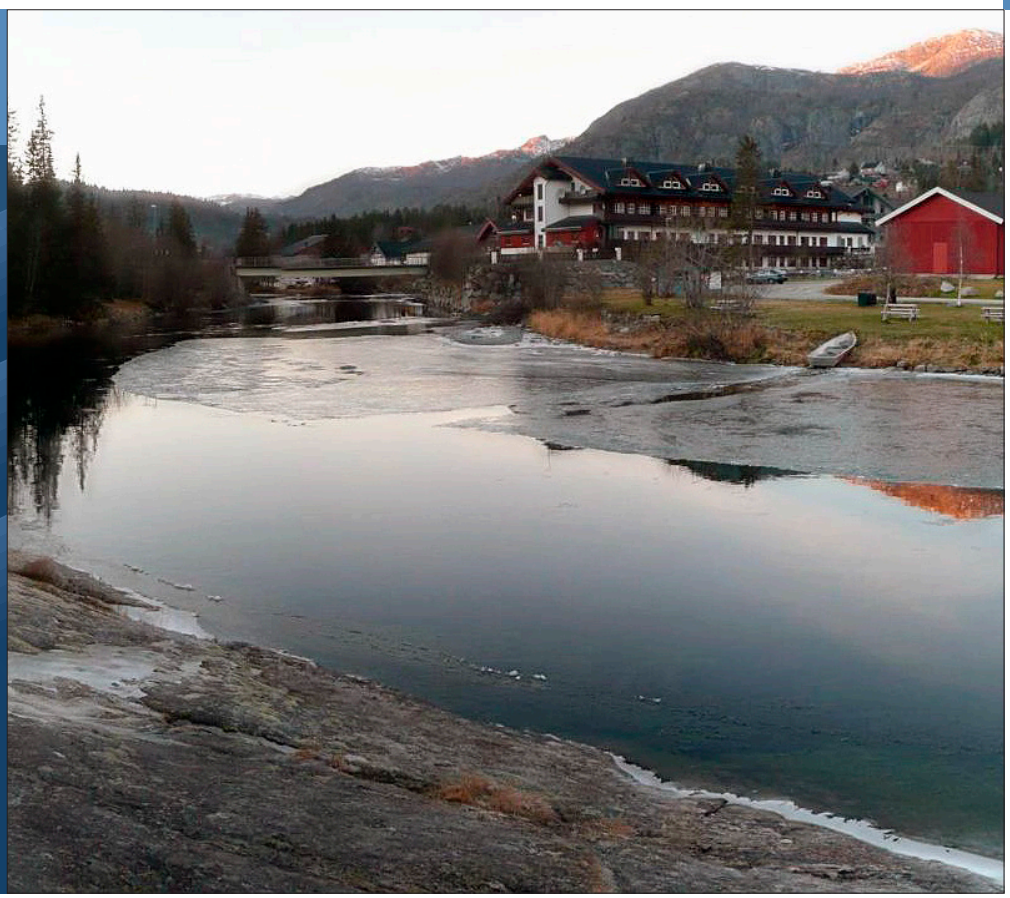
Flomsonekartprosjektet

Delprosjekt Hemsedal

Martin Jespersen
Rengifo Ortega
Julio H. Pereira Sepulveda

45
2014



RAPPORT

Rapport nr 45 / 2014
Delprosjekt Hemsedal

Utgitt av:	Norges vassdrags- og energidirektorat
Redaktør:	Martin Jespersen
Vannlinje:	Martin Jespersen
Kart:	Rengifo Ortega / Julio H. Pereira Sepulveda
Trykk	NVEs hustrykkeri
Opplag	15 stk
Forsidefoto	Hemsil ved Hemsedal sentrum – Skogstad bru. Foto: Martin Jespersen, NVE
ISSN:	1501-2832
ISBN:	978-82-410-0994-5

Sammendrag Det er utarbeidet flomsonekart for Hemsil over en strekning på ca. 5.5 km fra Hemsedal sentrum til Ulsåk. Prosjektet er en ajourføring av rapport 13/2006 og erstatter derfor denne. Behov for en mer detaljert kartlegging ved Skogstad bru er hovedbegrunnelsen for ajourføringen. Rapporten kartlegger dagens tilstand i vassdraget og er basert på flom-, flomvannstands- og flomsoneberegninger. De hydrauliske beregningene er gjennomført med modellverktøyene HYDRO_AS-2D og Hec-Ras.

Emneord: Hemsedal, Hemsil, Trøym, Ulsåk, flomsone, flom, flomanalyse flomberegning, vannlinjeberegning, flomsonekart, klima.

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

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

Juni 2014

Forord

Et nasjonalt kartgrunnlag – flomsonekart – er under etablering for de vassdragene i Norge som har størst skadepotensial. Hovedmålet med kartleggingen er forbedret arealplanlegging, byggesaksbehandling og beredskap i flomutsatte områder, slik at skadene ved flom blir redusert.

Denne rapporten er en ajourføring av flomsonekartet fra 2006 og erstatter derfor rapport 13/2006, Delprosjekt Hemsedal. Kartlagt strekning er Hemsil fra ca 800 m oppstrøms Hemsedal sentrum til litt nedstrøms Ulsåk, en strekning på ca. 5.5 km. Grunnlaget for flomsonekartene er flomberegninger og vannlinjeberegninger.

Vi vil rette en særlig takk til Hemsedal kommune som har kommet med nyttige innspill, bidratt med lokalkunnskap samt kontroll av foreløpig kartmateriale.

Oslo, juni 2014

Anne Britt Leifseth

avdelingsdirektør

Eli Katrina Øydvin

seksjonssjef

Sammendrag

Rapporten inneholder beskrivelse av arbeidet med ajourføring av flomsonekartet for Hemsedal fra 2006. Behov for en mer detaljert kartlegging ved Skogstad bru er hovedbegrunnelsen for ajourføringen. Denne rapporten erstatter rapport 13/2006 Delprosjekt Hemsedal. Flomsonekartet er ajourført med ny flomberegning, ny terrengmodell basert på laserdata, samt nye vannlinjeberegninger. Den mest komplekse strekningen er ajourført vha en mer detaljert 2-dimensjonal hydraulisk modell (HYDRO_AS-2D) som er velegnet for å modellere slike forhold. Resten av strekningen er modellert vha samme 1-dimensjonale modell som tidligere (Hec-Ras), men med en del justeringer av bl.a. flomslettegeometri samt ruhetsforhold. De ajourførte kartbladene er oppdatert til nyeste mal og inneholder også vanndybder for alle kartblad. I tillegg er det for den 2D-modellerte strekningen utarbeidet eget vannhastighetskart som viser hastighet og retning for vannstrømmen.

Flomberegningen er oppdatert med bl.a. lengre dataserier og redusert forholdstall mellom døgnmidler og kulminasjonsverdier i forhold til flomberegningene i NVE rapport 12/2004. Dette har medført noe mindre kulminasjonsvannføringer, primært for større flommer. Klimafremskrivinger indikerer at det i Hemsil ikke vil være noen endringer av 200-årsflommen frem mot år 2100. Fordi det forventes mer kortvarig intensiv nedbør og fordi mindre nedbørfelter er mer sårbare for slik nedbør, anbefales det likevel å legge til grunn 20 % økning i flomvannføringer for nedbørfelt mindre enn 100km^2. Datagrunnlaget for flomberegningen karakteriseres som godt og flomberegningen klassifiseres i klasse 2.

Strekningen av Hemsil som omfattes av ajourføringen er identisk med utstrekningen av delprosjektet fra 2006. Denne strekker seg fra ca. 800 m oppstrøms Hemsedal sentrum (Trøym) og videre nedstrøms til Ulsåk over en samlet lengde på ca. 5.5 km.

Det er utført vannlinjeberegninger for vannføringer tilsvarende middelflom, 5, 10-, 20-, 50-, 100-, 200-, 500-, og 1000-årsflom samt normalvannføring.

I 2D-modellen er det anvendt et beregningsnett med både firkant- og trekantelementer samt varierende elementstørrelse. Dette gjør at beregningsnettet kan tilpasses vanskelig geometri vha en høyere oppløsning og dermed bedre nøyaktighet. 1D-modellen bruker samme plassering av tverrprofiler som den opprinnelige modellen men bl.a. med delvis ”åpne” flomsletter nedstrøms Hemsedal sentrum.

Ajourføringen gir noe lavere vannstander oppstrøms Skogstad bru for store flommer pga modellering av noe overløp på sidene av Skogstad bru. For mindre gjentaksintervall gir den noe høyere vannstander pga oppjusterte ruhetsverdier. Nedstrøms Skogstad bru beregnes det i ajourføringen stort sett lavere vannstander som følge av åpningen av flomslettene. Dette er i samsvar med kalibreringen som er foretatt for i alt 4 punkter målt under 2004-flommen. Den opprinnelige vannlinjeberegningen ble kalibrert for samme flom men den ajourførte modellen er tilpasset betydelig bedre til de 4 punktene enn modellen fra 2006.

Grunnlaget for flomsonekartene er flomberegningen, vannlinjeberegningene (i 1D og 2D), tverrprofiler samt den digitale terrengmodellen. Flomsoneanalysen er utført med GIS for 1D-strekningen og beregnet direkte i den hydrauliske modellen for 2D-strekningen. For å forbedre lesbarheten er resultatet fra 2D-modellen etterbehandlet i GIS. På flomsonekartet presenteres en flomstørrelse per kart. For den 1D-modellerte strekningen presenteres beregnede vannstander for alle gjentaksintervaller i en samletabell på kartet. Områder som er markert som lavpunkter på kartet (med skravur) er områder som er lavere enn vannstanden i elva men som ikke har direkte kontakt

til elva. Dette kan for eksempel være områder bak flomverk, kulverter mv. På kartet merkes bygg utsatt for vann i kjeller med gult og bygninger som forventes å få direkte kontakt med flomvannet er markert oransje, både i flomsonen og i lavpunkter.

Ved bruk i kommuneplanen kan en bruke flomsonene direkte for å identifisere områder som ikke bør bebygges uten nærmere vurdering av faren og mulige tiltak. Ved bruk i reguleringsplaner og ved dele- og byggesaksbehandling må en ta hensyn til at også flomsonekartene har begrenset nøyaktighet. Spesielt i områder nær flomsonegrensen må en ta utgangspunkt i de beregnede vannstandene og kontrollere terrengkotene i felt mot disse. En må spesielt huske på at for å unngå flomskade, må dreneringen til et bygg ligge slik at avløpet også fungerer under flom.

Områder som er utsatt for flomfare skal avsettes som *hensynssone-flomfare* på arealplankart og tilknyttes bestemmelser som begrenser eller setter vilkår for arealbruken. Dette kan gjøres ved at det ikke tillates etablering av ny bebyggelse lavere enn nivå for en 200-årsflom, med mindre det utføres tiltak som sikrer bebyggelsen mot flom. Hensynssonene for flom må innarbeides når kommuneplanen for Hemsedal kommune rulleres.

Flomsonene kan også brukes til å planlegges beredskaps- og sikringstiltak, som for eksempel evakuering, bygging av flomvoller osv. Ved store flommer kan elva rive med seg vegetasjon og gjenstander langs elvebredden. Dette kan medføre tilstopping av bru- og kulvertåpninger med påfølgende oppstuving og oversvømmelser. Ved varslet flom er det derfor viktig at kommunen inspiserer og evt. renser kulverter og bruåpninger. Erosjon og masseavlagring i forbindelse med store flommer er et usikkerhetsmoment som det er vanskelig å estimere.

Vannlinjeberegninger er basert på data fra ulike kilder som alle har feilkilder, i tillegg til usikkerheten i selve beregningene. NVE anbefaler derfor alltid at en sikkerhetsmargin legges på de beregnede vannstandene – i dette prosjektet anbefales en sikkerhetsmargin på 0.3 m.

Alle beregnede vannstander er oppgitt med NN1954 som vertikalt datum.

Innhold

1 Innledning 5

1.1 Bakgrunn 5
1.2 Avgrensing av prosjektet 6
1.3 Flomsonekart og klimaendringer 6
1.4 Prosjektgjennomføring 9

2 Metode og databehov 10

2.1 Metode 10
2.2 Hydrologiske data 10
2.2.1 Nedbørsfeltet 10
2.2.2 Flomberegning 11
2.2.3 Observerte flommer 14
2.2.4 Kalibreringsdata 15
2.3 Topografiske data 16
2.3.1 Tverrprofiler og bruer 16
2.3.2 Terrengdata 16
2.4 Hydrauliske beregninger 16
2.4.1 HYDRO_AS-2D 16
2.4.2 HEC-RAS 18
2.5 Generering av flomsoner 18

3 Hydrauliske beregninger 19

3.1 Spesielt om delprosjekt Hemsedal 19
3.2 Grensebetingelser 19
3.3 HYDRO_AS-2D 20
3.4 HEC-RAS 21
3.5 Kalibrering 21
3.6 Følsomhetsanalyse 22
3.7 Resultater 22
3.8 Spesielt om bruer 24
3.9 Vannhastigheter 28
3.10 Sammenligning av resultater fra 2006-beregningen 28

4 Flomsonekart 29

4.1 Resultater fra flomsoneanalysen 29
4.1.1 20-årsflom 29
4.1.2 200-årsflom 34
4.1.3 1000-årsflom 39
4.2 Lavpunkter 43
4.3 Områder med fare for vann i kjeller 43
4.4 Kartpresentasjon 43
4.4.1 Hvordan leses kartet? 43
4.4.2 Kartprodukter 44
4.5 Klimaendringer 44

5 Usikkerhet 45

5.1 Flomberegningen 45
5.2 Hydrauliske beregninger 45

5.3 Flomsonen 46
6 Andre faremomenter i området 47
6.1 Isoppstuving og isgang 47
6.2 Erosjon og massetransport, sideelver 47
7 Veiledning for bruk 48
7.1 Unngå bygging på flomutsatte områder 48
7.2 Hvordan forholde seg til vannhastigheter? 48
7.3 Hvordan forholde seg til usikre moment på kartet? 49
7.4 Arealplanlegging og byggesaker – bruk av flomsonekart 49
7.5 Flomvarsling og beredskap – bruk av flomsonekart 50
7.6 Generelt om gjentaksintervall og sannsynlighet 51
8 Referanser 52

1 Innledning

Hovedformålet med kartleggingen er å bedre grunnlaget for vurdering av flomfare til bruk i arealplanlegging, byggesaksbehandling og beredskap mot flom. Kartleggingen vil også gi bedre grunnlag for flomvarsling og planlegging av flomsikringstiltak.

1.1 Bakgrunn

Etter den store flommen på Østlandet i 1995, kjent som Vesleofsen, ble det etablert et utvalg, Flomtiltaksutvalget, som utarbeidet *NOU 1996:16 Tiltak mot flom*[1]. Utvalget anbefalte at det etableres et nasjonalt kartgrunnlag – flomsonekart – for vassdragene i Norge som har størst skadepotensial. Utvalget anbefalte en detaljert digital kartlegging.

I Stortingsmelding nr 15 (2011-2012)[2], ble det gjort klart at regjeringen vil videreføre satsingen på flomsonekart fra stortingsmelding nr 42 (1996-97)[3]. Regjeringen fastholder, at styring av arealbruken er det absolutt viktigste tiltaket, for å holde risikoen for flomskader på et akseptabelt nivå. Stortingsmeldingen slår fast at ved nykartlegging og ajourføringer skal det også gjøres beregninger og synliggjøres endringer som følge av klimafremskrivinger.

Med grunnlag i stortingsmelding 42 ble det i 1998 satt i gang et 10-årsprosjekt for flomsonekartlegging i regi av NVE. Frem til i dag har NVE gjennomført detaljert flomsonekartlegging av over 130 vassdragsstrekninger. Nær halvparten av de kartlagte strekningene munner ut i sjøen. For disse utløpsområdene er oversvømming som følge av stormflod også kartlagt. Siden 2008 er arbeidet med detaljert flomsonekartlegging videreført som del av forvaltningen. Ifølge stortingsmelding 15 skal NVE nå utarbeide en plan for flomfarekartlegging som skal klargjøre prioriteringene både for nykartlegging og ajourføring av eksisterende prosjekter. Planen skal rulleres slik at nye behov, som følge av klimaendringer eller andre endringer av verdi for kartleggingsarbeidet, fanges opp. Les mer om NVE sitt flomsonekartleggingsarbeid på www.nve.no.

Bekker og sidevassdrag i tilknytning til bebyggelse, som ofte kan være lagt i rør, kan være årsak til store skader lokalt i flomsituasjoner. De forventede klimaendringene vil føre til økt fare for lokale nedbørsflommer og dermed økt fare for skade langs mindre elver og bekker, og som følge av overvann i tettbygde strøk. Dette tilsier økt vekt på kartlegging av slike vassdrag, og på kartlegging av oversvømmelse fra overvann. Generelt bør alle kommuner kartlegge flomforholdene knyttet til bekker og overvann i tett bebyggelse, som grunnlag for planlegging av fremtidsrettede løsninger for flom- og overvannshåndtering. Dette gjelder også for Hemsedal kommune, for områder uten flomsonekart.

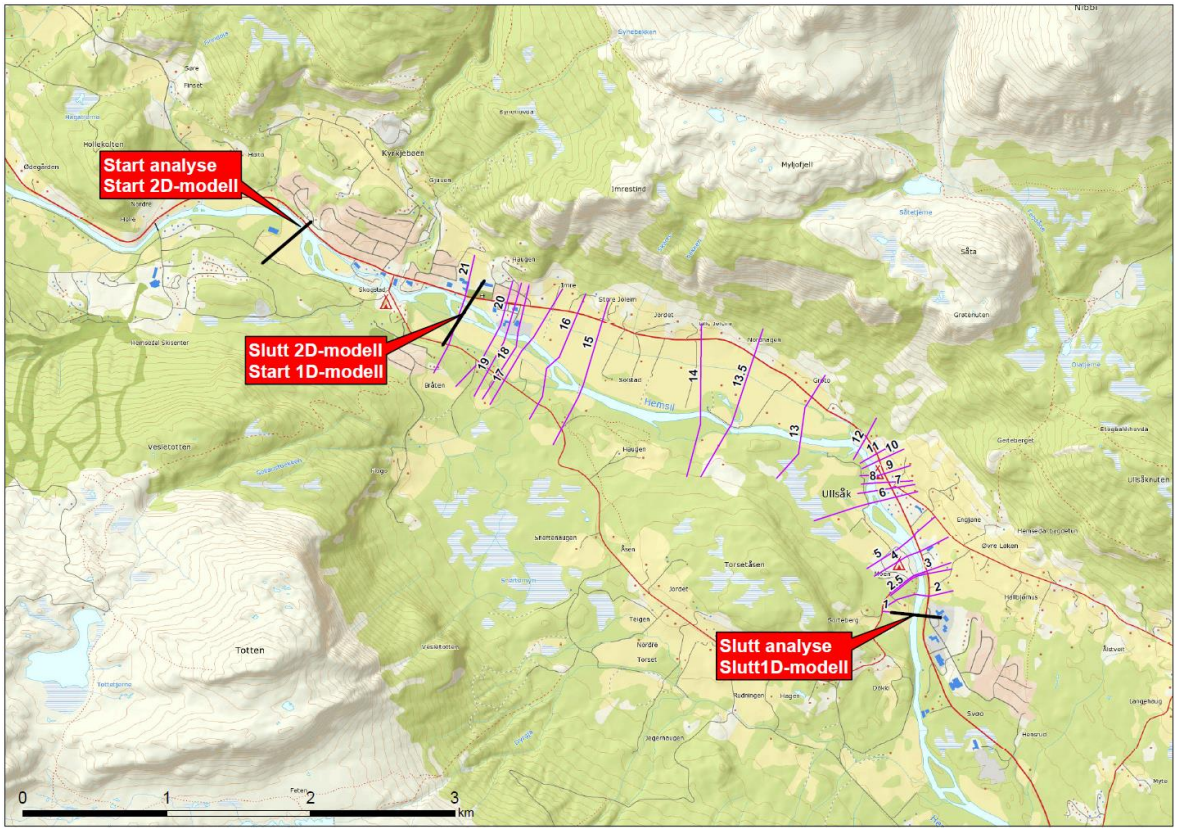
Ajourføringen av Delprosjekt Hemsedal omfatter bl.a. revisjon av flomberegningen, bruk av laserdata og GNSS-innmålte punkter som grunnlag for en betydelig oppdatert terrengmodell samt korreksjon av de opprinnelige tverrprofilene. Flomsonekartet har blitt oppdatert til ny mal slik at bl.a. vanndybder er inntegnet. Strømningsforholdene på strekningen ved og oppstrøms Skogstad bru er så komplekse at det til ajourføringen ble valgt å modellere denne strekningen vha en 2D hydraulisk modell. Denne modellen håndterer slike forhold mye bedre enn den enklere 1D-modellen (HEC-RAS) som har blitt brukt på resten av strekningen og som er standard for langt de fleste av flomsonekartene. Oppdelingen er gjort for å effektivisere modelleringsarbeidet og med bakgrunn i en vurdering av at det primært er strekningen oppstrøms profil 21 som krever bruk av en avansert hydraulisk modell. En utvidelse av 2D-modellen til også å omfatte deler av eller hele

strekningen nedstrøms profil 21 er mulig dersom det i fremtiden oppstår behov for en mer avansert beregning på denne strekningen, for eksempel i forbindelse med større utbygningsprosjekter mv.

1.2 Avgrensing av prosjektet

Det kartlagte området ligger i Hemsedal kommune i Buskerud. Strekningen som det er beregnet flomhøyder for er Hemsil fra ca 800 m oppstrøms Hemsedal sentrum (Trøym) til litt nedstrøms Ulsåk, en strekning på totalt ca. 5.5 km. Avgrensingen er den samme som for flomsonekartet fra 2006. Figur 1 viser et oversiktskart over prosjektområdet og oppdelingen i hhv 1D- og 2D-modellert strekning. Strekningen som er modellert i 2D-modellen ligger oppstrøms profil 21 og er totalt ca.1.5 km lang. Strekningen som er modellert i 1D-modellen ligger nedstrøms profil 21 og er totalt ca. 4 km lang.

Oversvømt areal som beregnes er knyttet til flom i Hemsil. Vannstander i sideelver som Trøymsåni og oversvømmelse som følge av flom i disse, beregnes ikke. Det er primært oversvømte arealer som følge av naturlig høy vannføring og vannstand som skal kartlegges. Andre vassdragsrelaterte faremomenter som is, erosjon og utrasing er ikke gjenstand for tilsvarende analyser, men kjente problemer av denne art er omtalt i tilknytning til flomsoneprosjektet, jf kapittel 6: Andre faremomenter i området.



Figur 1. Oversiktskart over prosjektområdet, for hhv 1D- og 2D-modellen. Plassering av tverrprofiler i 1D-modellen.

1.3 Flomsonekart og klimaendringer

NVE utarbeider flomsonekart med grunnlag i flomberegninger og vannlinjeberegninger. For strekninger med utløp i sjø blir det i tillegg tatt hensyn til stormflo. Beregningene av flomstørrelser og stormflo er basert på historiske data. Klimafremskrivninger er basert på resultater fra modeller for dagens og fremtidens klima som er sammenlignet for å beregne forventet endring i for

eksempel 200-års flommen. Det er viktig å understreke at alle beregninger er utført med utgangspunkt i det beste av data pr. dags dato.

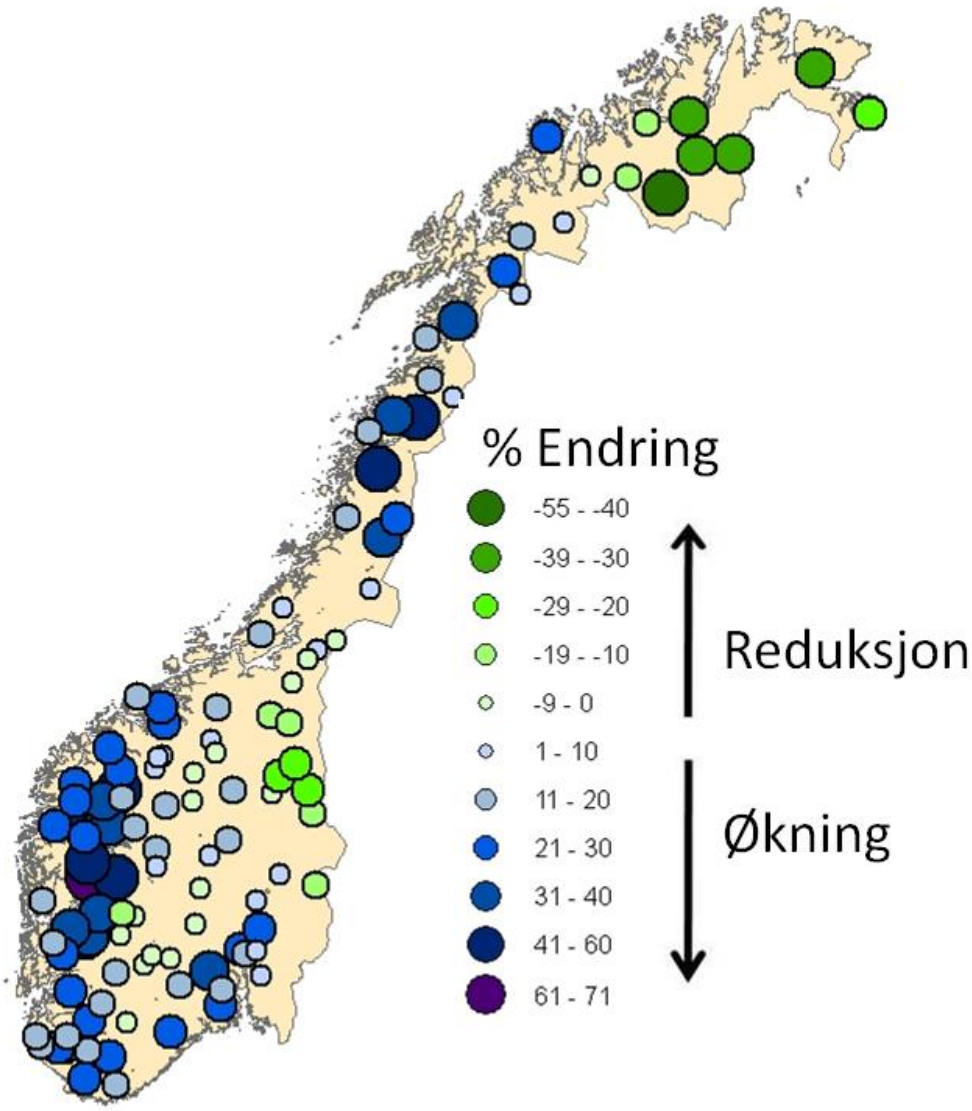
Forskningsresultater viser hvordan klimaendringer vil påvirke fremtidige flommer. NVE har estimert forventet endring i 200-års og 1000-års flom mot slutten av dette århundret for 115 nedbørfelt. Beregningene er basert på flere tilgjengelige klimafremskrivninger og kalibrerte hydrologiske modeller samt flomfrekvensanalyser for de 115 nedbørfelt (NVE, 2011)[4]. Endringer i 200-årsflom som benyttes i flomsonekartene er beregnet som prosentvis endring mellom 1961-1990 og 2071-2100. Den fullstendige analysen gir 8000 resultater (scenarioer) for hvert nedbørfelt. Verdien som er vist i kartet nedenfor er median av resultatene. Medianverdi er den midterste verdien i en tallrekke.

Generelt er det forventet at flommer som forårsakes av ekstremnedbør og regn kommer til å øke i hele landet mens snøsmelteflommer i de større vassdragene vil avta. Dette vil medføre økte flomstørrelser i alle vassdragene på Vestlandet, langs kysten og i små bratte vassdrag i hele landet. Også sideelver fra små, bratte nedbørfelt vil få økte flomstørrelser, selv om flomfaren i hovedelva reduseres. I store vassdrag på Østlandet, i innlandet i Midt-Norge, Troms og Finnmark forventes en reduksjon eller liten endring. I sistnevnte gruppe vil derfor kartlagte flomsoner med tilhørende sikkerhetsmargin gi et tilfredsstillende grunnlag for vurdering av flomfare i hovedelva og sikker utbygging også i forhold til fremtidige flommer. Dette gjelder områdene som ikke har utløp i sjø da havnivåstigning og noe økt stormfloaktivitet vil forverre flomproblemene i munningsområdene.

