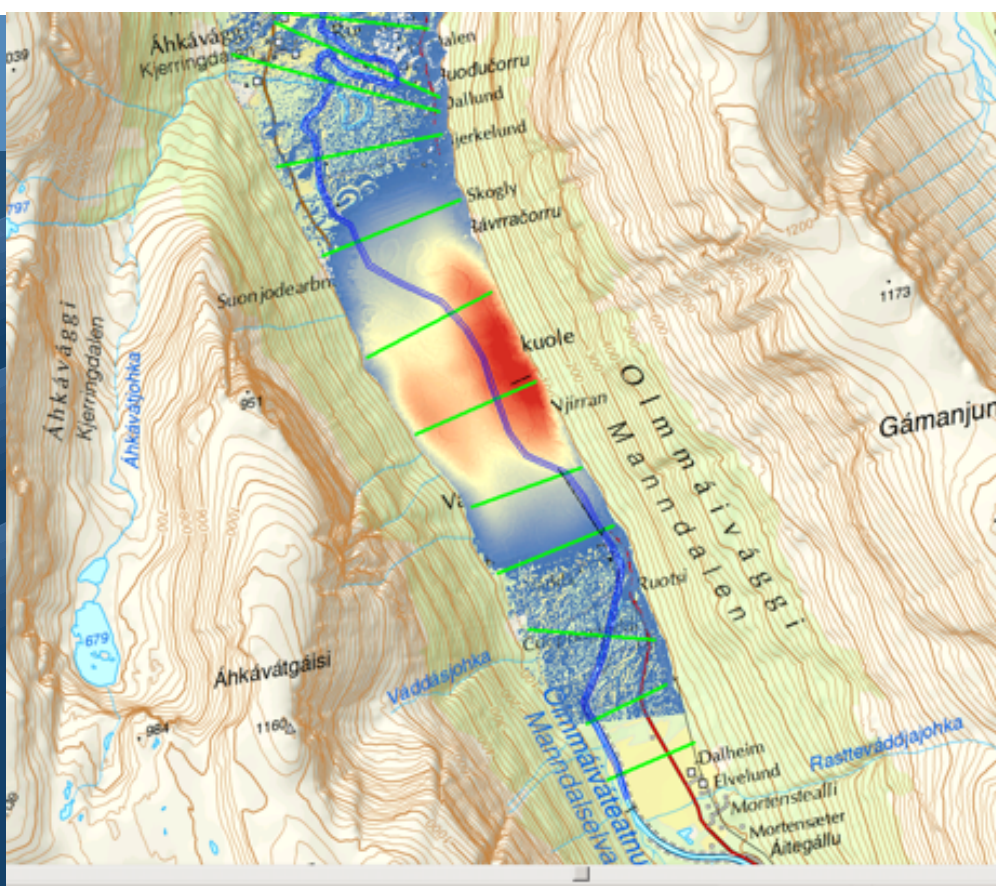




Dambruddsanalyse - skredgenerert dam i Manndalselva, Troms

Per Ludvig Bjerke, Gudrun D. Majala, Eva M. Forsgren

3
2018



R
A
P
P
O
R
T

Rapport nr 3-2018

Dambruddsanalyse - skredgenerert dam i Manndalselva, Troms

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Per Ludvig Bjerke, Gudrun D. Majala, Eva M. Forsgren

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag:

Forsidefoto: Skredutbredelse

ISBN 978-82-410-1652-3

ISSN 1501-2832

Sammendrag: Det er simulert brudd på en skredgenerert dam i Manndalen. Skredmassene er antatt å kunne bli opp til 15 m tykke. Det er simulert en maksimal bruddvannføring på 2000 m³/s. Dammen vil da tømmes i løpet av 1 time og 45 minutter. Bølgefronten bruker 0.5 time på den 7 km lange strekningen ned til havet. Vannføringen er redusert til 800 m³/s ved havet. Høyden av flombølgen er 4-5 m og vannhastigheter opp mot 8 m/s i strykene. Sannsynligheten for dambrudd er så lav at det ikke blir restriksjoner i arealbruken nedstrøms utløpsområdet.

Emneord: Skred, dam, Gamanjunni 3, Troms

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Innhold

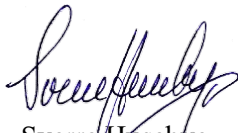
Forord.....	4
1. Innledning	5
2. Skredet	6
3. Sannsynlighet for skred og oppdemming.....	8
4. Oppfylling av dammen	9
5. Beregning av vannføring ved brudd på dammen	10
6. Om beregning av flombølgen.....	13
7. Resultater.....	15
8. Klassifisering av områder	22
9. Resultat fra vannføringer på 600 og 200 m ³ /s.....	27
10. Arealplanlegging i faresoner fra skredgenerert dam fra Gåmanjunni 3 29	
11. Konklusjon	31
12. Referanser	32

Forord

På oppdrag for SVF har Hydrologisk avdeling i NVE utført dambruddsbølgeberegninger for en dam generert fra utrasing av fjellet Gamanjunni 3 i Manndalen i Troms.

Arbeidet er blitt utført i slutten av 2016 og i 2017 med Per Ludvig Bjerke som ansvarlig for oppdraget fra NVE sin side. Byman Hamududu og Gudrun Dreiås Majala har kvalitetssikret rapporten internt. Petter Reinemo fra Skred AS har vært ekstern kvalitetsikrer.

Trondheim, desember 2017



Sverre Husebye
Seksjonssjef



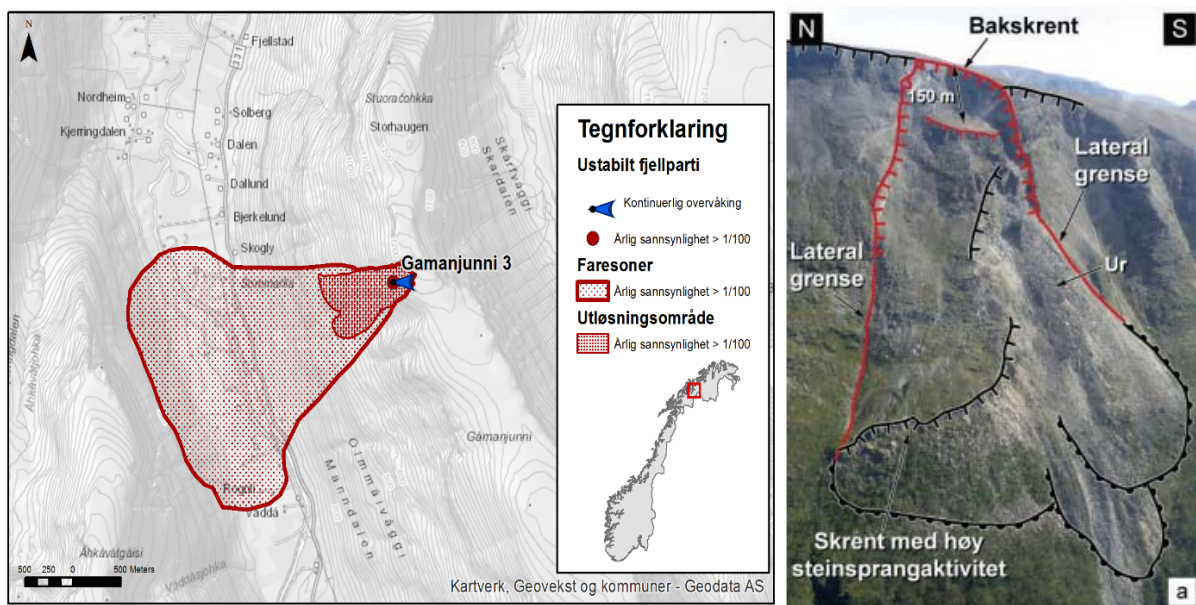
Per Ludvig Bjerke
Prosjektleder

1. Innledning

Et fjellskred fra fjellpartiet Gamanjunni 3 i Manndalen, Kåfjord kommune, vil kunne krysse Manndalselva og kan føre til en dam som oppdemmer elva oppstrøms skredmassene. Hvor fort og hvor høy en slik dam vil genereres er avhengig av flere faktorer. Det er vannføringen i elva, porøsiteten av massene, høyden og fordelingen av de utrasede massene som blir liggende som er de viktigste faktorene.

Det er gjort modelleringer av skredutløpet, og i figur 1 er vist hvilken utstrekning raset kan få.

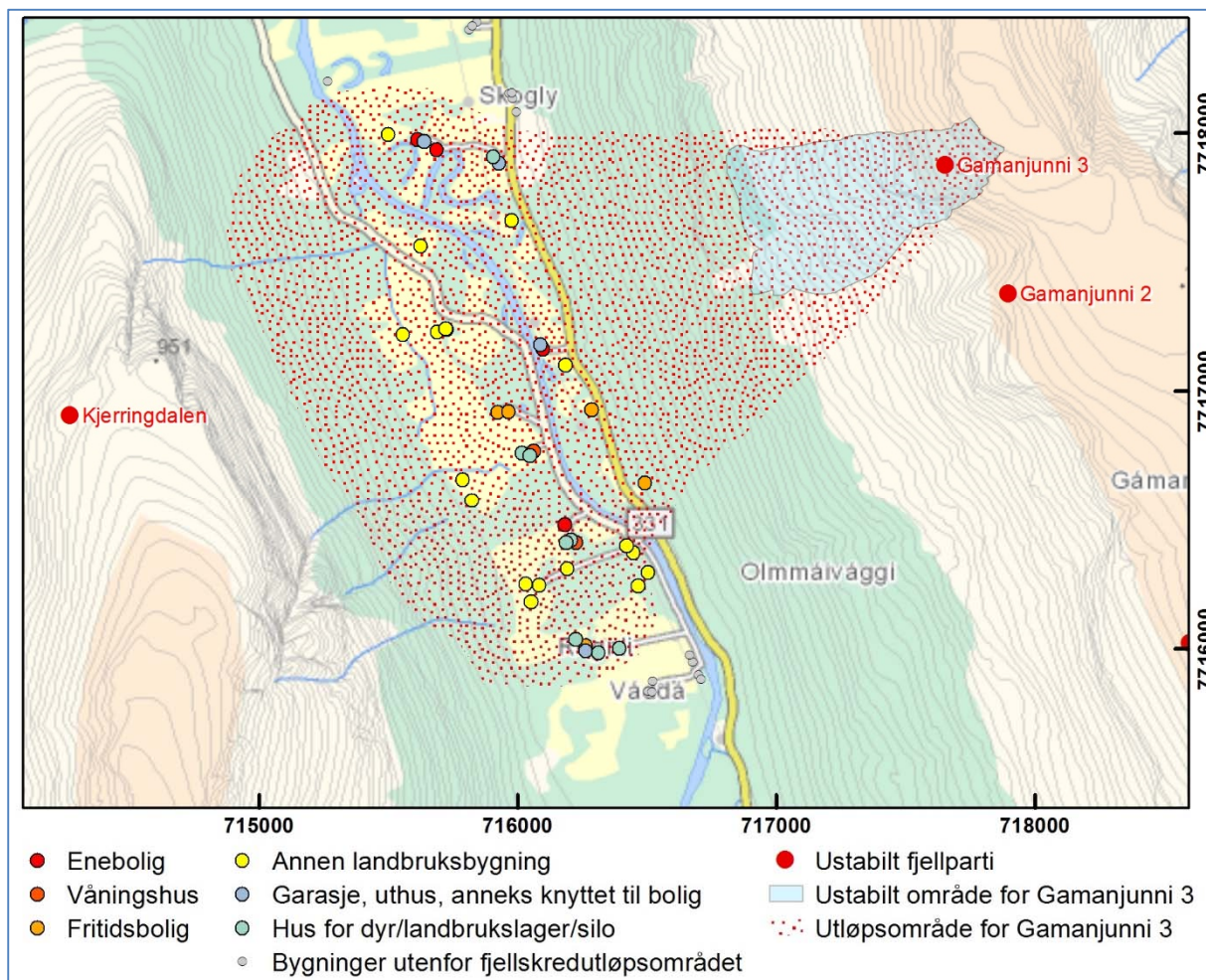
Hovedmålet med dette prosjektet er å estimere vannføringer og vannstander nedover elva ved et eventuelt dambrudd.



Figur 1: Kart over det ustabile fjellpartiet ved Gamanjunni 3 (fra NVEs database Faresoner for store fjellskred) og flyfoto med avgrensninger av det ustabile området (hentet fra NGU rapport 2016, Böhme m.fl).

2. Skredet

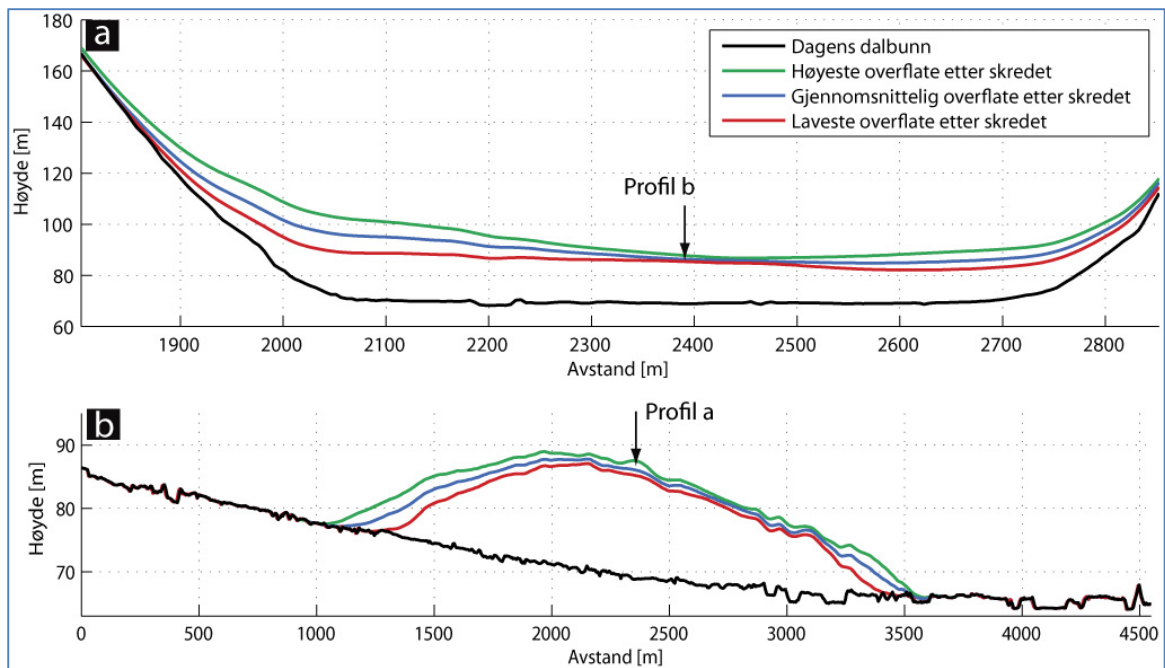
Skredet er modellert og rapportert i NGU rapport nr. 2016.031. Rapporten konkluderer med at opptil 26 millioner m³ masse kan rase ut. Til å beregne utløpsområdet er det benyttet modelleringsverktøyet FlowR og DAN3D omtalt i Horton m. fl. (2013) og McDougall (2009).



