

Lillehammer kommune

# Vannstandsberregninger Åretta

2D beregning av delstrekninger

Jernbane - Mjøsa



Oppdragsnr.: 5170818 Dokumentnr.: N-07 Versjon: C02  
2018-02-12

**Oppdragsgiver:** Lillehammer kommune  
**Oppdragsgivers kontaktperson:** Anders Breili  
**Rådgiver:** Norconsult AS, Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika  
**Oppdragsleder:** Steinar Myrabø  
**Fagansvarlig:** Erlend Brochmann  
**Andre nøkkelpersoner:** Henrik Opaker (fagkontroll)

C02	2018-02-12	For gjennomgang hos oppdragsgiver	ErBro	HeOpa	StMyr
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

## Sammendrag

I forbindelse med utarbeidelse av en helhetlig tiltaksplan for elva Åretta i Lillehammer kommune er det utarbeidet hydrauliske 2D beregninger for en del av vassdraget. Vassdragsstrekningen ligger mellom jernbanen og utløpet i Mjøsa.

Vassdragsstrekninger er simulert for en forventet 200-årsflom inkl. klimatillegg på 37 m<sup>3</sup>/s for å vurdere omfang av oversvømmelser av elvas sideterreng, og for å legge grunnlag for vurdering av tiltak på strekningen.

Ved en 200-årsflom i vassdraget forventes bruene på strekningen berørt, Dampsagvegen overtoppet og bebyggelse på begge sider av elva forventes berørt. Det er usikkerheter forbundet med resultatene, men kryssingene ved Dampsagvegen er en flaskehals som forventes å gi overtopping av vegen og føre til at minst 1-2 bolighus vil bli berørt, i tillegg til Dampsagvegn og campingplassen på begge sider av elva.

# Innhold

<b>1</b>	<b>Bakgrunn og hensikt</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Metode og grunnlagsdata</b>	<b>6</b>
2.1	Beskrivelse av analysestrekningen	6
2.2	Kart, terrenggrunnlag og oppmålingsdata	7
2.3	Befaring	7
2.4	Flomdata	7
<b>3</b>	<b>Hydraulisk modell</b>	<b>9</b>
3.1	Generelt	9
3.2	Friksjonsforhold	9
3.3	Grensevilkår	10
3.4	Beregningsmesh og tidssteg	10
3.5	Bygninger og bruer i og langs vassdraget	10
<b>4</b>	<b>Beregningsresultater</b>	<b>15</b>
4.1	Kort beskrivelse av resultatene	15
4.2	Analyseresultater 200-årsflom inkl. klimatillegg	15
4.2.1	Fordeling av flomvannet	15
4.2.2	Vannhastigheter og vanddyb	18
4.2.3	Berørte bygg	20
<b>5</b>	<b>Overslag for kapasiteten til bruene</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Sensitivitet og usikkerhet</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>Referanser</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>Vedlegg</b>	<b>26</b>



# 1 Bakgrunn og hensikt

Rambøll har i 2016 utført hydraulisk modellering og flomanalyser for en vassdragsstrekning i Åretta fra kulvertkryssingen ved Høstmælingsvegen til utløpet i Mjøsa. Rapporten beskriver dimensjonerende flomvannføringer og beregnet hydrauliske kapasitet for elveløpet og kryssinger i elva.

Rambøll har i sin rapport utført 1D-berregninger basert på oppmålte tverrsnitt og lysåpninger på bruer/kulverter. Rapporten fremhever områdene nedstrøms Dampsagvegen (området for campingen ved utløpet til Mjøsa), områdene ved kryssingen ved Høstmælingsvegen og områdene ved Fredrik Collets veg som områder der elva vil flomme over sitt normale løp. Overtopping av kulverter/bruer og elveløpet, som vist i rapporten til Rambøll, vil berøre flere bygg langs elva.

Lillehammer kommune ønsker utarbeidelse av hydrauliske berregninger på enkelte strekninger i forbindelse med utarbeidelse av en helhetlig tiltaksplan for vassdraget. For å kunne vurdere overflateavrenningen på terreng ved overtopping av elveløpet, og vurdere konsekvenser av vann "på avveie" er det ønskelig å utføre 2D berregninger av enkelte vassdragsstrekninger.