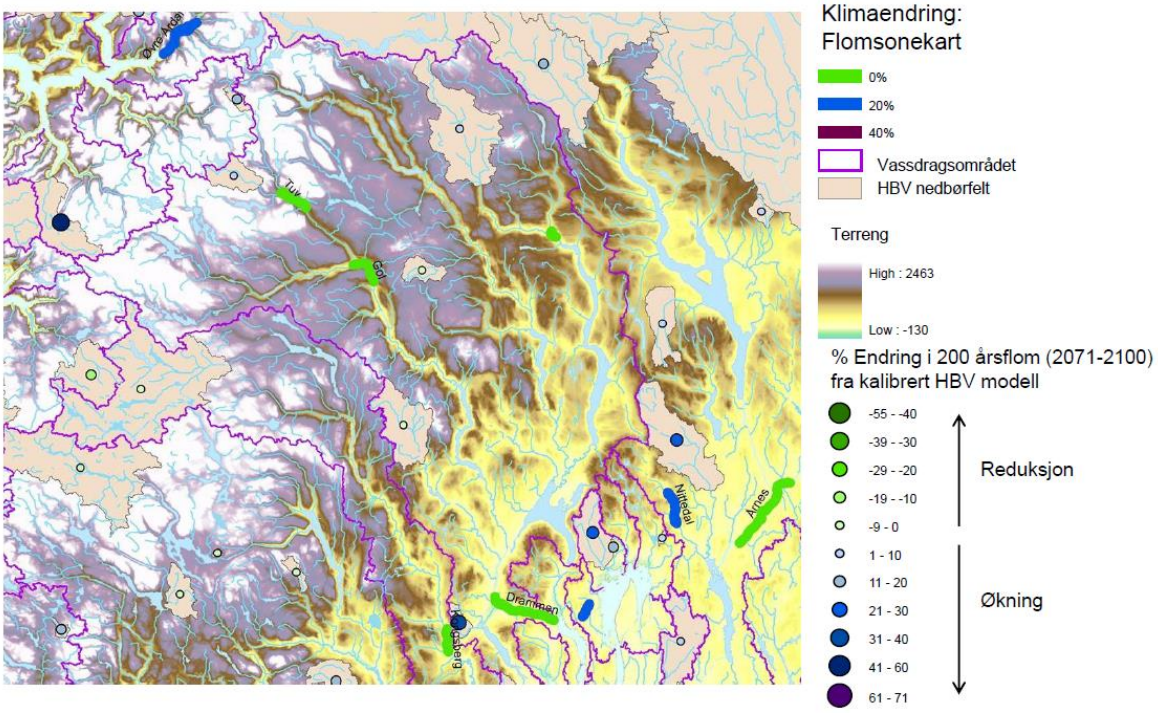
For å vurdere mulige effekter av klimaendring på flomsonekartene er tre inndelinger benyttet: Ingen endring, 20 % økning, 40 % økning. Hvilken kategori en elvestrekning tilhører er avhengig av hvor i Norge en befinner seg, nedbørfeltets areal og høydefordelingen i nedbørfeltet. NVE vil tilpasse flomsonekartene til et endret klima der det er nødvendig etter hvert som gode nok data og metoder foreligger. Dette inngår som en del av NVEs ajourføring av flomsonekart.

Fremskrivingene for Hemsil viser at snøsmelteflommer også vil være den dominerende flomårsaken i fremtiden, men at flommene vil reduseres. Som det fremgår av figur 3 er det med grunnlag i beregningene beskrevet ovenfor ikke funnet noen økning av 200-årsflommen i år 2100 sammenlignet med dagens verdier. I det videre arbeidet med dette prosjektet er dagens flomverdier derfor ikke oppjustert som følge av et endret klima men er ajourført i henhold til den reviderte flomberegningen som beskrevet i et kommende kapitel.

Det forventes likevel at kortvarig intensiv nedbør vil øke over hele landet i et fremtidig klima. Mindre nedbørfelt (under 100 km^2) med liten sjøprosent har mindre magasineringskapasitet og dermed raskere avrenning. Disse er derfor mer sårbare for økning i intens nedbør og en forventer derfor at små nedbørfelt får 20 prosent økning i flomvannføringene. For Hemsedal kommune betyr dette at noe av fokuset må være rettet mot flommer i sidevassdrag og små bekker, der en erfaringsmessig opplever størst skader ved flomhendelser.



Figur 2. Endringer i 200-årsflommen som blir benyttet i flomsonekartleggingen.



Figur 3. Endringer i vannføring for bl.a. Hemsil ved Hemsedal som følge av klimaendring. Resultater er basert på fremtidige utslippsscenarioer, regionale analyser og HBV-modeller i uregulerte nedbørfelt.

1.4 Prosjektgjennomføring

Prosjektet er gjennomført under ledelse av NVE med Hemsedal kommune som bidragsyter og diskusjonspart. Første utkast til reviderte flomsonekart ble presentert for kommunen 19.juni 2013 for innspill og vurdering av flomutbredelse. Prosjektet er gjennomført i samsvar med *Prosjekthåndbok flomsonekartprosjektet* [5].

2 Metode og databehov

2.1 Metode

Et flomsonekart viser hvilke områder som oversvømmes ved flommer med gitte gjentaksintervall, typisk 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 og 1000 år. I tillegg beregnes vannstander ved middelflom og normalvannføring, basert på avrenningskart for Norge med data fra 1961-1990. Beregningene er gjort med grunnlag i historiske flommer, mens fremskrivninger for evt. klimaendringer er gjort i en egen analyse.

Vannføringsdata, oppmålte tverrprofiler av elveløpet og elveløpets egenskaper for øvrig (fallforhold, arealdekke, konstruksjoner som bruer og kulverter mv) benyttes i en 1-dimensjonal (1D) hydraulisk modell som beregner hvor høy vannstand de ulike flommene gir langs elva (vannlinjeberegning). 1D-modelleringen er gjennomført i programvaren HEC-RAS. Av vannlinjene utledes vannflater vha interpolering mellom tverrsnittene. For hele området genereres en digital terrengmodell vha laserskannede data og supplering med GNSS-innmålte punkter av terreng og andre strukturer av hydraulisk betydning. Terrengmodellen kombineres med vannflatene i GIS som beregner oversvømt areal (flomsonen). Programvaren ArcGIS er benyttet til dette arbeidet.

Deler av den kartlagte strekningen er beregnet i en 2-dimensjonal (2D) hydraulisk modell pga komplekse hydrauliske forhold. I en 2D hydraulisk modell beregnes vannflatene direkte i den digitale terrengmodellen slik at det ikke er behov for tverrsnittsinterpolering for å finne vannflatene. For å bedre lesbarheten er vannflatene fra 2D-modellen etterbehandlet i GIS. 2D-modelleringen er utført med programvaren HYDRO_AS-2D, utviklet av Dr. Marinko Nujic. Det vises til dokumentasjon fra Marinko Nujic for en detaljert gjennomgang av modelleringsverktøyet[6].

Kalibrering av modellene gjøres med utgangspunkt i sammenhørende verdier av vannstand og vannføring fra historiske flommer.

2.2 Hydrologiske data

De følgende avsnittene er delvis utdrag fra flomberegningen for bl.a. Hemsil, *Flomberegninger i Hallingdalsvassdraget, Hemsedal, Gol og Nesbyen – 12-2004*[7] samt kompletteringen (tilføyelse av 1000-årsflommen og normalvannføring) utarbeidet i forbindelse med ajourføringen av flomsonekartet, beskrevet i notatene datert 19.10.2011[8] og 10.03.2010[9].

2.2.1 Nedbørsfeltet

Nedbørfeltet til Hemsil strekker seg fra Hemsedalsfjella til samløpet med Hallingdalselva ved Gol, der nedbørfeltet før samløpet totalt er 938 km^2. Hemsil dannes ved samløp av Mørkdøla (369 km^2) og Grøndøla (243 km^2) ved Tuv, ca 5 km oppstrøms Hemsedal sentrum, slik at nedbørfeltet rett oppstrøms Hemsedal sentrum er 628 km^2. I Hemsedal sentrum renner den uregulerte Trøymsåni (28 km^2) ut i Hemsil, slik at nedbørfeltet til Hemsil nedstrøms sentrum er 656 km^2. Ved analysens nedstrøms grense (Ulsåk / Dokki) er nedbørfeltet 675 km^2.

Fra omkring 1950 har det vært en rekke kraftutbygginger i vassdraget. Dette påvirker sterkt vannføringen og også flomstørrelsene i Hemsil. Det er regnet med at reguleringene medfører en flomreduksjon for alle flommer til og med 200-årsflommen og med størst reduksjon av 50-årsflommen. For vannføringer større enn 200-årsflommen regnes Hemsil altså som uregulert.

2.2.2 Flomberegning

De største flommene i Hemsil og sidebekker er generelt observert i mai, juni og juli og disse vårflommene har vært dominerende både før og etter utbygging. På grunn av den gradvise overgangen fra regulerte til uregulerte forhold er det gjennomført flomanalyser av begge alternativene. De viktigste hydrometriske stasjonene i nedbørfeltet til Hemsil er: 12.130 Flævatn, 12.117 Vavatn (begge ligger i regulerte innsjøer, oppstrøms Hemsil), 12.215 Storeskar (i Mørkedøla, opprettet i 1987 som erstatning for 12.154 Lio) samt 12.137 Gjerdeslåtten som ligger nedstrøms analysert strekning. Disse stasjonene har generelt kun registrert få år med data under uregulerte forhold, men disse brukes for bestemmelse av middelflommen under uregulerte forhold. For å ta hensyn til samtidigheten av flomtoppene i Grøndøla og Mørkdøla reduseres summen av disse med 5% ved beregning av middelflommen i Hemsil. Ved beregning av middelflom under regulerte forhold antas det at alt tilsig til Vavatn og Flævatn kan lagres i magasinene slik at det oppstår en flomreduksjon på 75 m^3/s i Hemsil.

På grunn av få år med data fra uregulerte forhold i Hemsil er flere stasjoner med uregulerte data fra nabovassdrag også analysert. Frekvensanalyser av vannføringer under regulerte forhold er problematisk fordi ikke bare naturlige prosesser vil avgjøre flommens størrelse. Blant annet disponering av magasiner, drift av kraftverk samt bruk av manøvrerbare flomløp kan endre flommen vesentlig slik at det vanskelig kan knyttes et bestemt statistisk gjentaksintervall til en hendelse. Det er derfor i stedet tatt utgangspunkt i resultatene fra de uregulerte forholdene og en antakelse om at reguleringenes flomdempende effekt blir relativt mindre for de største flommene. Den maksimale dempningseffekten er estimert fra registrerte data under flommen i 1971 som er den størst registrerte i vassdraget, tilsvarende en 20 – 50 års flom. Fordelingen av sannsynlige flomreduksjoner fremgår av tabell 1.

Tabell 1. Fordeling av flomreduksjoner som følge av reguleringene i Hemsil

Fs 012_7 Hemsedal	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{500} m^3/s
Hemsil ved skiheis	75	90	110	120	120	75	50	0
Hemsil oppstrøms Trøymsåi	75	90	110	120	120	75	50	0
Trøymsåi	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemsil nedstrøms Trøymsåi	75	90	110	120	120	75	50	0
Hemsil ved Dokki	75	90	110	120	120	75	50	0

I kompletteringen av flomberegningen fra 2011 er det tilføyet verdier for 1000-årsflommen. I den opprinnelige flomberegningen (NVE-dok 12-2004) for Hemsil er det benyttet et forholdstall på 3.0 mellom 500-årsflom og middelflom under uregulerte forhold. Ut fra regionale kurver antas det i kompletteringen at 1000-årsflommen er ca. 6 % større enn 500-årsflommen, noe som da gir et forholdstall på 3.2 mellom 1000-årsflom og middelflom.

Analysene av middelflom og frekvensanalyser gjøres normalt på døgnmiddelvannføringer. I små vassdrag vil kulminasjonsvannføringen ofte være atskillig større enn døgnmiddelvannføringen. Dette gjelder spesielt i vassdrag med rask avrenningsrespons pga som følge av bl.a. lav effektiv innsjøprosent, stor terrenggradient samt liten andel myr mv. I flomberegningen er både data med fin tidsoppløsning (timesverdier) og empiriske verdier benyttet for å estimere et forholdstall mellom døgnmiddelvannføringer og kulminasjonsvannføringer. Denne analysen er foretatt både i den opprinnelige flomberegningen fra 2004 samt i den ajourførte fra 2010/2011. Resultatet fra den opprinnelige beregningen var et forholdstall mellom døgnmiddel- og kulminasjonsvannføringer på

1.5. Dette forholdstallet ble i ajourføringen korrigert til 1.3 som følge av observasjoner gjort under de to store flommene i 2004 og 2007.

I ajourføringen er verdiene for flomreduksjon som beskrevet i tabell 1 endret fra å gjelde for døgnmidler til å gjelde for kulminasjonsverdier. Dette medfører en noe mindre flomreduksjon enn antatt i 2004-beregningen. De endelige verdiene for kulminasjonsvannføringene som er anvendt i de hydrauliske modellene er presentert i tabell 2. Verdiene for Trøymsåni er angitt for kulminasjon i Hemsil. Kulminasjonsvannføringen i Trøymsåni kan være betydelig større men vil typisk opptre før kulminasjonen i Hemsil pga raskere avrenningsrespons.

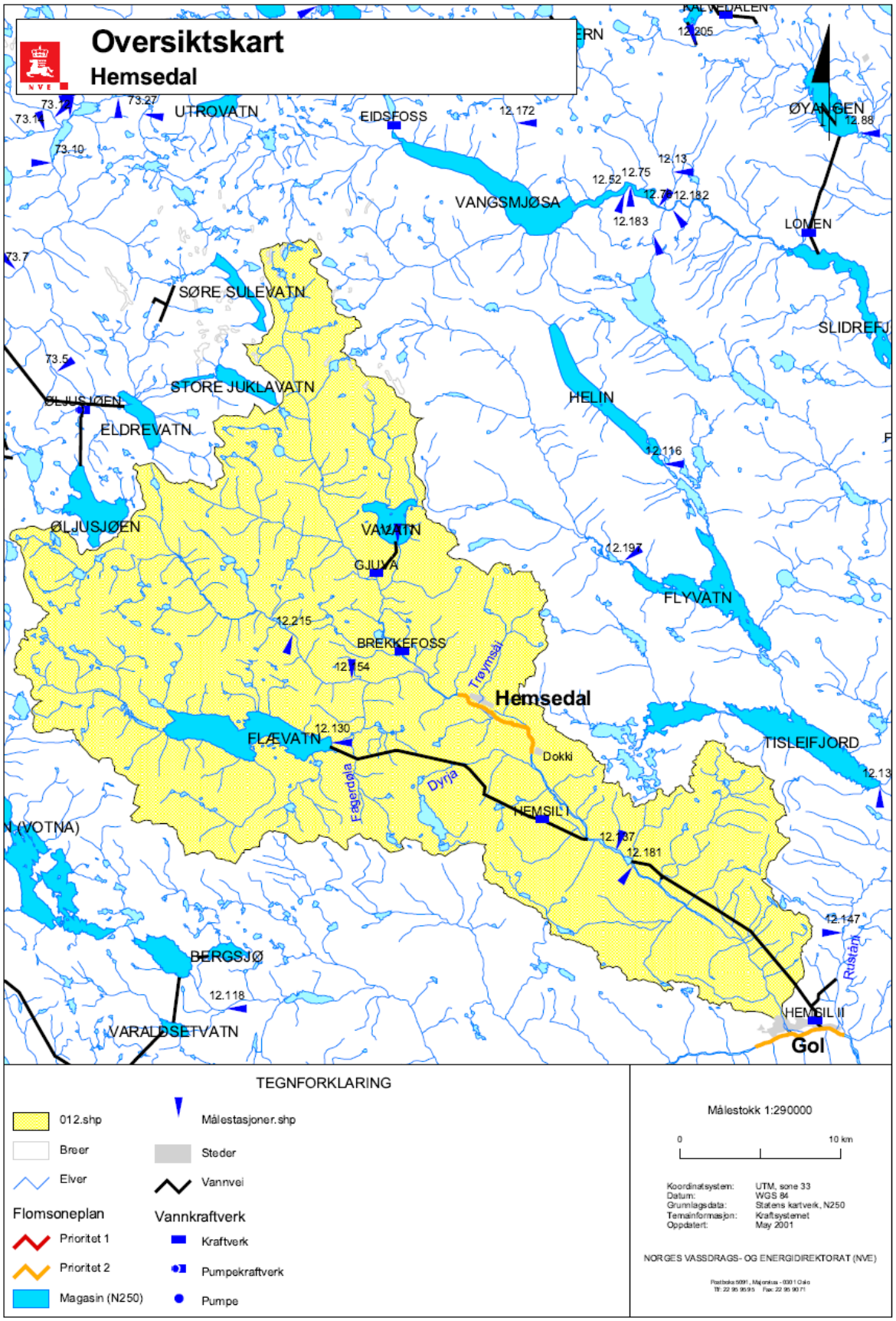
Tabell 2. Kulminasjonsvannføringer for sentrale lokaliteter i Hemsil. Forholdstall Qmom/Qdøgn = 1.3.

	Areal km²	QM m³/s	Q5 m³/s	Q10 m³/s	Q20 m³/s	Q50 m³/s	Q100 m³/s	Q200 m³/s	Q500 m³/s	Q1000 m³/s
Hemsedal										
Mørkdøla	369	90	115	140	170	215	300	360	465	495
Grøndøla	243	85	105	125	150	175	210	240	285	305
Hemsil ved Tuv	619	175	220	265	320	390	510	600	750	800
Hemsil oppstrøms Trøymsåi	628	175	225	265	320	395	515	600	750	805
Trøymsåi (ved kulminasjon i Hemsil)	28	15	15	20	20	25	30	35	40	40
Hemsil nedstrøms Trøymsåi	656	190	240	285	340	420	545	635	790	845
Hemsil ved Dokki	675	190	245	290	345	425	550	645	800	855
Hemsil før samløp med Hallingdalselva	938	230	295	350	415	510	645	745	920	980
Hallingdalselva ved samløp Hemsil (ved kulminasjon i Hemsil)	2318	125	145	185	200	220	485	675	855	1025

Beregnet årsmiddelvannføring er beregnet for normalperioden 1961-1990 med utgangspunkt i verdier gitt i avrenningskartet for Norge (NVE-Atlas). Verdiene som benyttes i de hydrauliske modellene fremgår av tabell 3.

Tabell 3. Normalvannføring (årsmiddelvannføring) for sentrale lokaliteter i Hemsil.

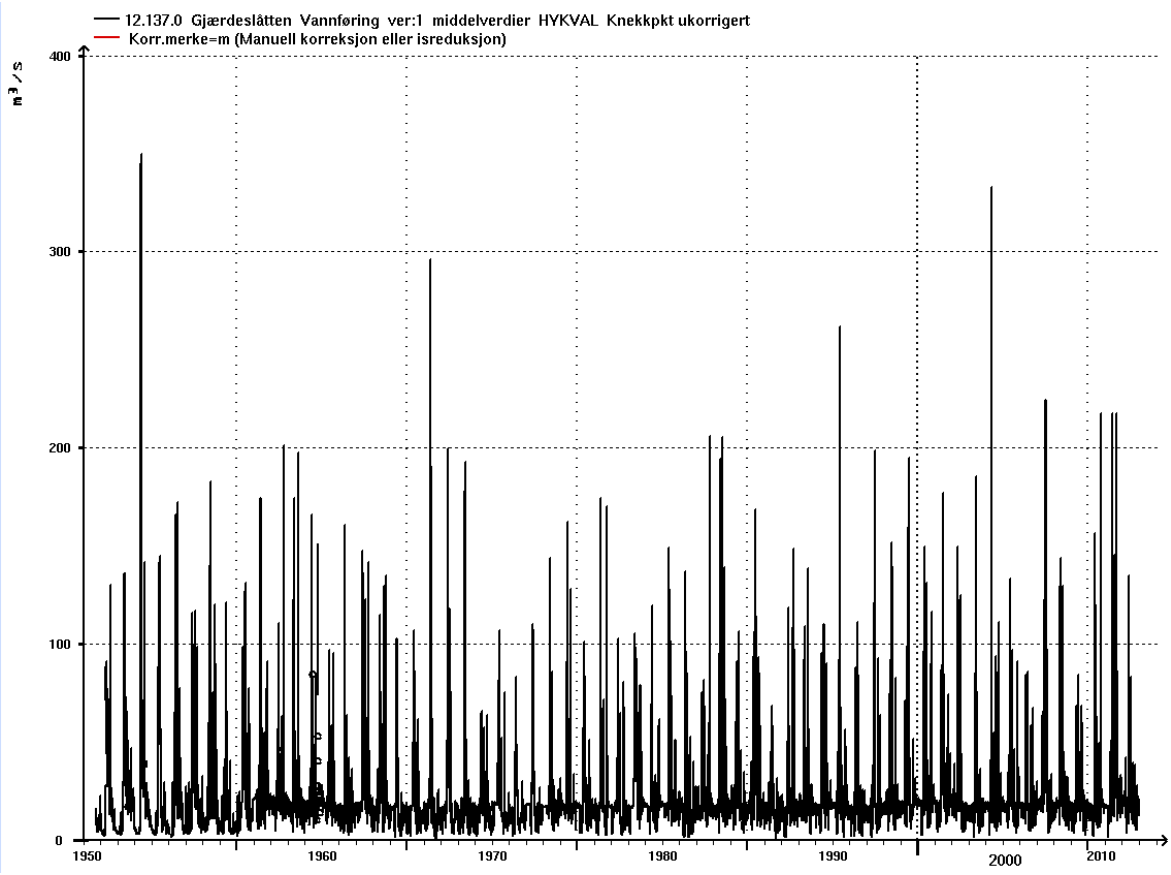
	Areal km²	Spesifikk årsmiddelvannføring l/s km²	Årsmiddelvannføring m³/s
Hemsedal			
Mørkdøla	369	30	11
Grøndøla	243	28	7
Hemsil ved Tuv	619	29	18
Hemsil oppstrøms Trøymsåi	628	29	18
Trøymsåi	28	30	1
Hemsil nedstrøms Trøymsåi	656	29	19
Hemsil ved Dokki	675	28	19
Hemsil før samløp med Hallingdalselva	938	25	23
Hallingdalselva, Gol			
Hallingdalselva ved samløp Hemsil	2318	27	63
Hallingdalselva nedstrøms Hemsil	3256	26	86



Figur 4. Oversikt over nedbørfeltet til Hemsil.

2.2.3 Observerte flommer

I figur 5 er det gitt en oversikt over de største flommene som er observert i Hemsilvassdraget ved den hydrometriske stasjonen 12.137 Gjerdeslåtten i perioden 1951 – 2012 (uregulert før 1957).



Figur 5. Plott som viser registrerte kulminasjonsvannføringer ved målestasjonen 12.137 Gjerdeslåtten. Vannføringen i mai 1954 er registrert før reguleringen.

Tabell 4. Liste over de største registrerte vannføringene ved 12.137 Gjerdeslåtten. Gjentaksintervaller er beregnet i forhold til regulert vassdrag og i henhold til flomberegningen fra 2010.

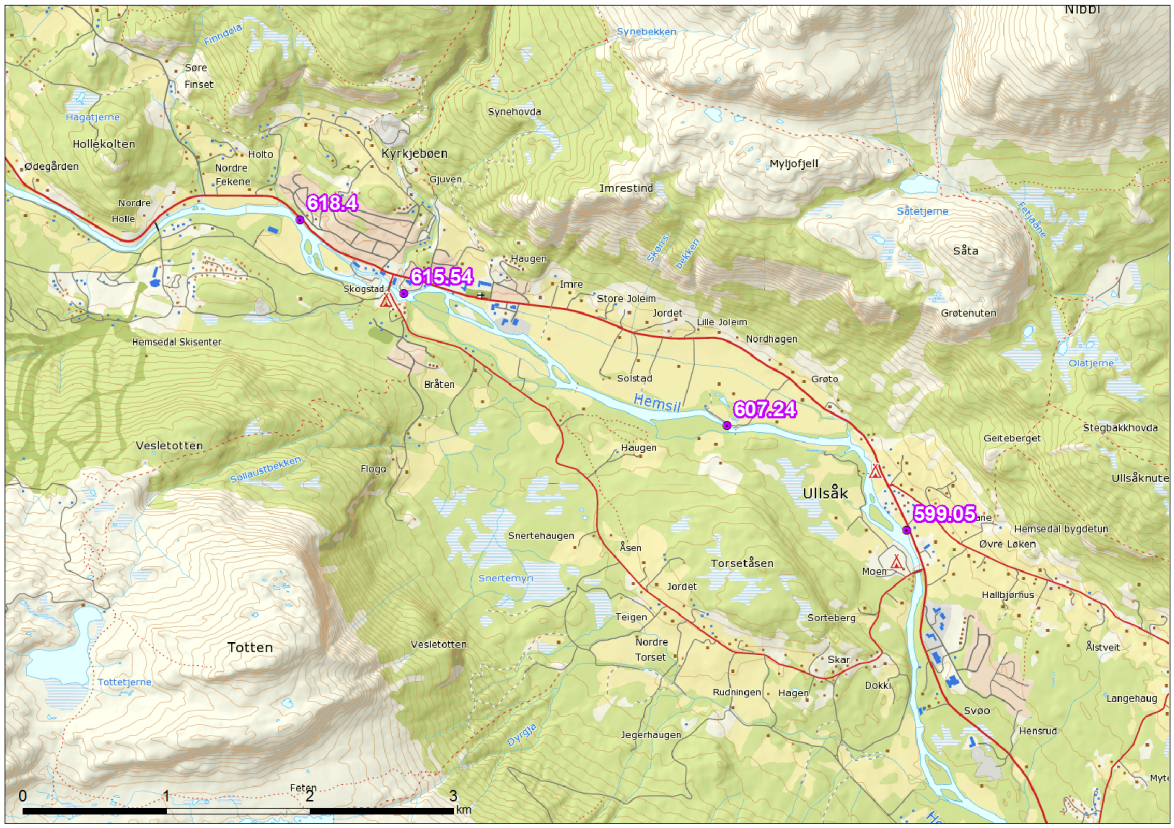
12.137 Gjerdeslåtten	Dato	Vannføring	Gjentaksintervall
	Mai 2004	333	10-20 år
	Mai 1971	296	10 år
	Juni 1995	262	5-10år
	Juli 2007	224	<5år
	Juni 2011	218	<5år
	Oktober 1962	201	Middelflom
	Juni 1972	199	MIddelflom
	August 1963	197	Middelflom

2.2.4 Kalibreringsdata

For å kalibrere de hydrauliske modellene er man avhengig av samhørende verdier av vannføring og vannstand. I flommodelleringen fra 2006 ble det benyttet data fra flommen i mai 2004 der flomhøyder fra kulmineringsvannføringen ble delvis registrert samme dag som flomtoppen inntraff og delvis i ettertid, ved å måle inn merker i terrenget som viste hvor høyt flomvannet hadde stått. Totalt ble det målt inn 4 punkter etter 2004-flommen. Denne flommen var opp mot en 20-årsflom og det har ikke siden vært større flommer i Hemsil der flomhøyder har blitt registrert på strekningen for dette flomsonekartet. I den ajourførte modellen er det derfor også disse punktene som har blitt anvendt som kalibreringspunkter.

Tabell 5. Innmålte kalibreringsvannstander (NN54) under flommen 07.05.2004.

Lokalitet	Vannstand (NN54)
Oppstrøms modellgrense (2D)	618.40
Nedstrøms Trøymsåni	615.54
P14	607.24
P5	599.05



Figur 6. Innmålte kalibreringsvannstander, flommen 07.05.2004.

2.3 Topografiske data

2.3.1 Tverrprofiler og bruer

Strekningen ble profilert av Novatek AS i 2005[10]. Det ble i alt målt 27 profiler som er nummerert i stigende rekkefølge med start i nedstrøms ende. I tillegg er alle bruer på strekningen målt opp. Profilene er valgt ut for best mulig å beskrive elvas geometri i horisontal- og vertikalplanet og dermed beskrive strømningsforholdene i elva.

I forbindelse med ajourføringen har NVE Region Sør foretatt supplerende tverrprofilering og GNSS-punktmålinger av terreng og andre strukturer med hydraulisk betydning på strekningen som modelleres i 2D.

