

Victoria Thorgersen

Klimaendringer kan føre til større flommer og skred – Er dagens farekartlegginger gode nok?

- En undersøkelse langs jernbanen i Gudbrandsdalen

Masteroppgave i Geografi

Veileder: Geir Vatne

Mai 2019



Forsidefoto: Skred mot fv. 30 og Rørosbanen i 2013 (Kjellmark, 2013)

Victoria Thorgersen

Klimaendringer kan føre til større flommer og skred – Er dagens farekartlegginger gode nok?

- En undersøkelse langs jernbanen i Gudbrandsdalen

Masteroppgave i Geografi
Veileder: Geir Vatne
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for samfunns- og utdanningsvitenskap
Institutt for geografi

Sammendrag

Målet med denne oppgaven har vært å gjøre en vurdering av behovet for nye kartlegginger av skredfaren og faren for vann på avveie langs jernbanen mellom Fåberg og Dombås i Gudbrandsdalen. Som grunnlag for denne vurderinger har det blitt gjort en oversiktskartlegging langs jernbanestrekningen. Det har også blitt gjort flomberegninger av tolv utvalgte nedbørsfelt ved bruk av den rasjonale formel og ved bruk av det nettbaserte GIS-verktøyet, NEVINA. Farekartleggingene og flomberegningene ble gjort med utgangspunkt i de krav som stilles i Bane NOR sine kravspesifikasjoner for kartlegging av fare for skred og vann på avveie, som for tiden er under utarbeiding. Resultatene ble sammenlignet med resultatene fra en tidligere kartlegging gjort i 2015. Sammenligningene dannet grunnlag for en diskusjon rundt hvorvidt nye detaljkartlegginger bør gjøres, eller om de gamle er gode nok.

Sammenligningene avslørte at det var store avvik mellom resultatene fra de to kartleggingene. Det ble identifisert langt flere fareutsatte strekninger i forbindelse med dette prosjektet, enn det som kom frem i 2015. Videre viste flomberegningene gjort med den rasjonale formel høyere verdier enn beregningene gjort i 2015, mens beregningene gjort med NEVINA viste lavere verdier. De største avvikene mellom metodene ble funnet blant de største feltene. Dette kan indikere at NEVINA er best egnet for beregning i større felt. Diskusjonen viste videre at NEVINA kanskje ikke egner seg for beregning i de minste feltene. De store avvikene mellom resultatene kan imidlertid sees som en indikasjon på at begge metodene bør brukes med forsiktighet, og at flere metoder bør kombineres ved flomberegning. Konklusjonen gjort i denne oppgaven er at det bør gjøres nye detaljkartlegginger av faren for skred og vann på avveie langs jernbanen mellom Fåberg og Dombås.

Abstract

This thesis aims to investigate if it should be recommended to do new hazard mappings of the danger from avalanches, landslides and water taking new flood paths along the railway between Fåberg and Dombås in Norway. To achieve this, new overview hazard mappings has been made in this area by doing remote sensing through interpretations using several map services. In addition, new mathematical calculations of water flow has been done in twelve watersheds by using the rational equation calculation as well as using the online GIS application, NEVINA. The hazard interpretations as well as the flow calculations were made based on Bane NOR's requirement specification for hazard mapping "Kravspesifikasjon for kartlegging av fare for skred og vann på avveie for Bane NOR", which currently is under development. The results were compared with the results from a previous survey from 2015. The comparisons formed the basis for a discussion to whether or not new detailed hazard mappings should be done.

Through the comparisons, large deviations between the results were revealed. The hazard mappings done in this project identified many more hazardous railway sections than presented in the results from 2015. Great deviations were also found among the flow calculations. The result from the rational equation calculation showed higher flow values than the results from 2015, while the results from NEVINA showed lower values. The largest deviation between the methods were found among the largest watersheds. This may indicate that NEVINA is more suitable for measurements in larger sheds. Furthermore, the discussion showed that NEVINA might not be suitable for measurements in the smallest catchments. However, the large deviations between the results may primarily indicate that caution should be made using both methods, and that several calculation methods should be combined. The main conclusion made in this thesis is that new detailed hazard mappings should be done along the railway between Fåberg and Dombås.

Forord

Å produsere denne masteroppgaven har vært en lang og lærerik prosess. Jeg vil sent glemme følelsen av å sette markøren på linje 1 i et blankt dokument, og skrive «Masteroppgave». Følelsen av en vegg av arbeid i vente, men også et hav av tid. Arbeidsmengden hadde jeg rett i. Tiden, derimot, den tok ingen hensyn til at jeg kunne trenge mer av den. Men nå er altså siste punktum satt, og lyden av lystig korpsmusikk i utakt forteller at det nå er på tide å lukke skolesekken for denne gang.

Jeg kan nå se tilbake på en femårig studietid ved Institutt for geografi. En tid som har beriket meg med kunnskap, opplevelser, utfordringer og gode venner, som jeg vil ta med meg livet ut. Jeg er nå klar for neste kapittel som ferdig utdannet geograf, og ser fram til nye bekjenskaper som vil si «Geograf? Da kan du vel alle hovedsteder i verden?».

En stor takk til veileder, Geir Vatne, for at du foreslo denne spennende oppgaven, for gode råd og oppmuntringer underveis, og for en hyggelig og lærerik befaring i fjor sommer. En stor takk til Bane NOR for lån av bil under befaringen, og for deling av nødvendige dokumenter.

En stor takk til storesøster, Lena Thorgersen, som bidro med nyttige råd på tampen. Jeg vil også takke Ivar Berthling, for førsteklases forelesninger og feltekskursjoner gjennom studietiden. Du var en utrolig viktig ressurs for instituttet og for oss studenter.

Sist, men ikke minst, vil jeg takke min kjære samboer, Marius Moen. Jeg vil takke deg for all støtte i verden, for tålmodighet, heiarop og all hjelp, og for god krisehåndtering! Uten deg ville denne prosessen vært mye tyngre.

Innhold

Figurer.....	xiii
Tabeller	xiv
Bokser	xiv
Forkortelser	xv
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn for valg av tema	2
1.2 Problemstillinger	3
1.3 Oppbygging av oppgaven	3
2 Områdebeskrivelse	4
2.1 Berggrunns- og løsmassegeologi	5
2.2 Klima.....	5
2.2.1 Forventede endringer i klima mot år 2100.....	6
2.3 Flom- og skredaktivitet i Gudbrandsdalen.....	6
2.3.1 Endret flom- og skredaktivitet som følge av klimaendringer	7
3 Teori	9
3.1 Jordskred	9
3.1.1 Utløsende og bakenforliggende årsaker til jordskred	10
3.2 Flomskred.....	14
3.2.1 Utløsende og bakenforliggende årsaker til flomskred	17
3.3 Glidende overgang mellom jord- og flomskred	18
3.4 Flom	18
3.4.1 Feltegenskaper som har betydning for flomforløpet	18
3.4.2 Flomgenererende værforhold.....	20
3.4.3 Masseførende vannmasser	20
3.4.4 Vann på avveie	21
3.4.5 Vifteformede avsetninger	23
4 Metoder	24
DEL 1.....	24
4.1 Oversiktskartlegging av fare for jord- og flomskred og vann på avveie	24
4.1.1 Fremgangsmåter og vurderinger lagt til grunn ved oversiktskartleggingene.....	26
4.1.2 Presentering av resultater.....	28
4.1.3 Diskutere behovet for nye kartlegginger.....	29
DEL 2.....	30
4.2 Flom- og kapasitetsberegninger.....	30

4.2.1	Den rasjonale formel	30
4.2.2	NEVINA.....	34
4.2.4	Diskutere behovet for nye beregninger	36
5	Resultater	38
	DEL 1.....	38
5.1	Kartlegging av fare for jord- og flomskred og vann på avveie	38
5.1.1	Resultater fra 2015	38
5.1.2	Resultater fra 2019	38
5.1.3	Sammenligning av resultater	41
	DEL 2.....	43
5.2	Flom- og kapasitetsberegninger.....	43
5.2.2	Resultater fra 2019	44
5.2.4	Sammenligning av resultater <i>uten</i> klimapåslag.....	49
6	Diskusjon	52
	DEL 1.....	52
6.1	Kartlegging av jord- og flomskred og vann på avveie	52
6.1.1	Utfordringer med direkte sammenligning	52
6.1.2	Mulige årsaker til ulike resultater	53
6.1.3	Eksempler fra fjernanalyser gjort i 2019.....	58
6.1.4	Behov for nye farekartlegginger	68
	DEL 2.....	69
6.2	Flom- og kapasitetsberegninger.....	69
6.2.1	Årsaker til avvik mellom flomverdiene beregnet med den rasjonale formel.....	69
6.2.2	Årsaker til avvik mellom flomverdiene beregnet med NEVINA og den Rasjonale formel	76
6.2.3	Faktorer som bør inngå i beregningene.....	80
6.2.4	Øvrige faktorer som bør inngå i en analyse av faren for tette stikkrenner.....	83
6.2.5	Behov for nye flom- og kapasitetsberegninger	84
6.2.4	Anbefalte beregningsmetoder	84
7	Konklusjoner	87
8	Forslag til videre arbeid	88
8.1	Nye detaljkartlegginger langs jernbanen mellom Fåberg og Dombås.....	88
8.1.1	Nye flom- og kapasitetsberegninger	88
8.1.2	Karbondateringer	89
8.2	Undersøke om kartlegginger i andre områder er gode nok	90
8.3	Et felles nasjonalt regelverk for bruk av den rasjonale formel.....	90
8.3.1	Oppjustering av avrenningsverdi ved bratt helning	90

8.4 Oppdimensjonering av nye drensør.....	90
Referanser	92
Vedlegg	101

Figurer

Figur 2.1: Oversiktskart over kartlagt jernbanestrekning (Banekart, u.å.; Norgeskart, 2019).....	4
Figur 2.2: Flom i elva Storåa i 2013 (Mosvold, 2013).....	7
Figur 2.3: Forventet endring i flomstørrelse for nedbørsfelt på Østlandet (Lawrence, 2016)	8
Figur 3.1: Jordskred i Virumdalen 14. august 2003, Møre & Romsdal (NVE, 2018).....	10
Figur 3.2: Jordskred i Sokndal (Kjellmark, 2012).	11
Figur 3.3: Skissen av et typisk snitt av en løsmassedekket skråning i Norge (SINTEF, 2016).....	13
Figur 3.4: Flomskred ved Kvam i Nord-Fron, juni 2011 (NVE, 2018).....	15
Figur 3.5: Flomskred ved Bakkevik i Skrednes 26. desember 2011 (Bergheim, 2011ab).	16
Figur 3.6: Flomskred ved Mjåland i Gjesdal i Rogaland i 2016 (Staten vegvesen, 2011).	16
Figur 3.7: Skader på vegnettet etter vann- og løsmasser ved Høvringen (Scanpix, 2011a).	21
Figur 3.8: Illustrasjon av vann som stuves opp som følge av tett stikkrenne (Varsom, u.å.)	22
Figur 3.9: Oppdemmet vann førte til brist av fylling på Rørosbanen i 2011 (Scanpix, 2011b).....	22
Figur 3.10: Illustrasjon som viser at vann og materiale ledes utover elvevifte. (Varsom, u.å.).....	23
Figur 5.1: Utklipp fra resultattabell - strekninger utsatt for jord- og flomskred og vann på avveie.	40
Figur 5.2: Utklipp fra farekart.	51
Figur 6.1: Eksempel 1: Helningskart (Høydedata, 2019).....	59
Figur 6.2: Eksempel 1: Laserdata avslører et belte av løsmasser (Innlandsgis, 2016).	60
Figur 6.3: Eksempel 1: Utklipp av NGUs løsmassekart (2017).....	60
Figur 6.4: Eksempel 2: Laserdata avslører tidligere hendelser (Innlandsgis, 2016).....	61
Figur 6.5: Eksempel 2: Laserdata avslører avsetninger nedstrøms jernbanen (Innlandsgis, 2016).	62
Figur 6.6: Eksempel 2: Løsmasser (NGUs løsmassekart, 2017) og helning (Høydedata, 2019).....	62
Figur 6.7: Eksempel 3: Løsmassekart (NGU løsmassekart 2017), historiske skredhendelser (NVE Atlas, 2017), helningskart (Høydedata, 2019) og høydeprofil (Norgeskart, 2019). Obs!.....	64
Figur 6.8: Eksempel 3: Utklipp fra innlandsgis (2016).....	65
Figur 6.9: Eksempel 3: Utklipp fra Norge i 3D (u.å.).....	65
Figur 6.10: Eksempel 3: Historiske flybilder (Finn kart, 2017).....	66
Figur 6.11: Eksempel 4: Laserdata avslører stor erosjon	67
Figur 6.12: Eksempel 4: Helning (NGI Geodata, 2017) og løsmasser (NGUs løsmassekart, 2017).	67
Figur 6.13: Flomverdier estimeres noen ganger uten klimapåslag med NEVINA.....	79
Figur 6.14: Sedimenter avsatt ved utløp (a) og innløp (b) til stikkrenne (Vatne, 2018ab).	82

Tabeller

Tabell 4.1: Oversikt over karttjenester benyttet under oversiktskartleggingene.....	25
Tabell 4.2: Avrenningsfaktor for ulike overflatetyper (Bane NOR, 2019, s. 3).....	31
Tabell 4.3: Valg av avrenningsverdi basert på feltets overflatetype og helning.....	32
Tabell 4.4: Beregnet konsentrasjonstid og valg av IVF-verdier for hvert felt.....	33
Tabell 4.5: Beregnet kapasitet med og uten tilslamming.....	36
Tabell 5.1: Utdrag fra resultatene fra flom- og kapasitetsberegningene utført med den rasjonale formel i 2015 (Sandersen et al., 2015).....	44
Tabell 5.2: Flomvannføring (Q200) beregnet med den rasjonale formel.....	45
Tabell 5.3: Resultatene fra kapasitetsberegningene gjort med den rasjonale formel.....	46
Tabell 5.4: Flomvannføring (Q200) beregnet med NEVINA.....	46
Tabell 5.5: Kapasitetsberegninger utført med NEVINA.....	47
Tabell 5.6: Sammenligning av flomverdier fra alle beregningene, (med klimapåslag i beregningene fra 2019).....	48
Tabell 5.7: Sammenligning av kapasitetsberegninger fra fra alle beregningene, (med klimapåslag og kapasitetsreduksjon i beregningene fra 2019.....	49
Tabell 5.8: Sammenligning av flomverdier fra alle beregningene, (uten klimapåslag i beregningene fra 2019.....	50
Tabell 5.9: Verdiforskjeller mellom resultatene fra de to beregningene gjort med den rasjonale formel, og forskjeller i verdi mellom resultatene fra NEVINA og gjennomsnittet av verdiene beregnet med den rasjonale formel.....	50
Tabell 6.1: Valg av parameterverdier ved beregningene gjort med den rasjonale formel.....	70
Tabell 6.2: Beregnet feltlengde ved beregningene gjort med den rasjonale formel.....	77
Tabell 6.3: Overflateverdier valgt ved beregningene med NEVINA og den rasjonale formel i 2019.....	77
Tabell 6.4: Beregnet sommer- og vinterlavvannføring med NEVINA.....	78

Bokser

Boks 5.1: Internetlenke til kart over strekninger utsatt for jord- og flomskred og vann på avveie langs jernbanen mellom Fåberg og Dombås.....	38
--	----

Forkortelser

3D	Tredimensjonal
Fv.	Fylkesveg
IVF	Intensitet, varighet, frekvens
NCCS	Norwegian carbon capture and storage Research centre
NGI	Norges geotekniske institutt
NGU	Norges geologiske undersøkelse
NIFS	Naturfare – infrastruktur – flom – skred
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
SINTEF	Stiftelsen for industriell og teknisk forskning ved Norges tekniske høgskole

1 Innledning

Oppland er blant de to fylkene i landet hvor det er flest registrerte skader som følge av flom (Norsk Naturskadepool, 2019). Gudbrandsdalen er videre blant områdene i Norge hvor det er registrert flest jord- og flomskred, og tilsammen har minst 81 personer mistet livet som følge av løsmasseskred i Oppland (Walberg & Devoli, 2014). Dalen ble hardt rammet under Storofsen i 1789, hvor 640 gårdsbruk ble ødelagt og 61 personer omkom som følge av flom og skred (Nesje, Gundersen & Canell, 2016). I 1995 ble dalen på nytt rammet av en stor flom (NVE, 2016a).

Gudbrandsdalen ble senere rammet av ødeleggende flommer både i 2011, 2013 og i 2014 (Olsen, Hopland, Myrabø, Viréhn & Glad, 2015). Felles for disse flommene var at de største skadene kunne knyttes til flom og skred i sidevassdrag, tilknyttet små nedbørsfelt med kort responstid (Olsen et al., 2015; Sellevold & Edvardsen, 2013). Under flommen i 2011 var alle hovedtrafikkårer mellom Østlandet og Trøndelag blokkerte som følge av skred på veg og bane og utglidning av fyllinger (Walberg & Devoli, 2014). I etterkant av flommen i 2013 ble det gjort beregninger av de totale samfunnsøkonomiske kostnadene tilknyttet Dovrebanen og E6 i Gudbrandsdalen, hvor den totale summen ble anslått å være nærmere 1,1 milliard kroner. Dette inkluderer ikke økte kostnader som følge av omkjøringer og lengre reisevei for trafikanter (Siedler, 2015). Skadeomfanget etter flommen i 1995 ble beregnet til rundt 1,8 milliarder kroner (NVE, 2016a).

Arkeologiske utgravninger har dessuten avslørt tydelige spor etter tidligere store hendelser (Nesje et al., 2016), og det er sannsynlig at store flom- og skredhendelser også vil være en fare i fremtiden. Kartlegging av flom- og skredutsatte områder er følgelig viktig for å øke samfunnsikkerheten, både når det gjelder å trygge menneskeliv og materielle verdier (NVE, 2015a).

1.1 Bakgrunn for valg av tema

Som følge av stor skred- og flomaktivitet og stort skadepotensial i området, og som følge av at skred- og flomhendelsene kan bli større og forekomme hyppigere i fremtiden, er det svært viktig at det gjøres kontroller av tidligere kartlegginger, for å undersøke om disse er gode nok.

I 2015 gjennomførte Norges geotekniske institutt [NGI], på oppdrag fra Jernbaneverket, en kartlegging av faren for skred og vann på avveie langs Dovrebanen Fåberg-Dombås i Gudbrandsdalen (Sandersen, Høydal & Vernang, 2015). Som en del av skredfarekartleggingen ble GIS (Geographical information systems) benyttet til å gjøre analyser av landskapet, med hensikt å identifisere mulige problemområder. Farenivået ble anslått med utgangspunkt i en analyse av landskapet 30 m til hver side fra jernbanens senterlinje (Hefre & Sverdrup-Thygeson, 2014, s. 6). Den rasjonale formel ble videre benyttet til flom- og kapasitetsberegninger i til sammen 40 nedbørsfelt langs kjente problemområder (Sandersen et al., 2015).

I forbindelse med bestillingen av kartleggingene ble det ikke satt noen krav til gjennomførelsen, og fremgangsmåtene som ble brukt kan kritiseres for å være mangelfulle. Bane NOR ser derfor et behov for at nye kartlegginger må vurderes. I den forbindelse har det blitt satt i gang et arbeid med å utarbeide en mer tydelig og detaljert formulering av kravspesifikasjoner for kartlegging av fare for skred og vann på avveie (G. Vatne, personlig kommunikasjon, 29.04.2018).

Et utkast fra de nyformulerte kravspesifikasjonene ble lagt til grunn da det i dette prosjektet ble gjort nye oversiktskartlegginger. Det ble også gjort nye flom- og kapasitetsberegninger i et utvalg nedbørsfelt, utført med det nettbaserte GIS-verktøyt, NEVINA. Beregningsverktøyet er mer avansert enn den rasjonale formel, og er utviklet for å gjøre flomberegninger i større felt (Norges vassdrags- og energidirektorat [NVE], 2015).

En sammenligning av resultatene fra nye og gamle kartlegginger danner grunnlag for en diskusjon rundt hvorvidt det er behov for nye detaljkartlegginger av faren for skred og vann på avveie langs jernbanen mellom Fåberg og Dombås, eller om eksisterende kartlegginger er gode nok.

Prosjektet har blitt gjennomført i samarbeid med Bane NOR.

1.2 Problemstillinger

Gjennom en sammenligning av resultatene fra farekartleggingene og flom- og kapasitetsberegningene, har diskusjonen som mål å besvare følgende problemstillinger:

1. Bør det gjøres nye detaljkartlegginger av fare for skred og vann på avveie langs jernbanen mellom Fåberg og Dombås?
2. Bør det utføres nye flom- og kapasitetsberegninger som del av nye detaljkartlegginger?

Problemstillingene vil besvares gjennom en diskusjon rundt de metoder og vurderinger som ble lagt til grunn ved kartleggingene og beregningene fra de to årene. Herunder vil metodiske styrker, mangler og utfordringer belyses. Det gjøres også en diskusjon rundt hvilke momenter og vurderinger som *bør* inngå i en analyse ved farevurderinger, hvilket også vil danne grunnlag for konklusjonene.

1.3 Oppbygging av oppgaven

Opgaven er delt inn i 8 kapitler, inklusive innledningskapitlet. I kapittel 2 presenteres en beskrivelse av studieområdet. Herunder legges det vekt på flom- og skredproblematikk i området, og hvordan klimaendringer kan føre til endret flom- og skredaktivitet. Effekter av klimaendringer presenteres tidlig for å understreke nødvendigheten av god kartlegging av skred- og flomfare, som en del av nasjonal og lokal klima-tilpasningsstrategi (Grønsten et al., 2015, s. 21). Som et viktig teoretisk bakteppe ved kartlegging av skred- og flomfare, blir det i kapittel 3 gjort rede for ulike forhold som påvirker utløsning og utløpet til jord- og flomskred, og faktorer som har betydning for flomforløpet. Underkapitlet som omhandler flom fokuserer på flom i sidevassdrag.

Kapittel 4, 5 og 6 er todelte, hvor «DEL 1» omhandler metoder, resultater og en diskusjon knyttet til oversiktskartleggingene, mens «DEL 2» omhandler metoder, resultater og en diskusjon knyttet til flom- og kapasitetsberegningene. Denne inndelingen ble valgt for å skape en ryddig struktur med fokus på metoder og vurderinger lagt til grunn ved de to kartleggingene. Den todelte strukturen understreker dessuten at resultatene fra henholdsvis oversiktskartleggingene og flom- og kapasitetsberegningene ikke har påvirket hverandre.

I kapittel 7 presenteres konklusjonene som besvare problemstillingene. I kapittel 8 presenteres forslag til videre arbeid, basert på funn og diskusjoner gjort gjennom prosjektet.

2 Områdebeskrivelse

Strekningen Fåberg – Dombås ligger i Gudbrandsdalen i Oppland fylke, sørøst i Norge. Jernbanestrekningen er en del av Dovrebanen, og strekker seg fra DOVB km 191 i Fåberg (149 moh.) og nordover til DOVB km 343 på Dombås (659 moh.). Sørligste og nordligste punkt på strekningen har koordinatene 575581/6781972 og 506575/6881803 (EUREF89/UTM sone 32) (Banekart, u.å.). Fra Sør til Nord langs den kartlagte strekningen ligger kommunene Lillehammer, Øyer, Ringebu, Sør-Fron, Nord-Fron, Sel og Dovre. Gudbrandsdalslågen renner gjennom hele dalføret. Strekningen er til sammen 152 km lang, og blir vist i figur 2.1.



Figur 2.1: Kartutklippet viser den kartlagte jernbanestrekningen fra Fåberg i sør (markert med rødt punkt) til Dombås i nord (markert med rødt punkt). Nummereringene i kartet angir banens kilomertering (DOVB km). Kartutklippet er hentet fra Banekart (u.å.). Oversiktskart er hentet fra Norgeskart (2019).

2.1 Berggrunns- og løsmassegeologi

Nordlige deler av Gudbrandsdalen preges av gneis og andre harde bergarter. Sørligere deler domineres av fyllitt, sandstein og glimmerskifer, som er mer lettforvitrende- og eroderbare bergarter (Walberg & Devoli, 2014).

Dalsidene dekkes i stor grad av et lag moreneavsetninger med varierende mektighet, som ble avsatt mot slutten av siste istid (Walberg & Devoli, 2014). Dalbunnen dekkes i størst grad av fluviale avsetninger avsatt av Gudbrandsdalslågen. Ved utløpet til flere av sidevassdragene er det også kartlagt glasifluviale avsetninger fra breelver, og ved foten av skråningene er det flere steder avsatt store mektigheter med skredmateriale (NGU løsmassekart 2017).

2.2 Klima

Gudbrandsdalen ligger i le for de fuktige luftstrømmene fra vest, og har derfor jevnt over et kontinentalt klima med kalde vintre, varme somre og relativt lite nedbør (Hanssen-Bauer et al., 2015). Det er imidlertid store lokale forskjeller i nedbørstrate i Gudbrandsdalen, og det er dessuten store lokale forskjeller i utbredelsen av og styrke på kortvarige, intensive nedbørshendelser. De nordlige delene av Gudbrandsdalen er blant de tørreste områdene i landet, hvor den årlige nedbørstraten i perioden 1971-2000 var under 300 mm/år ved Skjåk (Norsk klimaservicesenter, 2017). Til sammenligning var årsnedbøren på nærliggende målestasjoner 500-750 mm/år på Hamar, og 750-1500 mm/år på Lillehammer, i Trysil og på Sæter i Kvikne i samme periode (Se Norge, 2019). Dette viser at det er store variasjoner i årlig nedbørstrate i området.

Kortvarige, intense nedbørshendelser er gjerne knyttet til bygevær om sommeren. Observasjoner har vist at det er registrert større nedbørsmengder i løpet av én time i Oppland enn i Vestlandfylkene Hordaland og Møre og Romsdal. Det er dessuten registrert noe større nedbørsmengder over et døgn i Oppland enn i Oslo (Førland, Mamen, Dyrddal, Grinde, & Myrabø, 2015). Gudbrandsdalen er dermed utsatt for intensive nedbørshendelser.

Observasjoner av klima på Østlandet viser at den årlige temperaturen og nedbørstraten har steget de siste hundre årene. Det har også vært tydelige tendenser til flere intense og mer kraftige nedbørshendelser i regionen i løpet av denne perioden. Klimaforverringene har vært særlig store de siste 40 årene (Hanssen-Bauer et al., 2015).

2.2.1 Forventede endringer i klima mot år 2100

Resultater fra en rapport publisert av Hanssen-Bauer et al. (2015), indikerer at både temperaturen og nedbørsraten vil fortsette å stige fram mot år 2100. Østlandet, sammen med Finnmark, vil kunne forvente den største relative økningen i nedbør i landet (Lawrence, 2016). Dersom trenden fortsetter slik den har gjort de siste årene, vil den årlige nedbørsraten i Oppland trolig øke med 20 % (Norsk klimaservicesenter, 2017). Det er dessuten klare indikasjoner på at episodene med styrtregn vil forekomme oftere, hvor det stedvis kan skje en dobling i antall dager med kraftig nedbør. Analyser viser videre at det vil kunne falle 19 % mer nedbør i løpet av en hendelse med kraftig nedbør, og at intens nedbør med varighet under 3 timer og med et gjentaksintervall på fem år, vil kunne øke med 30 % (Hanssen-Bauer et al., 2015).

2.3 Flom- og skredaktivitet i Gudbrandsdalen

Med sine bratte dalsider, snøkledd fjell og intense nedbørshendelser er Gudbrandsdalen et av områdene i Norge hvor det er registrert flest jord- og flomskred (Walberg & Devoli, 2014). Totalt er det registrert om lag 295 jord- og flomskred på og i nærheten av jernbanen (NVE Atlas, 2017), og hvor det faktiske tallet antas å være mye høyere (varsom.no, 2019).

Store deler av infrastrukturen og flere tettsteder i Gudbrandsdalen er bygget på skred- og elvevifter og/eller nedstrøms bratte, masseførende sidevassdrag. Mange av disse områdene har gjennom tidene opplevd store skader som følge av erosjon, oversvømmelser, stor massetransport i elvene og skred (Norsk klimaservicesenter, 2017). NVE (2011) lister opp flere områder i Gudbrandsdalen som utsatte for jordskred, og hvor ytterligere kartegging er prioritert. Herunder nevnes Fåberg, Fagernes-Leira, Vinstra, Otta og Harpefoss som utsatte områder. Figur 2.2 viser et bilde fra flommen i Storåa på Kvam i 2013, hvor vann- og løsmasser førte til store skader på jernbanen.

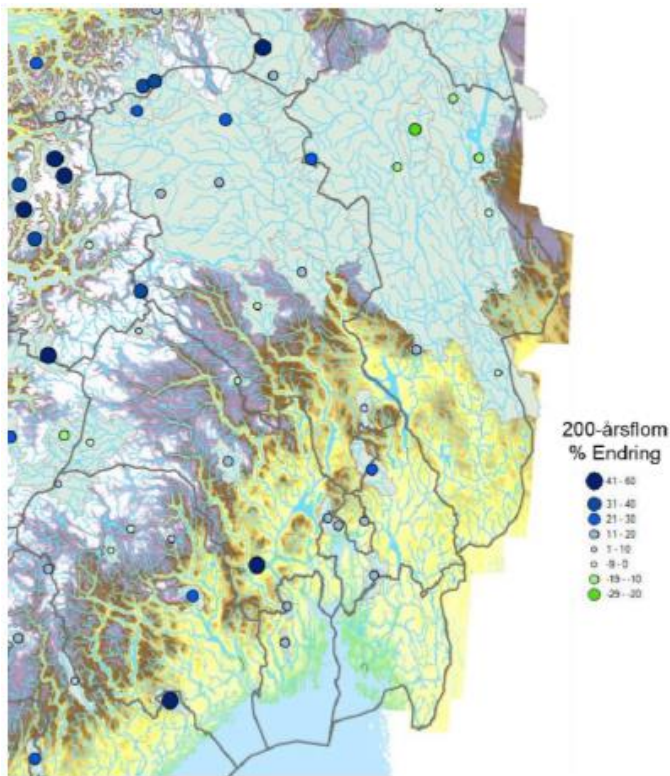


Figur 1.2: Elva Storåa passerte under jernbanen i Kvam sentrum under flommen i 2013 (Mosvold, 2013).

2.3.1 Endret flom- og skredaktivitet som følge av klimaendringer

Som en konsekvens av klimaendringer forventes frekvensen og størrelsen på regnflommer og jord- og flomskred å øke (Hanssen-Bauer et al., 2015; Lawrence, 2016; Norsk klimaservice-senter, 2017). Dette innebærer at flommer og skredhendelser lik de i 2011, 2013 og 2014, vil kunne inntreffe med jevne mellomrom (Sellevold & Edvardsen, 2013).

Lawrence (2016) har publisert en rapport som legger fram hydrologiske framskrivninger for flom i Norge fram mot år 2100. Framskrivningene baseres på ensemblemodellering med grunnlag i biasjusterte nedbør- og temperaturdata fra 20 regionale klimaframskrivninger samt den hydrologiske HBV-modellen (les: Bergstrøm (1995)). Sammen med klimaframskrivningene, danner simulerte vannføringsdata fra 115 nedbørsfelt i Norge, hvor 30 av nedbørsfeltene er lokalisert på Østlandet, grunnlag for en flomfrekvensanalyse av sannsynlig endring i flomtendenser. Analysene viser at flomstørrelsen forventes å øke særlig i små nedbørsfelt (< 100 km²) som domineres av høst- og vinterflommer. Høst- og vinterflomvannføringen kan øke med 21-30 % i Oppland mot år 2100, dersom utslippene ikke reduseres (Lawrence, 2016). Norsk klimaservicesenter (2017) påpeker at flere og større flommer i sidevassdragene vil øke faren for at vannmasser i mindre bekker og elver finner nye flomveier. Figur 2.3 viser en kartografisk fremstilling av forventet prosentvis endring i flomstørrelse for nedbørsfelt på Østlandet.



Figur 2.3: Forventet prosentvis endring i flomstørrelse for nedbørsfelt på Østlandet. Størrelsesproporsjonale punkter markerer hvorvidt flomstørrelsen forventes å øke eller avta. Figuren viser at flomstørrelsen trolig vil øke i noen felt i Oppland, mens den vil forbli lik i andre felt (Lawrence, 2016).

Ferske undersøkelser har vist at regnflommer allerede har forekommet mer hyppig de siste tiårene i sørlige deler av Norge og at regn har blitt en viktigere flomgenererende faktor (Sorteberg et al., 2018, s. 27). Analyser viser videre en trend av at flere regnflommer intreffer på høsten (Wilson, Hisdal & Lawrence, 2010).

Løsmassene i en skråning er tilpasset de klimatiske forholdene på stedet, og vil kunne bli ustabile ved en endret vær-situasjon med mer regn, mer intense nedbørshendelser og større erosjonskraft i flomvannet (Heyerdahl, 2016; NVE, 2013; Sandersen, 2014; Statens vegvesen, 2016). Faren for jord- og flomskred forventes derfor å øke i Gudbrandsdalen, og faren forventes særlig å øke i bratt terreng (Hanssen-Bauer et al., 2015). Det kan også forekomme skredhendelser i områder som tidligere har blitt ansett å være trygge (Byggteknisk forskrift, 2017). I tillegg til økt hyppighet av skredhendelser, mener NVE (2011) at en økning i nedbør i teorien også vil kunne føre til lengre utløpsdistanse. Statens vegvesen (2014a) har allerede rapportert tendenser av en økning i omfang av flomskred.

3 Teori

Ved kartlegging av skred- og flomfare er det viktig at kartleggeren har en inngående forståelse av alle forhold og prosesser som kan føre til og påvirke omfanget av en uønsket hendelse (NVE, 2014a). Det er også viktig at kartleggeren gjenkjenner spor i terrenget som kan vitne om tidligere hendelser, da disse vil kunne indikere fremtidige uønskede hendelser (Statens vegvesen, 2016; Wasrud, 2015).

Som en del av dette prosjektet har det bare blitt gjort kartlegginger av jord- og flomskredfare og fare for vann på avveie. Dette kapitlet vil følgelig ikke gå inn på andre faretyper. Først presenteres de vanligste utløsende og bakenforliggende årsakene til jord- og flomskred. Det blir også gitt beskrivelser av dynamikken til de ulike skredtypene, ettersom dette kan si noe om skredets potensielle utløp (NVE, 2018). Typiske erosjons- og avsetningsformer vil også beskrives. Kapitlet vil videre definere flom, samt gjøre rede for flomgenererende værforhold, og hvordan flomstørrelsen og reaksjonstiden påvirkes av egenskapene i nedbørfeltet (Selby, 2005). Faren for høy masseføring i vannmassene vil også beskrives som en viktig prosess når faren for vann på avveie skal vurderes.

3.1 Jordskred

«Jordskred er raske utglidninger og bevegelse av vannmettede løsmasser i bratte skråningsgradienter, utenfor definerte vannveier» (NVE, 2018 s. 2). Skredene er sjelden dypere enn 5 m (NVE, 2018), og er som oftest 0,5-1 m dype (Sandersen, 2014). Skredene utløses gjerne som en plutselig utglidning i et relativt lite område, men sprer seg ofte utover nedover i skredløpet som følge av at nærliggende løsmasser dras med skredmassene, noe som gjør at jordskred ofte har en langstrakt, trekantlignende form (Bargel et al., 2011; Sandøy et al., 2017). Skjærplanet til et jordskred kan være enten rett eller kurvet, og benevnes henholdsvis translasjonsskred eller rotasjonsskred (Pipkin, Trent, Hazlett & Bierman, 2014). Et eksempel på et trekantformet translasjonsskred, utløst i Virumdalen i Møre og Romsdal i 2003, blir vist i figur 3.1.

Utløpsdistansen til jordskred er som regel <500 m, men kan være opp mot 1 km. Et jordskred vil sjelden inntreffe i samme skredsår flere ganger, ettersom løsmassene som oftest eroderes helt eller nesten bort ved den første hendelsen, og at det tar lang tid før et nytt løsmassedecke opparbeides (NVE, 2018).



Figur 3.1: Jordskred i Virumdalen 14. august 2003, Møre & Romsdal (NVE, 2018).

Jordskred utløses normalt i skråninger med en helning $>30^\circ$. I skråninger med sparsommelig vegetasjon, et tynt løsmassedekke som ligger over en glatt berggrunnsoverflate eller i skråninger som har blitt utsatt for menneskelige inngrep, kan skred utløses i helninger ned mot 20° (NVE, 2018; Sandersen, 2014). Selby (2005) hevder imidlertid at faren for skred er størst i helninger fra $21-25^\circ$, og at faren deretter reduseres med økt helning, ettersom løsmassene i brattere skråninger ofte allerede har blitt erodert bort. Jordskred i skråninger brattere enn 45° forekommer sjelden (Bargel et al., 2011). Jo høyere en bratt skråning er, desto større er faren for jordskred (Pipkin et al., 2014), og jo brattere en skråning er, desto lengre ned i skråningen kan jordskred utløses (Selby, 2005).

3.1.1 Utløsende og bakenforliggende årsaker til jordskred

Vann

Vann er nesten alltid den utløsende årsaken til jordskred, som følge av høyt porevannstrykk og økt skjærstress i løsmassene (Selby, 2005). Jordskred utløses derfor ofte i forbindelse med intense nedbørshendelser, og særlig under intense nedbørshendelser som har lang varighet eller når det regner samtidig som bakken tiner (Sandøy et al., 2017; Selby, 2005; Walberg & Devoli, 2014). Jordskred kan også utløses under moderat nedbør med lengre varighet (Pipkin et al., 2014).

I Norge utløses de fleste jordskredene i høstmånedene. På Østlandet er det også vanlig at skred går i forbindelse med snøsmelting på våren (Sandersen, 2014).

I Norge regnes det å være en fare for jord- og flomskred dersom mer enn 8 % av årlig middelnebør for det aktuelle området faller i løpet av et døgn. Jordas initialtilstand kan imidlertid ha stor betydning for hvorvidt skred utløses. Dersom jorda er mettet med vann før en nedbør- eller smelteperiode, skal det mindre vanntilførsel til før skred utløses enn om jorda har god vannlagringskapasitet (Walberg & Devoli, 2014). Studier har vist at skred kan gå ved mindre nedbørsmengder dersom vannmetningsgraden i jorda er over 60 % (Boije, Culleuille & Devoli, 2014).

Som følge av at vann er den vanligste årsaken til utløsning av jord- og flomskred, går skredene ofte i sammenheng med flom. Flomvann som eroderer i skråningsfoten kan også utløse skred (Boje et al., 2014; NVE, 2013). Figur 3.2 viser et bilde fra et jordskred som ble utløst mot Dovrebanen i Sokndal i 2012.



Figur 3.2: Jordskred i Sokndal (Kjellmark, 2012).

Skråningens kurvatur og orientering

Slik som med overflatevann, vil det også være en konvergerende vannstrøm under bakken, noe som gjør at vann akkumuleres i konkave deler av skråningen. Porevannstrykket tenderer derfor å være høyt i konkaviteter (Sandersen, 2014; Selby, 2005). Høyt vanninnhold i løsmassene vil også gjøre at forvitring- og utvaskingsprosessene er mer aktive i konkaviteter

enn i andre deler av skråningen, hvilket vil kunne ha en negativ innvirkning på skjærstyrken i enkelte lag i løsmassene. Konkaviteter er derfor vanlige utløsningsområder for jord- og flomskred (Selby, 2005).

Resultater fra en studie utført av Salter, Crippen & Noble (1983) har videre vist at ekvatororienterte skråninger er mer utsatt for jord- og flomskred enn polorienterte skråninger. Trolig kan dette forklares ved at ekvatororienterte skråninger utsettes for større variasjoner i nedbør og tørke enn polorienterte skråninger (Salter et al., 1983). For Norges tilfelle kan dette bety at sørvestvendte skråninger, som utsettes for mest nedbør (Statens vegvesen, 2010), er mest utsatt for skred.

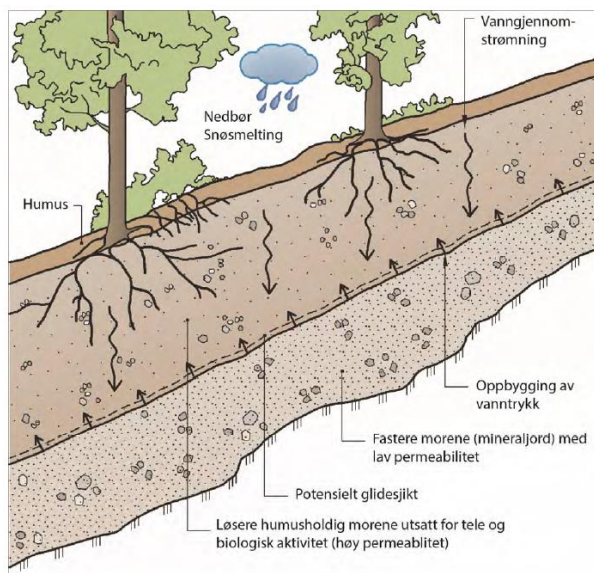
Løsmasser

Tilstedeværelse av og type løsmasser har stor betydning for hvorvidt det er fare for jord- eller flomskred i et område (Statens vegvesen, 2016). Vannmetning oppstår typisk under horisonter i jorda som har dårligere dreneringsegenskaper, eller i bunnen av godt drenerte horisonter som ligger på grensen mot dårligere drenerte lag. Slike horisonter er ofte potensielle skjærplan (Selby, 2005).

De fleste jordskred i Norge går i morenemateriale (Bargel et al., 2011; Heyerdahl, 2016; Sandersen, 2014). Dette skyldes hovedsakelig at morenemateriale er den dominerende løsmassetypen over marin grense. Bunnmorene, som har blitt avsatt under isen under forrige istid, er normalt bare noen få meter tykt, og på grunn av isens vekt er gjerne bunnmorenen hardt pakket. Høy konsolidering gjør at materialet ofte har lav infiltrasjonskapasitet (Walberg & Devoli, 2014) og relativt god skjærstyrke (NVE, 2014a; Sandersen, 2014). Infiltrasjonsegenskapene varierer for øvrig etter hvor stort innholdet av finkornige sedimenter er, og påvirkes også av berggrunn og eventuelle underliggende løsmasser. Løsmasser med forvitret skifer eller fyllitt, vil ha et relativt høyt innhold med leirfraksjoner. Leirinnholdet vil redusere permeabiliteten til løsmassene, hvilket gjør at avrenningen er stor. Løsmasser rik på forvitret fyllitt eller skifer er derfor utsatt for flom- og jordskred under intensive eller langvarige nedbørshendelser (Walberg & Devoli, 2014).

De øverste 0,5-1,0 m av moreneavsetningene, som har blitt modifisert gjennom om lag 10 000 år med infiltrerende nedbør og smeltevann, fryse- tine prosesser og utvikling av jordsmonn, har ofte gode permeable egenskaper (NVE, 2014a). Over bunnmorenen har det dessuten flere steder blitt avsatt mer løst pakket ablasjonsmorene, som har ligget inni eller oppå breen (Heyerdahl,

2016; NVE, 2014a). Grensen mellom det løse overflatelaget og de mer hardpakkede løsmassene lengre ned, danner ofte et kritisk skjærplan, hvor infiltrert vann akkumuleres, og bygger opp porevannstrykk (SINTEF, 2016). Grensen mellom det løse overflatelaget og de mer hardpakkede løsmassene lengre ned, danner derfor ofte et kritisk skjærplan, hvor infiltrert vann akkumuleres, og bygger opp porevannstrykk (SINTEF, 2016). Figur 3.3 skisserer et typisk snitt av en løsmassedekket skråning i Norge, hvor løsmassene består av morene. Noen steder, spesielt der morenelaget er tynt, vil hele løsmasselaget ha blitt påvirket av forvitningsprosesser, og skjærplanet vil da kunne være mot berggrunnen (Bargel et al., 2011).



Figur 3.3: Skissen viser et typisk snitt av en løsmassedekket skråning i Norge, hvor løsmassene består av morene. Den øvre sonen har blitt modifisert av forvitring, frostprosesser og biologiske prosesser, mens den nedre sonen består av et fastere morenelag med lav permeabilitet. Porevannstrykket vil typisk bygge seg opp på grensen mellom de to lagene, hvilket gjør overgangssonen til et kritisk glidesjikt (SINTEF, 2016).

Jordskred kan også gå i tidligere avsatte skredavsetninger, i forvitningsmateriale (Sandøy, Rubensdotter & Devoli, 2017), og i fluviale avsetninger under flomhendelser (Bargel et al., 2011). Dersom det er tele i løsmassene, vil telehorisonten virke som et impermeabelt lag, og vann vil kunne bygge opp porevannstrykket i overliggende lag. Det vannmettede jordlaget mellom frosset og utfrosset jord vil ofte fungere som et glideplan (Walberg & Devoli, 2014).

Vegetasjon

Rotkanalene til trær bidrar til å bedre infiltrasjonsegenskapene til jorda. Samtidig vil transpirasjon og oppsuging av vann (i vekstsesongen) bidra til å holde grunnvannsnivået nede (Sandersen, 2014; Selby, 2005; Statens vegvesen, 2014b). Røttene til trærne vil videre virke

armerende (Heyerdahl, 2016; Statens vegvesen, 2014b), og samtidig vil vekten av trærne øke normalstresset. Trær og skog har følgelig ofte en stabiliserende effekt på massene i en skråning, særlig i relativt slake skråninger. Det finnes flere eksempler hvor skred har gått i etterkant av avskoging i bratte skråninger, og statistikk viser at mange skred utløses i skråninger som ligger nedstrøms dyrket mark. I bratte skråninger (ca. $>34^\circ$) vil for øvrig den vertikale gravitasjonskraften føre til at vekten av trærne øker skjærstresset i større grad enn normalkraften. Tilstedeværelsen av trær i bratte skråninger vil dermed kunne virke destabiliserende (Selby, 2005).

Menneskelige inngrep

Menneskelige inngrep som fører til endrede dreneringsforhold eller destabilisering av skråningen kan føre til utløsning av jordskred (Sandersen, 2014; Walberg & Devoli, 2014). Dette kan skje ved at inngrepet fører til en større konsentrasjon av vann enn det skråningen er tilpasset til å kunne håndtere, eller at vannet ledes ukontrollert ut i deler av skråningen hvor det naturlig ikke har vært opphopning av vann tidligere (Norges geologiske undersøkelse [NGU], 2015a; NVE, 2014b; Statens vegvesen, 2014a). Slike situasjoner oppstår gjerne ved hogst eller ved anleggelse av skogsbilveger (Wasrud, 2015), men kan også skje som følge av gjentetting av stikkrenner eller dårlig utførte sikringstiltak tilknyttet større infrastruktur. Menneskeindusert underkutting av skråninger kan også være en bakenforliggende årsak til utløsning av jordskred (Sandersen, 2014; Walberg & Devoli, 2014).

Steinsprang og steinskred

Om steinsprang eller steinskred faller ned på eller belaster et vannmettet løsmasselag, kan den ekstra belastningen gjøre at porevannstrykket overskrider et kritisk nivå, og at skred utløses. Store mengder løsmasser kan også rives med som følge av steinskredets kraft, og dermed utgjøre en stor del av skredmassene (NGU, 2015a).

3.2 Flomskred

Flomskred, på engelsk kalt «debris flow», er en kanalisert, flytende massebevegelse ofte bestående av en blanding av steiner, sand, finkornede løsmasser og en høy andel vann (NVE, 2018; Pipkin et al., 2014). Flomskred har ofte høy hastighet, og skredmassene kan rive med seg store mengder løsmasser, blokker og vegetasjon nedover skredløpet (NVE, 2014a).

Tilstedeværelsen av vann er helt essensielt for at massene skal bevege seg flytende (Pipkin et al., 2014).

Flomskred utløses gjerne i elve- og bekkeløp uten permanent vannføring (NVE, 2018; Sandøy et al., 2017). Små, bratte nedbørsfelt, hvor nedbøren er jevnt fordelt over hele feltet og hvor vegetasjonsdekket er sparommelig og avrenningen stor, er spesielt utsatte (Pipkin et al., 2014; Selby, 2005). Utløsningsområdet har normalt en helning fra 25-45° (NVE, 2018), men ved ekstreme nedbørshendelser kan slike skred også utløses i skråninger med ned mot 10° helning (Sandersen, 2014).

Som følge av det kanaliserte løpet, en flytende bevegelse og høy dispersjonseffekt i skredmassene, kan flomskred ha svært langt utløp (> 0,5 – 1 km) (Selby, 2005). Skredmassene kan oppnå en hastighet på 50 km/t, men dette er svært avhengig av helning, vannmengde og type sedimenter i massene (NVE, 2018; Pipkin et al., 2014). Den høye viskositeten i flomskred, sammen med relativt høy tetthet og fart, gjør at skredene har stor kraft og kan være svært ødeleggende (NVE, 2018; Pipkin et al., 2014; Selby, 2005; Statens vegvesen, 2014a). Flomskred er den skredtypen som oftest fører til stenging av vegnettet i Norge (Sandersen, 2014). Figur 3.4 viser et eksempel hvor dette skjedde ved Kvam i 2011.



Figur 3.4: Flomskred ved Kvam i Nord-Fron, juni 2011 (NVE, 2018).

Flomskred gjentar seg gjerne i samme skredløp (Statens vegvesen, 2014a), og på grunn av skredenes eroderende kraft vil gjentatte flomskred effektivt skjære ut større raviner, som gir en god indikasjon på hvor det kan forventes å gå flere flomskred i fremtiden (Selby, 2005). Ved utløpet til slike raviner har ofte gjentatte flomskred bygget opp en vifteform av avsetninger

(Sandersen, 2014). Et eksempel som synliggjør hvordan flomskred eroderer i ravinen og avsetter utover viften blir vist i figur 3.5.



Figur 3.5: Bildene viser et flomskred som gikk ved Bakkevik i Skrednes i (Balestrand, Sogn og Fjordane) 26. desember 2011. Eksempelet viser hvordan gjentatte flomskred har erodert ut en ravineform i terrenget og avsatt sedimenter utover utløpsområdet, hvilket har skapt en vifteform (Bergheim, 2011ab).

Fronten på skredmassene vil ha større friksjon enn kjernen av skredet, og skredet vil ofte bremses litt opp nedover skredløpet. Trykket fra den etterfølgende halen med sedimenter som har mindre friksjon og høyere vanntrykk, vil da etter hvert kunne bli så stort at fronten igjen skyter fart (Sandersen, 2014). Slik kan flomskred ofte strømme i pulser nedover skråningen (Sandersen, 2014; Selby, 2005). Skredløpet kan dessuten demmes opp av skredmasser, snø og vegetasjon. Dersom demningen bryter, vil dette kunne forårsake en bølge av vann og løsmasser (NVE, 2018).



Figur 3.6: Flomskred ved Mjåland i Gjesdal i Rogaland i 2016 (Staten vegvesen, 2011).

Massene i et flomskred vil røres om, og de små kornene vil trenge inn i porer og sprekker og presse større partikler opp og ut til sidene. På grunn av denne sorteringen, vil den innerste delen av skredet, som består av fine korn, ha høyt porevannstrykk, mens fronten og sidene av skredet, som består av grovere partikler, vil ha relativt lavt porevannstrykk (Selby, 2005). Mye av de grove partiklene avsettes ofte mot sidene av skredløpet hvor de danner levéer (Statens vegvesen, 2014a). Friksjon langs sidene vil videre gjøre at skredet utløper i en lobeform, hvor materialet i midten, som utsettes for minst friksjon, vil ha lengst utløp. De groveste partiklene ved skredfronten vil normalt avsettes ved vifteformens fot i utløpsområdet, mens det fineste materialet ofte ikke vil avsettes før helningen er 0° . De fineste massene i et flomskred kan derfor ofte ha et flere kilometer langt utløp (NVE, 2018).

3.2.1 Utløsende og bakenforliggende årsaker til flomskred

Vann

Flomskred utløses ofte under intense nedbørshendelser (Pipkin et al., 2014; Sandersen, 2014), og særlig under intense nedbørshendelser som har lang varighet eller når det regner samtidig som bakken tiner (Selby, 2005). Flomskred kan også utløses i forbindelse med snøsmelting (Sandersen, 2014), eller under moderat nedbør med lengre varighet (Pipkin et al., 2014).

Løsmasser

Flomskred utløses gjerne i løst pakkede løsmasser, og går ofte i kolluviale avsetninger, slik som talus. Materialet i en talus vil normalt ha lav konsolidering, og når talusen utsettes for stress eller store nedbørsmengder, kan strukturen kollapse. Slik reduseres porevolumet, noe som vil føre til økt porevannstrykk dersom det er vann tilstede. Flomskred kan da utløses som følge av tap av skjærstyrke. Talus modifisert av flomskred kan karakteriseres ved at det har vært erosjon i den øverste delen og avsetning i den nederste delen, noe som vil gjøre at flomskredmodifiserte taluser ofte har slakere gradient enn typiske umodifiserte taluser. Spor etter flomskred kan videre sees som kanaler, levéer og lober i talusen (Selby, 2005).

Kombinasjon av sørpeskred eller jordskred

Flomskred kan utløses som en kombinasjon med sørpeskred (NVE, 2018). Jordskred kan også utvikle seg til flomskred. Dette kan skje ved at jordstrukturen kollapser, hvilket vil redusere

porevolumet, noe som vil øke porevannstrykket, og som videre vil kunne føre til at skredmassene vil begynne å bevege seg flytende (Selby, 2005). Et jordskred kan også utvikle et flytende bevegelsesmønster om massene ledes mot et dreneringsløp, hvor det skjer innblanding av mer vann (Sandersen, 2014; Selby, 2005).

3.3 Glidende overgang mellom jord- og flomskred

Det er glidende overganger mellom jord- og flomskred, og i dagligtalen brukes gjerne begrepene om hverandre (NVE, 2011). Jord- og flomskred utløses normalt under de samme værforholdene, og begge skredene kan ha stort skadepotensial. Følgelig brukes NVE begrepet «jordskred» som en fellesbetegnelse på de to skredtypene i sitt varslingsystem (NVE, 2018).

3.4 Flom

Varsom (u.å.) definerer flom som følger:

Flom oppstår når vannstanden i innsjøer og elver går ut over det normale, noe som fører til at vannet flommer ut over landmasser som ellers er tørre. Flom kan også defineres kvantitativt i forhold til størrelse og statistisk gjentaksintervall. En middelflom (normal flom) defineres som gjennomsnittet av høyeste døgnmiddelvannføring hvert år i en hel årrekke. (Varsom, u.å., s. 1).

Sannsynligheten for at en flomhendelse av en viss størrelse skal inntreffe, uttrykkes som et anslått gjentaksintervall. Jo høyere gjentaksintervall, desto større er flommen som omtales, og desto mindre sannsynlig er det at den inntreffer. I løpet av ett år vil det være 10 % sannsynlighet for at en 10-årsflom inntreffer, mens sannsynligheten for en 200-årsflom vil være 0,5 % (Varsom, u.å.; Wasrud, 2015). Flommer kan videre defineres etter årsak, hvor regnflommer omfatter flommer som skyldes regn alene, snøsmelteflommer skyldes snøsmelting, og regn- og snøsmelteflommer skyldes en kombinasjon av disse (Stenius & Glad, 2015; Varsom, u.å.).

3.4.1 Feltegenskaper som har betydning for flomforløpet

Reaksjonstiden samt størrelsen på flommen avhenger av en rekke forhold, herunder: nedbørfeltets form, størrelse, lengreprofil, elvenettverkets mønster og dreneringstetthet, overflatetype, nedbørsfeltets initialtilstand, evne til selvregulering, nedbørsmengde- og intensitet og snøsmelting (Carlston, 1964; NVE, 2015b; Ogden, Pradhan, Downer & Zahner, 201; Stenius & Glad, 2015; Wasrud, 2015).

Infiltrert vann vil dreneres saktere enn overflatevann, og jo større andel av vannet som dreneres under bakkeoverflaten, desto lengre vil reaksjonstiden være. Flomfaren er følgelig størst når overflateavrenningen er stor. Avrenning oppstår når nedbørintensiteten overstiger infiltrasjonskapasiteten, og påvirkes i stor grad av overflatetype og feltets initialtilstand (Selby, 2005). Dersom grunnvannsnivået og vannmetningen er høy og feltkapasiteten lav, vil avrenningen være stor, og faren for flom vil være større enn om feltet hadde kapasitet til å infiltrere mer vann (NVE, 2015b). Under visse forhold, når jorda har høy vannmetning eller det er tele i bakken, vil en flom med høyt gjentaksintervall, som en 200-årsflom, kunne inntreffe ved mindre nedbørshendelser enn 200-årsregn (Bane NOR, 2019, s. 3; NVE, 2014b).