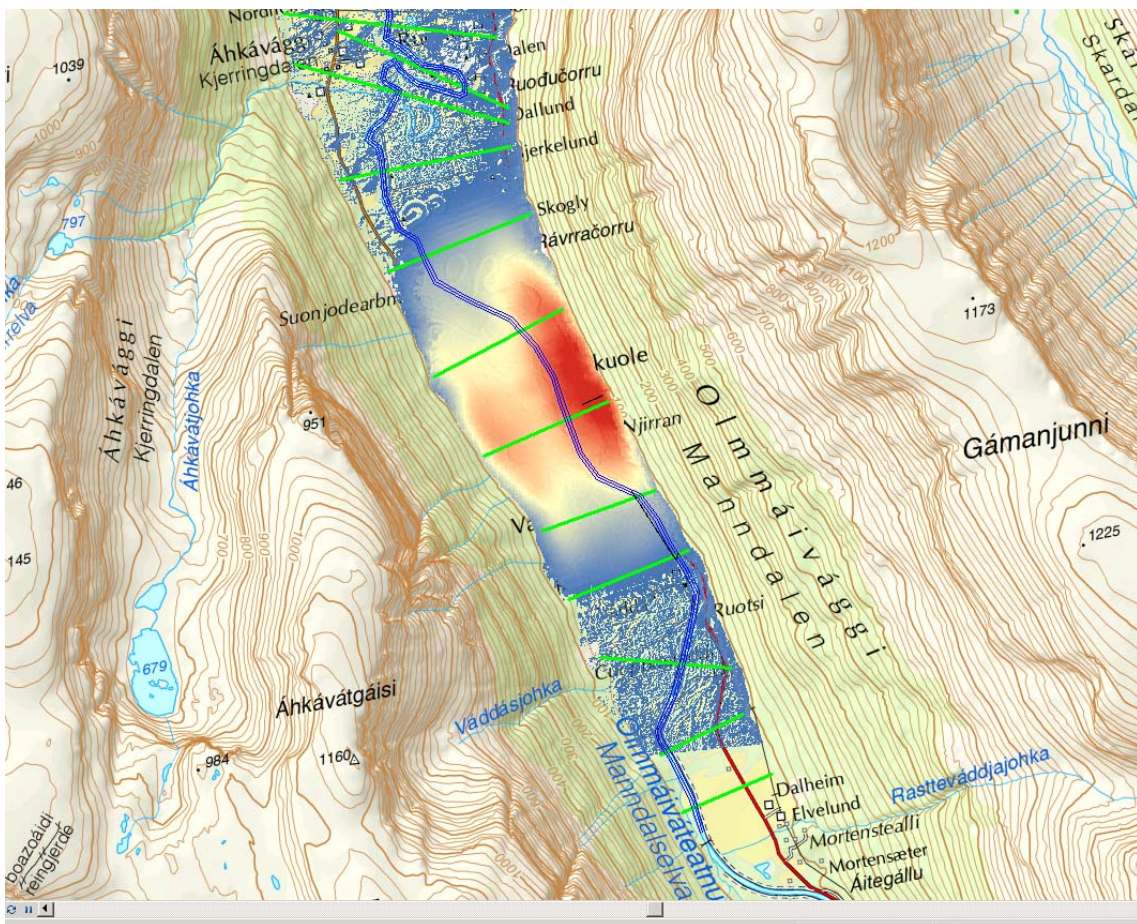
Figur 2 Utløpsområdet for mulig kollaps av Gamanjunni 3 med bygninger innenfor utløpsområdet er vist fra Böhme m.fl. 2016.

FlowR modelleringen som er brukt i utløpsanalysen gir bare informasjon om fjellskredets utbredelse på overflaten, men ingen informasjon om tykkelsen av avsetningene. For å kunne vurdere oppdemning og mulig dambrudd trengs det informasjon om skredets mektighet. Til dette er det utført en detaljert 3-dimensjonal utløpsmodellering ved hjelp av DAN3D beskrevet i McDougall (2009). Basert på data fra historiske og forhistoriske fjellskred i Norge antas det at metoden er en konservativ tilnærming for maksimum utløpslengde av norske fjellskred.

Figur 3 gir liten forskjell i usikkerhet for de forskjellige parametervalg som er gjort, og det er derfor i dambruddsbølgeberegningen bare valgt å kjøre simuleringer med en damhøyde på 85 moh, det vil si en oppdemning på rundt 15 meter.



Figur 3 Figur som viser hvordan skredet blir liggende i dalbunnen. Et tverrsnitt av dalen er vist øverst og et langsgående med dalen nederst. Fra Martina Böhme m.fl. 2016.



Figur 4 Kart som viser skredet i dalbunnen. Rødt er markert som høyeste nivå på skredet og lysere farge gir lavere høyde.

3. Sannsynlighet for skred og oppdemming

Det er ønskelig å kunne si noe om sannsynligheten for et skred og sannsynligheter for forskjellige scenarier både for skred og dambrudd. Utgangspunktet vil være det nasjonale system for fare- og risikoklassifisering av ustabile fjellmasser rapportert i Hermanns m. fl. (2012) og Böhme m.fl. (2016).

Sannsynligheten for et skred fra Gámanjunni 3 klassifiseres som svært høy i NGU sin risikomatrise, Böhme m. fl. (2016) og i NVE rapport 77:2016 er det konkludert med en årlig sannsynlighet som er større enn 1/100.

Kartleggingen av faresoner tilknyttet flommen i elva vil bedre grunnlaget for vurdering av farene i arealplanlegging, byggesaksbehandling og beredskapssituasjoner.

Et fjellskred fra Gamanjunni 3 vil bli varslet, og en oppfylling av en dam kan ta flere dager. Det vil derfor være lite sannsynlig at en eventuell dambruddsflom vil føre til tap av menneskeliv. Ved det ustabile fjellpartiet Mannen i Rauma kommune ble det på bakgrunn av dette konkludert med at flomfaren nedstrøms som følge av dambrudd skal håndteres som en vanlig flom i arealplan. Det samme vil gjelde for Gamanjunni 3 ved at oppfyllingen av en eventuell dam kan ta flere dager, og det ikke er fare for menneskeliv ved at evakueringen vil ha funnet sted i god tid før et eventuelt dambrudd.

Modelleringen av et fjellskred fra Gamanjunni 3 gir en mektighet på avsetningene i dalen fra skredet på rundt 15 m. Tidligere fjellskred i Manndalen viser at fjellskred har nådd over Manndalselva, med store blokker som kan sees på andre siden av dalen. Det er imidlertid mange usikkerheter knyttet til modellering av skred. Det er spesielt vanskelig å modellere forløpet av skred når det treffer elvebunn, og kan inkorporere vannmettet løsmasser. Det er ikke uvanlig at slike store skred fører til sekundære skred utløst av en mobilisering av eksisterende dalbunnssedimenter. Disse sekundære skredene vil være tynne, og vil ikke føre til vesentlig oppdemming av elva.

Skredgenererte demninger kan være stabile i noen få minutter til flere titalls år, men kan også forbli stabile. Dette er avhengig av størrelse, utforming, topografi, kornfordeling, vann- og sedimenttinnstrømning. Disse demningene skiller seg fra menneskeskapte ved at de er sammensatt av ukonsoliderte og usorterte løsmasser etter et fjellskred.

I NGU rapport 2016.047 er det konkludert med at sannsynligheten for at en skredgenerert dam fra Gamanjunni 3 er ustabil, og vil gå i brudd, bare er på 14 %. Hovedforklaringen til den lave sannsynligheten er at det store volumet på 26 millioner m³ som raser ut, vil fordeles jevnt utover et stort areal, og dermed er rimelig stabilt. Stabiliteten til demningen er vurdert ut fra DBI indeks (dimensjonsløs blokkeringsindeks). Denne er beregnet ut fra demningens volum, høyde og nedslagsfeltet til demningen (km²). For Gamanjunni 3 vil det være en forholdsvis lav demningshøyde (15 m) som gir en lav DBI indeks. I NGU rapporten (2016.047) blir det brukt et volum på 21 millioner m³. En ny analyse med bruk av det reviderte volumet på 26 millioner m³ gir en DBI-indeks bare 1.9, noe som gir en sannsynlighet på 0 %. På bakgrunn av den reviderte beregningen av DBI indeksen er det konkludert med at det er lite sannsynlig med et dambrudd fra Gámanjunni 3. Bakrunnen for dette er at fjellskredmassene fordeler seg over et stort område, en lav damhøyde og et relativt lite nedbørsfelt.

Det er store usikkerheter i modeller for utløp og form på fjellskredet. Analysemetoden NGU har brukt (DAN 3D) har vist seg å ofte gi for stor arealutbredelse eller for stor utflyting. NVE må derfor ta høyde for at skreddemningen kan bli høyere og det har derfor blitt kjørt beregning for DBI-indeksen på flere dambruddshøyder. Det viser seg at med en 60 m damhøyde, noe som er svært usannsynlig (4 ganger høyere enn beregnet høyde på dammen), vil dette gi en DBI-indeks på 2,5 og en sannsynlighet for dambrudd på 29 %. En dobling av dambruddshøyden til 30 m gir en DBI-indeks på 2,2 og en sannsynlighet for dambrudd på bare 5%.

Ved å ta høyde for usikkerheter i modellering og skredutløp blir det brukt en sannsynlighet på 5% for et dambrudd. Det anses derfor som svært lite sannsynlig at den skredgenererte dammen vil gå til brudd. Dambruddsmodelleringen er kjørt med en dambruddshøyde på 15 m, da det er dette som foreligger for utløpsanalysen i NGU rapport nr. 2016.031 hvor volumberegningen er 26 millioner m³.

Setter en dette i sammenheng med sannsynlighet for fjellskred fra Gámanjunni 3 (sannsynlighet større enn 1/100 pr. år) gir dette en årlig nominell sannsynlighet for dambrudd på om lag 1/2000. Den nominelle sannsynligheten legges til grunn ved vurdering av arealbruk nedenfor demningen jf. sikkerhetskrav i TEK 17 § 7-2.

4. Oppfylling av dammen

Simuleringene viser at skredavsetningene vil demme opp elva fra dagens nivå på kote 70 moh og opp til kote 85 moh. Det er usikkert hvor det laveste punkt på demningen blir blant annet på grunn av forventet kaotisk topografi etter skredet. Tabell 1 viser oppfyllingstid for gitte vannføringer i elva.

Den spesifikke normale avrenningen er 31.7 l/sek*km² som gir en vannføring i elva på 4.6 m³/s. En middelflom er 67 m³/s og en 200 års flom er 255 m³/s inklusive klimapåslag. Fra NVE Nevina.

Det vil ta 357 timer eller 15 dager å fylle opp en demning til kote 85 moh med normalvannføring i elva, mens det ved middelflom vil ta 24 timer og ved 200 års flom tar det 10 timer.

Tabell 1 Tabellen viser fyllingstider for en demning fra skred.

Oppfyllingstid i timer	Vannføring			Magasin volum (mill m ³)
	Normalvannføring	Middelflom	200 års flom	
Opp til kote 85	357 t	24 t	10 t	6

5. Beregning av vannføring ved brudd på dammen

Oppbygningen av en skredgenerert dam har flere usikre momenter. Dette gjelder både tykkelse, utbredelse samt materialsammensetning og morfologi. Skredavsetningen vil bestå av en blanding av store fjellblokker og nedknust materiale fra fjellskredet, sammen med andre masser som er remobilisert i skredbanen.

Det kan ikke utelukkes at deler av demningen kan bestå av større områder med finkornete sedimenter. Simuleringen gir inntrykk av en jevn overflate på skredavsetningen, dette er egenskaper til enhver modellering og en forenkling av virkeligheten. Rygger og blokker vil utgjøre lokale forhøyninger og ikke være monoton i hele utløpsområdet i dalen. For demningen sin del er det først og fremst det laveste punktet i demningen som er viktig for oppdemningshøyde, og ikke andre lokale forhøyninger med rygger og blokker. Det er vanskelig å forutse hvordan utstrekningen og hvilke masser som vil utgjøre demningen ved et slikt skred.

For å bestemme den endelige åpningen av bruddet, tida bruddet tar og dermed den maksimale vannføringen ved bruddet er det flere mulige metoder å bruke. Det er utviklet flere empiriske formler for en slik beregning, og felles for alle at de er basert på data fra tidligere brudd fra jorddammer og skredgenererte dambrudd. Formlene er utførlig diskutert i Neves (2015).

Det er også fra empiriske data funnet sammenhenger mellom vannføringer, damhøyde og damvolum fra skredgenererte dambrudd, se for eksempel Costa 1985.

Det er også sett på sammenhenger mellom vannføring, damhøyde og vannvolum. I figur 5 vises sammenhengen mellom vannføring og volumet ut av dammen for historiske hendelser. For Gamanjunni 3 ligger magasinvolumet på 6 million m³, og fra figuren sees at vannføringen da ligger på mellom 100 og 3000 m³/s. Volumet av vannmengden opp for demningen er beregnet i Hec-Ras ved å summere vannføringen ut av dammen fra kote 85 moh til den er nede på 70 moh.

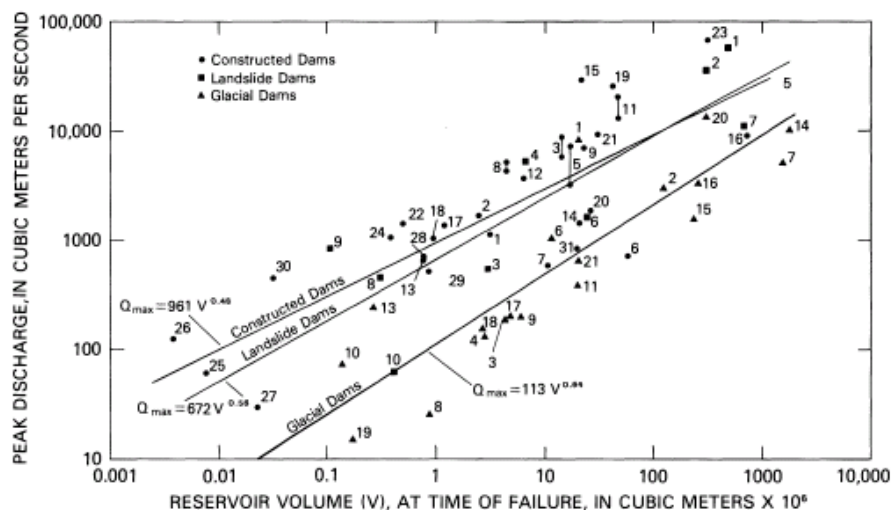


Figure 5. Graph showing reservoir volume (V , in $m^3 \times 10^6$) versus peak discharge (Q_{max} in cubic meters per second) for constructed, glacial, and landslide dams with numbers keyed to tables 3, 5 and 6.

Figur 5 Figur som viser sammenhengen mellom vannføring og volum av oppdemt dam. Fra Costa 1985.

I figur 6 er det plottet empiriske verdier for sammenhengen mellom vannføring og damhøyde. For Gamanjunni 3 er damhøyden 15 m, og fra figuren sees at vannføringen da har ligget mellom 100 og 2000 m³/s.