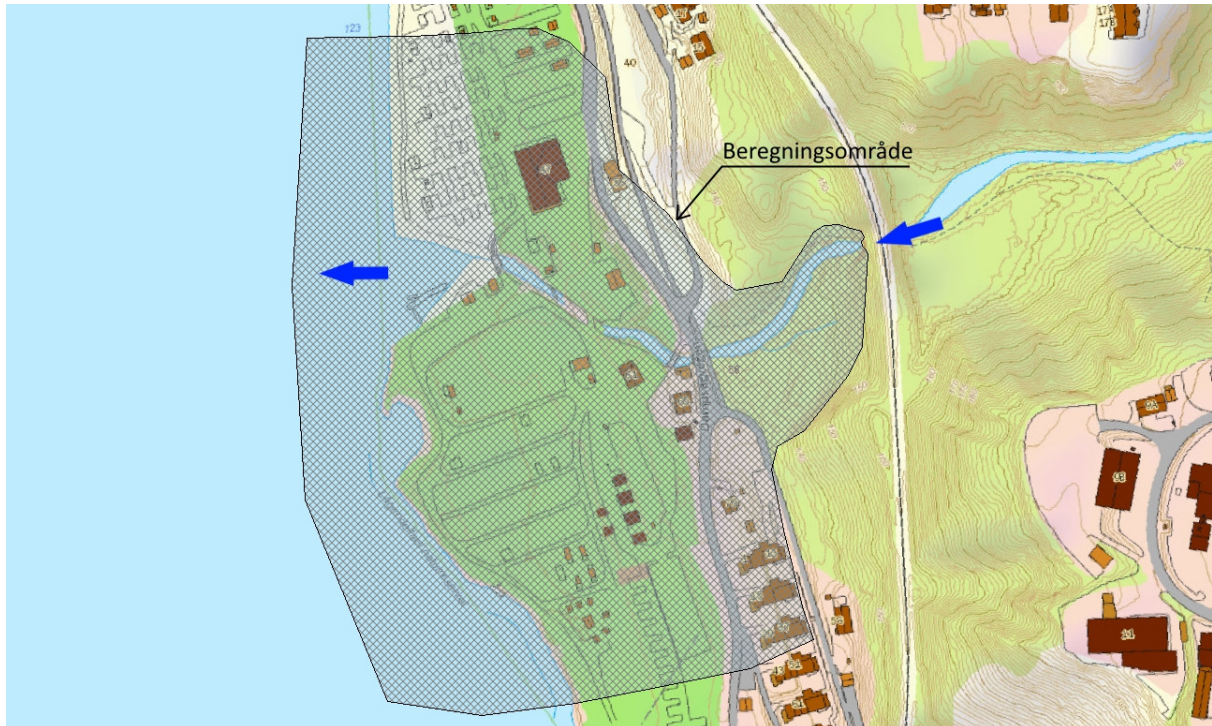
Lillehammer kommune ønsker også at de hydrauliske berregningene utføres med nye og oppdaterte flomvannføringer.

Denne rapporten inngår som en del av hovedrapport Tiltaksplan for Åretta, og tar for seg vassdragsstrekningen mellom utløpet i Mjøsa og jernbanen.

## 2 Metode og grunnlagsdata

### 2.1 Beskrivelse av analysestrekningen

Analysestrekningen ligger i elva Åretta i Lillehammer kommune, i Oppland fylke. Modellen dekker områdene i og langs Åretta fra jernbanen til utløpet i Mjøsa. Analysestrekningen er vist i Figur 1 nedenfor.



Figur 1 - Analyseområde

Elva har en bredde på ca. 4,5-8 m, og en lengde på ca. 300 m på strekningen mellom jernbanen og utløpet i Mjøsa. Gjennomsnittsfallet på strekningen er ca. 11 %. De øverste ca. 50 m av analysestrekningen er bratt (snittfall ca. 30 %), mens resterende del av strekningen er slakere (snittfall ca. 7 %).

Elvebunnen består i hovedsak av stein av varierende størrelse. Elva er på strekningen kanalisert, med sider av mur/tørrmur og enkelte steder betongmurer.

Kommunal veg Kv7016 "Dampsagvegen" og tilhørende gang-/sykkelveg krysser over elva. Nedstrøms Dampsagvegen finnes tre private kryssinger. Alle kryssinger er bruer/kulverter med rektangulære lysåpninger. Det finnes ingen rørkryssinger på strekningen.

Det er åpent lende med gress/eng på begge sider av elva oppstrøms Dampsagvegen. Nedstrøms Dampsagvegen renner elva gjennom en campingplass med åpne plasser og spredt bebyggelse på flomslettene. Bygningstyper som befinner seg på flomslettene nedstrøms Dampsagvegen angis i kartet som 111 (Enebolig), 239 (Lagerbygning), 181 (Garasje/uthus/anneks), 524 (Camping-/utleiehytte) og 136 (Andre småhus med 3 boliger eller flere).

## 2.2 Kart, terrenggrunnlag og oppmålingsdata

Oppdragsgiver har fremskaffet laserdata for analysestrekningen i koordinatsystem EUREF89/WGS84 UTM-32N med vertikaldatum NN2000. Kartdata med det samme koordinatsystemet er fremskaffet etter avtale med oppdragsgiver.

Rapport "LiDAR-rapport, Lillehammerregionen 2014" angir at laserscanningen er utført i perioden 2014-06-17 til 2014-09-03. "Flystripene" i datasettet er nummerert og datert, og stripene som dekker analysestrekningen i Åretta angis å være utført 2014-07-26 og 2014-08-27. Dette innebærer at laserscanningen er utført om lag en måned etter skadefloppen i 2014.

Høydegrunnlaget i siste tilgjengelige elektroniske kartgrunnlag, fremskaffet fra Geovekst, er kontrollert. Dato for datafangst for kotene som dekker nedbørfeltet til Åretta angis til 2014-07-26, 2014-08-27 og 2014-08-29. Tidspunktet korresponderer med datoer for laserscanning.

Rambøll har utført hydrauliske beregninger for deler av analysestrekningen som dekkes av denne rapporten. Oppmålinger av elvetverrsnitt utført av Rambøll i forbindelse med dette arbeidet er fremskaffet av oppdragsgiver. I oppmålingene fra Rambøll er også nivå på bruer og kulverter oppmålt.