Overflatetypen i feltet har også stor innvirkning på feltets vannlagringskapasitet, og dermed også på vannføringen og hvor stor flommen blir. Skog/ vegetasjon bidrar med transpirasjon av vann, hvilket vil ha en flomdempende effekt. Samtidig vil tilstedeværelse av skog og vegetasjon innebære at bakken dekkes av et lag jord, hvor jordas evne til å infiltrere vann virker dempende på vannføringen. En høy andel myr i nedbørsfeltet vil også ha en dempende effekt på vannføringen, så lenge myrområdet er umettet. Dersom myra er mettet med vann, vil effekten være motsatt. Tilstedeværelse av sjø i nedbørsfeltet vil gjøre feltet mer selvregulerende, særlig om sjøen ligger langt ned i feltet (Stenius & Glad, 2015). Sjøens flomdempende effekt regnes forøvrig å være mindre ved høyt gjentaksintervall enn ved flommer med lavere returperiode (NVE, 2015b).

I nedbørsfelt med liten selvregulering vil ofte flomtoppen nås raskt (Wasrud, 2015). I felt med god selvregulering vil flomtoppen være mindre, men vil gjerne være lengre (NVE, 2014b). Jo større nedbørsfeltet er, desto mer selvregulerende vil det være. Derfor er ofte flomtoppen mindre i store felt enn i små. En bratt helning vil videre gjøre at vannet har høy hastighet, og avrenningen er derfor større i bratte felt enn i slake. Følgelig vil flomtømmen ofte være høyest og nås raskest i små bratte nedbørsfelt (Stenius & Glad, 2015).

I felt med høy andel snaufjell, asfalt eller et tynt jordsmonn, vil avrenningen være stor, hvilket gir en rask og høy flomtopp (Stenius & Glad, 2015). Overflateavrenningen er også ofte stor over bunnmorene, som følge av høy konsolidering og dårlige infiltrasjonsegenskaper (Walberg & Devoli, 2014). Når det er tele i jorda, vil også mye av vannet renne av som overflatevann (Bane NOR, 2019, s. 3; NVE, 2015b). Sedimenttilgangen vil imidlertid være lav når jorda er frossen, og skadepotensialet vil dermed være mindre på grunn av liten masseføring (G. Vatne, personlig kommunikasjon, 11.10.2018).

Vannet strømmer hurtigst i avløp og kanaler, hvor friksjonen er minst. I et felt med stor dreneringstetthet vil derfor flomtoppen inntreffe raskere enn i et felt med lavere dreneringstetthet (Carlston, 1964; Ogden et al., 2011).

3.4.2 Flomgenererende værforhold

Snøsmelting *kan* være en bidragende årsak til flom i små nedbørsfelt, men det største bidraget kommer som oftest fra regn (Stenius & Glad, 2015). Ettersom det i denne sammenhengen bare blir gjort farevurderinger og beregninger i små felt, vil ikke effekten av snøsmelting eller andre forhold som hovedsaklig utgjør en fare for flom i store felt, utdypes ytterligere.

Kort reaksjonstid gjør at små bratte nedbørsfelt er utsatt for kortvarige, intense nedbørshendelser, også kalt styrtregn (Hanssen-Bauer et al., 2015; Stenius & Glad, 2015; Varsom, u.å.). Styrtregn er også en vanlig årsak til flom i urbane strøk (Hanssen-Bauer et al., 2015), og skyldes i stor grad høy tetthet av overflater med dårlig dreneringsevne, noe som fører til stor avrenning, hvilket videre gjør at vannføringen øker hurtig, og at vannstrømmen får høy hastighet. I urbane strøk vil også ofte vannet finne nye veier eller demmes opp, hvilket ofte fører til de største skadene (Varsom, u.å.).

For å varsle om fare for styrtflom, tas det utgangspunkt i værmeldingen. Kraftige regnbyger er imidlertid en ustabil værtype, og en bygesky dannes og oppløses raskt (ca. 1 time), og ofte avløses de av andre byger. Værtypen er dessuten ofte svært lokal, men kan potensielt få stor konsekvens, i det at nedbørsmengdene som faller over kort tid og med høy intensitet både kan utløse skred, og kan føre til lokale flommer. Ofte knyttes problemene til bekker og mindre elver som tar nye løp. Bygenes uforutsigbarhet gjør at det er svært utfordrende å varsle hvor de vil treffe og hvilke konsekvenser dette kan få (Varsom, u.å.).

3.4.3 Masseførende vannmasser

Når vannstanden i en bekk eller elv øker, vil vannmassene kunne begynne å erodere og transportere i bunn og/eller kanalsider. Det er ofte erosjon og transport av løsmateriale som fører til de største skadene på infrastruktur og annen bebyggelse, og ikke vannmassene i seg selv (Sandersen, 2014).

Skred går ofte under samme vær-situasjoner som flom, og ofte kan forhøyet massetransport under flom skyldes at det går jord- og flomskred ned i elveløpet, og at vannmassene transporterer massene videre (NVE, 2014a; Sellevold & Edvardsen). Det er også ofte høy

massetransport dersom det går flom i kanaler hvor det ikke er permanent vannføring (NVE, 2014b). Det er dermed glidende overganger mellom masseførende flom og flomskred (Statens vegvesen, 2016). Statens vegvesen (2016) påpeker imidlertid at det er de grove skredmassene som oftest fører til skader på konstruksjoner. Figur 3.7 viser et eksempel fra flommen i 2011, hvor vann- og løsmasser har ført til skader på vegnettet. Eksempelet viser at det er vanskelig å definere hvorvidt skadene skyldes masseførende elv eller flomskred.



Figur 3.7: Skader på vegnettet etter vann- og løsmasser ved Høvringen i Gudbrandsdalen. Her er det vanskelig å skille hvorvidt avsetningene skyldes flomskred eller høy masseføring i elv (Scanpix, 2011a).

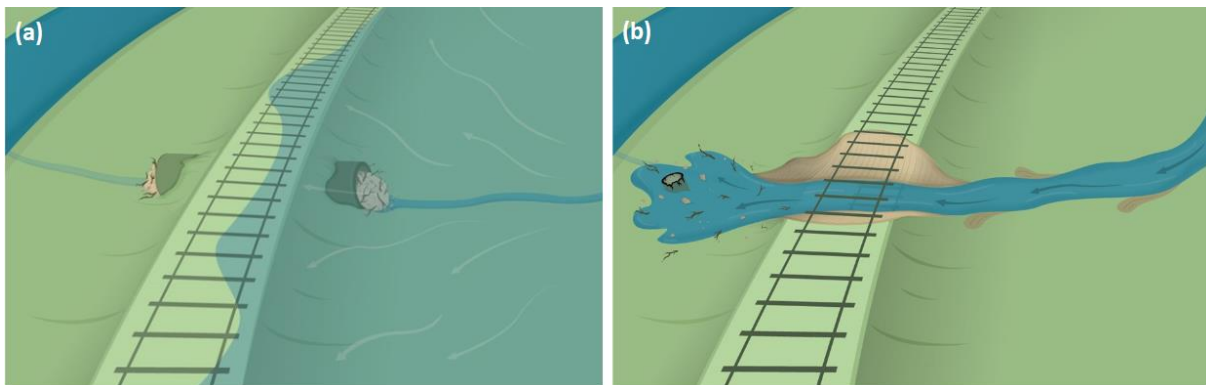
3.4.4 Vann på avveie

I sammenheng med jernbane og annen infrastruktur handler ofte flom om dimensjonerende tiltak, slik at konstruksjonene tåler en viss mengde overflatevann av en gitt størrelse (Norem, Flesjø, Sellevold, Lund & Viréhn, 2018). Den vanligste årsaken til flomskade på jernbane er ved overbelastning av stikkrenner og kulverter, hvilket fører til at vann tvinges på avveie. Dette kan skje dersom drenerørret er underdimensjonert eller om sedimenter, vegetasjon og/eller skrot som har blitt ført med flomvannet blokkerer røret helt eller delvis (Sandersen et al., 2015; Sekse, 2012). Vannmassene vil da stuves opp mot fylling, og vil ofte ledes langs jernbanegrøften, hvilket kan forårsake skader på konstruksjonen (Bane NOR, 2019, s. 3; Norem et al., 2018; Statens vegvesen, 2014a).

Oppstuvet vann kan også begynne å strømme gjennom fylling, hvor finstoff vaskes ut, hvilket kan føre til utglidning av det grovere ballastlaget. Oppbygging av porevannstrykk i fyllingen kan videre redusere bæreevnen. Dersom vannmassene begynner å drenere over fyllingen, vil

også ballastpukk kunne vaskes bort (Sandersen et al., 2015). Figur 3.8 illustrerer et typisk eksempel på hvordan vann demmes opp oppstrøms jernbanefyllingen som følge av tett stikkrenne, og hvor dette til slutt fører til at fyllingen brister (Varsom, u.å.). Et eksempel hvor dette skjedde langs Rørosbannen i forbindelse med flommen i 2011, blir vist i figur 3.9.

Vann kan også ledes på avveie som følge av gjentettede eller dårlig utførte sikringstiltak oppstrøms jernbanen. Faren for at vannet finner nye veier oppstrøms jernbanen vil for øvrig avhenge av dybden til bekke/elveløpet. Dersom løpet er dypt, er det mindre sannsynlig at vannmassene vil flomme over løpsbredden (Wasrud, 2015).



Figur 3.8: Figur (a) illustrerer en typisk situasjon hvor en stikkrenne fylles med sedimenter under en flomhendelse, og hvor vann dermed stuves opp oppstrøms fyllingen. Figur (b) illustrerer hvordan de oppdemte vannmengende fører til at fyllingen brister (Varsom, u.å.)



Figur 3.9: Bildet viser et eksempel fra Rørosbannen i 2011, hvor store mengder oppdemmet vann som følge av tett stikkrenne har ført til brist av fylling (Scanpix, 2011b).

3.4.5 Vifteformede avsetninger

Vifteformede avsetninger bygges ofte opp ved utløpet av et elveløp, som følge av redusert gradient og at elven dermed mister transportkraft. Nedstrøms rotpunktet til elveviften spres gjerne vannstrømmen i flere ustabile løp som lett kan endres. Strukturen på viften er ofte kaotisk, og materiale kan ha blitt avsatt av flere ulike prosesser, herunder både masseførende vannstrøm, flomskred og snøskred (NVE, 2014b). Figur 3.10 illustrerer hvordan elvevifter bygges opp ved at vannmassene tar nye løp og avsetter løsmasser utover utløpsområdet (Varsom, u.å.).



Figur 3.10: Erosjons- og skredmateriale som fraktes med elva og avsettes på bebygde ellevifter er en typisk situasjon som kan oppstå ved flomvannføring, og som kan føre til store skader. (Varsom, u.å.).

4 Metoder

Kartleggingene som gjøres i dette prosjektet bygger på de retningslinjer som beskrives i Bane NOR's kravspesifikasjoner for kartlegging av fare for skred og vann på avveie, som for tiden er under utarbeiding (Bane NOR, 2019, s. 1). Kravspesifikasjonene er formulert med utgangspunkt i «Faresonekartlegging for skred i bratt terreng - Kravspesifikasjon», publisert av NVE (2016) og «Forslag til risiko akseptkriterier for skredhendelser på veg», publisert av Statens vegvesen (2012).

I kravspesifikasjonen settes det krav om at faren skal uttrykkes som «nominell sannsynlighet», hvor faglig skjønn og teoretiske beregningsmetoder er lagt til grunn for vurderingen (Bane NOR, 2019, s. 1). Faregraden skal være et uttrykk for sannsynligheten for at en uønsket hendelse kan utgjøre en fare for tap av liv eller skader på konstruksjoner i løpet av et gitt gjentakintervall (NVE, 2016b). Bane NOR (2019, s. 4) setter krav om at en kartlegging skal innebære en vurdering av fare for jord- og flomskred, stikkrennekapasitet- og vannføringsberegninger, fare for utglidning og utvasking av fylling og fare for steinsprang og steinskred.

Hensikten med dette prosjektet har ikke vært å gjøre nye detaljkartlegginger, men å gjøre oversiktskartlegginger som kan danne grunnlag for en diskusjon rundt hvorvidt det er behov for nye detaljkartlegginger. For å avgrense oppgaven har det derfor bare blitt gjort oversiktskartlegginger av faren for jord- og flomskred og vann på avveie. Det har også blitt gjort nye flom- og kapasitetsberegninger av et utvalg nedbørsfelt og tilhørende stikkrenner, med hensikt å undersøke hvorvidt det også bør gjøres nye beregninger.

DEL 1

4.1 Oversiktskartlegging av fare for jord- og flomskred og vann på avveie

Farevurderingen blir, i henhold til Bane NOR (2019, s. 1-8) sine krav, gjort med utgangspunkt i en analyse av terrenget. Farevurderingene bygger på en fjernstudie av ulike karttjenester, hvor farenivået ble estimert basert på tolkninger av morfologiske faktorer, terreng- og vegetasjonsforhold og andre faktorer som kan påvirke faren for en uønsket hendelse.

Farevurderingene bygger på en analyse av hele terrenget, fra skråningstopp og ned til jernbanen. Karttjenester brukt i forbindelse med analysene listes opp i tabell 4.1. Eksempler på hvordan karttjenestene har blitt brukt under farevurderingene blir presentert i kapittel 6.1.3.

Som beskrevet i kapittel 3.3 og 3.4.3 er det glidende overganger mellom masseførende vannmasser og flomskred (Statens vegvesen, 2016), og det kan dessuten gå jordskred ned i elve/bekkeløpet, hvilket også kan føre til vann på avveie (Sandersen, 2014; Selby, 2005). Ved farekartleggingene gjort i forbindelse med dette prosjektet har derfor de ulike farene blir vurdert som deler av det samme systemet, og ikke som farer som er uavhengig av hverandre. Det kan videre være vanskelig å definere hvorvidt det er flomskred eller høy masseføring som representerer den største faren (Staten vegvesen, 2016), og ved tvilstilfeller skilles det derfor ikke tydelig mellom de ulike prosessene.

Som en del av vurderingen av fare for vann på avveie, bør det gjøres vannføringsberegninger og beregninger av kapasiteten til tilknyttede stikkrenner (Bane NOR, 2019, s. 3). Ettersom det i denne sammenheng bare ble gjort oversiktskartlegginger over *potensielt* utsatte områder, ble det ikke gjort systematiske vannførings- og kapasitetsberegninger utover det som beskrives i neste kapittel (kapittel 4.2). Resultatene fra vannførings- og kapasitetsberegningene har ikke påvirket farenivået estimert under oversiktskartleggingene. Resultatene bygger dermed bare på faglige og skjønnsbaserte tolkninger av landskapet, hvilket vurderes å være tilstrekkelig i denne sammenheng.

Tabell 4.1: Oversikt over karttjenester benyttet under oversiktskartleggingene.

Navn på karttjeneste	Internettlenke	Beskrivelse
NVE Atlas	atlas.nve.no/	Kart med oversikt over registrerte skredhendelser
NGU Kwartærgeologisk kart	geo.ngu.no/kart/losmasse/	Løsmassekart
NGI Bratte områder	geodata.ngi.no/	Kart med terrenghelninger i Norge
NVE Aktsomhetskart	nve.no/flaum-og-skred/	Aktsomhetskart for jord- og flomskred
Innlandsgis	innlandsgis.no/	kartportal for regionale parter i Hedmark og Oppland, med høydemodeller utledet fra LIDAR, skyggerelieff 25 cm
Høydedata	hoydedata.no/LaserInnsyn/	Landsdekkende terrengmodell, oppløsning 10 meter, utviklet av Kartverket
Norgeskart	norgeskart.no/	Topografisk kart over Norge, utviklet av Kartverket
Norge i bilder	norgebilder.no/	Flybilder, historiske flybilder og høydekurver
FINN Kart	kart.finn.no/	Flybilder, historiske flybilder og måleverktøy
Banekart	banekart.banenor.no/kart/	Kart over jernbane, stikkrenner, broer og registrerte skred mot jernbane
Norge i 3D	norgei3d.no/	Tredimensjonal representasjoner av landskapet i Norge, utviklet av Norkart Virtual Globe

4.1.1 Fremgangsmåter og vurderinger lagt til grunn ved oversiktskartleggingene

Identifisere spor etter tidligere hendelser

Høyoppløselige laserskannede terrengmodeller utviklet av kartverket, er tilgjengelig gjennom Høydedata (2016). Laserteknologien gjør det mulig å se landskapet skrellet for vegetasjon, hvilket gjør det mulig å studere morfologien, strukturen og dreneringsforholdene i skråningen (NGU, 2015b). (Bane NOR, 2019, s. 5; NVE, 2011). Det samme datagrunnlaget er også tilgjengelig gjennom innlandsgis (2016). Denne kartportalen ble vurdert å være mer brukervennlig, og ble derfor foretrukket under kartleggingene.

Som forklart i kapittel 3.2 gjentar gjerne flomskred gjentar seg i samme skredløp (Sandersen, 2014; Selby, 2005; Statens vegvesen, 2014a). Som en del av farevurderingene, har derfor laserdataene blitt brukt til å gjøre analyser av terrenget, for å finne spor etter tidligere hendelser slik som levéer, lober, avsetningsvifter og raviner uten permanent vannføring. Selv om jordskred som regel ikke gjentar seg i samme skredsår (NVE, 2018), har spor etter slike hendelser blitt sett som indikasjoner på ustabile løsmasser i skråningen. Ved ravineutvikling vil det dessuten gjerne foregå gjentatte jordskred fra ravineskråningene og ned mot bekkeløpet (G. Vatne, personlig kommunikasjon, 29.04.2019). Slike spor, og andre spor av erosjon i bekkeløp, har blitt sett som verdifulle indikasjoner på fare for massetransport. Under kartleggingene ble hele skred- og flomvifta betraktet som et aktsomhetsområde, da disse avsetningene markerer utløpet til tidligere hendelser (NVE, 2014b).

På samme måte som med landskapstolkningene, ble informasjon om registrerte skred benyttet til å vurdere faren for flere uønskede hendelser. Informasjonen ble hentet fra den nasjonale skredhendelsesdatabasen, tilgjengelig gjennom NVE Atlas (2017), og historiske skredhendelser mot jernbane, hentet fra Bane NOR sin kartløsning, Banekart (u.å.).

Undersøke skråningens helning

Helningskart med punktthet på 2 punkt per meter (Kartverket, 2019), hentet fra høydedata (2019), ble benyttet til å studere helningen til skråningen, hvor skråninger med helning over 20° ble vurdert å være utsatte for skred dersom andre forhold lå til rette (NVE, 2018). Helningen og skredfaren ble videre vurdert i forhold til avstand mellom jernbane og skråningsfot.

Faren for at grove masser vil kunne påføre direkte skader på jernbanen ble vurdert å være lav langs trekkninger med lang avstand fra skråningsfot, eller hvor helningen i nedre del av skråning

var slak (Bane NOR, 2019, s. 3). Der hvor høydedata ikke var tilgjengelig, ble NGIs bratthetskart med oppløsning på 10 x 10 m brukt (NGI Geodata, 2017).

Studere skråningens overflatetype, form og orientering

Flybilder hentet fra Norgeskart (2019) og Finn kart (2017), samt tredimensjonale representasjoner av terrenget hentet fra Norge i 3D (u.å.), ble benyttet som en del av tolkningen av landskapet. Herunder ble det gjort tolkninger av overflatetype, hvilket kan påvirke dreneringen og stabiliteten i skråningen (Sandersen, 2014; Selby, 2005; Statens vegvesen, 2014a). Det tredimensjonale kartet ble særlig benyttet til å gjøre tolkninger av skråningens form og eventuelle konkaviteter i terrenget som kan være typiske utløsningspunkt (NVE, 2018). For å synliggjøre skråningens helning og form ble det også tegnet høydeprofiler i høydedata (2019) og i norgeskart (2019). Høydekurvene fra høydedata har finere oppløsning, men høydekurvene fra Norgeskart egner seg bedre for fremvisning. Derfor har disse blitt brukt til illustrering.

Hvorvidt skråningen er eksponert for nedbør fra den nedbørsførende vindretningen kan videre ha innvirkning på skredfaren (NVE, 2016c), og ble derfor også vurdert til en viss grad som en del av analysen. Effekter av klimaendringer blir også vurdert på den måten at skred kan utløses oftere (NVE, 2011), i andre områder enn før (Byggteknisk forskrift, 2017), og potensielt ha lengre utløp (NVE, 2011).

Vurdere konsekvensen av menneskelige inngrep

Menneskelige inngrep, som avskoging og nye skogsbilveger, kan føre til endret drenering og dårligere stabilitet i skråning (NVE, 2018; Sandersen, 2014) og vann på avveie (Wasrud, 2015). Historiske flybilder hentet fra Finn kart (2017) ble derfor benyttet for å studere om det har skjedd en endring i overflatebruk.

Undersøke løsmassetype- og mektighet

Et løsmassekart hentet fra NGU (NGU løsmassekart kart, 2015) ble brukt til å hente informasjon om type og mektighet av løsmasser og skredavsetninger. Løsmassekartet ble brukt i kombinasjon med tolkninger av flybilder og laserdata.

Studere aktsomhetsområder

Det ble også benyttet aktomhetskart tilgjengelig gjennom NVE (NVE aktsomhetskart, 2019), men ettersom mer eller mindre hele jernbanestrekningen i Gudbrandsdalen regnes å ligge innenfor et aktsomhetsområde, ble ikke denne karttjenesten benyttet aktivt.

Feltbefaringer

Det ble gjennomført feltbefaringer i juli og i november 2018. Målet med befaringene var hovedsakelig å få en bedre oversikt og forståelse av landskapet, samt å teste om tolkninger gjort gjennom fjernanalyse stemte med de observasjoner gjort i felt. Det ble ikke gjort befaringer langs hele den kartlagte strekningen, og observasjonene har ikke blitt brukt i analysen. Farevurderingen bygger dermed utelukkende på en oversiktskartlegging gjennom fjernanalyse.

4.1.2 Presentering av resultater

Bane NOR (2019, s. 1) setter krav om at faregraden blir angitt med et sannsynlig gjentakintervall på $\leq 1/100$, $1/20 - 1/100$ eller $\geq 1/20$ år. Ved kartlegginger gjort bare ved hjelp av fjernanalyse, vil det imidlertid være svært vanskelig å regne ut en så eksakt sannsynlighet for at en skredhendelse av en viss størrelse vil inntreffe innenfor et gitt tidsperspektiv (Bane NOR, 2019, s. 6; NVE, 2011). Den nominelle sannsynligheten for en skredhendelse presentert i dette prosjektet, bygger derfor utelukkende på en teoretisk og skjønbasert vurdering av potensiell fare, hvor det ble tatt høyde for at store og mer sjeldne hendelser også kan skje.

Bane NOR setter krav om at samlet potensiell fare skal presenteres for enhetsstrekninger på 1 km fra ytterkant til ytterkant av faresonen langs jernbanen (Bane NOR, 2019, s. 6). Under kartleggingene kom det imidlertid fram at mange fareområder strekte seg over både langt kortere og lengre strekninger enn 1 km. For å gjøre resultatene mest mulig oversiktlige så vel som etterprøvbare, ble det besluttet å dele enhetsstrekningene inn i hele kilometersegmenter, heller enn å dele de inn etter start og slutt på faresone. For noen av enhetsstrekningene med få farepunkt vil dette bety at farepunktet er lokalisert mot enden av enhetsstrekningen, mens strekningen som helhet kanskje regnes å være forholdsvis trygg. I tilfeller hvor ett enslig farepunkt ligger på grensen mot en annen utsatt enhetsstrekning, har punktet blitt inkludert i denne strekningen, slik anbefalt av Bane NOR (2018, s. 1).

Antall farepunkt og farenivået til farepunktene langs en enhetsstrekning avgjorde det sammenlagte farenivået til hele enhetsstrekningen. Det har ikke blitt gjort risikovurderinger av de farepunkt- og strekninger som presenteres her, da dette ver utenfor problemstillingen.

Resultatene ble presentert i en tabell, hvor farepunktene og strekningene ble identifisert med jernbanens kilometering (DOVB km). Det sammenlagte farenivået for hver strekning symboliseres med fargene gul, orange og rød. Klassene er dimensjonsløse, og farenivået for hver strekning er en relativ verdi estimert med utgangspunkt i en sammenligning av farevurderingene gjort langs resten av den kartlagte jernbanestrekningen. Uten å si noe om prosentvis sannsynlighet for en uønsket hendelse, representerer dermed rød farge strekninger hvor faren ble ansett å være større enn strekninger markert med oransje. På samme måte representerer oransje strekninger et høyere farenivå enn gule strekninger. Gul farge betyr dermed sagt ikke at farenivået er lavt. Ved farekartlegging i en annen region må kanskje andre terskler settes for å fremheve de farligste strekningene. Den anslåtte plasseringen til farepunktene kan avvike med opptil noen få titalls meter. Resultatene ble også fremstilt kartografisk i kartløsningen til Norgeskart (2019). Her presenteres også farenivået til enhetsstrekningene med fargekodene gul, orange og rød. Farenivået til punktene markeres med størrelsesproporsjonale symboler.

4.1.3 Diskutere behovet for nye kartlegginger

Som grunnlag for diskusjonen rundt hvorvidt det bør anbefales nye detaljkartlegginger av faren for skred og vann på avveie langs jernbanen mellom Fåberg og Dombås, ble resultatene fra kartleggingene sammenlignet med resultatene fra kartleggingene gjort i 2015. Dette ble gjort ved å undersøke i hvor stor grad de to resultatene samsvarer eller avviker fra hverandre. Herunder undersøkes det om de nye kartleggingene presenterer flere eller færre utsatte punkt og strekninger enn i 2015. Det ble videre sett på om det forelå ulike vurderinger av faretypene ved de to kartleggingene. Herunder diskuteres hvilke momenter og vurderinger en farekartleggig *bør* inneholde. Dersom det viser seg å være store avvik mellom resultatene, og dersom diskusjonen avdekker store mangler ved kartleggingene gjort i 2015, bør det anbefales at det gjøres nye detaljkartlegginger.

DEL 2

4.2 Flom- og kapasitetsberegninger

Vannføringsberegninger er viktig for å undersøke hvorvidt drenerør er dimensjonert stort nok til å kunne ta unna vannmengdene under en flomhendelse (Bane NOR, 2019, s. 3). Byggteknisk forskrift (2017) setter krav om at alle nye konstruksjoner i et flomutsatt område skal dimensjoneres for å tåle en 200-årsflom. Det foreligger før øvrig ikke et slikt krav for eksisterende bane (G. Vatne, personlig kommunikasjon, 19. april, 2018). For å kunne si noe om hvorvidt eksisterende konstruksjoner er dimensjonert for å tåle flom, blir likevel flommer med 200-års gjentaksintervall benyttet som utgangspunkt ved flom- og kapasitetsberegningene gjort i denne forbindelse.

Det finnes flere metoder for beregning av flom, og metodene kan generelt deles inn i to hovedgrupper: flomfrekvensanalyser og nedbør-avløpsanalyser. Grunnet manglende historisk datagrunnlag, eger flomfrekvensanalyser seg dårlig for beregning av vannføring med 200-årsfrekvens (Stenius, Glad, Wang, & Væringstad, 2015). Nasjonalt formelverk for små nedbørsfelt, flommodellen PQRUT, den rasjonale formel og vannføringsberegninger ved bruk av NEVINA er eksempler på nedbør-avløpsanalyser for beregning av flom. I denne oppgaven benyttes bare den rasjonale formel og NEVINA. For mer informasjon om de øvrige flomberegningsmetodene, se Stenius et al. (2015).

Av de 40 feltene som ble kartlagt i 2015 (Sandersen et al., 2015), var det bare mulig å gjøre flomberegninger med NEVINA i 12 av disse. Grunlaget for å trekke konklusjoner om hvilken metode som er best egnet er dermed noe begrenset. Diskusjonen rundt resultatene og de vurderinger som ligger bak vil likevel kunne belyse viktig problematikk ved de to beregningsmetodene, hvilket videre vil kunne si noe om behovet for nye beregninger.

4.2.1 Den rasjonale formel

Den rasjonale formel er en empirisk metode for beregning av flom, og bygger på sammenhengen mellom nedbør og avrenning. Den rasjonale formel anbefales for små felt, mellom 2-5 km² (Statens vegvesen, 2014b), og kanskje enda mindre, fra 0,2-0,5 km² (Lindholm et al., 2008). Formelen gjør en flomberegning med utgangspunkt i fire input parametere, og settes opp slik:

$$Q_{200} = A * C * I_{200} * K$$

Hvor Q_{200} benevner beregnet flomvannføring (l/s) under en flom med returperiode på 200 år, A er nedbørsfeltets areal (haa), C er avrenningsverdien (dimensjonsløs), I_{200} er nedbørintensitet ved en gitt varighet med en returperiode på 200 år ($l/(s*haa)$), og K er klimapåslag (dimensjonsløs) (Stenius et al., 2015).

4.2.1.1 Valg av parameterverdier

Nedbørsfeltets areal (A)

Oppmåling av feltets areal ble gjort manuelt med tegneverktøy i Banekart (u.å.). Her er det oversikt over den geografiske plasseringen til alle stikkrenner, og et godt utviklet topografisk kart som blant annet viser høydekoter og elvesystemer. For å beregne den forventede vannmengden gjennom stikkrennen under en flom, ble oppmålingen av feltet gjort ut fra stikkrennens posisjon. Et linjeverktøy ble benyttet til å dra linjer vinkelrett på høydekotene langs nedbørsfeltets yttergrenser.

Avrenningsfaktor (C)

Avrenningsfaktoren (C) sier noe om hvor mye av den totale nedbørsmengden som vil renne som overflatevann. Denne verdien varierer fra 0,1 – 0,9 (NVE, 2015c), og fastsettes ved en skjønnsmessig estimering av feltets overflatetype- og tetthet, terrenghelning og regnskyllens intensitet. Stor avrenning representeres med høy C-verdi (Magnussen, Paus, & Åstebøl, 2015).

I forbindelse med utarbeiding av kravspesifikasjoner for kartlegging av fare for skred og vann på avveie, har Bane NOR utviklet nye retningslinjer for valg av C-verdi (Bane NOR, 2019, s. 3). Disse blir presentert i tabell 4.2. Vannføringsberegningene gjort i dette prosjektet har brukt denne veiledningen som mal.

Tabell 4.2: Avrenningsfaktor for ulike overflatetyper (Bane NOR, 2019, s. 3).

Overflate	Avrenningsfaktor
Bart fjell, asfalt betong o.l.	0,8
Fjell med tynt dekke	0,7
Urbane områder	0,7
Skog	0,4
Myr	0,2
Hogd skog	0,5
Dyrket mark	0,5

I denne sammenhengen ble det bare gjort beregninger av små og svært små felt, og de valgte avrenningsverdiene er vektete middelverdier for hele feltet. Avrenningsverdien ble bestemt ved å gjøre grundige visuelle vurderinger av feltets overflate ved å se på flybilder og tredimensjonale representasjoner av landskapet. Avrenningsverdien ble satt ut fra hvor stor andel av ulike overflatetyper som dekket feltet, hvor verdien ble justert opp eller ned tilsvarende prosentandelen av de ulike overflatetypene. For de feltene med en viss andel snaufjell har prosentandelen blitt vektet noe, ettersom avrenningen er fullstendig på impermeable overflater (Stenius & Glad, 2015).

I henhold til Bane NOR (2019, s. 3) sine krav, ble avrenningsverdien justert opp med 0,1 ved beregning i skråninger med helning >15 %, ettersom avrenningen øker med økt helning (Stenius & Glad, 2015). Tabell 4.3 viser hvilke avrenningsverdier som ble valgt for hvert felt ut fra overflatetyper og helning. De dominerende overflatetypene for feltene studert i dette prosjektet var skog og dyrket mark.

Tabell 4.3: Tabellen viser hvordan avrenningsverdien ble bestemt ut fra feltets overflatetype og helning.

Stikkrenne (DOVB km)	Beregning av avrenningsverdi (C)					C
	Skog (%)	Dyrket mark (%)	Myr (%)	Snaufjell (%)	Helning (%)	
206,85	95	3	2	0	20,5	0,5
207,03	85	15	0	0	26,4	0,515
207,76	81	10	1	0	20,5	0,51
208,47	91	2	7	0	15,1	0,49
221,25	77	20	3	0	24,2	0,52
223,11	93	5	2	0	40,8	0,505
229,33	60	40	0	0	23,1	0,54
233,16	20	80	0	0	31	0,58
246,15	62	35	3	0	19,8	0,535
261,45	89,5	5	0,5	5	41,4	0,51
261,74	88	5	2	5	33,3	0,51
262,29	89	5	1	5	29,4	0,51

Nedbørintensitet (I)

Dimensjonerende nedbørverdier omtales gjerne som «IVF-statistikk» (Intensitet – varighet – frekvens). IVF-statistikk er modellerte klimaframskrivninger som gir et beregnet estimat av nedbørsverdier i l/(s*haa) for ulike varigheter og ulike gjentakintervall fra 2-200 år (Hanssen-Bauer et al., 2015; NVE, 2015c). Ved hjelp av IVF-kurver kan vi med andre ord hente ut informasjon om forventede returperioder for nedbørintensitet med ulik varighet. Slike data er svært nyttig når det gjelder flomberegning og planlegging av infrastruktur (NVE, 2015c). Når IVF-kurver skal velges, er det viktig å velge estimater fra et område med mest mulig likt klima.

For nedbør med varighet et døgn eller mer, har Meteorologisk institutt relativt god stasjonsdekning. I flere sammenhenger, blant annet i en flomsammenheng, vil det imidlertid være behov for nedbørsdata med kortere varighet. På slutten av 1960-tallet ble det derfor flere steder i landet installert vekt- og vippepluviometre som kan måle nedbør med finere tidsskrift (Bonnin et al., 2006; DeGaetano, Zarrow, & Center, 2011; Førland et al., 2015; NVE, 2015c). Stasjonstettheten er for øvrig svært lav i Gudbrandsdalen.

Ettersom stasjonstettheten stedvis er svært lav, har Norsk klimaservicesenter (2019) utviklet et landsdekkende kart for påregnelig nedbør med ulike varigheter og gjentaksintervall, hvor det er mulig å trykke/søke på et vilkårlig punkt på kartet, og få estimerte verdier for et gitter på 1 x 1 km. Ved bruk av denne funksjonen estimeres nedbørsverdien basert på en «Bayesiansk hierarkisk modell» med utgangspunkt i den romlige sammenhengen mellom intens nedbør og ulike geografiske og meteorologiske variabler (Norsk klimaservicesenter, 2019). I forbindelse med flomberegning i dette prosjektet har IVF-kurver blitt valgt på denne måten. Les (Dyrddal, Lenkoski, Thorariinssdottir & Stordal (2015) for mer informasjon om Bayesianske hierarkiske modeller.

IVF-verdier for det aktuelle gjentaksintervallet velges deretter ut fra feltets konsentrasjonstid. Konsentrasjonstiden ble funnet ved å måle feltets lengde og høydeforskjell fra stikkrenne til nedbørsfeltets toppunkt (Stenius et al., 2015). Sjøprosenten var 0 i alle felt, og har dermed ikke påvirket beregningen. Tabell 4.4 viser hvilke IVF-verdier som ble valgt for hvert felt.

Tabell 4.4: Tabellen viser en oversikt over nedbørsfeltenes beregnede konsentrasjonstid og valg av IVF-verdier for hvert felt.

Stikkrenne (DOVB km)	Valg av IVF-kurver			Returverdi for nedbør Q200 l/(s*ha)
	Konsentra- sjonstid (min)	IVF-kurver		
206,85	72,3	Øyer, Øyer	60 min	75,35
207,03	48,6	Øyer, Øyer	50 min	83
207,76	71	Tretten, Øyer	60 min	78,70
208,47	92,3	Tretten, Øyer	90 min	55,00
221,25	59	Tretten, Øyer	60 min	71,92
223,11	32,4	Tretten, Øyer	30 min	116,11
229,33	67,4	Fåvang, Ringebu	60 min	70,77
233,16	31,6	Fåvang, Ringebu	30 min	100,07
246,15	76,2	Ringebu, Ringebu	60 min	69,26
261,45	37,2	Sør-Fron, Sør-Fron	40 min	85
261,74	47,2	Sør-Fron, Sør-Fron	50 min	80
262,29	52,8	Vinstra, Nord-Fron	50 min	80

Klimafaktor (K)

Som følge av klimaendringer forventes den årlige nedbørsraten å øke, og på Østlandet forventes det å forekomme flere hendelser med kortvarig intens nedbør, og at disse nedbørshendelsene blir mer kraftige (Hanssen-Bauer et al., 2015; Norsk klimaservicesenter, 201). Det ble derfor lagt inn et klimapåslag på 40 % i beregningene, jamfør anbefalingene gitt av Hanssen-Bauer et al. (2015).

4.2.2 NEVINA

NEVINA er et nettbasert GIS-verktøy som kan benyttes til automatisk beregning av nedbørsfeltgrenser, feltparametere, klima- og hydrologiske parametere og estimering av lavvannsindekser. Beregningsverktøyet er mer avansert enn den rasjonale metode da den inkluderer flere parametere, og er utviklet for å gjøre flomberegninger i felt opp mot 50 km² (NVE, 2015d). NEVINA benyttes derfor her til å gjøre nye flomberegninger i et utvalg av feltene som ble undersøkt i 2015, med hensikt å undersøke om metoden er bedre egnet enn den rasjonale formel.

4.2.2.1 Parametere i analysen

De genererte feltparametere som legges til grunn for analysen i NEVINA inkluderer: nedbørsfeltets areal, feltets minimum og maksimum høyde over havet, feltets prosentvise arealdekning av snau fjell, bre, skog, dyrket mark, urbane områder og effektiv sjø, avrenning i mm/år, avrenning på sommer og vinter, sommer- og vintertemperatur, samt gjennomsnittstemperatur for juli (NVE, 2015d). Verdiene til feltparametere ble deretter justert manuelt etter behov, og ble videre brukt som grunnlag for beregning av flomvannføring.

Middelvannføring, alminnelig lavvannføring og 5-persentil beregnes for det utvalgte punktet på kartet (NVE, 2015d). Middelvannføring (l/s/km²) fastsettes med utgangspunkt i spesifikk avrenning beregnet fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990. Hvert enkelt års vannføringsverdier (døgnmidler) sorteres deretter i en serie fra størst til minst. For hvert år i observasjonsserien blir vannføring nummer 350 tatt ut. Disse vannføringene danner en ny serie som igjen blir sortert. Deretter fjernes tredjedelen av de laveste observasjonene fra den nye tallrekken. Den laveste verdien i den gjenstående tallrekken er da den alminnelige lavvannføringen (l/s/km²). 5-persentil-parameteren omfatter den vannføring som underskrides i 5 % av observasjonsperioden. I lavvannskartet er alminnelig lavvannføring og 5-persentil-parameteren estimert ved regresjon mot feltparametere. 5-persentiler beregnes videre både for

sommersesongen (mai-sept.) og for vintersesongen (okt.-apr.) (Engeland, Hisdal, Orthe, Petersen-Øverleir, & Voks, 2008, 2008).

I NEVINA er Norge delt inn i 8 klimaregioner (Sør, Øst, Vest, Midt, Nord, Bre-sør, Bre-nord og Finnmark). Det er disse geografiske inndelingene som avgjør hvilke klimaparametere som benyttes. Innenfor hver region hentes det opplysninger om regionens midlere årsnedbør, midlere nedbør i sommer- og vintersesong og middeltemperaturer for sommersesong, vintersesong, juli, august og for hele året (NVE, 2015d). En regresjonsanalyse finner deretter en sammenheng mellom alminnelig lavvannføring og fysiske og klimatiske karakteristikk ved nedbørsfeltet. Analysen baseres på observasjoner av døgmmiddelvannføring i totalt 318 felt i Norge (Engeland et al., 2008).

Det er sesongen med dominerende lavvann som blir brukt i beregningen av den alminnelige lavvannindeksen. Ettersom sommertemperaturen et sted er sterkt korrelert med temperaturene resten av året, fant Engeland et al. (2008) at midlere juli- eller august-temperatur gir den beste indikatoren for hvorvidt et felt har dominerende sommer- eller vinterlavvann. Hvilken sesong som har dominerende lavvann for felt på Østlandet blir bestemt med utgangspunkt i den midlere julitemperaturen, hvor felt vurderes å ha enten vinter- eller sommerlavvann avhengig av om den midlere julitemperaturen i feltet er over eller under 10,6°C. Felt med en midlere temperatur under denne terskelen blir antatt å ha dominerende vinterlavvann, mens felt med temperatur over terskelen vurderes å ha dominerende sommerlavvann. Vinterlavvann skyldes at nedbøren faller og lagres som snø, mens sommerlavvann skyldes høy fordampning og ofte lite nedbør. Alminnelig lavvannføring blir funnet ved at de 15 minste verdiene fra hvert år fjernes fra en måleserie med døgnmiddelverdier. Deretter rangeres den resterende minimumsserien, hvor 1/3 av de minste verdiene blant disse også fjernes. Den minste verdien i dataene defineres dermed som lavvannføringen, og tilsvarer en vannføring som overskrides 96 % av tiden (Engeland et al., 2008).

NEVINA oppfatter nedbørsfeltet som uregulert. Beregningsverktøyet egner seg derfor ikke i regulerte felt (NVE, 2015d). Samtlige av feltene som beregnet i dette feltet er imidlertid uregulerte, og vil derfor ikke diskuteres videre. Ved beregning med NEVINA legges det automatisk inn et klimapåslag.

4.2.3 Kapasitetsberegninger

Kapasiteten til stikkrennene ble beregnet ut fra dimensjonsmålene som er registrert i Banekart (u.å.), og beregningene tar forbehold om at disse opplysningene stemmer. Tidligere befaringer har imidlertid vist at den faktiske dimensjonen til flere stikkrenner ikke stemmer overens med de opplysninger som er registrert i Banedata (Sandersen et al., 2015). Følgelig må en ta høyde for at det kan eksistere feil i datagrunnlaget som kan ha påvirket resultatene. Ved kapasitetsberegningene ble dimensjonen til hver stikkrenne redusert med 20 % for å ta høyde for om lag 1/5 gjentetting som følge av tilslamming (Bane NORs tekniske regelverk, 2018). Stikkrennenes kapasitet (uten tilslamming) og effektiv kapasitet (med 20 % tilslamming) presenteres i tabell 4.5.

Tabell 4.5: Tabellen viser hvordan kapasiteten til hver stikkrenne er regnet ut. *Kapasitet* er beregnet kapasitet uten tilslamming, mens *Effektiv kapasitet* er beregnet kapasitet -20 % som følge av tilslamming.

Stikkrenne (DOVB km)	Stikkrennedimensjon- og kapasitet				
	Dimensjon (mm)	Tverrsnitt, (T=mm*mm)	Kapasitet (L/s)	Effektiv kapasitet (L/s-20%)	
206,85	600	1200	6001200	1452	1161,6
207,03	600	600	600600	426	340,8
207,76	600	1200	6001200	1452	1161,6
208,47	600	900	600900	870	696
221,25	600	900	600900	870	696
223,11	600	1200	6001200	1452	1161,6
229,33	600	900	600900	870	696
233,16	600	900	600900	870	696
246,15	600	1200	6001200	1452	1161,6
261,45	600	600	600600	426	340,8
261,74	800	800	800800	952	761,6
262,29	800	800	800800	952	761,6

Ved beregning av hvorvidt hver stikkrenne er dimensjonert for å ta unna vannmengdene under en 200-årsflom, ble den estimerte flomverdien i l/s subtrahert fra stikkrennens kapasitet i l/s. For de resultatene som viser negativt fortegn, er stikkrennens kapasitet, ifølge beregningene, for dårlig.

4.2.4 Diskutere behovet for nye beregninger

Som grunnlag for diskusjonen ble resultatene fra kartleggingene sammenlignet med resultatene fra 2015. Dette ble først gjort ved å sammenligne de endelige resultatene fra 2019 med resultatene fra 2015, hvor det hadde blitt lagt inn et klimapåslag i beregningene fra 2019, og hvor kapasiteten til stikkrennene var blitt redusert for å ta høyde for sannsynlig gjentetting.

Resultatene ble deretter sammenlignet uten klimapåslag og kapasitetsreduksjon. På denne måten ble eventuelle forskjeller mellom de rene flomberegningene mer synlige, og det ble enklere å vurdere hvorvidt de øvrige parameterne kunne forklare eventuelle avvik. Dersom det viser seg å være store avvik mellom resultatene, synliggjør dette usikkerheter eller mangler ved én av eller begge metodene. Dette vil videre danne grunnlag for diskusjonen rundt hvorvidt det er behov for nye flom- og kapasitetsberegninger, og for hvilken metode som bør anbefales ved beregning av flom. Som en del av diskusjonen vil det også gjøres vurderinger av hvilke øvrige momenter som bør inkluderes i en analyse av faren for tette stikkrenner.

5 Resultater

DEL 1

5.1 Kartlegging av fare for jord- og flomskred og vann på avveie

For å undersøke behovet for nye detaljkartlegginger langs jernbanen mellom Fåberg og Dombås, ble det i dette prosjektet gjort nye oversiktskartlegginger av jord- og flomskredfare og faren for vann på avveie. Før resultatene fra disse kartleggingene presenteres, vil resultatene fra 2015 legges frem, som grunnlag for diskusjonen.

5.1.1 Resultater fra 2015

Under kartleggingene gjort i 2015 ble det gjort en estimering av sannsynligheten for at en uønsket hendelse skal skje i løpet av 30 år. Verdien ble angitt som en prosentverdi fra 20-80 %. De strekninger og punkt hvor sannsynligheten ble anslått å være større enn 70 %, ble trukket frem som kritiske. Kartleggingene omfattet en vurdering av faren for steinsprang og jord- og flomskred fra sideterreng mot jernbanen. Snøskred, iskjøving, sig i fylling og ustabile skjæringer ble for øvrig også trukket frem som faretyper i resultatene (Sandersen et al., 2015).

Blant skredfarene ble jordskred, gjerne i kombinasjon med sig i jernbanefylling, ansett å utgjøre den største utfordringen for jernbanen langs den undersøkte strekningen. Blant de 15 sideskråningene som ble presentert i resultatene, ble 3 av disse ansett å ha høy faregrad (>70 % sannsynlighet for uønsket hendelse i løpet av 30 år). Området nord for Fåvang stasjon og Rosten ble vurderert å være de mest utsatte strekningene (Sandersen et al., 2015).

Det ble også gjort flom- og kapasitetsberegninger i 40 nedbørsfelt og tilknyttede stikkrenner i kjente problemområder, og i rapporten blir jordskred ansett å være et relativt lite problem sammenlignet med gjentattede og/eller underdimensjonerte stikkrenner (Sandersen et al., 2015).

5.1.2 Resultater fra 2019

Gjennom kartleggingen gjort i forbindelse med dette prosjektet, ble 47 kilometerstrekninger vurdert å være utsatt for fare for jordskred, flomskred eller vann på avveie. Blant disse ble faren ansett å være svært stor ved 8 av strekningene, hvilket tilsvarer 17 % av alle de utsatte strekningene. Dette innebærer at om lag 5 % av hele jernbanestrekningen mellom Fåberg og

Dombås ble ansett å være utsatt for svært stor fare for jordskred, flomskred eller vann på avveie. Av resultatene fra 2019 kan man se at det er flomskred og vann på avveie som ble vurdert å være de mest utbredte farene.

Langs hver av de 47 skredutsatte enhetsstrekningene ble det identifisert ett eller flere farepunkt. Det ble gjort en estimering av farenivået for hvert av punktene. Det sammenlagte farenivået for en strekning ble estimert med grunnlag i antall farepunkt og farenivået til punktene langs strekningen. Resultatene ble samlet i en tabell over fareutsatte strekninger og punkt. Et utklipp fra tabellen er vist i figur 5.1, og tabellen i sin helhet ligger vedlagt. Resultatene ble også fremstilt kartografisk i Norgeskart sin kartløsning. Utklipp fra kartet blir vist i figur 5.2, og uklipp av alle de skredutsatte strekningene blir presentert i vedlegg 6. kartet i sin helhet er tilgjengelig via internettlenken vist i boks 5.1.

Boks 5.1

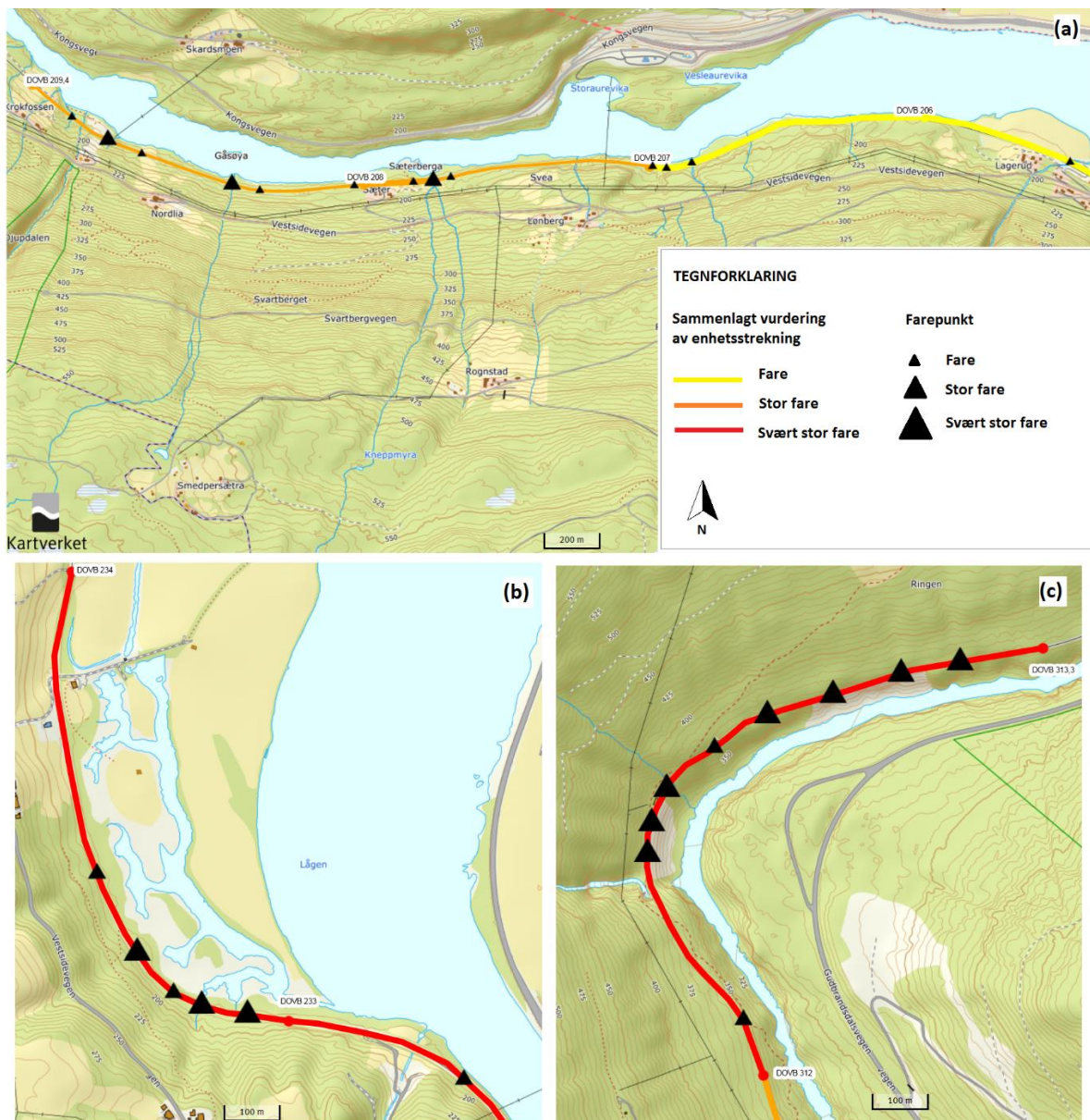
Internetlenke til kart over strekninger utsatt for jord- og flomskred og vann på avveie langs jernbanen mellom Fåberg og Dombås:

<https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=11&lat=6863298.30&lon=208325.57&markerLat=6867984.788799088&markerLon=212208.1183286434&panel=searchOptionsPanel&drawing=15c103a1fa0e67ba64bc2e4dc6187f7f2f939592&sk=Skallfjellet>

De strekningene som ble vurdert å være utsatt for størst fare er strekningene (km): 222-223, 223-224, 225-226,3, 228,9-230, 232-233, 233-234, 240-241, 312-313,3 og 315-316. Dette gjelder en lengre strekning forbi Losna, en strekning like sør og like nord for Fåvang stasjon, partiet like sør for jernbanebrua over Lågen fra Fåvang til Ringebu, og strekningen langs Roståe. Fire av disse strekningene blir vist i utklippet fremvist i figur 5.1.

Enhetsstrekning (DOVB km)	Farepunkt (DOVB km)	Faretype	Beskrivelse
224-225	224	Jord-og flomskred som går ned i elveløp	Den største faren anses å være knyttet til jord- og flomskred som går ned i elva "Losna", og hvor løsmassene fraktes med elva ned til jernbanen. Både fv. 319 og den kommunale vegen "Stasjonsbakken" går over elva oppstrøms for jernbanen. Løsmassedekket i de bratteste skråningspartiene er forøvrig relativt tynt. Den største faren er kanskje dermed vann på avveie. Losna ligger på en stor elvevifte, som vitner om at det har vært stor masseføring i elva. Flere spor etter tidligere skred mot bane, bratt hele veien ned mot bane, løsmassetilgang, ikke boliger/gårdstun oppstrøms for bane.
	224,45	Flomskred	
225-226,3	225,5	Flomskred	Flere spor etter tidligere skred mot bane, bratt hele veien ned mot bane, løsmassetilgang, ikke boliger/gårdstun oppstrøms for bane.
	225,7	Flomskred	
	226,25	Flomskred	
228,9-230	228,9	Jordskred	Jordskred i nedre del (bratt parti) mot jernbane. Flere spor i tereng, og også flere registrerte jordskred- og flomskred. Kapasitetsberegninger gjort med den rasjonale formel i 2019 viser at stikkrenne (km 229,33) ikke er dimensjonert for å ta unna vann ved en 200-årsflom
	229,25	Jordskred	
	229,4	Jordskred	
	229,55	Jordskred	
	229,65	Jordskred	
	229,8	Jordskred	
229,85	Jordskred		
232-233	232,1	Jord-og flomskred	Jordskred i nedre del (bratt parti) mot jernbane. Mange spor i tereng etter små og større skred. Flere registrerte jord- og flomskred
	232,2	Jord-og flomskred	
	232,4	Jord-og flomskred	
	232,55	Jord-og flomskred	
233-234	233,05	Jord-og flomskred	Jordskred i nedre del (bratt parti) mot jernbane. Mange spor i tereng etter små og større skred, og også mange registrerte jord- og flomskred. Kapasitetsberegninger viser at stikkrenne (km 233,16) muligens ikke er dimensjonert for å ta unna vann ved en 200-årsflom
	233,1	Jord-og flomskred	
	233,15	Jord-og flomskred	
	233,3	Jord-og flomskred	
	233,55	Jord-og flomskred	
239-240	239,3	Vann på avveie	Lang og bratt skråning. Relativt god sedimenttilgang. Togbane er bygget oppå vifteform. Skogsveg oppstrøms jernbane kan lede vann og masser ut av bekkeløp. Lang og bratt skråning. Relativt god sedimenttilgang. Togbane er bygget oppå vifteform. Fare for høy massetransport under flomvannføring. Fare for flomskred- og eller skred mot elv. Spor i terrenget som viser at dette har skjedd før. Registrert flomskred
	239,5	Vann på avveie/ Masseførende bekk	
	239,7	Jord- og flomskred som går ned i elveløp	

5.1: Utklipp fra resultattabellen med oversikt over strekninger og punkt som vurdert å være utsatt for jordskred, flomskred og/eller vann på avveie. Estimert farenivå markeres med fargene gul (fare), oransje (stor fare) og rød (svært stor fare). Vedlegg 1 gir en full oversikt over alle identifiserte utsatte strekninger og punkt.