I figur 7 er vist den empiriske sammenhengen mellom damfaktor (høyde x volum), og vannføring ved brudd. For Gamanjunni 3 vist med blå strek er damfaktoren 90. Ut fra figuren kan det leses at vannføringen da har ligget mellom 500 og 3000 m³/s.

For å finne de ulike vannføringene for Gamanjunni 3 har man beregnet vannføringen med flere ulike metoder og valgt en middelverdi av disse. Vannføringen viser seg å variere fra 200 til 4000 m³/s avhengig av hvilken metode man bruker. I dette prosjektet er det valgt å bruke data fra Fröhlich som gir en maksimal vannføring på 2000 m³/s, og to andre vannføringer på 600 og 200 m³/s. Dette ligger innenfor de sammenhenger som er funnet mellom vannføring og de ulike faktorer som bestemmer vannføringen.

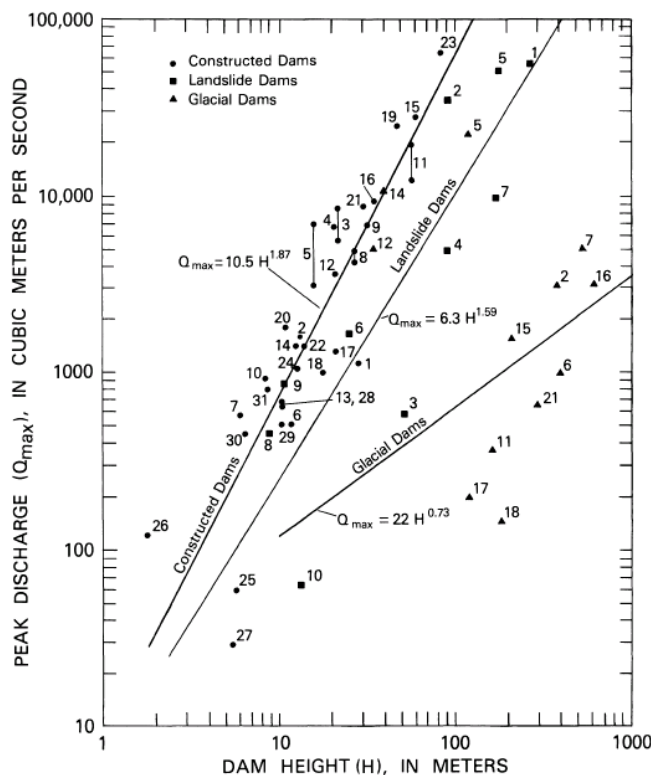
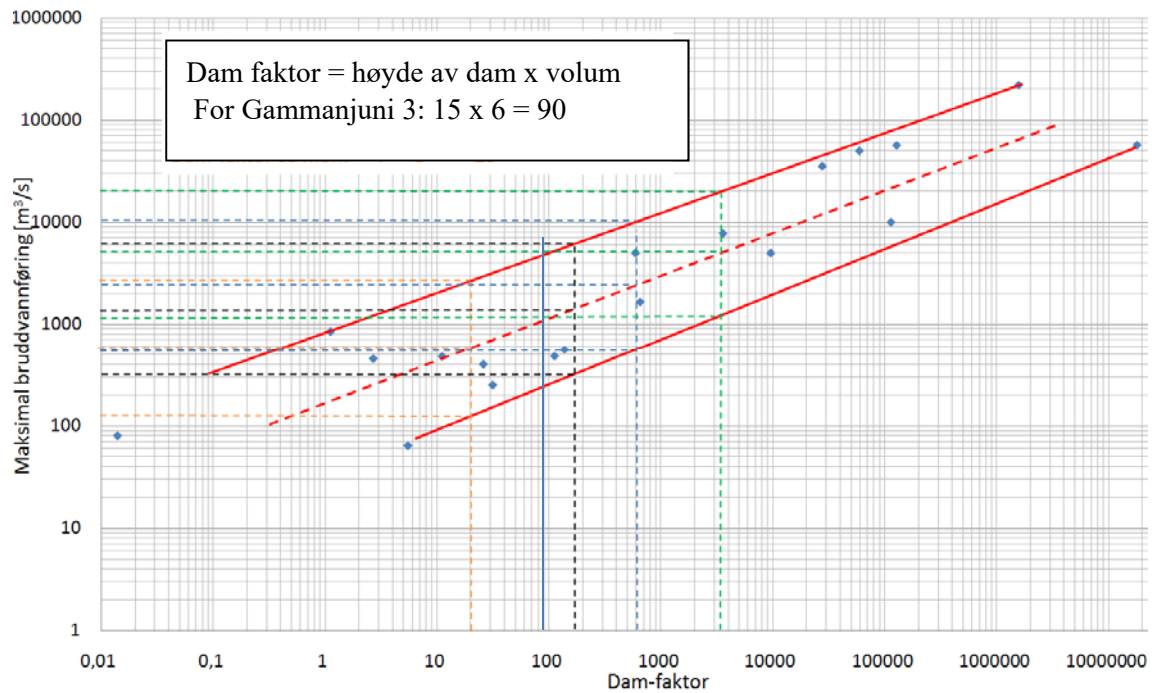


Figure 4. Graph showing dam height (H, in meters) versus peak discharge (Q_{max} in cubic meters per second) for constructed, glacial, and landslide dams with numbers keyed to tables 3, 5 and 6.

Figur 6 Figur som viser sammenhengen mellom vannføring og demningshøyde. Fra Costa 1985.



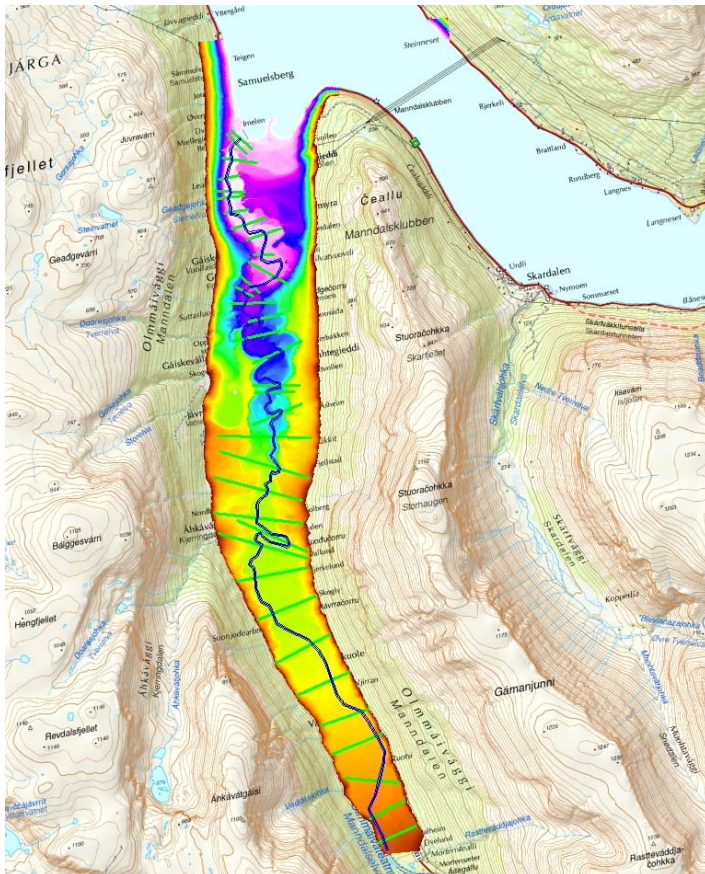
Figur 7 Figur som viser sammenhengen mellom damfaktor og vannføring ved dambrudd for skredgenererte dammer. Fra Manville, 2001.

I den hydrauliske modellen Hec-Ras er Frøhlich's formel brukt for å få den ønskede vannføring ved brudd. Frøhlich formel gir en vannføring på 2000 m³/s med en bruddåpning på 25 m og en åpningstid på 2 timer. For de to andre er åpningen noen meters bredde og åpningstiden er 4 timer.

6. Om beregning av flombølgen

Det er kjørt simuleringer for ett scenario med et dambrudd på en demning med høyde 85 moh som er antatt generert ved utrasing av fjellet Gamanjunni 3. Begrunnelsen for å simulere for bare ett scenario er omtalt i kapittel 2.

Det er kjørt simuleringer med både 1-D og 2-D modell for å sikre et best mulig grunnlag for resultatene.



Figur 8 Kart som viser terrengdata og profiler som er brukt i modellen. Ulik farge beskriver ulike høyder over havet. Rødt er høyestliggende området på ca 75 moh, blått er ca. 25-20 moh og rosa er 10 moh eller lavere.

Om modellen Hec-Ras

Hec-Ras er et dataprogram som simulerer både 1-dimensjonal og 2-dimensjonal elvestrømning og benytter løsningen av energiligningen som basis for beregningene. Strømningen i elva estimeres ved en iterert løsning av energi- og kontinuitetsligningene. Energitalp beregnes ved hjelp av friksjons- og kontraksjons/ekspansjons koeffisienter multiplisert med hastighetshøyden. Ved raske endringer i vannstanden anvendes bevegelsesligningen.

Modelloppsett

Hec-Ras har mange muligheter for å simulere en vannstrømning. I denne simuleringen er det både simulert med 1-D og 2-D modeller for å være tryggest mulig på resultatet.

Datagrunnlag

Kart som viser terrengmodellen som er brukt i beregningene er vist i figur 10 og i vedlegg 3. Elva slynger seg nedover i blått. Det øverste partiet er merket rødt og ca. 70 moh. Elva er slak de første kilometrene før den går over i et trangt og bratt gjel ved Åsheim. Videre slaker elva ut til ho renner i et stryk under brua ved Fossen og ut på sletta nedenfor Senter for nordlig folk.

Elverouting

Simulering av strømmingen til en vannmengde ut av et magasin eller nedover et vassdrag kalles routing. Det er to hovedmetoder for routing: Hydraulisk og hydrologisk routing. Hydrologisk routing kan beskrives som å ta bort en vegg i et badekar slik at vannet bare velter ut, mens hydraulisk routing tar hensyn til forholdene i magasinet som ruhet og som derfor krever profil for å beskrive forholdene. Det er kjørt hydraulisk routing gjennom magasinet som dannes oppstrøms og videre hele veien ned til sjøen. For å beskrive topografien er det brukt en digital terrengmodell og vist på kartet i figur 9.

Grensebetingelser

I modellen må det være grensebetingelser som definerer inngang og utgangsverdier for modellen. Som øvre grensebetingelse settes inn vannføringen lik $25 \text{ m}^3/\text{s}$ før demningen brister. Som nedre grensebetingelse settes vannstanden i havet ved lik middelvannstand lik 0.

Sedimentavsetning i elva

Elva vil ved flom erodere og transportere sand og grus. Hvor det vil eroderes og hvor det vil avsettes er avhengig av vannhastighet, helning av elva og hvordan elva svinger. Der elva flater ut vil vannhastigheten avta betydelig og de minste partiklene vil falle mot bunnen. Dette vil medføre at store mengder avsettes på de flate partier og ved munningen av elva og bygge på de allerede eksisterende deltaet.

Bruer

Det er en bru ved Fossen og en ved utløpet i sjøen. Brua nede ved sjøen ligger så høyt at den er uberørt av en flombølge fra bruddet. Brua ved Fossen vil bli overtoppet og fungere som en demning, men er antatt å kollapse tidlig under trykket fra bølgen.

Erosjon og sekundære skred

Ved et dambrudd ved Rognli vil en flombølge bre seg nedover dalen og gi høy vannstand og høye vannhastigheter. Det er beregnet at passeringen av flombølgen forbi Fossen vil ta 2 timer. Skråninger i yttersvinger består av fint materiale med blant annet sand i det ytterste laget. Skråningene er bevokst med tett små skog, men vil likevel være erosjonsutsatt ved et dambrudd ved Rognli. Det er beregnet at vannstanden kan stige opp til 4-6 m over normal vannstand og vannhastighetene kan komme opp mot 8 m/s.

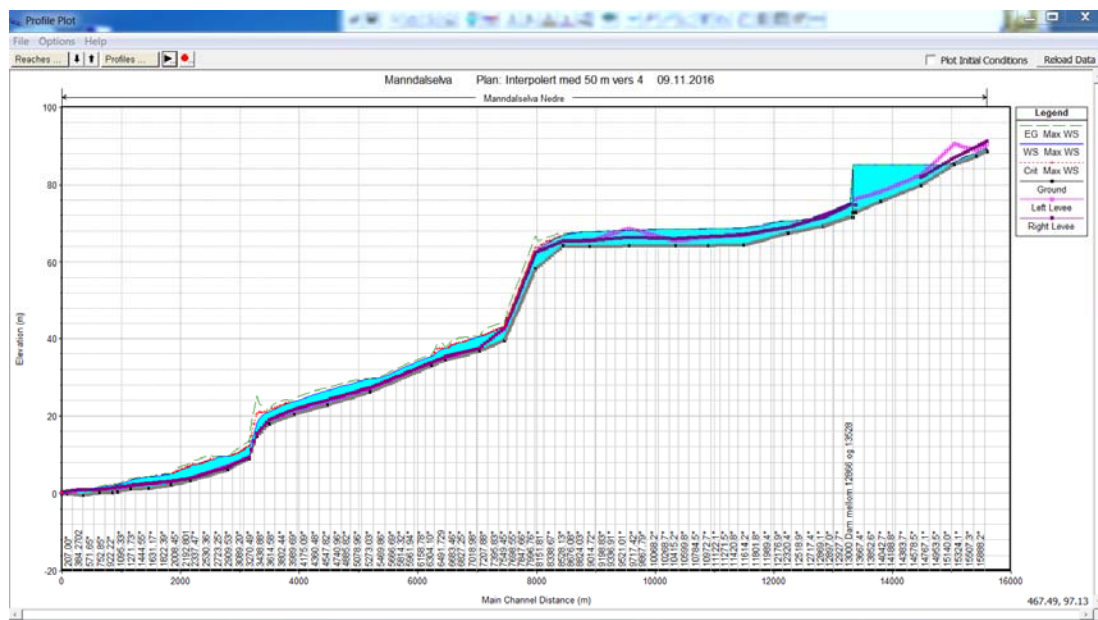
Det er umulig å beregne nøyaktig om og eventuelt hvor mye av skråninger som vil eroderes bort ved en stor flom. Det er derfor ikke lagt inn noe erosjon i modellen. Det må likevel antas at dette vil skje og hvor mye vil kunne beregnes ved en detaljert befaring/gransking av sidekantene nedover elva. Det vil bli utført en overordnet vurdering om faren for store kvikkleireskred i områdene rundt Storfjorden i 2018. I den forbindelse kartlegges også områder med potensiell kvikkleire i Manndalen.

Sensitivitetsanalyse

Det er utført sensitivitetsanalyse for å se på følsomheten av ruhet og gridstørrelsen. Det er ikke observert noen signifikante forskjeller mellom ulike grid og vannstanden øker som forventet noen cm med økende ruhet som empiriske data også viser.

