rapport 20160855-01-R.

NGI (2017b). *Aurland kommune - Faresoner for flodbølge fra Joasetbergi.* NGI teknisk notat 20170593-01-TN

NGI (2022). *Flodbølger etter skred fra Stiksmoen, Aurland kommune – beregning av faresoner.* NGI rapport 20210580-01-R.

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Vurdering av sikring mot flodbølger i Flåm sentrum		Dokumentnr./Document no. 20180549-01-TN
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical note	Oppdragsgiver/Client Aurland Kommune	Dato/Date 2018-10-04
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/Proprietary rights to the document according to contract Oppdragsgiver / Client		Rev.nr. & dato/Rev.no. & date 1 / 2022-09-09
Distribusjon/Distribution BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/Keywords Flodbølge, tsunami, numerisk modellering, fjellskred, sikringstiltak, faresoner		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country Norge, Sogn og Fjordane	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality Aurland kommune	Feltnavn/Field name
Sted/Location Flåm	Sted/Location
Kartblad/Map	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: 32 Øst: 397800 Nord: 6749000	Koordinater/Coordinates Prosjeksjon, datum: Øst: Nord:

Dokumentkontroll/Document control Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev/ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/ Self review by:	Sidemanns- kontroll av/ Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/ Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/ Inter- disciplinary review by:
0	Originaldokument	2018-10-04 Sylfest Glimsdal	2018-10-02 Carl B. Harbitz		
1	Lagt til beregning for Stiksmoen	2022-09-08 Sylfest Glimsdal	2022-09-08 Carl B. Harbitz		

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 9. september 2022	Prosjektleder/Project Manager Sylfest Glimsdal
--	---------------------------------------	--

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

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

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

www.ngi.no

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

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

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

www.ngi.no

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

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

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

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