På strekningen er selve elveløpet lagt inn fra Rambøll sine innmålinger, mens det for sideterrenget er benyttet laserdata.

Kart- og terrenggrunnlag vil alltid være forbundet med noe usikkerhet, og lokale feil vil kunne forekomme.

## 2.3 Befaring

Befaring av vassdraget utført sammen med oppdragsgiver 16. mai 2017. Bilder fra befaringen er lagret på Norconsult sin oppdragsserver under oppdrag 5170818. Befaringsnotat er vedlagt hovedrapporten som denne rapporten inngår i.

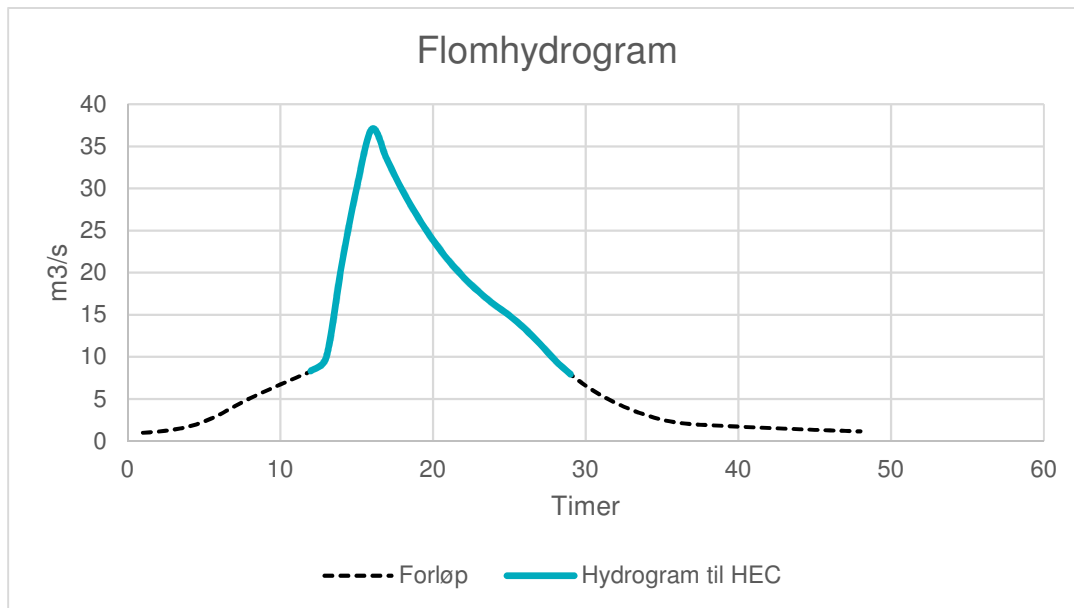
## 2.4 Flomdata

Flomberegning er utført for vassdraget og presenteres i eget notat/rapport, og er vedlagt hovedrapporten som denne rapporten inngår i.

I analysene som beskrives i denne rapporten er det hentet ut et hydrogram fra flomberegningen for en sannsynlig 200-årsflom inkl. 40 % klimatillegg (40 % klimatillegg på spissvannføringen). Varigheten på hydrogrammet er 17 timer, og inneholder vannføringer fra ca. 8 m<sup>3</sup>/s til ca. 37 m<sup>3</sup>/s.

Initialvannføringen benyttet i simuleringene er 10 m<sup>3</sup>/s som antas å tilsvare omtrentlig en middelflom i vassdraget.

Benyttet flomhydrogram er vist i Figur 2.



Figur 2 - Benyttet flomhydrogram

## 3 Hydraulisk modell

### 3.1 Generelt

Det er utarbeidet en hydraulisk modell for vassdraget ved hjelp av programmet HEC-RAS 5.0.3.

HEC-RAS kan utføre både 1D og 2D beregninger. I både 1D og 2D beregninger benyttes ofte en bestemt vannføring eller et flomhydrogram med varierende vannføring i øvre ende av modellen, for å beregne vannstander med tilhørende vannhastigheter og vandekning/utbredelse nedover i vassdraget.

I 1D beregninger benyttes tverrsnitt og vannføringer for å beregne vannstander i elva. I 2D beregninger benyttes et beregningsmesh og en terrengmodell som underlag for beregning av vannstander ved forskjellige vannføringer.

1D modeller er godt egnet der vannet ikke forventes å "spre seg utover" i stor grad, og i hovedsak vil følge elva eller kanalen som betraktes. Der vannet forventes å renne utover større områder (f.eks. gå over sine bredder) og dele seg i flere løp, f.eks. gjennom urbane områder, vil en 2D modell være bedre egnet.

I denne rapporten er det benyttet en 2D modell for å komme frem til resultatene.

### 3.2 Friksjonsforhold

Friksjonsforhold er lagt inn i beregningsmodellen som et eget raster med tilhørende *Mannings n* verdier for ulike typer overflater. Benyttede manningstall er gjengitt i Tabell 1 nedenfor.