2.3.2 Terrengdata

Modellert område ble laserskannet i 2010 gjennom Geovekst-samarbeidet. Data fra denne skanningen er benyttet i ArcGIS til å generere terrengmodellen som danner grunnlag for flomsonekartene. Denne terrengmodellen er også anvendt til å forlenge de opprinnelige tverrprofilene samt som det primære grunnlaget for oppbygging av den hydrauliske 2D-modellen. Laserdata dekker normalt kun terreng over vann slik at selve elveløpet i 2D-modellen er generert ut fra eksisterende tverrprofiler samt nye punkter målt med GNSS og ekkolodd foretatt av NVE Region Sør.

2.4 Hydrauliske beregninger

Ajourføringen av flomsonekartet for Hemsedal er oppstrøms profil 21 utført vha HYDRO_AS-2D v. 2.2 (2D-hydraulisk modell) og nedstrøms profil 21 vha HEC-RAS v. 4.1.0 (1D-hydraulisk modell). Årsaken til oppdelingen er at spesielt strekningen ved Skogstad bru er hydraulisk kompleks og krever en mer detaljert beskrivelse av strømningsforholdene enn en 1D-modell som HEC-RAS kan gi.

En 1D-modell kan kun beregne en enkelt verdi for vannstand, vannhastighet mv pr. tverrprofil slik at disse da representerer et gjennomsnitt av forholdene langs hele tverrsnittet. På tilnærmet rette elvestrekninger vil denne forenklingen være uproblematisk. Jo mer hydraulisk kompleks en elvestrekning er (dvs. for eksempel pga. krappe svinger, kraftig varierende bunnforhold, flomsletter, flomvoller mv) vil denne forenklingen medføre større unøyaktigheter. For eksempel vil vannet stues opp i yttersvinger, slik at en her får høyere vannstander og vannhastigheter enn i innersvingen. Samtidig er generering og bruk av en 2D-modell noe mer tids- og datakrevende enn en 1D-modell, slik at valget mellom de to ulike modell-typene blir en avveining av flere hensyn.

En utvidelse av 2D-modellen til også å omfatte deler av eller hele strekningen nedstrøms profil 21 vil være naturlig dersom det i fremtiden oppstår behov for en mer avansert beregning på denne strekningen, for eksempel i forbindelse med større utbygningsprosjekter eller lignende.

2.4.1 HYDRO_AS-2D

Den 2-dimensjonale modelleringen tar utgangspunkt i strømningsligningene (Navier-Stokes ligningene) der endringer som funksjon av dybden er neglisjert. Denne antakelsen forutsetter normalt små vanndybder (”små” vanndybder skal her relateres til typiske havdybder) og ligningene kalles derfor også ”gruntvannsligningene” (shallow water equations på engelsk). 2D-modellen beregner derfor kun verdier som gjennomsnitt over hele vanndybden (dersom modellen også hadde beregnet verdier for ulike dybder gjennom vannsøylen hadde det vært en 3D-modell).

2D-modellens beregninger baseres på et beregningsnett av trekant-/firkantelementer som dekker hele det modellerte området, både selve elveløpet samt flomsletter og andre områder som

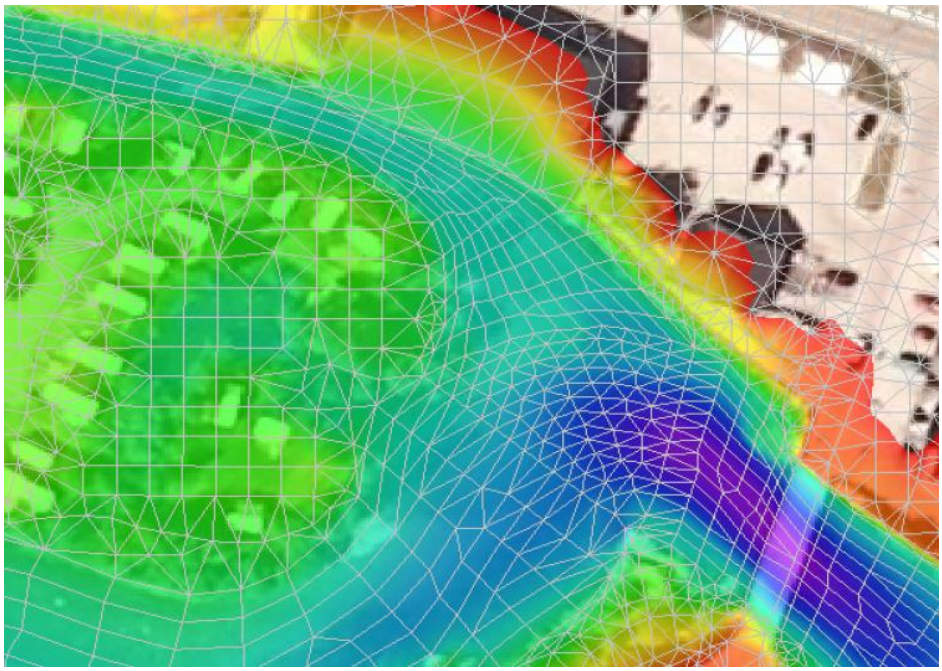
oversvømmes ved større vannstander. For hvert punkt i nettet beregner modellen verdier for vannstand, vannhastighet, vanndybde mv. Ved å definere et beregningsnett med mindre nett-elementer vil en typisk oppnå et mer detaljert resultat men vil også kreve betydelig lengre beregningstid enn med et grovere beregningsnett med færre elementer. Vanligvis vil det derfor være gunstig å generere et beregningsnett med differensiert oppløsning slik at høyest detaljeringsgrad brukes i områder med størst kompleksitet eller interesse.

På strekninger med kjent strømningsretning (typisk i selve elveløpet) brukes normalt firkantelementer med lengdeaksen i strømningsretningen. På områder med mer udefinerte eller ukjente strømningsforhold, for eksempel ved elvesamløp, flomsletter mv, velges normalt trekantelementer. Normalt vil et beregningsnett derfor være en kombinasjon av de to elementtypene.

Bygninger og annen infrastruktur som påvirker/blokkerer vannstrømmen kan legges inn i modellen som ikke-gjennomstrømbare elementer slik at de hydrauliske forholdene rundt disse også beregnes. Vannføringen under bruer og gjennom store kulverter kan beregnes 2-dimensjonalt og for eksempel brukar/landkar defineres typisk som ikke-gjennomstrømbare elementer. Energitap på grunn av innsnevring/utvidelse samt andre 2-dimensjonale hydrauliske forhold som for eksempel skrå bruakser modelleres 2-dimensjonalt slik at man ikke trenger parametere for å ta hensyn til dette slik som man må i en 1D-modell. Evt. overløp over brudekker mv beregnes som damoverløp vha klassiske overløpsformler. Alternativt kan infrastruktur (påkrevd for mindre kulverter) også modelleres som enklere 1D-objekter på samme måte som i HEC-RAS.

Falltap som følge av friksjon modelleres vha friksjonsfaktorer bestemt av bl.a. arealbruk. HYDRO_AS-2D bruker Stricklers k_{st}-verdier som tilsvarer Mannings M-verdier. Vha arealbrukskart kan en for eksempel spesifisere at parkeringsplasser og veier har mindre ruhet enn kantvegetasjon og derfor opptrer mindre begrensende for vannstrømmen.

Øverst i modellen defineres vannføringen (tilsiget av vann inn i modellen) som skal modelleres og nederst i modellen defineres grensebetingelser som i HEC-RAS.



Figur 7. Beregningsnettet i HYDRO_AS-2D (farger symboliserer koter i terrengmodellen, blå er lavest og rød er høyest) på strekningen ved Skogstad bru.

2.4.2 HEC-RAS

En 1D-hydraulisk modell baseres på beregning av tverrprofiler slik at antallet av beregningspunkter blir tilsvarende mye mindre enn for en 2D-hydraulisk modell. HEC-RAS er et dataprogram utviklet av U.S. Army og benytter kontinuitets- og bevegelsesligningene for å beregne vannlinjen fra et tverrsnitt til det neste. Der det er en gradvis varierende vannlinje bruker modellen energimetoden mens modellen benytter momentmetoden (kraftbalanse og kontinuitet) der vannlinjen ”går gjennom kritisk”. Dette betegner situasjonen der vannlinjen går mellom de to vanndyp som samme vannmengde kan strømme med: Rolig strømning (underkritisk) og strykende strømning (overkritisk). Strømningstypen er bestemt av bunnhelning, forhold oppstrøms og nedstrøms samt energiforholdene

I flomsonemodelleringen forutsettes det stasjonære forhold, som betyr at vannføringen antas såpass konstant at de ikke-stasjonære trykk-, hastighets- og volumendringene kan neglisjeres. Dersom elva ikke er bratt (dvs at den ikke har overkritisk hastighet) vil vannstanden i nedstrøms ende påvirke vannstanden oppover i elva. Input til modellen er terreng- / elvegeometri vha tverrprofiler, verdier for friksjonstapet for hvert tverrprofil (Mannings n-verdier) samt singulærtap pga bla raske endringer i strømningsarealet, tverrsnitt av bruer og annen infrastruktur, vannføring øverst i modellen samt nedstrøms (ved overkritisk strømning også oppstrøms) grensebetingelse.

Basert på ovenstående beregner 1D-modellen en verdi for vannstand og vannhastighet i hvert tverrprofil samt ved bruer og annen infrastruktur.

2.5 Generering av flomsoner

Flomsoner basert på 2D-modellen blir generert direkte i den hydrauliske modellen for de ulike flomstørrelsene. For å bedre lesbarheten er det vanlig at de rå flomflatene etterbehandles i GIS.

Flomsonene basert på data fra 1D-modellen genereres på bakgrunn av de beregnede flomvannstandene tilordnet hver tverrprofil og for hver flomstørrelse. Vannstandene gjøres i GIS om til flomflater vha interpolering av vannstandene mellom hvert tverrprofil. For å finne endelig utstrekning av flomsonene sammenholdes flomflatene med den digitale terrengmodellen. Områdene i flomflatene som ligger høyere enn terrengmodellen angir vanndekte arealer og skjæringen mellom de to flatene angir flomsonens avgrensing. Resultatet av dette er digitale flomsoner (polygoner) som angir oversvømte arealer for de ulike flomstørrelser. Flomsonene finnes på digital form for bruk i bl.a. nettbaserte innsynsløsninger og kan også tegnes ut på kart.

3 Hydrauliske beregninger

Som beskrevet tidligere er det anvendt både en 1D- og 2D-hydraulisk modell for beregning av vannlinjen på strekningen som delprosjekt Hemsedal omfatter.

3.1 Spesielt om delprosjekt Hemsedal

Hemsil er en relativt slak elv på strekningen fra området ved Skogstad bru og videre oppstrøms. Dette betyr at de komplekse hydrauliske forholdene ved brua vil ha innflytelse på vannstanden langt oppstrøms brua.

På strekningen nedstrøms Skogstad bru er det sør for hovedløpet til Hemsil flere mindre flomløp adskilt av skog- og gressbevokste flomsletter (Langøyne og Storøyne). Disse vil være satt under vann i de fleste flommer og derfor også bidra noe til vanntransporten. Deler av dette området er derfor tatt med i modellen som delvis aktivt elveløp

Nedstrøms flomslettene er det på nordsiden av Hemsil et stort jordbruksområde som ligger lavere enn elvekanten som på store deler av strekningen er hevet som et mindre flomverk. Jordbruksområdet dreneres av Joleimskanalen men ved flommer og kraftig nedbør vil området være satt under vann.

De hydrauliske forholdene på de to ovenstående strekninger er ganske komplekse for mindre flomvannføringer, opp til ca. 20-årsflom. Ved slike flommer vil kun deler av områdene være oversvømt / overtoppet og det oppstår et kompleks hydraulisk mønster av inn- og utløp mot Hemsil. Ved større flommer blir de hydrauliske forholdene gradvis enklere etter hvert som hele området settes under vann. Dersom det i fremtiden, for eksempel i forbindelse med en større utbygging, vil være behov for en så presis som mulig beskrivelse av de hydrauliske forholdene her ved mindre flommer anbefales det å modellere hele eller deler av denne strekningen i en 2D-hydraulisk modell.

Tilsvarende anbefaling gjelder for terrenget på vestsiden av Hemsil ved profil 12 og profil 6, der terrenget ved mindre flommer kun delvis oversvømmes og det derfor oppstår komplekse hydrauliske strømninger (det oppstår sannsynligvis separate ”flomløp” på innsiden) som mest optimalt modelleres i en 2D-modell.

3.2 Grensebetingelser

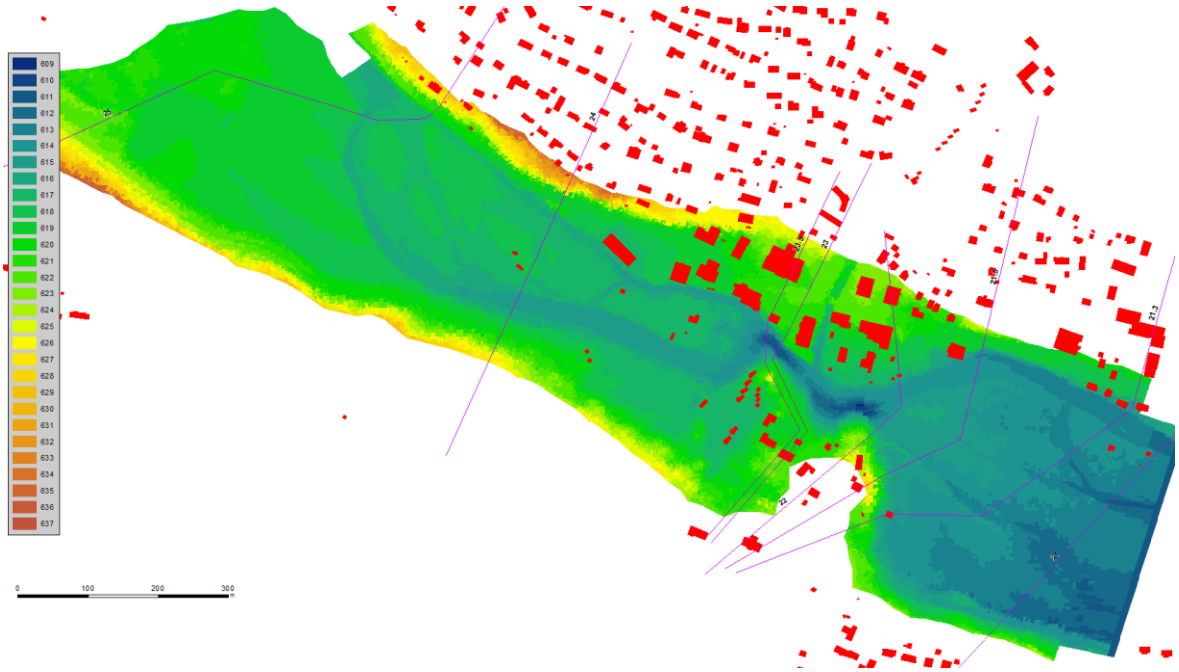
Både 1D- og 2D-modellen må ha en definert nedre vannstand som grensebetingelse. Tilsvarende må vannføringen inn i modellene øverst være definert, samt evt tilsig fra delfelt på beregningsstrekningen. Avhengig av bl.a. elvegradient og selve grensebetingelsen vil den påvirke løsningen som modellen beregner. Det er derfor viktig å velge korrekt grensebetingelse samt forlenge modellen så langt at ikke beregningene for selve flomsonekartstrekningen påvirkes av grensebetingelsen.

Nedstrøms grensebetingelse for den opprinnelige 1D-modellen var kritisk dybde. Plassering og type var valgt pga. den større elvegradienten på denne strekningen. Ved sammenligning med normalstrømning (Mannings formel) som alternativ grensebetingelse samt følsomhetsanalyse av denne er det kun noen få cm differanse oppstrøms profil 2. Kritisk dybde er derfor også anvendt som nedstrøms grensebetingelse for den ajourførte HEC-RAS-modellen.

Som nedstrøms grensebetingelse for 2D-modellen er anvendt de modellerte vannstandene fra 1D-modellen, tilsvarende profil 21 i flomsonekartet.

3.3 HYDRO_AS-2D

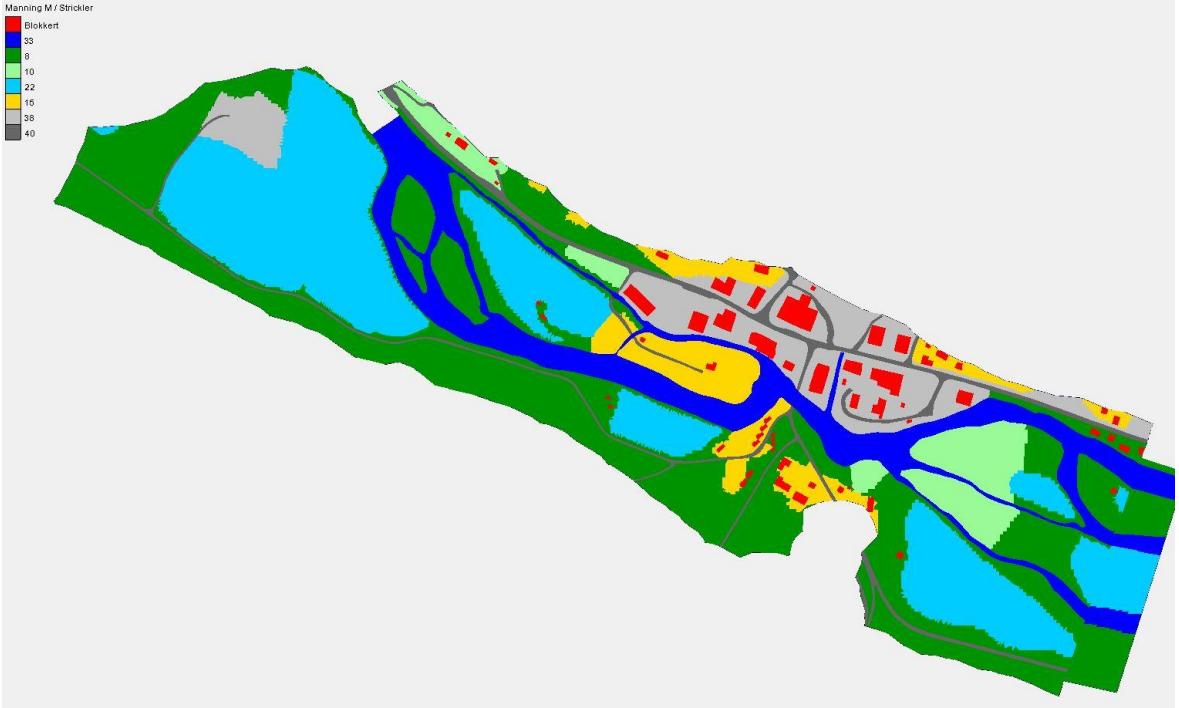
Strekningen fra flomsonekartets oppstrøms grense til profil 21 er modellert vha den 2D-hydrauliske modellen HYDRO_AS-2D. Denne strekningen er ca. 1.5 km lang og beregningsnettet omfatter i alt drøyt 50.000 nettelementer som i alt dekker ca. 0.6 km^2, tilsvarende en gjennomsnittlig elementstørrelse på 12 m^2. Figur 8 viser hele det modellerte området, der nettelementene er symbolisert etter terrengkoter og bygningsflater er symbolisert med rødt.



Figur 8. Beregningsnettet for 2D-modellert strekning, symbolisert etter terrengkoter. Bygninger fra FKB-data er markert med rødt.

Bygningsflater er hentet fra FKB-data og brukt for å generere nettelementer som blokkeres helt for vanntransport. For komplekse bygningsformer er det foretatt en forenkling slik at antallet av små og ubetydelig nettelementer reduseres mest mulig.

For å modellere falltap som følge av friksjon er det lagt inn ulike Strickler- / Manning M-verdier i modellen. Dette er gjort med utgangspunkt i arealressurspolygonene fra FKB-data. Polygonene er brukt som standardavgrensing mellom de ulike overflatekategoriene, mens bestemmelse av de enkelte verdiene er basert på litteratur, feltbefaring samt flyfotos. Flyfotos er også brukt for verifisering av utstrekningen av de enkelte klassene.



Figur 9. Fordeling og valg av Manning M-verdier i 2D-modellen. Høy M-verdi indikerer lav friksjon.

3.4 HEC-RAS

HEC-RAS er anvendt for å modellere elvestrekningen nedstrøms profil 21. Sammenlignet med den opprinnelige flomsonemodellen er tverrprofilene i modellen forlenget noe slik at de også dekker flomslettene på sidene av Hemsil, til flomfri kote. Dette er gjort fordi det, basert på resultatene fra 2D-modellen og observasjoner under flom, vurderes at det under større flommer også vil foregå en betydelig vanntransport på deler av disse arealene som ikke var modellert i den opprinnelige modellen.

Bestemmelse av ruheter i modellen (Mannings n-verdier) er gjort delvis på basis av den opprinnelige flomsonemodellen og delvis vha flyfotos og feltbefaring, samt sekundært som følge av kalibreringen. I hovedløpet er det anvendt n-verdier fra 0.025 på de mest stilleflytende partiene som primært forekommer i oppstrøms del av modellen til 0.06 på flere strekninger lengre nedstrøms med markant grovere bunnsubstrat. For å sikre en konservativ løsning er det anvendt høye n-verdier (0.06-0.08) på flomslettene som har blitt ”åpnet”. Videre er en del av flere tverrsnitt blokkert ut som inneffektivt strømningsareal som følge av meget tett vegetasjon eller geometriske forhold.

På strekningen mellom flomsonekartets profil 16 og profil 13 er det på venstre side (nord for elva) et markert og kontinuert toppunkt som ligger noe høyere enn terrenget på innsiden av (nord for) dette. Dette er muligens deler av et erosjonssikringsanlegg som ble utført på 1940-tallet og er tolket som et i hvert fall delvis tett ”flomverk” som anslagsvis først overtoppes mellom en 20- og en 50-årsflom og som derfor også er lagt inn i modellen som dette.

3.5 Kalibrering

Både 1D – og 2D-modellen er kalibrert etter innmålte punkter fra flommen i mai 2004. Dette er samme flom og kalibreringspunkter som den opprinnelige flomsonemodellen på strekningen var

kalibrert etter. Flommen i 2004 var i nærheten av en 20-årsflom men dessverre er det kun registrert og innmålt 4 punkter.

Tabell 6. Oversikt over målte og modellerte vannstander for flommen i mai 2004.

Lokalitet	Vannstand innmålt (NN54)	Vannstand modellert (NN54)	Differanse (m)
Oppstrøm modellgrense (2D)	618.40	618.37	0.03
Nedstrøms Trøymsåni	615.54	615.75	-0.21
P14	607.24	607.13	0.11
P5	599.05	599.23	-0.18

Helt oppstrøms i 2D-modellen stemmer de modellerte dataene veldig bra. Rett nedstrøms utløpet av Trøymsåni er observert en antatt dynamisk og midlertidig grusbanke (og derfor ikke inkludert i modellen) som muligens har skapt lokale hydrauliske forhold under 2004-flommen og derfor medført dette avviket på 0.2 m. På bakgrunn av disse overveielsene er det ikke foretatt justeringer av 2D-modellens parametere mht bl.a. friksjonsforhold for en bedre kalibrering enn modelleringen vha litteraturverdier for friksjonsforholdene.

I HEC-RAS-modellen er det foretatt en mindre justering av friksjonsforholdene for tilpasning til begge punktene. Gjentaksintervaller for 2004-flommen var dessverre såpass lavt at de store flomslettene ikke ble fullstendig ”aktivert” under denne hendelsen, noe som ellers kunne ha gitt betydelig bedre kalibrering av disse forholdene.

Totalt må det konkluderes med at avvikene for de få målte punktene er innen et akseptabelt nivå og at tilpasningen til de få punktene er god. Det er samtidig viktig å understreke at kalibreringsflommens lave gjentaksintervall samt antall av kalibreringspunkter indikerer en relativ usikker kalibrering som med fordel kan forbedres i fremtiden.

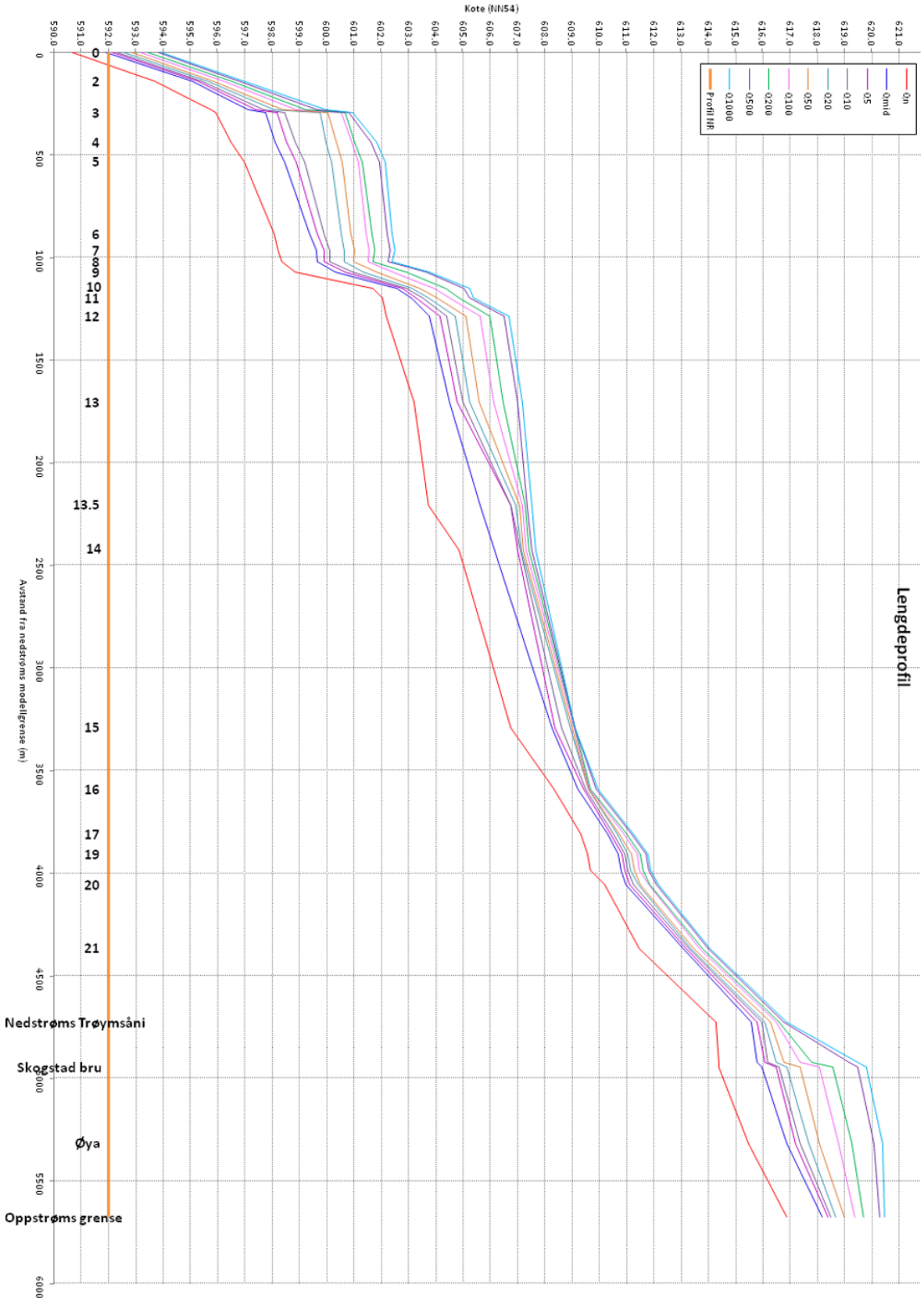
3.6 Følsomhetsanalyse

Det er utført en følsomhetsanalyse ved å øke/senke ruheten i modellen (dvs Mannings-tallet) med 20 %. Analysen viser at vannlinjen for alle gjentaksintervall varierer med opp til 0.2 m i forhold til den kalibrerte modellen. Dette viser at modellen er relativt lite sensitiv for endringer i friksjonsforholdene og er i større grad styrt av geometriske forhold som kapasiteten av bruer mv.