Figur 5.2: Utklipp fra farekartet produsert i Norgeskart. Estimert farenivå for enhetsstrekningen er markert med fargene gul (fare), oransje (stor fare) og rød (svært stor fare). Det estimerte farenivået til farepunktene langs enhetsstrekningen symboliseres med størrelsesproporsjonale symboler (liten trekant (fare), mellomstor trekant (stor fare), stor trekant (svært stor fare)).

5.1.3 Sammenligning av resultater

Til sammen inneholder resultatene fra de nyeste kartleggingene 35 flere strekninger utsatt for jordskred, flomskred og/eller vann på avveie enn resultatene fra 2015. Blant disse er 5 av kilometerstrekningene i kategorien *svært stor fare* og 14 av strekningene i kategorien *stor fare*. Mange av strekningene som ble ansett å være utsatt for størst fare ble med andre ord ikke trukket frem som utsatte i det hele tatt i resultatene fra 2015.

Samtlige av de tre strekningene som ble vurdert å være utsatt for størst fare i 2015, ble også vurdert som blant de mest utsatte strekningene under kartleggingene gjort i dette prosjektet. Alle de resterende 9 lokalitetene som ble trukket frem som skredutsatte i 2015, ble også identifisert som utsatte i 2019, med unntak av én lokalitet. Farepunktet som uteble fra de nyeste resultatene gjelder kilometerpunkt 240,24, hvor faren i 2015 ble vurdert å knytte seg til en ustabil skjæring (Sandersen et al., 2015). En systematisk sammenstilling av resultatene fra 2015 og 2019 blir vist i vedlegg 3.

I 2019 ble det identifisert flere utsatte punkt blant alle de kartlagte faretypene enn i 2015. Ved flest tilfeller dreier det seg for øvrig om flere punkt utsatt for flomskred og/eller vann på avveie. Flere av disse trekkes dog frem som utsatte under faretypen «stikkrenne» i 2015. Disse omtaler imidlertid i størst grad stikkrenner som hadde stor gjentetting eller dårlig forfatning på kartleggingstidspunktet, og det ble i liten grad gjort vurderinger av faren for ytterligere hendelser med påfølgende gjentetting og vann på avveie. Derfor sammenlignes ikke disse direkte med farekartleggingene fra 2019.

Blant de farepunkt- og strekninger som identifiseres som utsatte ved begge kartleggingene, er det ved flere tilfeller beskrevet ulike faretyper. Dette gjelder eksempelvis enhetsstrekningene km 225-226,3 og km 232-233, hvor det i 2019 ble ansett å være en stor fare for jord- og/eller flomskred langs store deler av strekningene. I 2015 ble også strekningene identifisert som utsatte, men da ble faren vurdert å være knyttet til utglidning i løsmasseskjæring langs et begrenset område. Det ble også identifisert ulike faretyper ved punkt km 239,3, hvor det i 2015 ble vurdert å være fare for jordskred, mens kartleggingene fra 2019 vurderte at faren knyttet seg til vann på avveie som følge av gjentetting av stikkrenner. Den mest slående forskjellen mellom beskrivelsene av faretypene ved de to kartleggingene, er at resultatene fra 2015 i størst grad beskriver farer som knytter seg til den nedre delen av skråningen, mens resultatene fra 2019 i større grad også identifiserer farer som har sitt utspring lengre opp i skråningen.

DEL 2

5.2 Flom- og kapasitetsberegninger

Som en del av dette prosjektet ble det utført nye flom- og kapasitetsberegninger av 12 felt ved bruk av den rasjonale formel. Det ble også gjort nye beregninger av de samme feltene ved bruk av GIS-verktøyet, NEVINA. Før resultatene fra disse beregningene presenteres, vil resultatene fra 2015 legges frem, som grunnlag for en sammeligning av resultatene.

5.2.1 Resultater fra 2015

Beregningene fra 2015 ble gjort ved bruk av den rasjonale formel. Resultatene viste at om lag 50 % av de de undersøkte stikkrennene har for dårlig kapasitet til å ta unna de estimerte vannmengdene under en 200-årsflom. Halvparten av disse ble vurdert å ha kritisk dårlig kapasitet (Sandersen et al., 2015). Sandersen et al. (2015) fant at mange stikkrenner bare er dimensjonert for å ta unna vann tilsvarende en nedbørshendelse med 30-100 års gjentakintervall.

I 2015 ble det i tillegg til beregning av flom- og kapasitet, gjort estimeringer av nominell fare for hver av stikkrennene, hvor en risikoanalyse ble gjort som en del av denne vurderingen. Resultatene viser at omlag 25 % av de beregnede stikkrennene ble vurdert å ha kritisk dårlig kapasitet (> 70 % sannsynlighet for uønsket hendelse i løpet av 30 år) (Sandersen et al., 2015).

Tabell 5.1 viser en oversikt over resultatene fra flom- og kapasitetsberegningene av de 12 stikkrennene som danner grunnlag for diskusjonen. Tabellen viser at 4 av de 12 presenterte stikkrennene ble vurdert å ha kritisk dårlig kapasitet. Ved 4 av feltene eksisterer det ikke informasjon om flomverdier i resultatene fra 2015. Dette gjelder fire av feltene hvor kapasiteten ble beregnet å være god nok. Disse hullene i datagrunnlaget vil kunne begrense sammenligningsgrunnlaget.

Tabell 5.1: Tabellen viser et utdrag fra resultatene fra flom- og kapasitetsberegningene utført med den rasjonale metode i 2015 (Sandersen et al., 2015).

Flom- og kapasitetsberegninger, 2015

Stikkrenne (DOVB km)	Stikkrenne-kapasitet (l/s)	Q200 (l/s)	Manglende kapasitet (l/s)	Faregrad	Beskrivelse
206,85	1452	5 380	-3 928	70	Sedimentfanger full. Stikkrenne ok. Svilledekke. Overfylt gitter.
207,03	426	1 381	-955	60	Råttent svilledekke både ved innløp og utløp. Nedrast svilledekke. Nedrast utløp.
207,76	1452	11 300	-9 848	50	Selvrensende med sedimentfanger. Utløp bør renskes
208,47	870	5 872	-5 002	50	God løsning for sedimentfanger. Nødløp. Utløp erosjonssikret. Stein/trestamme inne i røret.
221,25	870	4 391	-3 521	70	Stikkrenne med stående vann dam ved innløp. Dårlig fall og mye masser inne i løpet.
223,11	1452	985	467	70	Godt fall på bekkeløpet ned mot innløp. Stikkrennen er selvrensende. Mulighet for stor
229,33	870	-	-	20	Ny stikkrenne (80). God kapasitet. Hvis den går tett kan vann drenerer gjennom sikkrenna
233,16	870	-	-	20	Murt nytt overbygg ved innløp
246,15	1452	-	-	50	Blokkert innløp E6. Kum på på oversida av banen. Nedstrøms åpning 140 cm. God kapasitet
261,45	426	2 150	-1 724	70	Halvrenne av plast nedenfor E6. Stedvis dårlig forankret. Erosjonssikring av utløp ned mot
261,74	952	6 083	-5 131	30	Gammel halvrenne av stål ned mot innløp. God erosjonssikring av nedløpet av renna.
262,29	952	-	-	30	Godt erosjonssikret nedløp fra E6 til sporet. Utløpet i fyllingskråningen er dårlig sikret. Litt

Tabell 5.1 presenterer både nominell faregrad og de matematisk beregnede flom- og kapasitetsverdiene. Negativt fortegn i kolonnen «Manglende kapasitet» angir de stikkrenner som ifølge beregningene har for dårlig kapasitet. Rader merket med rødt angir lokaliteter som har blitt vurdert å ha høy nominell faregrad (>70 % sannsynlighet for uønsket hendelse i løpet av 30 år). Tabellen viser at den matematisk beregnede kapasiteten og nominell vurdering av faregrad ikke alltid samsvarer. Et eksempel på dette er stikkrenne km 207,76, som ifølge de matematiske beregningene er kraftig underdimensjonert i forhold til den estimerte flomvannsverdien, og at dimensjonen er langt dårligere enn for flere av de andre stikkrennene. Likevel regnes ikke stikkrennen å være kritisk underdimensjonert. Et annet eksempel er stikkrenne km 223,11 som ifølge de matematiske beregningene har god nok kapasitet til å håndtere vannmengdene ved en 200-årsflom. Likevel ble kapasiteten vurdert å være kritisk. Beskrivelsene gitt i kolonnen til høyre viser hvilke vurderinger som ligger bak vurderingene av den nominelle faregraden. Her ser vi at stikkrenne km 207,76 er selvrensende med sedimentfanger, og at stikkrenne km 223,11 er blokkert av store blokker, at innløpet er bratt, og at det er stort potensial for massetransport i bekkeløpet.

5.2.2 Resultater fra 2019

Under beregningene gjort i forbindelse med dette prosjektet ble det lagt inn et klimapåslag på 40 %, jamfør anbefalinger gitt av Hanssen-Bauer et al. (2015). Ved kapasitetsberegningene ble dimensjonen til hver stikkrenne dessuten redusert med 20 % for å ta høyde for om lag 1/5 gjentetting som følge av tilslamming (Bane NORs tekniske regelverk, 2018). For å styrke

sammenligningsgrunnlaget mellom resultatene fra 2015, presenteres imidlertid resultatene fra 2019 både *med* og *uten* klimapåslag og kapasitetsreduksjon.

5.2.2.1 Flomberegninger utført med den rasjonale formel

Ved beregning av flomvannføring ble de målte og estimerte verdiene for areal, avrenningsverdi, nedbørintensitet (IVF) og klimapåslag multiplisert med hverandre, hvor resultatet viser beregnet avrenning i l/s ved en 200-årsflom (Stenius & Glad, 2015). Resultatene blir vist i tabell 7. Flomverdiene beregnet uten klimapåslag varierer fra 929 - 9 753 l/s, og beregningene medregnet et klimapåslag varierer fra 1 300 - 13 655 l/s. Tabellen inneholder også en oversikt over hvilke parameterverdier som ble valgt i hvert felt.

Tabell 5.2: Tabellen presenterer beregnet flomvannføring under en 200-årsflom, regnet ut med den rasjonale formel. Tabellen presenter beregnet flomvannføringen både *med* og *uten* klimapåslag. A = areal, C = avrenningsverdi, I = IVF-verdi, K = klimapåslag.

Stikkrenne (DOVB km)	Parametere				Flomvannføring	
	A (haa)	C	I (l/s*haa)	K	l/s	l/s*K
206,85	168	0,5	75,35	1,4	6329	8861
207,03	47	0,515	83	1,4	2009	2813
207,76	243	0,51	78,70	1,4	9753	13655
208,47	189	0,49	55,00	1,4	5094	7131
221,25	128	0,52	71,92	1,4	4787	6702
223,11	18	0,505	116,11	1,4	1055	1478
229,33	74	0,54	70,77	1,4	2828	3959
233,16	16	0,58	100,07	1,4	929	1300
246,15	258	0,535	69,26	1,4	9560	13384
261,45	61	0,51	85	1,4	2644	3702
261,74	98	0,51	80	1,4	3998	5598
262,29	91	0,51	80	1,4	3713	5198

Tabell 5.3(a) viser resultatene av beregnet flomvannføring med et klimapåslag på 40 % og en kapasitetsreduksjon på 20 %. Negativt fortegn og rød markering i kolonnen «Manglende kapasitet» viser at alle undersøkte stikkrenner har for dårlig kapasitet til å ta unna de estimerte vannmengdene under en 200-årsflom. Manglende kapasitet varierer imidlertid i relativt stor grad, fra om lag 300 l/s opp mot 12 500 l/s.

De samme beregningene uten medregnet klimafaktor og kapasitetsreduksjon blir vist i tabell 5.3(b). Tabellen viser at alle stikkrenner med unntak av stikkrenne km 233,11 ble beregnet å ha for dårlig kapasitet. Selv om kapasiteten også her blir beregnet å være for dårlig for de fleste stikkrenner, ser vi at samtlige stikkrenner har langt bedre kapasitet når klima- og kapasitetsreduksjonen fjernes fra beregningene.

Tabell 5.3: Resultater fra kapasitetsberegningene gjort med den rasjonale formel. Tabell (a) viser resultater med 40 % klimapåslag og 20 % reduksjon av stikkrenns kapasitet. Tabell (b) viser resultater fra de samme beregningene, men uten klimapåslag og kapasitetsreduksjon.

(a)

Stikkrenne (DOVB km)	Q200 med klimapåslag (l/s+40%)	Effektiv kapasitet (l/s-20%)	Manglende kapasitet (l/s)
206,85	8861	1161,6	-7699,4
207,03	2813	340,8	-2472,2
207,76	13655	1161,6	-12493,4
208,47	7131	696	-6435
221,25	6702	696	-6006
223,11	1478	1161,6	-316,4
229,33	3959	696	-3263
233,16	1300	696	-604
246,15	13384	1161,6	-12222,4
261,45	3702	340,8	-3361,2
261,74	5598	761,6	-4836,4
262,29	5198	761,6	-4436,4

(b)

Stikkrenne (DOVB km)	Q200 (l/s)	Kapasitet (l/s)	Manglende kapasitet (l/s)
206,85	6329	1452	-4877
207,03	2009	426	-1583
207,76	9753	1452	-8301
208,47	5094	870	-4224
221,25	4787	870	-3917
223,11	1055	1452	397
229,33	2828	870	-1958
233,16	929	870	-59
246,15	9560	1452	-8108
261,45	2644	426	-2218
261,74	3998	952	-3046
262,29	3713	952	-2761

5.2.2.2 Flomberegninger utført med NEVINA

De automatisk beregnede flomverdiene beregnet med NEVINA, blir vist i tabell 5.4. Flomverdiene beregnet uten klimapåslag varierer fra 200-2800 l/s, og beregningene medregnet et klimapåslag varierer fra 200-4000 l/s. Beregnede flomverdier kan sees i blå seksjon til høyre i tabellen. Tabellen inneholder også informasjon om hvilke parameterverdier som ligger til grunn for beregningene. Feltets areal ble justert manuelt i alle felt, og det samme ble overflate-typeverdiene. Klimaregion «Øst» ble automatisk valgt for alle felt. Årsnedbøren ble videre automatisk justert etter feltets beliggenhet i dalen.

Tabell 5.4: Tabellen viser beregnet flomvannføring under en 200-årsflom. Resultatene presenteres både med og uten klimapåslag. Tabellen gir også en oversikt over de estimerte parameterverdiene som ligger til grunn for utregningene.

Stikkrenne (DOVB km)	Topografi				Klima			Overflateype							Flomvannføring		
	Areal (km ²)	Min. høyde (m.o.h.)	Maks. høyde (m.o.h.)	Felt-lengde (km)	Klima-reg.	Års-nedbør (mm)	Vinter-lavvann (l/s*km ²)	Sommer-lavvann (l/s*km ²)	Dyrk.			Snau-fjell	Eff. sjø	Q200 (l/s)	Q200 (l/s + 40% klima-påslag)		
		(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	Bre (%)	Skog (%)	mark (%)	Myr (%)	Urb. (%)				
206,85	1,68	180	787	2,97	Øst	662,27	0,9	0,2	0	95	3	2	0	0	0	2000	2800
207,03	0,47	184	645	1,74	Øst	660,23	0,9	0,2	0	85	15	0	0	0	0	500	700
207,76	2,43	188	791	2,95	Øst	674,44	0,9	0,2	0	81	10	1	0	0	0	2800	4000
208,47	1,89	184	726	3,58	Øst	690,86	0,9	0,2	0	91	2	7	0	0	0	2400	3300
221,25	1,28	200	762	2,33	Øst	639,16	0,9	0,2	0	77	20	3	0	0	0	1000	1500
223,11	0,18	194	679	1,19	Øst	635,47	0,9	0,1	0	93	5	2	0	0	0	200	200
229,33	0,74	198	869	2,91	Øst	626,46	0,9	0,2	0	60	40	0	0	0	0	700	1000
233,16	0,16	198	464	0,86	Øst	583,04	0,9	0,1	0	20	80	0	0	0	0	200	200
246,15	2,58	194	829	3,2	Øst	559,44	0,9	0,2	0	62	35	3	0	0	0	2000	2800
261,45	0,61	230	889	1,59	Øst	462,83	0,2	0,2	0	89,5	5	0,5	5	0	0	600	800
261,74	0,98	232	919	2,06	Øst	462,73	0,2	0,2	0	88	5	2	5	0	0	1100	1500
262,29	0,91	233	905	2,28	Øst	456,33	0,2	0,2	0	89	5	1	5	0	0	1000	1300

Resultatene fra kapasitetsberegningene blir presentert i tabell 5.5, hvor tabell (a) presenterer beregnede verdier *med* klimapåslag og kapasitetsreduksjon, og tabell (b) viser resultatene fra de samme beregningene gjort *uten* klimapåslag og kapasitetsreduksjon. Resultatene viser at kapasiteten ble beregnet å være for dårlig for 10 av 12 stikkrenner dersom det legges inn et klimapåslag på 40 % og at stikkrennenes kapasitet reduseres med 20 %. Når klimapåslaget og kapasitetsreduksjonen fjernes fra ligningen, beregnes kapasiteten å være for dårlig ved 9 av de 12 beregnede stikkrennene. Vi kan også se at den manglende kapasiteten beregnes å være langt mindre for samtlige stikkrenner.

Tabell 5.5: Tabellene viser resultatene fra kapasitetsberegningene gjort med NEVINA, hvor tabell (a) viser resultatene med 40 % klimapåslag og 20 % reduksjon av stikkrennens kapasitet. Tabell (b) viser resultater fra de samme beregningene, men uten klimapåslag og kapasitetsreduksjon.

(a)

Stikkrenne (DOVB km)	Q200 med klimapåslag (l/s + 40%)	Effektiv kapasitet (l/s-20%)	Manglende kapasitet (l/s)
206,85	2800	1161,6	-1638,4
207,03	700	340,8	-359,2
207,76	4000	1161,6	-2838,4
208,47	3300	696	-2604
221,25	1500	696	-804
223,11	200	1161,6	961,6
229,33	1000	696	-304
233,16	200	696	496
246,15	2800	1161,6	-1638,4
261,45	800	340,8	-459,2
261,74	1500	761,6	-738,4
262,29	1300	761,6	-538,4

(b)

Stikkrenne (DOVB km)	Q200 (l/s)	Kapasitet (l/s)	Manglende kapasitet (l/s)
206,85	2000	1452	-548
207,03	500	426	-74
207,76	2800	1452	-1348
208,47	2400	870	-1530
221,25	1000	870	-130
223,11	200	1452	1252
229,33	700	870	170
233,16	200	870	670
246,15	2000	1452	-548
261,45	600	426	-174
261,74	1100	952	-148
262,29	1000	952	-48

Stikkrenne km 223,11 som her beregnes å ha god nok kapasitet, beregnes også å ha god nok kapasitet i resultatene fra den rasjonale formel i 2019, ved beregningene gjort uten klimapåslag og kapasitetsreduksjon. Den nominelle vurderingen gjort i 2015 viser imidlertid at denne stikkrennen regnes å ha kritisk dårlig kapasitet.

5.2.3 Sammenligning av resultater med klimapåslag og kapasitetsreduksjon

Sammenligner man resultatene fra flomberegningene fra 2015 med resultatene fra 2019, hvor det er lagt inn et klimapåslag på 40%, ser man at de klart høyeste flomverdiene ble beregnet med den rasjonale formel i 2019. Dette er med unntak av feltet tilknyttet stikkrenne km 261,74, hvor den høyeste verdien ble beregnet med den rasjonale formel i 2015. Videre kan vi se at resultatene fra den rasjonale formel viser høyere flomverdier for samtlige felt enn resultatene fra NEVINA. Dette gjelder både sammenlignet med beregningene fra 2019 og fra 2015. Dette er noe overraskende, ettersom beregningene fra 2015 er gjort uten klimapåslag. En sammenstilling av resultatene av de beregnede flomverdiene presenteres i tabell 5.6.

Tabell 5.6: En sammenstilling av resultatene fra de ulike flomberegningene gjort med den rasjonale formel i 2015 og 2019 og med NEVINA i 2019. Tallene fra 2015 er hentet fra Sandersen et al. (2015). I beregningene fra 2019 er det lagt inn et klimapåslag på 40 %.

Beregning av Q200

Stikkrenne (DOVB km)	Rasjonale formel (l/s)		NEVINA (l/s)
	2015	2019	2019
206,85	5 380	8861	2800
207,03	1 381	2840	700
207,76	11 300	13655	4000
208,47	5 872	7131	3300
221,25	4 391	6702	1500
223,11	985	1478	200
229,33	-	3959	1000
233,16	-	1300	200
246,15	-	13384	2800
261,45	2 150	3666	800
261,74	6 083	5543	1500
262,29	-	5147	1300

Om man sammenligner kapasitetsberegningene fra 2015 med resultatene fra 2019, hvor dimensjonen til hver stikkrenne er redusert med 20 %, i tillegg til at det er lagt inn et klimapåslag, ser man at den helt klart dårligste kapasiteten ble beregnet med den rasjonale formel i 2019. Dette er med unntak av stikkrenne km 261,74. Tabell 5.7 viser en sammenstilling av resultatene fra de tre kapasitetsberegningene.

Tabell 5.7: En sammenligning av resultater fra beregninger gjort i 2015 med nye beregninger fra 2019. Resultatene fra 2019 inkluderer et klimapåslag på 40 % og en kapasitetsreduksjon av stikkrennene på 20 %. Tallene fra 2015 er hentet fra Sandersen et al. (2015). Negativt fortegn markerer manglende kapasitet.

Stikkrenne (DOVB km)	Kapasitet, stikkrenner (l/s)		
	Rasjonale formel		NEVINA
	2015	2019	2019
206,85	-3 928	-7699,4	-1638,4
207,03	-955	-2499,2	-359,2
207,76	-9848	-12493,4	-2838,4
208,47	-5002	-6435	-2604
221,25	-521	-6006	-804
223,11	467	-316,4	961,6
229,33	-	-3263	-304
233,16	-	-604	496
246,15	-	-12222,4	-1638,4
261,45	-1724	-3325,2	-459,2
261,74	-5131	-4781,4	-738,4
262,29	-	-4385,4	-538,4

Til tross for klimapåslag og kapasitetsreduksjon ved bruk av NEVINA, viser resultatene fra 2015 dårligere stikkrennekapasitet for de fleste stikkrenner. Dette er med unntak av stikkrenne km 221,25. Både resultatene fra NEVINA og fra den rasjonale formel fra 2015 viser at stikkrenne km 223,11 har god nok kapasitet, mens beregningene med den rasjonale formel fra 2019 viser at denne mangler en kapasitet på over 315 l/s.

5.2.4 Sammenligning av resultater uten klimapåslag

Fjerner man klimapåslaget fra flomberegningene viser resultatene relativt like verdier for mange av flomberegningene utført med den rasjonale formel i 2015 og i 2019. Forskjellen mellom de beregnede verdiene med NEVINA og de to beregningene utført med den rasjonale formel blir imidlertid desto større, hvor NEVINA har beregnet betydelig lavere flomverdier. Tabell 5.8 viser en sammenstilling av resultatene fra flomberegningene utført uten klimapåslag.

Tabell 5.8: Flomverdier (Q200) beregnet med den rasjonale formel i 2015 og 2019 og med NEVINA i 2019. Alle beregningene er gjort uten klimapåslag. Tallene fra 2015 er hentet fra Sandersen et al. (2015).

Stikkrenne (DOVB km)	Rasjonale formel (l/s)		NEVINA (l/s)
	2015	2019	2019
206,85	5 380	6329	2000
207,03	1 381	2029	500
207,76	11 300	9753	2800
208,47	5 872	5094	2400
221,25	4 391	4787	1000
223,11	985	1055	200
229,33	-	2828	700
233,16	-	929	200
246,15	-	9560	2000
261,45	2 150	1618	600
261,74	6 083	3959	1100
262,29	-	3676	1000

Tabell 5.9 synliggjør avvik mellom resultatene fra de to beregningene utført med den rasjonale formel. Tabellen viser også avvik mellom resultatene beregnet med NEVINA og gjennomsnittsverdier av resultatene beregnet med den rasjonale formel fra henholdsvis 2015 og 2019. Sammenligningene viser at det generelt er mye større verdiforskjeller mellom resultatene fra NEVINA og resultatene fra den rasjonale formel, enn det er mellom resultatene fra den rasjonale formel. Tabell 5.9 viser at den største verdiforskjellen mellom resultatene beregnet med den rasjonale formel er 2124 l/s, mens den største verdiforskjellen mellom resultatene fra NEVINA og resultatene fra den rasjonale formel er hele 7726,5 l/s.

Tabell 5.9: Verdiforskjeller mellom resultatene fra de to beregningene gjort med den rasjonale formel, og forskjeller i verdi mellom resultatene fra NEVINA og gjennomsnittet av verdiene beregnet med den rasjonale formel. Tallene fra 2015 er hentet fra Sandersen et al. (2015).

Stikkrenne (DOVB km)	Areal nedbørsfelt (km ²)	Avvik mellom resultatene av beregnet vannføring ved Q200 (l/s)	
		Avvik mellom resultatene beregnet med den rasjonale formel	Avvik mellom resultatene fra NEVINA og gjennomsnittet fra beregningene gjort med den rasjonale formel
206,85	1,68	949	3854,5
207,03	0,47	648	1205
207,76	2,43	1547	7726,5
208,47	1,89	778	3083
221,25	1,28	396	3589
223,11	0,18	70	820
229,33	0,74	-	-
233,16	0,16	-	-
246,15	2,58	-	-
261,45	0,61	532	1284
261,74	0,98	2124	3921
262,29	0,91	-	-

I tabell 5.9 kan vi se et mønster av at avvikene i beregnet flomverdi mellom NEVINA og den rasjonale formel er mindre blant de minste feltene enn blant de største. Trenden er dermed at det ble beregnet langt lavere flomverdier med NEVINA enn med den rasjonale formel, og at dette mønsteret er særlig synlig blant de største feltene. Avvikene mellom beregningene gjort med den rasjonale formel er også store blant noen av de største feltene, men mønsteret er ikke tydelig. Få observasjoner gjør imidlertid at vi ikke kan behandle disse som representative. Store verdisprik er likevel et interessant grunnlag for diskusjon. Som vi kan se er forskjellene mellom resultatene beregnet med den rasjonale formel mindre, men de er fremdeles betydelige. Det vil derfor også være interessant å studere hvilke parametere som kan forklare årsaken til verdisprikene blant disse resultatene.

6 Diskusjon

DEL 1

6.1 Kartlegging av jord- og flomskred og vann på avveie

Resultatene fra de to kartleggingene skiller seg fra hverandre ved at det identifiseres langt flere fareutsatte strekninger og punkt under kartleggingene gjort i forbindelse med dette prosjektet enn i 2015. Det mest slående er imidlertid at flere av strekningene og punktene som ble ansett å være utsatt for svært stor fare under kartleggingene i 2019, ikke ble identifisert som fareutsatte i det hele tatt i 2015. Blant de strekninger som ble vurdert å være utsatt for uønskede hendelser ved begge kartleggingene, lå det ved flere tilfeller ulike vurderinger til grunn for beskrivelsen av faren. Det er her en tydelig tendens av at resultatene fra 2015 i størst grad beskriver farer knyttet til den nedre delen av skråningen, mens resultatene fra 2019 i større grad også identifiserer farer som har sitt utspring lengre opp i sideterrenget.

Kapittel 6 legger frem en diskusjon rundt hvordan metodiske utfordringer, faglige tolkninger og vurderinger kan forklare avvik mellom resultatene. Som en del av dette vil eksempler fra analysene gjort i 2019 brukes til å synliggjøre viktigheten av en helhetlig tolkning av landskapet. Avslutningsvis legges diskusjonen til grunn for en vurdering av hvorvidt nye kartlegginger er nødvendige. Basert på funn i diskusjonen, blir det også gitt oppfordringer til hvilke momenter som bør trekkes inn ved bestilling av nye kartlegginger.

6.1.1 Utfordringer med direkte sammenligning

Sammenligningen var utfordrende, da de utsatte områdene presentert i resultatene fra 2015 representeres som strekninger av ulik lengde, mens resultatene fra 2019 presenteres i hele kilometersegmenter og avgrensede punkter. En annen utfordring var at det ble brukt ulike definisjoner på faretypene ved de to kartleggingene. For eksempel ble ikke «flomskred» omtalt som en egen faretype under kartleggingene i 2015. Videre kommer fare for vann på avveie utelukkende til uttrykk som faretypen «stikkrenne» i resultatene fra 2015 (Sandersen et al., 2015). Etersom vann på avveie kan skyldes flere årsaker enn tette stikkrenner (Bane NOR, 2019, s. 1), blir «vann på avveie» definert som en egen farekategori i de nyeste kartleggingene. Faretypen «stikkrenne» kan likevel sammenlignes med «vann på avveie» fra 2019, og dersom

utsatte stikkrenner trekkes inn i sammenligningene, vil forskjellen i antall utsatte strekninger reduseres.

Av beskrivelsene gitt i rapporten fra 2015 virker for øvrig farenivået for «stikkrenne» i størst grad å være estimert ut fra matematiske beregninger, risikourderinger, og mest av alt, feltobservasjoner av gjentetting og forfall (Sandersen et al., 2015). Faren for ytterlige massetransport og gjentetting beskrives i liten grad. Under oversiktskartleggingene gjort i 2019 ble faren for vann på avveie derimot estimert basert på fjernanalyser av terrenget, og ikke på matematiske beregninger eller observasjoner av stikkrennenen. Faren for erosjon i bekkeløpet eller skred i eller mot bekkeløpet dannet grunnlag for vurdering av faregraden. Faretypen omfattet dessuten også lokaliteter hvor det ble ansett å være en fare for at bekken kan ta nytt løp som følge av andre grunner enn gjentetting av stikkrennene under jernbanen. Som følge av svært ulike vurderingsgrunnlag, har det derfor ikke blitt gjort en direkte sammenligning av faretypen «stikkrenne» fra 2015 og «vann på avveie» fra 2019. Ufordringer ved flom- og kapasitetsberegninger som eneste grunnlag for vurdering av faregrad vil diskuteres videre i kapittel 6.2.5.

Farevurderingen av de øvrige faretypene i 2015 ble også påvirket av stabilitetsmålinger, risikoanalyser og enkeltobservasjoner i felt (Hefre & Sverdrup-Thygeson, 2014, s. 17). En direkte sammenligning av skredresultatene var dermed også utfordrende, da også disse vurderingene utelukkende var basert oversiktskartlegging gjennom fjernanalyse i 2019.

Ettersom det er utfordrende å gjøre direkte sammenligninger av resultatene, vil diskusjonen i størst grad fokusere på de tolkninger og analyser som ligger bak farevurderingene, heller enn faregraden i seg selv. Det vil også diskuteres hvilke vurderinger som *bør* inngå i en farevurdering.

6.1.2 Mulige årsaker til ulike resultater

Underdramatisering av faren for skred

Rapporten fra 2015 fokuserte mest på problemer knyttet til vann på avveie som følge av tette eller underdimensjonerte stikkrenner (Sandersen et al., 2015). Jord- og flomskredaktiviteten er for- øvrig også stor i Gudbrandsdalen (Walberg & Devoli, 2014). Selv om de fleste flom- og skredskader på veg- og jernbane riktignok skyldes gjentetting og/eller underdimensjonering av stikkrenner (Norem, Flesjø, Sellevold, Lund, & Viréhn, 2016), bør derfor ikke faren for jord-

og flomskred undervurderes. Kartleggingene gjort i 2019 la derfor større vekt på faren for skred enn resultatene fra 2015.

Kartlegging av større og mer sjeldne hendelser

Gudbrandsdalen rammes ofte av jord- og flomskred (Walberg & Devoli, 2014), og Oppland er videre blant de to fylkene i landet hvor det er flest registrerte skader som følge av flom (Norsk Naturskadepool, 2019).

Gudbrandsdalen ble nylig rammet av store flommer både i 2011, 2013 og i 2014 (Olsen et al., 2015). Felles for flommene var at de største skadene kunne knyttes til flom og skred i sidevassdrag, og det gikk mange jord- og flomskred som førte til skader på jernbanen (Sellevold & Edvardsen, 2013). Vintrene 2011 og 2014 var tørre, og det lå mindre snø i fjellet enn normalt (Kleivane, 2011; Langsholt, Roald, Holmqvist & Fleig, 2015). Nedbørsmengdene før og under flommen i 2013 var heller ikke ekstreme (Olsen et al., 2015). Dette viser at flommer med høyt gjentaksintervall, kan inntreffe med lavere gjentaksintervall (Bane NOR, 2019, s. 3; NVE, 2014b), og viser samtidig at jord- og flomskred og vann på avveie er et utbredt problem i området. Andre registrerte skred og spor i terrenget etter tidligere hendelser, vitner også om stor flom- og skredaktivitet, og at det har forekommet store hendelser med langt utløp tidligere (NVE, 2014b). Skadepotensialet er dessuten stort i Gudbrandstalen, som følge av høyt trafikert infrastruktur og annen bebyggelse.

Kartleggingene gjort i dette prosjektet har derfor også vurdert faren for at større og mer sjeldne hendelser kan forekomme. Farenivået satt under kartleggingene i 2015, angir imidlertid estimert sannsynlighet for en uønsket hendelse i løpet av 30 år (Sandersen et al., 2015), en relativt kort periode. Dette kan forklare noe av årsaken til at det ble identifisert langt flere utsatte strekninger i 2019. Dette forklarer imidlertid ikke hvorfor flere av de mest utsatte strekningene identifisert i 2019 uteble fra resultatene fra 2015.

Analyser av hele skråningen

Under oversiktskartleggingene i 2015, ble det gjort en analyse av landskapet 30 m til hver side fra jernbanens senterlinje ved bruk av GIS (Hefre & Sverdrup-Thygeson, 2014, s. 6). GIS er tidsbesparende, hvilket gjør det mulig å gjøre en fare- og risikokartlegging av hele jernbanestrekningen i løpet av relativt kort tid. Ved bare å inkludere 30 meter av landskapet i

kartleggingen, vil imidlertid store deler av skråningen utebli fra analysen. Utløsningsområdet til jord- og flomskred kan ofte være høyt i skråningen (Walberg & Devoli, 2014), og utløpet til skredmassene kan være svært langt, opp mot 1 km (NVE, 2018). Forholdet mellom skråningens helning, lengde og form har videre stor betydning for utløsning av jordskred og skredforløpet (NVE, 2018; Pipkin et al., 2014; Selby, 2005). I Bane NORs kravspesifikasjoner fra 2019 (s. 1) settes det krav om å identifisere både aktuelle utløsningsområder og skredløp (Bane NOR, 2018, s. 4). Dermed er ikke en buffer på 30 m fra jernbanelinjen tilstrekkelig for å kunne si noe om den faktiske skredfaren.

Ved kartlegging av skred- og flomfare, bør dessuten hele avsetningsvifta bedraktes som aktsomhetsområde, ettersom denne markerer utløpet til tidligere hendelser (NVE, 2014b). Analyser av hele skråningen inngår derfor i kartleggingen gjort i 2019. Trolig kan denne forskjellen i størst grad forklare de ulike resultatene.

Å vurdere ulike farer sammen

Det er ofte en flytende og uklar grense mellom flomskred og masseførende elver (Statens vegvesen, 2016). Et jordskred kan dessuten utvikle et flytende bevegelsesmønster om massene ledes mot et dreneringsløp, hvor det skjer innblanding av mer vann (Selby, 2005). Ved kartlegging av fare for jordskred, flomskred, masseførende vannmasser og vann på avveie er det derfor svært viktig at de ulike farene blir vurdert som deler av det samme systemet, og ikke som farer som er uavhengig av hverandre. Ved farekartlegging kan man dessuten argumentere for at klassifikasjoner er ubetydelige ved tvilstilfeller, da konsekvensene av en hendelse gjerne er like (Statens vegvesen, 2016). Under kartleggingene gjort i dette prosjektet, skilles det derfor ikke tydelig mellom de ulike prosessene ved tvilstilfeller. Av resultatene fra 2015 kan det virke som at de ulike faretypene i større grad ble separert under farevurderingene. Dette kan også forklare noe av grunnen til ulike resultater under de to kartleggingene.

Farekartlegginger som tar høyde for et klima i endring

Ved kartlegging av skred- og flomfare setter Bane NOR (2019, s. 7) krav om at det innhentes informasjon om de lokale klimatiske forhold som har betydning for farene som skal kartlegges. Herunder bør mulige konsekvenser av klimaendringer trekkes inn i analysen.

Som følge av mer regn og flere og mer intense nedbørshendelser, forventes også frekvensen og størrelsen på regnflommene å øke i Gudbrandsdalen, særlig i små, bratte nedbørsfelt (Hanssen-Bauer et al., 2015; Lawrence, 2016; Norsk klimaservicesenter, 2017; Sellevold & Edvardsen, 2013). Faren for jord- og flomskred forventes også å øke (Hanssen-Bauer et al., 2015; Heyerdahl, 2016; NVE, 2013; Statens vegvesen, 2016). Mer nedbør vil dessuten kunne føre til lengre utløpsdistanse (NVE, 2011). Det kan også forekomme skredhendelser i områder som tidligere har blitt ansett å være trygge (Byggteknisk forskrift, 2017). Som en del av nasjonal og lokal klimatilpasningsstrategi, er det derfor svært viktig med god kartlegging av skred- og flomfare som tar høyde for et klima i endring (Grønsten et al., 2015, s. 21).

Som en del av diskusjonen rundt hvilke effekter klimaendringer kan ha for flom- og skredaktiviteten, vil det imidlertid være nødvendig å påpeke at det ikke nødvendigvis er en én til én sammenheng mellom flere og større nedbørshendelser og flere og større flommer og skred (Lawrence, 2016).

Flom og utløsning av jord- og flomskred i Gudbrandsdalen kan ofte knyttes til kraftig snøsmelting, og ikke bare nedbør alene (Sletten & Blikra, 2007; Varsom, 2018b; Walberg & Devoli, 2014). Ettersom snømengdene over tid forventes å minke som følge av temperaturøkning (Hanssen-Bauer et al., 2015), kan dette innebære at flomfaren og jordskredfaren vil bli mindre i enkelte områder. Høyere temperaturer i kombinasjon med færre dyr på beite kan dessuten gjøre at trærne vokser mer og at skoggrensa trekker seg oppover fjellet. Dette ser vi tendenser av allerede (Miljødirektoratet, 2018). I disse områdene vil en større del av nedbøren suges opp av røttene og fordampe fra løvet før det treffer bakken, noe som vil holde grunnvannet nede (Sandersen, 2014; Selby, 2005; Statens vegvesen, 2014b). Dette vil kunne ha en flomreduserende og stabiliserende effekt. Røttene til trærne vil dessuten virke armerende (Statens vegvesen, 2014b), og samtidig vil vekten av trærne øke normalstresset, hvilket kan redusere faren for skred (Selby, 2005).

Som beskrevet i kapittel 3.1, vil for øvrig vekten av trærne kunne virke destabiliserende på massene i bratte skråninger (Selby, 2005). Videre vil andre effekter av klimaendringer også kunne føre til økt fare for skred og masseføring i bekker og elver i enkelte områder. Sommeren 2018 i Gudbrandsdalen, og flere andre steder i landet, var preget av tørke, lav vannføring og lav grunnvannstand (NVE, 2019). Tørken førte til skogbranner flere steder (Skaland et al., 2019). I følge klimaframskrivningene presentert av Hanssen-Bauer et al. (2015) forventes markvannsunderskuddet å øke mot år 2100, hvilket vil kunne resultere i mer tørke og flere skogbranner (Hanssen-Bauer et al. 2015), slik som i 2018. Tørke vil kunne gjøre at

sedimenttilganen blir bedre i enkelte bekkeløp og raviner, som følge av tap av armering. Sammen med økte vannmengder under flom, vil dette kunne føre til et betydelig større skadepotensial (Bogen, Bønsnes, Moquet-Stenback, Xu & Elster, 2016). Tap av armering, normalkraft og infiltrasjonsegenskaper vil dessuten kunne gjøre skogbrannrammede områder mer utsatt for løsmasseskred (NGU, 2015a; Pipkin et al., 2014).

Den samlede effekten av klimaendringene er, som vi ser, usikker (Hanssen-Bauer et al., 2015). Det rår imidlertid en klar konsensus om at vi i fremtiden kan forvente flere og mer ekstreme vær-situasjoner (Hanssen-Bauer et al., 2015; Norsk klimaservicesenter, 2017; Pachauri et al., 2014). Ved farekartlegging bør derfor klimaendringer først og fremst regnes som en forverrende faktor. I områder hvor effekten kan være positiv, kan dette diskuteres og farenivået kan eventuelt justeres.

Oversiktskartleggingene gjort i dette prosjektet tok høyde for mer ekstreme forhold i fremtiden, og vurderte faren for at uønskede hendelser kan forekomme hyppigere, bli større og ha lengre utløp (Bogen et al., 2016; Byggeteknisk forskrift, 2017; Hanssen-Bauer et al., 2015; Lawrence, 2016; Norsk klimaservicesenter, 2017; NVE, 2011; Pachauri et al., 2014; Sellevold & Edvardsen, 2013). I rapporten fra 2015 diskuteres imidlertid ikke effekter av klimaendringer som et hensyn som ble tatt under farevurderingene. Dette kan dermed også forklare noe av årsaken til at det ble identifisert flere utsatte strekninger i 2019.

Operatørsensitiv tolkning av landskapet

Analyser utført med GIS vil på mange måter være mindre sensitiv for påvirkning fra kartleggeren som utfører analysene. Resultatene vil for øvrig avhenge av hvilke parametere kartleggeren putter inn i analysen og av hvordan disse vektet. Videre vil resultatene påvirkes av forskerens tolkning av analysen.

Som en del av detaljkartleggingen i 2015 ble det også gjort analyser av de utsatte områdene gjennom et studie av ulike karttjenester. Analysene ble da gjort med utgangspunkt i flere av de samme karttjeneste som ble benyttet under kartleggingene i 2019. Likevel avviker flere av resultatene i stor grad fra hverandre.

Manglende tolkningsrom ved analyser utført med GIS

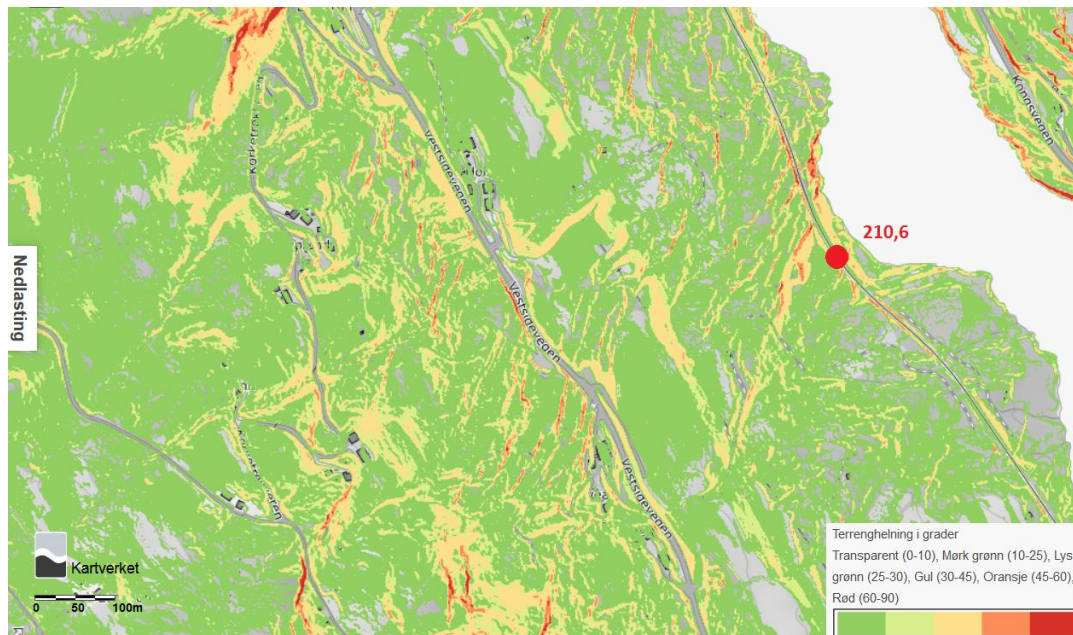
Dersom *bare* GIS benyttes under oversiktskartleggingene, vil en kunne miste mange nyttige fagbaserte tolkninger, som ikke fanges opp med matematiske beregninger. Kilometerpunkt 210,6, som blir presentert i figur 6.2 vil trolig være et eksempel på dette. Om man ser hele skråningen i sin helhet, er den generelle løsmassetilgangen relativt liten. En visuell tolkning av et laserbilde over skråningen gir imidlertid indikasjoner på at det ligger et belte med lett eroderbare løsmasser noen hundre meter oppstrøms jernbanen. Til tross for at skråningen er forholdsvis slak, regnes derfor faren for flomskred og/eller massetransport med påfølgende vann på avveie å være reel. I en matematisk beregning av skredfare i skråningen hvor tykkelsen på løsmassene hadde blitt lagt inn som en sammenlagt verdi for hele skråningen, kunne faren i denne relativt slake skråningen blitt beregnet å være liten. Manglende tolkningsrom ved analysene utført med GIS kan dermed forklare noe av grunnen til at det ble identifisert flere utsatte områder i 2019 enn i 2015.

6.1.3 Eksempler fra fjernanalyser gjort i 2019

Eksempler på hvordan ulike karttjenester ble brukt til å gjøre analyser av morfologiske faktorer og terreng- og vegetasjonsforhold under kartleggingene i 2019 blir presentert i eksempel 1, 2, 3 og 4. Samtlige eksempler presenterer farepunkt- og strekninger som ble vurdert å være utsatt for fare i 2019, men som ikke ble trukket frem som utsatte i 2015. Eksemplene tas med som viktige synliggjøring av hvorfor det er helt nødvendig å gjøre analyser av hele skråningen ved farevurderinger. Gjennom eksemplene kommer det også tydelig fram at ulike faretyper må sees i sammenheng med hverandre. Det blir samtidig tydelig at definering av faretyper kan være utfordrende. Eksemplene viser hvordan spor etter tidligere hendelser kan brukes ved farekartlegging, og figurene viser nyttigheten av en tolkning av landskapet gjennom ulike karttjenester og i ulike målestokker. Eksemplene har dermed god verdi i diskusjonen rundt hvorvidt det er behov for nye detaljkartlegginger. Fareutsatte strekninger og punkt omtales som «kilometerstrekninger» og «kilometerpunkt», og omtaler den strekningen eller dét punktet langs banen som anses å være utsatt. Kilometerverdiene er hentet fra Banekart (u.å.).

Eksempel 1: Fare for flomskred, masseføring og/eller vann på avveie. (DOVB km 210,6)

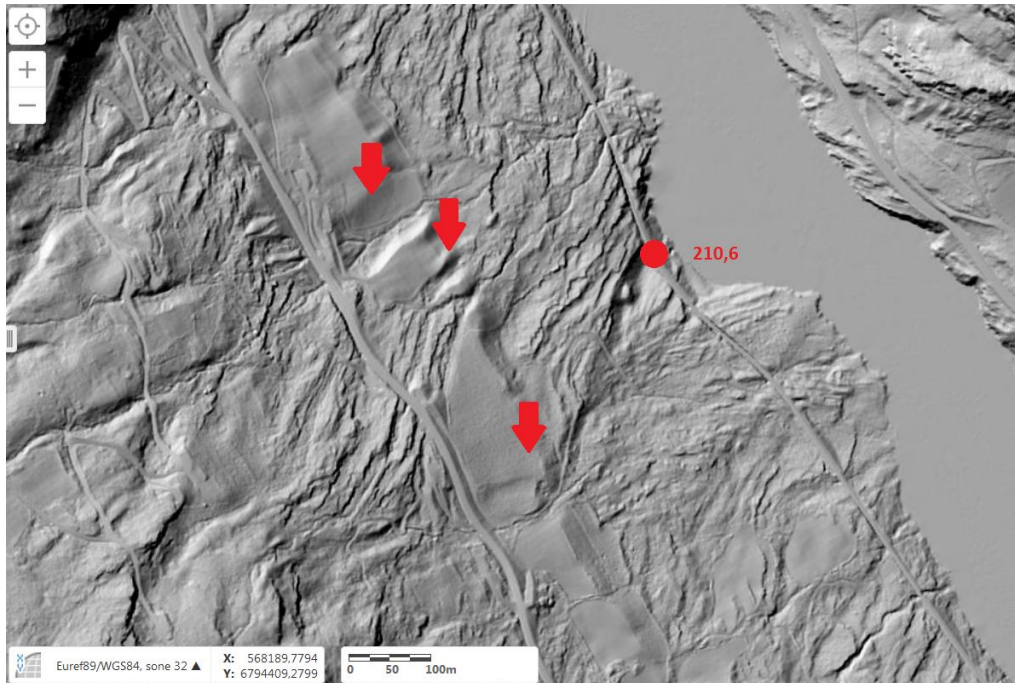
Faren for flomskred, masseførende elv og/eller vann på avveie vurderes her å være moderat. Farepunktet trekkes likevel frem som et godt eksempel på hvordan landskapet kan tolkes gjennom å studere laserbilder.



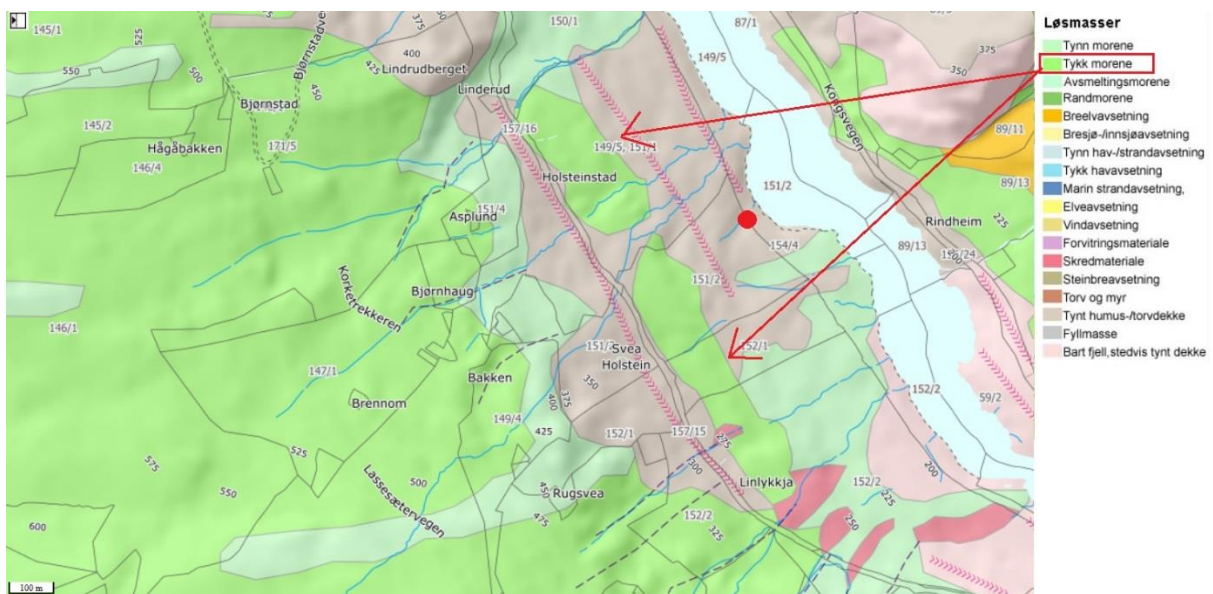
Figur 6.1: Høydedata (2019) sitt kart over bratte områder viser at landskapet er relativt slakt ned mot jernbanen.

Et helningskart hentet fra høydedata (2019), vist i figur 6.1, viser at helningen er relativt slak ($<25^\circ$) stort sett hele vegen fra bunn til topp av skråningen. Berggrunnsstrukturen kommer videre tydelig frem over store deler av skråningen på laserbildet hentet fra innlandsgis (2016), vist i figur 6.2. Den generelle løsmassetilgangen kan dermed tolkes å være relativt liten. Dette bekreftes også i NGUs løsmassekart (2017), hvor det over de største delene av skråningen er kartlagt et tynt lag med humus og ingen store løsmassemektigheter. Et utklipp fra løsmassekartet blir vist i figur 6.3. Om lag 260 meter oppstrøms jernbanen, er det for øvrig markert et belte med et tykt morenelag som har en orientering parallelt med dalføret (NGU løsmassekart, 2017). Disse avsetningene er også godt synlige på laserbildene som et langsgående belte som ligger over den grove berggrunnen. Sporene viser at det er eller har vært aktive erosjonsprosesser i skråningen, og at løsmassene er lett eroderbare. Følgelig anses det å være en fare for at masseførende elver og/eller flomskred kan føre til direkte skade på jernbanen eller indirekte skade ved gjentetting av stikkrenner. Videre er det registrert flere skred like nord for farepunktet i et terreng som er relativt likt.

Mellom fv. 319 og jernbanen er det en driftsveg som krysser bekken på veg ned mot jernbanen. Ved høy vannføring og/eller massetransport i bekken, vil det være en fare for gjentetting av stikkrennen som går under driftsvegen, og vannet vil kunne tvinges på avveie og treffe jernbanen på et punkt hvor det ikke er lagt til rette for drenering av vannmasser. Enhetsstrekningen blir ikke trukket frem som fareutsatt i resultatene fra 2015.



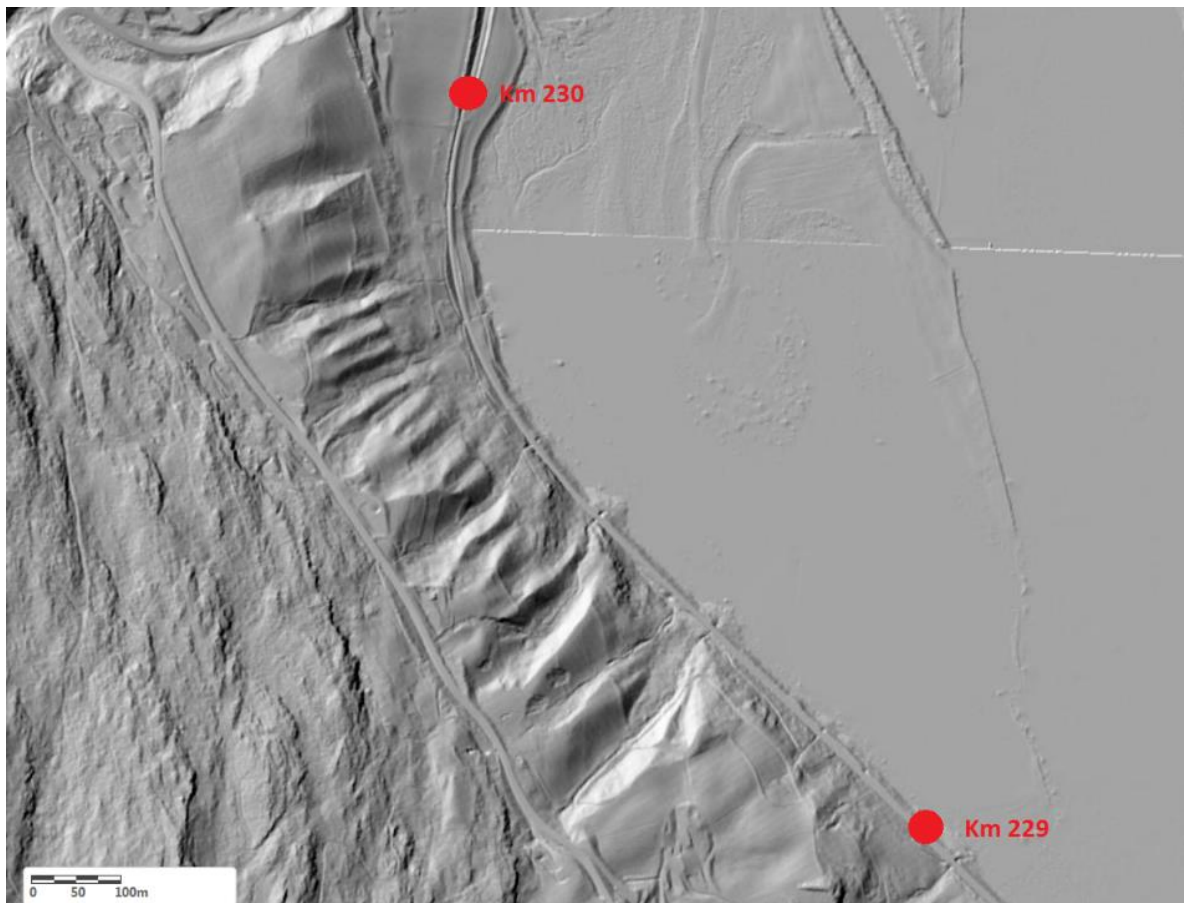
Figur 6.2: Rødt punkt markerer et mulig farepunkt. Røde piler markerer tydelige spor av erosjon i en løsmasseavsetning som går parallelt med dalføret. Utklippet er hentet fra Innlandsgis (2016).