Tabell 1 - Benyttede manningstall

Flate	Mannings n
Bygg*	10.000
Elv	0.03
Bolig/camping	0.025
Øvrig terreng/åpne områder	0.05
Veger	0.015
Skog	0.1

\* Bygninger er ikke tatt inn som en del av terrengmodellen. Etter forslag fra HEC benyttes i stedet et høyt manningstall, som i praksis tillater vannstand inne i husene som evt. vil bli berørt, men tilnærmet ingen vannhastighet gjennom huset. Øvrige manningstall er hentet fra *Open-channel hydraulics* (Chow, 1959).

Områdene for de ulike manningstallene er vist i Figur 3.





Figur 3 - Benyttede områder for ulike manningstall

### 3.3 Grensevilkår

Som oppstrøms grensevilkår er flomhydrogram med vannføring 37 m<sup>3</sup>/s (200-årsflom inkl. klimatillegg) benyttet og kjørt i 30 minutter. Helning på energilinja er satt til 0.28, som tilsvarer den gjennomsnittlige helning til elva i oppstrøms ende av analysestrekningen.

Det er også utført kontrollberegninger med vannføring 10 m<sup>3</sup>/s (ca. middelflom) og hele forløpet på 17 timer som angitt i kapittel 0 benyttet.

Nedstrøms grenseverdi er satt til kote + 124.19 m.o.h. som er nivå for 10-årsflom i Mjøsa, hentet fra NVE sine flomsonekart for delprosjekt Lillehammer.

### 3.4 Beregningsmesh og tidssteg

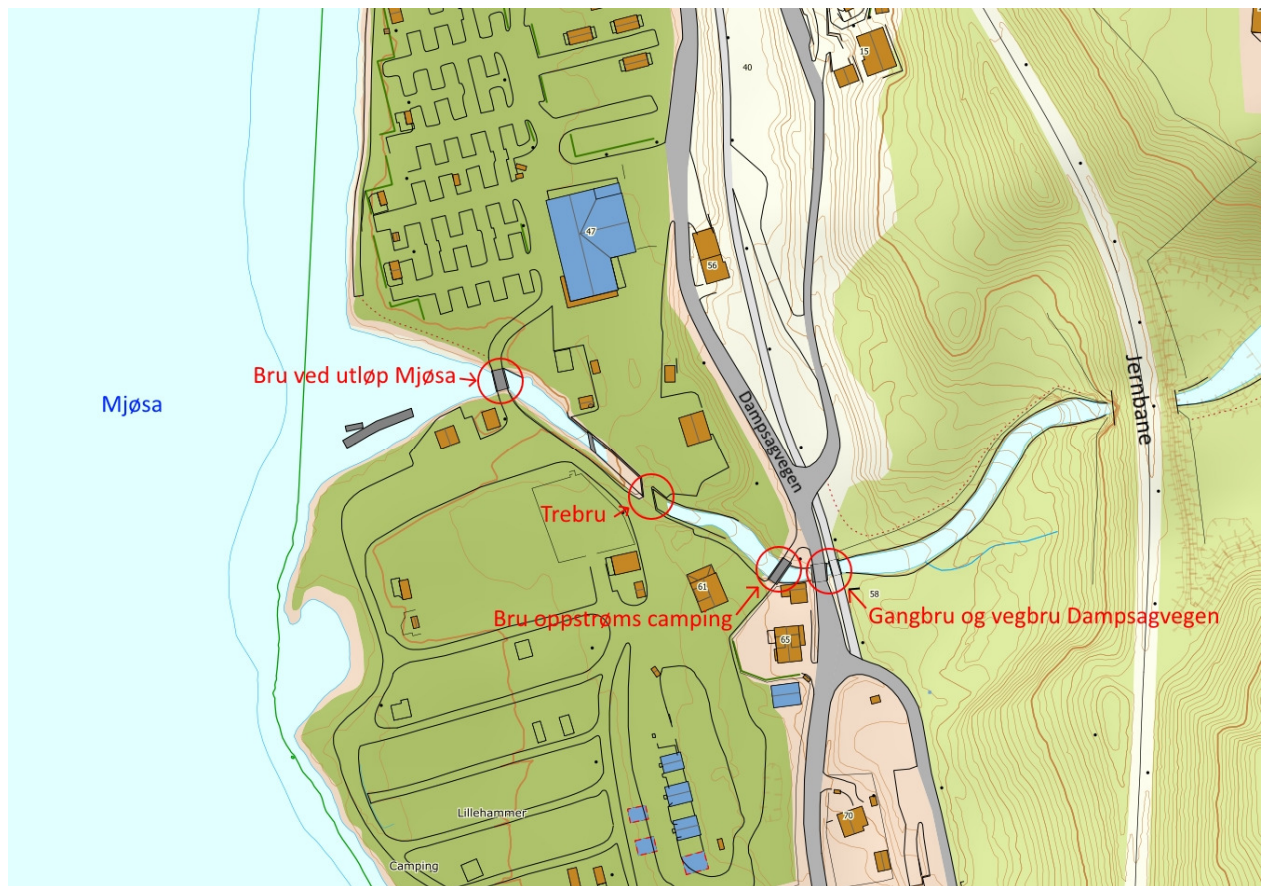
Det er benyttet et beregningsmesh med 2x2 m oppløsning. De største beregnede vannhastighetene i simuleringene er ca. 6 m/s. Det er i iht. HEC-RAS 2D manualen benyttet et tidssteg på 0,2 sek, som gir et Courant nummer på ca. 0,6.