3.7 Resultater

Det er beregnet vannstander for middelflom og normalvannføring i tillegg til vannstander for 5-, 10-, 20-, 50-, 100-, 200-, 500-, og 1000-årsflommer. Resultatene av beregningene fra begge modellene (1D og 2D) er vist på en samlet lengdeprofil i figur 10. Samme data er også presentert i tabell 7. Resultatene fra profil 21 og videre nedstrøms er hentet fra 1D-modellen, mens vannstander oppstrøms P21 er hentet fra 2D-modellen. I noen områder av 2D-modellen varierer vannstanden betydelig på tvers av elva og verdiene i lengdeprofilet er derfor generaliserte gjennomsnittsverdier. For en mer detaljert presentasjon av spesielt 2D-resultatene vises det til flomsonekartene.

Av lengdeprofilet fremgår det at spesielt brua ved profil 3, strekningen oppstrøms brua ved profil 9 samt Skogstad bru (og terrenget rundt) danner hydraulisk begrensende områder som styrer vannstanden videre oppstrøms. Strekningen nedstrøms profil 3 er betydelig brattere enn gjennomsnittsgradienten for den totale modellerte strekningen.



Figur 10. Lengdeprofil for modellerte vannstander, fra både 1D- og 2D-modellen. Data fra 2D-modellen er generaliserte gjennomsnittsverdier på tvers av elveløpet.

Tabell 7. Modellerte vannstander fra 1D- modellen.

Profil nr.	Qn	Qmid	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000	Q2004
21	611.5	613.1	613.2	613.3	613.4	613.5	613.7	613.8	614.0	614.1	613.3
20	610.2	611.0	611.1	611.3	611.4	611.5	611.8	611.9	612.1	612.2	611.3
19	609.7	610.8	611.0	611.1	611.2	611.3	611.5	611.6	611.8	611.9	611.1
18	609.6	610.7	610.9	611.0	611.1	611.2	611.4	611.5	611.7	611.8	611.0
17	609.4	610.3	610.4	610.5	610.7	610.8	610.9	611.0	611.2	611.3	610.5
16	608.4	609.2	609.4	609.5	609.6	609.6	609.7	609.7	609.9	610.0	609.5
15	606.8	608.3	608.4	608.7	608.9	609.0	609.1	609.1	609.1	609.1	608.7
14	604.9	606.2	607.0	607.1	607.2	607.3	607.4	607.4	607.5	607.7	607.1
13.5	603.8	605.7	606.8	606.8	607.0	607.1	607.2	607.3	607.4	607.5	606.8
13	603.2	604.5	604.8	605.0	605.3	605.6	606.1	606.5	607.0	607.2	605.0
12	602.2	603.8	604.2	604.4	604.7	605.1	605.7	606.0	606.5	606.7	604.4
11	602.1	603.1	603.3	603.5	603.8	604.1	604.5	604.9	605.3	605.4	603.5
10	601.7	602.6	602.8	603.0	603.1	603.4	604.0	604.4	605.0	605.3	603.0
9	598.9	600.4	600.7	601.0	601.4	601.9	602.5	602.9	603.7	603.8	601.0
8	598.4	599.7	599.9	600.1	600.7	601.0	601.5	601.7	602.3	602.4	600.1
7	598.3	599.6	599.9	600.1	600.7	601.0	601.6	601.7	602.3	602.5	600.1
6	598.1	599.4	599.7	599.9	600.6	600.9	601.5	601.7	602.3	602.4	599.9
5	597.0	598.5	598.9	599.2	600.2	600.6	601.2	601.3	602.0	602.2	599.2
4	596.5	598.1	598.6	598.9	600.0	600.4	601.0	601.0	601.7	601.8	598.9
3	596.0	597.8	598.2	598.5	599.8	600.1	600.5	600.7	600.8	601.0	598.5
2.5	595.8	597.1	597.4	597.7	598.1	598.4	598.9	599.3	599.7	600.0	597.7
2	593.7	595.1	595.3	595.4	595.6	595.8	596.2	596.5	596.8	597.0	595.4
1	590.7	591.9	592.2	592.3	592.6	592.9	593.2	593.5	593.8	594.0	592.3

3.8 Spesielt om bruer

I dette kapitlet er bruene som krysser Hemsil nærmere beskrevet, herunder hvilke forutsetninger som er lagt til grunn for de enkelte bruene når de utsettes for flomvannføringer. Generelt vil vannet, dersom det kommer i kontakt med en brubjelke, redusere hastigheten pga økt friksjon som igjen resulterer i redusert flomavledningskapasitet. En bør i tillegg ta hensyn til at trær, vegetasjon og gjenstander som elven transporterer ved flom, kan sette seg fast i bruåpningene. NVE anbefaler generelt at bruer har 50 cm lysåpning opp til brubjelken for 200-årsflommen.

Skogstad bru er i 2D-modellen modellert vha trykkstrømning ved høyere vannstander/overtopping og slik at rekkverket blir stående også under en stor flom. Terrenget på sidene av brua er lavere enn rekkverket slik at det uansett ikke vil oppstå betydelig overtopping av selve rekkverket. På grunn av den kraftige elvesvingen vil det ifølge modellresultatene være opp mot en meter høyere vannstand på venstre side (nordsiden) enn på høyre side ved flommer større enn en 50-årsflom. Dette kompenseres delvis ved at også brukonstruksjonen stiger gradvis i nordlig retning. Modellresultatene viser at vannstanden ved en 50-årsflom vil berøre den massive bjelken under

brua men at det først ved en 500-årsflom vil oppstå betydelig overløp over terrenget nord for brua. Selv om terrenget på sørsiden er noe lavere vil det pga ”yttersvingeffekten” forekomme overløp tilnærmelsesvis ved samme flomstørrelse på begge sider. Ved en 500-årsflom vil også store deler av veien videre sør for brua være oversvømt. Oppdemningen som følge av brua varierer fra drøyt 1.0 m i yttersving ved en 200-årsflom til mer enn 1.5 m ved en 1000-årsflom.

Figur 11. Skogstad bru, sett den veien elva renner. Foto: Martin Jespersen, NVE.

Ved campingplassen på Øya (dvs oppstrøms Skogstad bru) er det to mindre bruer over flomløpene som også er lagt inn i 2D-modellen. Disse har liten betydning for flomvannstandene på strekningen.

I forbindelse med adkomst til flomslettene ”Langøyne” og ”Storøyne” er det en liten bru/kulvert over flomløpet som vurderes som uten betydning for vannstanden i Hemsil og er derfor ikke modellert. Tilsvarende vurderes ganghengebrua over Hemsil ved P21 og P15 å være såpass spinkel at den kollapser dersom den utsettes for vanntrykk – og er derfor ikke tatt med i modellen.

Ved profil 13.5, 9 og 3 er det bruer som er lagt inn i 1D-modellen. For lave vannstander er alle tre bruer modellert vha både energi- og momentløsning, der det mest konservative resultatet av disse er valgt som svar. For høyere vannstander / overtopping er det brukt trykkstrømning for bruene i profil 3 og profil 13.5. Hengebrua ved profil 9 vurderes som såpass spinkel at den ikke vil skape noe fast overløp og denne er derfor utelukkende modellert vha energiligning. I den opprinnelige modellen var rekkverkene på alle tre bruer modellert som del av dekket. I ajourføringen er dette endret slik at det for bruene ved profil 9 og 13.5 nå kun er selve dekket som er tatt med. Terrenget på sidene av brua ved profil 13.5 er lavere enn både toppen av brudekket og rekkverket slik at dette uansett ikke vil være i nærheten av å bli overtoppet. Rekkverket på brua i profil 3 vurderes som noe kraftigere samt mer hydraulisk gunstig og er derfor fortsatt modellert som del av selve brua. Også her ligger deler av sideterrenget noe lavere enn brudekke og rekkverk slik at overtopping av rekkverket ikke vil forekomme.

Figur 12. Bru ved P13.5, sett den veien elva renner. Foto: Novatek.

Modellresultatene viser at den kraftige bjelken under brua ved profil 13.5 vil bli berørt allerede ved en 5-årsflom men at brukonstruksjonen pga overløpet på sideterrenget ikke vil generere noen nevneverdig oppstuving.

For hengebrua ved profil 9 er det først høyre ”brutårn” som blir berørt av en vannstand tilsvarende en 5-årsflom. Selve gangbanen blir berørt av vannstand tilsvarende i overkant av en 100-årsflom mens 1000-årsflommen nesten overtopper ”brutårnene”. Det er usikkert om brua vil bli stående under en slik stor flom men er uansett så spinkel en konstruksjon at brua i seg selv ikke vil medfører vesentlig oppdemming. Strekningen rett oppstrøms brua er derimot såpass smal at det her vil oppstå en betydelig oppstuving selv ved små flommer.

Figur 13. Bru ved P9, sett i den veien elva renner. Foto: Novatek.

Bjelken under brua ved profil 3 blir berørt av en vannstand tilsvarende mellom en 10- og 20-årsflom mens selve brudekket nesten oversvømmes av en 50-årsflom. Brua gir en maksimal oppstuving på i overkant av 1.5 m for flomstørrelser fra 20-årsflommer og oppover.

Figur 14. Bru ved P3, sett den veien elva renner. Foto: Novatek.

3.9 Vannhastigheter

2D-modellen beregner vannhastigheter for alle modellelementer i både elveløp og på flomslettene mens 1D-modellen kun beregner en gjennomsnittshastighet for elveløpet samt evt venstre/høyre flomslette.

På den 2D-modellerte strekningen forekommer høyest vannhastighet i elva på strekningen mellom Skogstad bru og utløpet av Trøymsåni. For en 1000-årsflom beregnes vannhastigheten her til rundt 7.5 m/s, for en 200-årsflom til drøyt 6 m/s mens den for en 20-årsflom beregnes til ca. 4.5 m/s. I elveløpet oppstrøms Skogstad bru beregnes noe høyere vannhastighet for en 20-årsflom (ca 2.5 m/s) enn for en 200-årsflom og 1000-årsflom (begge ca 2.0 m/s). Dette skyldes at området ved Skogstad bru virker mer oppdemmende (hydraulisk bestemmende) på store flommer. På elveslettene (Øya, Langøyne, Storøyne) beregnes vannhastigheter opp mot 2 m/s for en 200-årsflom og opp mot 1.5 m/s for en 20-årsflom. For en 1000-årsflom beregnes en vannhastighet på ca 1 m/s på flomslettene oppstrøms Skogstad bru men nesten 3 m/s på flomslettene nedstrøms brua. For en nærmere presentasjon av hastighetsfordelingen i 2D-modellen vises til eget hastighetskart.

I 1D-modellen er det flere strekninger der det er beregnet vannhastighet i elveløpet på 4 – 6 m/s for 200-/ 1000-årsflom og 3 – 4 m/s for en 20-årsflom. En vesentlig årsak til den relativ begrensede forskjellen er at en større del av flomslettene aktiveres under meget store flommer slik at en større andel av vannføringen kan strømme her. Under en 20-årsflom er kun en begrenset del av flomslettene satt under vann og da med vannhastighet under 0.5 m/s. Under en 200-årsflom og en 1000-årsflom er flomslettene fullstendig oversvømt men pga vegetasjon og lav terrenghelning vil hastigheten ikke være særlig større enn 1 m/s som gjennomsnitt over flomsletten. Da 1D-modellen ikke beregner romlig fordelte hastigheter er det ikke produsert eget hastighetskart for denne strekningen.

3.10 Sammenligning av resultater fra 2006-beregningen

På strekningen oppstrøms Skogstad bru gir den nye beregningen med 2D-modellen betydelig lavere verdier for flommer med gjentaksintervall større enn ca. 50 år. Dette skyldes at 2D-modellen har bedre muligheter for å modellere de komplekse strømningsforholdene rundt Skogstad bru, herunder at den modellerer overløpet i terrenget på sidene av brua som ikke var inkludert i den opprinnelige modellen. På samme strekning men for mindre flommer gir 2D-modellen noe høyere vannstander. Dette er i henhold til kalibreringspunktet fra 2004-flommen og skyldes primært at den opprinnelige modellen brukte veldig lave ruhetsverdier på denne strekningen, spesielt for flomslettene på Øya.

Nedstrøms Hemsedal sentrum gir den ajourførte 1D-modellen generelt lavere vannstander for stort sett alle gjentaksintervall. Dette skyldes primært at flomslettene på strekningen har blitt inkludert i modellen og delvis ”åpnet” for vanntransport. Den lavere vannstanden er i henhold til kalibreringspunktet fra 2004 selv om denne flommen ikke var så stor at flomslettene ble aktivert fullstendig. Hengebrua ved profil 9 er i den ajourførte modellen ikke modellert til å skape et fast overløp over brudekket da det regnes som usannsynlig at dette vil bli stående/hengende ved en større flom. Hengebrua gir derfor betydelig mindre oppstuving oppstrøms i den ajourførte modellen. Vannstandene oppstrøms brua i profil 3 er noe høyere i den ajourførte modellen for flommer med gjentaksintervallene Q_{20}-Q_{100}. Dette skyldes bruk av en mer konservativ beregningsmetode for denne brua (valg av trykkstrømning som medfører tidligere og mer markant overtopping) og som vurderes som mer korrekt for denne brua. For flommer større enn Q_{100} beregner begge modellene overtopping av brua og resultatene er derfor mer identiske for disse flommene.

4 Flomsonekart

Flomsonekartene presenterer de høyeste vannstandene for et gitt gjentaksintervall, som skyldes flom i elva.

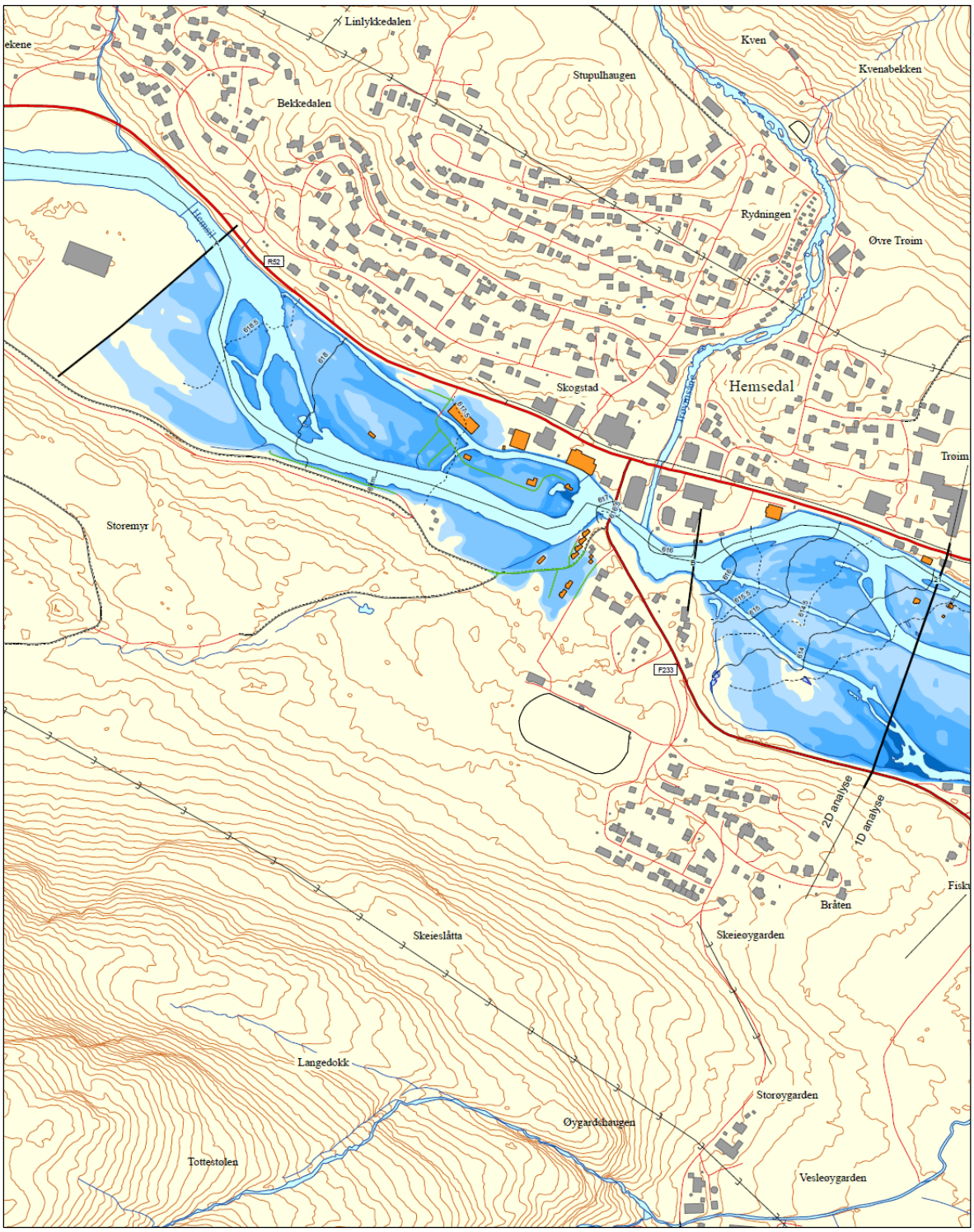
4.1 Resultater fra flomsoneanalysen

Hemsedal kommune ga tilbakemelding på det opprinnelige flomsonekartet at spesielt vannstanden på Jordheimsmyrane var for høy sammenlignet med de lokale erfaringene fra bla. 2004-flommen. Den ajourførte beregningen viser noe lavere vannstand her og anses derfor for å være mer i tråd med de lokale observasjonene. For øvrige kartlagte områder er det kun registrert begrenset lokal kunnskap mht flomproblematikk.

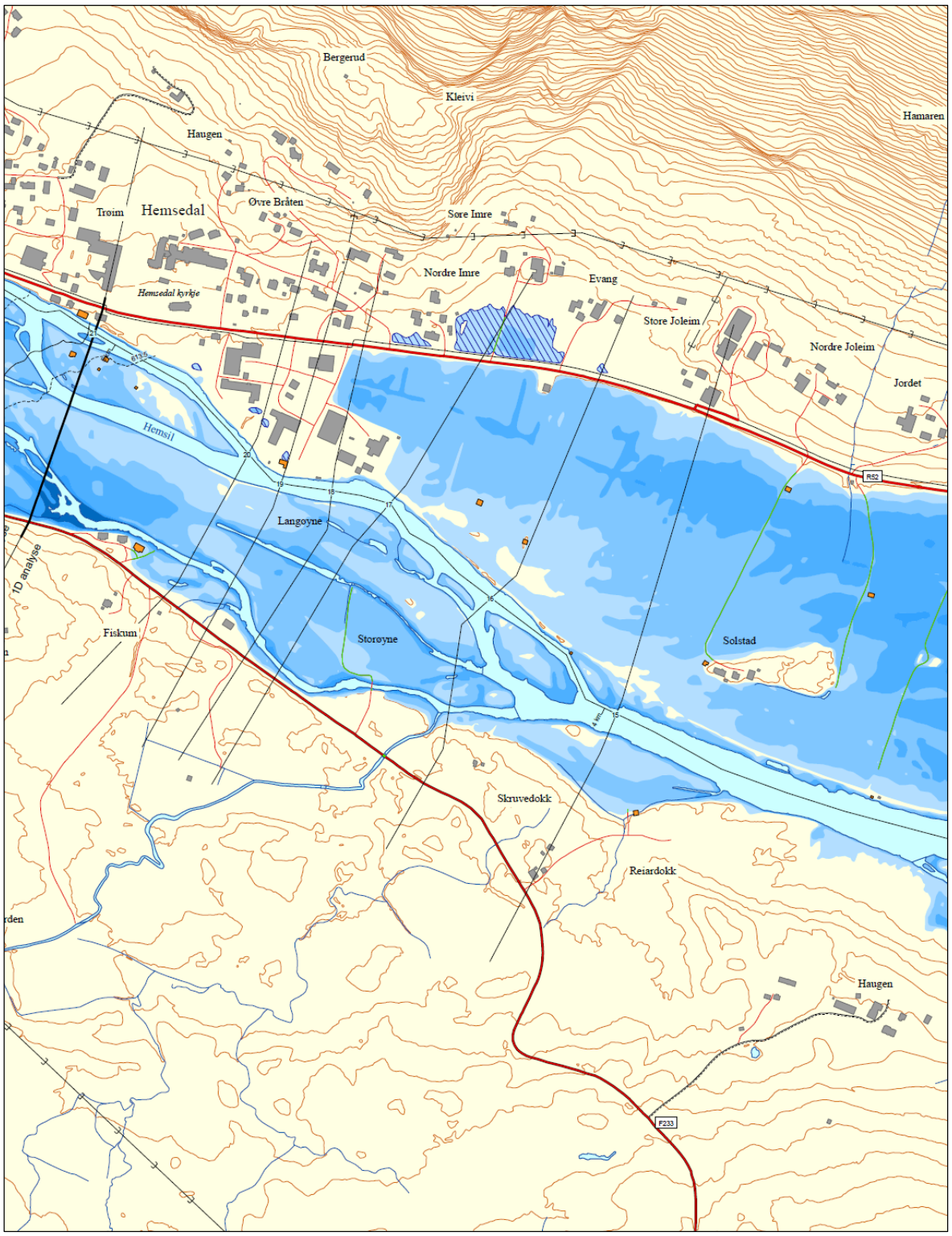
Generelt viser flomsoneanalysene at det i store trekk er de samme arealene (primært flomslettene) som oversvømmes ved alle flommer med gjentaksintervall mellom 20 år og 1000 år. Med større gjentaksintervall øker vanndybden på flomslettene og arealer grensende mot flomslettene blir gradvis satt under vann. I nedenstående generelle oversikt over analysert flomproblematikk er det kun tilleggskonsekvensene som er beskrevet for en større flom.

4.1.1 20-årsflom

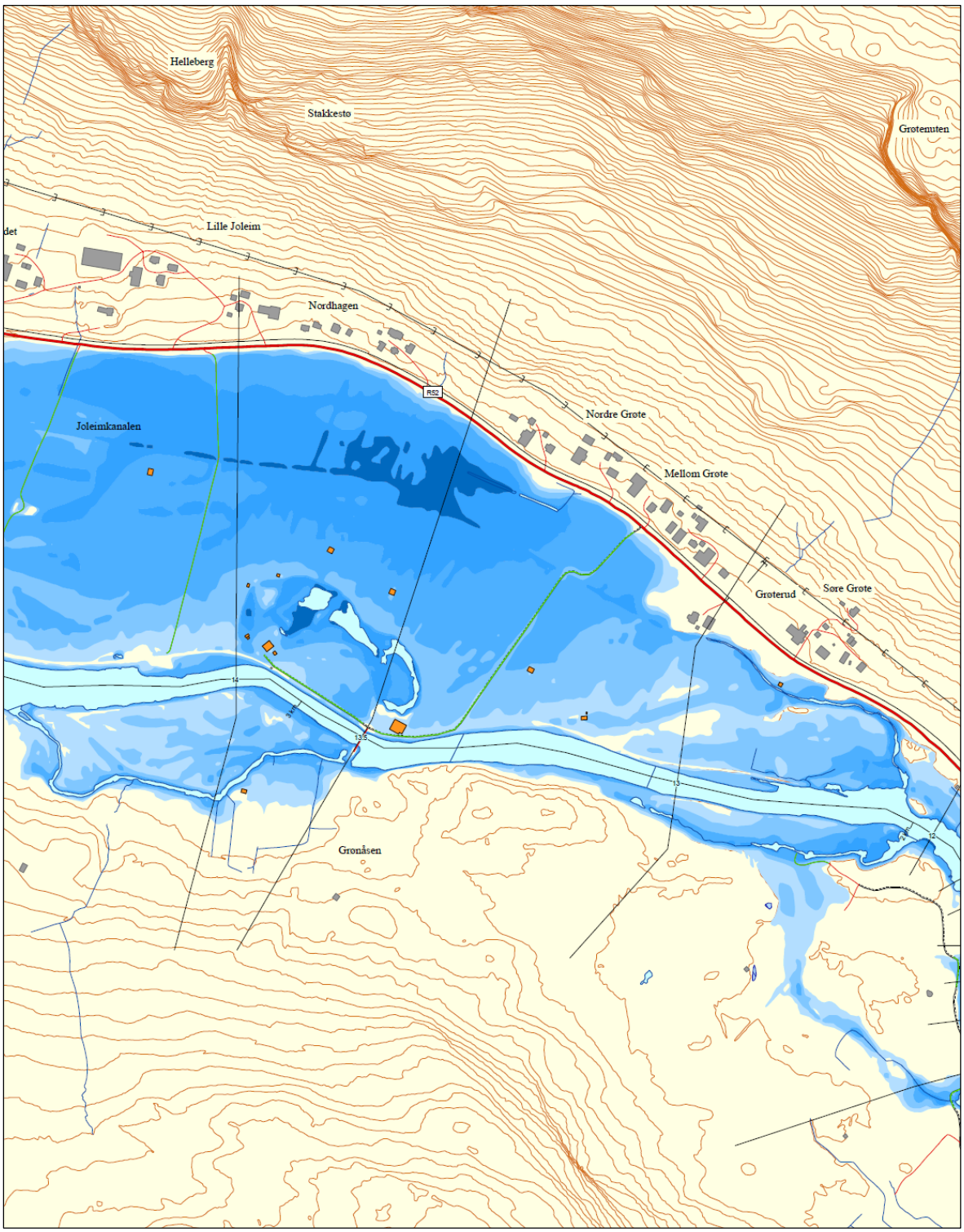
”Øya” oppstrøms Skogstad bru blir satt under vann og flere bygninger i sentrum mellom Hemsil og Rv52 ligger flomutsatt. Nedstrøms Skogstad bru aktiveres flomløpene og flomslettene på ”Langøyne” og ”Storøyne” oversvømmes. Flomverket mellom Jordheimsmyrane og Hemsil overtoppes delvis som sammen med lokal avrenning bidrar til at også Jordheimsmyrane oversvømmes. Oppstrøms profil 12 og igjen oppstrøms profil 5 vil flomvann kunne ta seg inn på innsiden av Hemsil (vestsiden av Hemsil) og renne i separat løp mot campingplassen ved profil 3 (Moen camping) og Fv233 som også vil være flomutsatt ved campingplassen.



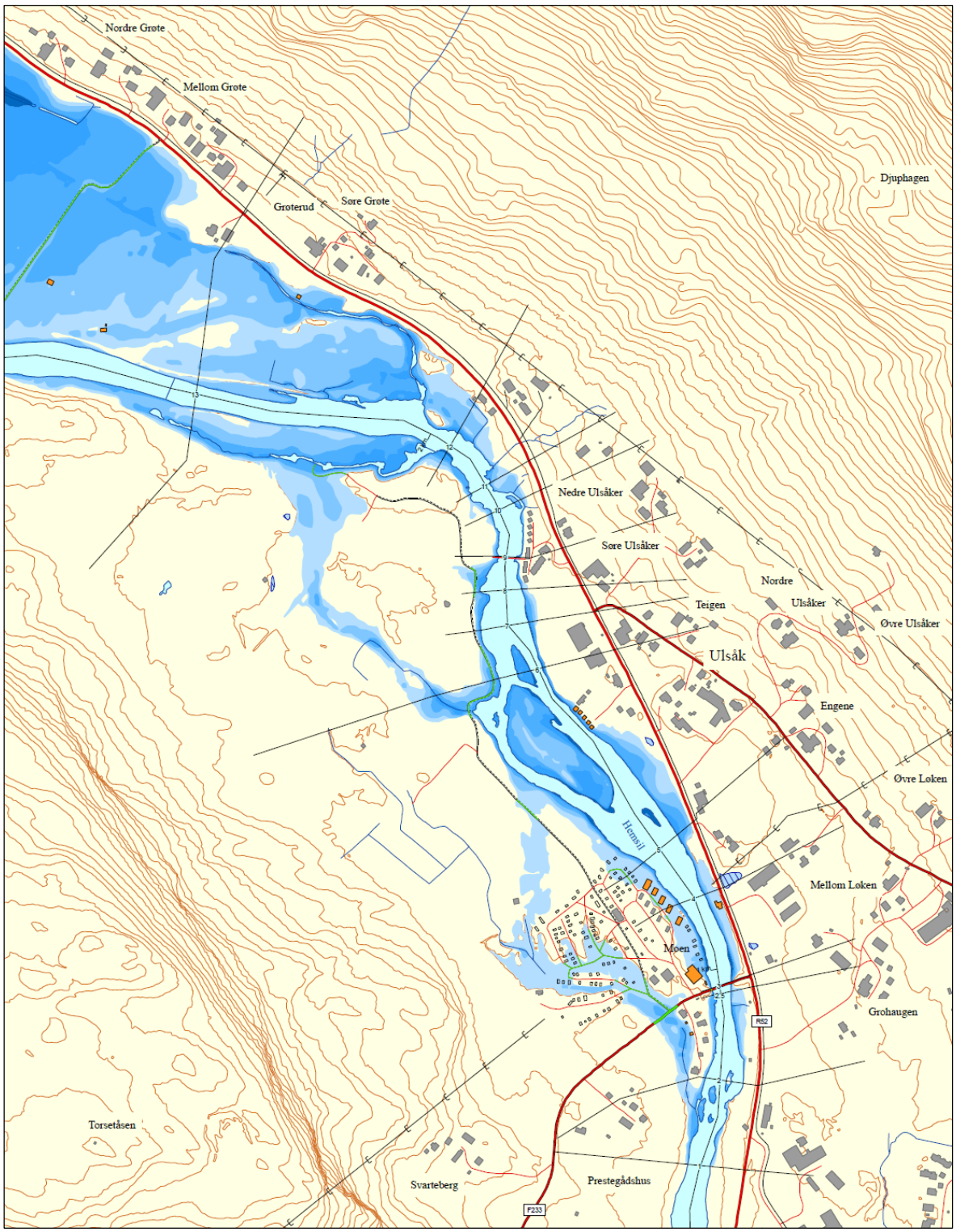
Figur 15. Flomsonekart, Kartblad Trøym med 20-års gjentaksintervall.