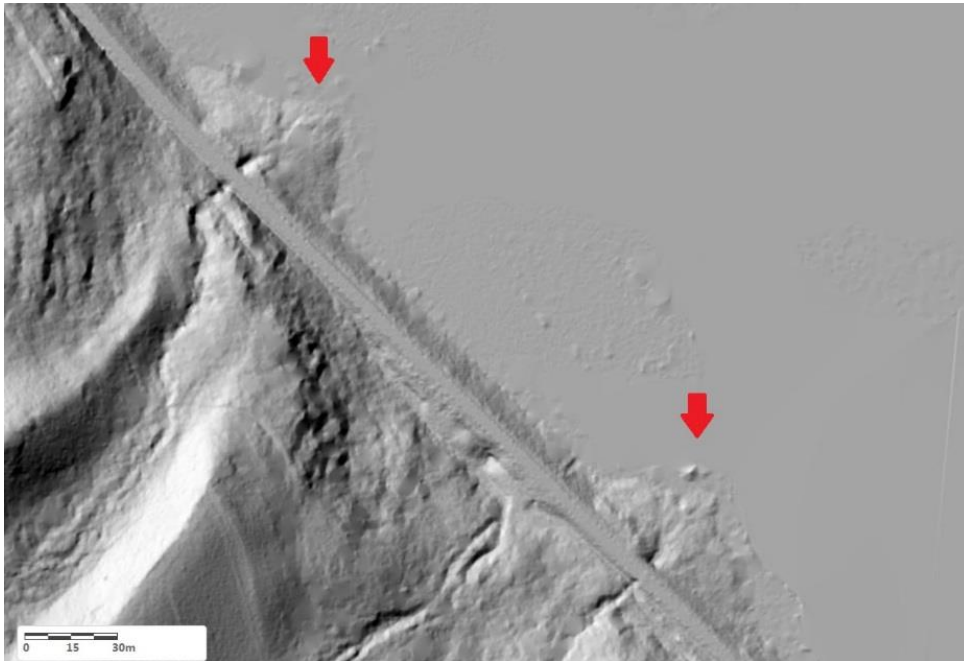
Figur 6.3: Utklippet her hentet fra NGUs løsmassekart (2017). I følge kartet domineres skråningen ned mot jernbanen av et tynt lag med humus. Pilene markerer et belte med tykk morene. Rødt punkt markerer identifisert farepunkt (km 210,6).

Eksempel 2: Fare for jordskred og/eller flomskred (DOVB km 228,9 – 230)

Langs denne strekningen ble faren for jord- og/eller flomskred ansett å være svært stor. Vurderingen er gjort særlig med grunnlag i tolkninger av laserbilder av landskapet hentet fra innlandsgis (2016), hvor det ble identifisert svært mange spor etter tidligere jord- og/ eller flomskred i den nedre delen av skråningen ned mot jernbanen. Sporene er godt synlige som sår i landskapet. Laserdataene avslører også at det ved flere punkt har bygget seg opp vifteformer nedstrøms jernbanen, hvilket gir indikasjoner på det potensielle utløpet til eventuelle fremtidige hendelser (NVE, 2014b). Et utklipp fra innlandsgis (2016) blir vist i figur 6.4.

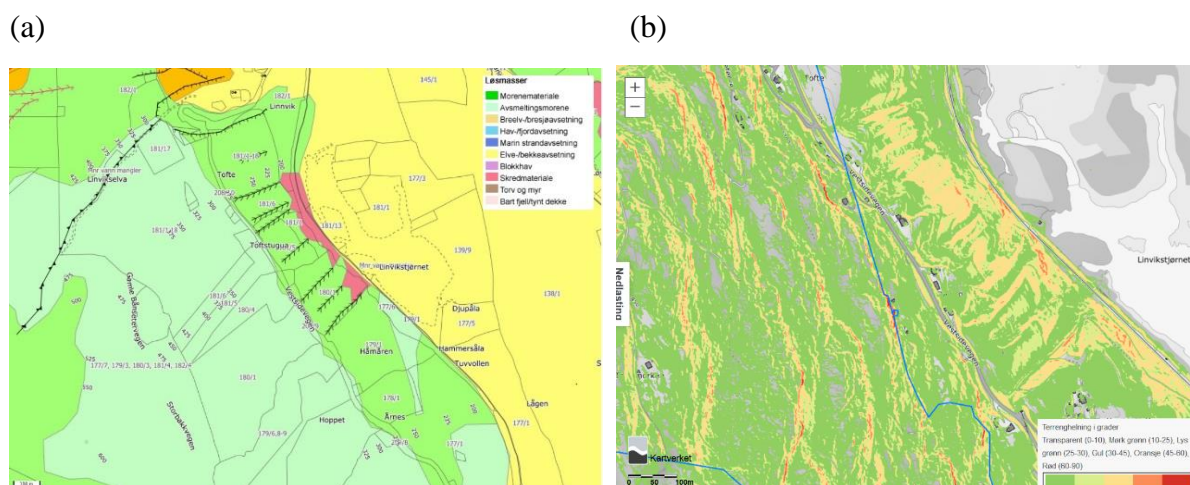


Figur 6.4: Utsnittet viser flere tydelige spor etter tidligere jord- og/ eller flomskred i nedre del av skråningen. Laserbildene avslører at skredmassene flere steder har blitt avsatt nedstrøms jernbanen, hvor det har bygget seg opp vifteformer. Den aktuelle kilometerstrekninger (228,9-230) er markert med røde punkter i kartet. Fv. 319 er synlig som en nær parallell linje oppstrøms jernbanen. Samtlige skredssår ligger nedstrøms denne, og dermed har jernbanen vært direkte utsatt ved tidligere hendelser. Utklipp er hentet fra Innlandsgis (2016).



Figur 6.5: Figuren viser et utklipp fra den fareutsatte kilometerstrekningen i større målestokk. Her ser vi tydelige spor i terrenget av vifteformer som har blitt bygget opp ved avsetning av løsmasser nedstrøms jernbanen. Utklipp er hentet fra Innlandsgis (2016).

Videre viser NVE Atlas (2017) at det ble registrert flere jord- og flomskred her både i forbindelse med flommen i 2011 og i 2013. Noen av de registrerte skredene stammer også fra tidligere hendelser. I følge NGUs løsmassekart (2017), vist i figur 6.6a, er det dessuten kartlagt skredmateriale i nedre del av skråningen. Av løsmassekartet kan vi også se at det relativt stor mektighet på morenematerialet i skråningen, særlig i nedre del. Helningskartet vist i figur 6.6b (høydedata, 2019) viser videre at skråningen er brattest i nedre del.



Figur 6.6: I følge løsmassekartet (a) er morenemateriale den dominante løsmassetypen, og tykkelsen på løsmassedecket er størst i nedre del av skråningen. Helt ned mot jernbanen kan vi også se at det er kartlagt skredmateriale (NGU løsmassekart, 2017). Helningskartet (b) viser at skråningen er brattest nedstrøms fv. 319, og ned mot jernbanen (Høydedata, 2019).

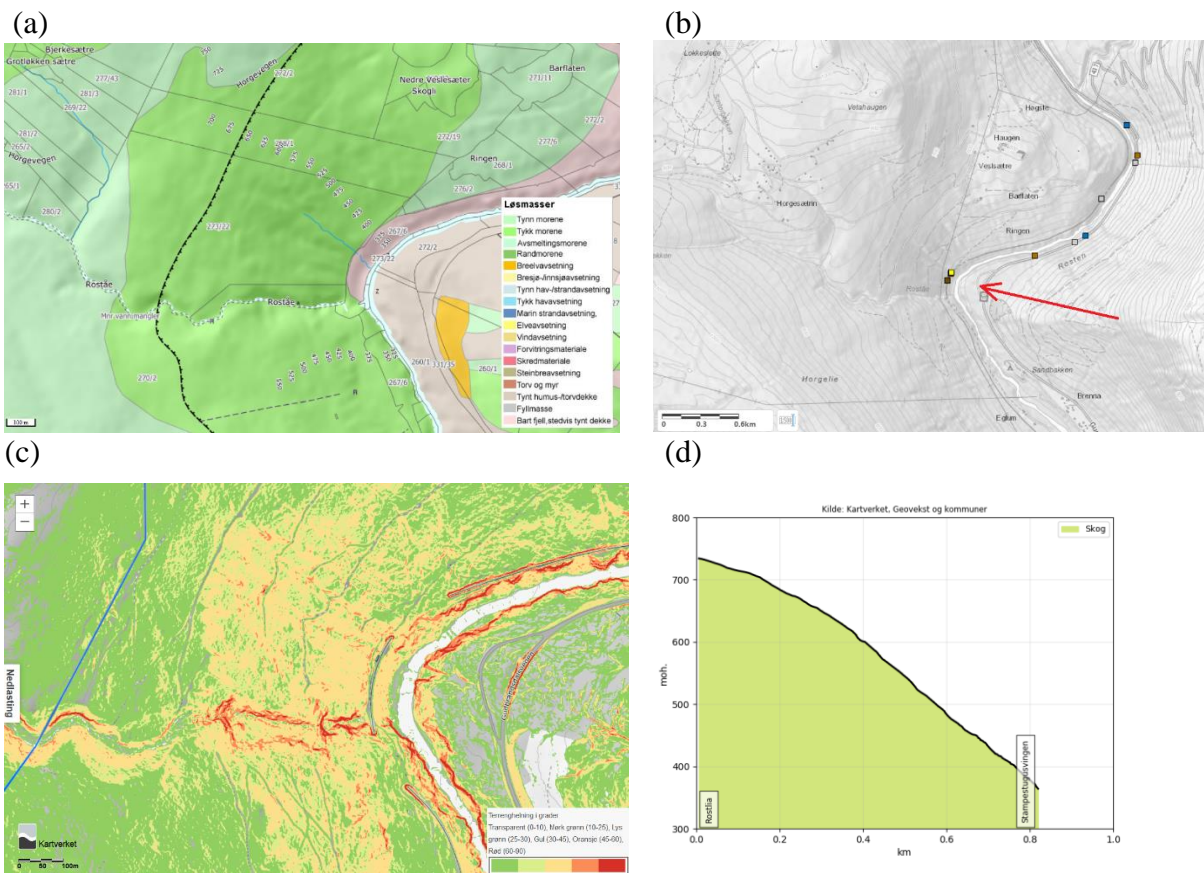
I 2015 ble det gjort flom- og kapasitetsberegninger som viste at stikkrenne med id. km 229,33, som ligger langs denne strekningen, har stor nok dimensjon til å ta unna vannmasser ved en 200-årsflom. Nye beregninger gjort i forbindelse med dette prosjektet viser imidlertid at dimensjonen er for liten. Dette har for øvrig ikke påvirket farevurderingen i oversiktskartleggingen. Enhetsstrekningen ble ikke trukket frem som utsatt i resultatene fra 2015.

Det er også identifisert lignende skredsår, avsetningsformer og flere registrerte hendelser, lik de som presenteres over, langs strekningene km 222-223, km 223-224 og km 233-2334. Faren langs disse strekningene har også blitt vurdert å være svært stor, men bare strekningen km 223-224 trekkes frem som skredutsatt i resultatene fra 2015.

Eksempel 3: Fare for jordskred og flomskred (DOVB km 312-313,3)

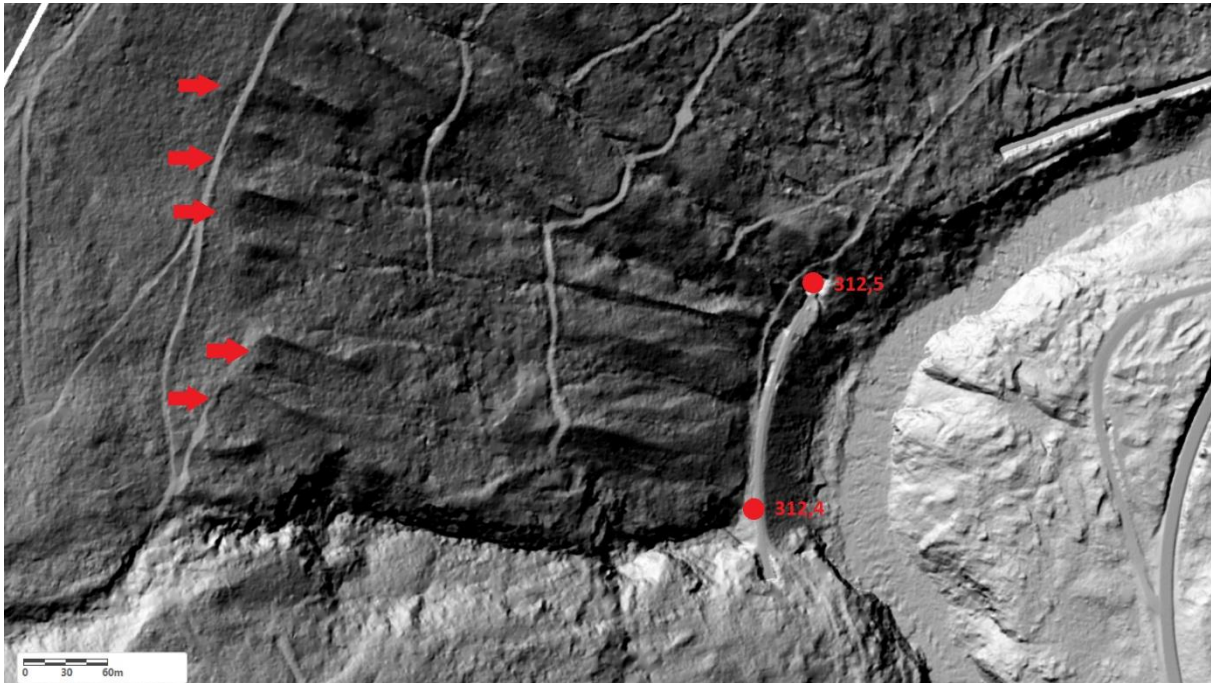
Langs denne strekningen ble det vurdert å være svært stor fare for jord- og flomskred. Skråningen er lang og bratt, uten utslakninger og uten hindringer som annen infrastruktur eller bygninger oppstrøms som kan bremse eventuelle skredmasser. Jernbanen er demed direkte utsatt ved en skredhendelse.

Det er registrert flere jord- og flomskred langs denne skråningen, og er registrert flere løsmasseskred i omkringliggende skråninger med tilsvarende egenskaper. Samtlige av de registrerte hendelsene ble utløst i forbindelse med flommen i 2011 og i 2013 (NVE Atlas 2017), men mange spor i terrenget vitner om at det også har gått flere skred tidligere. NGUs løsmassekart (2017) viser at det er et tykt lag morene over hele skråningen. Løsmassetilgangen vurderes også å være god gjennom en tolkning av laserbilder hentet fra innlandsgis (2016). Her kan vi for øvrig noen steder se den grove bergstrukturen stikke frem mellom løsmassene, hvilket kan indikere at løsmassedekket noen steder er litt tynnere.



Figur 6.7: (a) I følge NGU's løsmassekart (2017) er det store mektigheter med morenemateriale i skråningen, og noe bart fjell i nedre del mot jernbanen. (b) Et kart over historiske skred hentet fra NVE Atlas (2017), viser at det er flere registrerte jord- og flomskred langs den fareutsatte strekningen, og at det også er flere registrerte skred i området rundt. (c) Helningskartet viser at skråningen er bratt (30-45°) hele veien fra jernbanen og opp til om lag 430 m oppstrøms jernbanen (Høydedata, 2019). (d) Figuren viser en høydeprofil av skråningen fra Horgenvegen ned mot jernbanen, tegnet i Norgeskart (u.å.). Obs! Høydeprofilen har ulik målestokk i den vertikale og den horisontale akse. Fremstillingen kan dermed gi et noe misvisende bilde av den faktiske helningen. I virkeligheten er skråningen brattere enn det kommer frem her.

Laserbilder avslører mange langsgående sår i terrenget som kan være spor etter tidligere skredhendelser. Sporene kan sees ved ulike nivåer i skråningen, hvor flere har sitt utspring like nedstrøms en skogsbilveg, om lag 430 meter oppstrøms jernbanen. Disse ligger langs i et parti av skråningen hvor helningen går fra å være relativt slak til å bli brattere (høydedata, 2019). Flere av sporene følger skråningen som kanaler eller renner hele veien ned mot jernbanen. Et kartutsnitt hentet fra innlandsgis (2016) blir vist i figur 6.8. Figur 6.9 viser at mindre raviner også er godt synlige i en 3D-representasjon av skråningen.



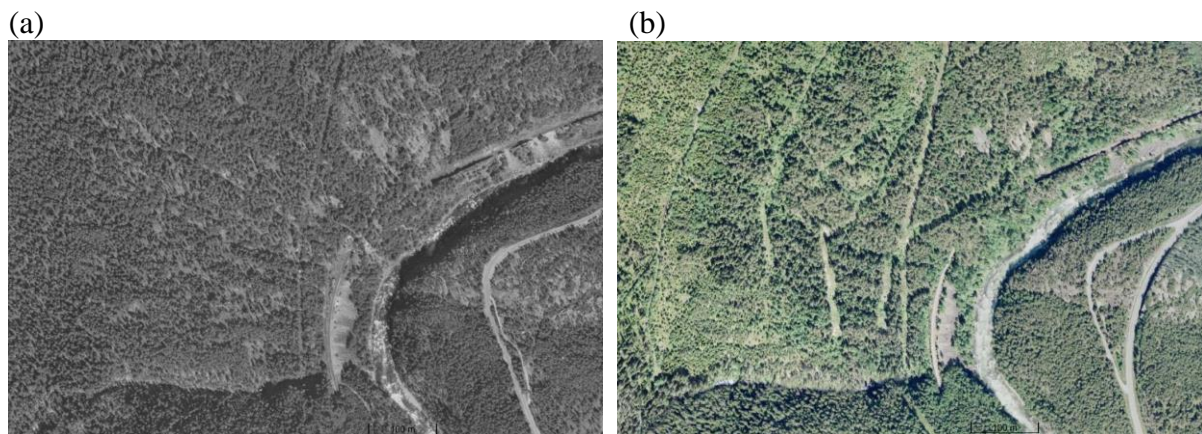
Figur 6.8: Figuren er et kartutsnitt hentet fra innlandsgis (2016). Punktene markerer en utsatt strekning mellom tunellene «ROSTEN NEDRE» og «ROSTEN MIDTRE» langs kilometerstrekningen 212-213,3. Pilene til venstre i uklippet markerer flere sår i terrenget som kan være spor etter utløsningsområdet til tidligere skred. Som vi ser følger flere av sporene skråningen som kanaler eller renner hele vegen ned mot jernbanen. Utklipp hentet fra Innlandsgis (2016).



Figur 6.9: Røde piler markerer raviner uten permanent vannføring. Utklipp hentet fra Norge i 3D (u.å.).

Ved å studere historiske flybilder, vist i figur 6.10, ser vi at de fleste skogsbilvegene oppstrøms jernbanen ble anlagt etter år 1969. Ettersom skogsbilveger ofte skaper kunstige vannveger,

anses det som en fare at disse vegene kan lede vann på avveie, hvilket videre kan føre til oppbygging av porevannstrykk og utløsning av skred i den delen av skråningen som vannet ledes til (Wasrud, 2015). Skogsbilvegene kan dermed ha forverret dreneringen til skråningen, og i kombinasjon med et våtere klima med flere og mer intense nedbørshendelser i fremtiden (Hanssen-Bauer et al., 2015; Norsk klimaservicesenter, 2017; Walberg & Devoli, 2014), kan faren for skred øke ytterligere. Etter en samlet vurdering, anslås faren for jord- og flomskred her å være svært stort. Enhetsstrekningen ble ikke trukket frem som utsatt for skred i resultatene fra 2015. Tre av stikkrennene langs strekningen ble for øvrig vurdert å ha for dårlig kapasitet.



Figur 6.10: Flyfotoene over Rosten ble tatt i henholdsvis (a) 1969 og i (b) 2005. Jernbanen er synlig som en buet strek langs med og vest for elva. Flybildene viser at de fleste skogsbilvegene ble bygget etter år 1969. Flybildene er hentet fra Finn kart (2017).

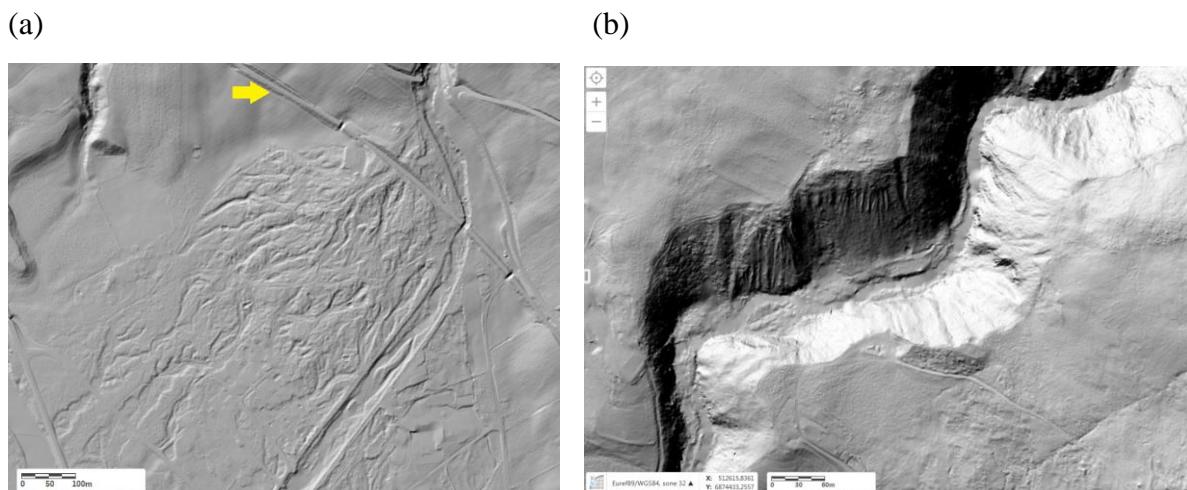
Eksempel 4: Fare for vann på avveie (DOVB km 332,7)

Ved dette punktet anses faren for vann på avveie å være stor. Laserbilder, vist i figur 6.11, viser tydelige spor i terrenget etter at vannmasser fra Einbugga har tatt flere løp tidligere. Vi kan også se at elva har gravd en dyp og bratt dal ned i løsmassene. På NGUs (2017) løsmassekart, kan vi se at dalsiden er dekket av et tykt lag med moreneavsetninger. På NGI Geodata (2017) sitt helningskart ser vi at de uteroderte dalsidene ned mot Einbugga er bratte (30-60°). Et utklipp fra løsmassekartet og bratthetskartet blir vist i figur 6.12. Faren anses å være høy for at skred går ned i elva som følge av underkutting og/eller vannmetning i kanalsidene. Jernbanen vil utsettes for fare dersom løsmassene tetter igjen vegbrua «Toftegjelet» som ligger oppstrøms jernbanen, og hvor vannmassene dermed tar ny veg. Skader kan også skje dersom massene ledes under brua og videre mot jernbanen, og tetter igjen jernbanebrua «Einbugå».

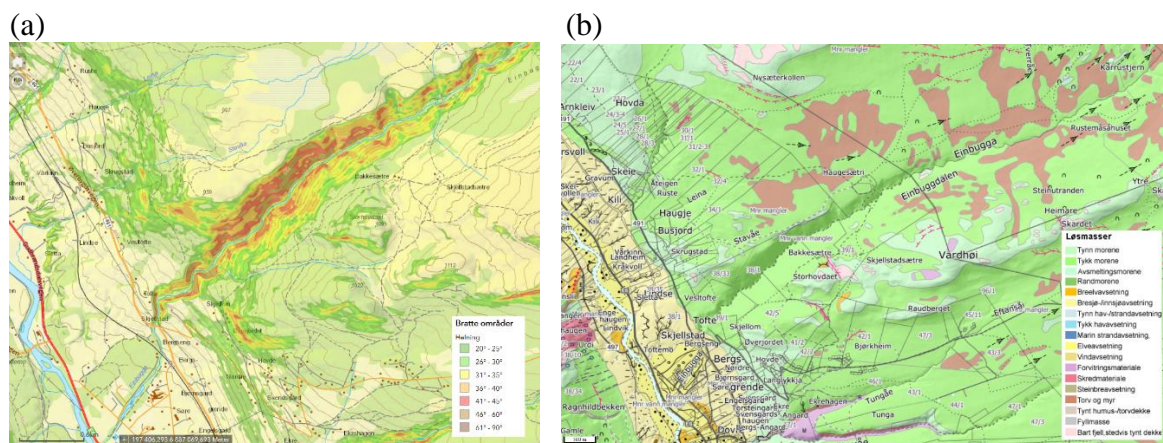
Nedbørsfeltet «Einbugga» ligger dessuten orientert mot vest-sørvest, og er dermed direkte utsatt for nedbør fra den dominerende nedbørsførende vindretningen (Statens vegvesen, 2010).

I følge NVE Atlas (2017) har de fleste registrerte skredene blitt utløst på østsiden av dalen i skråningene som vender mot sør/sørvest/vest. Det samme gjelder for registrerte skred mellom Dombås og Åndalsnes (NVE Atlas, 2017). Dette støtter teorien til Salter et al. (1983), som hevder at ekvatororienterte skråninger, som er mer utsatt for vær og vind, er mer utsatt for skred enn polorienterte skråninger. Nedbørsfelt som Eindugga kan derfor være mer utsatt for flom og skred enn tilsvarende lokaliteter med en annen orientering.

Det er for øvrig ingen som har ansvar for registreringer av skredhendelser som ikke har ført til skade på bygg eller infrastruktur (varsom.no, 2019). Registreringene bærer derfor tydelig preg av at de fleste skred er registrert i tilknytning til infrastruktur, som her er bygget på dalens østside over lengre strekninger. Årsakssammenhengen mellom flest skred på østsiden av dalen og skråningens himmelretning er derfor svært usikker.



Figur 6.11: (a) Laserbildet (innlandsgis, 2016) viser hvordan elva har forgrenet seg utover elvevifta ved tidligere hendelser. Gul pil markerer jernbanen. (b) Kartutklippet viser at løsmassene har stor mektighet og at elva har gravd seg dypt ned i massene. Utklippene er hentet fra Innlandsgis (2016).



Figur 6.12: (a) Helningskartet viser at skråningen ned mot elveløpet er bratt (NGI Geodata, 2017). Mer høyoppløselig høydedata er ikke tilgjengelig for dette området. (b) I følge løsmassekartet (NGU, 2017) er det store mektigheter med moreneavsetninger i elveløpet.

6.1.4 Behov for nye farekartlegginger

Langt flere utsatte strekninger identifisert under kartleggingene i 2019 enn i 2015, gir alene klare indikasjoner på at det bør gjennomføres nye detaljkartlegginger langs den undersøkte strekningen. Behovet understrekes imidlertid av at det i 2019 ble identifisert flere svært utsatte strekninger som ikke ble trukket frem som utsatte i det hele tatt i 2015. Gjennom diskusjonen kommer det frem at ulike metoder og faglige vurderinger ble lagt til grunn ved de to kartleggingene, og at grunnlaget for farevurderingene som i 2015 kan kritiseres for å være mangelfulle. Bane NOR anbefales derfor å bestille nye kartlegginger, hvor bestillingen formuleres med klare krav og retningslinjer for kartlegging av skred og vann på avveie.

Ved bestilling av nye kartlegginger bør det kreves at vurderingene blir gjort med utgangspunkt i en fullstendig forståelse av alle forhold og prosesser som har betydning for utløsning og rekkevidde av skred, og for utvikling av flom og flomforløpet (NVE, 2014a). Herunder bør det kreves at farene vurderes basert på analyser av hele skråningen, fra topp til bunn (Bane NOR, 2019, s. 2). Kartlegginger bør også vurdere faren for store og mer sjeldne hendelser, og analysene bør gjøres med utgangspunkt i et klima i endring (Byggteknisk forskrift, 2017).

Selv om tette stikkrenner med påfølgende vann på avveie er det største problemet (Norem et al., 2016), bør likevel ikke faren for jord- og flomskred underdramatiseres, da disse farene også er svært reelle i dette området (Walberg & Devoli, 2014). Det bør også kreves at de ulike farene sees i sammenheng med hverandre, ettersom det er flytende overganger mellom de ulike prosessene (Selby, 2005; Statens vegvesen, 2016).

For å unngå operatørpåvirkede resulater, bør det legges føringer for hvilke parametere som skal inngå i en eventuell GIS-analyse, samt hvordan disse skal vektet. Videre bør det kreves at automatiske analyseverktøy, slik som GIS, kombineres med faglige tolkninger av landskapet og hydrologiske forhold (Engeland et al., 2008), allerede under oversiktskartleggingene. Bestillingen bør også formulere en tydelig beskrivelse av hvilke begrep som skal benyttes, samt hvordan resultatene skal presenteres.

DEL 2

6.2 Flom- og kapasitetsberegninger

Resultatene fra flom- og kapasitetsberegningene gjort med den rasjonale formel og med NEVINA, viser at den helt klart dårligste kapasiteten ble beregnet med den rasjonale formel i 2019. Det mest interessante er for øvrig at det ble beregnet langt lavere flomverdier med NEVINA enn med den rasjonale formel, både sammenlignet med resultatene fra 2019 og fra 2015. Dette er overaskende ettersom det i 2015 ikke ble lagt inn et klimapåslag i beregningene. Videre var det også avvik mellom resultatene beregnet med den rasjonale formel. Det vil derfor være interessant å se på hvilke faktorer som kan forklare de ulike resultatene, hvilket vil belyse utfordringer ved de to metodene. Først vil mulige årsaker til avvik mellom resultatene beregnet med den rasjonale formel diskuteres. Deretter diskuteres mulige årsaker til lavere flomverdier beregnet med NEVINA. Årsakene til eventuelle avvik diskuteres gjennom sammeligninger av de valgte parameterverdiene, og gjennom en diskusjon rundt svakheter ved metodene.

For å likestille sammenligningsgrunnlaget, tas klimafaktoren bort fra flomberegningene gjort i 2019. På den måten er man i bedre stand til å studere hvorvidt valg av feltparametere kan forklare de avvikende resultatene. Behovet for klimapåslag og kapasitetsreduksjon som følge av gjentetting vil diskuteres i egne underkappitler. Deretter vil det gjøres en kort diskusjon rundt hvilke andre momenter som bør inngå i en vurdering av fare for tette stikkrenner. Til slutt brukes diskusjonen som grunnlag for å vurdere om det er behov for nye flom- og kapasitetsberegninger.

6.2.1 Årsaker til avvik mellom flomverdiene beregnet med den rasjonale formel

Ved bruk av den rasjonale formel for beregning av flomvannføring, multipliseres parameterne: Areal av nedbørsfelt (A), avrenningsfaktor (C), nedbørintensitet (I) og eventuelt en klimafaktor. Tabell 6.1 gir en oversikt over hvilke verdier som ble valgt for hver av parameterene ved beregningene gjort i 2019 og i 2015. I det følgende vil det diskuteres hvorvidt de ulike verdivalgene kan forklare avvikende resultater, og/eller representere en usikkerhet i beregningene.

Tabell 6.1: En oversikt over valg av parameterverdier valgt ved beregningene gjort med den rasjonale formel i 2019 og i 2015. Tallene fra 2015 er hentet fra Sandersen et al. (2015).

Stikkrenne (DOVB km)	Feltlengde (m)		Konsentrasjonstid (min)		A (haa)		C		I l/(s*ha)	
	2019	2015	2019	2015	2019	2015	2019	2015	2019	2015
206,85	2970	3288	72,3	80	168	136,7	0,5	0,52	75,35	75,7
207,03	1740	1214	48,6	38	47	21,9	0,515	0,52	83	121,1
207,76	2905	2740	71	70	243	255,1	0,51	0,52	78,70	85,2
208,47	3580	3083	92,3	81	189	152,1	0,49	0,52	55,00	72,4
221,25	2330	2633	59	66	128	95,2	0,52	0,52	71,92	88,7
223,11	1190	1264	32,4	35	18	15,1	0,505	0,52	116,11	125,50
229,33	2910	-	67,4	-	74	-	0,54	-	70,77	-
233,16	860	-	31,6	-	16	-	0,58	-	100,07	-
246,15	3200	-	76,2	-	258	-	0,535	0,52	69,26	-
261,45	1590	1520	37,2	36	61	19,2	0,51	0,52	85	124,2
261,74	2060	2172	47,2	50	98	109,4	0,51	0,52	80	106,9
262,29	2280	-	52,8	-	91	-	0,51	-	80	-

Ulik beregning av feltlengde, konsentrasjonstid og areal (A):

Beregnet feltlengde- og konsentrasjonstid er relativt lik for de feltene hvor verdiene er tilgjengelige. Arealverdien mellom de to målingene er også relativt like, hvor forskjellene varierer fra 2,9-42 haa. Sammenligner man parameterverdiene med de beregnede flomverdiene for hvert felt vist i tabell 6.1, ser vi at de mest avvikende flomverdiene ikke samsvarer med de feltene med mest ulike feltlengder, konsentrasjonstider og areal. Følgelig forklarer ikke disse parameterverdiene de avvikende resultatene for de undersøkte lokalitetene. En manuell oppmåling av feltet vil for øvrig være avhengig av at kartleggeren leser terrenget riktig. Ved et større utvalg, er det dermed ikke usannsynlig at avvikene mellom oppmålt areal, og dermed også feltlengde og konsentrasjonstid, kunne vært større.

Ulike valg av avrenningsverdi (C):

Problemet med valg av avrenningsverdi er at det i Norge finnes få nedbør- og avrenningsmålinger som kan legge grunnlag for dimensjonering og planlegging av avløpsanlegg. Følgelig anvendes ofte standardiserte avrenningsverdier hentet fra utenlandske studier (Magnussen et al., 2015). Det finnes flere kilder og retningslinjer for anbefalt valg av avrenningsverdi, hvilket er uheldig da valg av avrenningsverdi potensielt kan påvirke resultatene i stor grad. Vi ser imidlertid i tabell 6.1 at det ikke er store avvik mellom de valgte c-verdiene fra 2015 og 2019. De største forskjellene finnes for feltene km 206,85 og 208,47. Disse er ikke blant feltene med størst forskjeller i beregnet flomverdi. For det sammenlignede utvalget, kan dermed heller ikke ulike valg av avrenningsverdier forklare de avvikende

resultatene. Ser man på grunnlaget for valg av avrenningsverdier, vil man imidlertid oppdage at det ligger ulike føringer til grunn for verdivalg ved de to målingene.

Avrenningsverdiene fra 2015 er valgt i henhold til anbefalingene i gitt i Håndbok N200 (Statens vegvesen, 2014b), som anbefaler en verdi på 0,2-0,5 for skogsområder, hvor verdien 0,4 ble valgt som utgangspunkt for alle felt. Statens vegvesen (2014b) presiserer for øvrig at de høyeste verdiene er ment for beregning av avrenning ved nedbør med varighet over 3 timer. Ettersom flom i sidevasdrag ofte skyldes kortvarig og intens nedbør (Hanssen-Bauer et al., 2015; Stenius & Glad, 2015; Varsom, u.å.), er det mulig at de valgte avrenningsverdiene fra målingene gjort i 2015 er noe høyere enn det som anbefales av Statens vegvesen,.

Ved bruk av samme avrenningsverdi for alle felt, vil ikke variasjonene i overflatetype- og helning fanges opp. Ettersom ulike overflatetyper påvirker infiltreringsevnen til jorda i ulik grad (Stenius & Glad, 2015), ble avrenningsverdiene 2019 valgt med utgangspunkt i prosentandel av ulike typer overflater. Blant de undersøkte feltene er skog den dominerende overflatetypen, men i enkelte felt er også andelen dyrket mark stor, hvilket har påvirket verdivalgene. Dette kan forklare noe årsaken til ulike avrenningsverdier ved de to målingene.

Statens vegvesen (2014b) anbefaler at avrenningsverdien bør justeres opp med 30 % ved beregning av en 200-årsflom. Dette ble også gjort under beregningene i 2015, og den endelige avrenningsverdien ble satt å være 0,52 for alle felt (Sandersen et al., 2015). I Bane NORs (2019, s. 3) kravspesifikasjoner pekes det imidlertid på at 200-årsflommer ofte skyldes at regn faller på vannmettet eller frosset terreng, og at flom derfor kan inntreffe ved nedbørshendelser med kortere gjentakintervall enn 200 år. Ettersom det benyttes estimerte nedbørsverdier med 200-års gjentakintervall, mener Bane NOR derfor at det bør brukes konservative verdier ved beregning av 200-årsflommer. Avrenningsverdien bør med andre ord ikke justeres mye opp. I henhold til Bane NORs kravspesifikasjoner, bør eksempelvis en avrenningsverdi på 0,4 benyttes som utgangspunkt for beregning av 200-årsflom på skogkledde overflater (Bane NOR, 2019, s. 3). Dette innebærer at de valgte avrenningsverdiene fra 2015 er høyere enn Bane NORs nyformulerte krav. Se tabell 4.2 for en full oversikt over de anbefalte avrenningsverdiene.

En prosentvis oppjustering av avrenningsverdi vil også kunne føre til noen matematiske problemer, da 30 % verdiøkning vil utgjøre mye mer for en initialverdi på 0,5 enn for en verdi på 0,1. For impermeable overflater vil dessuten avrenningen være den samme ved alle nedbørmengder. Man kan dermed argumentere mot å benytte prosentvise oppjusteringer. Oppjustering av avrenningsverdi ved beregning av flommer med langt gjentakintervall vil

videre kunne føre til svært høye verdier dersom det i tillegg legges inn et klimapåslag i beregningene.

Samtlige av feltene målt i dette prosjektet hadde en helning brattere enn 15 %, og avrenningsverdien ble følgelig justert opp med 0,1 i alle felt, i henhold til Bane NOR sine krav. Helningen i de målte feltene varierte for øvrig fra 15-41 %, og en kan anta at de bratteste skråningene vil ha større avrenning enn de slakeste. Kravspesifikasjonene (Bane NOR, 2019, s. 3) utdyper imidlertid ikke hvorvidt eller i hvor stor grad verdien bør justeres opp ytterligere ved brattere helning, og det er mulig verdien burde vært justert opp enda mer i de bratteste feltene. Ved videre utvikling av kravspesifikasjoner, bør det gjøres undersøkelser av hvor mye avrenningen øker med økt helning.

Skråningens kurvatur vil også påvirke hvor stor avrenningen er. Innad i hvert nedbørsfelt kan det være både helt slake og svært bratte partier, hvor fordelingen, formen og plasseringen av disse vil påvirke grad av avrenning (Selby, 2005). I en skråning kan det eksempelvis være et loddrett fall på flere titalls meter som påvirker den gjennomsnittlige helningen, men som ikke nødvendigvis betyr at den totale avrenningen i skråningen er stor, dersom resten av skråningen er slak. Videre kan det være et slakt parti med gode innfiltreringsevner og/eller vannlagringskapasitet som kan bremse den totale avrenningen ned mot utløpet. Særlig dersom disse områdene er langt nede i skråningen, vil disse kunne virke flomdempende (Stenius & Glad, 2015). Slike analyser har imidlertid ikke påvirket avrenningsverdiene valgt i forbindelse med de nye beregningene heller, men problematikken belyser en aktuell utfordring ved justering av avrenningsverdi.

Vi ser at avrenningsverdien som settes ved bruk av den rasjonale formel er et uttrykk for operatørens valg av retningslinjer og egen tolkning av landskapet, noe som i stor grad vil kunne påvirke resultatene. Som vist i tabell 6.1, er de valgte c-verdiene ved målingene gjort i 2015 og 2019 for øvrig svært like. Av beskrivelsene gitt over ser vi imidlertid at det ligger ulike føringer til grunn for valg av verdi ved de to målingene. Like verdier virker dermed å være et resultat av tilfeldighet, heller enn at de samme vurderingene har blitt gjort. Selv om ulike avrenningsverdier i liten grad kan forklare ulike resultater blant det observerte utvalget, belyser diskusjonen at usikkerheten rundt valg av avrenningsverdi helt klart er en av de store svakhetene ved bruk av den rasjonale formel. Problemet kan for øvrig løses relativt enkelt ved at det utvikles et felles og godt formulert regelverk for valg av avrenningsverdi i det norske landskapet.

Ulike valg av IVF-kurver

IVF-statistikk bygger på observert klima og hydrologi (Norsk klimaservicesenter, 2019), og har blitt ført i de områdene hvor det eksisterer nedbørsdata med tilstrekkelig kvalitet og lengde. Det er mange vekt- og vippe-pluviometerstasjoner hvor det foreligger IVF-kurver i Norge i dag, men få målestasjoner har måleserier med tidsoppløsning på under 1 time, og nesten ingen har måleserier av korttidsnedbør som er eldre enn 25 år. For beregning av en 200-årsflom, vil dette innebære at returperioden er høyere enn lengden på de dataseriene som skal brukes. Som følge av korte måleserier bygger IVF-statistikken på modellering av den øvre del av frekvensfordelingen. Følgelig er det knyttet stor usikkerhet særlig til flommer med høye returperioder (NVE, 2015c).

Stasjonstettheten vil også ha mye å si for usikkerheten til estimatene. Jo større stasjonstettheten er, desto mindre usikre vil estimatene være (Norsk klimaservicesenter, 2019). Stasjonstettheten er svært lav i Gudbrandsdalen, og det er ingen pluviometerstasjoner med IVF-statistikk nord for Lillehammer (Førland et al., 2015). De fleste pluviometerstasjonene er dessuten bare operative i sommersesongen, og det eksisterer flere hull i datagrunnlaget (Sorteberg et al., 2018, s. 7).

En vil kunne få svært misvisende nedbørsverdier ved å velge beregnede IVF-kurver fra en nærliggende stasjon hvor klima er ulikt. Ved valg av IVF-kurver fra en eller flere målestasjoner, er det derfor nødvendig å vurdere hvilke av de nærliggende målestasjonene som har mest mulig likt klima som det undersøkte området, og ikke nødvendigvis velge stasjoner som ligger nærmest i luftlinje. En slik vurdering vil være operatørvhengig.

De mest nærliggende pluviometerstasjonene hvor det foreligger IVF-statistikk er på Gjøra i Sunndal, på Sæter i Kvikne, i Trysil, på Hamar og i Bråtå i Skjåk (Norsk klimaservicesenter, 2019). I 2015 ble avrenningen estimert med utgangspunkt i en middelvei av IVF-kurvene fra målestasjonene Trysil, Hamar, Lillehammer og Sæter i Kvikne, med aktuelle konsentrasjonstider fra 20 til 111 minutter. Middelveien for nedbør med kort varighet (30 minutter) ble forøvrig tilpasset, og lå nærmest verdier fra stasjonen Sæter i Kvikne (Sandersen et al., 2015).

En middelvei kan gi et forholdsvis dekkende bilde av hvordan avrenning vi kan forvente i hele regionen. I Gudbrandsdalen er det imidlertid relativt store lokale forskjeller i nedbørsrate og flomfare, og det er videre lokale forskjeller i utbredelsen av og styrke på kortvarige, intensive nedbørshendelser (Norsk klimaservicesenter, 2017). Som beskrevet i kapittel 2.2, har Gudbrandsdalen jevnt over et kontinentalt klima med kalde vintre, varme somre og relativt lite

nedbør. De nordlige deler av Gudbrandsdalen er blant de tørreste områdene i landet, hvor den årlige nedbørsraten i perioden 1971-2000 var under 300 mm/år ved Skjåk (Norsk klimaservicesenter, 2017). Til sammenligning var den normale årsnedbøren dobbelt så høy på Hamar, og om lag tre ganger så høy på Lillehammer, i Trysil og på Sæter i Kvikne i samme periode (Se Norge, 2019). Stor variasjonsbredde som følge av store ulikheter i nedbørsmengde på de mest nedbørsrike og nedbørsfattige områdene, gjør at en gjennomsnittverdi vil gi et feilaktig bilde av virkeligheten for enkelte lokaliteter hvor den årlige nedbørsraten er mye høyere eller lavere.

Videre kan topografiske ulikheter gjøre at klima er ulikt mellom to punkter som ligger i geografisk nærhet til hverandre. Temperaturen synker med en rate på om lag $0,98^{\circ}\text{C}$ per 100 m over havet (tør-adiabatisk rate). Når luften avkjøles vil den være i dårligere stand til å holde på vanndamp. Kondensasjon, skydannelse og nedbør forekommer derfor gjerne når luften presses opp en fjellside (Lalas & Einaudi, 1974). Forskjeller i temperatur, gjør dermed at også de hydrologiske forholdene kan være betydelig ulike i dalbunnen og på fjellet. Dette kan vi også se på nedbørskartet tilgjengelig på Se Norge (2019), hvor den årlige nedbørsraten for alle perioder alltid er høyere høyt over havet enn i dalbunnen like ved. Mange av nedbørsfeltene som går ned mot jernbanelinjen i Gudbrandsdalen har sine toppunkt på høyfjellet. Ved flomberegning av felt hvor en stor del av feltet ligger høyt til fjells, bør en derfor tilpasse nedbørsverdiene deretter. Dette vil imidlertid være utfordrende å gjennomføre.

Norsk klimaservicesenter (2019) anbefaler at det benyttes IVF-verdier fra målestasjoner med minst ti målesesonger. Blant målestasjonene benyttet i 2015, foreligger det målinger fra over 10 sesonger ved alle stasjonene, med unntak av i Trysil, hvor det i følge Norsk klimaservicesenter (2019) aldri har eksistert en pluviometerstasjon. Det er for øvrig bare målestasjonen på Hamar som fremdeles er operativ i dag. Målestasjonen på Lillehammer la ned i 1991 og Stasjonen på Kvikne la ned i 1984. Den årlige nedbørsraten i Norge har videre steget med 18 % siden år 1900, med størst økning fra slutten av 1970-tallet. Det har også vært tydelige tendenser til flere intense og mer kraftige nedbørshendelser på Østlandet i løpet av denne perioden (Hanssen-Bauer et al., 2015). Dermed er det mulig at dataene samlet inn ved de nedlagte målestasjonene bør regnes som utdaterte.

Som følge av lav stasjonsdekning og usikkert datagrunnlag ved nærliggende stasjoner, har derfor IVF-kurver i dette prosjektet blitt valgt ved å trykke på et vilkårlig punkt på nedbørintensitetskartet til Norsk klimaservicesenter (2019). Ved bruk av denne funksjonen estimeres nedbørsverdien med utgangspunkt i den romlige sammenhengen mellom intens

nedbør og ulike geografiske og meteorologiske variabler. Norsk klimaservisesenter (2019) understreker for øvrig at estimatene for et tilfeldig punkt på kartet fremdeles er upålitelige, spesielt i områder hvor stasjonstettheten er lav. Estimatene anses likevel å være mer nøyaktig enn IVF-statistikk fra nærliggende målestasjoner i et område med ulikt klima, og hvor måleseriene er korte og muligens utdaterte. Funksjonen er dessuten under utvikling, og vil trolig bli gjort tilgjengelig som et godt nok estimeringsverktøy frem i tid. For bruk i denne sammenhengen, hvor hensikten har vært å sammenligne beregningsmetoder, vurderes derfor estimatene å være tilfredsstillende.

Tabell 6.1 viser at de valgte nedbørsverdiene fra de to målingene, avviker i ulik grad, fra under 1 l/(s*haa) til opp mot 39 l/(s*haa) . De største avvikene gjelder for feltene tilknyttet stikkrenne km 207,03, 261,45 og 261,74. Ingen av disse er for øvrig blant feltene med de mest ulike flomresultatene. Ulike valg av nedbørsverdier kan derfor ikke alene forklare årsaken til ulike resultater. Diskusjonen har likevel belyst en aktuell problematikk knyttet til valg av nedbør-intensitetsverdi. Ved bestilling av nye kartlegginger bør det derfor formuleres klare føringer for dette.

Sammenligningene viser at det blant alle parametere har blitt valgt og målt ulike verdier i ulik grad, hvilket synliggjør den operatørsensitive svakheten til metoden. Det er for øvrig ingen av parameterene som skiller seg klart ut som årsak til de ulike resultatene. Ved et større observasjonsgrunnlag ville kanskje eventuelle tendenser vært mer synlige.

Rasjonale formel uegnet for beregning i store felt

Den rasjonale formel anbefales bare for små felt, mellom 2-5 km² (Statens vegvesen, 2014b), og kanskje enda mindre, fra 0,2-0,5 km² (Lindholm et al., 2008). Dette kommer blant annet av at formelen forutsetter at nedbøren har lik fordeling og faller med samme intensitet over hele nedbørsfeltet. Jo større feltet er, desto mer øker sjansen for lokale nedbørsvariasjoner. Under kapasitetsberegningene som ble gjort i 2015, ble den rasjonale formel benyttet til å beregne avrenningen i felt opp mot 2,55 km² (Sandersen et al., 2015), hvilket strider med anbefalingene gitt av Lindholm et al. (2008).

Formelen fungerer videre dårlig i nedbørsfelt med stor selvreguleringsevne. Ingen av feltene som inngår i beregningene gjort i dette prosjektet har for øvrig betydelige sjø- og myrområder. Den flomdempende effekten regnes dessuten å være mindre ved høyt gjentakintervall enn ved flommer med lavere returperiode (NVE, 2015c). Dette diskuteres derfor ikke ytterligere som

en utfordring ved beregninger i de utvalgte feltene. Det bør likevel reflekteres rundt denne svakheten ved beregning i felt hvor dette er aktuelt.

6.2.2 Årsaker til avvik mellom flomverdiene beregnet med NEVINA og den Rasjonale formel

Resultatene viser en trend av at det ble beregnet langt lavere flomverdier med NEVINA enn med den rasjonale formel, både sammenlignet med resultatene fra 2019 og fra 2015. Avvikene er synlige for alle felt, men er særlig påfallende blant de største feltene.

Beregningsverktøyet, NEVINA, er mer avansert enn den rasjonale formel, og benytter flere og andre parametere ved beregning av flom. Følgelig er det vanskelig å gjøre en direkte sammenligning mellom parameterverdiene som har blitt lagt til grunn ved beregning med de to metodene. Det vil likevel være mulig å sammenligne noen av parameterne, samt å diskutere grunnlaget for estimatene ved beregningsmetoden.

Ulik beregning av feltparametere

Ved beregning med NEVINA var det nødvendig å gjøre større eller mindre manuelle justeringer av feltgrensene i alle felt. For de fleste feltene var det også nødvendig å gjøre manuelle justeringer av de prosentvise overflateverdiene, hvor det noen steder var relativt store avvik mellom de beregnede verdiene og de tolkninger som ble gjort av flybilder og andre karttjenester. Verdivalgene er dermed et uttrykk for egen tolkning av landskapet. Følgelig samsvarer verdiene mellom NEVINA og den rasjonale formel fra 2019 fullstendig på alle punkt. Verdiene er derfor også relativt like verdiene beregnet med den rasjonale formel fra 2015. Ulike verdivalg av overflateprosent, feltlengde- og areal kan dermed ikke forklare forskjellene mellom resultatene. Det er imidlertid desto mer interessant at de beregnede flomverdiene er svært ulike, til tross mange like parameterverdier.

Tabell 6.2 gir en sammenstilling av de verdier som har blitt beregnet for feltlengde og areal ved de ulike beregningene, og tabell 6.3 viser en oversikt over overflateverdier valgt ved beregningene gjort med NEVINA og den rasjonale formel i 2019. Overflateverdiene fra beregningene gjort i 2015 er ikke tilgjengelige, og presenteres derfor ikke i tabellen.

Tabell 6.2: En oversikt over feltlengde og areal valgt ved hver av beregningene (RF = Rasjonale formel). Tallene fra 2015 er hentet fra Sandersen et al. (2015).

Stikkrenne (DOVB km)	Feltlengde (m)			A (haa)		
	NEVINA	RF 2019	RF 2015	NEVINA	RF 2019	RF 2015
206,85	2970	2970	3288	168	168	136,7
207,03	1740	1740	1214	47	47	21,9
207,76	2905	2905	2740	243	243	255,1
208,47	3580	3580	3083	189	189	152,1
221,25	2330	2330	2633	128	128	95,2
223,11	1190	1190	1264	18	18	15,1
229,33	2910	2910	-	74	74	-
233,16	860	860	-	16	16	-
246,15	3200	3200	-	258	258	-
261,45	1590	1590	1520	61	61	19,2
261,74	2060	2060	2172	98	98	109,4
262,29	2280	2280	-	91	91	-

Tabell 6.3: En oversikt over overflateverdier valgt ved beregninger gjort med NEVINA og den rasjonale formel i 2019 (RF = Rasjonale formel).

Stikkrenne (DOVB km)	Skog (%)		Dyrket mark (%)		Myr (%)		Snaufjell (%)	
	NEVINA	RF 2019	NEVINA	RF 2019	NEVINA	RF 2019	NEVINA	RF 2019
206,85	95	95	3	3	2	2	0	0
207,03	85	85	15	15	0	0	0	0
207,76	81	81	10	10	1	1	0	0
208,47	91	91	2	2	7	7	0	0
221,25	77	77	20	20	3	3	0	0
223,11	93	93	5	5	2	2	0	0
229,33	60	60	40	40	0	0	0	0
233,16	20	20	80	80	0	0	0	0
246,15	62	62	35	35	3	3	0	0
261,45	89,5	89,5	5	5	0,5	0,5	5	5
261,74	88	88	5	5	2	2	5	5
262,29	89	89	5	5	1	1	5	5

Det finnes ingen beskrivelser av hvordan NEVINA bruker informasjonen om prosentvise overflatetyper for å beregne avrenningsverdi. Selv om verdiene er like, kan dermed informasjonen ha blitt brukt på ulike måter, hvilket kan forklare noe av årsaken til ulike resultater mellom NEVINA og den rasjonale formel.

Utfordringer ved beregning av lavvannføring

I en rapport fra 2008, beskriver Engeland et al. (2008) hvordan alminnelig lavvannføring beregnes i umålte felt ved en regresjonsanalyse med feltparametere som forklaringsvariabler, slik NEVINA gjør. Undersøkelsene viste at sammenhengen mellom lavvansindeksene og feltkarakteristika var bedre for region Øst enn for de øvrige regionene. Det har imidlertid blitt utført kontroller av lavvanestimatene etter Bayestiansk prosedyre, for å måle hvor god modellen er i umålte felt. Resultatene viste at observasjonene av lavvansindeksene har en usikkerhet på omlag 20 %, hvor usikkerheten er særlig stor i regioner med store hydrologiske variasjoner og med tynt datagrunnlag. Av de 318 observerte feltene som danner grunnlag for beregning av lavvansindekser i umålte felt, eksisterer det få måleserier i Gudbrandsdalen og i områdene rundt (Engeland et al., 2008). Datagrunnlaget kan dermed regnes å være noe tynt, og usikkerheten må muligens beregnes å kunne være større enn 20 %. Estimaterne bør derfor brukes med forsiktighet i Gudbrandsdalen.

Kryssvalidering viste videre at regresjonsmodellen er mest presis i regioner med sommerlavvann, trolig ettersom isoppstuvning om vinteren kan føre til usikkerhet i måleresultatene. Selv om det generelt er vinterlavvann på Østlandet (Engeland et al., 2008), ser vi av tabell 6.4 at NEVINA har beregnet at det er sommerlavvann ved de fleste feltene målt i dette prosjektet. For tre av lokalitetene, som forøvrig har den nordligste geografiske plasseringen, er sommer- og vinterlavvannføring lik.