### 3.5 Bygninger og bruer i og langs vassdraget

Oversikt over bruer i analyseområdet er vist i Figur 4. En oversikt over oppmålingsdata er presentert i Tabell 2. Det er ikke mulig å modellere bruer direkte i 2D modellen. For å simulere bruer er det derfor lagt inn luker som representerer bruene.

Tabell 2 – Oppmålingsdata for bruene

Kryssing	Type	Høyde/ diameter (m)	Bredde (m)	Oppstrøms bunnivå (m.o.h.)	Nedstrøms bunnivå (m.o.h.)	Lengde (m)
Utløp Mjøsa	Bru/boks	2.10	6.20	121.57	121.49	4.50
Trebru camping	Bru/boks	1.80	5.80	124.87	124.84	4.50
Bru oppstrøms camping	Bru/boks	1.58	7.00	128.35	128.35	3.50
Bru Dampsagvegen	Bru/boks	1.20	4.20	129.80	129.00	5.50
Gangbru Dampsagvegen	Bru/boks	2.00	4.30	129.80	129.78	3.50



Figur 4 - Oversikt over bruer i modellen

For modellering av bruene som luker er det gjort justeringer av lukeåpningene og c-faktoren for lukene. Vannstandene i 2D modellen er grovt kalibrert mot en 1D modell for bruene ved en vannføring på 10 m<sup>3</sup>/s (tilsvarende ca. middelflom). Ved denne vannføringen overtoppes ikke elveløpet, og det antas derfor at 2D effekter i beregningen vil være mindre. Oppstrøms og nedstrøms luka som representerer brua er terrenget basert på oppmålingsdata for elveløpet.

Benyttede data for bruene i 2D modellen er oppsummert i Tabell 3.



Tabell 3- Benyttede data for luker som representerer bruer

Kryssing	Type	Høyde/ diameter (m)	Bredde (m)	Bunnivå (m.o.h.)	C luke	C overløp
Utløp Mjøsa	Luke	2.10	6.20	121.60	0.80	1.70
Trebru camping	Luke	1.80	7.65	124.90	0.80	1.70
Bru oppstrøms camping	Luke	1.58	7.80	128.35	0.80	1.70
Bru Dampsagvegen	Luke	1.20	5.90	129.80	0.80	1.70
Gangbru Dampsagvegen	Luke	2.00	4.50	129.83	0.80	1.70



Figur 5 – Bru ved utløpet til Mjøsa (bildet tatt fra nedstrøms side)





Figur 6 – Trebru ved camping (bildet tatt fra oppstrøms side)



Figur 7 – Bru oppstrøms camping (bildet tatt fra nedstrøms side)





Figur 8 - Bru Dampsagvegen (bildet tatt fra nedstrøms side)



Figur 9 - Gangbru ved Dampsagvegen (bildet tatt fra oppstrøms side)



## 4 Beregningsresultater

### 4.1 Kort beskrivelse av resultatene

Elveløpet i analyseområdet forventes å ha kapasitet til å ta unna en middelflom (ca.  $Q_m = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ ) uten overtopping av kanalen eller at bruene berøres. Med nedstrøms grensebetingelse, vannstand ved 10-årsflom i Mjøsa = 124,19 m.o.h., er brua ved utløpet til Mjøsa allerede berørt av vannstanden i Mjøsa. Overlag for kapasiteten til denne brua ved HRV (ca. 123 m.o.h.) er ca. 26  $\text{m}^3/\text{s}$ . Vannstanden i Mjøsa er i stor grad utslagsgivende for kapasiteten til denne brua.

Ved ca. 17  $\text{m}^3/\text{s}$  vannføring overtoppes Dampsagvegen og vann begynner å renne ut på sideterreng og ned mot campingen på høyre side (nordsiden) av elva. Ved 17-18  $\text{m}^3/\text{s}$  begynner vannet også å renne sørover mot bebyggelsen og campingplassen på venstre side av elva.

Ved vannføring 37  $\text{m}^3/\text{s}$  (200-årsflom inkl. klimatillegg) forventes alle bruer berørt. Dampsagvegen forventes berørt og bebyggelse på begge sider av elva forventes berørt.

### 4.2 Analyseresultater 200-årsflom inkl. klimatillegg

Under oppsummeres resultatene fra analysen av en 200-årsflom inkl. klimatillegg med en vannføring på 37  $\text{m}^3/\text{s}$ . De viktigste resultatene presenteres kort for bruk i senere faser av oppdraget.

Beregningsresultatene som presenteres i det etterfølgende er forbundet med usikkerhet. Beregning av bruer som luker antas å overestimere vannstanden ved kryssingene, og gi høyere grad av overtopping enn det som antas å være reelt. Resultatene som presenteres nedenfor antas å være konservative, og en gjennomgang og forklaring av usikkerhetene er gjengitt i kapittel. 6.

#### 4.2.1 Fordeling av flomvannet

Basert på vannføringene fra 2D simuleringen presenteres her hvor, og ca. hvor mye vann som forventes å kunne renne i elva og på sideterreng i analyseområdet ved utvalgte profiler. Vannføringene ved tilhørende profiler er vist i Tabell 4, og plassering av tverrprofilene er vist i Figur 10. Figur 10 er også vedlagt til slutt i rapporten i A3 format.