Figur 16. Flomsonekart, Kartblad Jordheimsmyrene vest med 20-års gjentaksintervall.



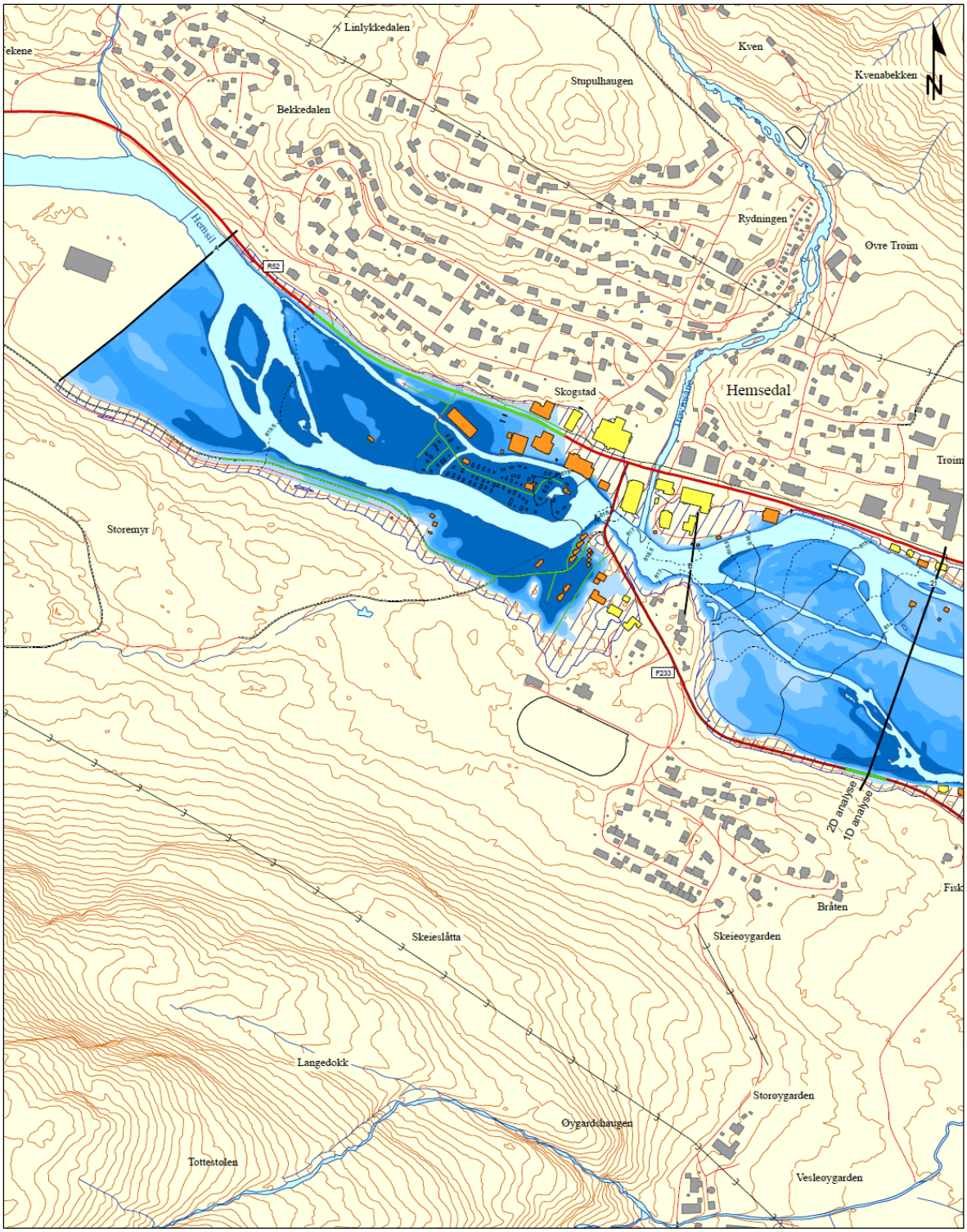
Figur 17. Flomsonekart, Kartblad Jordheimsmyrene øst med 20-års gjentaksintervall.



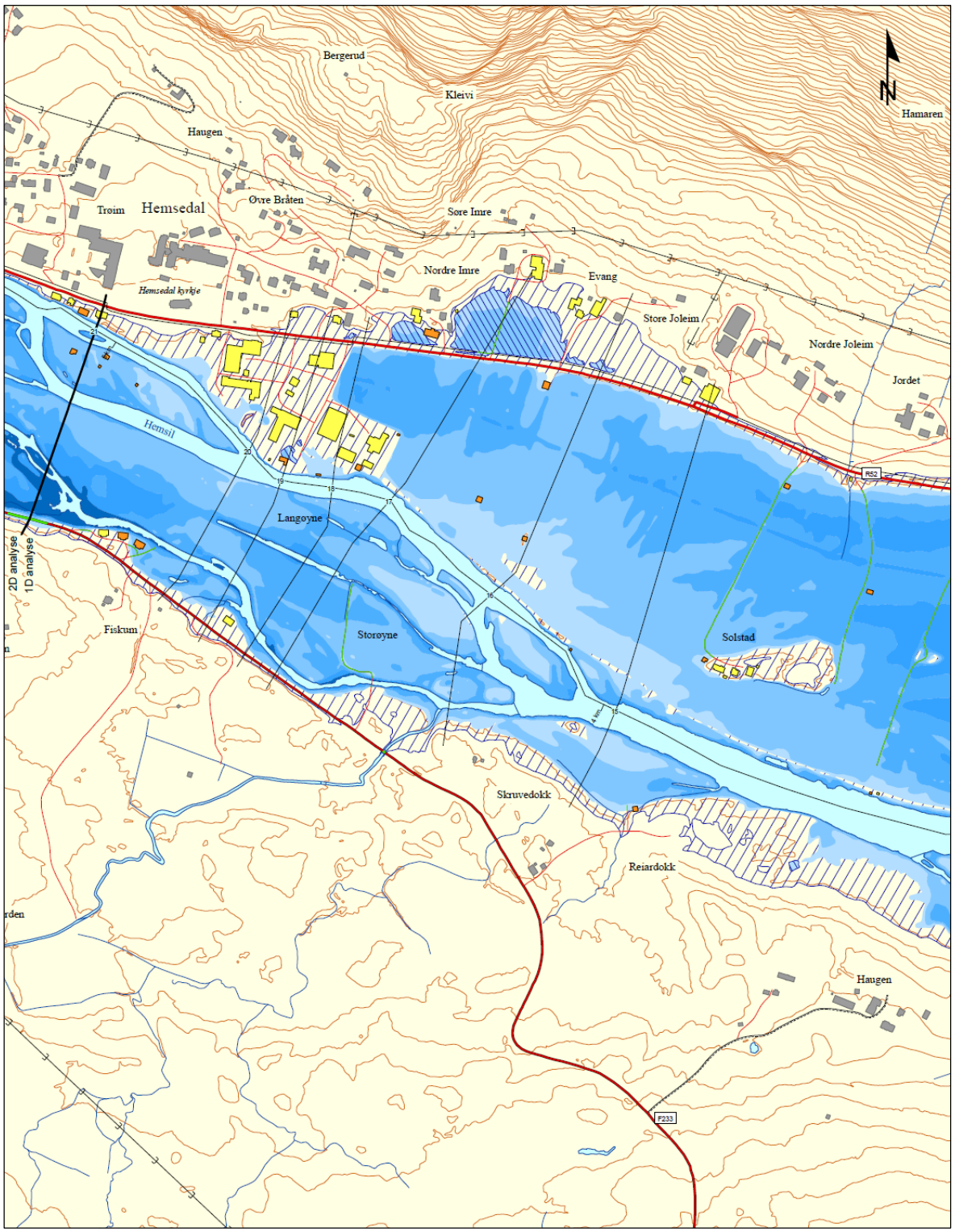
Figur 18. Flomsonekart, Kartblad Ulsåk med 20-års gjentaksintervall.

4.1.2 200-årsflom

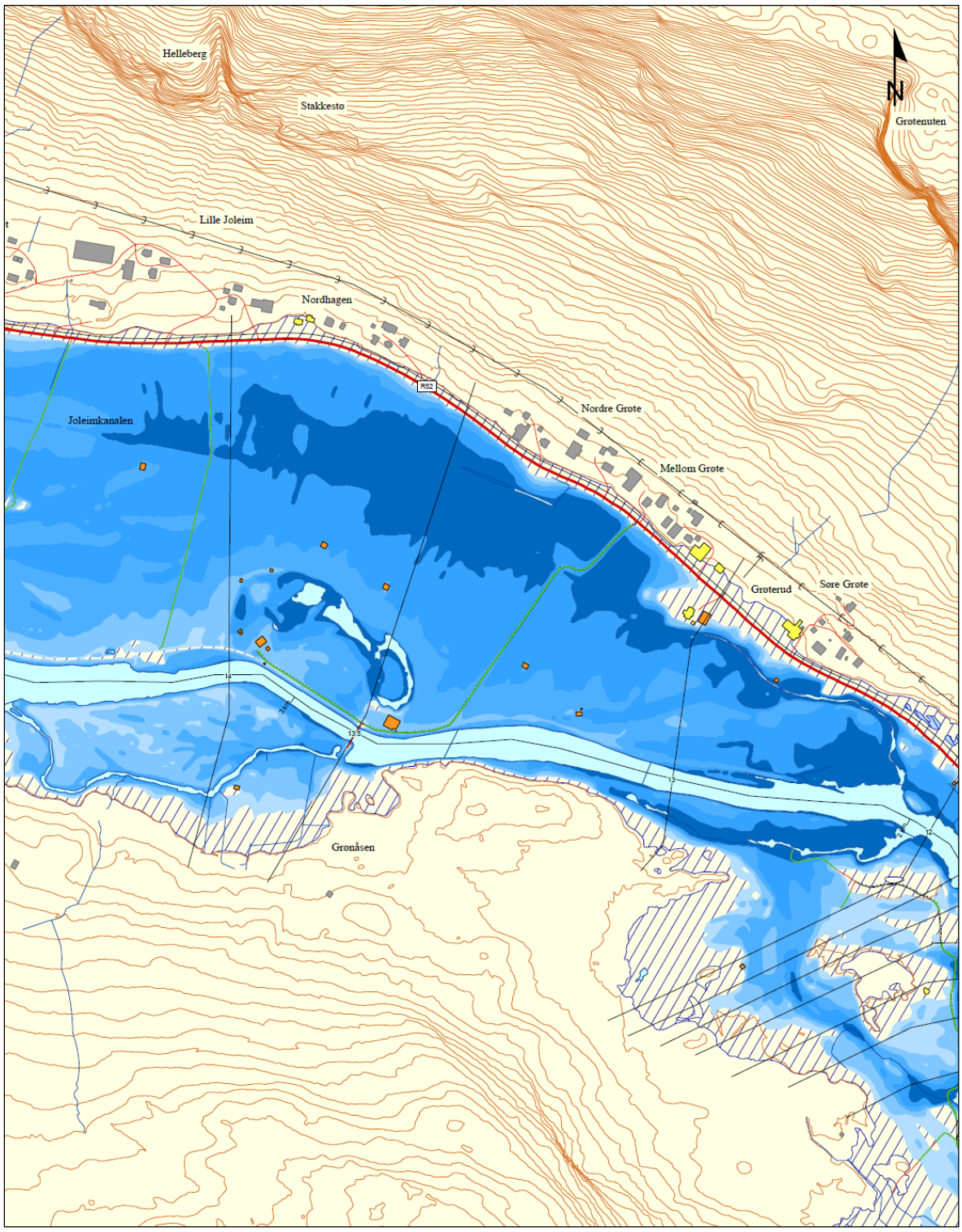
Rv 52 oversvømmes på en strekning oppstrøms Skogstad bru og flomvannet strømmer langs veien og bygningene ut i Hemsil igjen. Deler av campingplassen på sørsiden av Skogstad bru (Haug camping) oversvømmes. Fv 233 oversvømmes på sørsiden ved profil 21 og Rv52 oversvømmes på flere strekninger ved Ulsåk. Mange bygninger og hytter langs Rv 52 ved Ulsåk er flomutsatte. På vestsiden av Hemsil nedstrøms profil 12 er det en sammenhengende vannflate ut mot Hemsil og hele campingplassen ved profil 3 er satt under vann.



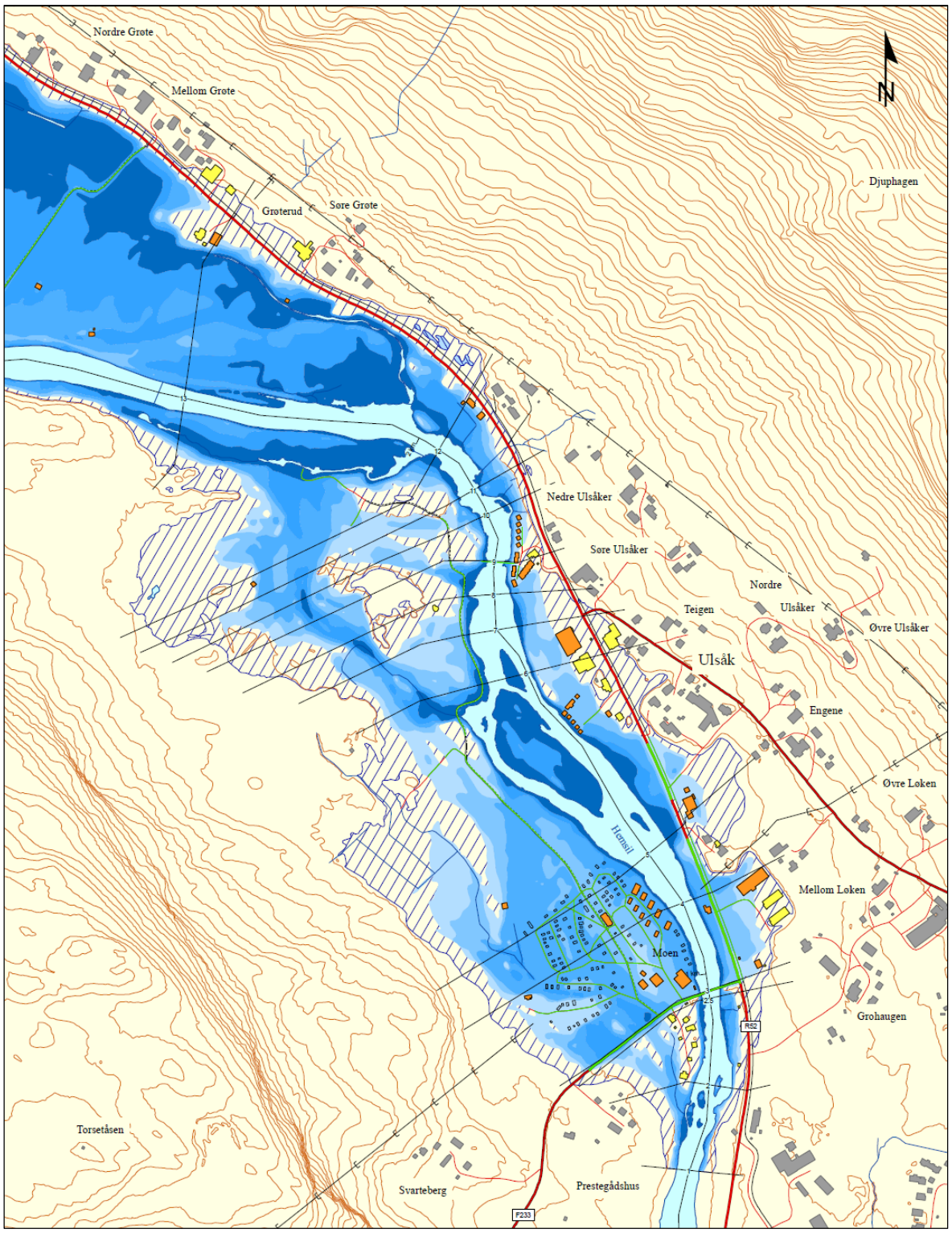
Figur 19. Flomsonekart, Kartblad Trøym med 200-års gjentaksintervall.



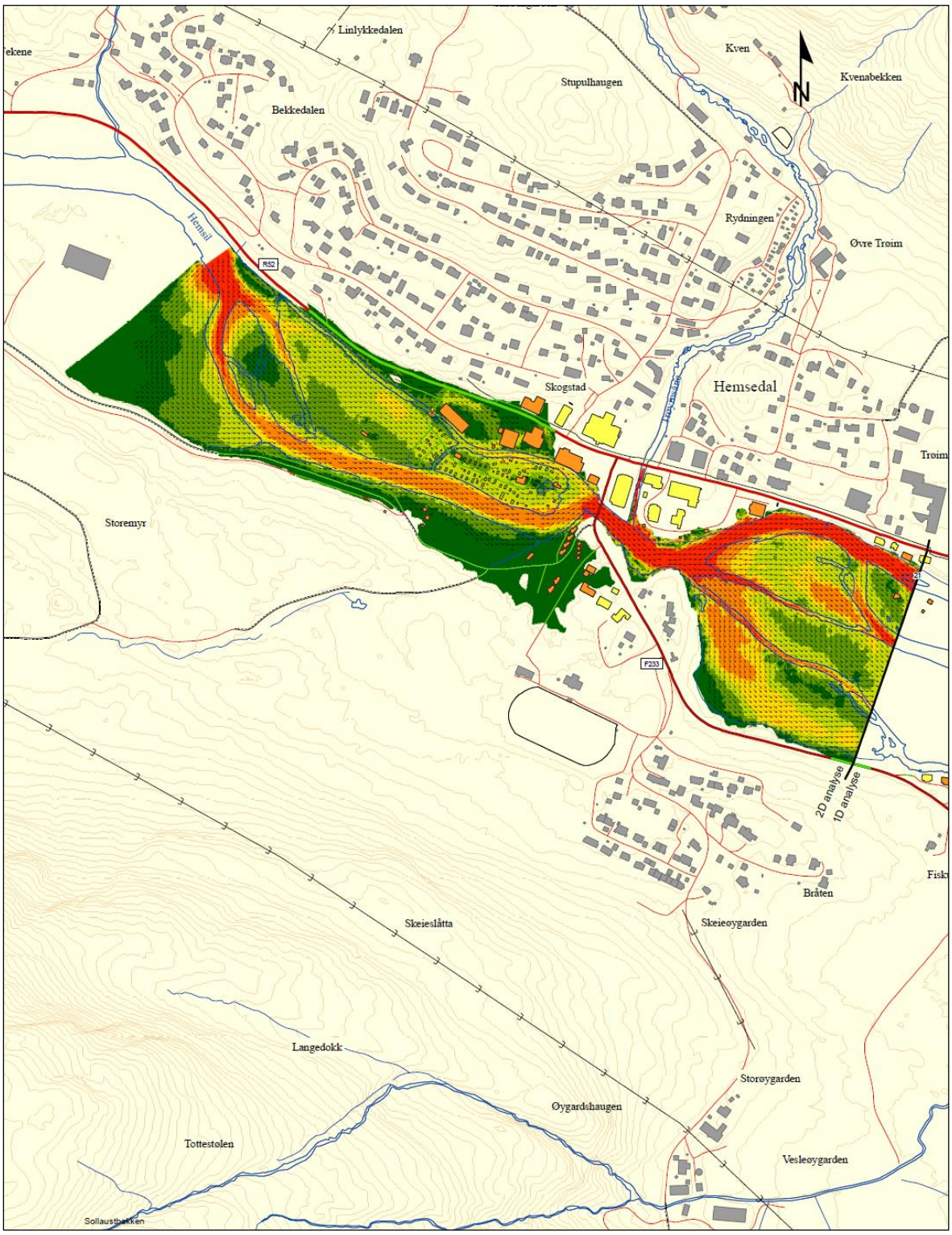
Figur 20. Flomsonekart, Kartblad Jordheimsmyrene vest med 200-års gjentaksintervall.



Figur 21. Flomsonekart, Kartblad Jordheimsmyrene øst med 200-års gjentaksintervall.



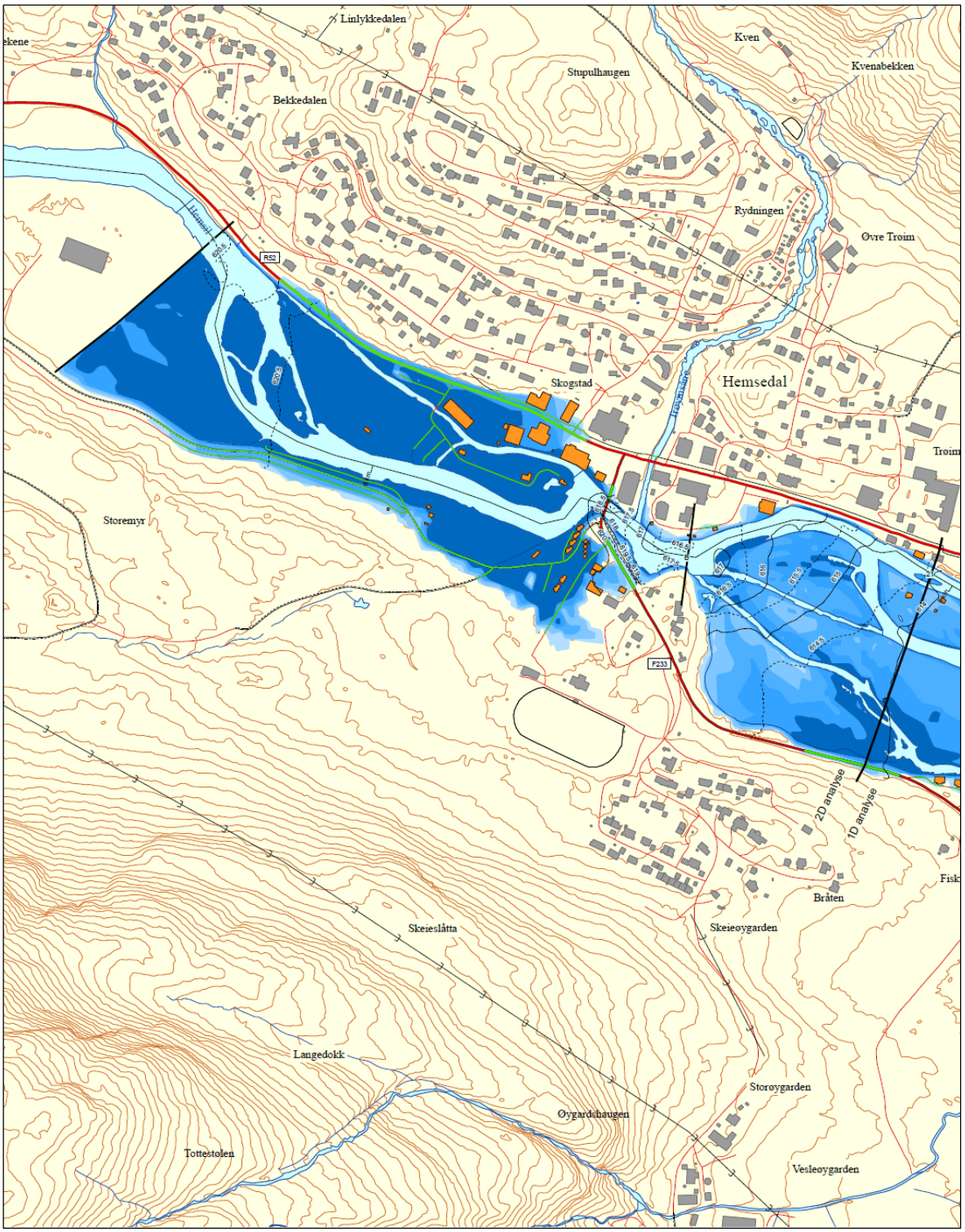
Figur 22. Flomsonekart, Kartblad Ulsåk med 200-års gjentaksintervall.



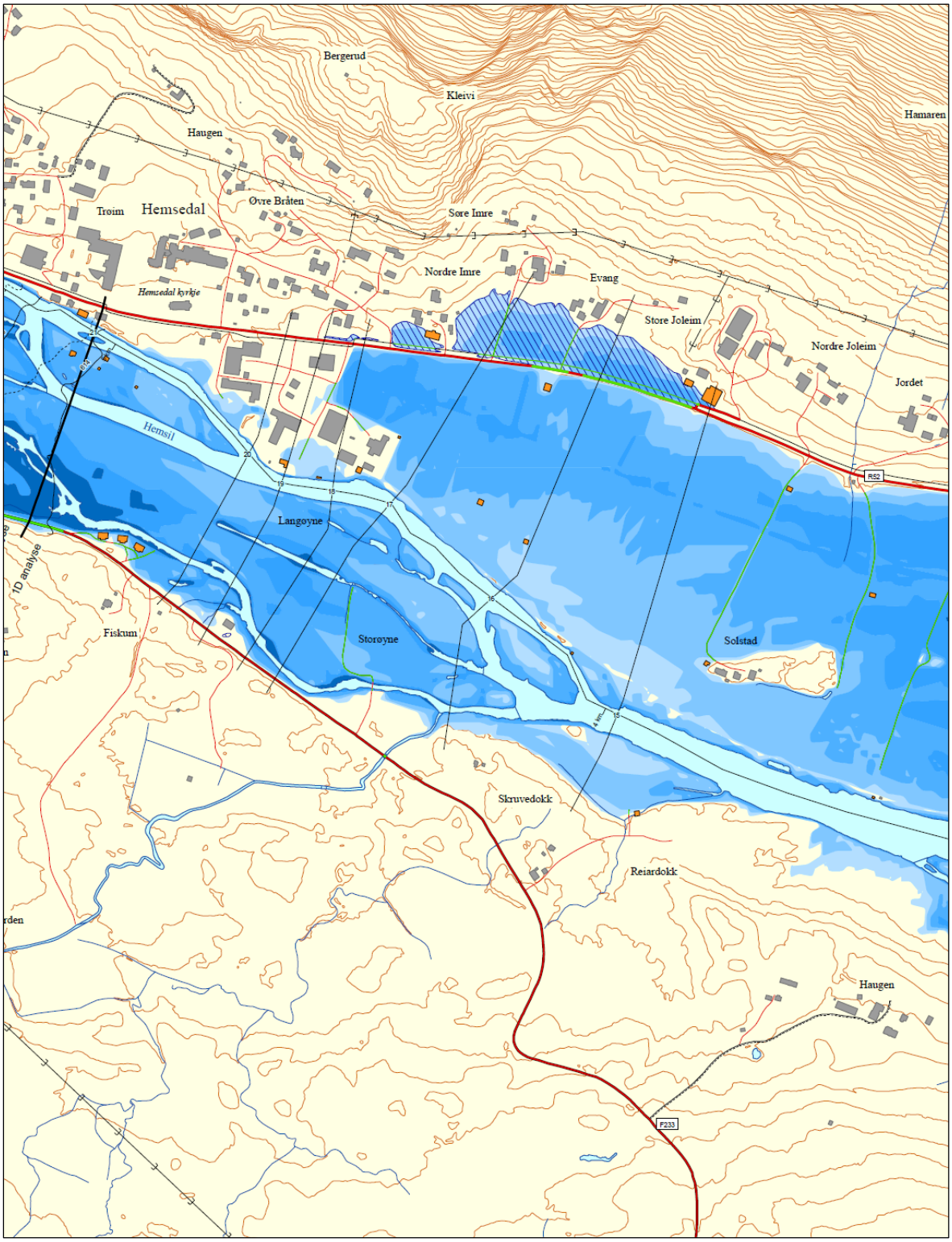
Figur 23. Vannhastighetskart, Kartblad Trøym med 200-års gjentaksintervall.