7. Resultater

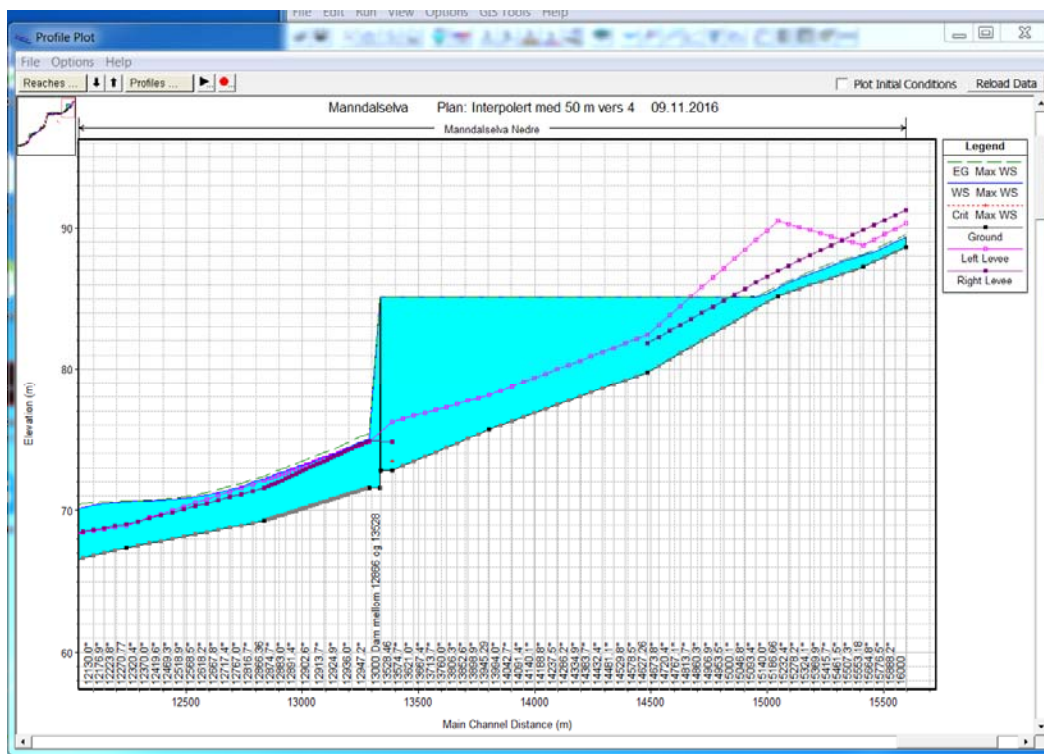
Resultater fra beregningene for vannføringer og vannstand er vist i figur 9 til 14. Figur 9 viser bunnen av elva og vannhøyden fra dammen og ned til havet. Den viser to bratte parti, mens elva ellers er slak. Figur 10 viser vannstanden ved dammen og figur 11 viser vannstand og vannføring rett nedenfor dammen.



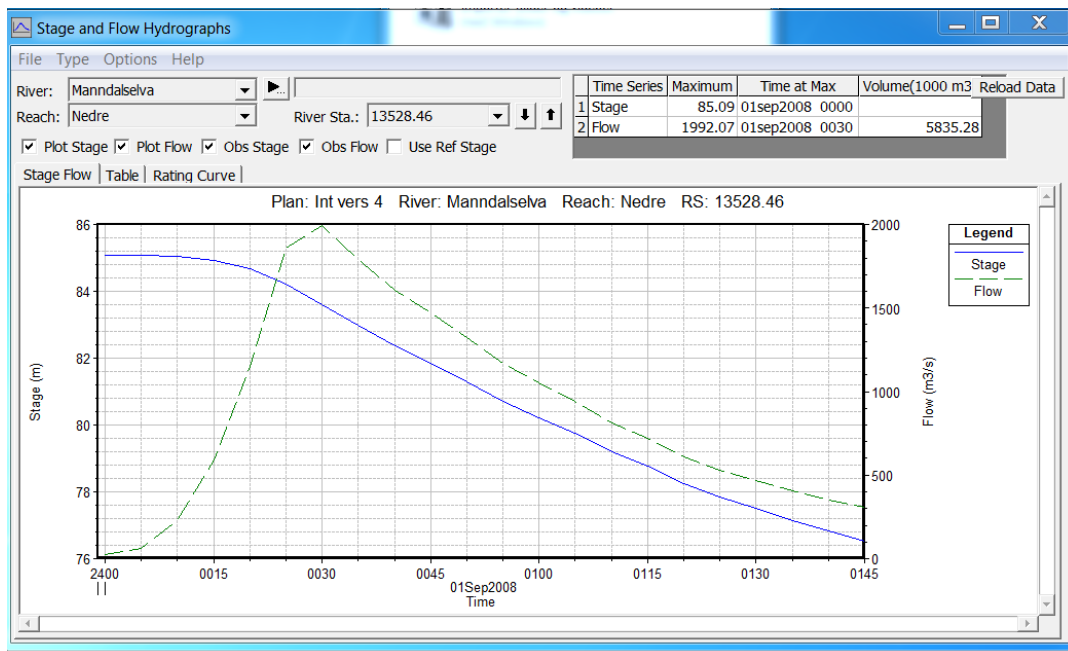
Figur 9 Figur som viser vannstanden fra dam ved Rognli og ned til havet.

Resultatene viser at den store flombølgen vil nå 4-6 m over normal vannstanden. Hastighetene vil være størst i strykene ved Fossen og Øvre-Fossen der de kan komme opp i 8 m/s.

Figur 10 viser bunnen av elva som svart strek og vannstanden i dammen ved Rognli ved bruddet i blått. I figur 11 som viser vannføring og vannstand ut av dammen er vannføringa 2000 m³/s til å begynne med, men den synker i takt med at vannstanden i dammen synker og dammen er tom etter 2 timer.

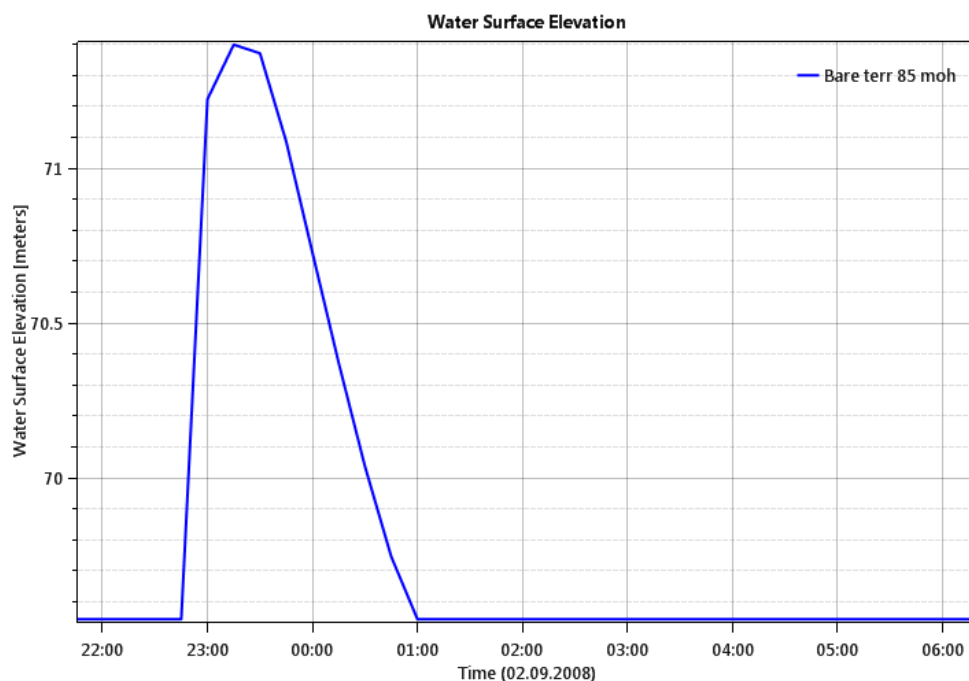


Figur 10 Figuren viser bunnen er tegnet med svart og vannstanden i blått ved oppdemming ved Rognli.



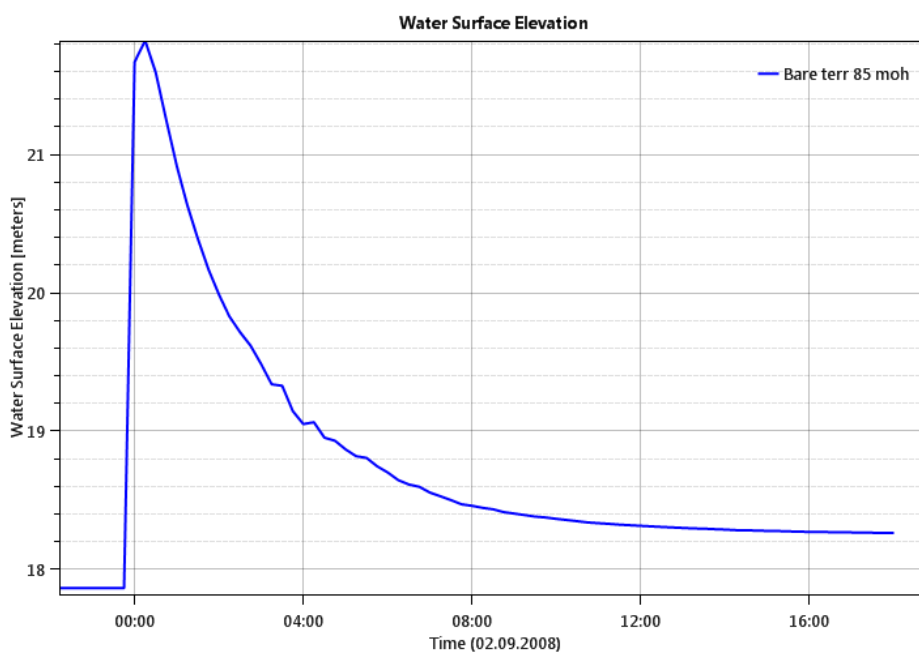
Figur 11 Figur som viser vannstand i blått og vannføring i grønt stiple utløp dammen.

Figur 12 viser vannstanden 400 m nedenfor dammen. Den stiger raskt opp til 71.5 moh i det dambruddet går og synker så nesten like raskt ned når dammen er tom.



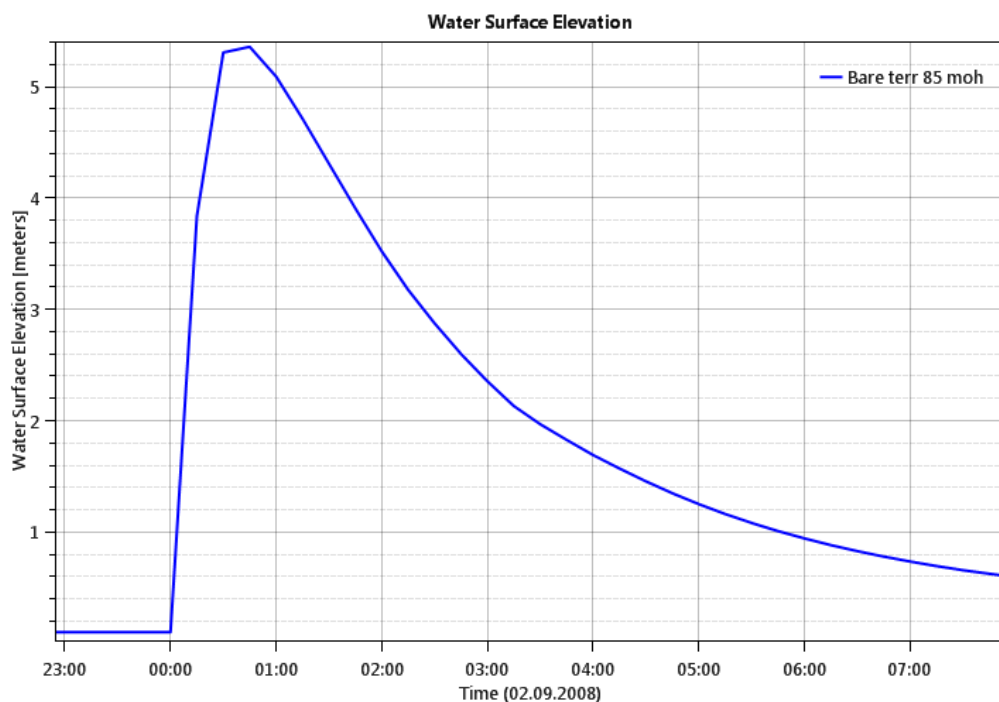
Figur 12 Kurve som viser vannstanden nedenfor den oppdemte dammen.

Figur 13 viser vannstanden rett oppstrøms Fossen. Den stiger raskt opp til 22 moh, men synker adskillig langsommere fordi toppen av bølgen har dempet seg og har strukket seg i lengderetningen på vei nedover dalen.



Figur 13 Figur som viser vannstanden rett opp for Fossen.

Figur 14 viser vannstanden oppstrøms utløpet i sjøen. Vannstand stiger opp til 5 moh og synker langsomt.



Figur 14 Kurve som viser vannstanden oppstrøms utløpet i sjøen.

Tabell 2 viser den maksimale høyden i meter over havet og dybde over normal vannstand i Manddalselva. Hvor en ser at maksimal dybde over normal vannstand er størst med 5 meter over normal vannstand ved Dalen og ved Vatnet. Det er ikke stor variasjon i dybden over normal vannstand nedover elva, og det varierer fra 4-5 meter over normal vannstand.

Tabell 2 Tabellen viser den maksimale høyden i moh + vanddyb ved ulike steder nedover elva.

Sted	Høyde (moh)	Dybde over normal vst. (m)
Dam	85	15
Skogly	69.7	4.5
Dalen	69.4	5
Oppstrøms stryk	66.2	4.5
Vatnet	40.8	5
Oppstrøms Fossen	22	4
Sted nordlig folk	13	4
Utløp	4.5	4.5

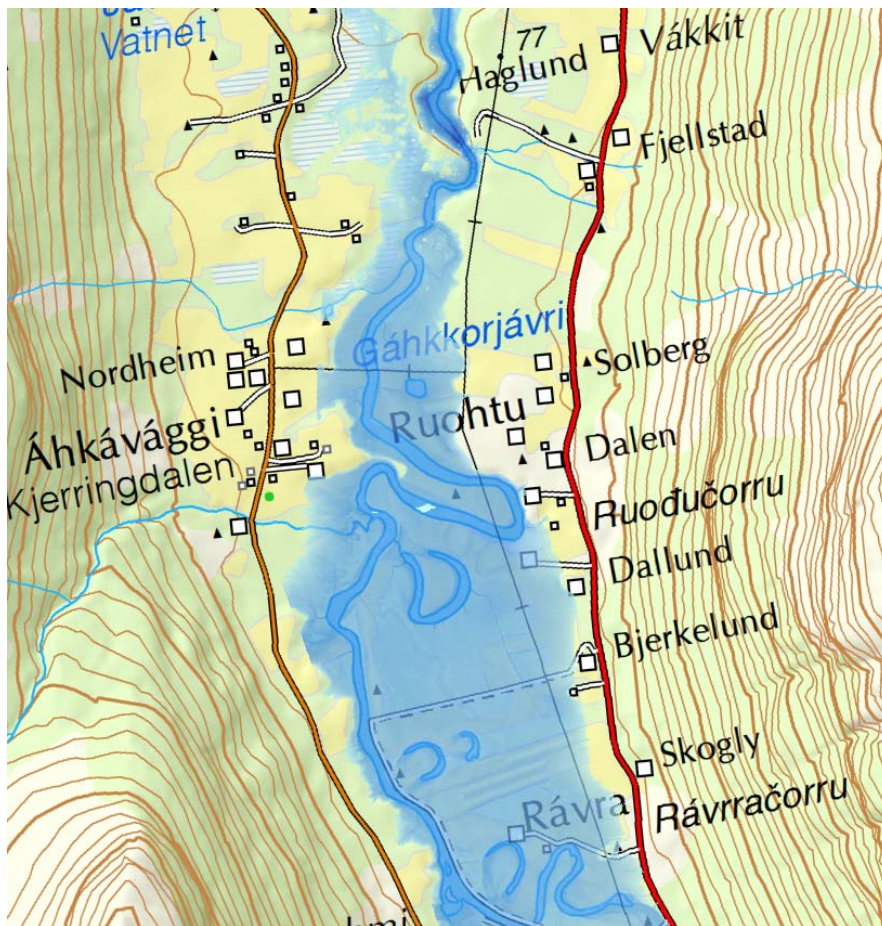
Kartene fra figur 15 til 20 viser utbredelsen av flombølgen nedover elva. Figur 15 viser den nederste delen og figurene 16,17 og 18 viser videre oppover elva. Partier med dypere vann enn 5 m er i mørkeblått.