Oppsummeringene av vannføringene antas konservativ da bruene er modellert som luker, og antas å overestimere vannstandene og grad av overtopping ved kryssingene. Ved kjøring av modellen uten bruene reduseres vannføringene på terrenget, og mere av flommen går i elva.

Tabell 4 - Vannføring ved 200-årsflom inkl. klimatillegg ved utvalgte profiler

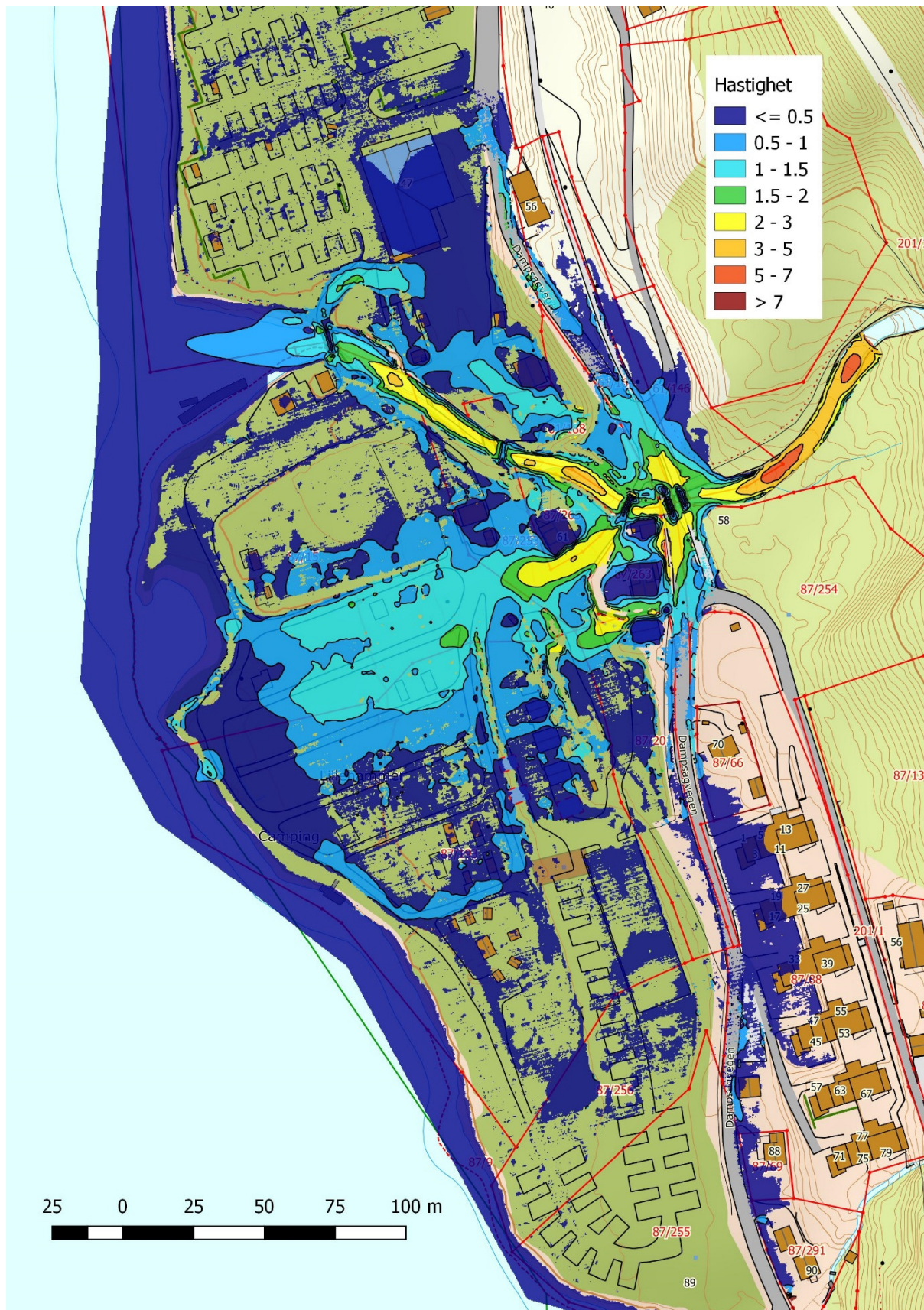
Pr. nr.	Ca. vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Beskrivelse
0	37.0	Vannføring i elva oppstrøms Dampsagvegen
1	1.8	Vannføring i/langs Dampsagvegen på høyre side av elva (mot nord)
2	28.9	Vannføring i elva oppstrøms trebrua ved campingen
3	0.4	Vannføring i/langs Dampsagvegen på høyre side av elva mot bebyggelse (mot sør)
4	5.8	Vannføring på terreng på høyre side av elva mot bebyggelse og camping (mot sør)
5	1.7	Vannføring på terreng på høyre side av elva mot camping
6	0.9	Vannføring fra camping tilbake mot elva ved brua ved utløpet til mjøsa
7	28.8	Vannføring i elva
8	0.1	Vannføring på terreng på venstre side av elva
9	5.9	Vannføring gjennom campingområdet på venstre side av elva (sørsiden)
10	30.8	Vannføring i elva ved utløpet i Mjøsa
11	0.1	Vannføring langs Dampsagvegen (mot sør)