4.1.3 1000-årsflom

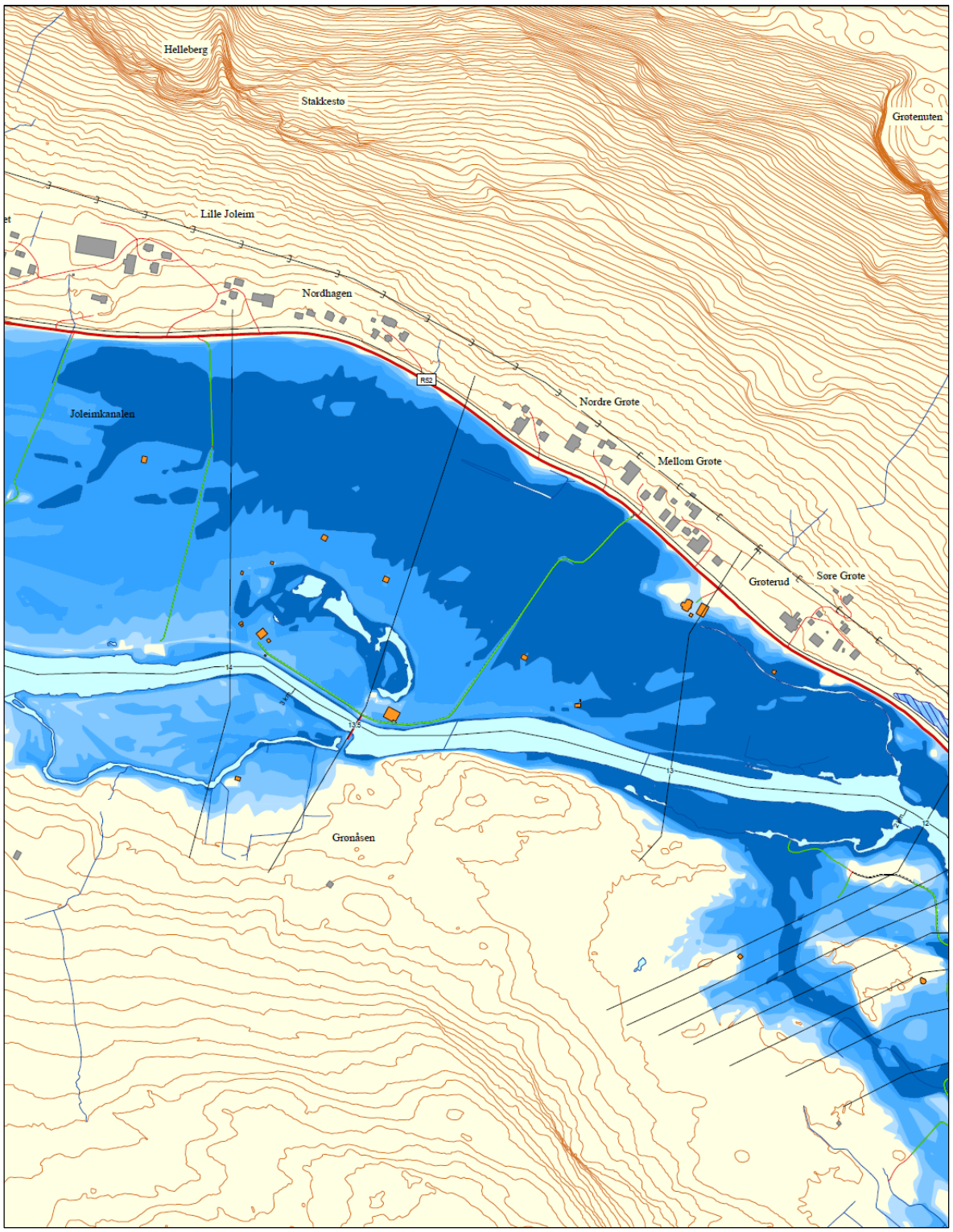
Rv 52 oversvømmes på en lengre strekning oppstrøms Skogstad bru og bygningene nord for Rv 52 er flomutsatt på samme strekning. Det er overløp over Fv 233 på begge sider av Skogstad bru og hele campingplassen på sørsiden oversvømmes. Nedstrøms kommunesenteret oversvømmes RV 52 på en strekning. Videre nedover vassdraget er situasjonen ganske lik situasjonen ved en 200-årsflom, men med noe større vanndybder.



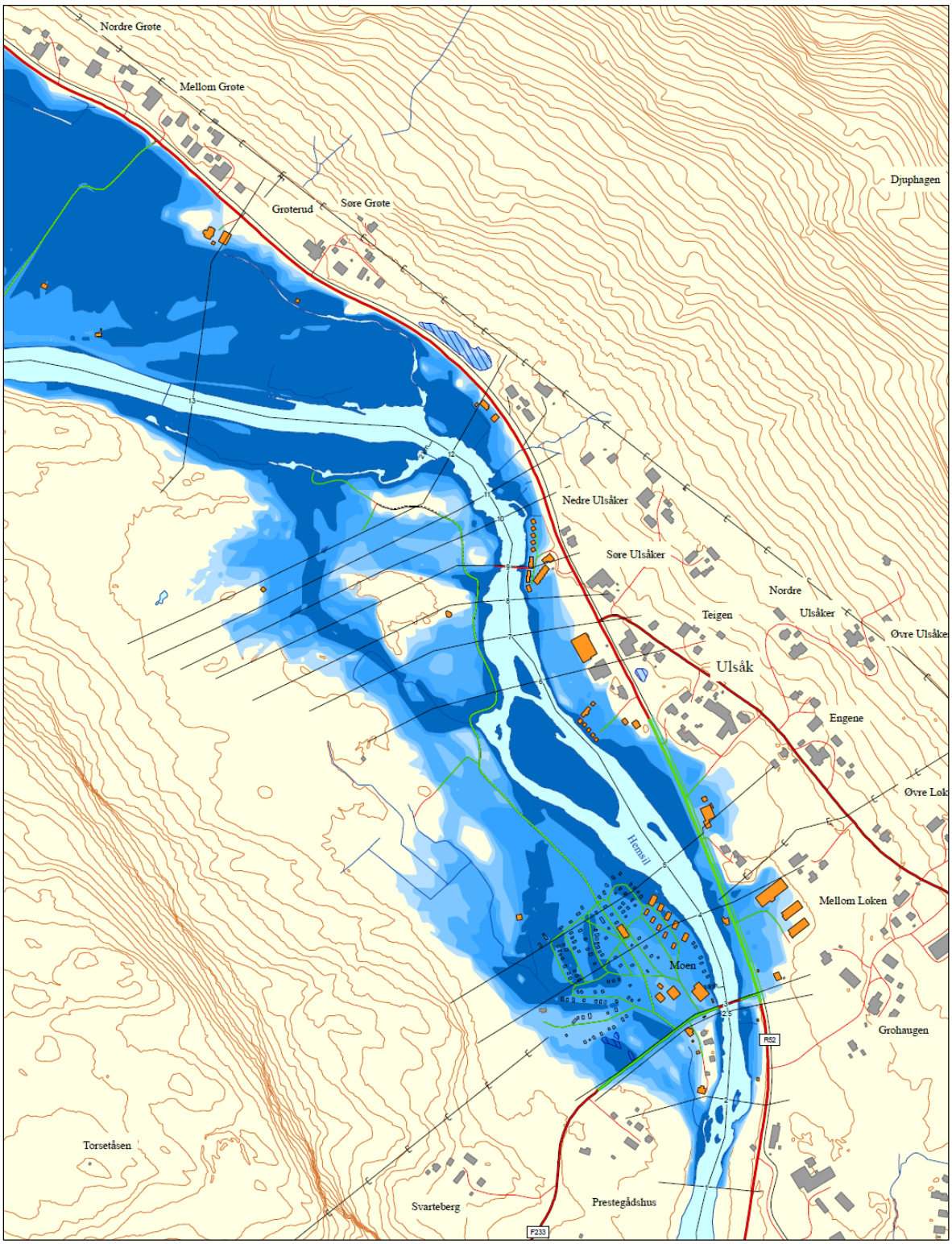
Figur 24. Flomsonekart, Kartblad Trøym med 1000-års gjentaksintervall.



Figur 25. Flomsonekart, Kartblad Jordheimsmyrene vest med 1000-års gjentaksintervall.



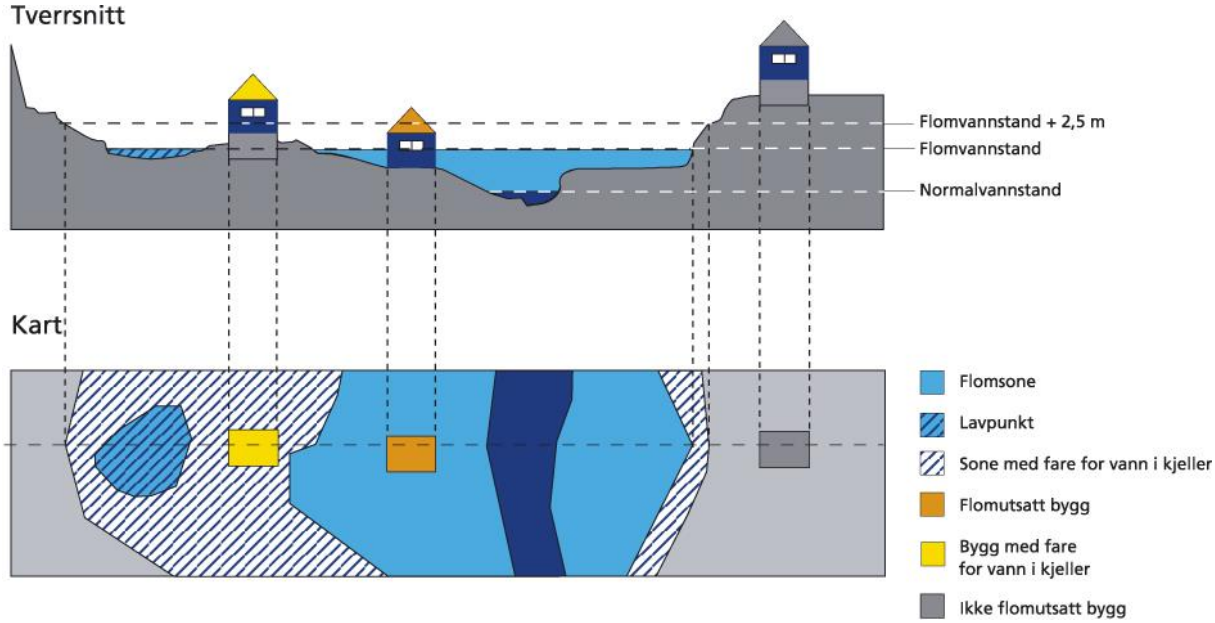
Figur 26. Flomsonekart, Kartblad Jordheimsmyrene øst med 1000-års gjentaksintervall.



Figur 27. Flomsonekart, Kartblad Ulsåk med 1000-års gjentaksintervall.

4.2 Lavpunkter

En del steder vil det finnes arealer som ligger lavere enn den beregnede flomvannstanden, men uten direkte forbindelse til elva. Dette kan være områder som ligger bak flomverk, men også lavpunkter som har forbindelse via en kulvert eller via grunnvannet, se figur 28. Disse områdene er markert med en egen skravur fordi de vil ha en annen sannsynlighet for oversvømmelse og må behandles særskilt. Spesielt utsatt vil disse områdene være ved intens lokalt regn, ved stor flom i sidebekker eller ved gjentetting av kulverter.



Figur 28. Prinsippskisse som viser definisjonen av lavpunkt og områder med fare for vann i kjeller.

4.3 Områder med fare for vann i kjeller

Også utenfor direkte flomutsatte områder og lavpunkter vil det være nødvendig å ta hensyn til flomfaren, da flom ofte vil føre til forhøyet grunnvannstand innover elvesletter.

Dette er analysert med utgangspunktet at areal som framkommer opp til 2.5 m over flomflaten for 200-årsflom, identifiseres som områder med fare for vann i kjeller. Innenfor denne sonen vil det være fare for at bygg som har kjeller får oversvømmelse i denne, som følge av flommen. Disse områdene er markert med skravur på hvit bunn på kartet. Uavhengig av flommen, kan forhøyet grunnvannstand føre til vann i kjellere. For å analysere dette kreves inngående analyser blant annet av grunnforhold. Det ligger utenfor flomsonekartprosjektets målsetting å kartlegge slike forhold.

4.4 Kartpresentasjon

4.4.1 Hvordan leses kartet?

Flomsonekartene for delprosjekt Hemsedal er delt opp i fire kartblad og på alle vises utbredelsen av flomsonen med en fargeskala for vanndybdene for den aktuelle flomstørrelsen. For kartblad ”Trøym” (strekningen modellert i 2D-modellen) er det i tillegg utarbeidet et eget hastighetskart som viser vannhastighet og strømningsretning i både elveløp og på flomslettene. Kartblad ”Trøym” viser kotelinjer for beregnet vannstand for det aktuelle gjentaksintervallet. For øvrige tre kartblad (dvs strekningen modellert i 1D-modellen) er det inntegnet tverrprofiler der vannstander er beregnet i den hydrauliske modellen og som er utgangspunkt for den GIS-genererte flomsonen.

Vannstander på disse tre kartbladene avleses av samletabellen der modellerte vannstander ved alle tverrprofiler og flomstørrelser er angitt.

Vannstanden mellom både kotelinjer (kartblad Trøym) og tverrprofiler (øvrige kartblad) antas å variere lineært og kan derfor finnes vha interpolasjon.

Flomvannstander kan leses direkte ut fra kartet, men ved praktisk bruk anbefaler NVE at det for dette delprosjektet legges til en sikkerhetsmargin på 30 cm på alle beregnede vannstander.

På kartet presenteres bygninger med ulike farger ut fra flomfare; Flomutsatte bygg (oransje farge); disse ligger helt eller delvis innenfor flomsonen. Bygg med fare for oversvømmelse i kjeller (gul farge); disse ligger helt eller delvis i den sonen som viser fare for vann i kjeller. Ikke flomutsatte bygninger vises med grå farge.

Oversvømte veier samt veier i lavpunktområder er markert med mørk grønn farge, mens veier som ligger utenfor flomsonen er markert med rødt.

Flomutsatte områder er markert med en blå fargeskala der den mørkeste blåfargen tilsvarer den største flomdybden. Dette er nyttig informasjon i forhold til arealplanprosesser, fordi det indikerer hvor store oppfyllinger som er nødvendig dersom flomutsatte områder skal kunne utnyttes til byggeformål. Vanndyp er også en viktig parameter å vurdere med tanke på hvor farlig det vil være å oppholde seg i disse områdene under en flomsituasjon.

Lavpunkter har blå skravur oppå blå bakgrunn.

4.4.2 Kartprodukter

Det er utarbeidet 4 kartblader på strekningen, der kartet lengst oppstrøms (Kartblad Trøym) dekker strekningen som er analysert vha 2D-modellen, mens strekningen analysert i 1D-modellen dekkes av de tre neste kartbladene (hhv. Jordheimsmyrene vest, Jordheimsmyrene øst, Ulsåk)

Sluttprodukter som er utarbeidet omfatter:

Digitale flomsoner for 20-, 200- og 1000-årsflommen samt sone som viser fare for vann i kjelleren for 200-årsflommen. Dataene er kodet i henhold til SOSI-standarden i UTM sone 32 og 33, på formatene SOSI og shape.

Vannstandskotelinjer for kartblad Trøym og tverrprofiler med flomvannstander for øvrige kartblad for alle beregnede flommer i UTM sonene 32 og 33, på formatene SOSI og shape.

Rasterbaserte data for flomdybder på formatet ASCII.

For kartblad Trøym også rasterbaserte data for vannhastighet på formatet ASCII.

Flomsonekart med flomdybder og kotelinjer/tverrprofiler for 200-årsflommen på pdf-format.

Rapport på pdf-format som, sammen med pdf-kartene for 200-årsflommen, vil gjøres tilgjengelig på NVEs nettsider. Presentasjon av 20-årsflom og 1000-årsflom vil kunne finnes i en kartbasert innsynsløsning på NVEs nettsider. Kartprodukter på andre formater vil kunne overleveres ved kontakt.

4.5 Klimaendringer

Dagens analyser av fremtidens flomforhold for Hemsil har ikke funnet at flomstørrelsene frem mot år 2100 vil endres og det er derfor heller ikke utarbeidet egne kart som viser de fremtidige flomforholdene.

5 Usikkerhet

5.1 Flomberegningen

Datagrunnlaget for flomberegning i Hemsil kan karakteriseres som godt. Det foreligger lange dataserier både i vassdraget og i nærliggende vassdrag. Det er imidlertid en del usikkerhet knyttet til bl.a. frekvensanalyser av flomvannføringene, forholdet mellom momentanverdier og døgnmidler, samt ikke minst reguleringenes flomdempende virkning.

Langt de fleste observasjoner som foreligger er av vannstander. Disse omregnes ut fra en vannføringskurve til vannføringsverdier. Vannføringskurven er basert på et antall samtidige observasjoner av vannstand og fysiske målinger av vannføring i elva. Disse direkte målingene er ikke alltid utført på ekstreme flommer. De største vannføringene er altså normalt beregnet ut fra en ekstrapolert sammenheng mellom vannstander og vannføringer. Dette medfører at også ”observerte” flomvannføringer kan inneholde en grad av usikkerhet og at usikkerheten i vannføringskurven normalt øker med økende vannføring.

Å klassifisere usikkerhet i hydrologiske data er vanskelig da det er mange faktorer som spiller inn – særlig for å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. Beregningen for Hemsil klassifiseres i klasse 2, på en skala fra 1 til 3, der 1 tilsvarer beste klasse.

5.2 Hydrauliske beregninger

Det er generelt ulike usikkerheter knyttet til de to delstrekninger som er modellert i en hhv 2D- og 1D hydraulisk modell.

For en 2D-modell er de største usikkerhetene normalt forbundet med kvaliteten på terrengmodellen, herunder beregningsnettet. En terrengmodell vil alltid være en forenkling (modell) av virkeligheten slik at en nøyaktig modell med høy detaljeringsgrad/oppløsning normalt også vil gjøre beregningene mer nøyaktige. Høy detaljeringsgrad krever stor datatetthet som er ressurskrevende ved innsamling og prosessering slik at dette normalt blir en avveining mellom nøyaktighet og tilgjengelige ressurser. Laserdataene for Hemsedal er skannet med en nominell punkttetthet på 1.0 punkt /m^2. En del av disse punktene treffer vegetasjon, bygninger mv slik at punkttettheten på bakken blir noe lavere, spesielt i områdene med tett vegetasjon. I flatt/jevnt terreng vil dette typisk påvirke resultatet i mindre grad enn i områder med store, lokale topografiske kontraster. Terrengdataene som er anvendt i prosjektet er det best tilgjengelig datamaterialet per dags dato. I tillegg er en del spesielt viktige områder som f.eks bruer målt inn i felt for å sikre at disse representeres mest mulig korrekt i terrengmodellen.

Beregningsnettet må også tilpasses dette forholdet slik at det i områder med kompleks geometri må ha en høyere oppløsning (dvs mindre elementstørrelse) og dermed mulighet for bedre å modellere de lokale kontrastene nøyaktig.

En 1D-modell er en betydelig mer forenklet representasjon av virkeligheten enn 2D-modellen. Dette betyr at mange av de hydrauliske 2D-effektene som beregnes direkte i 2D-modellen kun vil bli beskrevet av empiriske parametere eller ofte slett ikke i en 1D-modell. Terrenget som skal modelleres blir kun representert vha tverrprofilene og derfor blir plassering, antall og kvaliteten av disse svært betydende for nøyaktigheten av 1D-modellen.

Kvaliteten av en vannlinjeberegning er avhengig av en godt kalibrert vannlinjeberegningsmodell, med tilhørende godt kalibreringsgrunnlag. Et optimalt kalibreringsgrunnlag oppnås vha en

komplett innmålt vannlinje av en flom med stort gjentaksintervall samt en eller flere fysiske vannføringsmålinger i vassdraget under selve flommen. Data fra historiske flommer har ofte redusert verdi pga. naturlig endringer i elveløpet samt diverse inngrep som for eksempel bruer, flomverk mv. De to modellene er kalibrert etter flommen i 2004. Kalibreringen gir gode resultater (betydelig bedre enn den opprinnelige modellen som beregnet en vannlinje som generelt lå for høyt) men omfatter kun 2 punkter i 2D-modellen og 2 punkter i 1D-modellen. En vil derfor sjeldent ha dette optimale grunnlaget tilgjengelig for kalibrering og da er det vanlig å supplere med bl.a. sensitivitetsanalyser. Denne fremgangsmåten er også anvendt for de to modellene i dette prosjektet.

Beregning av vannstand nær kompliserte geometrier som bruer og kulverter kan medføre noe større usikkerhet. Erosjon og masseavlagring under en fremtidig flom representerer generelt et betydelig usikkerhetsmoment i beregningene. Spesielt ved store flommer kan det skje store endringer i elveløpet.

En annen faktor som påvirker kvaliteten på flomsonekartene er forutsetningene som ligger til grunn for modellen. Disse forutsetningene er de en anser som mest sannsynlig skal inntreffe ved en fremtidig flomhendelse, men det er ikke gitt at dette alltid stemmer. Det er uansett viktig å påpeke at flomsonekartene er et verktøy som bygger på best tilgjengelige kunnskaper og data pr. dags dato, for slik å kunne forutsi hvordan en fremtidig flom mest sannsynlig vil opptre.

Ut fra kalibreringsresultatet og sensitivitetsanalysen anslås usikkerheten i de hydrauliske beregningene til å ligge innenfor +/- 0.3m.

5.3 Flomsonen

Nøyaktigheten i de beregnede flomsonene er avhengig av usikkerhet i hydrologiske data, flomberegningen samt de hydrauliske beregningene. I tillegg kommer usikkerheten knyttet til den underliggende terrengmodellen. Den største feilkilden ved genereringen av flomsonen, skyldes grunnleggende at en presenterer beregninger for tverrprofil som en flate på kart (for 1D-hydrauliske beregninger). Generelt vil denne feilkilden øke med avstanden fra tverrprofil og avstanden til elva.

Alle faktorer som er nevnt ovenfor vil sammen påvirke usikkerheten i sluttresultatet, dvs utbredelsen av flomsoner på kartet. Utbredelsen av flomsonen er derfor mindre nøyaktig bestemt enn vannlinjene. Dette må en ta hensyn til ved praktisk bruk, jf kapitel 7.

6 Andre faremomenter i området

I flomsonekartprosjektet vurderes også andre faremomenter i vassdraget, men som ikke uten videre inngår i eller tas hensyn til i flomsonekartleggingen. Andre faremomenter kan være flom i sideelver/bekker, isgang, massetransport, erosjon og lav kapasitet på kulverter. Flomsonekartprosjektet har ikke som mål fullstendig å kartlegge slik fare, men skal systematisk forsøke å samle inn eksisterende informasjon for å presentere kjente problemer langs vassdraget som har betydning for de flomstørrelsene som beregnes i prosjektet. En gjennomgang av disse faremomentene bør inngå som del av kommunens risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS). Rasfare må, sammen med flomfare, tas hensyn til i bygge- og arealplaner. På www.skrednett.no finnes opplysninger om evt stein-, jord- og snøskred langs kartlagte strekninger.

6.1 Isoppstuving og isgang

På en strekning oppstrøms området for delprosjekt Hemsedal (i Grøndøla) er det erfart at det bygger seg opp isdammer og at regulanten E-CO tidvis sprenger bort disse dammene. Tilsvarende problemer med is eller isganger på strekningen for delprosjekt Hemsedal er ikke registrert.

6.2 Erosjon og massetransport, sideelver

Trøymsåni renner gjennom et trangt og bratt område før den munner ut i Hemsil rett nedstrøms Skogstad bru. Bratte elver og bekker kan under store flommer erodere elvebunn og sidekanter og ta med seg store mengder stein og grus. Disse massene legger elva fra seg på slakere strekninger, der elveløpet under flom derfor plutselig kan fylles med stein. For Trøymsåni gjelder dette spesielt rundt brua ved Rv52 og ved utløpet i Hemsil.

I Dølaminne 2012[11] (Historisk årbok for Hallingdal) ble det skrevet om en hendelse i Trøymsåni i 1860. Etter beskrivelsene kom et stor jordskred ned Trøymsåi og tok med seg både ei mølle og mølleren.

I NVE sak nr 201104902 er det gjort nærmere utredinger av vannføringer og vannstand på en strekning i Trøymsåni samt at skredfare er vurdert.

7 Veiledning for bruk

7.1 Unngå bygging på flomutsatte områder

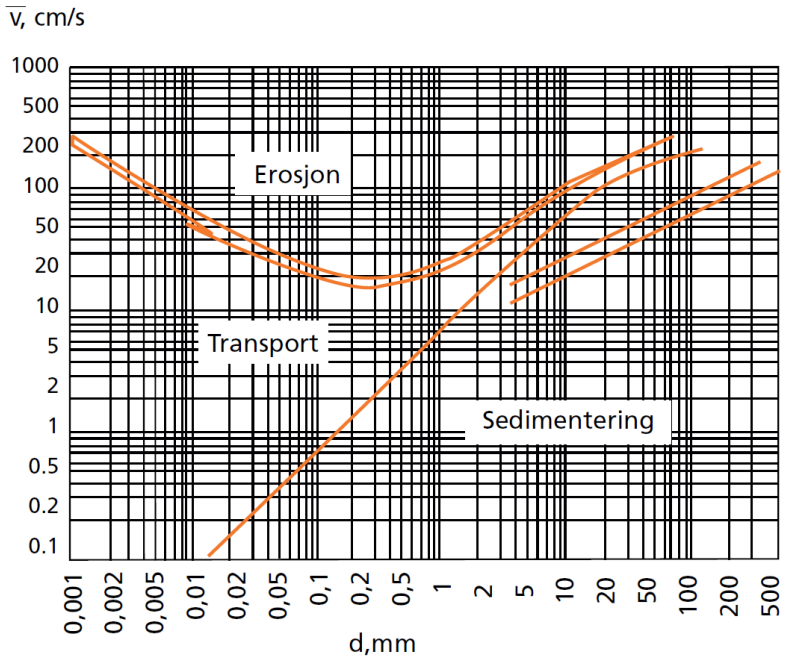
Stortinget har forutsatt at sikringsbehovet langs vassdragene ikke skal øke som følge av ny utbygging. Derfor bør ikke flomutsatte områder tas i bruk om det finnes alternative arealer.

Sikkerhetskrav for byggverk i forhold til flom er gitt i byggteknisk forskrift, TEK 10, § 7-2. Kravene er differensiert i forhold til type flom og type byggverk/infrastruktur. NVEs retningslinje 2/2011 "Flaum- og skredfare i arealplanar"[12] beskriver hvordan sikkerhetskravene i TEK10 kan oppfylles i arealplanleggingen.

Fortetting i allerede utbygde områder skal heller ikke tillates før sikkerheten er brakt opp på et tilfredsstillende nivå i henhold til TEK10.

7.2 Hvordan forholde seg til vannhastigheter?

Hastighetskartet, kartblad Trøym, er ment å være til hjelp i arealplanlegging og beredskap for å identifisere områder med fare for erosjon eller stor vanntransport ved flom, og som derfor bør vies ekstra oppmerksomhet. Erosjonsfaren er avhengig av flere forhold enn bare vannhastigheten, der bl.a. vegetasjonstype, bunnform, kornform og korngradering er viktige faktorer. Selve elveløpet vil i noen tilfeller kunne ha vesentlig høyere hastigheter enn 2 m/s, uten at det medfører problemer med erosjon. Tilsvarende vil det i områder med for eksempel fin silt/sand, der det til vanlig ikke strømmer vann, kunne oppstå erosjon ved mye lavere hastigheter. Hjulströms diagram i figur 29 viser en skjematisk fremstilling av denne forholdet. For mer inngående informasjon om erosjon, massetransport og dimensjonering av erosjonssikringstiltak, vises det til Vassdragshåndboka[13].