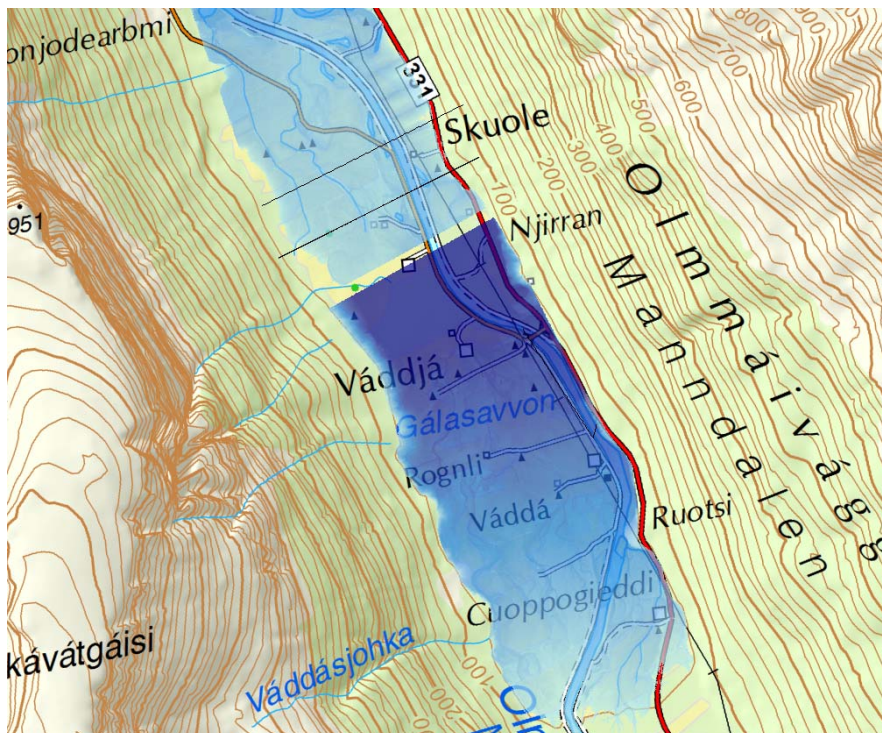
Figur 15 Kart over berørt areal fra dambrudd fra sjøen til Fossen. Blå farge viser oversvømt området der mørk blåfarge indikerer vandyp større enn 5 m.



Figur 16 Kart over berørt området fra Fossen til Vátnet. Mørk blåfarge indikerer vandyp større enn 5 m.

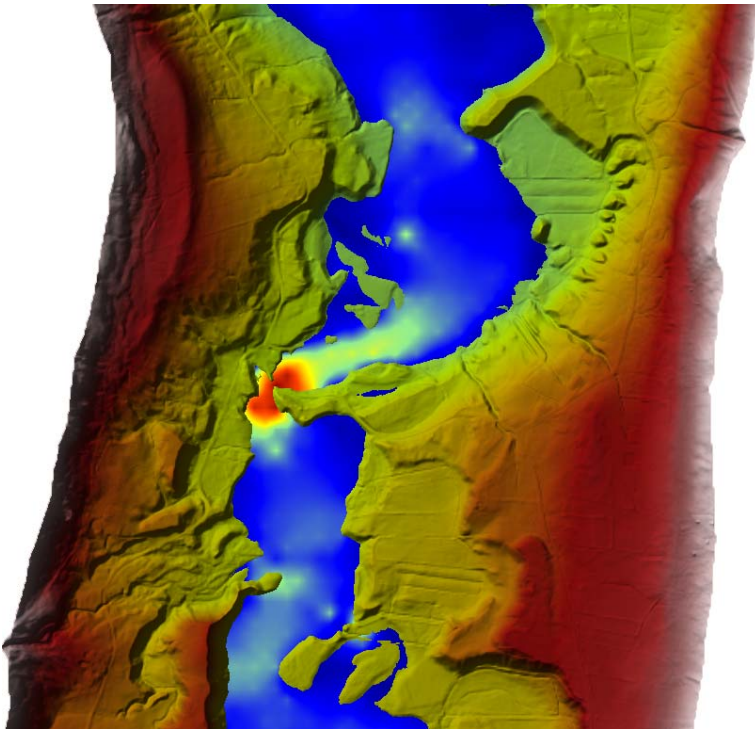


Figur 17 Kart over berørt areal fra dambrudd for strekningen oppstrøms gjelet. Mørk blåfarge indikere større vanndyp enn 5 m.

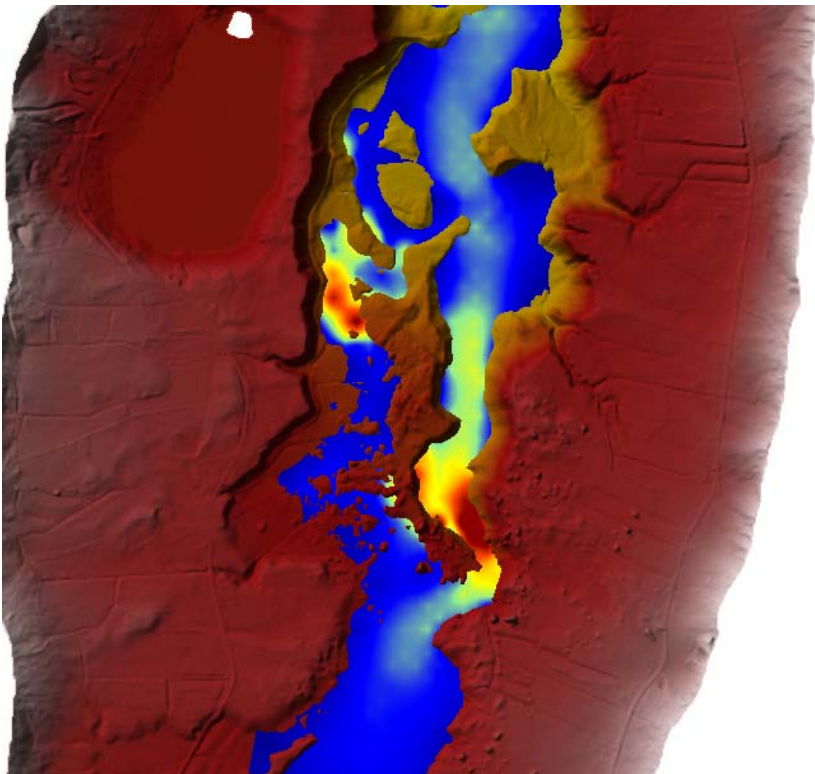


Figur 18 Kart som viser berørt areal for dammen og like nedstrøms dammen. Mørkere farge indikerer større vanndyp der maksimum er 15 m.

Figur 19 og 20 viser vannhastigheten ved de to utvalgte bratte partiene. De viser røde parti som indikerer vannhastigheter på opp mot 8 m/s, mens ellers er det blå farge som indikerer vannhastigheter på mindre enn 5 m/s (normal vannføring ligger som tidligere beskrevet på 4,6 m³/s). Fargene i mellom, det vil si oransje, gul og grønn har gradvis overgang fra 8 m/s til mindre enn 5 m/s.



Figur 19 Kart som viser hastigheter ved Fossen. Rød farge indikerer hastigheter opp mot 8 m/s.

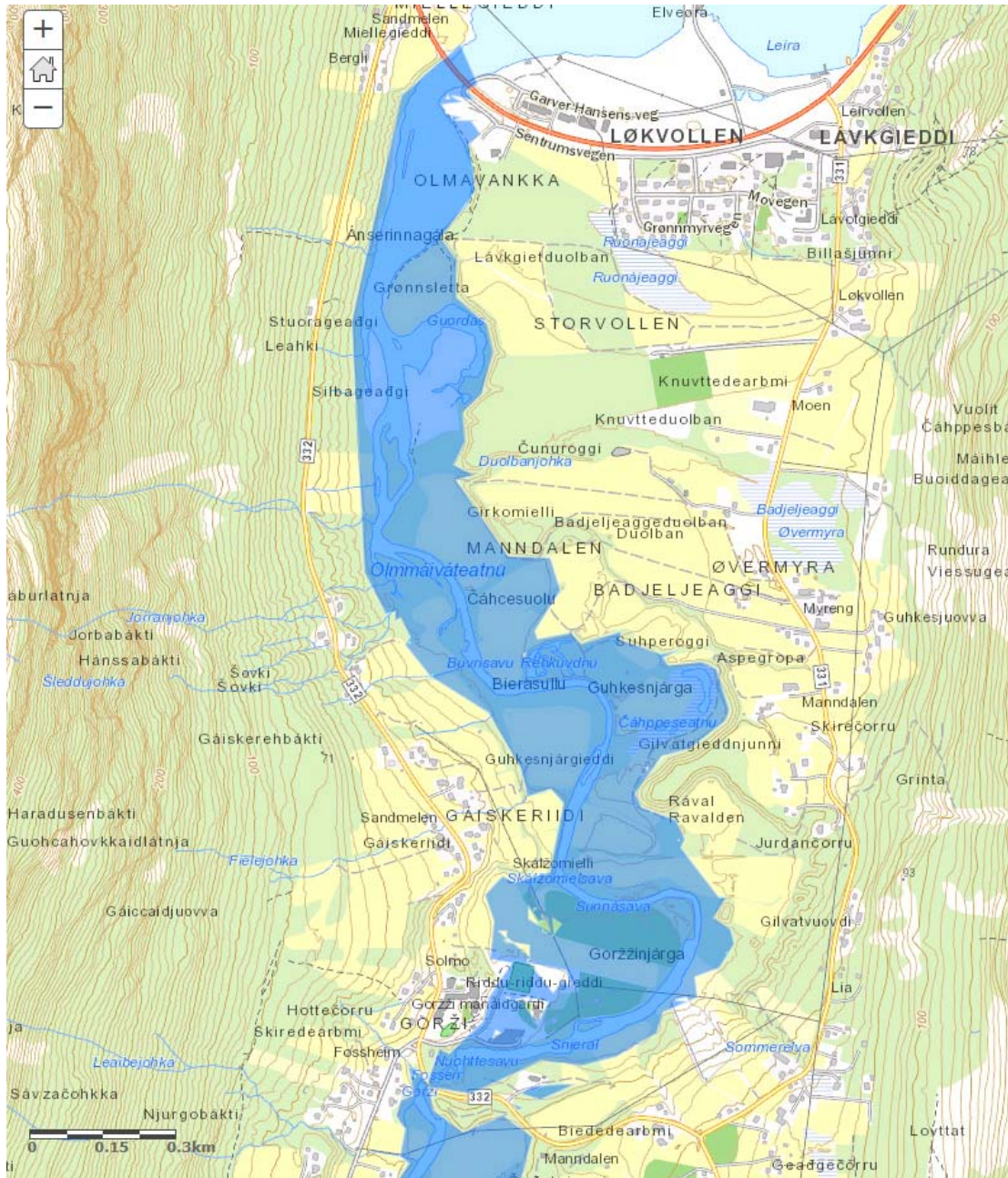


Figur20 Kart som viser hastigheter ved Øver-Fossen. Rød farge indikerer hastigheter opp mot 8 m/s.

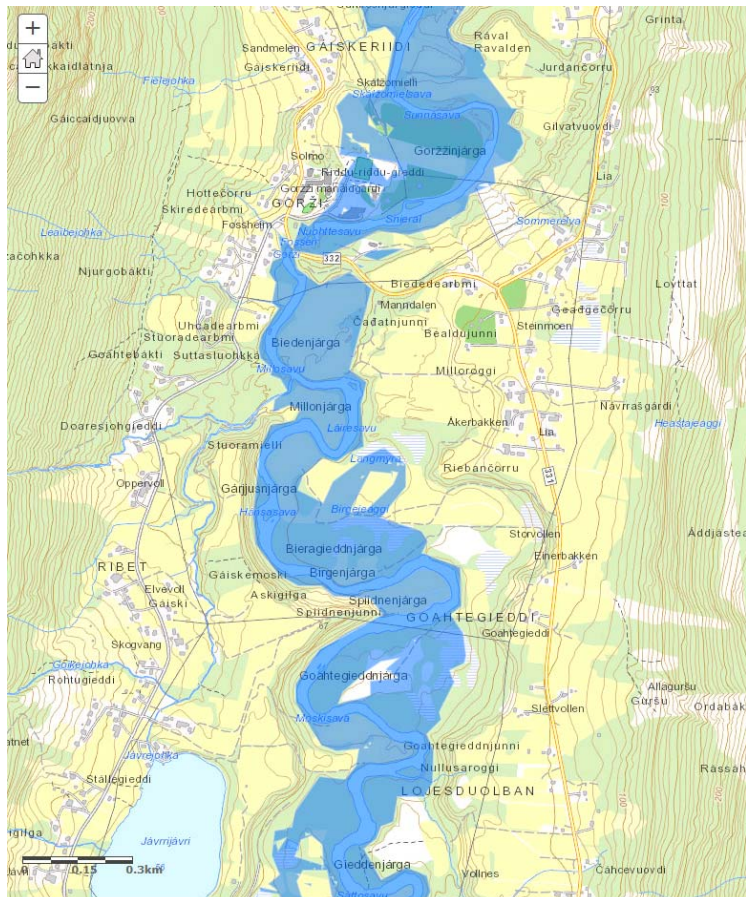
8. Klassifisering av områder

For områdene som berøres av dambruddsbølgen, og skredet vil de være definert i ulike sikkerhetsklasser avhengig av farepotensialet de utsettes for.

I figurene fra 21 til 28 vises områder der verdien av hastighet multiplisert med dyp er større enn $2 \text{ m}^2/\text{s}$ eller dybden er større enn 2 m. Dette er området som er særlig utsatt jf. veiledning til TEK 17 § 7-2.