Figur 10 - Utvalgte tverrprofiler for 200-årsflom inkl. klimatillegg (blått felt viser flomutbredelse)

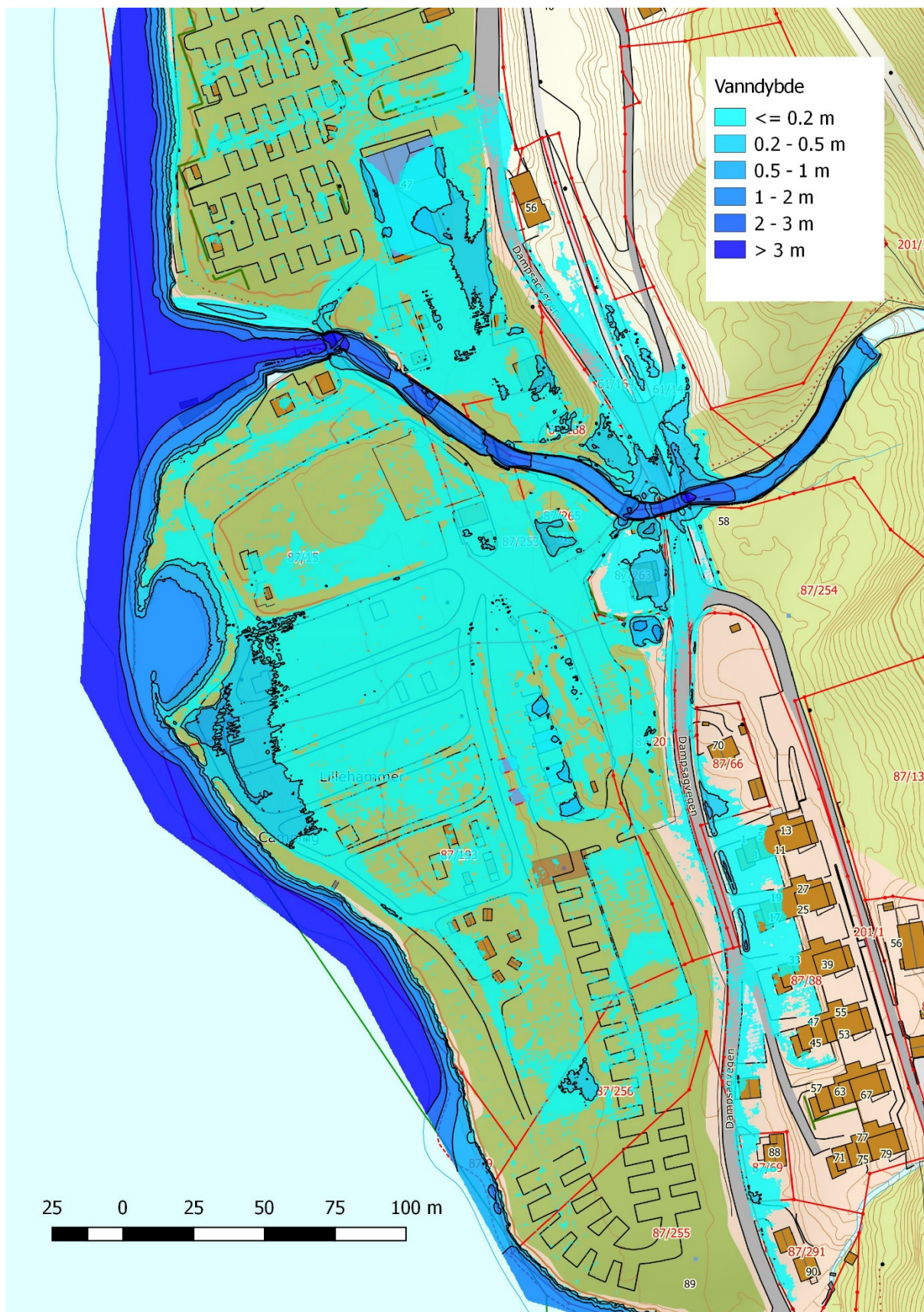


### 4.2.2 Vannhastigheter og vanddyb



Figur 11- Vannhastigheter ved 200-årsflom inkl. klimatillegg





Figur 12 - Vanndybder ved 200-årsflom inkl. klimatillegg

### 4.2.3 Berørte bygg

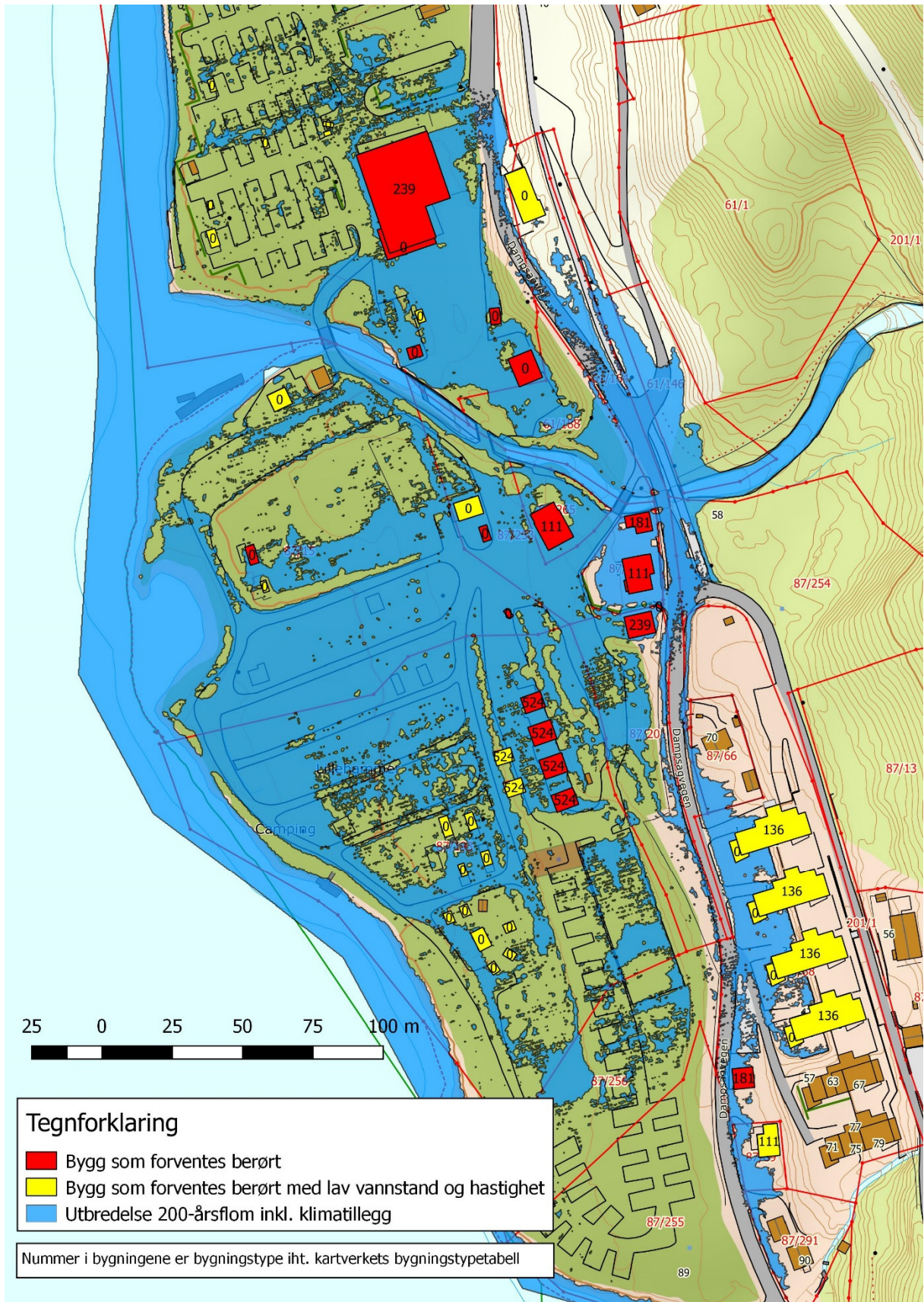
Det er utført et overslag for antall bygg som kan bli berørt ved en 200-årsflom inkl. klimatillegg. Berørte bygg er basert på flomutbredelsen, samt en vurdering av vannstand og vannhastighet ved de berørte byggene. Bygg som forventes berørt er vist i Figur 13 og Tabell 5. Figur 13 er også vedlagt i A3 format i slutten av rapporten.

Estimatet for berørte bygg er forbundet med usikkerhet, men er medtatt for å gi et overslag for forventede konsekvenser av en 200-årsflom i analyseområdet.

Tabell 5 - Berørte bygg ved 200-årsflom inkl. klimatillegg

Bygg som forventes berørt		
Bygningstype	Antall (stk)	Forklaring bygningstype
0	9	Annen bygning/ikke listet
111	2	Enebolig
181	2	Garasje, uthus, anneks knyttet til bolig