Figur 29. Hjulströms diagram som angir en skjematisert sammenheng mellom erosjon og sedimentering som funksjon av vannhastighet og kornstørrelse.

7.3 Hvordan forholde seg til usikre moment på kartet?

NVE lager flomsonekart med høyt presisjonsnivå som for mange formål skal kunne brukes direkte. Det er likevel viktig å være bevisst om at flomsonekartene avhenger av bakenforliggende datagrunnlag og analyser.

Spesielt i områder nær flomsonegrensen er det viktig at terrengkoter sjekkes mot de beregnede flomvannstandene. På tross av god nøyaktighet på terrengmodellen kan det være områder som på kartet er angitt å ligge utenfor flomsonen, men som ved detaljmåling i felt kan vise seg å ligge lavere enn det aktuelle flomnivået. Tilsvarende kan det være mindre områder innenfor flomområdet som ligger høyere enn den aktuelle flomvannstanden. Ved detaljplanlegging og plassering av byggverk er det viktig å være klar over dette.

En måte å forholde seg til usikkerheten på, er å legge sikkerhetsmarginer til de beregnede flomvannstandene. Hvor store disse skal være vil avhenge av hvilke tiltak det er snakk om. For byggetiltak har vi i kapitel 5.2 angitt et konkret forslag til påslag på vannstandene på 0.3 m. I forbindelse med beredskapssituasjoner vil ofte usikkerheten i flomvarslene langt overstige usikkerheten i vannlinjene og flomsonene. Det må derfor gjøres påslag som tar hensyn til alle elementer.

Geometrien i elveløpet kan bli endret, spesielt som følge av store flommer eller ved menneskelige inngrep, slik at vannstandsforholdene endres. Tilsvarende kan terrenginngrep inne på elveslettene, så som oppfyllinger, føre til at terrengmodellen ikke lengre er gyldig i alle områder. Over tid kan det derfor bli behov for å gjennomføre revisjon av beregningene og produsere nye flomsonekart.

Så lenge kartene anses å utgjøre den best tilgjengelige informasjon om flomfare i et område, forutsettes de lagt til grunn for arealbruk og flomtiltak.

7.4 Arealplanlegging og byggesaker – bruk av flomsonekart

I kommuneplansammenheng kan en bruke flomsonene direkte for å identifisere områder som ikke bør bebygges uten nærmere vurdering av faren og mulige tiltak. Flomsonene skal avsettes som hensynssoner på plankartet jf. pbl § 11-8.

Ved detaljplanlegging og ved dele- og byggesaksbehandling må en ta hensyn til at også flomsonekartene har begrenset nøyaktighet. Primært må en ta utgangspunkt i de beregnede vannstandene og kontrollere terrengkotene i felt mot disse. Områder som etter nærmere kontroll i felt er utsatt for flomfare avsettes som hensynssoner på plankartet jf. pbl § 12-6. For å unngå flomskade, må dreneringen til en bygning ligge slik at avløpet også fungerer under flom.

En sikkerhetsmargin bør alltid legges til ved praktisk bruk. For dette delprosjektet anbefaler NVE et påslag med 0.3m på de beregnede vannstandene for å kompensere for usikkerhetene i beregningene.

Til hensynssonene gis det bestemmelser som begrenser eller setter vilkår for arealbruken, for eksempel ved at det ikke tillates etablering av ny bebyggelse lavere enn nivå for en 200-årsflom, med mindre det utføres tiltak som sikrer bebyggelsen mot flom.

Med grunnlag i flomsonekartene, må det innarbeides hensynssoner med bestemmelser som ivaretar tilstrekkelig sikkerhet mot flom når kommuneplanen for Hemsedal kommune rulleres.

7.5 Flomvarsling og beredskap – bruk av flomsonekart

www.varsom.no er kilden til varsling av naturfare i Norge, også varsling av flom. NVE overvåker kontinuerlig vassdragene i Norge og varsler fra 2013 flom etter en ny varslingsskala, se figur 30. Et flomvarsel forteller hvor stor vannføring som ventes. Det er ikke nødvendigvis et varsel om skade. For å kunne varsle skadeflom, må man ha detaljert kjennskap til et område. I dag gis flomvarslene i form av aktsomhetsnivåer, som også sier noe om sannsynligheten for at skader kan forekomme. Grensen mellom de ulike aktsomhetsnivåene er oppgitt som vannføring relatert til gjentaksintervall. Disse gjentaksintervallene og vannføringene kan finnes på flomsonekartene. Ved varsel på oransje aktsomhetsnivå vil vannføringen nå et nivå mellom 5-årsflom og 50-årsflom. Ved rødt aktsomhetsnivå vil vannføringen nå et nivå over 50-årsflom. Også ved gult aktsomhetsnivå, hvor det ventes vannføring med mindre enn 5-års gjentaksintervall, kan det forekomme skader. Det dreier seg som oftest om skader av mer lokal karakter i tilknytning til mindre bekker /elver. Ved kontakt med flomvarslingen vil en ofte kunne få mer detaljert informasjon.

Flomsonekart gir detaljkunnskap i form av beregnede vannstander over en lengre strekning ved flom, og man kan se hvilke områder og hvilke typer verdier som blir oversvømt. Beredskapsmyndighetene bør innarbeide denne informasjonen i sine planer. Kartene viser hvilke bygninger som blir berørt av de ulike flomstørrelsene. Kopling mot adresseregistre kan gi lister over berørte eiendommer. På dette grunnlaget vil de beredskapsansvarlige bedre kunne planlegge evakuering, omkjøringsveier, bygging av voller og andre krisetiltak. På grunn av usikkerhet i både flomvarsel og flomsonekartene er det ved planlegging og gjennomføring av sikringstiltak også viktig å legge på en sikkerhetsmargin.

Aktsomhetsnivå	Flomstørrelse og skadeomfang	Tilsvarende nivå innenfor GAMMEL varslingsskala
4 Varsel om flom	Vannføring som kan medføre omfattende oversvømmelser og flomskader på bebyggelse og infrastruktur over store områder. Vannføring med mer enn 50 års gjentaksintervall.	Varsel om stor flom
3 Varsel om flom	Vannføring som kan medføre omfattende oversvømmelser og flomskader på utsatte steder. Vannføring mellom 5 og 50 års gjentaksintervall.	Varsel om flom
2 Varsel om flom	Raskt økende vannføring som kan medføre lokale oversvømmelser. Spesielt stor vannføring/vannstand for årstiden, fare for isgang etc. Det kan forekomme store problemer/flomskader lokalt. Vannføring opp til 5 års gjentaksintervall.	Melding fra NVE
1	Generelt trygge forhold/ingen spesiell fare.	

Figur 30. Oversikt over de nye aktsomhetsnivåene for flom er vist til venstre i figuren. Nivåene innenfor varslingsskalaen som ble brukt før 2013 er vist til høyre. Grensene mellom nye og gamle nivåer er uforandret.

7.6 Generelt om gjentaksintervall og sannsynlighet

Gjentaksintervall er det antall år som gjennomsnittlig går mellom hver gang en får en like stor eller større flom. Dette intervallet sier noe om hvor sannsynlig det er å få enn flom av en viss størrelse. Sannsynligheten for eksempel en 50-årsflom er 1/50, dvs. 2 % hvert eneste år. Dersom en 50-årsflom nettopp er inntruffet i et vassdrag betyr dette ikke at det vil gå 50 år til neste gang dette nivået overskrides. Den neste 50-årsflommen kan inntreffe allerede i inneværende år, om 2 år, 50 år eller kan hende først om 200 år. Det er viktig å være klar over at sjansen for eksempelvis å få en 50-årsflom er like stor hvert år, men den er liten - bare 2 prosent.

Et aktuelt spørsmål ved planlegging av virksomhet i flomutsatte områder er følgende: Hva er akseptabel sannsynlighet for flomskade i forhold til gjentaksintervall og levetid? Gitt en konstruksjon med forventet (økonomisk) levetid på 50 år som skal sikres mot en 100-årsflom. I følge tabellen vil det være 40 % sjanse for å få flomskader på konstruksjonen i løpet av en 50-års periode. Tar man utgangspunkt i en "akseptabel sannsynlighet for flomskade" på eksempelvis 10 % i en 50-årsperiode, viser tabellen at konstruksjonen må sikres mot en 500-årsflom!

Tabell 8. Sannsynlighet for overskridelse i % ut fra periodelengde og gjentaksintervall.

	Periodelengde år (L)					
Gjentaksintervall (T)	10	50	100	200	500	1000
10	65 %	99 %	100 %	100 %	100 %	100 %
50	18 %	64 %	87 %	98 %	100 %	100 %
100	10 %	39 %	63 %	87 %	99 %	100 %
200	5 %	22 %	39 %	63 %	92 %	99 %
500	2 %	10 %	18 %	33 %	63 %	86 %
1000	1 %	5 %	10 %	18 %	39 %	63 %

8 Referanser

[1] NOU (Norsk offentlig utredning) 1996: *Tiltak mot flom*

[2] Stortingsmelding 2011-2012: melding nr.15: Hvordan leve med farene– om flom og skred

[3] Stortingsmelding 1996-1997: melding nr.42: Tiltak mot flaum

[4] Hydrological projections for floods in Norway under a future climate (2011), NVE Report No. 5-2011.

[5] Hallvard Berg og Øyvind Høydal 2000. Prosjekthåndbok flomsonekartprosjektet. (Doculivenr 200003038)

[6] Marinko Nujic (2008): A two-dimensional flow model for water management applications.

[7] NVE Dokument (12-2004), Flomberegninger i Hallingsdalsvassdraget. Hemsedal, Gol og Nesbyen, Erik Holmqvist.

[8] NVE notat (19.10.2011), Flomvannføringer i Hallingdalsvassdraget (012.CZ), Erik Holmqvist (Doculive nr 201001267-2).

[9] NVE notat (10.03.2010, Flomvannføringer i Hemsil ved Tuv (012.CDZ), Erik Holmqvist (Doculive nr 201001267-1).

[10] Novatek (2005): Tverrprofilering i Hemsedal.

[11] Dølaminne 2012 ISBN 978-82-90084-20-7 (bl.a. til salgs i bokhandelen på Gol)

[12] Retningslinje nr 2-2011 "Flaum- og skredfare i arealplanar", Revidert 22 mai 2014, NVE.

[13] Fergus, T., Hoseth, K.A. & Sæterbø, E. 2010. Vassdragshåndboka. Tapir akademisk forlag. 428s.

Flomsonekartrapportene gis ut fra 2012 i NVEs Rapportserie

NVEs Flomsonekartserie opphørte etter 2011.

2000

Nr 1 Ingebrigt Bævre: Delprosjekt Sunndalsøra
Nr 2 Siri Stokseth: Delprosjekt Trysil
Nr 3 Kai Fjelstad: Delprosjekt Elverum
Nr 4 Øystein Nøtsund: Delprosjekt Førde
Nr 5 Øyvind Armand Høydal: Delprosjekt Otta
Nr 6 Øyvind Lier: Delprosjekt Rognan og Røkland

2001

Nr 1 Ingebrigt Bævre: Delprosjekt Støren
Nr 2 Anders J. Muldsvor: Delprosjekt Gaupne
Nr 3 Eli K. Øydvin: Delprosjekt Vågåmo
Nr 4 Eirik Traae: Delprosjekt Høyanger
Nr 5 Ingebrigt Bævre: Delprosjekt Melhus
Nr 6 Ingebrigt Bævre: Delprosjekt Trondheim
Nr 7 Siss-May Edvardsen: Delprosjekt Grodås
Nr 8 Øyvind Høydal: Delprosjekt Rena
Nr 9 Ingjerd Haddeland: Delprosjekt Flisa
Nr 10 Ingjerd Haddeland: Delprosjekt Kirkenær
Nr 11 Siri Stokseth: Delprosjekt Hauge
Nr 12 Øyvind Lier: Delprosjekt Karlstad, Moen, Rundhaug og Øverbygd

2002

Nr. 1 Øyvind Espeseth Lier: Delprosjekt Karasjok
Nr. 2 Siri Stokseth: Delprosjekt Tuven
Nr. 3 Ingjerd Haddeland: Delprosjekt Liknes
Nr. 4 Ahmed Reza Naserzadeh: Delprosjekt Åkrestrømmen
Nr. 5 Ingebrigt Bævre: Delprosjekt Selbu
Nr. 6 Eirik Traae: Delprosjekt Dalen
Nr. 7 Øyvind Espeseth Lier: Delprosjekt Storslett
Nr. 8 Øyvind Espeseth Lier: Delprosjekt Skoltefossen
Nr. 9 Ahmed Reza Naserzadeh: Delprosjekt Koppang
Nr. 10 Christine Kielland Larsen: Delprosjekt Nesbyen
Nr. 11 Øyvind Høydal: Delprosjekt Selsmyrene
Nr. 12 Siss May Edvardsen: Delprosjekt Lærdal
Nr. 13 Søren Elkjær Kristensen: Delprosjekt Gjøvik

2003

Nr. 1 Ingebrigt Bævre, Jostein Svegården: Delprosjekt Korgen
Nr. 2 Siss-May Edvardsen: Delprosjekt Dale
Nr. 3 Siss-May Edvardsen: Delprosjekt Etne
Nr. 4 Siss-May Edvardsen: Delprosjekt Sogndal
Nr. 5 Siri Stokseth: Delprosjekt Søgne
Nr. 6 Øyvind Høydal og Eli Øydvin: Delprosjekt Sandvika og Vøyenenga
Nr. 7 Siri Stokseth og Jostein Svegården: Delprosjekt Hønefoss
Nr. 8 Ingebrigt Bævre og Christine K. Larsen: Delprosjekt Røssvoll
Nr. 9 Søren E. Kristensen: Delprosjekt Kongsvinger
Nr. 10 Paul Christen Røhr: Delprosjekt Alta og Eiby

2004

Nr. 1 Beate Sæther, Christine Kielland Larsen: Delprosjekt Verdalsøra
Nr. 2 Beate Sæther, Christine K. Larsen: Delprosjekt Hell
Nr. 3 Siss-May Edvardsen, Christine Kielland Larsen Delprosjekt Sande
Nr. 4 Ingebrigt Bævre,Eli K. Øydvin: Delprosjekt Batnfjord
Nr. 5 Ingebrigt Bæ vre, Jostein Svegården: Delprosjekt Meldal
Nr. 6 Ahmed Naserzadeh, Christine Kielland Larsen: Delprosjekt Fetsund
Nr. 7 Siri Stokseth, Eli K. Øydvin: Delprosjekt Ålgård
Nr. 8 Ingebrigt Bævre,Christine Kielland Larsen: Delprosjekt Misvær
Nr. 9 Turid Bakken Pedersen,Christine K. Larsen: Delprosjekt Moi
Nr. 10 Siri Stokseth, Linmei Nie,Eli K. Øydvin: Delprosjekt Skien
Nr. 11 Siri Stokseth, Eli K. Øydvin: Delprosjekt Mandal
Nr. 12 Siri Stokseth, Eli K. Øydvin: Delprosjekt Kongsberg
Nr. 13 Siss-May Edvardsen, Eli K. Øydvin: Delprosjekt Myklemyr og Fossøy
Nr. 14 Siss-May Edvardsen, Øystein Nøtsund, Jostein Svegården: Delprosjekt Ørsta
Nr. 15 Ahmed Reza Naserzadeh, Christine Kielland Larsen: Delprosjekt Ringebu/Fåvang

2005

Nr 1 Ingebrigt Bævre, Julio Pereira: Delprosjekt Kotsøy

Nr 2 Siri Stokseth, Jostein Svegården: Delprosjekt Drammen

Nr. 3 Ahmed Naserzadeh, Julio Pereira: Delprosjekt Hamar

Nr. 4 Ingebrigt Bævre og Christine K. Larsen: Delprosjekt Beiarn

Nr. 5 Ahmed Naserzadeh, Jostein Svegården: Delprosjekt Alvdal og Tynset

Nr. 6 Siss-May Edvardsen, Eli K. Øydvin: Delprosjekt Rauma

Nr. 7 Siss-May Edvardsen, Christine K. Larsen: Delprosjekt Molde

Nr. 8 Siri Stokseth, Julio Pereira: Delprosjekt Øyslebø

Nr. 9 Turid Bakken Pedersen, Eli K. Øydvin, Jostein Svegården: Delprosjekt Flakksvann

Nr. 10 Christine K. Larsen, Ingebrigt Bævre: Delprosjekt Mosjøen

Nr. 11 Christine K. Larsen, Ingebrigt Bævre: Delprosjekt Bærums Værk

Nr. 12 Turid Bakken Pedersen, Jostein Svegården: Delprosjekt Mosby

Nr. 13 Ahmed Reza Nasersadeh, Julio Pereira: Delprosjekt Lillestrøm

Nr. 14 Siss-May Edvardsen, Jostein Svegården: Delprosjekt Eidfjord

Nr. 15 Beate Sæth er, Christine K. Larsen: Delprosjekt Orkdal

Nr. 16 Siss-May Edvardsen, Christine Kielland Larsen: Delprosjekt Vikøyri

2006

Nr. 1 Siss-May Edvardsen, Christine K. Larsen: Delprosjekt Bondalen

Nr. 2 Siss-May Edvardsen, Julio Pereira: Delprosjekt Oltedal

Nr. 3 Siss-May Edvardsen, Jostein Svegården: Delprosjekt Sylte

Nr. 4 Siss-May Edvardsen, Eli K. Øydvin: Delprosjekt Voss

Nr. 5 Ahmed Reza Naserzadeh, Jostein Svegården: Delprosjekt Fjellhamar

Nr. 6 Ahmed Reza Naserzadeh, Jostein Svegården: Delprosjekt Lillehammer

Nr. 7 Ahmed Reza Naserzadeh, Julio Pereira Delprosjekt Fredrikstad og Sarpsborg

Nr. 8 Anders Bjordal, Christine K. Larsen: Delprosjekt Masi / Oasseprošeakta Máze

Nr. 9 Ingebrigt Bævre, Christine K. Larsen, Knut Aune Hoseth: Delprosjekt Bonakas, Seida og Polmak / Oasseprošeakta Bonjákas, Sieiddá ja Buolbmát

Nr. 10 Ingebrigt Bævre, Christine K. Larsen: Delprosjekt Hattfjelldal

Nr. 11 Ingebrigt Bævre, Christine K. Larsen: Delprosjekter Trofors-Grane

Nr. 12 Siri Stokseth, Christine Kielland Larsen: Delprosjekt Gol

Nr. 13 Siri Stokseth, Christine Kielland Larsen: Delprosjekt Hemsedal

Nr. 14 Ingebrigt Bævre, Eli K. Øydvin: Delprosjekt Ulefoss

2007

Nr. 1 Siss-May Edvardsen, Eli K. Øydvin: Delprosjekt Stryn

Nr. 2 Ahmed Reza Naserzadeh, Julio Pereira: Delprosjekt Eidsvoll

Nr. 3 Ingebrigt Bævre, Anders Bjordal, Christine K. Larsen: Delprosjekt Kautokeino / Oasseprošeakta Guovdageaidnu

Nr. 4 Siss-May Edvardsen, Christine Kielland Larsen Eli Katrina Øydvin: Delprosjekt Ogna

Nr. 5 Ahmed Reza Naserzadeh, Jostein Svegården: Delprosjekt Brandbu-Gran

Nr. 6 Siri Stokseth, Julio Pereira: Delprosjekt Lier

Nr. 7 Siri Stokseth, Ivar Olaf Peereboom: Delprosjekt Årdal

Nr. 8 Ingebrigt Bævre, Ivar Olaf Peereboom: Delprosjekt Sauda

Nr. 9 Siss-May Edvardsen, Ivar Olaf Peereboom: Delprosjekt Sykkylven

Nr. 10 Ingebrigt Bævre, Eli K. Øydvin: Delprosjekt Surnadal

Nr. 11 Ingebrigt Bævre, Julio Pereira: Delprosjekt Rjukan

Nr. 12 Ahmed Reza Naserzadeh, Ivar Olaf Peereboom: Delprosjekt Leirsund og Frogner

Nr. 13 Siri Stokseth, Ivar Olaf Peereboom Delprosjekt Seljord

Nr 14 Siss-May Edvardsen, Eli K. Øydvin Delprosjekt Hjelle

Nr 15 Siri Stokseth, Eli K. Øydvin: Delprosjekt Sauland

Nr 16 Beate Sæther, Julio Pereira: Delprosjekt Namsos

Nr 17 Beate Sæther, Julio Pereira: Delprosjekt Grong

2008

Nr. 1 Ahmed Reza Naserzadeh, Ivar Olaf Peereboom:
Delprosjekt Skarnes

Nr. 2 Ingebrigt Bævre, Ivar Olaf Peereboom:
Delprosjekt Spjelkavik

Nr. 3 Asbjørn Osnes, Ivar Olaf Peereboom:
Delprosjekt Steinkjer

Nr. 4 Kjartan Orvedal, Ivar Olaf Peereboom:
Delprosjekt Flatdal

2009

Nr. 1 Turid Bakken Pedersen, Julio Pereira
Delprosjekt Konsmo

2010

Nr. 1 Ahmed Reza Naserzadeh, Julio Pereira
Delprosjekt Ellingsrud

Nr. 2 Kjartan Orvedal, Ivar Olaf Peereboom
Delprosjekt Vikeså

Nr. 3 Kjartan Orvedal, Ivar Olaf Peereboom
Delprosjekt Egersund

Nr. 4 Ahmed Reza Naserzadeh, Ivar Olaf Peereboom
Delprosjekt Moss

Nr. 5 Siss-May Edvardsen, Camilla Meidell Roald
Delprosjekt Os

Nr. 6 Ahmed Reza Naserzadeh, Julio Pereira
Delprosjekt Sørkedalen

2011

Nr. 1 Kjartan Orvedal, Julio Pereira
Delprosjekt Overhalla

2012 (i Rapportserien)

Nr. 11 Kjartan Orvedal, Julio Pereira
Delprosjekt Ålen

Nr. 23 Siss-May Edvardsen, Camilla Meidell Roald
Delprosjekt Naustdal

Nr. 29 Per Ludvig Bjerke, Julio Pereira
Delprosjekt Vigeland

Nr. 76 Anders Bjordal
Ivar Olaf Peereboom
Delprosjekt Tromsdalselva

2013 (i Rapportserien)

Nr. 10 Kjartan Orvedal,Julio Pereira
Delprosjekt Levanger

Nr. 36 Flaumsonekart Delprosjekt Årdal i Sogn.
Siss-May Edvardsen, Camilla Roald

Nr. 67 Flomsonekart. Delprosjekt Sunndalsøra.
Kjartan Orvedal, Camilla Meidell Roald

Nr. 74 Flomsonekart. Delprosjekt Nesttun
Kjartan Orvedal, Camilla Meidell Roald

2014 (i Rapportserien)

Nr. 23 Kjartan Orvedal, Julio Pereira
Delprosjekt Tuv

Nr. 45 Flomsonekart. Delprosjekt Hemsedal,
Martin Jespersen, Rengifo Ortega

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

VANNSTAND VED TVERRPROFIL

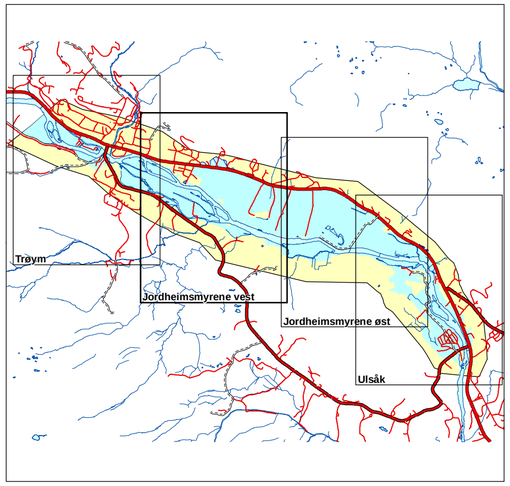
Hemsil

Profilnr	10 år	20 år	50 år	**200 år**	1000 år
15	608.7	608.9	609.0	**609.1**	609.1
16	609.5	609.6	609.6	**609.7**	609.9
17	610.5	610.7	610.8	**611.0**	611.3
18	611.0	611.1	611.2	**611.5**	611.8
19	611.1	611.2	611.3	**611.6**	611.9
20	611.3	611.4	611.5	**611.9**	612.2
21	613.3	613.4	613.5	**613.8**	614.1

VANNFØRING (m^3/s)

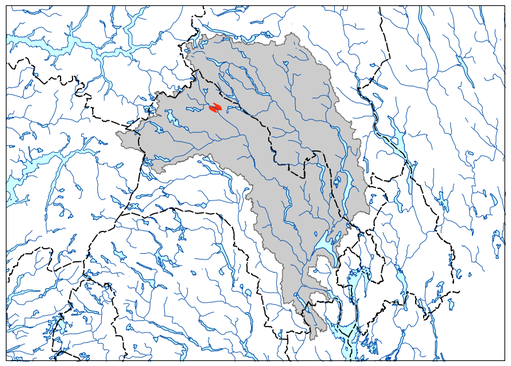
Profilnr	10 år	20 år	50 år	**200 år**	1000 år
15	290	345	425	**645**	855

OVERSIKT KARTBLAD

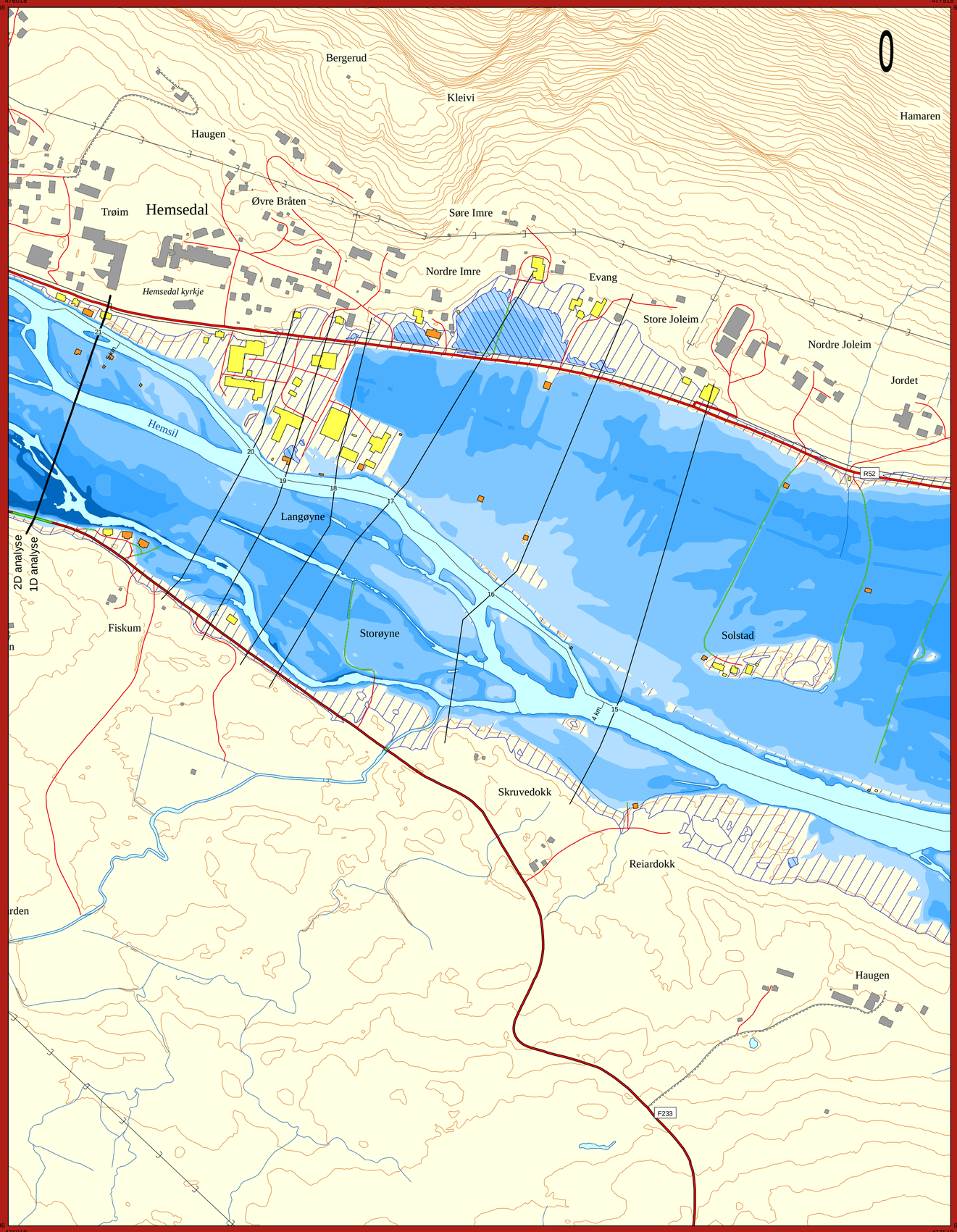


Analyseområde

OVERSIKTSKART



Delprosjekt Hemsedal
Fylkesgrense
Nedbørfelt Drammensvassdraget



TEGNFORKLARING

Flomdybde (m) i oversvømt areal

- < 0.5
- 0.5 -1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- > 2

- Lavpunkt - område som ikke har direkte forbindelse med elva (bak flomverk, kulvert, m.v.). Fare for oversvømmelse må vurderes nærmere
- Sone med fare for vann i kjeller - område som ligger mindre enn 2,5 m høyere enn flomsonen
- Elv, vann og sjø
- Flomutsatte bygninger
- Bygninger med fare for vann i kjelleren
- Ikke flomutsatte bygninger
- Tverrprofil med profilnummer
- Oversvømt vei
- Kommunal og privat vei
- Skogsbruksvei
- Riks- og fylkesvei med veinummer
- Gang- og sykkelveg
- Kraftlinje
- Midtlinje av elv
- Bekk
- Høydekoter med fem meter ekvidistanse