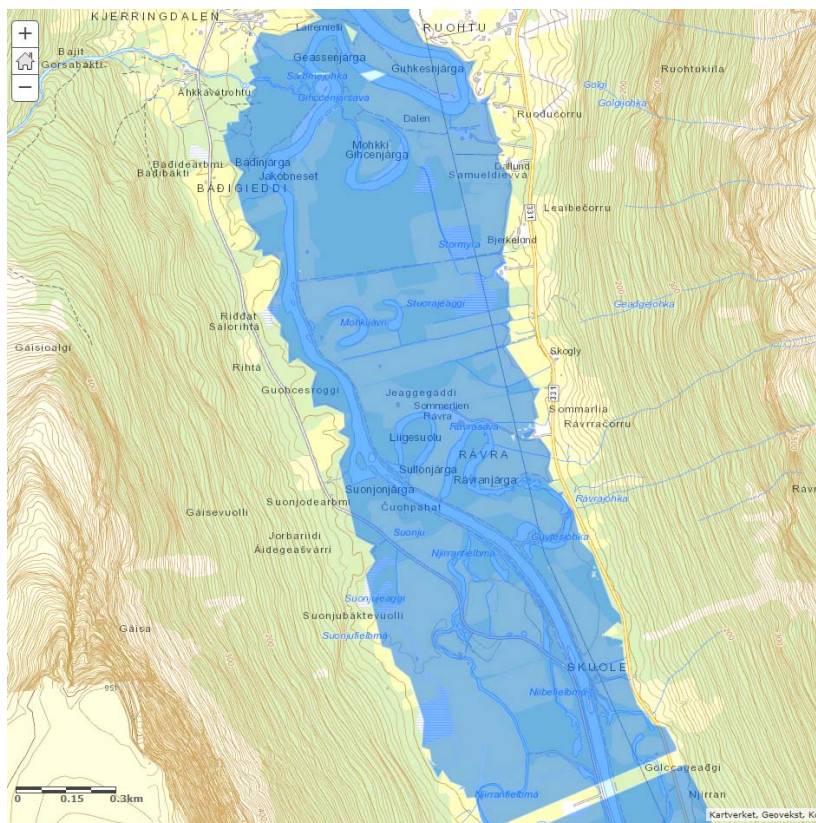
Figur 21 Området i blått er der hastighet x dyp er større enn $2 \text{ m}^2/\text{s}$ eller der dypet større enn 2 m.



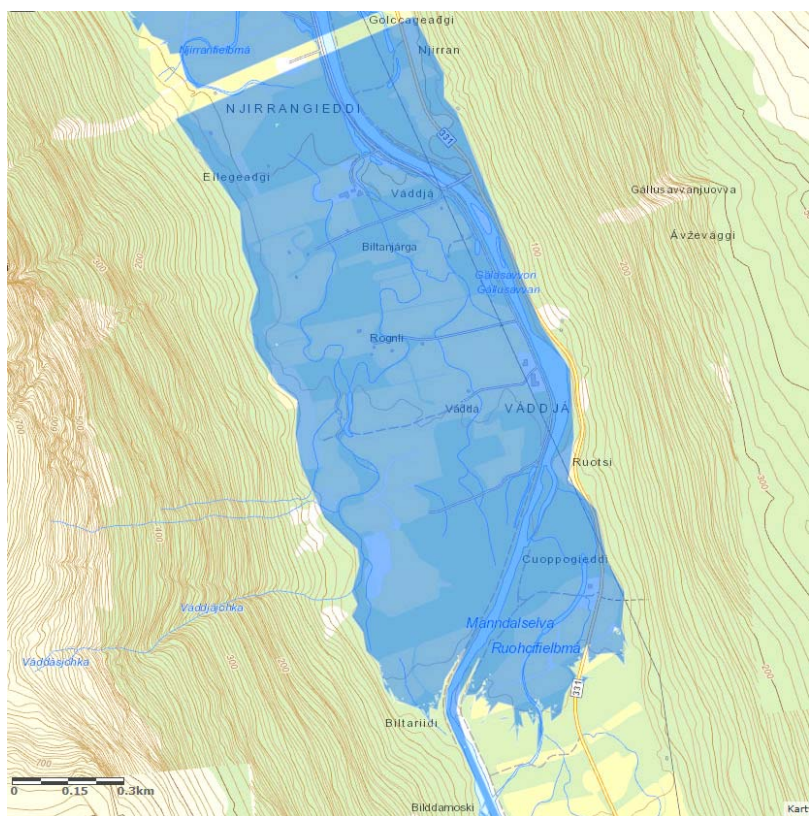
Figur22 Området oppstrøms og nedstrøms Fossen er der hastigheten x dybde er større enn $2 \text{ m}^2/\text{s}$ er vist i blått. Dette er spesielt utsatte områder.



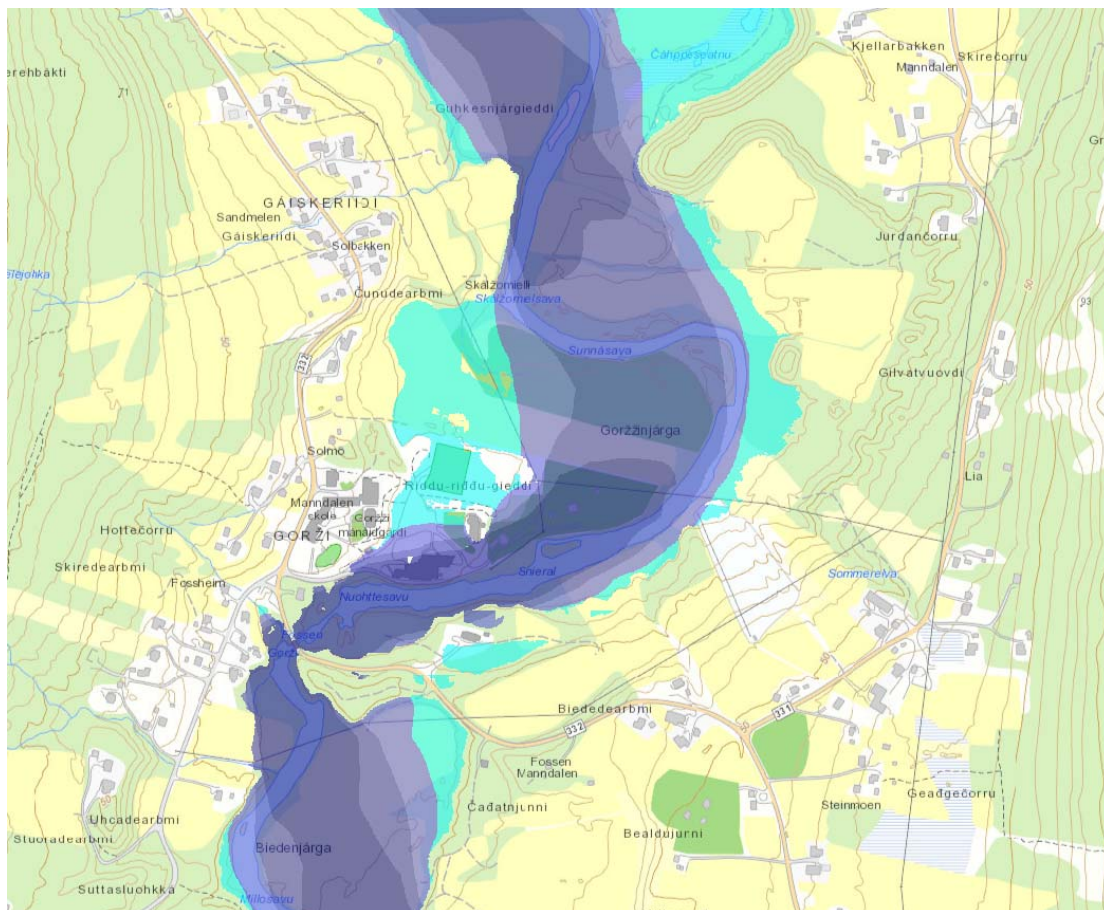
Figur 23 Området oppstrøms Vatnet som har dyp x hastighet større enn 2 m²/s er vist med blått.



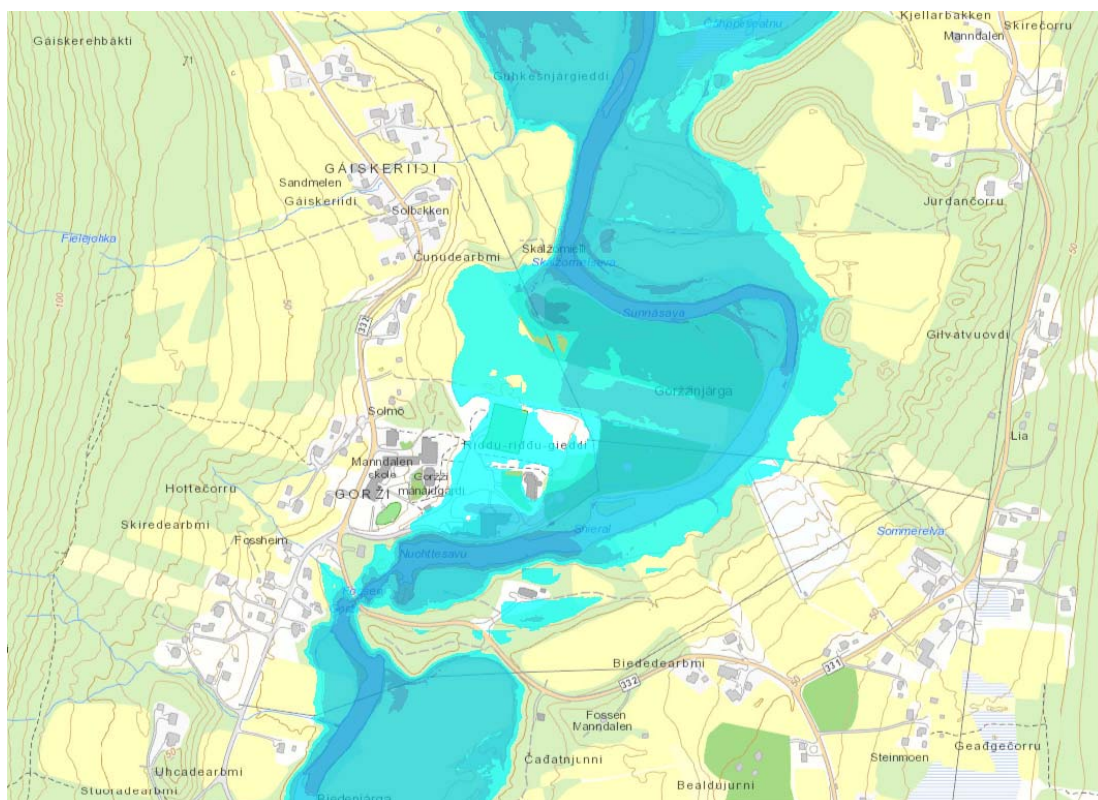
Figur 24 Området rett nedenfor dammen der produktet av hastighet x dybde er større enn $2 \text{ m}^2/\text{s}$ er vist med blått



Figur 25 Området ovenfor skredet der hastighet x dybde er større enn $2 \text{ m}^2/\text{s}$ er vist med blått.



Figur 26 Området i mørkeblått er hastighet x dyp større enn 2 m²/s, mens lyseblått er berørt av flombølgen.



Figur 27 Kart som viser vanddyb. Lyseblått er mindre enn 2 m.

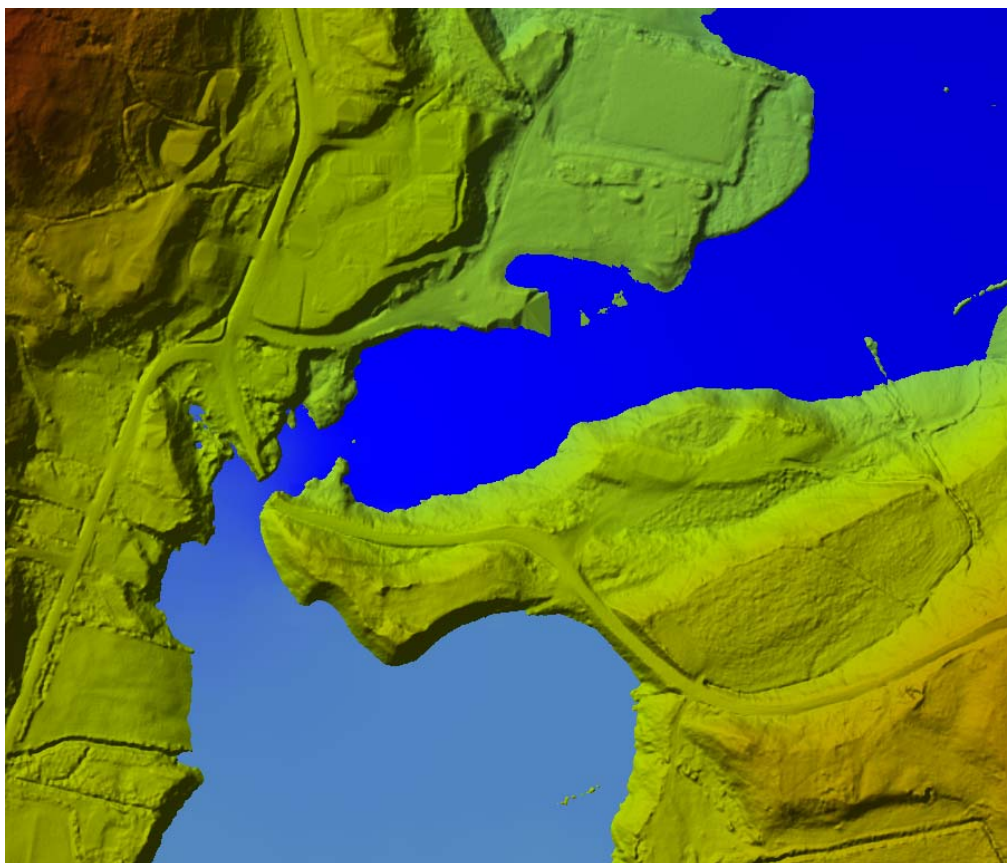


Figur 28 Oversvømt området ved Fossen.