Tabell 6.4: Oversikt over sommer- og vinterlavvannføring i nedbørsfeltene tilknyttet de undersøkte stikkrennene.

Stikkrenne (DOVB km)	Vinter- lavvann I/(s*km ²)	Sommer- lavvann I/(s*km ²)
206,85	0,9	0,2
207,03	0,9	0,2
207,76	0,9	0,2
208,47	0,9	0,2
221,25	0,9	0,2
223,11	0,9	0,1
229,33	0,9	0,2
233,16	0,9	0,1
246,15	0,9	0,2
261,45	0,2	0,2
261,74	0,2	0,2
262,29	0,2	0,2

Engeland et al. (2008) anbefaler at lavvansindeksene brukes med forsiktighet i nedbørsfelt som er mye mindre eller større enn de nedbørsfelt som er brukt for å bestemme ligningene. Nedbørsfeltene brukt for å bestemme ligningene har størrelser ned mot 2 km², men de fleste

feltene er imidlertid opp mot 100 km² og mer, hvor noen av feltene er opp mot 2000 km² (Engeland et al., 2008). Til sammenligning har nedbørsfeltene som danner grunnlag for diskusjonen et areal fra 0,16-2,58 km². Det er dermed mulig at estimatene er noe uegnede for beregning i de minste feltene presentert i dette prosjektet. Dette kan forklare noe av årsaken til de store avvikene mellom resultatene beregnet med de ulike metodene, og gir videre indikasjoner på at NEVINA bør brukes med forsiktighet i små felt.

Usikkerheter ved automatisk beregning

NVE (2015d) understreker at det er stor usikkerhet knyttet til automatiske beregninger, og at resultatene kan inneholde feil. Det anbefales at det gjøres en verifisering av resultatene gjennom observasjoner og/eller gjennom en sammenligning av resultater fra nærliggende målestasjoner. Engeland et al. (2008) anbefaler dessuten at validiteten til estimatene vurderes basert på kunnskap om hydrologien i regionen.

I resultatrapportene produsert med NEVINA opplyses det at det er lagt inn et klimapåslag på 40 % i den endelige flomverdien i alle felt. De estimerte flomverdiene med og uten klimapåslag presenteres i hver sin rad i en tabell i rapporten. Blant de beregnede feltene, finnes det imidlertid flere tilfeller hvor det beregnede klimapåslaget er lavere eller høyere enn 40 %, og ved noen tilfeller er klimapåslaget helt utelatt fra beregningene. Figur 6.13 viser et utklipp fra tabellen tilknyttet stikkrenne km 223,11. Eksempelet viser at det ikke er lagt inn et klimapåslag i verdien som i utgangspunktet skal være oppjustert.

	m ³ /s	Q ^M l/(s*km ²)	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
Flomfrekvensfaktorer	-	-	1,17	1,50	1,67	2,17	2,50	2,83
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	0,1	590,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
Flomverdier (m ³ /s)	0,1	333	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,0	188	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	0,1	466,7	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2

Figur 6.13: Figuren viser et eksempel på at de estimerte flomverdiene med klimapåslag noen ganger presenteres uten klimapåslag.

Det er heller ikke lagt inn et klimapåslag på den beregnede flomverdien for feltet tilknyttet stikkrenne km 233,16. Feltene tilknyttet stikkrennene km 223,11 og 233,16 er de to minste blant de målte feltene, med et areal på henholdsvis 0,18 og 0,16 km². Det finnes også eksempler blant de 12 målte feltene, hvor klimapåslaget har blitt justert opp eller ned. Blant de øvrige feltene hvor klimapåslaget er justert opp eller ned virker det ikke å være et mønster mellom størrelse

og/eller vannføring og opp- og nedjustering av klimapåslag. Det er imidlertid for få observasjoner til å kunne bekrefte eller avkrefte slike mønster. Det anbefales å utføre undersøkelser av hvorvidt slike mønster eksisterer. Ved beregning med NEVINA bør det kontrolleres at det er lagt inn et klimapåslag i henhold til de nasjonale anbefalingene for den aktuelle regionen. Om klimapåslaget er lavere enn anbefalt, bør dette legges inn manuelt. Dersom det legges inn ulike klimapåslag i ulike felt, bør dette begrunnes.

6.2.3 Faktorer som bør inngå i beregningene

Klimapåslag

Som beskrevet i kapittel 2.3.1, viser analyser at høst- og vinterflomvannføringen kan øke med 21-30 % i Oppland mot år 2100. Størst økning vil trolig skje i små, bratte nedbørsfelt med kort responstid (Lawrence, 2016). I framskrivningene blir det imidlertid bare brukt klimamodeller med tidsoppløsning på ett døgn. Kortidsnedbør, som sannsynligvis vil ha desto større betydning for små nedbørsfelt, er ikke inkludert i beregningene, og Lawrence (2016) påpeker at verdiene kan være enda høyere for nedbørshendelser med kortere varighet. Sammen med mer kraftige nedbørshendelser, vil økende urbanisering, hvor arealene med tette overflater blir stadig større, kunne føre til at problemet med underdimensjonerte stikkrenner vil bli stadig større (Sekse, 2012; Wasrud, 2015).

Ved beregning av flom i Oppland anbefaler derfor Hanssen-Bauer et al. (2015) og Norsk klimaservicesenter (2017) et klimapåslag på minst 40 % ved beregning av regnskyll med varighet under 3 timer.

En fersk rapport utgitt av Norsk klimaservicesenter viser for øvrig til modeller som har beregnet at intense nedbørshendelser med varighet 3 timer og med et gjentakelsesintervall på 200 år, kan øke opp mot 50 %, dersom utslippene ikke reduseres (Sorteberg et al., s. 8). Flomstørrelsen kan videre øke opp mot 60 % i vassdrag som i dag domineres av regnflommer, dersom klimagassutslippene fortsetter som i dag (Hanssen-Bauer et al., 2015). Et klimapåslag på 40 % bør derfor være et minimum ved beregning av 200- årsflom i små bratte nedbørsfelt i Gudbrandsdalen, og bør legges inn som et krav ved bestilling av nye beregninger. Dette bør kreves uavhengig av beregningsmetode.

Ved beregning av flom i dette prosjektet ble det derfor lagt inn et klimapåslag på 40 %, i henhold til de nasjonale anbefalingene (Norsk klimaservicesenter, 2017). Beregningene fra 2015 ble

derimot gjort uten en klimafaktor. Sammenligninger av resultatene viser at det er denne variabelen som i størst grad kan forklare hvorfor det ble målt høyere flomverdier med den rasjonale formel i 2019 enn i 2015. Dersom beregningene fra 2015 blir brukt videre, bør verdiene justeres opp i henhold til anbefalingene.

Størrelsen på feltet, feltets helning, overflatetype, vannmagasinering i innsjøer, snø, markvann og grunnvann vil for øvrig påvirke effekten av endringer i klima. Derfor er det utfordrende å forutse hvilke konsekvenser økt nedbør kan få for avrenningen i et nedbørsfelt. For å gjøre gode analyser av dette, bør den hydrologiske modellen justeres etter de lokale egenskapene i hvert enkelt nedbørsfelt (Lawrence, 2016). Som diskutert i kapittel 4.2.2, ble en slik justering gjort automatisk ved beregningene utført med NEVINA. Dersom det gjøres slike vurderinger, bør imidlertid valget begrunnes.

Reduksjon av stikkrennedimensjon ved beregning

Befaringer gjennomført av Reinertsen AS og Statens vegvesen avdekket at flere av stikkrennene gjennom jernbanefyllingen hadde en gjentetting på ca. 80 % (Sellevoid & Edvardsen, 2013). Under befaringene gjort i forbindelse med kartleggingene i 2015, fant Sandersen et al. (2015) dessuten tilfeller hvor stikkrenner hadde opp mot 95 % gjentetting. Som følge av dette hadde opphopning av vann flere steder ført til fullstendig utskylling av jernbanefyllingen under flommen i 2013. Det var observasjoner av gjentetting og stikkrennenes generelle forfatning som i størst grad påvirket det nominelle farenivået estimert i 2015, hvor de mest gjentettede stikkrennene ble trukket frem som kritiske i rapporten (Sandersen et al., 2015).

Det vil ikke være mulig å gjøre en vurdering av hvorvidt og i hvor stor grad hver stikkrennene er gjentettet bare gjennom fjernanalyse. Resultatene fra 2015 viser dermed nødvendigheten av feltbefaringer når det skal gjøres vurderinger av nominell fare, da det bare er gjennom feltbefaringer en vil få inntrykk av hvilke stikkrenner som er utsatt for den største reelle faren ved kartleggingstidspunktet, og hvor tiltak bør prioriteres.

To lokaliteter besøkt under befaringene i juli i forbindelse med dette prosjektet blir vist i figur 6.14. Bildene viser eksempler på at sedimenter har blitt avsatt ved inn- og utløpet til to stikkrenner. Stikkrennene har ikke stor gjentetting, men viser likevel at blokkering kan forekomme.

(a)



(b)



Figur 6.14: (a) Eksempelet viser at sedimenter har blitt transportert gjennom stikkrennen og avsatt ved utløpet. (b) Eksempelet viser at sedimenter har blitt avsatt ved innløpet til stikkrennen (Vatne, 2018ab).

Det er for øvrig svært tid- og ressurskrevende å gjennomføre jevnlig befaringer av alle stikkrenner (G. Vatne, personlig kommunikasjon, 28. september 2018). Rene feltbaserte farevurderinger kan dessuten føre til en bagatelisering av faren til stikkrenner som ikke har blitt befart, men hvor gjentettingen i realiteten kan være like stor. Derfor bør det allerede under oversiktskartleggingene tas høyde for en viss kapasitetsreduksjon som følge av gjentetting. Bane NORs tekniske regelverk (2018) anbefaler at stikkrenner som har en gjentetting på $>20\%$, bør renskes. En kan dermed gå ut fra at det ikke settes av ressurser til rens av stikkrenner som har en lavere gjentetting enn dette. Ved beregning av stikkrennenes kapasitet, bør dimensjonen derfor reduseres med 20% allerede under oversiktskartleggingene, slik det ble gjort i 2019. Dette forklarer naturligvis mye av grunnen til at kapasiteten ble beregnet å være langt dårligere med den rasjonale formel i 2019 enn i 2015.

Resultatene fra dette prosjektet er for øvrig bare basert på matematiske beregninger, og noen av stikkrennene kan i virkeligheten ha mindre eller mye større gjentetting. Ettersom befaringer har vist at flere stikkrenner har mye større gjentetting enn dette (Sandersen et al., 2015; Sellevold & Edvardsen, 2013), bør imidlertid en reduksjon på 20% være et minimum ved matematisk beregning av kapasitet. Den nominelle faregraden kan deretter justeres etter risikovurderinger og observasjoner gjort i felt, slik gjort i 2015. For best mulig etterprøvnbarhet bør imidlertid de rene matematiske beregningene alltid legges ved.

6.2.4 Øvrige faktorer som bør inngå i en analyse av faren for tette stikkrenner

Vurdere faren for tette stikkrenner sammen med andre prosesser

Underdimensjonerte og gjentettede stikkrenner blir trukket frem som det største problemet i NGIs rapport fra 2015 (Sandersen et al., 2015). Som beskrevet i kapittel 3.4.4, kan gjentetting skje ved erosjon i bekke/elveløp og påfølgende masseføring i vannmassene (Bane NOR, 2019, s. 3; Norem et al., 2018; Statens vegvesen, 2014a). Masseføringen kan også bli stor dersom det utløses flomskred i bekke/elveløpet, eller at jord- eller flomskred utløses i sideskråningene og løper ned i bekkeløpet (NVE, 2014a; Sellevold & Edvardsen, 2013). Når faren for vann på avveie som følge av gjentettede stikkrenner skal vurderes, bør det derfor også gjøres vurderinger av sedimenttilgangen. Som påpekt i kapittel 4.1 og diskutert i kapittel 6.1.2.3, bør derfor faren for gjentetting, vann på avveie, jordskred og flomskred vurderes som del av den samme kartleggingen. Prosessene bør dermed sees sammen både under oversiktskartleggingene, men også ved detaljkartleggingene.

Av rapporten fra 2015 kommer det imidlertid i liten grad frem hvorvidt det ble gjort vurderinger av sedimenttilgangen i bekkeløpet og fare for massetransport, med noen unntak. De stikkrenner som trekkes frem som mest utsatte, virker dermed i størst grad å omfatte stikkrenner som allerede var fylt med sedimenter på kartleggingstidspunktet. Stikkrenner hvor *potensialet* for gjentetting er stort, blir i liten grad synliggjort. Resultatene sier dermed lite om faren for gjentagelse.

Som påpekt i kapittel 6.1.1, kan videre vann på avveie skyldes andre ting enn gjentetting av stikkrenner under jernbanen (Bane NOR, 2019, s. 1). Kartlegging av fare for vann på avveie bør derfor også omfatte vurderinger andre mulige problemområder som kan føre til en slik situasjon.

Effekten av sikringstiltak

Det har blitt bygget ny E6 oppstrøms jernbanen langs lange strekninger i Gudbrandsdalen. I forbindelse med vegprosjektet, ble det gjort en rekke tiltak for å hindre vann- og sedimenter å gjøre skader på vegnettet under flom. Herunder ble det blant annet bygget sedimentasjonsbasseng og sedimentfangere (Statens vegvesen, 2018, s. 15). Trolig vil flere av stikkrennene som ligger nedstrøms slike tiltak være mindre utsatt for problemer med massetransport enn

tilsvarende stikkrenner som er direkte utsatt for flomvann og masser, eller ligger nedstrøms eldre fylkes- eller kommunalveger. Ved detaljkartlegginger bør det gjøres vurderinger av hvorvidt disse tiltakene har ført til redusert fare for jernbanen langs de aktuelle strekningene. Effekten av øvrige sikringstiltak bør også inkluderes i farevurderingene ved en detaljanalyse. Enkelte tiltak kan ha forøvig forverre problemene dersom disse er utformes feil. Ofte skaper sikringstiltak et vedlikeholdspunkt som ikke blir fulgt opp (G. Vatne, personlig kommunikasjon, 29.11.2018).

6.2.5 Behov for nye flom- og kapasitetsberegninger

Svært ulike resultater mellom de to beregningsmetodene og også mellom resultater beregnet med den samme metoden, sees som et signal om at det bør gjøres nye flom- og kapasitetsberegninger langs den kartlagte strekningen. Dette bør særlig gjøres langs kjente problemområder.

Under kartleggingene i 2015 ble det for øvrig bare gjort flom- og kapasitetsberegninger langs kjente problemområder, i til sammen 40 felt (Sandersen et al., 2015). Sandersen et al. (2015) påpekte at det trolig er flere stikkrenner med utilstrekkelig kapasitet enn de som ble kartlagt i prosjektet. Bare mellom Dombås og Dovre, en strekning på 12,5 km, er det eksempelvis om lag 100 stikkrenner og 15 broer (Banekart, u.å.), og følgelig mange potensielle problemområder. Dette betyr at det er mange lange strekninger mellom Fåberg og Dombås hvor det ikke har blitt gjort beregninger. Bane NOR anbefales følgelig å foreta flom- og kapasitetsberegninger og farevurderinger i flere felt. En liste over strekninger uten beregninger er samlet i vedlegg 5.

6.2.4 Anbefalte beregningsmetoder

Ved beregning av flom er det viktig at det benyttes en metode som er egnet til beregning i det aktuelle feltet, og til beregning av den gitte flomstørrelsen. Metoden som bør brukes er videre avhengig av tilgjengelig data og kvalitet på data (Stenius et al., 2015). Ved bestilling av nye farekartlegginger, bør det derfor legges føringer for hvilken metode som bør benyttes i ulike felt. Det bør også settes strenge krav til valg og justering av parametere i analysen.

Den rasjonale formel egner seg mulig bare for beregning i felt med areal opp mot 0,5 km² (Lindholm et al., 2008). Videre kan metoden kritiseres for å være operatørvhengig, da det er kartleggeren selv som bestemmer alle parameterverdiene i ligningen. De tre minste feltene blant de beregnede feltene, har et areal fra 0,16-0,47 km², hvilket er innenfor de anbefalninger som

blir gitt. Relativt små avvik mellom resultatene blant de minste feltene, både mellom den rasjonale formel, men også mellom den rasjonale formel og NEVINA, kan indikere at den rasjonale formel er god nok for beregning i små felt. Observasjonsgrunnlaget er imidlertid ikke stort nok til å fastslå dette. Det bør her påpekes at avvikene mellom de minste feltene heller ikke er ubetydelige.

Diskusjonen synliggjør svakheter med den rasjonale formel som beregningmetode, men viser samtidig at forholdsvis enkle grep kan gjøres for å kvalitetssikre beregningene. Herunder bør det etableres klare føringer for valg av avrenningsverdi og nedbør-intensitetsverdi. Selv om det legges føringer for valg av nedbør-intensitetsverdi, vil for øvrig denne parameteren være et usikkerhetsmoment så lenge datagrunnlaget er manglende.

Diskusjonen viser at det også er usikkerheter knyttet til beregninger med NEVINA. Offentlig forvaltning har imidlertid behov for en metode som i så liten grad som mulig er operatør-avhengig, for beregning av flom i felt hvor det ikke eksisterer målinger. Av de utprøvde metodene regnes regional regresjon å være den metoden som gir best prediksjon, og hvor det foreligger minst usikkerhet rundt estimatene. Det har derfor blitt bestemt at regional regresjon benyttes for beregning av lavvannsindekser i felt uten målinger (Engeland et al., 2008).

Diskusjonen har imidlertid vist at de automatisk beregnede feltverdiene kan være unøyaktige, og må tilpasses manuelt. Følgelig vil også NEVINA være sensitiv for kartleggerens tolkninger av landskapet. NEVINA begrenses videre av at tjenesten ikke er ferdig utviklet, og at det i stor grad bare eksisterer beregningsgrunnlag i felt over en viss størrelse. Engeland et al. (2008) har dessuten påpekt at metoden bør benyttes med forsiktighet i veldig små felt og i områder med få måleserier.

Diskusjonen viser dermed at den rasjonale formel kanskje er bedre egnet for beregning i svært små felt enn NEVINA, dersom det legges klare føringer for valg og beregning av feltparametere, og at NEVINA kanskje bør foretrekkes i større felt, dersom datagrunnlaget er godt nok.

Det er imidlertid et behov for å gjøre mer grundige tester av hvorvidt de to metodene egner seg for henholdsvis små, mellomstore og store felt, og om det bør anbefales ulike metoder for ulike områder, avhengig av stasjonstetthet og datagrunnlag. Så lenge det eksisterer store usikkerheter ved beregningene, bør flere metoder kombineres ved beregning av flom. Resultatene bør også kontrolleres, hvor validiteten til estimatene vurderes basert på kunnskap om hydrologien i regionen (Engeland et al., 2008).

Uansett beregningsmetode bør det kreves at det blir lagt inn et klimapåslag jamfør nasjonale anbefalinger (Norsk klimaservicesenter, 2017). Det bør kanskje også kreves at stikkrennenes dimensjon reduseres ved beregning av kapasitet, som følge av tilslamming. Ved farevurdering bør det også kreves at vurderingene i større grad retter fokus mot faren for massetransport. Herunder bør faren for jord- og flomskred i/mot bekkeløp inngå i analysen. For best mulig etterprøvbarehet og resultatkontroll bør imidlertid de matematisk beregnede flom- og kapasitetsverdiene alltid legges ved sammen med farevurderinger som gjøres med grunnlag i tolkninger, observasjoner eller risikovurderinger.

7 Konklusjoner

Gudbrandsdalen er blant de mest skred- og flomutsatte områdene i landet. I et våtere og villere klima, som følge av global oppvarming, vil farekartlegginger være desto mer viktig for å øke samfunnssikkerheten (NVE, 2015a).

1. Resultatene fra kartleggingene gjort i 2015 trakk frem vann på avveie, som følge av underdimensjonerte eller tette stikkrenner, som den største utfordringen langs den kartlagte strekningen (Sandersen et al., 2015). Oversiktskartlegginger gjort i forbindelse med dette prosjektet har imidlertid vist at faren for jord- og flomskred kan ha blitt kraftig undervurdert ved de forrige kartleggingene. Det mest oppsøynsvekkende funnet ved en sammenligning av de to resultatene, var at flere av strekningene som ble vurdert å være utsatt for svært stor fare i 2019, ikke ble trukket frem som utsatte i det hele tatt i 2015. Ved mange tilfeller ble dessuten ulike vurderinger lagt til grunn ved tolkning og estimering av faren. Dette er synlig blant de strekninger som ble trukket frem som utsatte begge årene. Diskusjonen har vist at kartleggingene gjort i 2015 kan kritiseres for å være mangelfulle. Avvikende resultater og flere identifiserte fareutsatte strekninger i 2019, gir klare signaler om at nye detaljkartlegginger bør gjennomføres langs Dovrebanen mellom Fåberg og Dombås.
2. Resultatene fra flom- og kapasitetsberegningene viste at den helt klart dårligste kapasiteten ble beregnet med den rasjonale formel i 2019. Det mest interessante er for øvrig at det ble beregnet langt lavere flomverdier med NEVINA enn med den rasjonale formel, både sammenlignet med resultatene fra 2019 og fra 2015. Dette er overaskende, ettersom det i 2015 ikke ble lagt inn et klimapåslag i beregningene. Diskusjonen viser at det eksisterer svakheter både ved den rasjonale formel og ved NEVINA. Den rasjonale formel er svært operatørvhengig, og egner seg kanskje bare for beregning i felt med areal opp mot 0,5 km² (Lindholm et al., 2008). NEVINA er mindre operatørvhengig, men bør kanskje ikke benyttes i felt mindre enn 2 km². Metoden bør dessuten brukes med forsiktighet i områder med dårlig beregningsgrunnlag (Engeland et al., 2008), slik som i Gudbrandsdalen. Store avvik mellom resultatene gir klare indikasjoner på at det bør utføres nye beregninger. Valg av beregningsverktøy bør imidlertid være nøye overveid.

8 Forslag til videre arbeid

8.1 Nye detaljkartlegginger langs jernbanen mellom Fåberg og Dombås

Det bør gjøres nye kartlegginger av fare for jord- og flomskred og vann på avveie langs jernbanen mellom Fåberg og Dombås. Ved bestilling av nye kartlegginger bør følgende punkt tilføres kravspesifikasjonene:

- Kravspesifikasjonene bør tydeliggjøre at som del av en vurdering av de lokal-klimatiske forholdene, må det også gjøres vurderinger av potensielle effekter av klimaendringer.
- Det bør spesifiseres at det også må gjøres vurderinger av faren for store og mer sjeldne hendelser.
- Jordskred kan utvikle seg til å bli flomskred ved innblanding av mer vann (Sandersen, 2014; Selby, 2005), og løsmasseskred i/mot et bekkeløp kan føre til vann på avveie (Sellevold & Edvardsen, 2013; NVE, 2014a). Videre kan løsmasseskred utløses som følge av steinsprang (NGU, 2015a). Ved bestilling av nye kartlegginger bør det derfor settes krav om at de ulike farene må sees i sammenheng med hverandre, da det er flytende overganger mellom de ulike prosessene, og at én hendelse kan lede til en annen (Selby, 2005; Statens vegvesen, 2016).
- Det kan med fordel legges føringer for hvilke parametere som skal inngå i en eventuell GIS-analyse, samt hvordan disse skal vektet.
- Det bør kreves at automatiske analyser utført med GIS kombineres med fagbaserte tolkninger, allerede under oversiktskartleggingene.
- Det bør settes krav om begrepbruk.

8.1.1 Nye flom- og kapasitetsberegninger

Som en del av nye detaljkartlegginger, bør det også utføres nye flom- og kapasitetsberegninger, både i kjente problemområder, men også langs strekninger som ikke ble kartlagt i 2015. Strekninger hvor det ikke ble gjort flom- og kapasitetsberegninger i 2015 listes opp i vedlegg 5.

Som diskutert gjennom oppgaven, er det viktig at det benyttes en metode som er egnet til beregning i det aktuelle feltet, og til beregning av den gitte flomstørrelsen. Metoden som brukes bør videre avhenge av tilgjengelig data og kvalitet på data (Engeland et al., 2008). Ved bestilling av nye farekartlegginger, bør det derfor legges føringer for hvilken metode som bør benyttes i

ulike felt. Det bør også settes strenge krav til valg og justering av parametere i analysen. Under følger en oppsummering av de anbefalinger som blir gitt i diskusjonen:

- Den rasjonale formel egner seg kanskje bare for beregning i felt med areal opp mot 0,5 km² (Lindholm et al., 2008), og bør derfor brukes med forsiktighet ved beregning i større felt. Ved beregning i større felt, bør metoden kombineres med andre metoder. Ved bruk av metoden, bør det også legges føringer for valg av IVF-kurver.
- Beregninger utført med NEVINA påvirkes i mindre grad av kartleggerens tolkninger og valg av parameterverdier, og verktøyet gir i utgangspunktet bedre prediksjon ved beregning i umålte felt og i større felt. NEVINA bør for øvrig brukes med forsiktighet i områder med dårlig beregningsgrunnlag (Engeland et al., 2008), slik som i Gudbrandsdalen. Metoden bør ikke benyttes uten kombinasjon med andre målemetoder i felt mindre enn 2 km².
- Grunnet usikkerheter med begge metodene, bør imidlertid flere metoder kombineres ved beregning av flom. Resultatene bør også kontrolleres, ved at validiteten til estimatene vurderes basert på kunnskap om hydrologien i regionen (Engeland et al., 2008).
- Det bør settes et tydelig krav om at det legges inn et klimapåslag jamfør nasjonale anbefalinger (Norsk klimaservicesenter, 2017). Dersom beregningene fra 2015 blir brukt videre, bør resultatene justeres opp med et klimapåslag på 40 %. Ved bruk av NEVINA, bør det kontrolleres at det er lagt inn riktig klimapåslag i beregningene. Det bør videre ghøre undersøkelser som søker å identifisere et mønster mellom størrelse på felt eller andre feltegenskaper og størrelse på det automatisk beregnede klimapåslaget.
- Det bør vurderes om det skal kreves at dimensjonen til stikkrennene må reduseres med 20 % ved kapasitetsberegninger.
- For best mulig etterprøvnbarhet og kontroll bør de matematisk beregnede resultatene alltid legges frem sammen med observasjons- og risikobaserte farevurderinger.

8.1.2 Karbondateringer

I forbindelse med nye kartlegginger ville det vært interessant å utføre karbondateringer i skred- og elvevifter, for å få et begrep om hvor ofte uønskede hendelser har forekommet. Denne

informasjonen kan være nyttig i forhold til å si noe om sannsynligheten for en ny hendelse (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016).

8.2 Undersøke om kartlegginger i andre områder er gode nok

Diskusjonen gjort i denne oppgaven har identifisert betydelige mangler ved tidligere kartlegginger langs jernbanen mellom Fåberg og Dombås. Gode kartlegginger er svært viktig for å bedre samfunnssikkerheten (NVE, 2015a), særlig i et klima hvor vi kan forvente flere og større uønskede hendelser (Bogen et al., 2016; Byggteknisk forskrift, 2017; Hanssen-Bauer et al., 2015; Lawrence, 2016; Norsk klimaservicesenter, 2017; NVE, 2011; Pachauri et al., 2014; Sellevold & Edvardsen, 2013). Ved å avdekke mangler ved kartleggingene gjennomført i denne området, kan man også gå ut fra at det eksisterer lignende tilfeller andre steder. Det vil derfor være svært viktig å gjøre lignende undersøkelser i andre områder i landet, for å undersøke om eksisterende kartlegginger er gode nok.

8.3 Et felles nasjonalt regelverk for bruk av den rasjonale formel

Det bør det etableres et felles nasjonalt regelverk for kriterier ved bruk av den rasjonale formel. Herunder bør det formuleres klare føringer for valg av avrenningsverdi og nedbørintensitetsverdier. Det bør også legges føringer for hvor mye de ulike overflatetyperne skal vektes ved beregning av avrenningsverdi, og det bør vurderes hvorvidt avrenningsverdien skal justeres opp ytterligere ved svært bratt helning.

8.3.1 Oppjustering av avrenningsverdi ved bratt helning

I henhold til Bane NOR (2019, s. 3) sine nye kravspesifikasjoner, skal avrenningsverdien justeres opp med 0,1 ved beregning i skråninger med helning $>15\%$. Det bør for øvrig også gjøres undersøkelser av hvor mye avrenningen vil øke ytterligere ved enda brattere helning. Det bør også gjøres vurderinger av hvorvidt avrenningsverdien bør justeres etter feltets form, ettersom dette også vil påvirke avrenningen (Selby, 2005). I en skråning kan det eksempelvis være et loddrett fall forholdsvis langt oppe i feltet, som påvirker den gjennomsnittlige helningen, men som ikke nødvendigvis betyr at den totale avrenningen i skråningen er stor, dersom resten av skråningen er slak.

8.4 Oppdimensjonering av nye drenerør

Gjentetting i forkant av en flomhendelse har vist seg å være et normalt problem som ofte er årsaken til at vann tar nye veier (Sandersen et al., 2015; Sellevold & Edvardsen, 2013). Ved

dimensjonering av nye stikkrenner, bør disse derfor dimensjoneres opp 20 % for å ta høyde for å kunne takle minimum 1/5 gjentetting ved en 200-årsflom. Dette bør særlig vurderes i områder med fare for massetransport. Tiltaket er kostnadskrevenende, men kan på sikt være kostnads- og ressursbesparende, ettersom faren for gjentetting, vann på avveie, skader på konstruksjonene og de konsekvenser dette vil medføre, vil reduseres (G. Vatne, personlig kommunikasjon, 29.11.2018). Slike tiltak vil videre kunne redusere behovet for sikringstiltak oppstrøms jernbanen. Faren for uønskede effekter som følge av dårlig utførte sikringstiltak oppstrøms jernbanen vil også kunne reduseres. Kostnad-nytte-problematikken vil ikke analyseres eller kommenteres utover dette i denne sammenhengen.

Referanser

- Banekart (u.å.). [Kartportal med oversikt over jernbanenettet i Norge, utviklet av Bane NOR]. Hentet 20. april, 2019, fra: <http://banekart.banenor.no/kart/>
- Bane NOR. (2019). *Kravspesifikasjon for kartlegging av fare for skred og vann på avveie for Bane NOR*. Upublisert manuskript. Trondheim: Bane NOR.
- Bane NORs tekniske regelverk. (2018). *Underbygging/vedlikehold/drenering (520)*. Hentet fra <https://trv.jbv.no/wiki/Underbygning/Vedlikehold/Drenering#Stikkrenner>
- Bargel, T. H., Fergus, Å. T, Devoli, G., Orvedal, K., Peereboom, I., Øydvin, E. K., ... Rubensdotter, L. . (2011). Plan for skredfarekartlegging – Delrapport jordskred og flomskred, 16.
- Bergheim, J. (2011a) *Flomskred i Skrednes, Balestrand, Sogn og Fjordane 26. desember 2011* [Fotografi]. Hentet fra: http://www.naturfare.no/_attachment/506973/binary/819611
- Bergheim, J. (2011b) *Flomskredvifte, Bakkevik i Skrednes, Balestrand* [Fotografi] Hentet fra: http://www.naturfare.no/_attachment/506973/binary/819611
- Bergstrøm, S. (1995). *The HBV model*. Computer models of watershed hydrology: Singh, V.P. (Red.) Water Resources Publications, Highland Ranch, 443-476.
- Bogen J., Bønsnes, T. E., Moquet-Stenback, A., Xu, M. & Elster, M. C. (2016). *Gudbrandsdalslågen Sedimentkilder og sedimenttransport som bakgrunn for tiltak i forvaltningsplanen*. (NVE-rapport 16:89). Hentet fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_89.pdf
- Boje, S. C. H. & Devoli, G. (2014). *Terskelstudier for utløsning av jordskred i Norge: Oppsummering av hydrometeorologiske terskelstudier ved NVE i perioden 2009 til 2013*. (NVE-rapport 2014:43) Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_43.pdf
- Bonnin, G. M., Martin, D., Lin, B., Parzybok, T., Yekta, M., & Riley, D. (2006). Precipitation-frequency atlas of the United States. *NOAA atlas, 14(2)*, 1-65.
- Byggteknisk forskrift. (2017). *Veiledning om tekniske krav til byggverk (TEK17)*. Hentet fra <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/7/7-2/>
- Carlston, C. W. (1964) Drainage density and streamflow: Physiographic and hydraulic studies of rivers (Utg. 2). Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.
- DeGaetano, A., Zarrow, D., & Center, N. R. C. (2011). Extreme Precipitation in New York & New England. *An Interactive Web Tool for Extreme Precipitation Analysis*. Ithaca: NY.

- Dyrddal A. V., Lenkoski, A., Thorarinsdottir, T. L., & Stordal, F. (2015). Bayesian hierarchical modeling of extreme hourly precipitation in Norway. *Environmetrics*, 26(2), 89-106.
- Engeland, K., Hisdal, H., Orthe, N. K., Petersen-Øverleir, A., & Voks, A. (2008). *Lavvannskart for Norge* (NVE-rapport 2008:6). Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/oppdragsrapportA/2008/oppdragsrapportA2008_05.pdf
- Finn kart (2017) [Karttjeneste med oppdaterte og historiske flybilder]. Hentet 3. mars, 2019, fra: <https://kart.finn.no/>
- Førland, E., Mamen, J., Dyrddal, A. V., Grinde, L., & Myrabø, S. (2015). Dimensjonerende korttidsnedbør (NIFS-rapport 2015:134). Hentet fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_134.pdf
- Grønsten H. A., Halmrast, K., Hisdal, H., Jensen, T., Melvold, K., Magnussen, I., ... Erichson P S. (2015) NVEs Klimatilpasningsstrategi 2015-2019 (NVE-rapport 2015:80). Hentet fra: https://www.nve.no/Media/3051/rapport2015_80.pdf
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, J., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., ... & Ådlandsvik, B. (2015). *Klima i Norge 2100 Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015* (NCCS-rapport 2015:2). Hentet fra www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M406/M406.pdf
- Hefre, H., & Sverdrup-Thygeson, K. (2014). *Teknisk notat*. Upublisert manuskript. NGI: Trondheim
- Heyerdahl, H. (2016). *Rainfall-induced landslides in Quaternary soils in Norway*. Hentet fra <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2425003/Heyerdahl%25282016%2529.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Høydedata (2016) [Kart med høydedata og terrengmodeller for landområdene, utviklet av Kartverket] Hentet 17. mars, 2019, fra <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>
- Innlandsgis (2016) [kartportal for regionale parter i Hedmark og Oppland, med høydemodeller utledet fra LIDAR]. Hentet 17. mars, 2019, fra: <https://geocortex3.innlandsgis.no/Html5ViewerNorsk/index.html?viewer=InnlandsGIS5.InnlandsGIS&locale=nb#>
- Kartverket (2019, 20. mars) Høydedata og terrengmodeller for landområdene. Hentet fra: <https://www.kartverket.no/data/Hoydedata-og-terrengmodeller/>
- Kjellmark, O. J. (2012). *Slik er skredet sett fra lufta* [Fotografi]. Hentet fra: <https://www.adressa.no/nyheter/sortrondelag/article1792675.ece>

- Kjellmark, O. J. (2013). *Både fylkesvei 30 og Rørosbanen ble rammet av det store skredet som var omtrent 45 meter i bredde ifølge veivesenet* [Fotografi]. Hentet fra: <https://www.adressa.no/nyheter/sortrondelag/article8098415.ece>
- Kleivane, I. (2011). Flaumen i Sør-Noreg, juni 2011 (NVE-rapport 2011:11). Hentet fra: http://publikasjoner.nve.no/dokument/2011/dokument2011_11.pdf
- Lalas, D. P., & Einaudi, F. (1974). On the correct use of the wet adiabatic lapse rate in stability criteria of a saturated atmosphere. *Journal of Applied Meteorology*, 13(3), 318-324.
- Langsholt, E. R., Roald, L. A., Holmqvist, E. & Fleig, A. (2015). *Flommen på Vestlandet oktober 2014* (NVE-rapport 2015:11). Hentet fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_11.pdf
- Lawrence, D. (2016). *Klimaendring og framtidige flommer i Norge*. (NVE-rapport: 2016:81). Hentet fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_81.pdf
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G., & Aaby, L. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering* (Norsk vann-rapport 2008:162).
- Magnussen, R. A. G., Paus, K. H., & Åstebøl, S. O. Å. (2015). *Gjennomgang av avrenningsfaktorer* (COWI-rapport 2015:2/18). Hentet fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M293/M293.pdf>
- Mosvold, H. L. (2013). Den flomstore Storåa passerer under jernbanelinja i Kvam sentrum i Gudbrandsdalen [Fotografi]. Hentet fra <https://www.dagbladet.no/nyheter/vannet-stiger-fortsatt-men-det-verste-er-over/62796642>
- NEVINA. (2017) [NVE sin karttjeneste for beregning av nedbørsfelt, feltparametere, vannføringsindekser for punkt i vassdrag] Hentet 7. februar, 2019, fra: <http://nevina.nve.no/>
- Nesje, A., Gundersen, I. M. & Canell, R. J. S. (2016) *Gård og utmark i Gudbrandsdalen: Arkeologiske undersøkelser i Fron 2011-2012*. Oslo: Kulturhistorisk museum.
- NGI Geodata. (2017). [Kart over bratte områder i Norge]. Hentet 03. mars, 2019, fra <https://geodata.ngi.no/arcgisportal/apps/webappviewer/index.html?id=fd597e0179fe479b9274d95a90b00931>
- NGU. (2015a, 8. januar). *Jordskred og flomskred*. Hentet fra <https://www.ngu.no/emne/jordskred-og-flomskred>
- NGU. (2015b, 9. april). *Digitale høydemodeller*. Hentet fra <https://www.ngu.no/emne/digitale-h%C3%B8ydemodeller>

- NGU løsmassekart. (2017) [Kvartærgeologiske kart (løsmassekart) utviklet av NGU]. Hentet 11. mars, 2019, fra: <https://www.ngu.no/emne/kvart%C3%A6rgeologiske-kart-1%C3%B8smassekart>
- Norem, H., Flesjø, K., Sellevold, J., Lund, M. R., & Viréhn, P. L. E. (2016). *Overvannshåndtering og drenering for veg og jernbane Naturfareprosjektet Delprosjekt 5 Flom og vann på avveie* (NIFS-rapport 2016:28). Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_28.pdf
- Norem, H., Flesjø, K., Sellevold, J., Lund, M. R. & Viréhn, P. L. E. (2018). Lærebok: *Drenering og håndtering av overvann* (Statens vegvesen-rapport 2018:681). Oslo: Vegdirektoratet.
- Norge i 3D (u.å.) [Kartløsning utviklet av Norkart, som gir en tredimensjonal fremstilling av Norge]. Hentet 9. mars, 2019, fra: <http://www.virtual-globe.info/>
- Norgeskart (2019) [Topografisk kart over Norge, utviklet av Kartverket]. Hentet 7. mars, 2019, fra: <https://www.norgeskart.no/#!/?project=norgeskart&layers=1002&zoom=4&lat=7162660.00&lon=70408.00>
- Norsk klimaservicesenter. (2017). *Klimaprofil Oppland, Et kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning*. Hentet fra https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/klimaprofiler/klimaprofil-oppland/_attachment/12035?_ts=15d9d3c1d03
- Norsk klimaservicesenter (2019) [Norsk klimaservicesenter sin internettportal med dimensjonerende nedbør (IVF-verdier) fra målestasjoner, utviklet av Meteorologisk institutt, NVE, NORCE og Bjerknes Centre for Climate research]. Hentet 07. februar, 2019, fra: <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/idf.xhtml#titleTag>
- Norsk Naturskadepool. (2019, 30. april). *NASK - Naturfarestatistikk*. Hentet fra <https://www.naturskade.no/statistikk/>
- NVE. (2011). *Plan for skredfarekartlegging: Status og prioriteringer innen oversiktskartlegging og detaljert skredfarekartlegging i NVEs regi* (NVE-rapport 2011:14). Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/rapport/2011/rapport2011_14.pdf
- NVE. (2013). *Forebygging av skredfare i Norge: Jordskred og flomskred*. Hentet fra http://www.naturfare.no/_attachment/506973/binary/819611
- NVE. (2014a). *Sikkerhet mot skred i bratt terreng: Kartlegging av skredfare i arealplanlegging og byggesak* (NVE-rapport 2014:8/). Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/veileder/2014/veileder2014_08.pdf

- NVE. (2014b). *Retningslinjer for flomberegninger* (NVE-rapport 2011:4). Hentet fra <https://www.nve.no/damsikkerhet-og-kraftforsyningsberedskap/damsikkerhet/regelverk/retningslinjer-for-flomberegninger/>
- NVE. (2015a, 25. februar). Kartlegging. Hentet fra <https://www.nve.no/flaum-og-skred/kartlegging/>
- NVE. (2015b, 5. februar). Årsaker til flom. Hentet fra: <https://www.nve.no/hydrologi/lavvann-og-toerke/%C3%A5rsaker-til-flom/>
- NVE. (2015c). *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt* (NVE-rapport 2015:7). Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015_07.pdf
- NVE. (2015d). *NEVINA (Nedbørfelt-Vannføring-Indeks-Analyse): Lavvannsverktøy Brukerveiledning*. Hentet fra http://nevina.nve.no/help/Brukerveiledning_NEVINA.pdf
- NVE. (2016a, 10. februar). 1995: Vesleofsen, stor flom på Østlandet. Hentet fra <https://www.nve.no/om-nve/vassdrags-og-energihistorie/nves-historie/1995-vesleofsen-stor-flom-pa-ostlandet/>
- NVE. (2016b). *Faresonekartlegging for skred i bratt terreng Kravspesifikasjon*. Hentet fra: https://www.nve.no/Media/3408/kravspesifikasjon_nve_generelt.pdf
- NVE. (2016c). *Snøskred - tørre og våte* (NVE-rapport 2016:1). Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/faktaark/2016/faktaark2016_01.pdf
- NVE. (2018). *Jordskred og flomskred - Fakta*. Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/faktaark/2013/faktaark2013_05.pdf
- NVE. (2019, 11. januar). Tørke- og flomåret 2018. *Nytt fra NVE Nyheter - hydrologi*. Hentet fra <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-hydrologi/torke-og-flomaret-2018/>
- NVE aktsomhetskart (2019) [*Aktsomhetskart for jord- og flomskred i Norge*]. Hentet 17. februar, 2019, fra: <https://www.nve.no/flaum-og-skred/kartlegging/aktsemdkart/aktsomhetskart-for-jord-og-flomskred/>
- NVE Atlas (2017) [NVE sin hovedkartløsning som inneholder de fleste av NVEs tematiske kartdata]. Hentet 11. november, 2018, fra <https://atlas.nve.no/Html5Viewer/index.html?viewer=nveatlas#>
- Ogden, F. L., Pradhan, N. R., Downer, C. W. & Zahner, J. A. (2011) Relative importance of impervious area, drainage density, width function, and subsurface storm drainage on flood runoff from an urbanized catchment. *Water resources research*, 47(12).
- Olsen, M. H., Hopland, A. A., Myrabø, S., Viréhn, P. & Glad, P. A. (2015). *Flom- og skredhendelser i Gudbrandsdalen. Naturfareprosjektet: Delprosjekt 5.3 Hendelser og*

- kostnader (NIFS-rapport 2015:123)* Hentet fra
http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_123.pdf
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... Dasgupta, P. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* IPCC.
- Pipkin, Bernard, Trent, D. D, Hazlett, Richard & Bierman, Paul. (2014). *Geology and the Environment* (7. utgave.). Canada: Brooks/Cole Cengage Learning.
- Salter, R. T., Crippen, T. F. & Noble, K. E. (1983). *Storm damage assessment of the Thames-Te Aroha area following the storm of April 1981*. Aokautere, Soil Conservation Centre.
- Sandersen, F. (2014). Løsmasse- og flomskred. I Norges geotekniske institutt (Red.), *Skred, skredfare og sikringstiltak, praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper* (1. utg., s. 77-93). Oslo: Universitetsforlaget.
- Sandersen, F, Høydal, Ø & Vernang, T. (2015). *Skredfarevurdering Fåberg-Dombås* (NGI-rapport 2015:20150044-01-R). Trondheim: Norges geotekniske institutt.
- Sandøy, G., Rubensdotter, L. & Devoli, G. (2017). *Trekantformede jordskred – Studie av fem skredhendelser i Norge* (NGU-rapport 2017:17). Trondheim: Norges Geologiske undersøkelse.
- Scanpix. (2011a). *Et jord og leireras over E6 ved oppkjøringen til Høvringen i Gudbrandsdalen fredag kveld. Vannmasser og ras har laget store ødeleggelser flere steder i Gudbrandsdalen* [Fotografi]. Hentet fra:
<https://www.vg.no/nyheter/innenriks/i/p3Py1/her-er-veiene-stengt-etter-ras-og-flom>
- Scanpix. (2011b). *Det var en av de 1.800 stikkrennene langs Rørosbanen som gikk tett og forårsaket togulykken på Opphus mandag morgen. Jernbaneverket bekrefter at de har en formidabel oppgave med å passe på disse* [Fotografi]. Hentet fra:
<https://www.ostlendingen.no/midt-osterdal/midt-osterdal/har-1-800-stikkrenner-a-passe-pa/s/2-2.2757-1.6469645>
- Schanche, S. S. & Haugen, E. D. (2014). *Sikkerhet mot kvikkleireskred Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper* (NVE-rapport 2014:7). Hentet fra
http://publikasjoner.nve.no/veileder/2014/veileder2014_07.pdf
- Sekse, T. (2012). *Norsk vannrapport Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer* (Norconsult AS-rapport 2012:190). Hentet fra

- <https://dibk.no/globalassets/va3/klimatilpasningstiltak-innen-vann-og-avlop-i-kommunale-planer.-rapport-fra-norsk-vann.pdf>
- Selby, M. J. (2005). *Hillslope Materials and Processes* (2. utg.). Eastbourne: Oxford University Press.
- Sellevoid, J. & Edvardsen, D. H. (2013). *Vannrelaterte skader langs E6 Biri - Otta Befaring etter flom, mai 2013 (Statens vegvesen-rapport 2013:323)*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Sellevoid, J. & Edvardsen, D. (2013). *Vannrelaterte skader langs E6 Biri - Otta: Befaring etter flom, mai 2013 (Statens vegvesen-rapport 2013:323)*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Se Norge. (2019) [En åpen portal på Internett, etablert i samarbeid mellom NVE, met.no og Kartverket, som blant annet viser daglig oppdaterte kart over vær- og vannforhold og klima for Norge] Hentet 7. januar, 2019, fra <http://www.senorge.no/index.html?p=senorgeny&st=water>
- Siedler, C. E. (2015). Samfunnsøkonomiske kostnader av Gudbrandsdalsflommen 2013 (NIFS-rapport 2015:93). Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_93.pdf
- SINTEF. (2016). *Løsmasseskred i bratt terreng: Farevurdering og sikringstiltak (SINTEF-rapport 2016:331,137)*. Hentet fra <https://www.byggforsk.no/dokument/4156>
- Skaland, R. G. , H Colleuille, H., Andersen, A. S. H. , Mamen, J. , Grinde, L. , Therese, H. , ... Hygen, H. O. (2019). *Tørkesommeren 2018 (Meteorologisk institutt-rapport 2019:14)*. Oslo: MET Info.
- Sletten, K. & Blikra, L. H. (2007). Holocene colluvial (debris-flow and water-flow) processes in eastern Norway: stratigraphy, chronology and palaeoenvironmental implications. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*, 22(6), 619-635.
- Sorteberg, A. , Lawrence, D., Dyrrdal, A. V. , Mayer, S. , Engeland, K. , Dyrrdal, A. V. , ... Væringstad, T. (2018). *Climatic changes in short duration extreme precipitation and rapid onset flooding - implications for design values (NCCS-rapport 2018:1)*. Hentet fra https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/_attachment/13537?_ts=163df95ff7b
- Statens vegvesen (2010) *Veger og drivsnø: Håndbok om planlegging og drift av veger i drivsnøområder – Høringsutgave (Statens vegvesen-rapport 2010:2610)*. Hentet fra https://www.vegvesen.no/_attachment/187558/binary/366016
- Statens vegvesen. (2011). *Flomskred og ved Mjåland i Gjesdal i Rogaland, juni 2016 [Fotografi]*. Hentet fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_75.pdf

- Statens vegvesen. (2012). *Forslag til risikoakseptkriterier for skredhendelser på veg*. Hentet fra
https://www.vegvesen.no/_attachment/460413/binary/757855?fast_title=Vedlegg%3A+Forslag+til+risikoakseptkriterier+for+skred+p%C3%A5+veg.pdf
- Statens vegvesen. (2014a) *Håndbok V139: Flom- og sørpeskred (V139)*. Hentet fra:
https://www.vegvesen.no/_attachment/740653/binary/1006021
- Statens vegvesen. (2014b). *Håndbok N200: Vegbygging (N200)*. Hentet fra
[https://www.vegvesen.no/_attachment/188382/binary/980128?fast_title=H%C3%A5n+dbok+N200+Vegbygging+\(21+MB\).pdf](https://www.vegvesen.no/_attachment/188382/binary/980128?fast_title=H%C3%A5n+dbok+N200+Vegbygging+(21+MB).pdf)
- Statens vegvesen. (2016). *Håndbok V139: Flom- og sørpeskred (V139)*. Hentet fra
https://www.vegvesen.no/_attachment/740653/binary/1006021
- Statens vegvesen. (2018) E6 med hodet overvannet. *Teknologidagene* (s. 1-34). Trondheim, 2018. Hentet fra
https://www.vegvesen.no/_attachment/2487095/binary/1294874?fast_title=E6+med+h+odet+over+vannet%3A+Biri-Otta.pdf
- Stenius, S., Glad, P. A., Wang, T. K. & Væringstad, T (2015). *Veileder for flomberegning i små uregulerte felt* (NVE-rapport 2015:7). Hentet fra
http://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015_07.pdf
- Stenius, S., & Glad, P. A. (2015). *Anbefale metoder for flomberegninger i små uregulerte felt* (NIFS-rapport 2015:97). Hentet fra
http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_97.pdf
- Varsom. (2017, 1. august). Ustabile luftmasser gjør det utfordrende å varsle fare for flom og jordskred. Hentet fra <http://www.varsom.no/nytt/nyheter-flom-og-jordskred/ustabile-luftmasser-gjor-det-utfordrende-a-varsle-fare-for-flom-og-jordskred/>
- Varsom. (2019, 9. mai). Snøskredulykker og hendelser. Hentet fra
<http://www.varsom.no/ulykker/snoskredulykker-og-hendelser/>
- Varsom. (u.å.). Ordliste for flom. Hentet fra <http://www.varsom.no/flom-og-jordskredvarsling/ordliste-for-flom/>
- Vatne, G. (2018a) Bilder av avstatte sedimenter ved utløp til stikkrenne [Fotografi].
- Vatne, G. (2018b) Bilder av avstatte sedimenter ved innløp til stikkrenne [Fotografi].
- Walberg, N. A. K & Devoli, G. (2014). *Regional varsling av jordskredfare: Analyse av historiske jordskred, flomskred og sørpeskred i Gudbrandsdalen og Ottadalen* (NVE-rapport 2014:4). Hentet fra
http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_44.pdf

- Wasrud, J. (2015) *Flaumfare langs bekker: Råd og tips om kartlegging* (NVE-rapport 2015:3). Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015_03.pdf
- Wilson, D., Hisdal, H. & Lawrence, D. (2010). Has streamflow changed in the Nordic countries? –Recent trends and comparisons to hydrological projections, *Journal of Hydrology*. 394(3-4), 334-346

Vedlegg

Vedlegg 1: Liste med strekninger og punkt utsatt for jord- og flomskred og vann på avveie – resultater fra kartlegginger gjort i 2019.

Vedlegg 2: Liste med strekninger og punkt utsatt for farer fra sideterreng – resultater fra kartlegginger gjort i 2015.

Vedlegg 3: En sammenstilling av resultater fra farekartleggingene fra 2019 og 2015.

Vedlegg 4: Flom- og kapasitetsberegninger utført med den rasjonale formel i 2019 - fremgangsmåte.

Vedlegg 5: Liste over strekninger langs jernbane mellom Fåberg og Dombås hvor det ikke har blitt gjort flom- og kapasitetsberegninger.

Vedlegg 6: Kart over strekninger utsatt for fare for jord- og flomskred og vann på avveie.

Vedlegg 7: En samling av de 12 automatisk genererte rapportene produsert ved flomberegningene med NEVINA.

Vedlegg 1

Fåberg-Dombås - Strekninger og punkt utsatt for jord- flomskred og vann på avveie

Oversiktskartlegginger gjort i 2019

Fare
Stor fare
Svært stor fare

Enhets- strekning (DOVB km)	Farepunkt (DOVB km)	Faretype	Beskrivelse
205-206	205,5	Vann på avveie	Fare for vann på avveie fra Elva Kattåa, som følge av massetransport i elv og gjentetting av stikkrenner oppstrøms. Stor elvevifte vitner om at vannet har tatt nye vegen flere ganger før.
206-207	206,8	Flomskred/ vann på avveie	Fare for flomskred. Mulig de største utfordringene knyttes til vann og masser på avveie som følge av tett stikkrenne oppstrøms.
	206,9	Flomskred/ vann på avveie	
207-208	207	Flomskred	Fare for flomskred. Mulig de største utfordringene knyttes til vann og masser på avveie som følge av tett stikkrenne oppstrøms.
	207,7	Flomskred	Skråning slaker noe ut ca. 70 meter oppstrøms jernbanen. Mindre hendelser vil kunne bremses opp.
	207,75	Flomskred/vann på avveie	Kanskje størst fare knyttet til tette stikkrenner. Skråning slaker noe ut ca. 70 meter oppstrøms jernbanen. Mindre hendelser vil kunne bremses opp. Spor av erosjon og mulig flomskred i beggeløp.
	207,8	Flomskred/ vann på avveie	Lang og bratt skråning, rik på løsmasser (morene). Privatveg ned mot Sæter kan lede vann på avveie.
208-209,4	208,05	Vann på avveie	Lang og bratt skråning, rik på løsmasser (morene). Privatveg ned mot Sæter kan lede vann på avveie.

	208,4	Jord- og flomskred/ vann på avveie	Relativt bratt skråning (>20°) hele veien ned mot jernbanen. Porevannstrykket vil kunne bygge seg opp i konkavitet i skråningsprofil oppstrøms fv. 319. Tydelige spor etter jord- eller flomskred like vest for det oppgitte farepunktet. Det har også blitt registrert flomskred i Djupdalen, ca. 550 m lengre vest.
	208,5	Flomskred/ vann på avveie	Lang og bratt skråning, rik på løsmasser (morene). Flere skredsår etter tidligere flomskred i nærheten. Vifteform nedstrøms jernbanen vitner om at sedimenter har blitt avsatt her. Fare for høy masseføring i elv under flomvannføring.
	208,75	Flomskred/ jordskred	Relativt bratt skråning (>20°) hele veien ned mot jernbanen. Flere svært synlige spor etter tidligere jord- eller flomskred i terrenget. Gård som ligger oppstrøms for jernbanen vil kunne ta av for eventuelle skredmasser. Derfor har farenivået blitt justert ned. Størst fare knyttet til mindre skred i nedre del av skråning. I forbindelse med flommen i 2013 ble det registrert ett flomskred her. Historiske flybilder kan bekrefte dette.
	208,9	Vann på avveie	Fare for at jordskred går ned i Djupdalen, og at skredmassene fraktes nedover elveløpet, og ned mot jernbanen. Registreringer viser at lignende hendelser har skjedd før.
	209,15	Flomskred/ vann på avveie	Gårdsvegen som krysser jernbanen og fortsetter videre opp dalsiden mot fv. 319, krysser også en bekk. Ved høy vannføring, må en ta høyde for at vannmassene vil kunne ta nytt løp, hvor de følger gårdsvegen, og at massene treffer jernbanen lengre sørøst enn de normalt gjør.
210-211	210,6	Flomskred	Skråningen er ikke veldig bratt, men det er registrert flere skred like nord for farepunktet i et terreng som er relativt likt. Det er også tydelige spor i terrenget etter vannerosjon. Det er flere traviner/dype furer i terrenget og potensielt flere flom- og flomskredløp. Noen av forsenkningene kan også vitne om tidligere skredhendelser. Litt vanskelig å tyde. Om lag 245 m oppstrøms for jernbanen er det et tykt lag med strandlinjeavsetninger (sete) etter bresjø. Laserbilde viser at bekker har gravt ut masser fra denne. Fare for videre og ytterlige utgraving og transport av masser mot jernbanene. Bolighus oppstrøms fv. 319 kan potensielt ta av for eventuelle skredmasser.
211-212,2	211,25	Flomskred	Her ble det i forbindelse med flommen i 2013 registrert et flomskred mot jernbane, og det anses som en reell fare for gjentagelse. Det kan være fare for at flomvann tar nytt løp og følge skogsveg mot jernbanen
	211,4	Flomskred/ vann på avveie	
	212	Jord- og flomskred som går ned i elveløp	Laserbilder viser tydelige spor i terrenget etter tidligere skred ned mot elva "Musa". Den største faren vil trolig være en gjentagelse av lignende hendelser, og hvor massene transporteres til jernbanen. Massene kan hopes opp ved fv. 319 oppstrøms jernbanen eller ved Bjørnstadvegen enda lengre opp. En større konkavitet i terrenget like oppstrøms jernbanen vil kunne ha en oppbremsende effekt på flom- og skredmasser.
	212,2	Mindre jordskred	Størst fare knyttet til mindre skred i nedre del av skråning. I forbindelse med flommen i 2013 ble det registrert ett flomskred her. Historiske flybilder kan bekrefte dette.