FLOMSONEKART

Prosjekt: Hemsedal

Kartblad Jordheimsmyrene vest

200-årsflom

Godkjent 12. juni 2014

1:5 000

0 — 250 m

Koordinatsystem:	UTM 32 og NN1954
Kartgrunnlag	
Situasjon:	Kartverket, FKB 2011
Høydedata:	Kartverket, laserdata 2011
Flomsoneanalyse	
Flomverdier:	NVE notat 19.10.2011
Vannlinjer:	NVE notat 21.02.2013
Terrengmodell:	Juni 2013
GIS-analyse:	Mai 2014
Prosjektrapport:	45/2014
Prosjektnummer:	fs012_7

NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIDIREKTORAT (NVE)

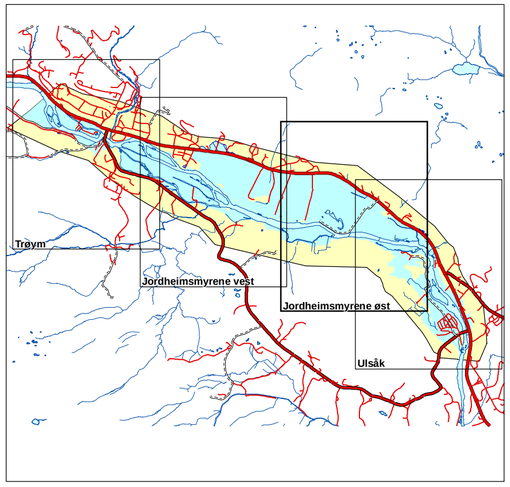
Pb. 5091 Majorstuen, 0301 Oslo
Tlf: 09575 E-post: nve@nve.no
Internett: http://www.nve.no/flomsonekart

VANNSTAND VED TVERRPROFIL

Hemsil

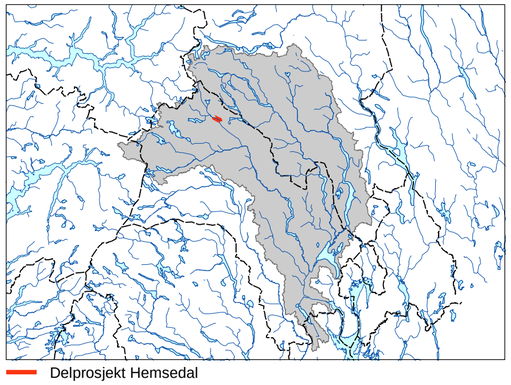
Profilnr	10 år	20 år	50 år	**200 år**	1000 år
12	604.4	604.7	605.1	**606.0**	606.7
13	605.0	605.3	605.6	**606.5**	607.2
13.5	606.8	607.0	607.1	**607.3**	607.5
14	607.1	607.2	607.3	**607.4**	607.7

OVERSIKT KARTBLAD

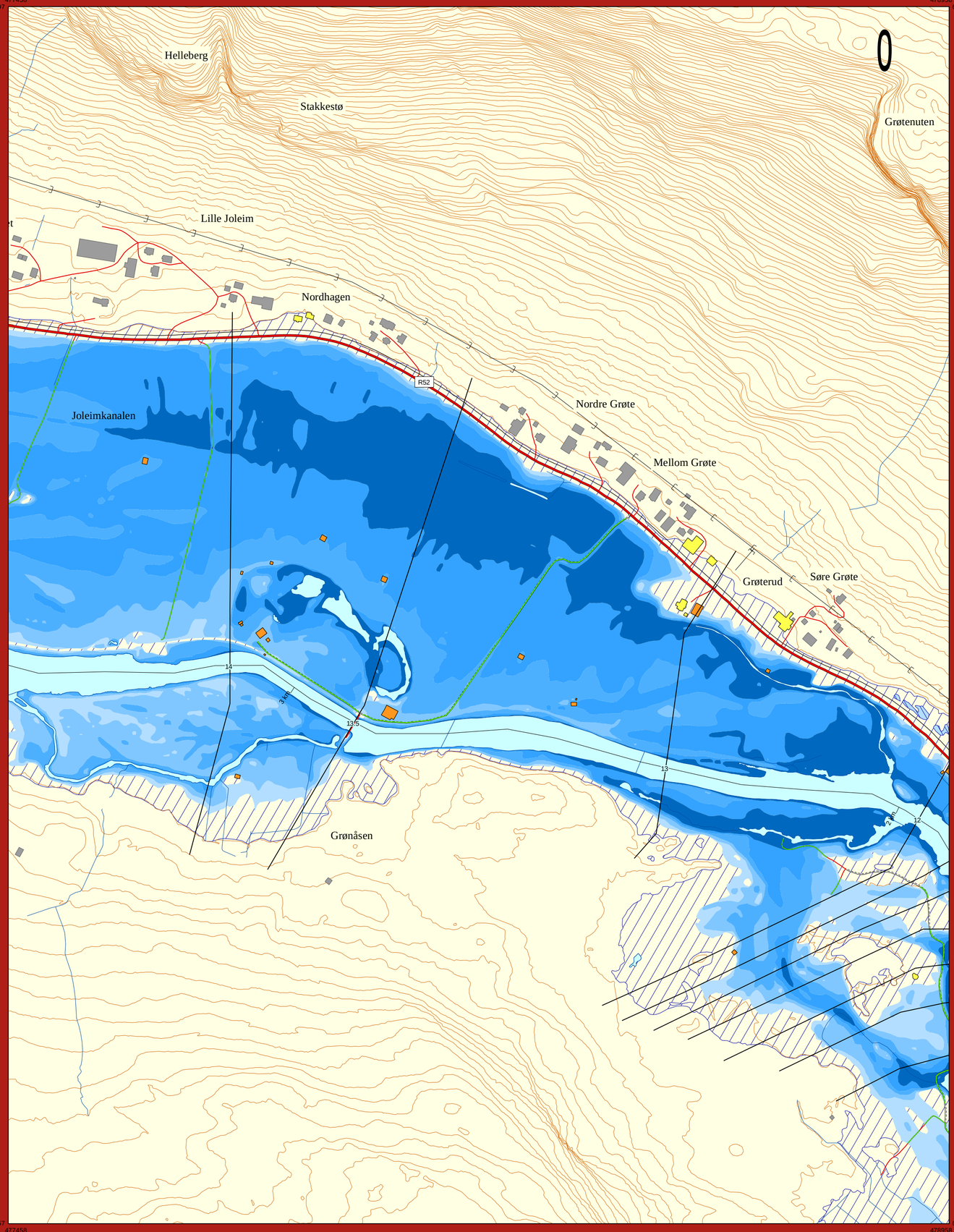


Analyseområde

OVERSIKTSKART



Delprosjekt Hemsedal
Fylkesgrense
Nedbørsfelt Drammensvassdraget



TEGNFORKLARING

Flomdybde (m) i oversvømt areal

- < 0.5
- 0.5 -1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- > 2

Lavpunkt - område som ikke har direkte forbindelse med elva (bak flomverk, kulvert, m.v.). Fare for oversvømmelse må vurderes nærmere

Sone med fare for vann i kjeller - område som ligger mindre enn 2,5 m høyere enn flomsonen

Elv, vann og sjø

Flomutsatte bygninger

Bygninger med fare for vann i kjelleren

Ikke flomutsatte bygninger

Tverrprofil med profilnummer

Oversvømt vei

Kommunal og privat vei

Skogsbruksvei

Riks- og fylkesvei med veinummer

Gang- og sykkelveg

Kraftlinje

Midtlinje av elv

Bekk

Høydekoter med fem meter ekvidistanse

NVE

FLOMSONEKART

Prosjekt: Hemsedal

Kartblad: Jordheimsmyrene_øst

200-årsflom

Godkjent 12. juni 2014

1:5 000

0 250 m

Koordinatsystem:	UTM 32 og NN1954
Kartgrunnlag	
Situasjon:	Kartverket, FKB 2011
Høydedata:	Kartverket, laserdata 2011
Flomsoneanalyse	
Flomverdier:	NVE notat 19.10.2011
Vannlinjer:	NVE notat 21.02.2013
Terrengmodell:	Juni 2013
GIS-analyse:	Mai 2014
Prosjektrapport:	45/2014
Prosjektnummer:	fs012_7

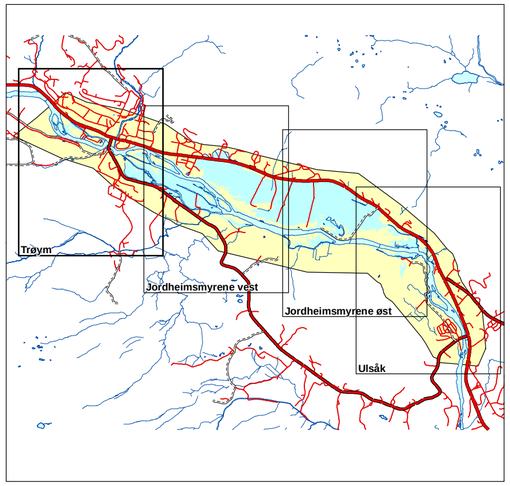
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT (NVE)

Pb. 5091 Majorstuen, 0301 Oslo
Tlf: 09575 E-post: nve@nve.no
Internett: http://www.nve.no/flomsonekart

VANNFØRING (m³/s)

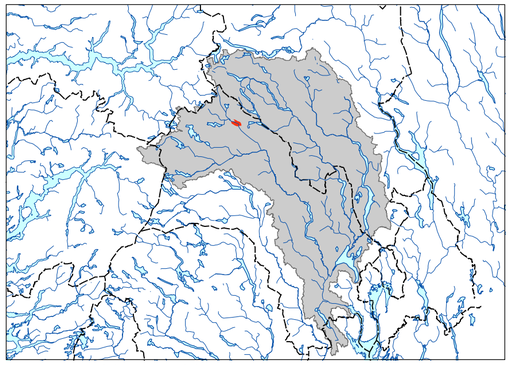
Profilnr	10 år	20 år	50 år	**200 år**	1000 år
A	265	320	395	**600**	805
B	285	340	420	**635**	845

OVERSIKT KARTBLAD



Analyseområde

OVERSIKTSKART



Delprosjekt Hemsedal
Fylkesgrense
Nedbørsfelt Drammensvassdraget

TEGNFORKLARING

Flomdybde (m) i oversvømt areal

- < 0.5
- 0.5 -1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- > 2

- Flomvannstandskoter (NN1954)
- Halvmeters flomvannstandskoter (NN1954)
- Lavpunkt - område som ikke har direkte forbindelse med elva (bak flomverk, kulvert, m.v.). Fare for oversvømmelse må vurderes nærmere
- Sone med fare for vann i kjeller - område som ligger mindre enn 2,5 m høyere enn flomsonen
- Elv, vann og sjø
- Flomutsatte bygninger
- Bygninger med fare for vann i kjelleren
- Ikke flomutsatte bygninger
- Tverrprofil med profilnummer
- Oversvømt vei
- Kommunal og privat vei
- Skogsbruksvei
- Riks- og fylkesvei med veinummer
- Gang- og sykkelveg
- Kraftlinje
- Bekk
- Høydekoter med fem meter ekvidistanse

NVE

FLOMSONEKART

Prosjekt: Hemsedal

Kartblad Trøym

200-årsflom

Godkjent 12. juni 2014

1:5 000

0 250 m

Koordinatsystem:	UTM 32 og NN1954
Kartgrunnlag	
Situasjon:	Kartverket, FKB 2011
Høydedata:	Kartverket, laserdata 2011
Flomsoneanalyse	
Flomverdier:	NVE notat 19.10.2011
Vannlinjer:	NVE notat 21.02.2013
Terrengmodell:	Juni 2013
GIS-analyse:	Mai 2014
Prosjektrapport:	45/2014
Prosjektnummer:	fs012_7

NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIDIREKTORAT (NVE)

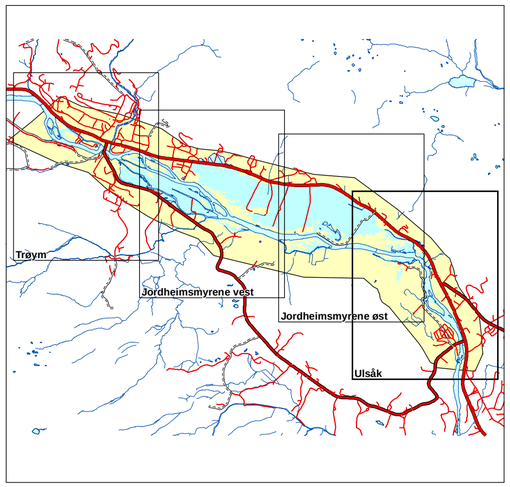
Pb. 5091 Majorstuen, 0301 Oslo
Tlf: 09575 E-post: nve@nve.no
Internett: http://www.nve.no/flomsonekart

VANNSTAND VED TVERRPROFIL

Hemsil

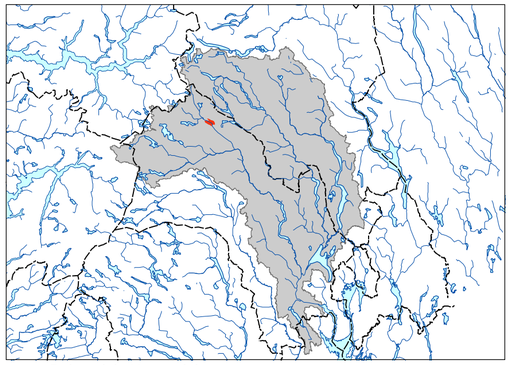
Profilnr	10 år	20 år	50 år	**200 år**	1000 år
1	592.3	592.6	592.9	**593.5**	594.0
2	595.4	595.6	595.8	**596.5**	597.0
2.5	597.7	598.1	598.4	**599.3**	600.0
3	598.5	599.8	600.1	**600.7**	601.0
4	598.9	600.0	600.4	**601.0**	601.8
5	599.2	600.2	600.6	**601.3**	602.2
6	599.9	600.6	600.9	**601.7**	602.4
7	600.1	600.7	601.0	**601.7**	602.5
8	600.1	600.7	601.0	**601.7**	602.4
9	601.0	601.4	601.9	**602.9**	603.8
10	603.0	603.1	603.4	**604.4**	605.3
11	603.5	603.8	604.1	**604.9**	605.4
12	604.4	604.7	605.1	**606.0**	606.7
13	605.0	605.3	605.6	**606.5**	607.2

OVERSIKT KARTBLAD

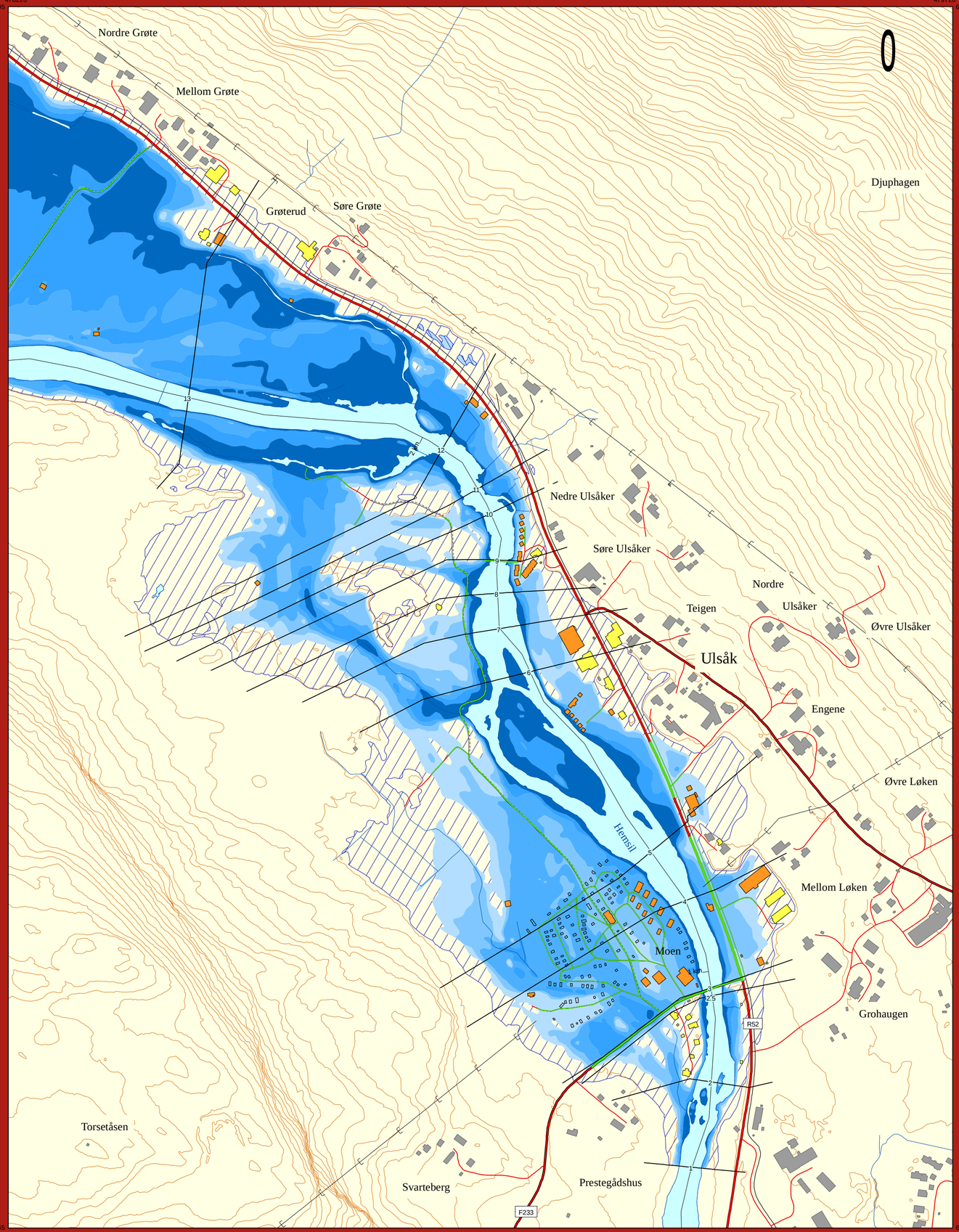


Analyseområde

OVERSIKTSKART



Delprosjekt Hemsedal
Fylkesgrense
Nedbørsfelt Drammensvassdraget



TEGNFORKLARING

Flomdybde (m) i oversvømt areal

- < 0.5
- 0.5 -1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- > 2

Lavpunkt - område som ikke har direkte forbindelse med elva (bak flomverk, kulvert, m.v.). Fare for oversvømmelse må vurderes nærmere

Sone med fare for vann i kjeller - område som ligger mindre enn 2,5 m høyere enn flomsonen

Elv, vann og sjø

Flomutsatte bygninger

Bygninger med fare for vann i kjelleren

Ikke flomutsatte bygninger

Tverrprofil med profilnummer

Oversvømt vei

Kommunal og privat vei

Skogsbruksvei

Riks- og fylkesvei med veinummer

Gang- og sykkelveg

Kraftlinje

Midtlinje av elv

Bekk

Høydekoter med fem meter ekvidistanse

NVE

FLOMSONEKART

Prosjekt: Hemsedal

Kartblad Ulsåk

200-årsflom

Godkjent 12. juni 2014

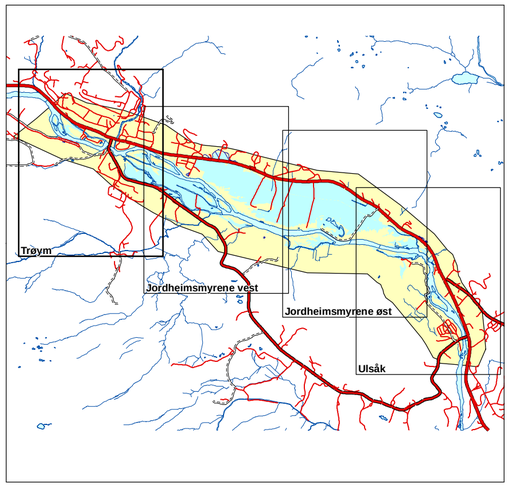
1:5 000

0 — 250 m

Koordinatsystem:	UTM 32 og NN1954
Kartgrunnlag	
Situasjon:	Kartverket, FKB 2011
Høydedata:	Kartverket, laserdata 2011
Flomsoneanalyse	
Flomverdier:	NVE notat 19.10.2011
Vannlinjer:	NVE notat 21.02.2013
Terrengmodell:	Juni 2013
GIS-analyse:	Mai 2014
Prosjektrapport:	45/2014
Prosjektnummer:	fs012_7

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT (NVE)

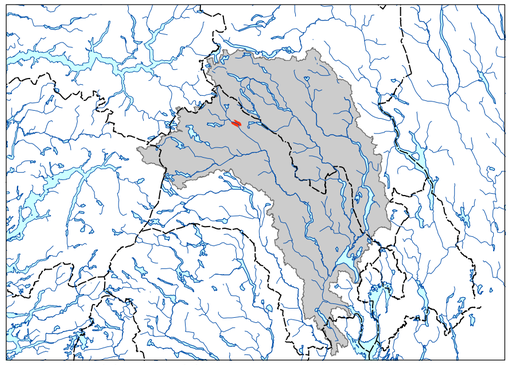
Pb. 5091 Majorstuen, 0301 Oslo
Tlf: 09575 E-post: nve@nve.no
Internett: http://www.nve.no/flomsonekart



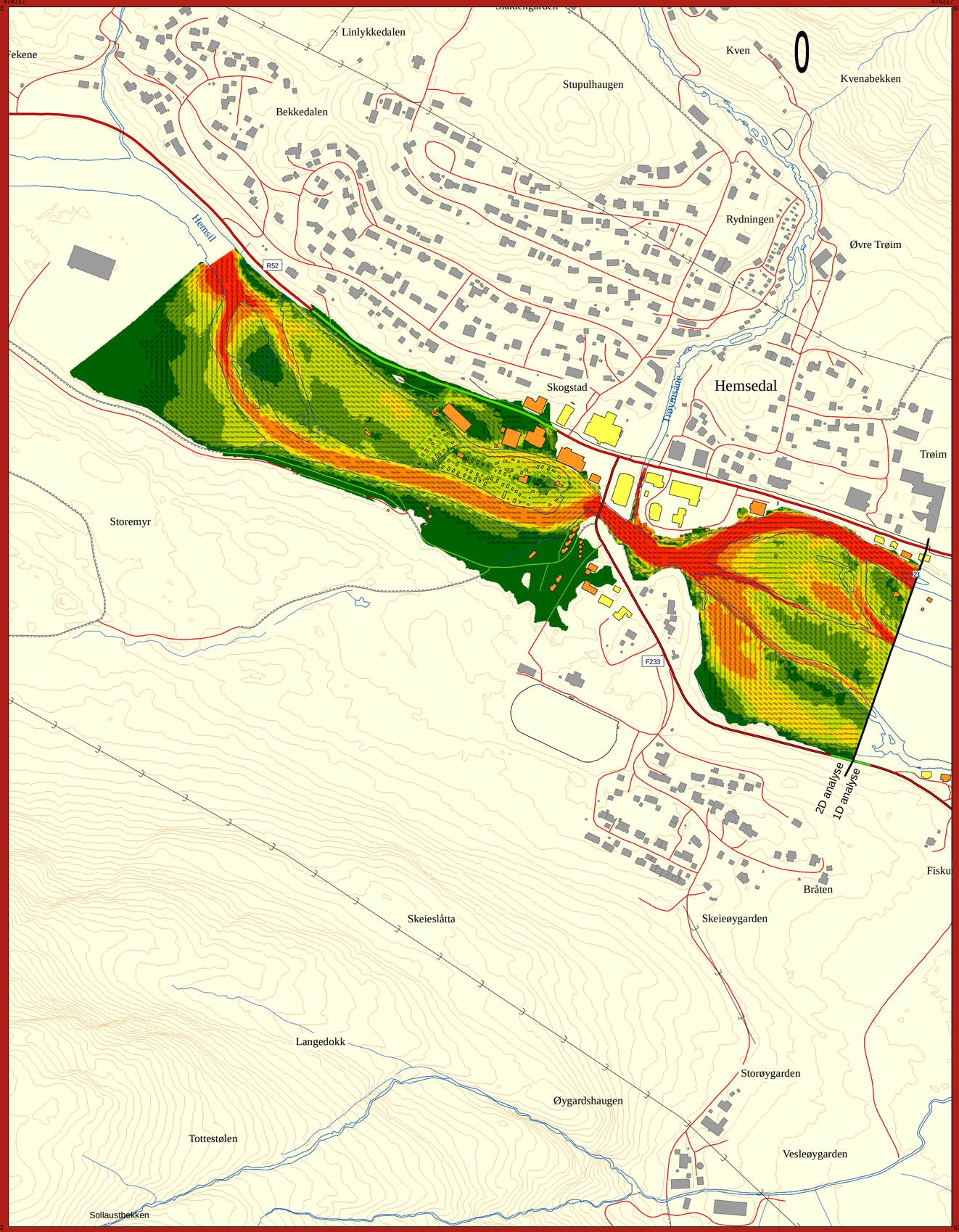
Analyseområde

OVERSIKT KARTBLAD

OVERSIKTSKART



Delprosjekt Hemsedal
Fylkesgrense
Nedbørsfelt Drammensvassdraget



TEGNFORKLARING

Vannretning

Vannhastighet (m/s)

- 0 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2.0
- 2.0 - 2.5
- > 2.5
- Flomutsatte bygninger
- Bygninger med fare for vann i kjelleren
- Bygninger
- Elv, bekk, vann og sjø
- Tverrprofil med profilnummer
- Oversvømt vei
- Kommunal og privat vei
- Skogsbruksvei
- Riks- og fylkesvei med veinummer
- Gang- og sykkelveg
- Kraftlinje
- Høydekoter med fem meter ekvidistanse

FLOMSONEKART

Prosjekt: Hemsedal

Kartblad Trøym

200-årsflom

Godkjent 12. juni 2014

1:5 000

0 250 m

Koordinatsystem:	UTM 32 og NN1954
Kartgrunnlag	
Situasjon:	Kartverket, FKB 2011
Høydedata:	Kartverket, laserdata 2011
Flomsoneanalyse	
Flomverdier:	NVE notat 19.10.2011
Vannlinjer:	NVE notat 21.02.2013
Terrengmodell:	Juni 2013
GIS-analyse:	Mai 2014
Prosjektrapport:	45/2014
Prosjektnummer:	fs012_7

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT (NVE)

Pb. 5091 Majorstuen, 0301 Oslo
Tlf: 09575 E-post: nve@nve.no
Internett: http://www.nve.no/flomsonekart