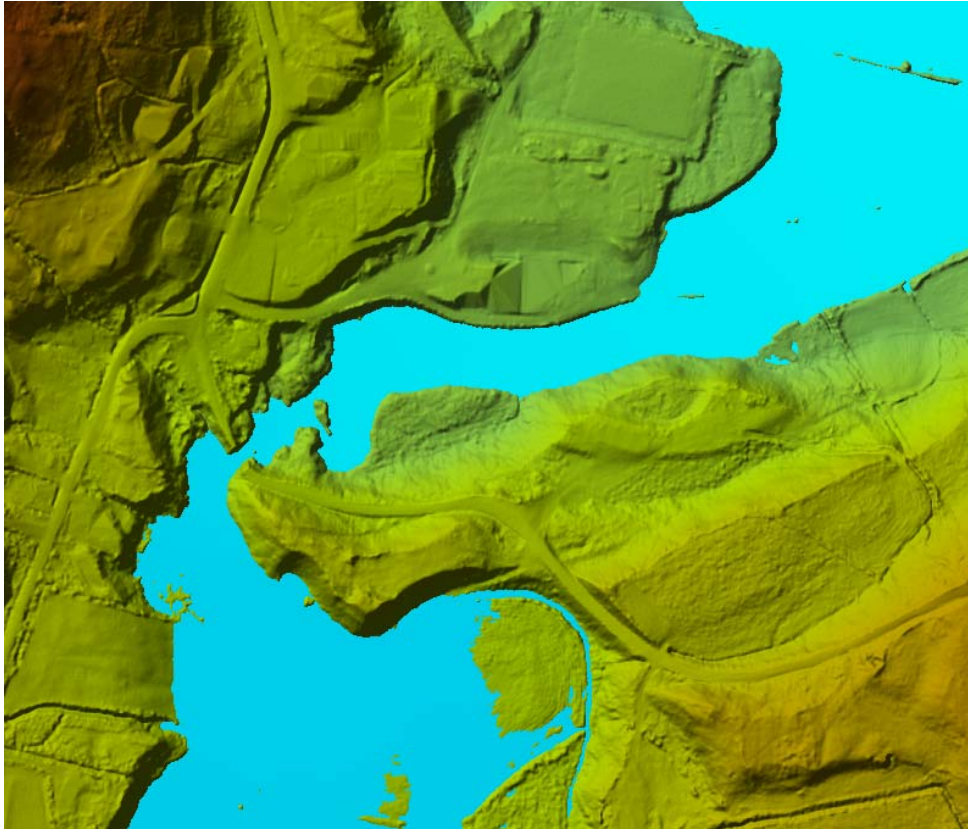
9. Resultat fra vannføringer på 600 og 200 m³/s.

Det er også simulert to mindre vannføringer på henholdsvis 600 og 200 m³/s fra et dambrudd oppe ved skredet. Resultatet fra disse viser at dambruddsbølgene også for disse omtrent halveres i størrelse på vei ned til sjøen. De høyeste vannstandsstigninger vil bli opp til 3 m for den på 600 m³/s og opp til 2 m for den med en vannføring på 200 m³/s ut fra bruddet.

Figur 29 viser området rundt Fossen som berøres av en bruddbølge på 600 m³/s og figur 30 viser området ved Fossen som berøres av en bølge på 200 m³/s.



Figur 29 Kart som viser oversvømt området av en bølge på 600 m³/s. Husene ved Senter for nordlig folk og barnehagen går klar.



Figur 30 Kart som viser orådet rundt Fossen som berøres av en bølge på $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Vannet går inn på sletta nedenfor barnehagen, men ikke opp til fotballbanen.

10. Arealplanlegging i faresoner fra skredgenerert dam fra Gåmanjunni 3

De kartlagte faresonene i forbindelse med skred fra Gåmanjunni 3 vil medføre ulike utfordringer for eksisterende bebyggelse og muligheten til videre utbygging.

For eksisterende bebyggelse er det grunnleggende prinsippet at det fremdeles er tillatt å bo i faresoner. Myndighetene kan ikke pålegge fraflytting, kun evakuering ved akutt fare. Den enkelte har i utgangspunktet ikke noe rettslig krav på sikring fra det offentlige, men er selv ansvarlig for å sikre egen eiendom. Det forutsettes likevel at kommunen gir bistand til innbyggerne, og NVE bistår kommunen innenfor årlige budsjetttrammer. Tiltak prioriteres på grunnlag av risiko og nytte i forhold til kostnadene. For Gåmanjunni 3 vil det ikke være mulig å sikre mot et skred eller de materielle skader fjellskredet vil skape. Ved hjelp av overvåking og varsling vil ikke menneskeliv gå tapt.

For ny bebyggelse er det grunnleggende prinsippet at det ikke er tillatt å bygge i faresoner med for høy fare i forhold til kravene i byggteknisk forskrift (TEK 17), med mindre det gjøres risikoreduserende tiltak.

Sikkerhetskravene i TEK er førende for plan. Overordnet planlegging er viktig for å ikke tilrettelegge for videreutvikling av fareutsatte områder, og heller styre utviklingen mot områder som er trygge mot naturfare.

NVE har fått flere henvendelser fra kommuner om nye problemstillinger knyttet til bruk av byggteknisk forskrift i faresoner for fjellskred. NVE har dermed oversendt et faglig innspill med forslag til revisjon av forskriften til Direktoratet for byggkvalitet (DIBK). Veiledningen nedenfor er basert på eksisterende regelverk.

Sikkerhetskrav i byggteknisk forskrift

Byggteknisk forskrift (TEK 17) gir sikkerhetskrav mot naturpåkjenninger for nye byggverk (§ 7). Forskriften definerer to hovedtyper fare:

- flom (§ 7-2) i hovedsak saktevoksende flommer som eks. oppdemming som følge av skred og som normalt ikke medfører fare for menneskeliv.
- skred (§ 7-3) som også omfatter sekundæffekter av skred og utgjør fare for menneskeliv.

For hver av disse faretypene gir forskriften sikkerhetskrav (nominelle årlige sannsynligheter) for nye byggverk, gradert etter byggverkets konsekvens (fire nivå), tabell 3.

Tabell 3 Sikkerhetskrav for byggverk.

Konsekvens for byggverk ved skred eller flom	Flom (§ 7-2) Største tillatte årlige sannsynlighet for ulike sikkerhetsklasser (F)	Skred (§7-3) Største tillatte årlige sannsynlighet for ulike sikkerhetsklasser (S)
lav	1/20 (F1)	1/100 (S1)
middels	1/200 (F2)	1/1000 (S2)
stor	1/1000 (F3)	1/5000 (S3)
svært stor	Null (§7-2, første ledd)	Null (§ 7-3, første ledd)

Anvendelse av sikkerhetskravene i faresoner for Gåmanjunni 3

- I faresonen for selve fjellskredet, det vil si utløsningssonen og utløpssonen fra Gåmanjunni 3, gjelder § 7-3. Skredet har en nominell sannsynlighet høyere enn 1/100, noe som innebærer byggeforbud for alle typer byggverk. I denne sonen gjelder per i dag ikke unntak etter § 7-4.
- I faresonen for oppdemming oppstrøms skredgenerert dam, gjelder § 7-2. Oppdemmingen kan sammenlignes med en saktevoksende flom uten fare for menneskeliv. Sannsynligheten for oppdemmingen ved Gåmanjunni 3 er den samme som for selve skredet, dvs. høyere enn 1/100. Det vil si at det kun er byggverk i sikkerhetsklasse F1 som kan bygges uten risikoreduserende tiltak, for eksempel garasjer og lagerbygninger med lite personopphold. Sikkerhetsklasse F1 omfatter også tilbygg, påbygg, bruksendring og ombygging inntil 50 m².
- I faresonen nedenfor den skredgenererte dammen vurderer NVE at det ikke er fare for menneskeliv, og derfor er sikkerhetskravene for flom i § 7-2 som gjelder også i faresonen. Dette begrunnes med at Gåmanjunni 3 er kontinuerlig overvåket, og et fjellskred vil bli varslet i god tid. Det vil ta tid før området ovenfor skredgenerert dam vil bli oppdemt. Skred og flomutsatte områder vil evakueres og tilbakeflytting vil ikke bli tillatt før områdene anses som sikre. Det antas også at en eventuell uttapping av et skreddemt magasin vil ligne på en flodbølge kun i den øverste strekningen. Ved området nedenfor Fosssen vil vannet fra det skreddemte magasinet ha mer karakter av en flom. Flommen vil stige relativt raskt men vannet vil ikke ha kraft som i en flodbølge.

Med tanke på nybygg og utvidelse av eksisterende bebyggelse (barnehage med adkomst og Sentret for nordlige folk), gjelder derfor kravene § 7-2, sikkerhetsklasse F2 med største tillatte årlige sannsynlighet < 1/100. Ut fra de vurderinger som er gjort er sannsynligheten for demningsbrudd og nedstrøms flom i størrelsesorden 1/2000 pr år. Det er derfor ingen restriksjoner på arealbruken som følge av demningsbrudd.

Evakueringssoner

Behovet for evakuering nedstrøms utløpet for et fjellskred fra Gåmanjunni 3 vil være avhengig av forløpet av oppdemningen, og om det blir utført tiltak i demningen for å få kontroll med flomforløpet. NVE anbefaler at det blir laget evakueringssoner som kan bli brukt dersom dette skulle vise seg å være nødvendig. Det anbefales at evakueringssonene er styrt av analysene for maksimal vannføring på 2000 m³/s.

11. Konklusjon

Det er simulert brudd på en skredgenerert dam i Manndalselva i Kåfjord, Troms. Ut fra simulering av et fjellskred fra Gåmanjunni 3 er det antatt at massene blir liggende 15 m over dalbunnen og nå opp til høyde på 85 moh. Sannsynligheten for at denne vil gå i brudd ansees som svært liten, og en har tatt høyde for en 5% sannsynlighet.

Det er simulert en bruddvannføring på 2000, 600 og 200 m³/s ut av dammen. For den største bølgen, med en bruddvannføring på 2000 m³/s, tømmes dammen i løpet av 1 time og 45 minutter. Bølgefronten tar ca. 0.5 time, og hele bølgen tar 1.5 time på den 7 km lange strekningen ned til havet. Vannføringen reduseres nedover, og er ved utløpet 800 m³/s. Høyden av flombølgen er ca. 4-5 m over normalvannstand nedover elva. Dette variere noe avhengig av helning og bredde på elva. Det er hastigheter opp mot 8 m/s i strykene ved Øver-Fossen og Fossen, mens det i elva ellers er opp mot 4-5 m/s og på elveslettene utenom elvetrauet er opp mot 2-3 m/s.

For de andre to vannføringene (600 og 200 m³/s) tømmes dammen i løpet av 4-5 timer, og vannstanden stiger med henholdsvis opp mot 3 m for bølgen på 600 m³/s og opp til 2 m på det meste for bølgen på 200 m³/s.

Det vil være restriksjoner for arealbruken i faresonene for skred fra Gamanjunni (TEK 17 § 7-3), og oppstrøms skredgenerert dam (TEK 17 § 7-2). Sannsynligheten for dambrudd er vurdert til 1/2000 pr år, og vil derfor ikke medføre restriksjoner i arealbruken nedstrøms utløpsområdet til fjellskredet (TEK 17 § 7-2).

NVE anbefaler at det lages evakueringssoner nedstrøms dammen basert på en maksimal vannføring på 2000 m³/s, men evakueringssonene vil være avhengig av forløpet til oppdemningen og om det blir gjort tiltak for å redusere et dambrudd.

12. Referanser

Martina Böhme m. fl. NGU (2016): Geologisk modell og fare- og risikoklassifisering av det ustabile fjellpartiet Gamanjunni 3 i Manndalen i Troms.

Manville, V., (2001): Techniques for evaluating the size of potential dam-break floods from natural dams. Institute of Geological & Nuclear Sciences science report 2001/28.

Hermanns m. fl. (2012): Recommended hazard and risk classification system for large unstable rock slopes in Norway. NGU 2012.029.

Costa and Schuster (1988): The formation and failure of natural dams. *Geological Society of America Bulletin*; juli 1988; v. 100; no. 7; sider. 1054-1068.

Costa, J. E., (1988): Floods from dam failures, in Baker, V. R., Kochel, R. C., and Patton, P. C., eds., *Flood geomorphology*: New York, John Wiley & Sons, p. 439-463.

Ermini, L. & Casagli, N. (2003): Prediction of the behaviour of landslide dams using a geomorphological dimensionless index. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28:31-47.

NVE (2004): Flomberegning for Manndalselva i Troms. NVE-dokument 08-2004.

Froehlich, D. C., (1987): "Embankment-Dam Breach Parameters," *Hydraulic Engineering Proceedings of the 1987 ASCE National Conference on Hydraulic Engineering*, Williamsburg, Virginia, August 3-7, 1987, 570-575.

Froehlich, D. C. 1995(a): "Peak Outflow from Breached Embankment Dam," *Water Resources Engineering, Proceedings of the 1995 ASCE Conference on Water Resources Engineering*, San Antonio, Texas, August 14-18, 1995, 887-891.

Froehlich, D. C. (1995)(b): "Embankment Dam Breach Parameters Revisited," *Journal of Water Resources Planning and Management*, 121(1), 90-97.

DSB Havnivåstigning (2009): Estimer av framtidig havnivåstigning i norske kystkommuner. Revidert utgave 2009.

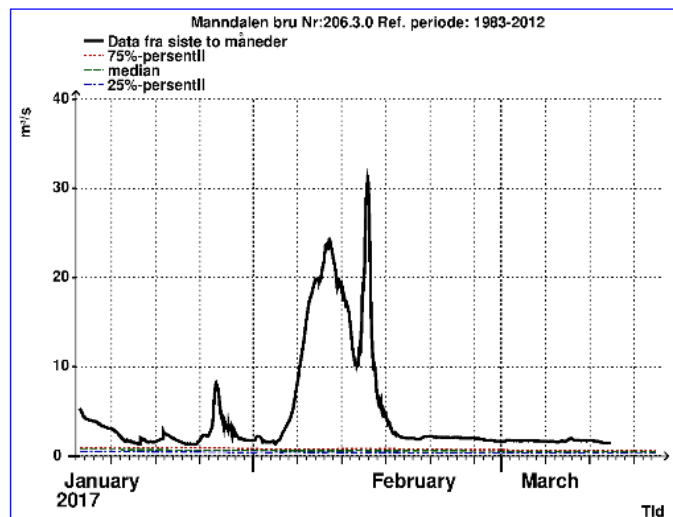
Neves, B. (2015): Assessment of self rescue zones regarding breach opening methods. Universidade Federal Da Bahia.

Vedlegg 1 Informasjon om målestasjon i Manndalen.

Figur som viser vannføringen ved Manndalen bru i 2017.

Vannføring for Manndalen bru Nr:206.3.0

Siste måling, tid=13.03.2017 10:00, verdi= 1.457



Plott fra siste uke finnes [her](#). Knekkpunkt-verdier-data, [tekstlig](#) eller [regneark\(CSV\)](#) for siste 14 døg. (Omvendt rekkefølge, kun [tekstlig](#)).

Liste over plottets grunnlagsdata, [tekstlig](#) eller [regneark\(CSV\)](#).

Liste over døgndata, [tekstlig](#) eller [regneark\(CSV\)](#). Kart over stasjonen [her](#).

Stasjon:

Stasjonsnavn : Manndalen bru
Stasjonens h.o.h : 16.0
Kartblad (N50-serien) : 1634-II

Plassering:

UTM-sone : 34
UTM-øst : 481480
UTM-nord : 7712852
Lengdegrad : 20.52562
Breddegrad : 69.52389

Nedbørfelt:

Nedbørfeltareal : 200km²
Sjøprosent : 2.3

Fylke : Troms
Kommune : Kåfjord

[Besrepsforklaringer for grafene](#). Vannføring i m³/s. Merk at persentilene er glattet, for å bedre plottenes

lesbarheten og gi et mer korrekt bilde av normal-situasjonen. Referanseperiode for persentiler: 1983 - 2012

Vannføringenes flomverdier lagd fra data fra og med 1972 til og med 2012 : middelflom = 75.0 m³/s femårsflom = 93.2 m³/s tiårsflom = 107.7 m³/s femtiårsflom = 141.4 m³/s

[Opp](#) til kartsiden for vannføring. [Opp](#) til NVE sin hovedside.