215,8-217	215,85	Vann på avveie	Fare for skred mot elveløp. Skredmassene vil kunne hopes opp ved fv. 319 like oppstrøms for farepunktet. Fare for vann på avveie.
220-221	220,55	Flomskred	Fare for flomskred eller høy massetransport i elv. Tydelige spor i terrenget etter tidligere skred og/eller masser som har blitt erodert ut av elven og blitt transportert ned mot jernbanen. Spor av at massene har spredt seg utover like oppstrøms for jernbane. Farepunkt er dermed ikke helt nøyaktig.
	220,8	Flomskred	Fare for at skred går ned mot bekkeløp og blir transportert med vannmassene til jernbanen. Finnes spor i terrenget av at dette har skjedd før. God sedimenttilgang nedstrøms mellom jernbane og fv. 319.
221-222	221,25	Flomskred	Fare flomskred i bekkeløp. Finnes spor i terrenget som viser at dette har skjedd før. God sedimenttilgang nedstrøms fv. 319.
222-223		Jordskred/ Flomskred	Faren anses som svært stor langs hele den oppgitte strekningen. Faren vurderes å være jordskred som utløses i bratt parti 60-160 m oppstrøms jernbanen. Det finnes veldig mange spor i terrenget som viser utløsnings,- skedløp- og utløpsområde til tidligere skred. Ved km punkt 223 vurderes det å være en stor fare for flomskred eller høy massetransport i elveløp. Finnes spor etter slike hendelser i terrenget, og det er også registrert én skredhendelse ved elveutløp mot jernbane. Slakt parti om lag 115 m oppstrøms jernbane vil mulig bremse eventuelle skredmasser. Størst fare knyttet til nedre del.
223-224		Jordskred	Faren vurderes å være stor langs hele den oppgitte strekningen, Faren vurderes å være jordskred eller flomskred som utløses i bratt parti 60-160 m oppstrøms jernbanen. Det finnes veldig mange spor i terrenget som viser utløsningsområde, skedløp og utløpsområde etter tidligere skred. Ved km punkt 223,5 er skråningen bratt fra bunn til topp, og skredmasser som utløses i øvre del kan transporteres hele vegen ned til jernbanen. Det finnes spor i terrenget som viser at dette kan ha skjedd før.
224-225	224	Jord- og flomskred som går ned i elveløp	Den største faren anses å være knyttet til jord- og flomskred som går ned i elva "Losna", og hvor løsmassene fraktes med elva ned til jernbanen. Både fv. 319 og den kommunale vegen "Stasjonsbakken" går over elva oppstrøms for jernbanen. Losna ligger på en stor elvevifte, som vitner om at det har vært stor masseføring i elva. Løsmassedekket i de bratteste skråningspartiene er forøvrig relativt tynt.
	224,45	Flomskred	Flere spor etter tidligere skred mot bane. Bratt hele veien ned mot bane. God løsmassetilgang, ikke boliger/gårdstun oppstrøms bane.
225-226,3	225,5	Flomskred	Flere spor etter tidligere skred mot bane. Bratt hele veien ned mot bane. God løsmassetilgang, ikke boliger/gårdstun oppstrøms bane.
	225,7	Flomskred	
	226,25	Flomskred	
228,9-230	228,9	Jordskred	Jordskred i nedre del (bratt parti) mot jernbane. Flere spor i terrenget, og også flere registrerte jord- og flomskred.
	229,25	Jordskred	
	229,4	Jordskred	
	229,55	Jordskred	
	229,65	Jordskred	
	229,8	Jordskred	

	229,85	Jordskred	
232-233	232,1	Jord- og flomskred	Jordskred i nedre del (bratt parti) mot jernbane. Mange spor i terrenget etter små og større skred. Flere registrerte jord- og flomskred
	232,2	Jord- og flomskred	
	232,4	Jord- og flomskred	
	232,55	Jord- og flomskred	
233-234	233,05	Jord- og flomskred	Jordskred i nedre del (bratt parti) mot jernbane. Mange spor i terrenget etter små og større skred, og også mange registrerte jord- og flomskred.
	233,1	Jord- og flomskred	
	233,15	Jord- og flomskred	
	233,3	Jord- og flomskred	
	233,55	Jord- og flomskred	
239-240	239,3	Vann på avveie	Lang og bratt skråning. Relativt god sedimenttilgang. Togbane er bygget oppå vifteform. Skogsveg oppstrøms jernbane kan lede vann og masser ut av bekkeløp.
	239,5	Vann på avveie	Lang og bratt skråning. Relativt god sedimenttilgang. Togbane er bygget oppå vifteform. Fare for høy massetransport under flomvannføring.
	239,7	Jord- og flomskred som går ned i elveløp	Fare for flomskred- og eller skred mot elv. Spor i terrenget som viser at dette har skjedd før. Registrert flomskred.
240-241	240	Flomskred	Flere spor i terrenget etter flomskred. Det er også registrert skred.
	240,4	Flomskred	
	240,5	Flomskred	
245,8-247	246,1	Vann på avveie	Vann på avveie som følge av massetransport i bekk og gjentetting av stikkrenne under E6. Mulig sikringstiltak oppstrøms ny E6 har redusert faren. Dette må undersøkes.
	246,15	Vann på avveie	
250-251,6	250,55	Flomskred	Fare for flomskred i talus. Spor etter tidligere hendelser.
	250,65	Flomskred	
	250,8	Flomskred	
	251,2	Flomskred	
	251,4	Flomskred/ vann på avveie	
261-262	261,45	Vann på avveie	Høy masseføring ved flomvannføring og gjentetting av stikkrenner.
	261,7	Flomskred/ vann på avveie	Fare for høy masseføring under flomvannføring og gjentetting av stikkrenner. Spor av flere mindre avsetninger etter tidligere hendelser like ved jernbanen. Flere skredsår etter flomskred og skred i nærheten.

262-263	262,3	Vann på avveie	Høy masseføring ved flomvannføring og gjentetting av stikkrenner. Tykt morenelag og mye skredmateriale i skråningen. Dype spor/furer i terrenget vitner om vannerosjon.
	262,8	Flomskred	Bratt og løsmasserik skråning. Dype furer i terrenget vitner om mye vannerosjon og mulige flomskred.
	262,85	Flomskred	Bratt og løsmasserik skråning (Morene og skredmateriale). Furer i terrenget vitner om vannerosjon og mulige flomskred.
264-265	264,7	Vann på avveie	Tydelige spor etter at elva "Evja" har tatt nye løp før. Fare for vann på avveie.
278,8-280	279	Flomskred	Bratt og løsmasserik skråning (morene og skredmateriale). Dype furer i terrenget vitner om mye vannerosjon og mulige flomskred. Stor fare for flomskred, men en viss avstand fra skråningsfot og veger oppstrøms for jernbanen gjør at farenivået reduseres noe.
	279,45	Flomskred	Lang og bratt skråning og flere tydelige spor etter flomskred. Fare for flomskred i talus.
281-282,1	281,4	Jordskred	Flere skredsår i terrenget. Skredmasser fra tidligere skred er avsatt helt ned mot baneområdet. Flere veger og en del hus oppstrøms kan bremse eventuelle skredmasser før de når jernbanen.
	282,1	Flomskred	Spor i terrenget vitner om flomskred. Skredene har blitt utløst i breelavsetninger.
289,8-291,8	289,75	Flomskred	Flomskred fra morenemateriale eller talus. Flere spor i terrenget vitner om at dette har skjedd før. Tykt løsmassedekke av morene og skredmateriale. Bart fjell i øvre del. Flere registrerte jord- og flomskred. Flere av utløpene til tidligere skred ligger like oppstrøms for jernbanen. Trolig vil bare store hendelser kunne føre masser helt ned til jernbanesporet.
	289,9	Flomskred	
	290,1	Flomskred	
	290,3	Flomskred	
	290,5	Vann på avveie	
	291,5	Vann på avveie	Flere registrerte skred (år 2011-2013), og også tydelige spor i terrenget av at elva "Melemsåi" har tatt nye løp og avsatt masser nedstrøms jernbanen.
294-295	294,25	Flomskred	Flere spor i terrenget etter tidligere skred om lag 230 m lengre nord. Bratt skråning hele vegen ned mot jernbanen (25-90°). Registrerte skred. God løsmassetilgang. Tykt og tynt morenedekke og skredmateriale. Fare for flomskred i talus.
	294,4	Flomskred	
	294,7	Vann på avveie	Bratt bekkeløp. Helning jevnes ut om lag 200 m oppstrøms jernbane. Flere spor i terrenget etter tidligere skred. Registrerte skred. God løsmassetilgang. Tykt og tynt morenedekke og skredmateriale. Fare for stor massetransport under flomvannføring og gjentetting av stikkrenner.

295-296	295,5	Vann på avveie	Spor i terrenget etter massetransport mot jernbane. Registrert skredmateriale nedstrøms jernbanen. Tykt og tynt løsmassedekke av morene og skredmateriale. Helning er bratt (25-90°), men slaker ut til under 20° ca. 100 oppstrøms jernbane. Fv. 418, avkjørsel og bolighus oppstrøms jernbanen vil kunne bremse eventuelle skredmasser.
	295,95	Vann på avveie	Registrerte jord- og flomskred. Registrert skredmateriale nedstrøms jernbanen. Tykt og tynt løsmassedekke av morene og skredmateriale, men mye bart fjell. Helning er bratt (25-90°), men slaker ut til under 20° ca. 100 oppstrøms jernbane. Fv. 418, avkjørsel og bolighus oppstrøms jernbanen vil kunne bremse eventuelle skredmasser.
298-299	298,8	Jordskred	Lang og bratt skråning. Helningen er 30-45° ned mot 35 m oppstrøms for jernbanen, hvor helningen slaker ut til under 20°. Det er moreneavsetninger i skråningen, men trolig et relativt tynt lag.
299-300	299,1	Flomskred	Spor i terrenget etter tidligere hendelser. Bratt skråning hele vegen ned til jernbane. God sedimenttilgang i nedre del av skråning. Mye bart fjell i øverste del. Skredmateriale ned mot jernbanen.
	299,2	Flomskred	
	299,8	Flomskred	
	199,9	Flomskred	
300-301	300,5	Flomskred/ vann på avveie	Spor i terrenget etter stor elveerosjon og avsetninger ned mot jernbanen. Mye skredmateriale i nedre del av skråning og stor fare for flomskred i talus. Bratt skråning ned mot ca. 45 m oppstrøms for jernbane, hvor helningen avtar ned mot under 20°.
303-304	303,8	Vann på avveie	Stor vifteform ved utløpet til Rudiskardet vitner om at vannet har tatt mange veger. Det finnes bare to stikkrenner (med lang avstand fra hverandre) i direkte tilknytning til skaret, og det vil kunne oppstå problemer med vann på avveie dersom vannet tar nytt løp mot jernbane.
304-305	304,85	Flomskred	Fare for flomskred i talus. Mange spor i terrenget etter tidligere skred. Tydelige spor av at tidligere skred har hatt utløp nedstrøms jernbanen. Mulig farer knyttet til steinsprang og/eller snøskred er større enn faren for jord- og flomskred.
	304,95	Flomskred	
305,9-307	306	Vann på avveie	Stor vifteform ved utløpet til Skottskaret vitner om at vannet har tatt mange veger. Det finnes bare én stikkrenne i direkte tilknytning til skaret, og det vil kunne oppstå problemer med vann på avveie dersom vannet tar nytt løp.
	306,7	Flomskred	Flere spor i terrenget etter tidligere hendelser. Bane ligger helt tett inntil dalside. Skråningen er bratt hele vegen ned. Faren for flomskred i talus ansees som middels til stor. Sporene etter tidligere skred er imidlertid relativt små, og det er mulig eventuelle skredmasser vil hopes opp ved skogsvegen som ligger oppstrøms jernbanen.
	306,75	Flomskred	
	306,8	Flomskred	
310-311	310,5	Vann på avveie	Det er flere spor i terrenget etter bekkeerosjon. Disse ravinene uten permanent vannføring har sannsynligvis vannføring under flom. Finnes ikke stikkrenner til alle. Mulig det kan oppstå problemer med vann på avveie som følge av dette.
311-312	311,65	Flomskred	Lang og bratt skråning, og jernbane er direkte utsatt. Finnes en skogsveg over som kan lede vann på ville veger. Løsmassedekket virker for øvrig å være relativt tynt.
	311,9	Flomskred	

312-313,3	312,2	Jord- eller flomskred	Lang og bratt skråning, og jernbane er direkte utsatt. Finnes en skogsveg over som kan lede vann på ville veger. Skråningen består av et tynt til tykt dekke med morenemateriale. Det finnes flere spor i terrenget, ved flere nivåer i skråningen, som vitner om mindre hendelser. Fare før større hendelser anses også som reell. Utløsningsområdet til flere av hendelsene ser ut til å være like nedstrøms skogsveg.
	312,35	Jord- eller flomskred	
	312,5	Jord- eller flomskred	Lang og bratt skråning og jernbane er direkte utsatt. Finnes en skogsveg over som kan lede vann på ville veger. Skogsvegene ble bygget etter 1965. Skråningen består av et tykt dekke med morenemateriale. Det finnes flere spor i terrenget, ved flere nivåer i skråningen, som vitner om større hendelser. Fare for ytterligere og også større skred ansees som reell. Flere registrerte jord- og flomskred.
	312,55	Jord- eller flomskred	
	312,7	Jord- eller flomskred	
	312,85	Jord- eller flomskred	
	313	Jord- eller flomskred	
	313,1	Jord- og flomskred	
	313,2	Jord- og flomskred	
315-316	315,55	Jord- og flomskred	Lang og relativt bratt skråning, og jernbane er direkte utsatt. Finnes en skogsveg oppstrøms som kan lede vann på ville veger. Flere av skogsvegene ble bygget etter 1980. Skråningen består av et tykt dekke med morenemateriale. Det finnes flere spor i terrenget som vitner om tidligere hendelser. Fare for flere hendelser.
	315,6	Jord- og flomskred	
	315,7	Jord- og flomskred	
	315,9	Jord- og flomskred	
330,9-332	331	Vann på avveie	Fare for at skred går ned i Dragåa og at skredmassene tetter broer oppstrøms jernbanen.
332-333	332,7	Vann på avveie	Fare for at vannmasser fra Einbugga tar nye veger under flomvannføring. Laserbilder viser at dette har skjedd før. Det er også en fare for at skred går ned i Einbugga og at skredmassene tetter broer oppstrøms jernbanen.
334-335	334,3	Vann på avveie	Fare for at vannmasser fra Stavåe tar nye veger under flomvannføring. Registrerte skredhendelser i nærheten.
	334,8	Vann på avveie	Fare for at vannmasser fra Leina tar nye veger ved gjentetting av stikkrenner ved fv. 491. Registrerte skredhendelser i nærheten.
335-336	335,1	Vann på avveie	Fare for at vannmasser i bekken tar nye veger ved gjentetting av stikkrenner ved fv. 491.
	335,4	Vann på avveie	Fare for at vannmasser i Rudiåe tar nye veger ved gjentetting av stikkrenner ved fv. 491. Registrerte skredhendelser i nærheten.
337-338	337,35	Vann på avveie/ flomskred	Skråningen er bratt hele vegen ned mot jernbanen (25-60°). Flere spor i terrenget etter vannerosjon. Skråningen består av et tynt til tykt morenedekke i øvre del, og bresjøavsetninger i nedre del. Registrerte skredhendelser langs strekning.
	337,65	Vann på avveie/ flomskred	
	337,85	Vann på avveie/ flomskred	
338-339	338,25	Vann på avveie/ flomskred	Skråningen er bratt hele vegen ned mot jernbanen (25-60°). Flere spor i terrenget etter vannerosjon. Skråningen består av et tynt til tykt morenedekke i øvre del, og bresjøavsetninger i nedre del. Registrerte skredhendelser langs strekning.

339-340,1	399,3	Vann på avveie/ flomskred	Skråningen er bratt hele vegen ned mot jernbanen (25-60°). Flere spor i terrenget etter vannerosjon. Skråningen består av et tynt til tykt morenedekke i øvre del, og bresjøavsetninger i nedre del. Registrerte steinsprang langs strekning.
	339,5	Vann på avveie	Fare for at vannmasser i bekken tar nye veger ved gjentetting av stikkrenner ved fv. 491. Registrert skredhendelse ved utløp.
	339,95	Vann på avveie	
	340,05	Vann på avveie	
340,1-341	340,4	Vann på avveie	Fare for at det går skred ned i Hjellåi, og hvor skredmassene tetter igjen broen under fv. 491. Vannmassene vil ta kunne tvinges over vegen og mot jernbanen. Skader kan også skje om masser fraktes ved bekkeløpet helt ned til jernbanen. Jernbanen er for øvrig bygget på en stor fylling her. Derfor ansees faren som middels og ikke stor.
341-342	341,5	Flomskred	Relativt lang og bratt skråning. Skråning består av et tynt-tykt lag med morene i øvre del, og bresjøavsetninger i nedre del. Registrert skredhendelse i nærhet til farepunkt.

Vedlegg 2

Resultater fra 2015

Oversikten viser strekninger identifisert som skredutsatte under kartleggingene i 2015. Oversikten er hentet fra Sandersen, Høydal & Vernang (2015).

Farepunkt/strekning (DOVB km)	Faregrad	Faretype	Beskrivelse (Rød farge markerer lokaliteter med over 70% sannsynlighet for en uønsket hendelse i løpet av 30 år (Sandersen et al., 2015)).
212,07-212,6	50	Sideskråning	Bratt løsmasseskråning. Jordskred i 2013.
223-223,7	70	Sideskråning	Bratt og løsmassedekket skråning med flere forsengkninger som kan være gamle skred. Mye berg i dagen tyder på grunt til fjell. Ved km 223,5 er det bygd en støttemur. Flere stikkrenner som ser reine ut. Fyllingsskråning ser stedvis fuktig ut, for eksempel ved km 223.45.
225,7-225,8	70	Sideskråning	Løsmasseskjæring med utgliding. Støttemur etablert km 225,745-225,8.
232,45-232,70	80	Sideskråning	Utrasning av skjæringsskråning ovenfor mur/gabion
232,67-232,82	30	Sideskråning	Gabionmur med antydning til sig. Hus fjernet slik at det er mulig å slake ut helningen på muren.
239,39-239,40	30	Sideskråning	Jordskred 6 m bredt ned til sporet (2014 etter befaring?) Bygd en liten voll.
239,97-239,98	40	Sideskråning	Skjæring plastret (gammelt skred?)
240,24-240,25	50	Sideskråning	Støttemur bygd for å hindre at stein faller ned i sporet. Også jordskredfare. Bygd pga. problemer med nedfall stein/jord?
315,70-315,90	60	Sideskråning	Sikret løsmasseskjæring. Sørge for at skråningen er bevokst.
338,40-339,50	35	Sideskråning	Grovere masser. Mindre fare. Helt lokalt nederst mot sporet.
339,50-340,00	50	Sideskråning	Dårlig drenering av vann fra skråninga ovenfor veien.
341,5-341,6	40	Sideskråning	Nedgradere faren

Vedlegg 3

Fåberg-Dombås - Strekninger og punkt utsatt for jordskred, flomskred og/eller vann på avveie En sammenligning av resultater fra kartlegginger gjort i 2015 og i 2019.

Utsatte strekninger identifisert under kartleggingene i 2015 omfatter bare faretypen "sideskråning". Se Sandersen, Høydal & Vernang (2015) for en oversikt over utsatte stikkrenner.

Fare
Stor fare
Svært stor fare

Rader merket med rødt angir lokaliteter med antatt høy faregrad (>70% sannsynlighet for uønsket hendelse i løpet av 30 år) (Sandersen, Høydal & Vernang, 2015).

Resultater fra 2019		
Enhets-strekning (DOVB km)	Farepunkt (DOVB km)	Faretype
205-206	205,5	Vann på avveie
206-207	206,8	Flomskred/ vann på avveie
	206,9	Flomskred
207-208	207	Flomskred
	207,7	Flomskred
	207,75	Flomskred/vann på avveie
208-209,4	207,8	Flomskred/ vann på avveie
	208,05	Vann på avveie
	208,4	Jord- og flomskred/ vann på avveie
	208,5	Flomskred/ vann på avveie
	208,75	Flomskred
	208,9	Vann på avveie
210-211	209,15	Flomskred/ vann på avveie
	210,6	Flomskred/ vann på avveie
211-212,2	211,25	Flomskred
	211,4	Flomskred/ vann på avveie
	212	Skred mot elv
	212,2	Mindre jordskred

Resultater fra 2014		
Farepunkt/strekning (DOVB km)	Faregrad	Faretype

212,07-212,6	50	Sideskråning
--------------	----	--------------

215,8-217	215,85	Flomskred
220-221	220,55	Flomskred
	220,8	Flomskred
221-222	221,25	Flomskred
222-223		Jordskred
	223	Flomskred
223-224	223,05	Jordskred
	223,1	Jordskred
	223,2	Jordskred
	223,35	Jordskred
	223,4	Jordskred

223-223,7	70	Sideskråning
-----------	----	--------------

	223,5	Jord- eller flomskred
	223,6	Jord- eller flomskred
	223,65	Jord- eller flomskred
	223,75	Jord- eller flomskred
	223,8	Jordskred
224-225	224	Jord- og flomskred som går ned i elveløp
	224,45	Flomskred
225-226,3	225,5	Flomskred
	225,7	Flomskred
	226,25	Flomskred
228,9-230	228,9	Jordskred
	229,25	Jordskred
	229,4	Jordskred
	229,55	Jordskred
	229,65	Jordskred
	229,8	Jordskred
	229,85	Jordskred
232-233	232,1	Jord- og flomskred
	232,2	Jord- og flomskred
	232,4	Jord- og flomskred
	232,55	Jord- og flomskred

233-234	233,05	Jord- og flomskred
	233,1	Jord- og flomskred
	233,15	Jord- og flomskred
	233,3	Jord- og flomskred
	233,55	Jord- og flomskred
239-240	239,3	Vann på avveie
	239,5	Masseførende bekk
	239,7	Jord- og flomskred som går ned i elveløp

240-241	240	Flomskred
	240,4	Flomskred
	240,5	Flomskred
245,8-247	246,1	Vann på avveie
	246,15	Vann på avveie
250-251,6	250,55	Flomskred
	250,65	Flomskred
	250,8	Flomskred
	251,2	Flomskred
	251,4	Flomskred/ vann på avveie
261-262	261,45	Vann på avveie
	261,7	Flomskred/ vann på avveie
262-263	262,3	Vann på avveie
	262,8	Flomskred
	262,85	Flomskred
264-265	264,7	Vann på avveie
278,8-280	279	Flomskred
	279,45	Flomskred
281-282,1	281,4	Jordskred

--	--	--

225,7-225,8	70	Sideskråning
--------------------	----	--------------

232,45-232,70	80	Sideskråning
----------------------	----	--------------

232,67-232,82	30	Sideskråning
----------------------	----	--------------

239,39-239,40	30	Sideskråning
----------------------	----	--------------

239,97-239,98	40	Sideskråning
----------------------	----	--------------

240,24-240,25	50	Sideskråning
----------------------	----	--------------

	282,1	Flomskred
289,8-291,8	289,75	Flomskred
	289,9	Flomskred
	290,1	Flomskred
	290,3	Flomskred
	290,5	Vann på avveie
	291,5	Vann på avveie
294-295	294,25	Flomskred
	294,4	Flomskred
	294,7	Vann på avveie
295-296	295,5	Vann på avveie
	295,95	Vann på avveie
298-299	298,8	Jordskred
299-300	299,1	Flomskred
	299,2	Flomskred
	299,8	Flomskred
	199,9	Flomskred
300-301	300,5	Flomskred/ Vann på avveie
303-304	303,8	Vann på avveie
304-305	304,85	Flomskred
	304,95	Flomskred
305,9-307	306	Vann på avveie
	306,7	Flomskred
	306,75	Flomskred
	306,8	Flomskred
310-311	310,5	Vann på avveie
311-312	311,65	Flomskred
	311,9	Flomskred
312-313,3	312,2	Jord- eller flomskred
	312,35	Jord- eller flomskred
	312,5	Jord- eller flomskred
	312,55	Jord- eller flomskred
	312,7	Jord- eller flomskred
	312,85	Jord- eller flomskred
	313	Jord- eller flomskred
	313,1	Jord- og flomskred
	313,2	Jord- og flomskred
315-316	315,55	Jord- og flomskred
	315,6	Jord- og flomskred
	315,7	Jord- og flomskred
	315,9	Jord- og flomskred
330,9-332	331	Vann på avveie
332-333	332,7	Vann på avveie
334-335	334,3	Vann på avveie
	334,8	Vann på avveie
335-336	335,1	Vann på avveie
	335,4	Vann på avveie
337-338	337,35	Vann på avveie/ flomskred
	337,65	Vann på avveie/ flomskred
	337,85	Vann på avveie/ flomskred
338-339	338,25	Vann på avveie/ flomskred
339-340,1	339,3	Vann på avveie/ flomskred
	339,5	Vann på avveie

315,70-315,90	60	Sideskråning
----------------------	----	--------------

338,40-339,50	35	Sideskråning
339,50-340,00	50	Sideskråning

	339,95	Vann på avveie
	340,05	Vann på avveie
340,1-341	340,4	Vann på avveie
341-342	341,5	Flomskred

341,5-341,6	40	Sideskråning
--------------------	----	--------------

Vedlegg 4

Den rasjonale formel

Beregning av flom- og kapasitet i 12 nedbørsfelt og tilhørende stikkrenner tilknyttet jernbanen på strekningen Fåberg-Dombås

1 Fremgangsmåte

1.1 Beregning av avrenningsverdi

Stikkrenne (DOVB km)	Beregning av avrenningsverdi (C)					C
	Skog	Dyrket (%)	mark (%)	Myr (%)	Snaufjell (%)	
206,85	95	3	2	0	0,4	
207,03	85	15	0	0	0,415	
207,76	81	10	1	0	0,41	
208,47	91	2	7	0	0,39	
221,25	77	20	3	0	0,42	
223,11	93	5	2	0	0,405	
229,33	60	40	0	0	0,44	
233,16	20	80	0	0	0,48	
246,15	62	35	3	0	0,435	
261,45	89,5	5	0,5	5	0,41	
261,74	88	5	2	5	0,41	
262,29	89	5	1	5	0,41	

Stikkrenne (DOVB km)	C	Helning (%)	C + 0,1
206,85	0,4	20,5	0,5
207,03	0,415	26,4	0,515
207,76	0,41	20,5	0,51
208,47	0,39	15,1	0,49
221,25	0,42	24,2	0,52
223,11	0,405	40,8	0,505
229,33	0,44	23,1	0,54
233,16	0,48	31	0,58
246,15	0,435	19,8	0,535
261,45	0,41	41,4	0,51
261,74	0,41	33,3	0,51
262,29	0,41	29,4	0,51

1.2 Beregning av konsentrasjonstid

Stikkrenne (DOVB km)	206,85	207,03	207,76	208,47	221,25	223,11	229,33
Feltlengde (m)	2970	1740	2905	3580	2330	1190	2910
Høyde- forskjell (m)	607	461	603	542	562	485	671
Sjø- prosent	0	0	0	0	0	0	0
Konsentra- sjonstid (min)	72,3	48,6	71,0	92,3	59,0	32,4	67,4

1.3 Valg av IVF-kurver

Stikkrenne (DOVB km)	Valg av IVF-kurver			Returverdi for nedbør Q200 l/(s*ha)
	Konsen- trasjonstid (min)	IVF-kurver		
206,85	72,3	Øyer, Øyer	60 min	75,35
207,03	48,6	Øyer, Øyer	50 min	83
207,76	71	Tretten, Øyer	60 min	78,70
208,47	92,3	Tretten, Øyer	90 min	55,00
221,25	59	Tretten, Øyer	60 min	71,92
223,11	32,4	Tretten, Øyer	30 min	116,11
229,33	67,4	Fåvang, Ringebu	60 min	70,77
233,16	31,6	Fåvang, Ringebu	30 min	100,07
246,15	76,2	Ringebu, Ringebu	60 min	69,26
261,45	37,2	Sør-Fron, Sør-Fron	40 min	85
261,74	47,2	Sør-Fron, Sør-Fron	50 min	80
262,29	52,8	Vinstra, Nord-Fron	50 min	80

2 Resultater

Stikkrenne (DOVB km)	Parametere				Flomvannføring	
	A (haa)	C	I (l/s*haa)	K	l/s	l/s*K
206,85	168	0,5	75,35	1,4	6329	8861
207,03	47	0,515	83	1,4	2009	2813
207,76	243	0,51	78,70	1,4	9753	13655
208,47	189	0,49	55,00	1,4	5094	7131
221,25	128	0,52	71,92	1,4	4787	6702
223,11	18	0,505	116,11	1,4	1055	1478
229,33	74	0,54	70,77	1,4	2828	3959
233,16	16	0,58	100,07	1,4	929	1300
246,15	258	0,535	69,26	1,4	9560	13384
261,45	61	0,51	85	1,4	2644	3702
261,74	98	0,51	80	1,4	3998	5598
262,29	91	0,51	80	1,4	3713	5198

Vedlegg 5

Bane NOR anbefales å foreta flom- og kapasitetsberegninger ved alle stikkrenner på strekningen Fåberg-Dombås

I 2014 gjennomførte Norges geotekniske institutt [NGI], på oppdrag fra Jernbaneverket, en kartlegging av skred- og flomfaren mot Dovrebanen på strekningen Fåberg-Dombås i Gudbrandsdalen (Sandersen et al., 2015). I forbindelse med dette ble det gjort kapasitetsberegninger av stikkrenner knyttet til kjente problemområder. Resultatene viste at svært mange stikkrenner er underdimensjonerte, og Sandersen, Høydal & Vernang (2015) påpeker at det trolig er flere stikkrenner med utilstrekkelig kapasitet enn de som ble kartlagt i prosjektet. Bane NOR (tidligere Jernbaneverket) anbefales følgelig å foreta flom- og kapasitetsberegninger for alle stikkrenner på strekningen Fåberg-Dombås (Sandersen et al., 2015). Under følger en liste over de strekninger hvor det ikke har blitt gjort flom- og kapasitetsberegninger.

Strekninger uten flom- og kapasitetsberegninger

< Km 191 (Ingen flom- og kapasitetsberegninger sør for Fåberg).

Km 191-206 (Fåberg - Lagerud).

Km 208-211 (Svartberget - Musdalslia).

Km 211-213 (Veslefossen - Vassrudmoen).

Km 213-216 (Tretten - Skålan)

Km 216-221 (Skålan - Kapelrud)

Km 222-229 (Granskogen - Midtstrand)

Km 229 -233 (Midtstrand - Fåvang nord)

Km 233-239 (Linnvik - Olstadøya)

Km 240-246 (Ranklev - Knarrvollen)

Km 246 - 255 (Knarrvollen - Hundorp)

Km 255 - 261 (Hundorp - like nord for Harpefoss)

Km 262 - 275,20 (Stordalen - Kvam øst)

Km 275,21 - 284,90 (Kvam øst – Botten, sør for Sjoa)

Km 285,8 - 289,455 (Sjoa - Nyheim)

Km 289,69 - 295,44 (Nyheim - Selsjord)

Km 295,44 - 299,80 (Selsjord - Kleivmellom)

Km 299,87 - 305,80 (Kleivmellom - Skottvatnet naturreservat)

Km 305,80 - 307,9.(Skottvatnet naturreservat - Sel)

Km 308,09 - 315,52 (Sel - Roståe)

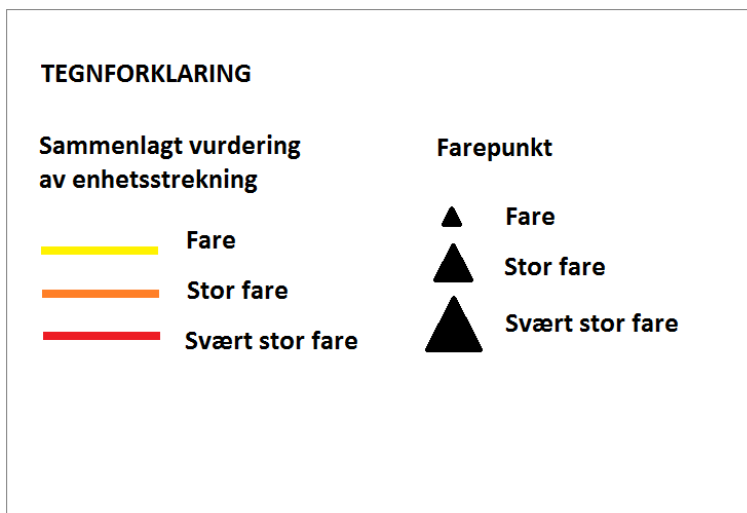
Km > 315,16 (Ingen flom- og kapasitetsberegninger nord for Roståe)

Vedlegg 6

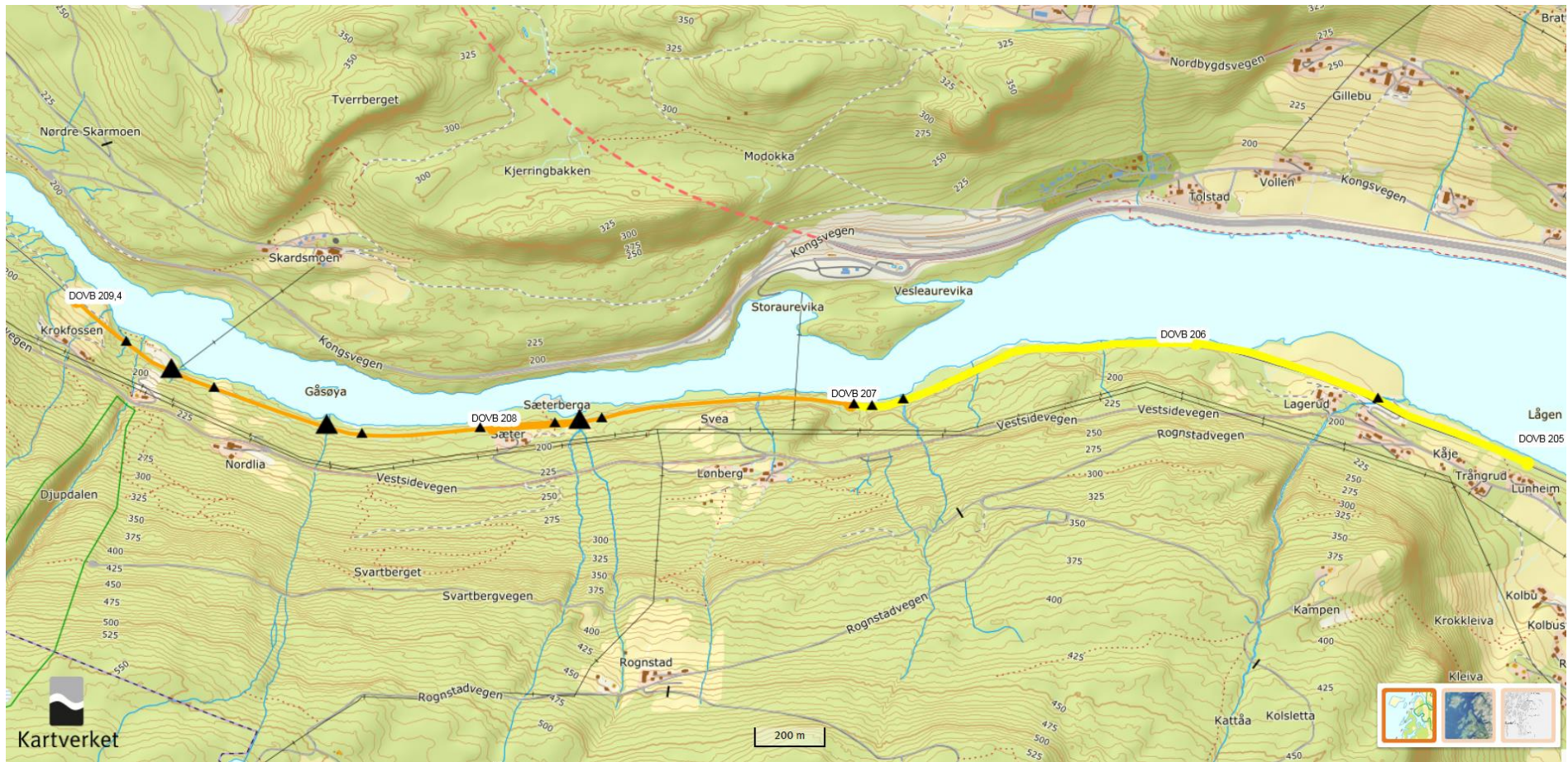
Resultater fra oversiktskartleggingene gjort i 2019 ble fremstilt kartografisk i Norgeskart sin kartløsning. Kartet viser strekninger langs Dovrebanen mellom Fåberg og Dombås som ble vurdert å være utsatt for jord- og flomskred og vann på avveie, og er tilgjengelig via følgende lenke:

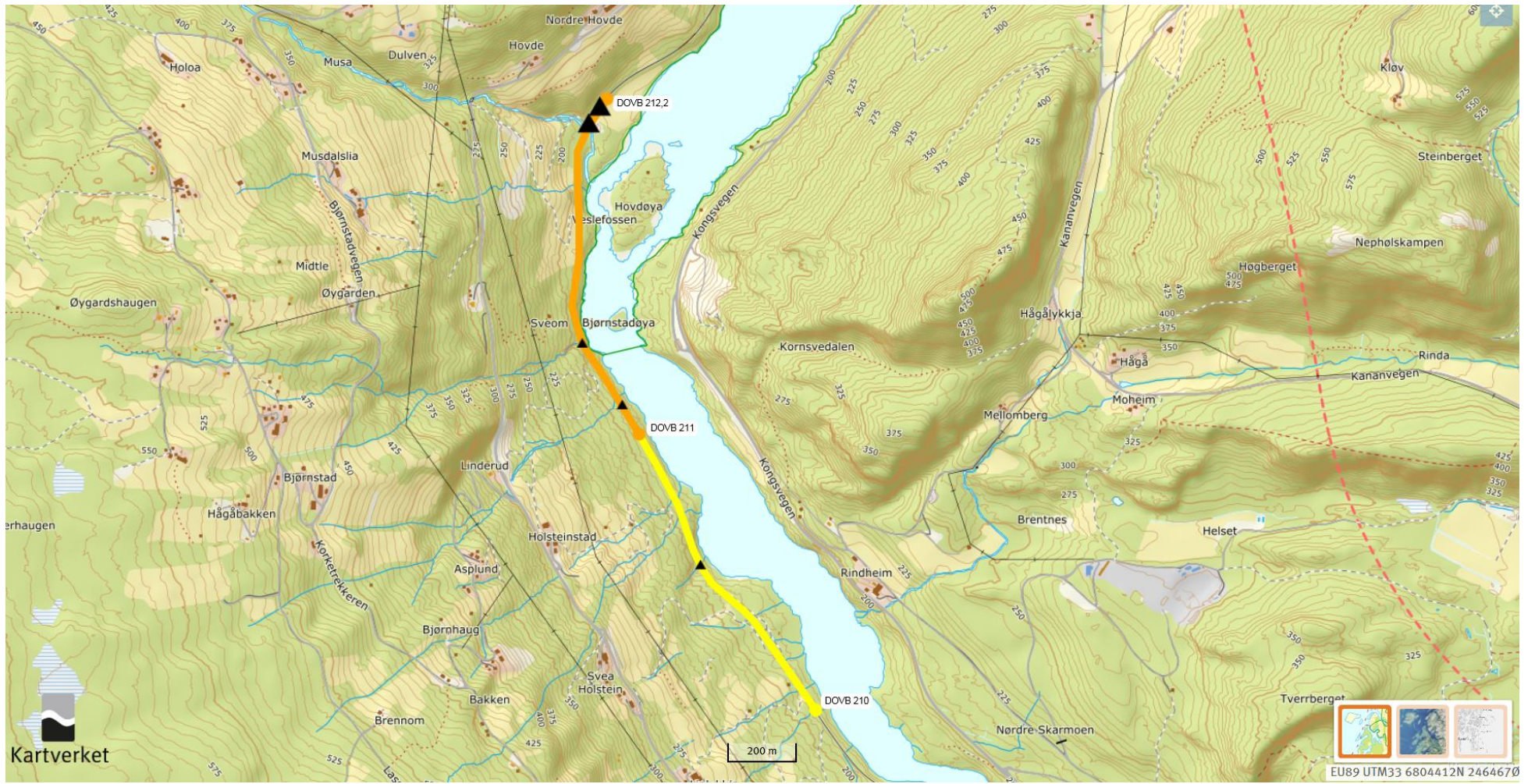
<https://www.norgeskart.no/#!/?project=norgeskart&layers=1002&zoom=11&lat=6851549.24&lon=213445.71&markerLat=6867984.788799088&markerLon=212208.1183286434&panel=searchOptionsPanel&drawing=15c103a1fa0e67ba64bc2e4dc6187f7f2f939592&sok=Skallfjellet>

Alle de utsatte strekningene blir også presentert i utklippene under. Strekningene presenteres fra Sør til Nord, og nummereringer langs jernbanen viser jernbanens kilometering (DOVB). Langs hver av de skredutsatte enhetsstrekningene ble det identifisert ett eller flere farepunkt. Det ble gjort en estimering av farenivået for hvert av punktene. Det sammenlagte farenivået for strekningen ble estimert med grunnlag i antall farepunkt og farenivået til punktene langs strekningen. Det estimerte farenivået til hvert punkt symboliseres med størrelsesproporsjonale trekant-symboler, hvor liten trekant angir *fare*, mellomstor trekant *stor fare*, og stor trekant *svært stor fare*. Det sammenlagte farenivået til hele enhetsstrekningen symboliseres med fargene gul, orange og rød, hvor gul farge angir *fare*, orange *stor fare*, og rød *svært stor fare*.

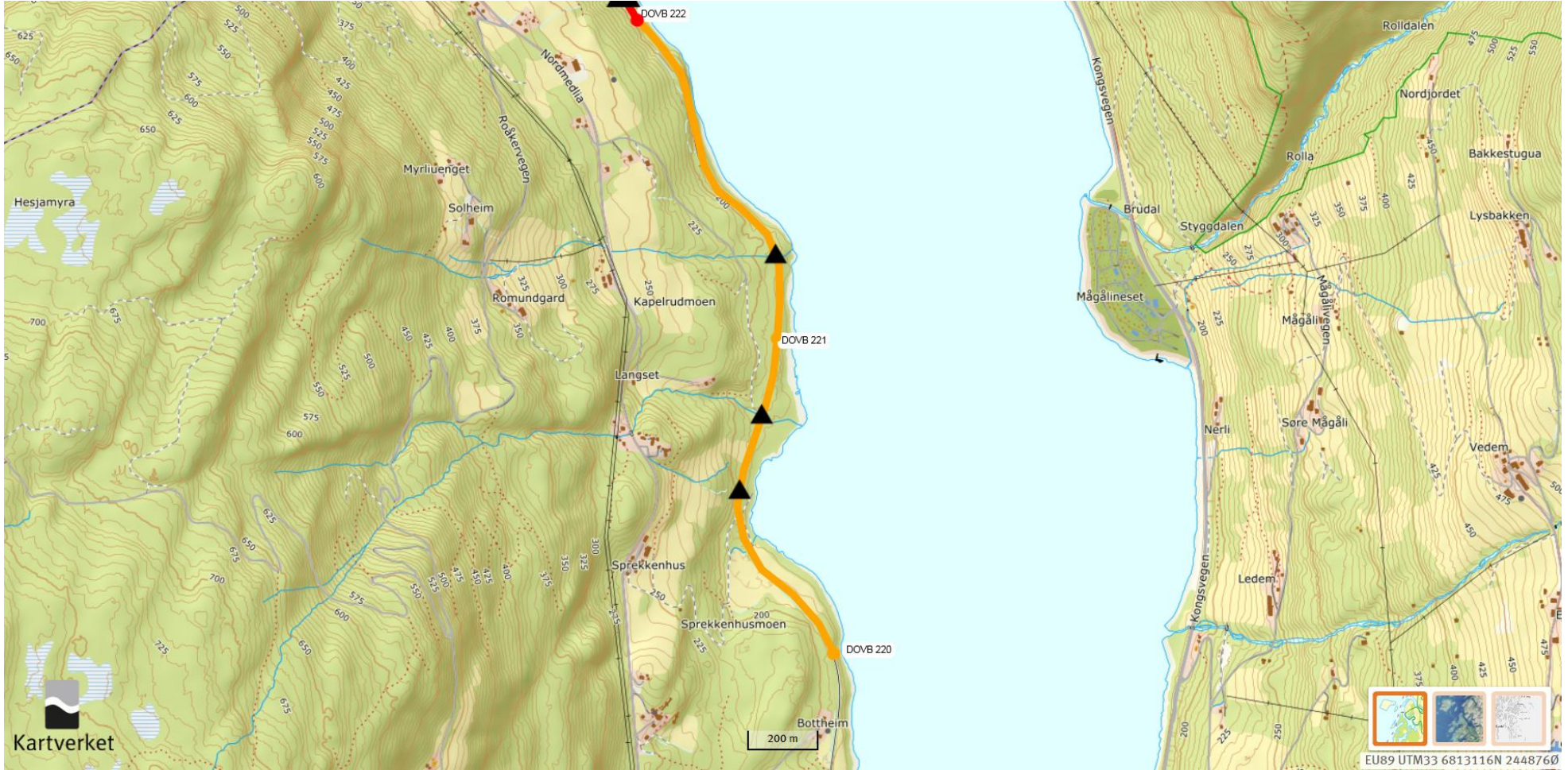


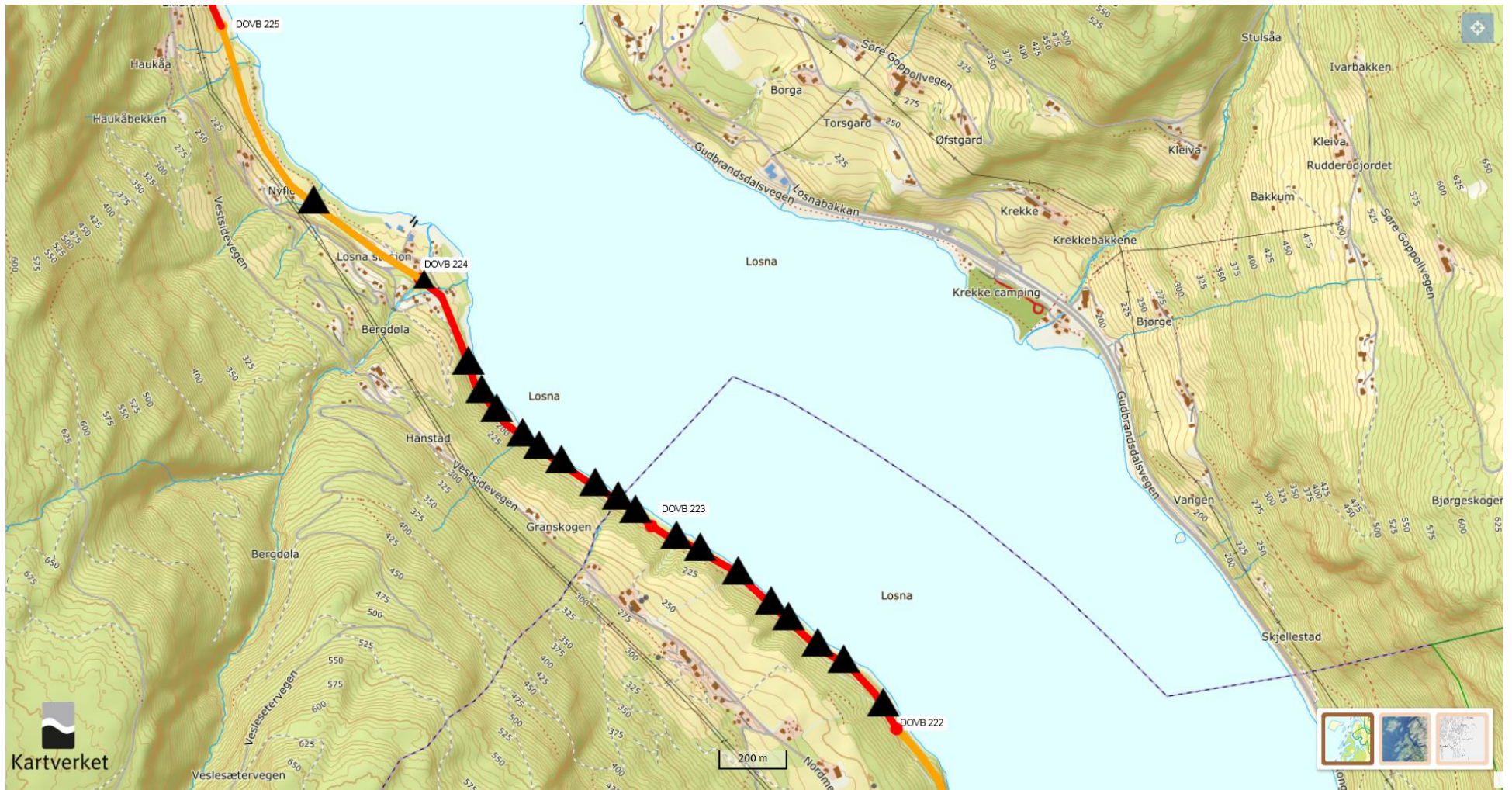
Figur 1: Figuren viser tegnforklaringer tilknyttet kartutklippene som blir vist under.



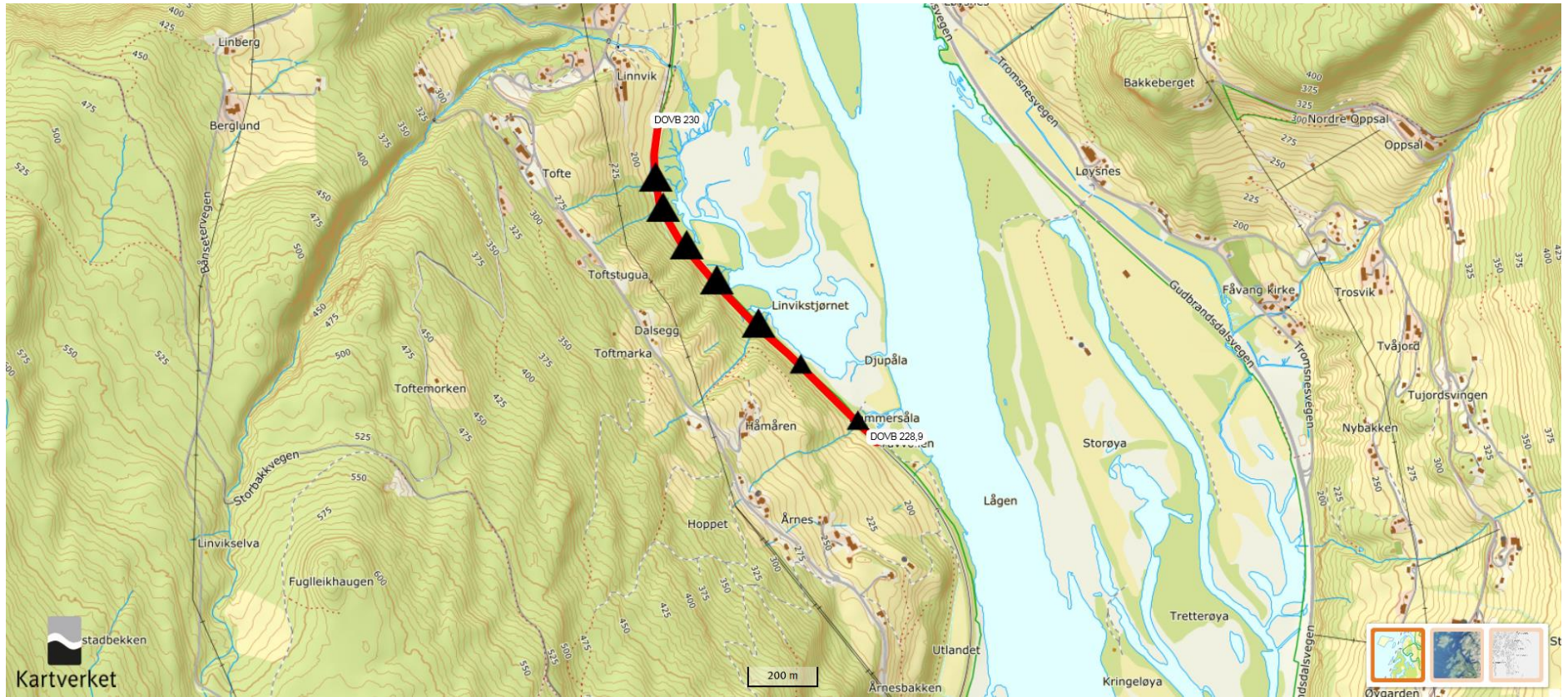


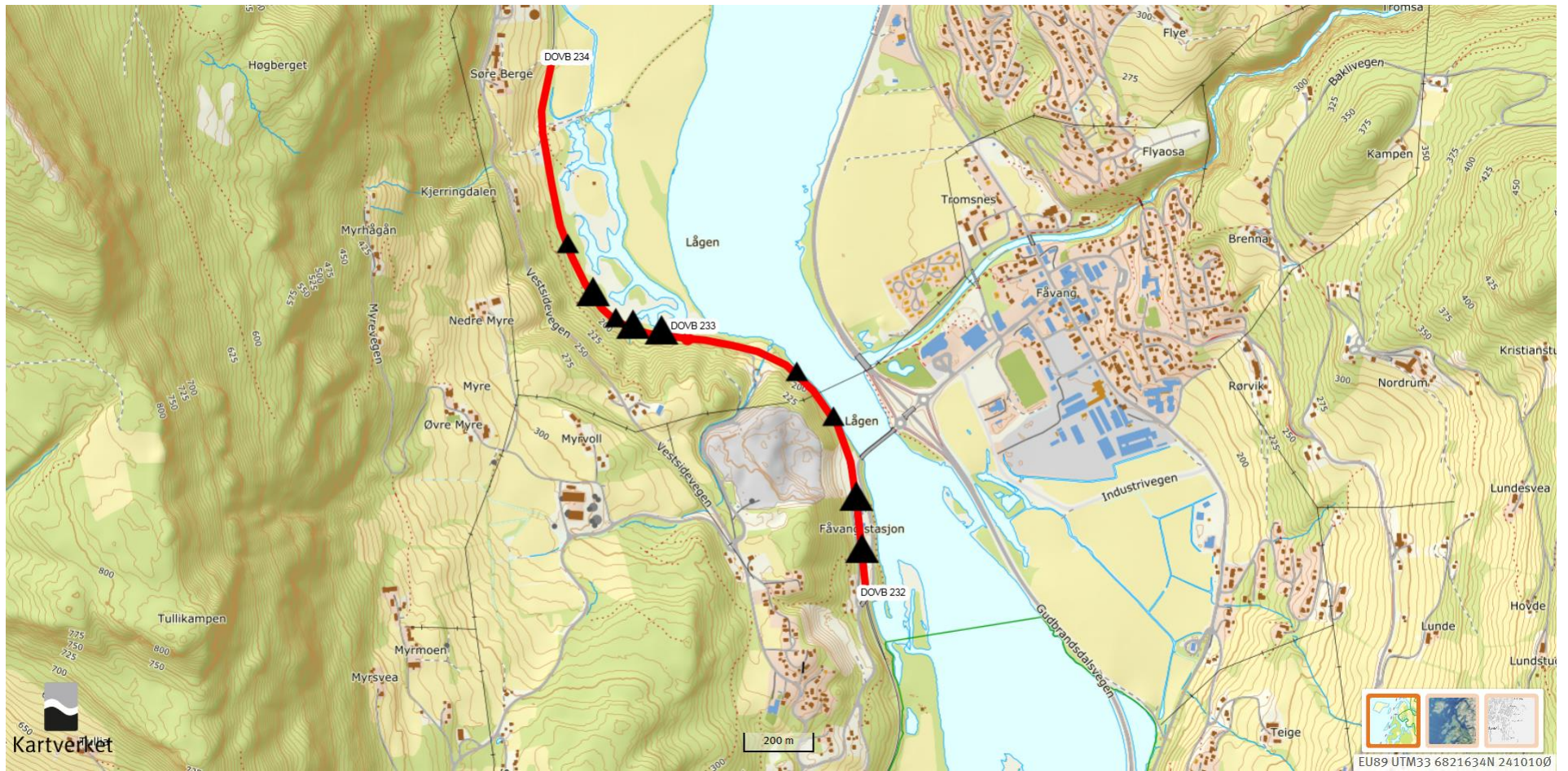


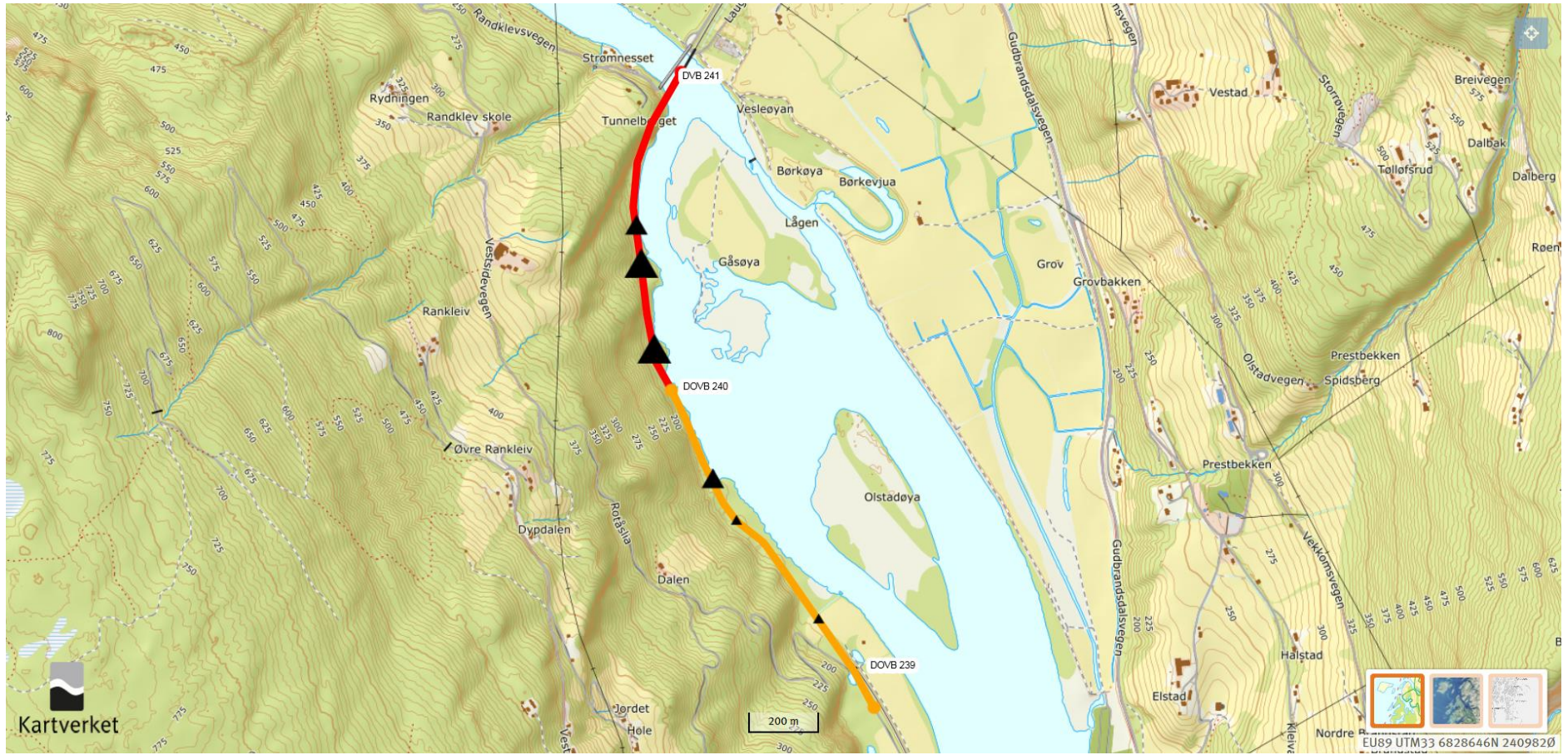


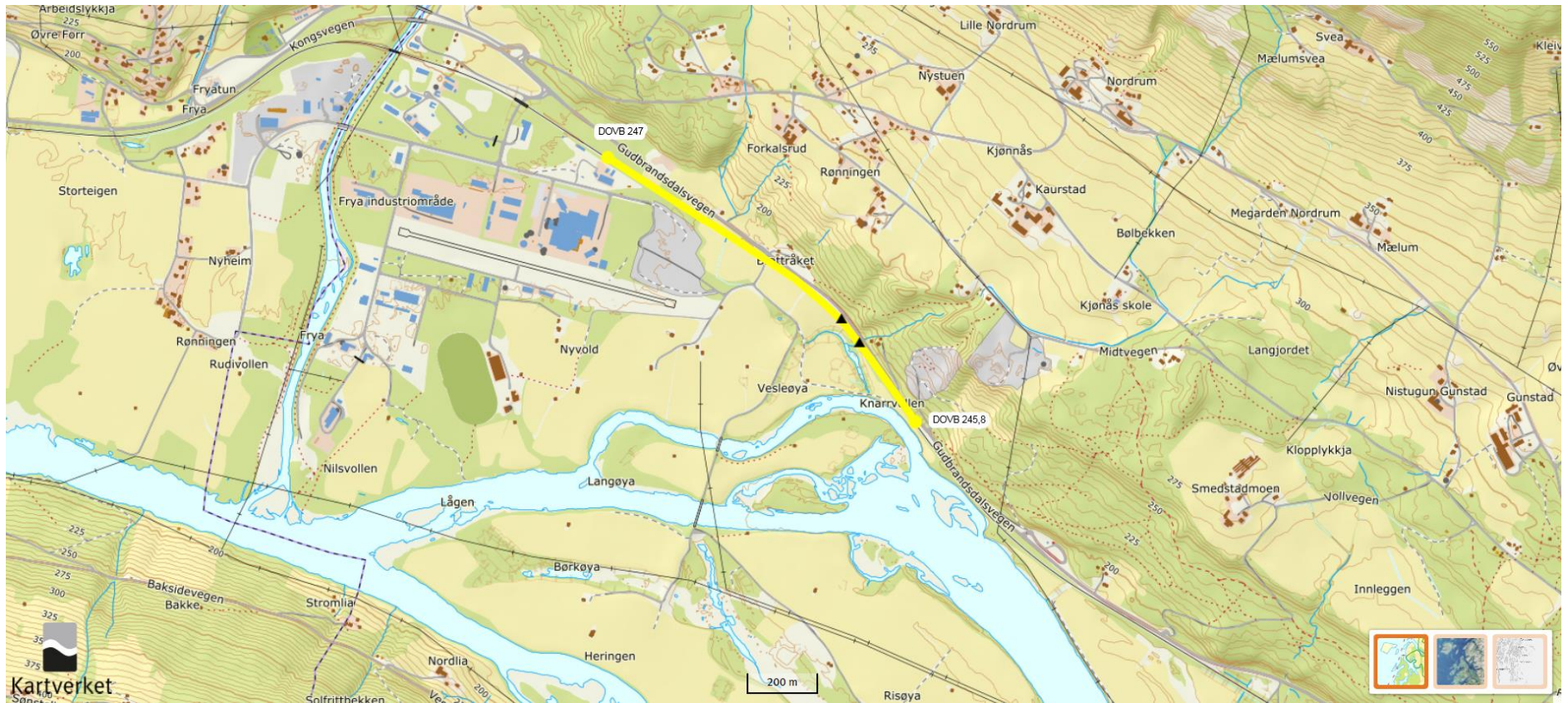


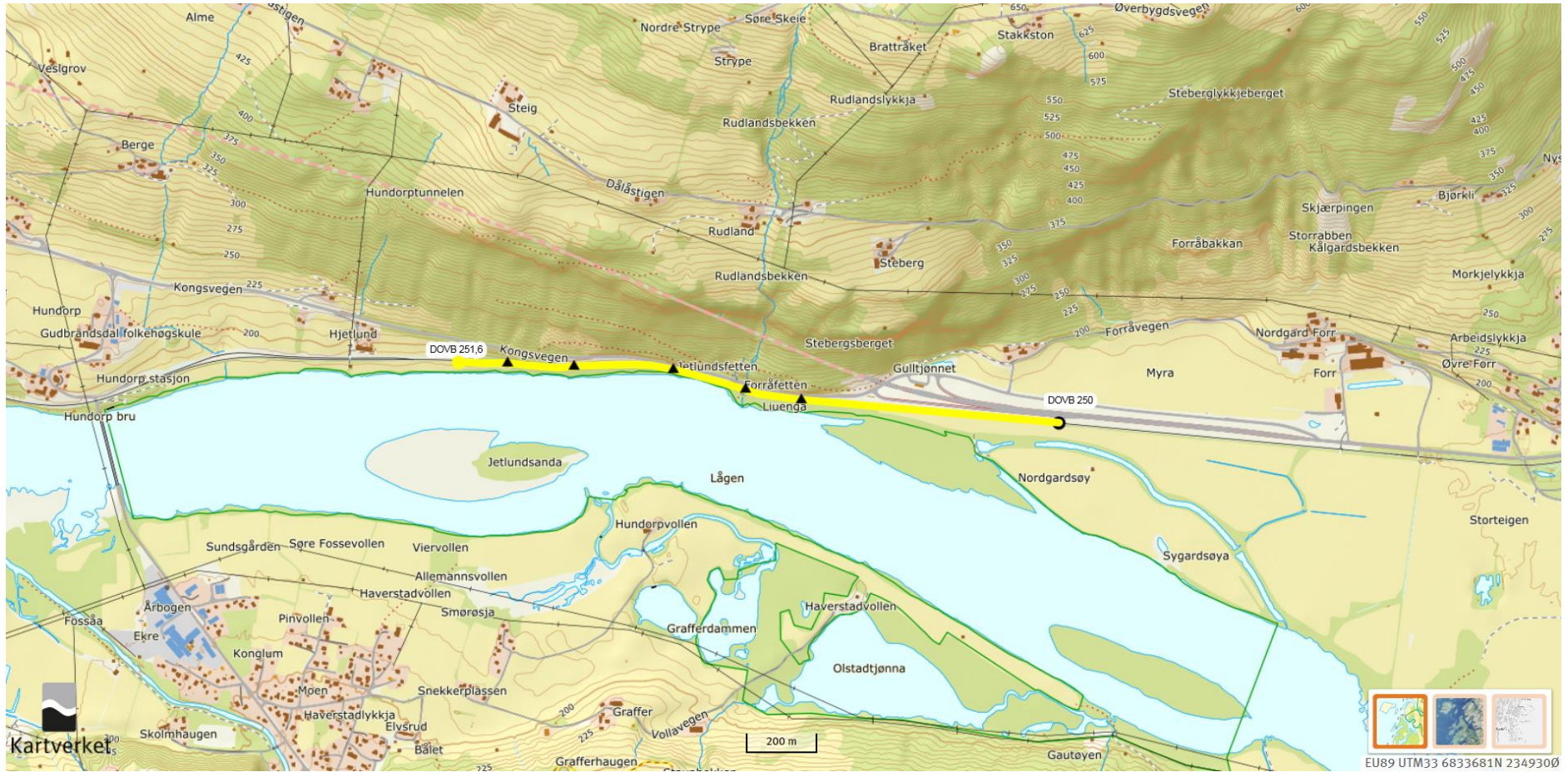


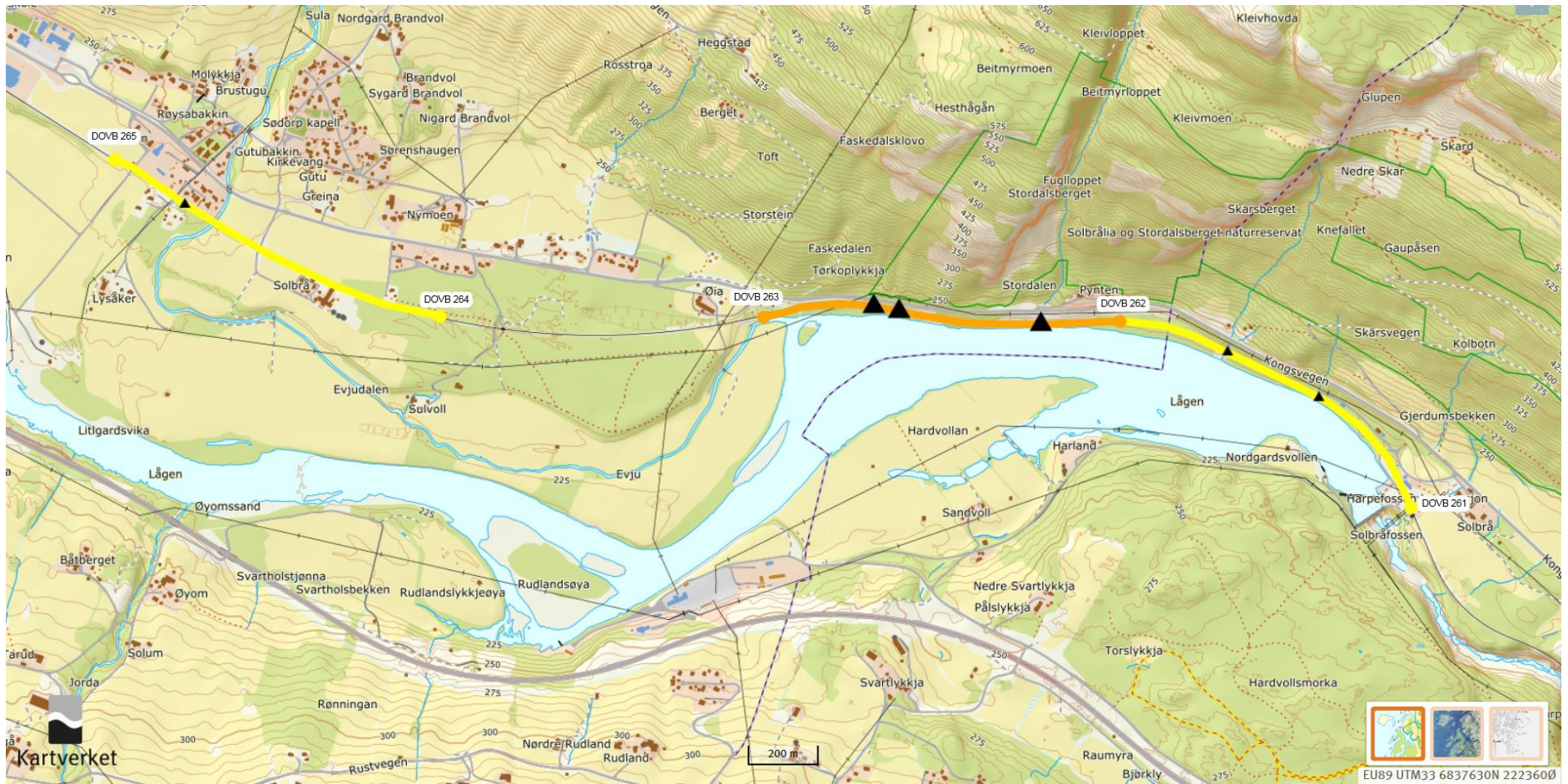


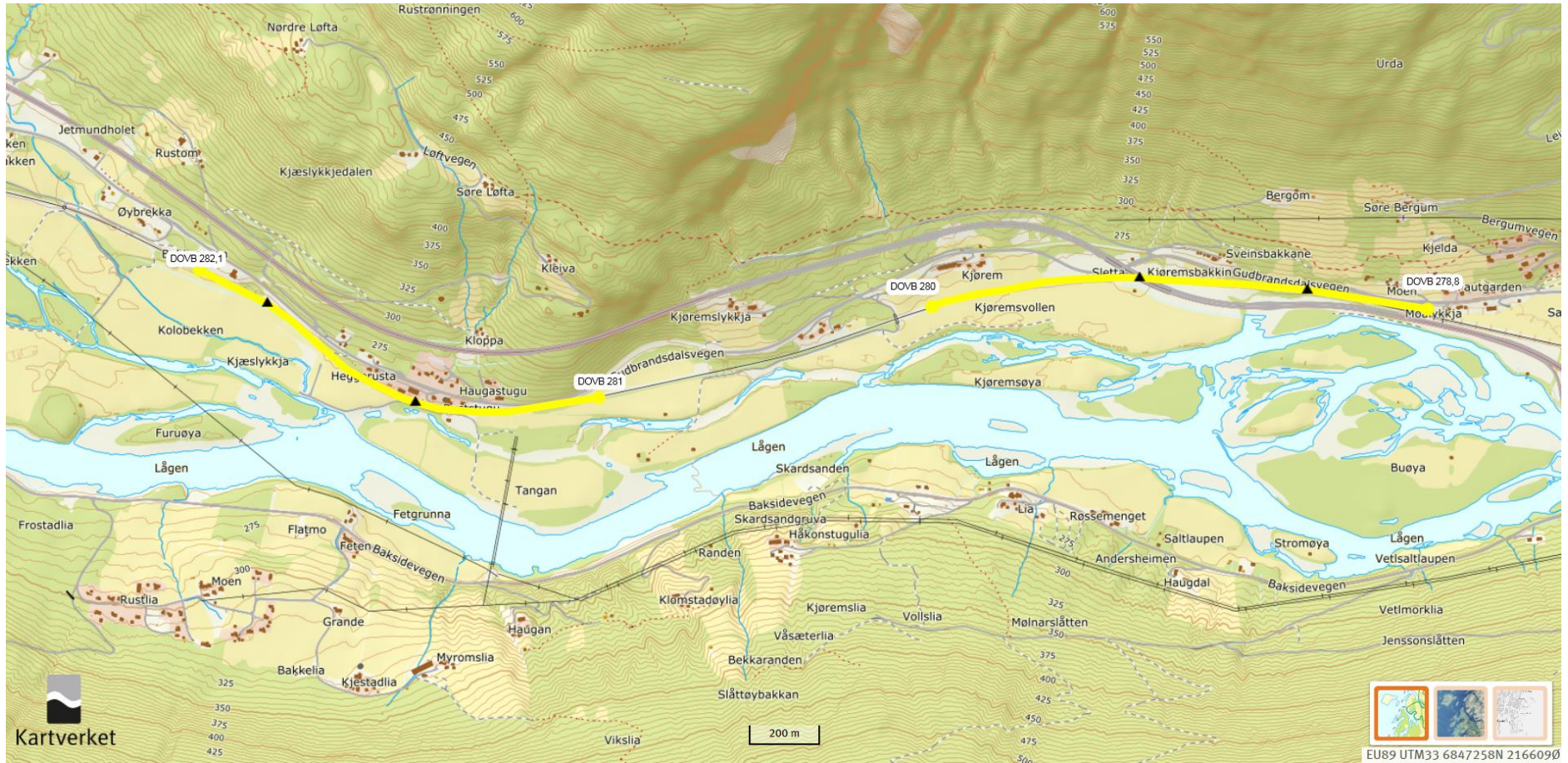






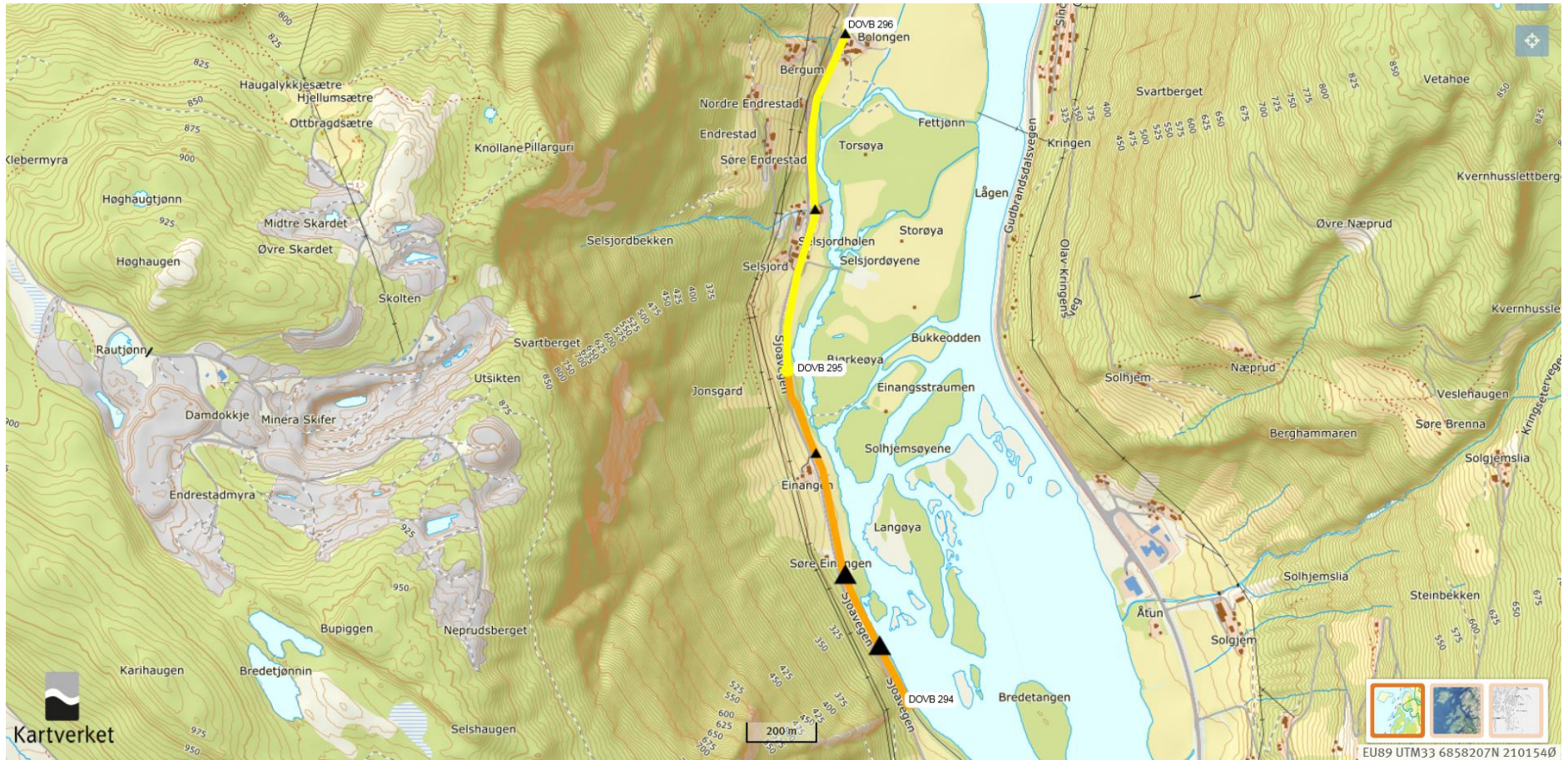


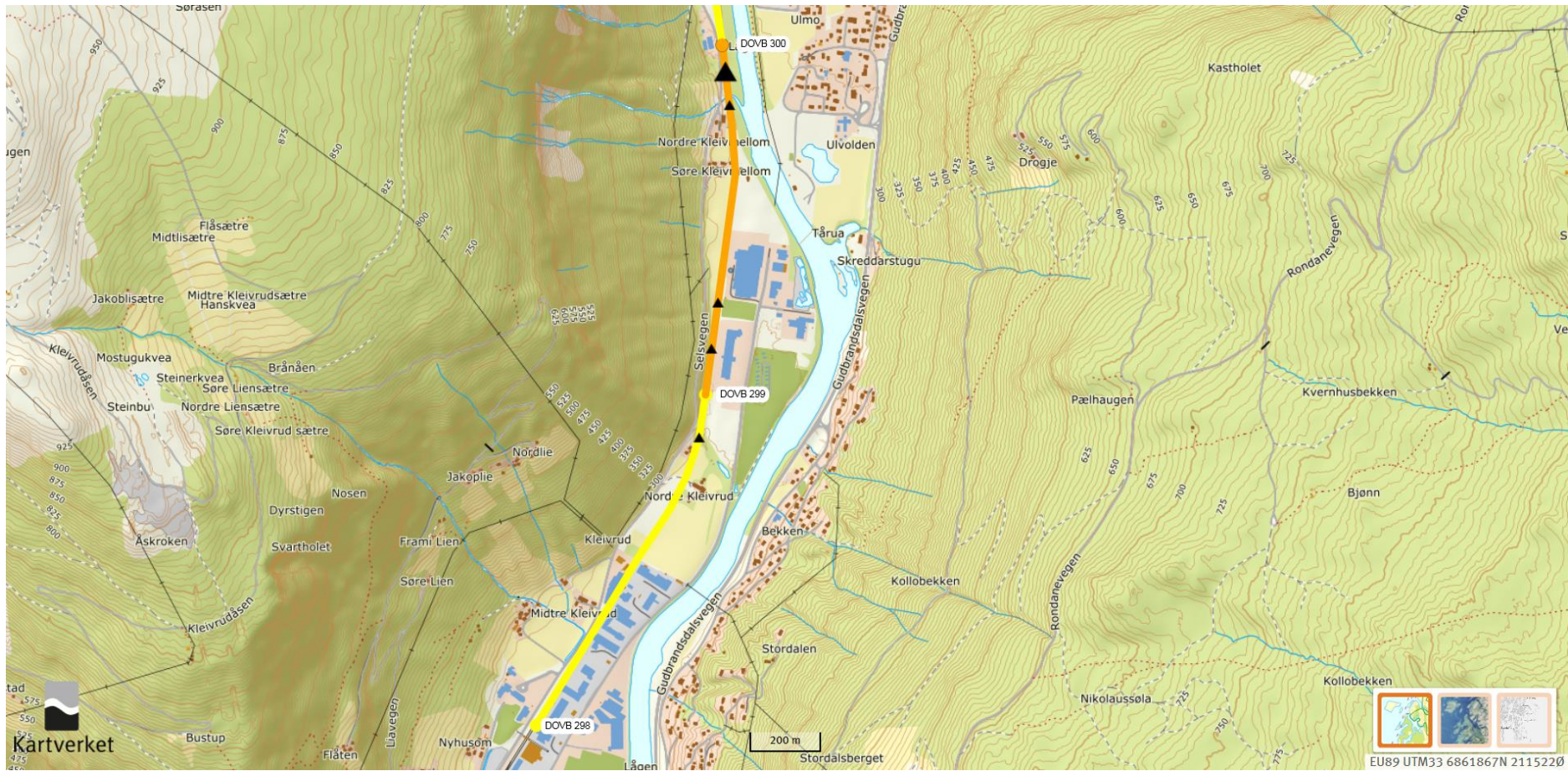


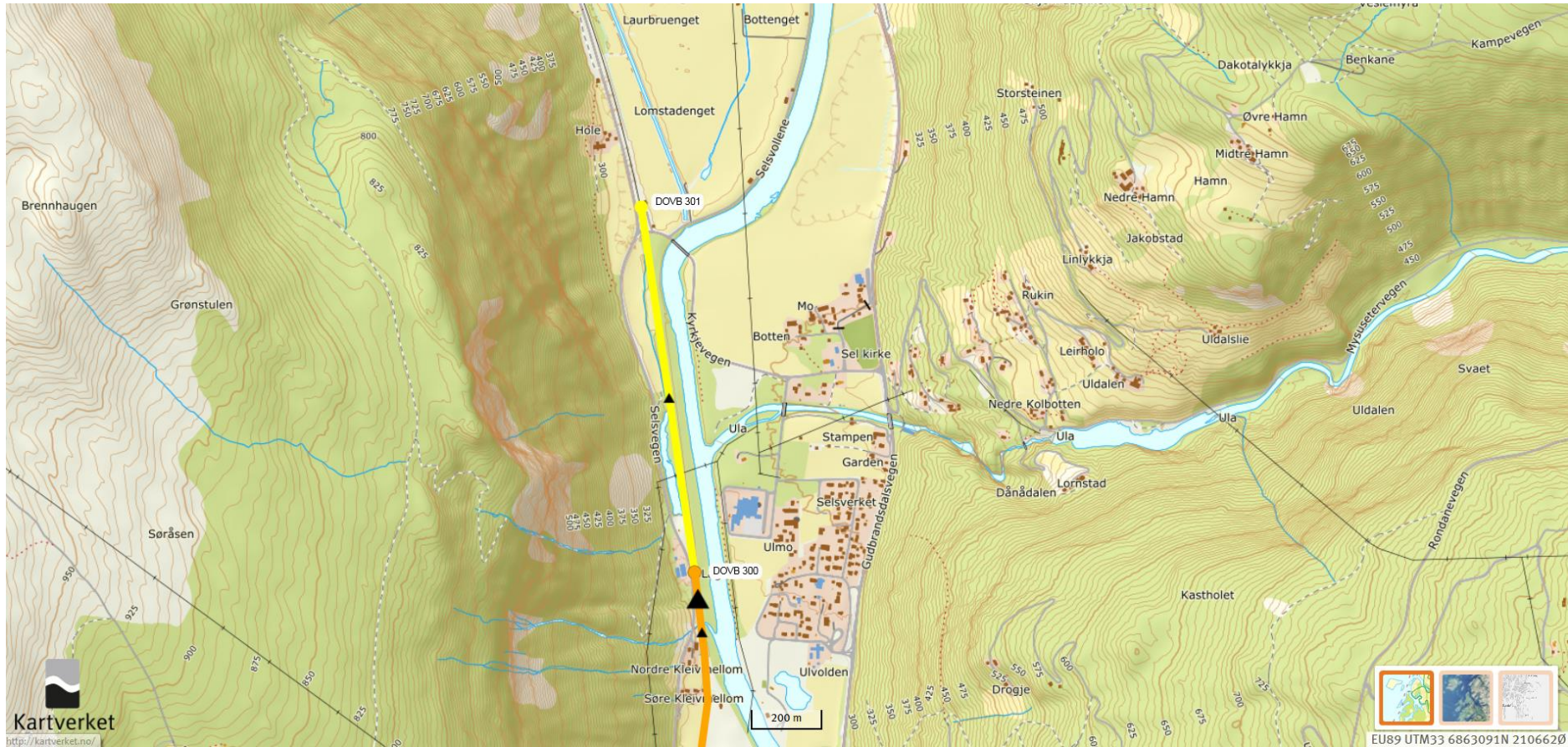


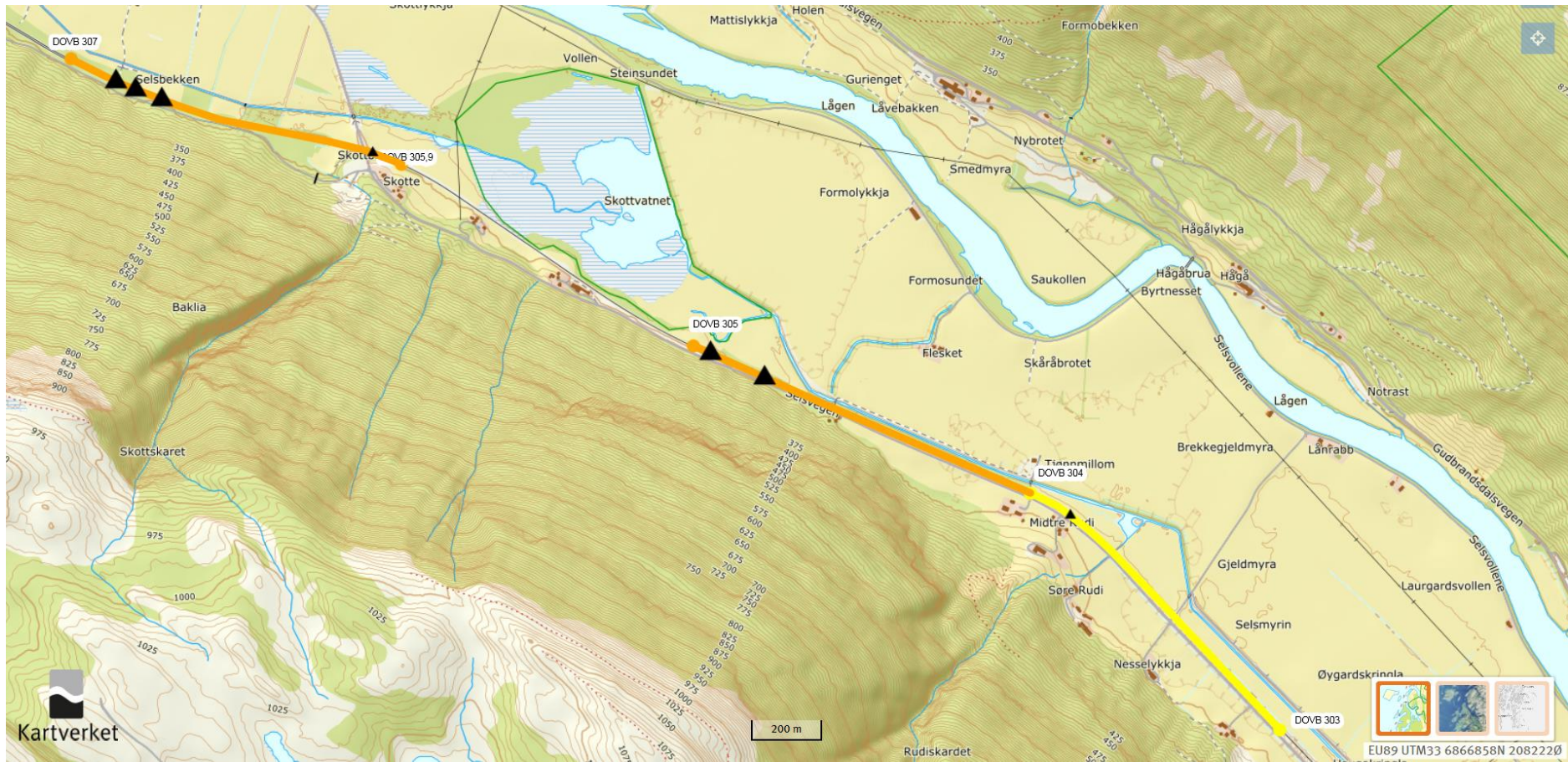
EU89 UTM33 6847258N 2166090

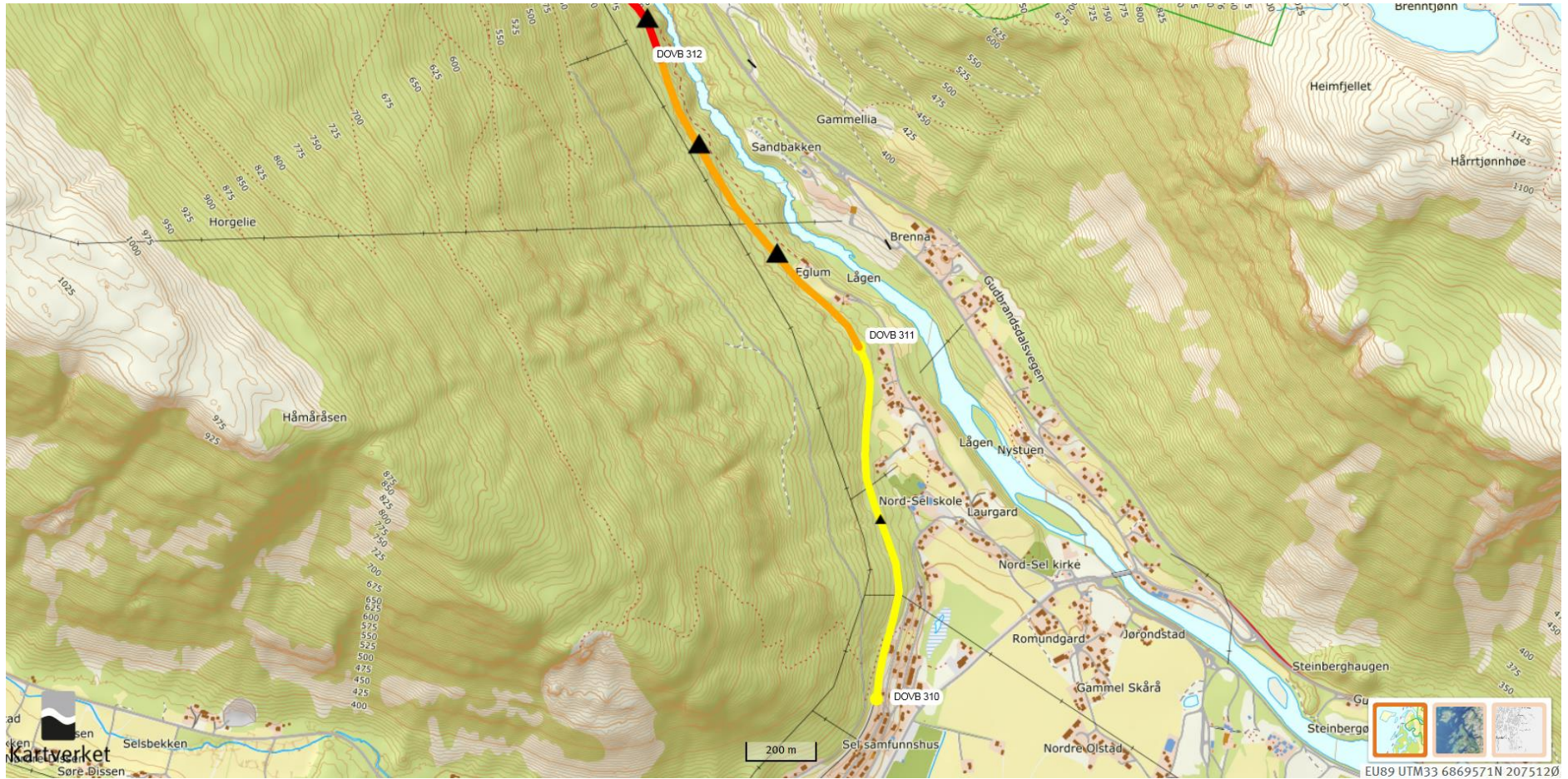


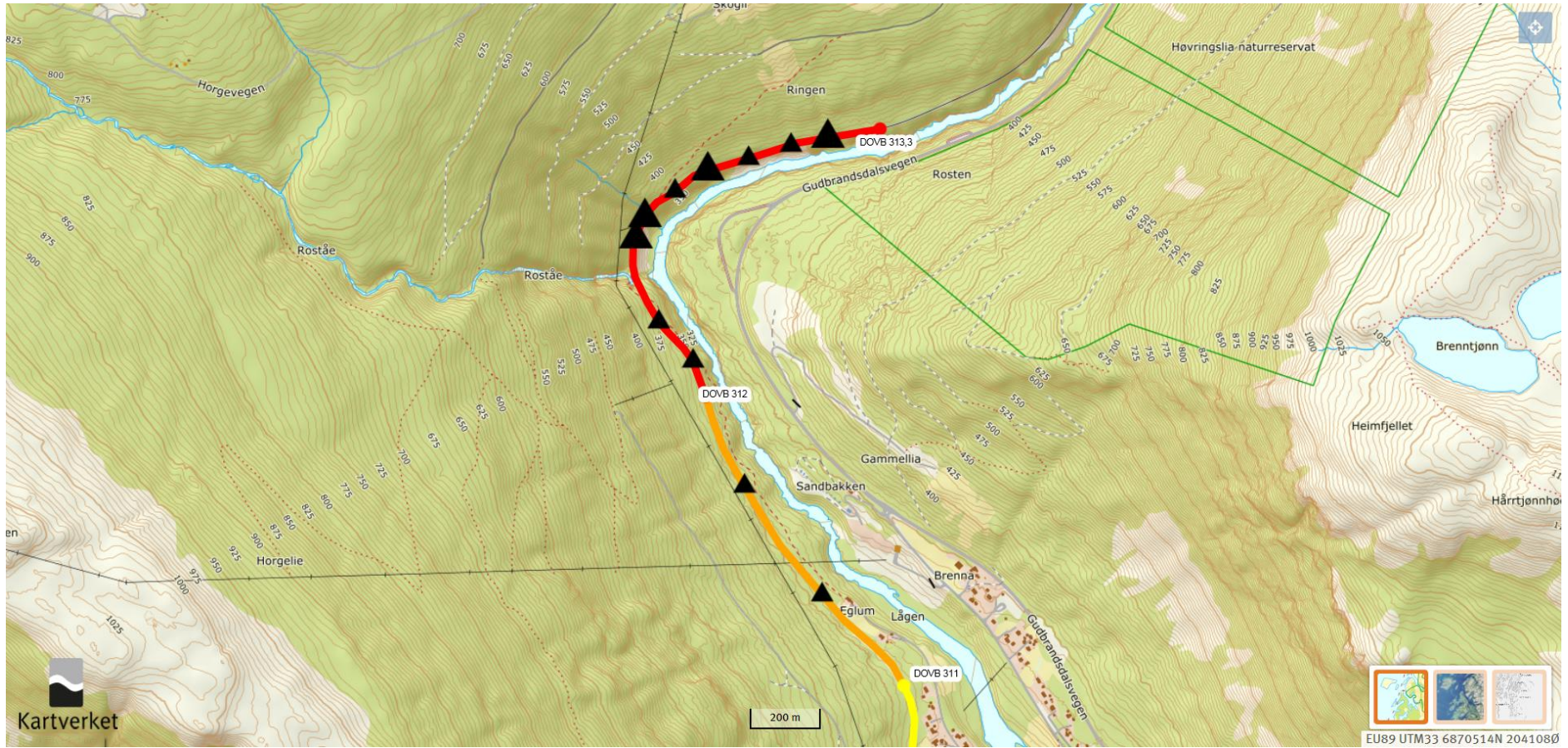


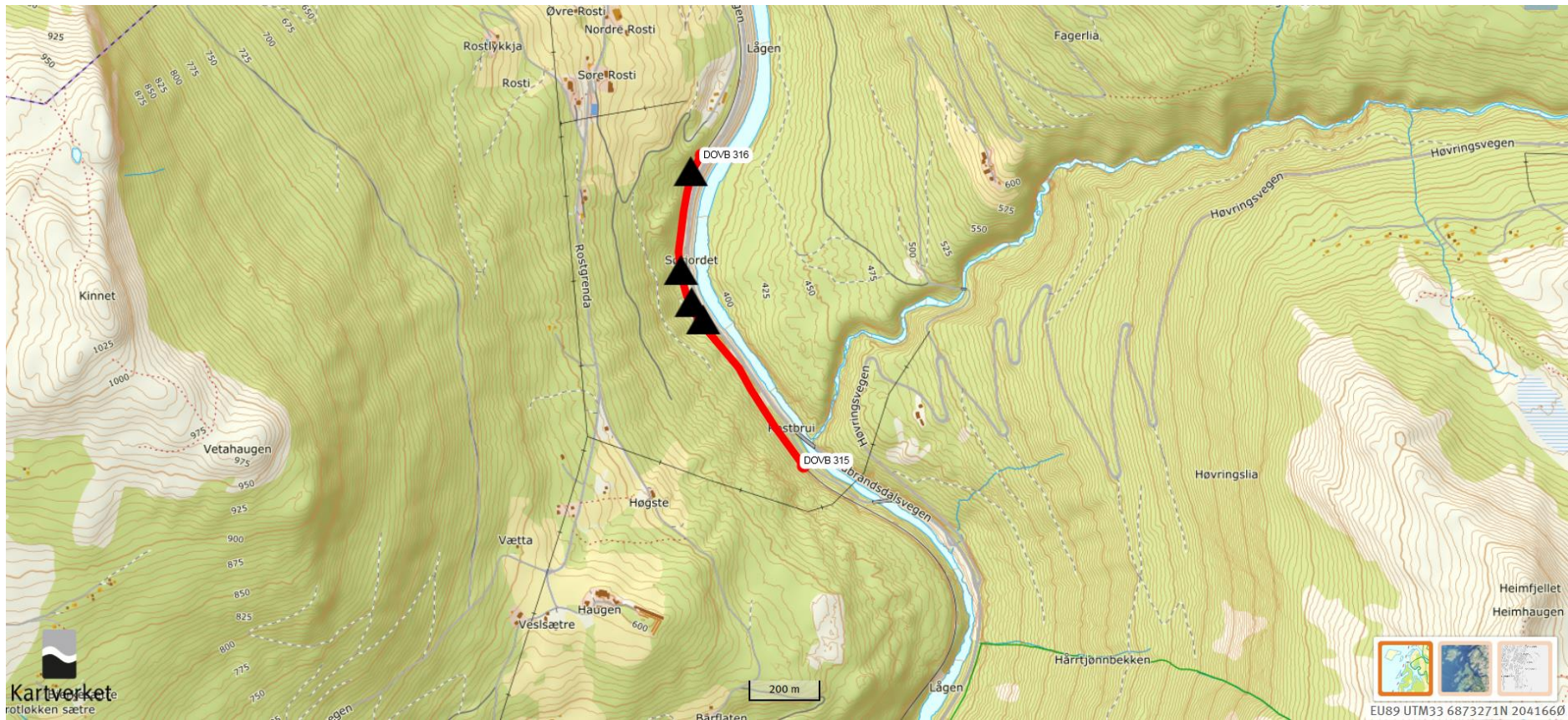


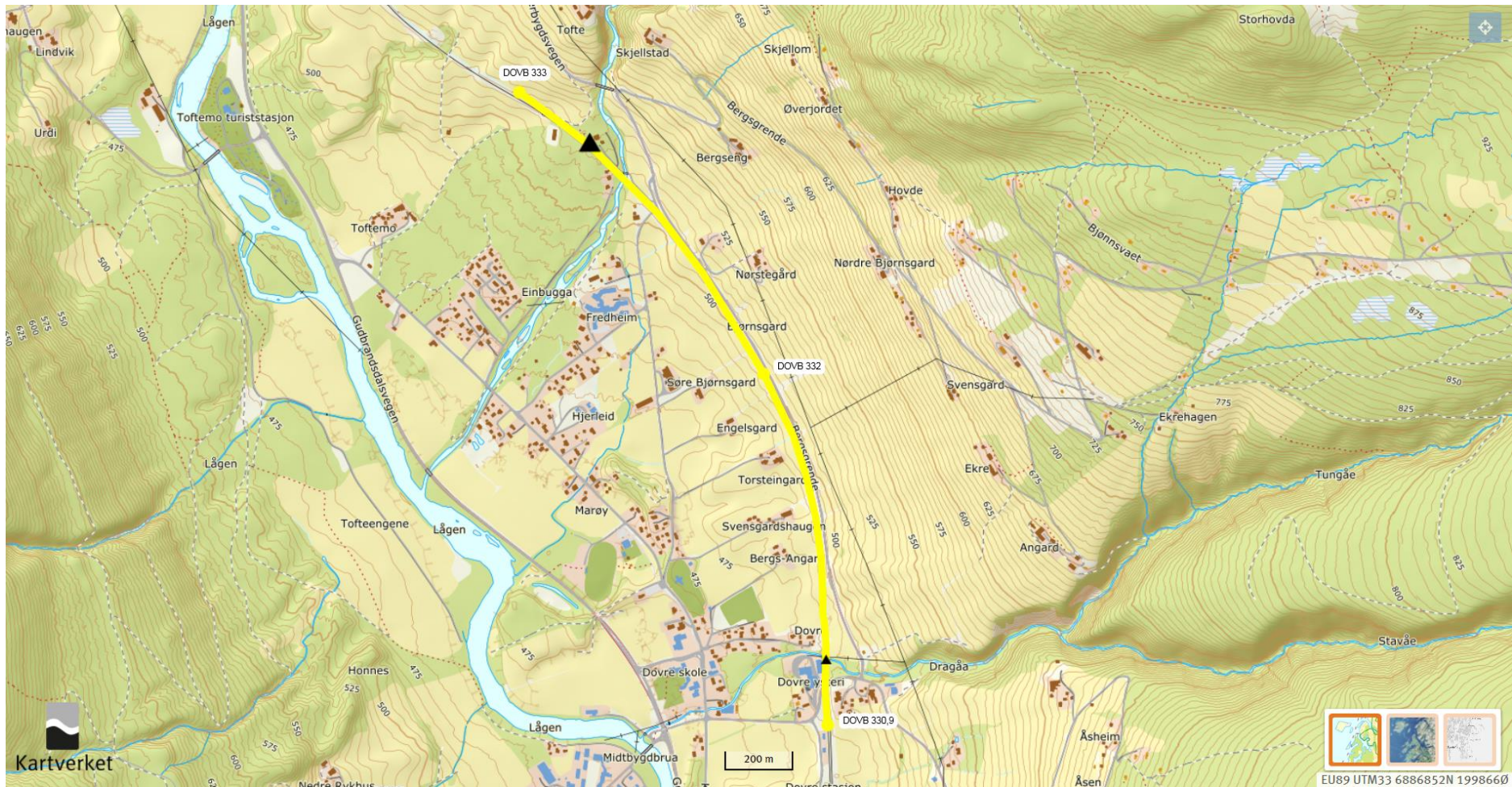


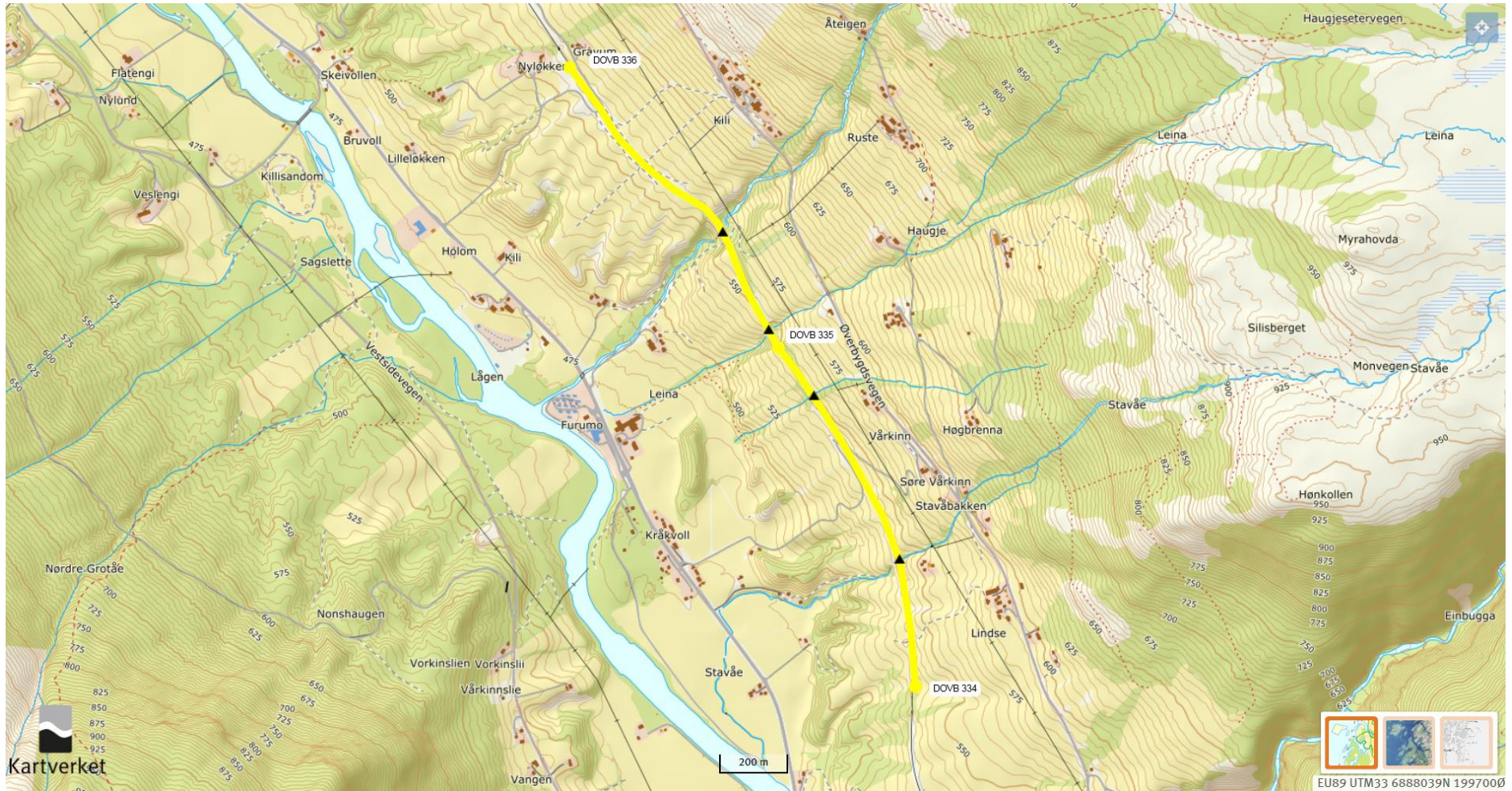


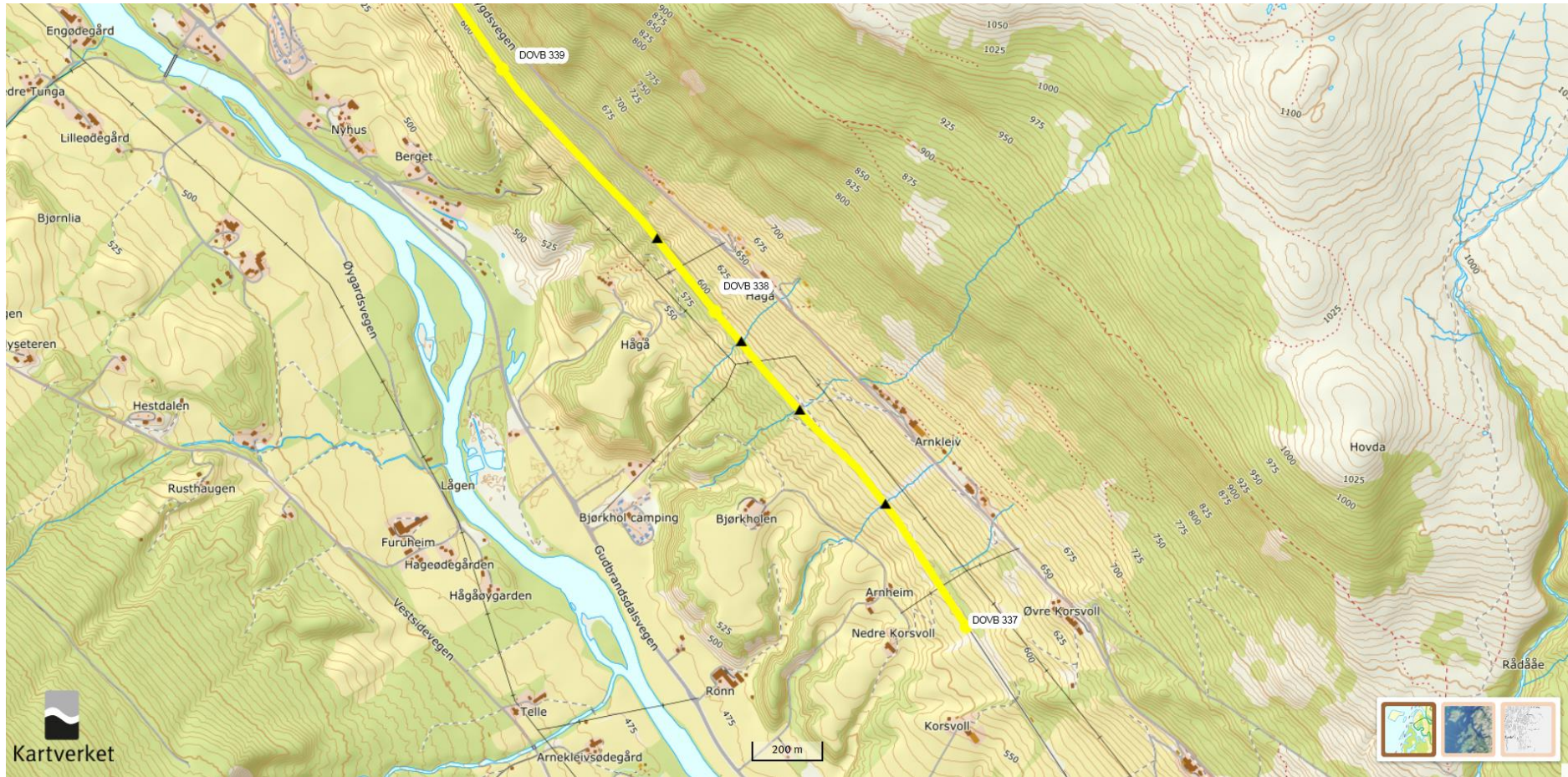


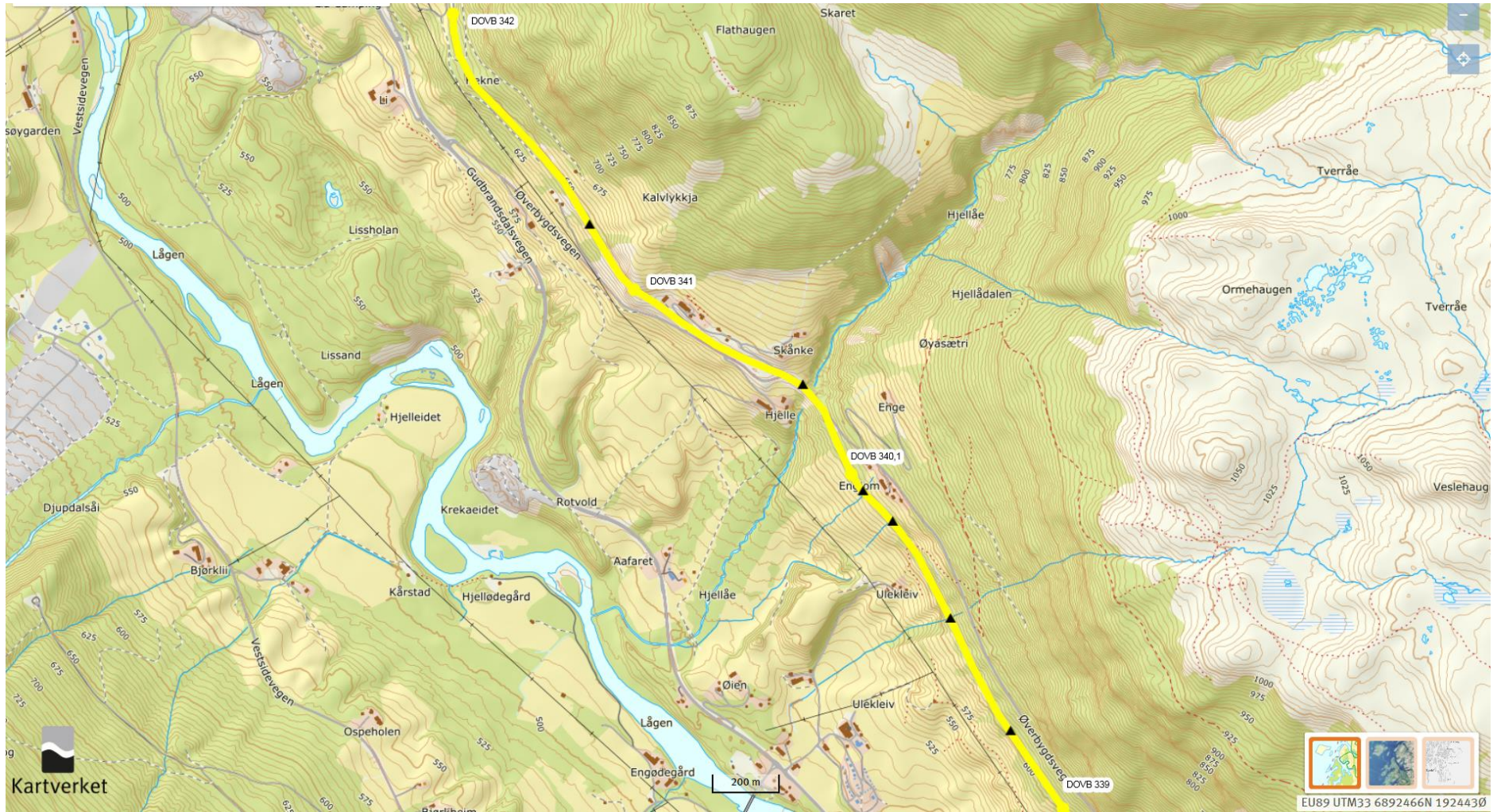












Vedlegg 7

Vedlegget inneholder en samling av de 12 automatisk genererte rapportene produsert ved flomberegningene med NEVINA.