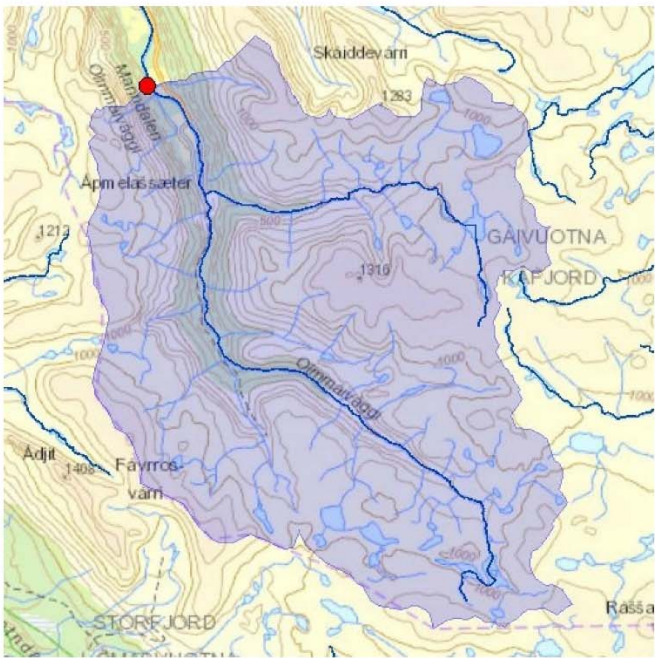
Spørsmål angående datakvalitet og mangler på spesifikke stasjoner finner du på siden [ofte stilte spørsmål](#). Andre spørsmål og meldinger kan sendes til [hydrologi@nve.no](#).

Sist oppdatert : 13/3-2017 11:09

<http://www2.nve.no/h/hd/plotreal/Q/0206.00003.000/plot.gif>

Vedlegg 2 Informasjon om nedbørfeltet ned til skredet

Kart som viser feltegenskapene for nedslagsfeltet til det potensielle skreddemningen.



Kartbakgrunn: Statens Kartverk

Kartdatum: EUREF89 WGS84

Projeksjon: UTM 33N

Nedbørfeltgrenser, feltparametere og vannføringsindekser er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Lavvannskart

Vassdragsnr.:	206.1A0	Feltparametere	
Kommune:	Kåfjord	Areal (A)	147.1 km ²
Fylke:	Troms	Effektiv sjø (S _{eff})	0.1 %
Vassdrag:	MANNDALSELVA	Elvelengde (E _L)	- km
		Elvegradient (E _G)	- m/km
		Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	- m/km
Vannføringsindeks, se merknader		Feltdengde(F _L)	18.1 km
Middelvannføring (61-90)	31.7 l/(s*km ²)	H _{min}	95 moh.
Alminnelig lavvannføring	- l/(s*km ²)	H ₁₀	464 moh.
5-persentil (hele året)	- l/(s*km ²)	H ₂₀	710 moh.
5-persentil (1/5-30/9)	- l/(s*km ²)	H ₃₀	869 moh.
5-persentil (1/10-30/4)	- l/(s*km ²)	H ₄₀	934 moh.
Base flow	-999.0 l/(s*km ²)	H ₅₀	971 moh.
BFI	-	H ₆₀	1001 moh.
		H ₇₀	1044 moh.
Klima		H ₈₀	1090 moh.
		H ₉₀	1151 moh.
Klimaregion	Finnmark	H _{max}	1316 moh.
Årsnedbør	663 mm	Bre	0.0 %
Sommernedbør	233 mm	Dyrket mark	0.4 %
Vinternedbør	429 mm	Myr	0.2 %
Årstemperatur	-2.2 °C	Sjø	2.9 %
Sommertemperatur	4.1 °C	Skog	9.6 %
Vintertemperatur	-6.7 °C	Snau fjell	85.0 %
Temperatur Juli	7.4 °C	Urban	0.0 %
Temperatur August	6.7 °C		

1) Verdien er editert

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindekser. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner.

I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.

Vedlegg 2 Informasjon om nedbørfeltet ned til skredet forts.

Figur som viser flomberegningen basert på NIFS formelverk for punktet ved Manddalen bru

Flomberegning

Vassdragsnr.: 206.1A0

Kommune: Kåfjord

Fylke: Troms

Vassdrag: MANNDALSELVA

Resultat er kun validert for areal mindre enn 60km².
Flomestimatene er derfor nødvendigvis ikke gyldige.

Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentakintervall. De er beregnet ved bruk av et formelverk som er utarbeidet for nedbørfelt under ca 50 km². Feltparametere som inngår i formelverket er areal, effektiv sjøprosent og normalavrenning (l/s*km²). For mer utdypende beskrivelse av formelverket henvises det til NVE –Rapport 7/2015 «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt». Det pågår fortsatt forskning for å
Det pågår fortsatt forskning for å bestemme klimapåslag for momentaryflommer i små nedbørfelt. Frem til resultatene fra disse prosjektene foreligger anbefales et klimapåslag på 1.2 for døgnmiddelflom og 1.4 for kulminasjonsflom i små nedbørfelt.

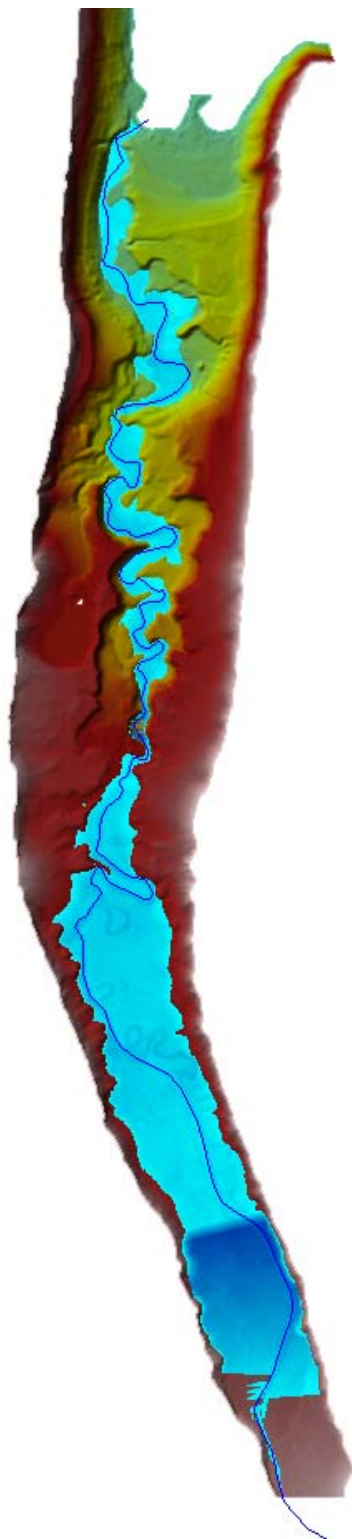
MANNDALSELVA	
Areal (km ²)	147.06
Klimafaktor	1.4

	Q _M		Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
	m ³ /s	l/(s*km ²)						
Flomfrekvensfaktorer	-	-	1.24	1.46	1.70	2.05	2.36	2.71
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	119.3	811.3	151.4	182.3	216.3	269.5	317.8	364.8
Flomverdier (m ³ /s)	67.4	458	83.7	98.5	114.4	138.2	158.9	182.4
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	38.1	259	46.2	53.3	60.5	70.9	79.4	91.2
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	94.4	641.7	100.4	137.9	160.2	193.5	222.4	255.8

Beregningene er automatisk generert og kan inneholde feil. Det er generelt stor usikkerhet i denne typen beregninger. Resultatene må verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner. Resultatene er ikke gyldig som grunnlag til flomberegninger for klassifiserte dammer.

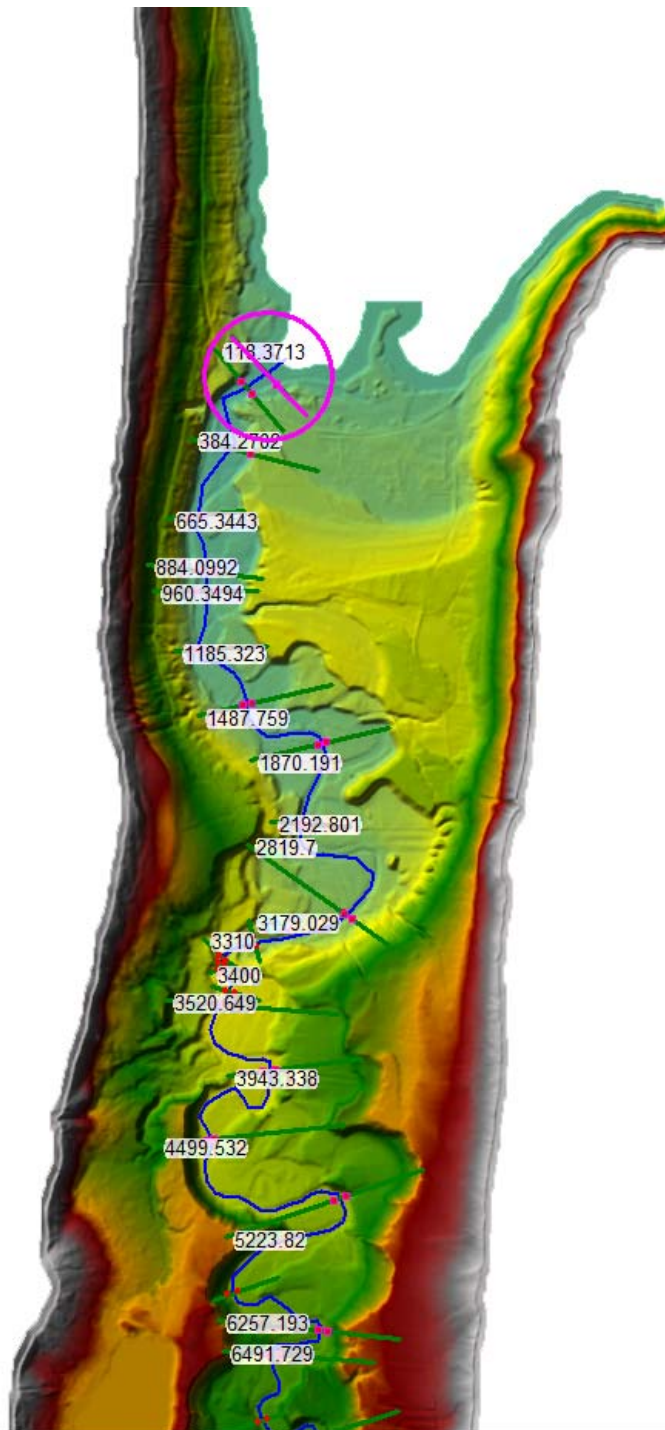
VEDLEGG 3 Kart som viser oversvømt området

Kart som viser hvilket området som oversvømmes ved en dambruddsbølge fra skredgeneret dam.

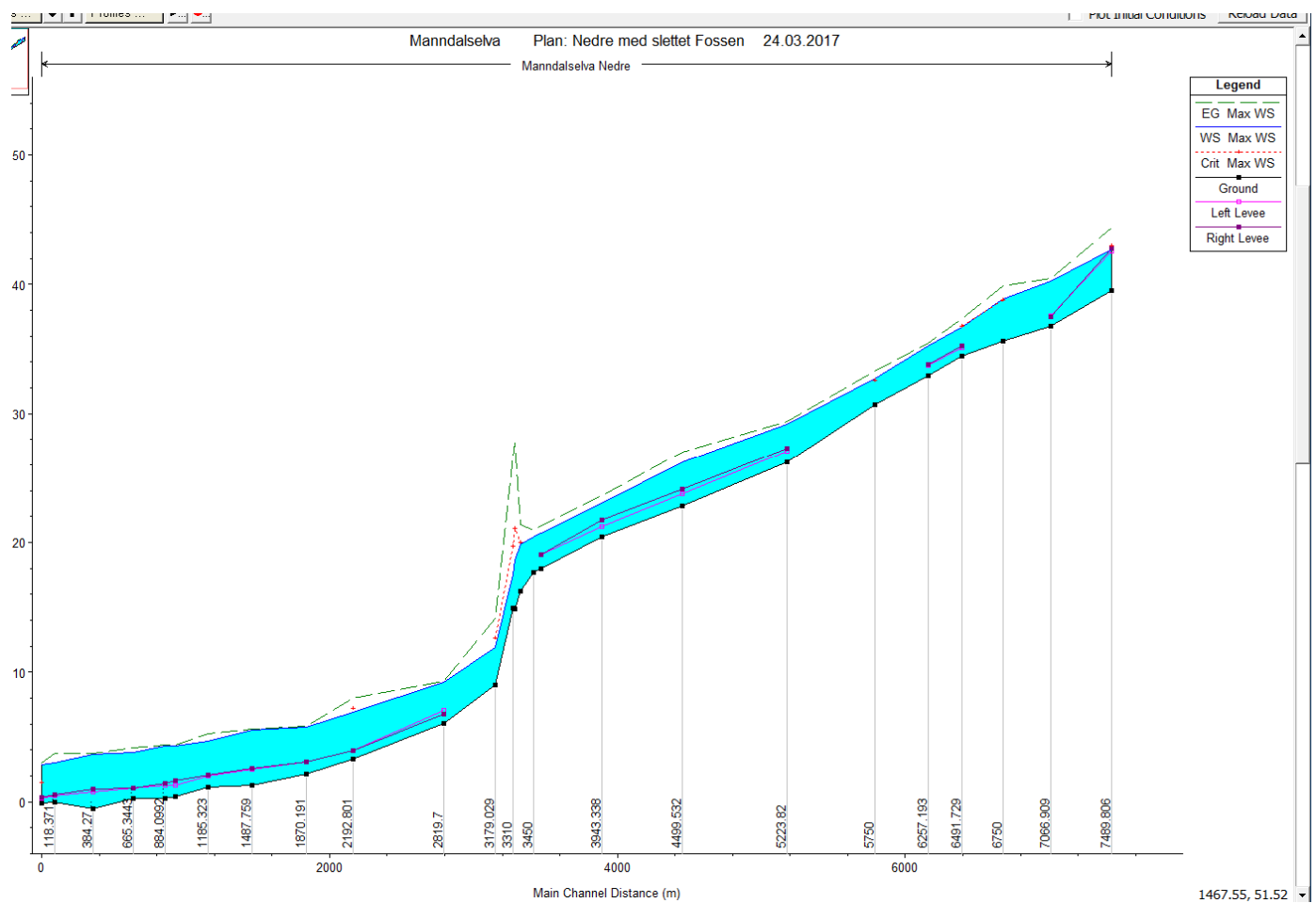


VEDLEGG 4 Beregninger med 1-dimensjonal modell

Kart som viser hvilke profil som er brukt i den 1-dimensjonale Hec-Ras modellen.



VEDLEGG 5 Figur som viser vanndybden nedover elva ved brudd på dam.





Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: : 22 95 95 95
Internett: www.nve.no