Arkene er sortert fra sør til nord, og viser flomberegninger for:

Km 206,85

Km 207,03

Km 207,76

Km 208,47

Km 221,25

Km 223,11

Km 229,33

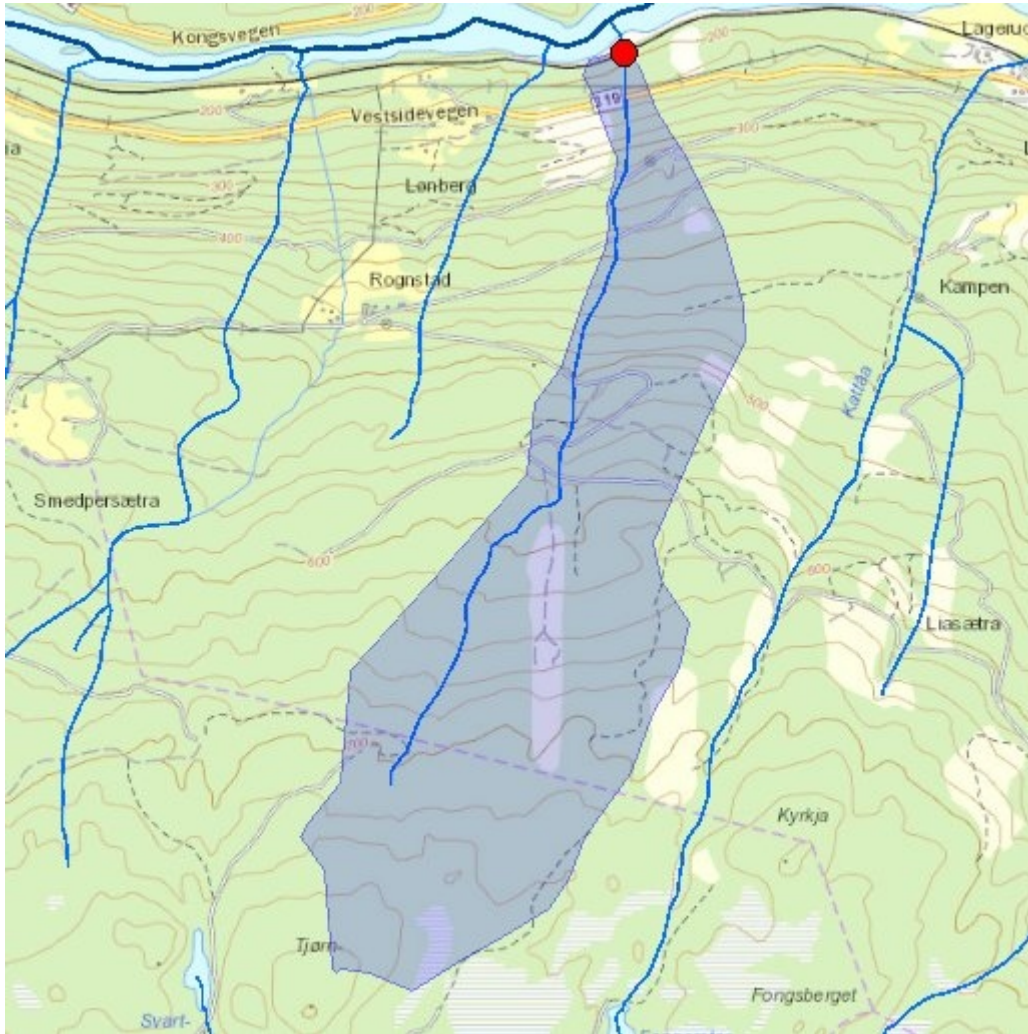
Km 233,16

Km 246,15

Km 261,45

Km 261,74

Km 262,29



Lavvannskart

Vassdragsnr.: 002.DE4
 Kommune: Øyer
 Fylke: Oppland
 Vassdrag: Vormå-lågen

Feltparametere

Areal (A)	1,7 km ²
Effektiv sjø (S_{eff})	0,0 % ¹
Elvelengde (E_L)	2,5 km
Elvegradient (E_G)	208,5 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G_{1085})	200,4 m/km
Feltlengde(F_L)	3,0 km
H_{min}	180 moh.
H_{10}	407 moh.
H_{20}	515 moh.
H_{30}	582 moh.
H_{40}	617 moh.
H_{50}	643 moh.
H_{60}	678 moh.
H_{70}	702 moh.
H_{80}	721 moh.
H_{90}	744 moh.
H_{max}	787 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	2,0 % ¹
Myr	2,0 % ¹
Sjø	0,0 %
Skog	94,0 % ¹
Snau fjell	0,0 %
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	12,9 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	0,3 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	0,4 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	0,9 l/(s*km ²)
Base flow	5,8 l/(s*km ²)
BFI	0,5

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	662 mm
Sommernedbør	354 mm
Vinternedbør	308 mm
Årstemperatur	1,0 °C
Sommertemperatur	9,0 °C
Vintertemperatur	-4,8 °C
Temperatur Juli	11,5 °C
Temperatur August	11,4 °C

1) Verdien er editert



Kartbakgrunn: Statens Kartverk

Kartdatum: EUREF89 WGS84

Projeksjon: UTM 33N

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

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 tørrvæsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.DE4

Kommune: Øyer

Fylke: Oppland

Vassdrag: Vorma-lågen

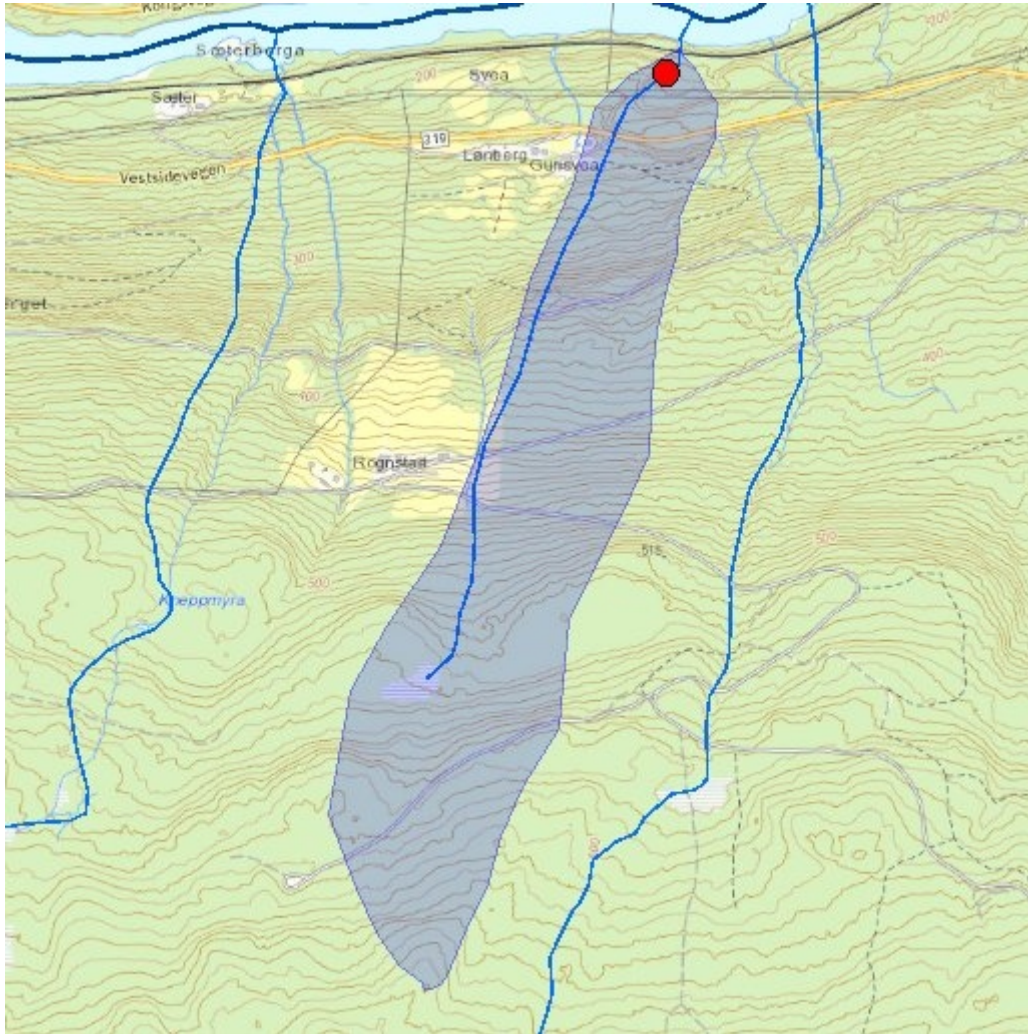
Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentaksintervall. De er beregnet ved bruk av et formelverk som er utarbeidet for nedbørfelt under ca 50 km². Feltparametere som inngår i formelverket er areal, effektiv sjøprosent og normalavrenning (l/s*km²). For mer utdypende beskrivelse 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 momentanflommer 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.

Vorma-lågen

Areal (km ²)	1,68
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	-	-	1,28	1,53	1,79	2,19	2,54	2,94
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	1,2	716,4	1,6	1,9	2,3	2,9	3,5	4,0
Flomverdier (m ³ /s)	0,7	405	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,4	229	0,5	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	1,0	566,7	0,9	1,5	1,7	2,1	2,4	2,8

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.



Lavvannskart

Vassdragsnr.: 002.DE4
 Kommune: Øyer
 Fylke: Oppland
 Vassdrag: Vormå-lågen

Feltparametere

Areal (A)	0,5 km ²
Effektiv sjø (S _{eff})	0,0 % ¹
Elvelengde (E _L)	1,2 km
Elvegradient (E _G)	277,9 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	316,9 m/km
Feltlengde (F _L)	1,7 km
H _{min}	184 moh.
H ₁₀	263 moh.
H ₂₀	346 moh.
H ₃₀	403 moh.
H ₄₀	450 moh.
H ₅₀	502 moh.
H ₆₀	530 moh.
H ₇₀	551 moh.
H ₈₀	581 moh.
H ₉₀	601 moh.
H _{max}	645 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	15,0 % ¹
Myr	0,0 %
Sjø	0,0 %
Skog	85,0 % ¹
Snau fjell	0,0 %
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	9,6 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	0,3 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	0,4 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	0,9 l/(s*km ²)
Base flow	5,2 l/(s*km ²)
BFI	0,5

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	660 mm
Sommernedbør	354 mm
Vinternedbør	307 mm
Årstemperatur	1,5 °C
Sommertemperatur	9,7 °C
Vintertemperatur	-4,4 °C
Temperatur Juli	12,2 °C
Temperatur August	12,1 °C

1) Verdien er editert



Kartbakgrunn: Statens Kartverk

Kartdatum: EUREF89 WGS84

Projeksjon: UTM 33N

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

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.

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.DE4

Kommune: Øyer

Fylke: Oppland

Vassdrag: Vorma-lågen

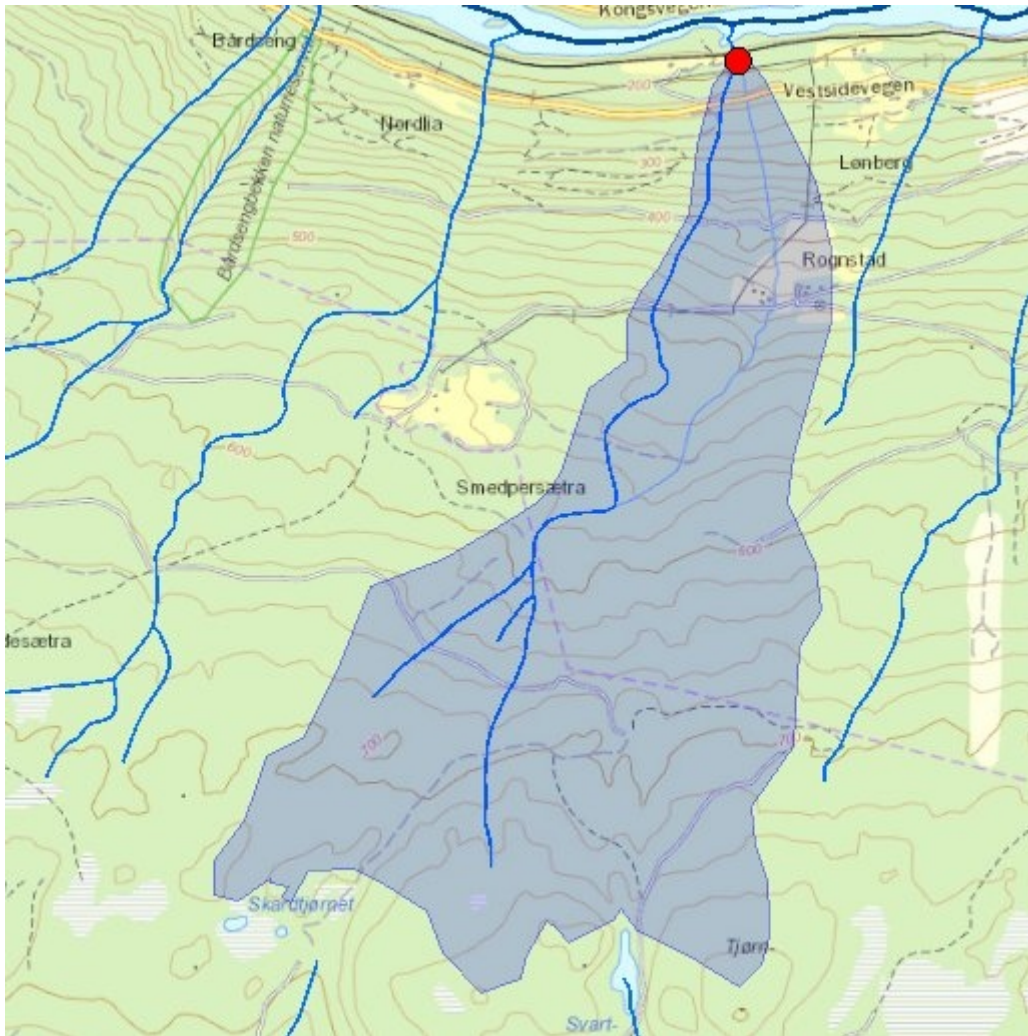
Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentaksintervall. De er beregnet ved bruk av et formelverk som er utarbeidet for nedbørfelt under ca 50 km². Feltparametere som inngår i formelverket er areal, effektiv sjøprosent og normalavrenning (l/s*km²). For mer utdypende beskrivelse 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 momentanflommer 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.

Vorma-lågen

Areal (km ²)	0,47
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	-	-	1,28	1,50	1,78	2,17	2,56	2,94
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	0,3	677,9	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1
Flomverdier (m ³ /s)	0,2	383	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,1	216	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	0,3	536,2	0,2	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7

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.



Lavvannskart

Vassdragsnr.: 002.DE4
 Kommune: Øyer
 Fylke: Oppland
 Vassdrag: Vormå-lågen

Feltparametere

Areal (A)	2,4 km ²
Effektiv sjø (S _{eff})	0,0 % ¹
Elvelengde (E _L)	2,8 km
Elvegradient (E _G)	200,4 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	188,9 m/km
Feltlengde (F _L)	3,0 km
H _{min}	188 moh.
H ₁₀	451 moh.
H ₂₀	534 moh.
H ₃₀	588 moh.
H ₄₀	625 moh.
H ₅₀	656 moh.
H ₆₀	687 moh.
H ₇₀	702 moh.
H ₈₀	719 moh.
H ₉₀	744 moh.
H _{max}	791 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	10,0 % ¹
Myr	1,0 % ¹
Sjø	0,0 %
Skog	89,0 % ¹
Snau fjell	0,0 %
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	13,4 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	0,3 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	0,4 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	0,9 l/(s*km ²)
Base flow	5,9 l/(s*km ²)
BFI	0,4

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	674 mm
Sommernedbør	359 mm
Vinternedbør	315 mm
Årstemperatur	0,9 °C
Sommertemperatur	8,9 °C
Vintertemperatur	-4,9 °C
Temperatur Juli	11,4 °C
Temperatur August	11,3 °C

¹) Verdien er editert



Kartbakgrunn: Statens Kartverk
 Kartdatum: EUREF89 WGS84
 Projeksjon: UTM 33N

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

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 tørrvæsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.DE4

Kommune: Øyer

Fylke: Oppland

Vassdrag: Vormalågen

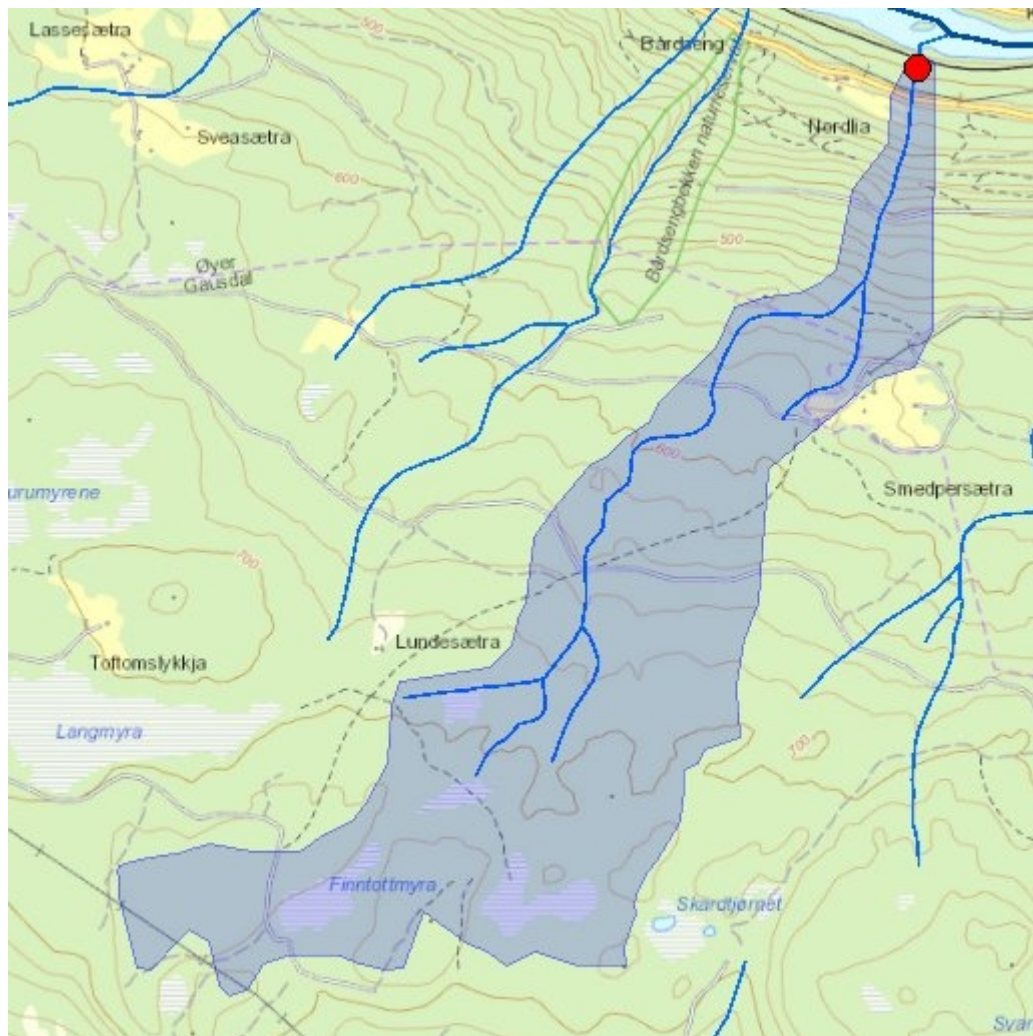
Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentaksintervall. De er beregnet ved bruk av et formelverk som er utarbeidet for nedbørfelt under ca 50 km². Feltparametere som inngår i formelverket er areal, effektiv sjøprosent og normalavrenning (l/s*km²). For mer utdypende beskrivelse 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 momentanflommer 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.

Vormalågen

Areal (km ²)	2,43
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	-	-	1,28	1,53	1,79	2,19	2,54	2,93
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	1,7	706,5	2,2	2,7	3,3	4,1	4,9	5,7
Flomverdier (m ³ /s)	1,0	399	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	2,8
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,5	226	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	1,4	558,8	1,2	2,1	2,4	3,0	3,4	4,0

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.



Lavvannskart

Vassdragsnr.: 002.DE4
 Kommune: Øyer
 Fylke: Oppland
 Vassdrag: Vormå-lågen

Feltparametere

Areal (A)	1,9 km ²
Effektiv sjø (S _{eff})	0,0 % ¹
Elvelengde (E _L)	2,9 km
Elvegradient (E _G)	175,1 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	170,5 m/km
Feltlengde(F _L)	3,6 km
H _{min}	184 moh.
H ₁₀	539 moh.
H ₂₀	593 moh.
H ₃₀	630 moh.
H ₄₀	665 moh.
H ₅₀	689 moh.
H ₆₀	701 moh.
H ₇₀	709 moh.
H ₈₀	715 moh.
H ₉₀	719 moh.
H _{max}	726 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	2,0 % ¹
Myr	7,0 % ¹
Sjø	0,0 %
Skog	91,0 % ¹
Snau fjell	0,0 %
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	14,0 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	0,3 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	0,4 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	0,9 l/(s*km ²)
Base flow	6,0 l/(s*km ²)
BFI	0,4

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	691 mm
Sommernedbør	366 mm
Vinternedbør	325 mm
Årstemperatur	0,9 °C
Sommertemperatur	8,9 °C
Vintertemperatur	-4,8 °C
Temperatur Juli	11,4 °C
Temperatur August	11,3 °C

1) Verdien er editert



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk

Kartdatum: EUREF89 WGS84

Projeksjon: UTM 33N

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

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.

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.DE4

Kommune: Øyer

Fylke: Oppland

Vassdrag: Vorma-lågen

Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentaksintervall. 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 momentanflommer 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.

Vorma-lågen

Areal (km ²)	1,89
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	-	-	1,27	1,52	1,79	2,19	2,52	2,91
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	1,4	758,6	1,9	2,3	2,7	3,5	4,1	4,7
Flomverdier (m ³ /s)	0,8	429	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,4
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,5	242	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	1,1	600,0	1,0	1,7	2,0	2,5	2,9	3,3

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.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

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.: 002.DE6
Kommune: Øyer
Fylke: Oppland
Vassdrag: Vorma-lågen

Feltparametere

Areal (A)	1,3 km ²
Effektiv sjø (S_{eff})	0,0 % ¹
Elvelengde (E_L)	1,9 km
Elvegradient (E_G)	242,7 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G_{1085})	274,6 m/km
Feltlengde(F_L)	2,3 km
H_{min}	200 moh.
H_{10}	286 moh.
H_{20}	362 moh.
H_{30}	432 moh.
H_{40}	528 moh.
H_{50}	600 moh.
H_{60}	642 moh.
H_{70}	669 moh.
H_{80}	682 moh.
H_{90}	708 moh.
H_{max}	762 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	20,0 % ¹
Myr	3,0 % ¹
Sjø	0,0 %
Skog	77,0 % ¹
Snau fjell	0,0 %
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	7,5 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	0,3 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	0,4 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	0,9 l/(s*km ²)
Base flow	4,9 l/(s*km ²)
BFI	0,7

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	639 mm
Sommernedbør	349 mm
Vinternedbør	290 mm
Årstemperatur	1,7 °C
Sommertemperatur	10,3 °C
Vintertemperatur	-4,4 °C
Temperatur Juli	12,7 °C
Temperatur August	12,6 °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.

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.DE6

Kommune: Øyer

Fylke: Oppland

Vassdrag: Vorma-lågen

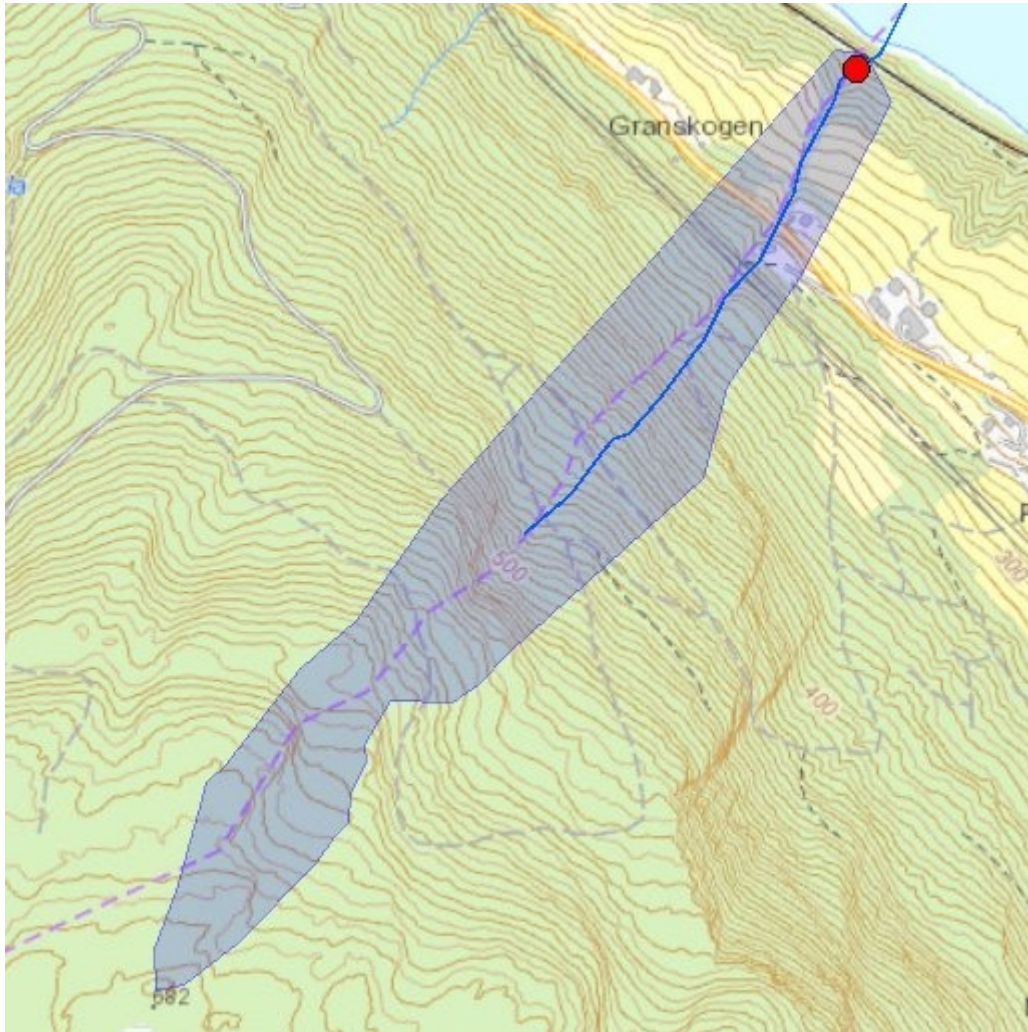
Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentaksintervall. De er beregnet ved bruk av et formelverk som er utarbeidet for nedbørfelt under ca 50 km². Feltparametere som inngår i formelverket er areal, effektiv sjøprosent og normalavrenning (l/s*km²). For mer utdypende beskrivelse 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 momentanflommer 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.

Vorma-lågen

Areal (km ²)	1,28
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	-	-	1,29	1,56	1,82	2,26	2,62	3,06
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	0,6	470,2	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1
Flomverdier (m ³ /s)	0,3	266	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,2	150	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	0,5	371,9	0,4	0,7	0,9	1,1	1,2	1,5

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.



Lavvannskart

Vassdragsnr.: 002.DE6
 Kommune: Øyer
 Fylke: Oppland
 Vassdrag: Vormå-lågen

Feltparametere

Areal (A)	0,2 km ²
Effektiv sjø (S _{eff})	0,0 % ¹
Elvelengde (E _L)	0,7 km
Elvegradient (E _G)	459,5 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	458,1 m/km
Feltlengde(F _L)	1,2 km
H _{min}	194 moh.
H ₁₀	262 moh.
H ₂₀	319 moh.
H ₃₀	380 moh.
H ₄₀	430 moh.
H ₅₀	474 moh.
H ₆₀	532 moh.
H ₇₀	579 moh.
H ₈₀	629 moh.
H ₉₀	650 moh.
H _{max}	679 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	5,0 % ¹
Myr	2,0 % ¹
Sjø	0,0 %
Skog	93,0 % ¹
Snau fjell	0,0 %
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	6,6 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	0,3 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	0,4 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,1 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	0,9 l/(s*km ²)
Base flow	4,7 l/(s*km ²)
BFI	0,7

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	636 mm
Sommernedbør	347 mm
Vinternedbør	289 mm
Årstemperatur	2,1 °C
Sommertemperatur	10,9 °C
Vintertemperatur	-4,1 °C
Temperatur Juli	13,3 °C
Temperatur August	13,2 °C

1) Verdien er editert



Kartbakgrunn: Statens Kartverk

Kartdatum: EUREF89 WGS84

Projeksjon: UTM 33N

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

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.

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.DE6

Kommune: Øyer

Fylke: Oppland

Vassdrag: Vorma-lågen

Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentaksintervall. 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 momentanflommer 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.

Vorma-lågen

Areal (km ²)	0,18
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	-	-	1,17	1,50	1,67	2,17	2,50	2,83
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	0,1	590,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
Flomverdier (m ³ /s)	0,1	333	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,0	188	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	0,1	466,7	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2

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.



Lavvannskart

Vassdragsnr.: 002.DE81
 Kommune: Ringebu
 Fylke: Oppland
 Vassdrag: Vormå-lågen

Feltparametere

Areal (A)	0,7 km ²
Effektiv sjø (S _{eff})	0,0 %
Elvelengde (E _L)	2,7 km
Elvegradient (E _G)	217,4 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	234,7 m/km
Feltlengde(F _L)	2,9 km
H _{min}	198 moh.
H ₁₀	396 moh.
H ₂₀	494 moh.
H ₃₀	556 moh.
H ₄₀	599 moh.
H ₅₀	626 moh.
H ₆₀	661 moh.
H ₇₀	734 moh.
H ₈₀	785 moh.
H ₉₀	820 moh.
H _{max}	869 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	40,0 % ¹
Myr	0,0 %
Sjø	0,0 %
Skog	60,0 % ¹
Snau fjell	0,0 %
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	8,0 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	0,3 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	0,4 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	0,9 l/(s*km ²)
Base flow	5,0 l/(s*km ²)
BFI	0,6

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	626 mm
Sommernedbør	342 mm
Vinternedbør	285 mm
Årstemperatur	1,0 °C
Sommertemperatur	9,4 °C
Vintertemperatur	-4,9 °C
Temperatur Juli	11,8 °C
Temperatur August	11,8 °C

1) Verdien er editert



Kartbakgrunn: Statens Kartverk
 Kartdatum: EUREF89 WGS84
 Projeksjon: UTM 33N

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

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.

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.DE81

Kommune: Ringebu

Fylke: Oppland

Vassdrag: Vormalågen

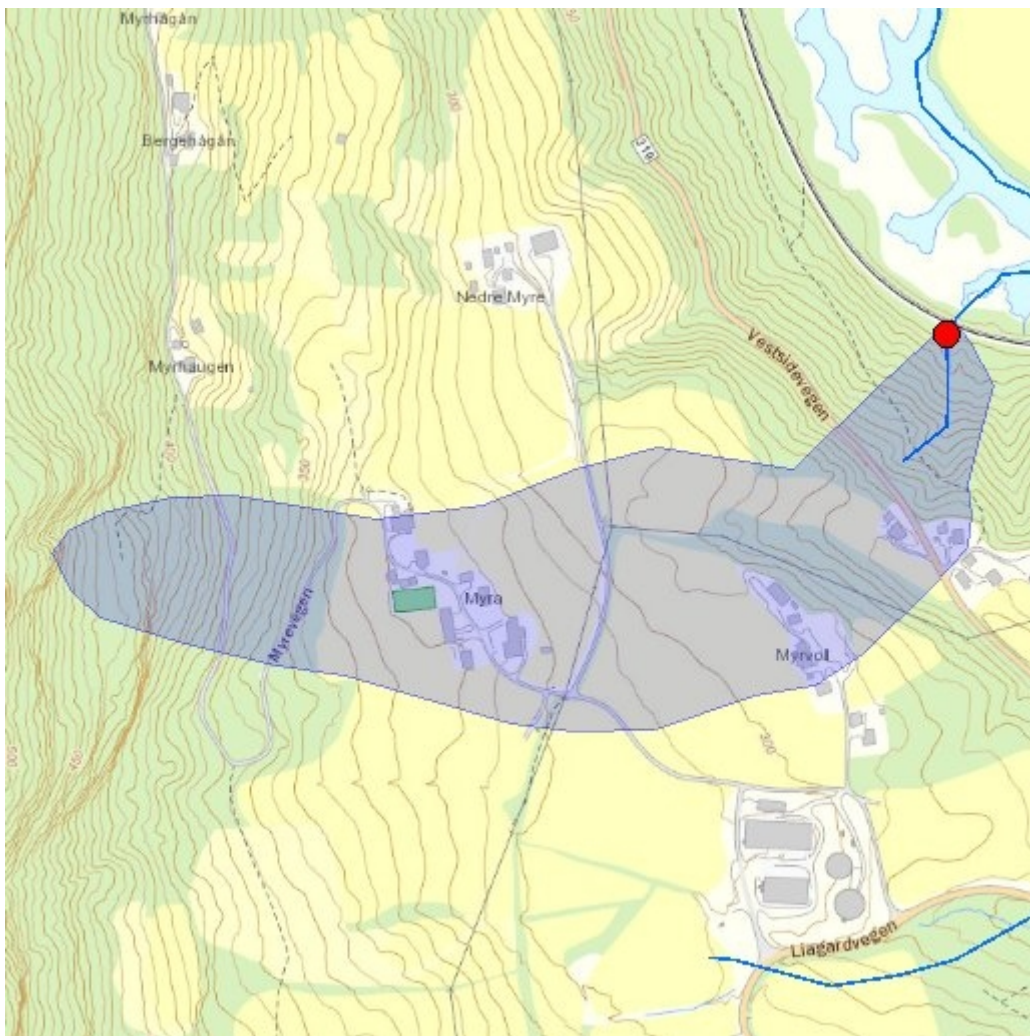
Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentaksintervall. De er beregnet ved bruk av et formelverk som er utarbeidet for nedbørfelt under ca 50 km². Feltparametere som inngår i formelverket er areal, effektiv sjøprosent og normalavrenning (l/s*km²). For mer utdypende beskrivelse 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 momentanflommer 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.

Vormalågen

Areal (km ²)	0,74
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	-	-	1,32	1,59	1,86	2,32	2,68	3,09
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	0,4	526,2	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
Flomverdier (m ³ /s)	0,2	297	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,1	168	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	0,3	416,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0

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.



Lavvannskart

Vassdragsnr.: 002.DF2
 Kommune: Ringebu
 Fylke: Oppland
 Vassdrag: Vormå-lågen

Feltparametere

Areal (A)	0,2 km ²
Effektiv sjø (S _{eff})	0,0 % ¹
Elvelengde (E _L)	0,1 km
Elvegradient (E _G)	327,1 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	303,6 m/km
Feltlengde(F _L)	0,9 km
H _{min}	198 moh.
H ₁₀	257 moh.
H ₂₀	278 moh.
H ₃₀	287 moh.
H ₄₀	293 moh.
H ₅₀	300 moh.
H ₆₀	308 moh.
H ₇₀	317 moh.
H ₈₀	332 moh.
H ₉₀	378 moh.
H _{max}	464 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	80,0 % ¹
Myr	0,0 %
Sjø	0,0 %
Skog	20,0 % ¹
Snau fjell	0,0 %
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	6,5 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	0,3 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	0,4 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,1 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	0,9 l/(s*km ²)
Base flow	4,8 l/(s*km ²)
BFI	0,7

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	583 mm
Sommernedbør	317 mm
Vinternedbør	266 mm
Årstemperatur	2,3 °C
Sommertemperatur	11,1 °C
Vintertemperatur	-4,0 °C
Temperatur Juli	13,5 °C
Temperatur August	13,4 °C

1) Verdien er editert



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

NVE

Kartbakgrunn: Statens Kartverk

Kartdatum: EUREF89 WGS84

Projeksjon: UTM 33N

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

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.

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.DF2

Kommune: Ringeby

Fylke: Oppland

Vassdrag: Vorma-lågen

Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentaksintervall. 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 momentanflommer 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.

Vorma-lågen

Areal (km ²)	0,16
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	-	-	1,20	1,60	1,80	2,20	2,60	3,20
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	0,1	553,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
Flomverdier (m ³ /s)	0,1	313	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,0	177	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	0,1	437,5	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2

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.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

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.: 002.DF30
Kommune: Ringebu
Fylke: Oppland
Vassdrag: Vormå-lågen

Feltparametere

Areal (A)	2,6 km ²
Effektiv sjø (S_{eff})	0,0 % ¹
Elvelengde (E_L)	3,1 km
Elvegradient (E_G)	167,1 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G_{1085})	146,7 m/km
Feltlengde (F_L)	3,0 km
H_{min}	194 moh.
H_{10}	280 moh.
H_{20}	305 moh.
H_{30}	364 moh.
H_{40}	462 moh.
H_{50}	584 moh.
H_{60}	648 moh.
H_{70}	717 moh.
H_{80}	763 moh.
H_{90}	779 moh.
H_{max}	829 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	35,0 % ¹
Myr	3,0 % ¹
Sjø	0,0 %
Skog	62,0 % ¹
Snau fjell	0,0 %
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	7,9 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	0,3 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	0,4 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	0,9 l/(s*km ²)
Base flow	5,0 l/(s*km ²)
BFI	0,6

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	559 mm
Sommernedbør	318 mm
Vinternedbør	241 mm
Årstemperatur	0,5 °C
Sommertemperatur	8,6 °C
Vintertemperatur	-5,3 °C
Temperatur Juli	10,9 °C
Temperatur August	11,1 °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 tørrvæsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.DF30

Kommune: Ringeby

Fylke: Oppland

Vassdrag: Vormalågen

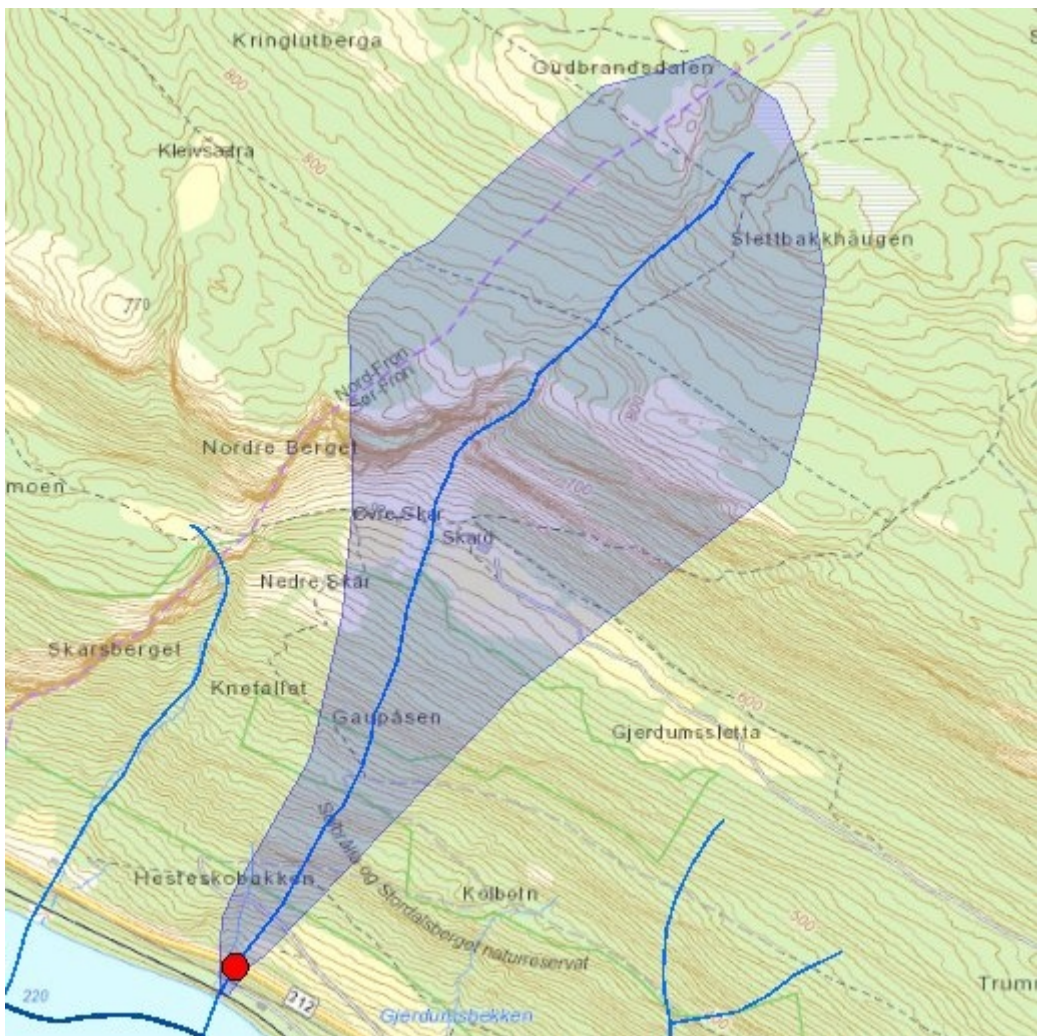
Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentaksintervall. De er beregnet ved bruk av et formelverk som er utarbeidet for nedbørfelt under ca 50 km². Feltparametere som inngår i formelverket er areal, effektiv sjøprosent og normalavrenning (l/s*km²). For mer utdypende beskrivelse 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 momentanflommer 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.

Vormalågen

Areal (km ²)	2,58
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	-	-	1,29	1,55	1,83	2,26	2,63	3,05
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	1,2	445,9	1,5	1,9	2,2	2,9	3,4	4,0
Flomverdier (m ³ /s)	0,7	252	0,8	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,4	142	0,5	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	0,9	352,7	0,8	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8

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.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

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.: 002.DF72
Kommune: Sør-Fron
Fylke: Oppland
Vassdrag: Vormå-lågen

Feltparametere

Areal (A)	0,6 km ²
Effektiv sjø (S _{eff})	0,0 % ¹
Elvelengde (E _L)	1,6 km
Elvegradient (E _G)	406,5 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	453,3 m/km
Feltlengde(F _L)	1,6 km
H _{min}	230 moh.
H ₁₀	465 moh.
H ₂₀	559 moh.
H ₃₀	610 moh.
H ₄₀	713 moh.
H ₅₀	773 moh.
H ₆₀	797 moh.
H ₇₀	812 moh.
H ₈₀	838 moh.
H ₉₀	870 moh.
H _{max}	889 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	5,0 % ¹
Myr	0,5 % ¹
Sjø	0,0 %
Skog	89,5 % ¹
Snau fjell	5,0 % ¹
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	7,9 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	0,2 l/(s*km ²)
Base flow	5,0 l/(s*km ²)
BFI	0,6

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	463 mm
Sommernedbør	268 mm
Vinternedbør	195 mm
Årstemperatur	-0,8 °C
Sommertemperatur	7,3 °C
Vintertemperatur	-6,6 °C
Temperatur Juli	9,5 °C
Temperatur August	9,8 °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.

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.DF72

Kommune: Sør-Fron

Fylke: Oppland

Vassdrag: Vormalågen

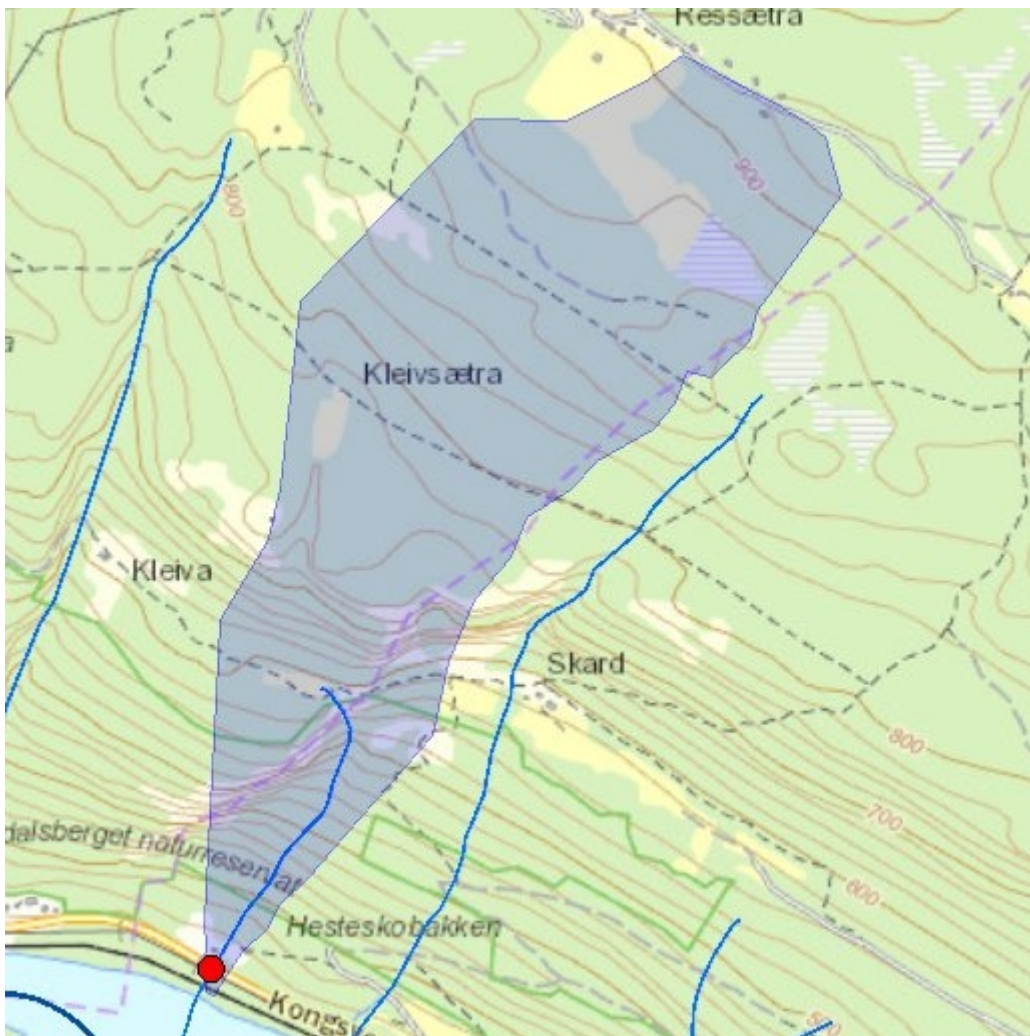
Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentaksintervall. De er beregnet ved bruk av et formelverk som er utarbeidet for nedbørfelt under ca 50 km². Feltparametere som inngår i formelverket er areal, effektiv sjøprosent og normalavrenning (l/s*km²). For mer utdypende beskrivelse 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 momentanflommer 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.

Vormalågen

Areal (km ²)	0,61
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	-	-	1,26	1,53	1,79	2,21	2,58	3,00
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	0,3	551,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1
Flomverdier (m ³ /s)	0,2	311	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,1	176	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	0,3	436,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8

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.



Lavvannskart

Vassdragsnr.: 002.DF72
 Kommune: Sør-Fron
 Fylke: Oppland
 Vassdrag: Vormå-lågen

Feltparametere

Areal (A)	1,0 km ²
Effektiv sjø (S _{eff})	0,0 %
Elvelengde (E _L)	0,7 km
Elvegradient (E _G)	532,9 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	526,6 m/km
Feltlengde(F _L)	2,1 km
H _{min}	232 moh.
H ₁₀	524 moh.
H ₂₀	636 moh.
H ₃₀	759 moh.
H ₄₀	783 moh.
H ₅₀	814 moh.
H ₆₀	849 moh.
H ₇₀	870 moh.
H ₈₀	879 moh.
H ₉₀	889 moh.
H _{max}	919 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	5,0 % ¹
Myr	2,0 % ¹
Sjø	0,0 %
Skog	88,0 % ¹
Snau fjell	5,0 % ¹
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	10,8 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	0,2 l/(s*km ²)
Base flow	5,5 l/(s*km ²)
BFI	0,5

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	463 mm
Sommernedbør	268 mm
Vinternedbør	195 mm
Årstemperatur	-0,9 °C
Sommertemperatur	7,2 °C
Vintertemperatur	-6,7 °C
Temperatur Juli	9,4 °C
Temperatur August	9,7 °C

1) Verdien er editert



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

NVE

Kartbakgrunn: Statens Kartverk

Kartdatum: EUREF89 WGS84

Projeksjon: UTM 33N

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

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.

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.DF72

Kommune: Sør-Fron

Fylke: Oppland

Vassdrag: Vorma-lågen

Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentaksintervall. 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 momentanflommer 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.

Vorma-lågen

Areal (km ²)	0,98
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	-	-	1,27	1,54	1,81	2,22	2,57	2,97
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	0,7	668,3	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2
Flomverdier (m ³ /s)	0,4	378	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,2	213	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	0,5	528,6	0,5	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5

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.



Lavvannskart

Vassdragsnr.: 002.DF72
 Kommune: Nord-Fron
 Fylke: Oppland
 Vassdrag: Vormå-lågen

Feltparametere

Areal (A)	0,9 km ²
Effektiv sjø (S _{eff})	0,0 % ¹
Elvelengde (E _L)	1,7 km
Elvegradient (E _G)	341,6 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	374,9 m/km
Feltlengde(F _L)	2,3 km
H _{min}	233 moh.
H ₁₀	529 moh.
H ₂₀	600 moh.
H ₃₀	681 moh.
H ₄₀	740 moh.
H ₅₀	766 moh.
H ₆₀	804 moh.
H ₇₀	840 moh.
H ₈₀	863 moh.
H ₉₀	880 moh.
H _{max}	905 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	5,0 % ¹
Myr	1,0 % ¹
Sjø	0,0 %
Skog	89,0 % ¹
Snau fjell	5,0 % ¹
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90)	9,9 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	0,2 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	0,2 l/(s*km ²)
Base flow	5,3 l/(s*km ²)
BFI	0,5

Klima

Klimaregion	Ost
Årsnedbør	456 mm
Sommernedbør	264 mm
Vinternedbør	192 mm
Årstemperatur	-0,6 °C
Sommertemperatur	7,6 °C
Vintertemperatur	-6,5 °C
Temperatur Juli	9,8 °C
Temperatur August	10,1 °C

1) Verdien er editert



Kartbakgrunn: Statens Kartverk
 Kartdatum: EUREF89 WGS84
 Projeksjon: UTM 33N

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

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.

Flomberegning

Vassdragsnr.: 002.DF72

Kommune: Nord-Fron

Fylke: Oppland

Vassdrag: Vorma-lågen

Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentaksintervall. 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 momentanflommer 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.

Vorma-lågen

Areal (km ²)	0,91
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	-	-	1,28	1,53	1,81	2,22	2,59	3,00
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	0,6	622,4	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	1,9
Flomverdier (m ³ /s)	0,3	352	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,2	199	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	0,4	492,3	0,4	0,7	0,8	1,0	1,2	1,3

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.