239	2	Annen lagerbygning, eller bygning som har nær tilknytning til/tjener slik(e) bygning-(er)
524	4	Camping-/utleiehytte
Bygg som forventes berørt med lav hastighet (<0,5 m/s) og lav vannstand (<0,2 m)		
Bygningstype	Antall (stk)	Forklaring bygningstype
0	26	Annen bygning/ikke listet
111	1	Enebolig
136	4	Andre småhus med 3 boliger eller flere
524	2	Camping-/utleiehytte





Figur 13 - Berørte bygg ved 200-årsflom inkl. klimatillegg

## 5 Overslag for kapasiteten til bruene

Kapasiteten til bruene kan ikke beregnes direkte i 2D modellen. Som et overslag for forventet kapasitet ved berøring av underkant av brudekkeprogrammet HY-8 benyttet som et nedre konservativt estimat. Bruberegningene fra 1D modellen satt opp i HEC-RAS er også medtatt for sammenligning. I 1D modellen er strømmingen overkritisk gjennom trebrua og brua i oppstrøms ende av camping, og beregnet kapasitet dermed betydelig høyere enn kapasiteter beregnet med HY-8. Også for øvrige kryssinger gir HY-8 en betydelig lavere kapasitet enn HEC-RAS. Reel kapasitet er vanskelig å bestemme, da elva har kurver på strekninger og overhøyde i yttersvingen ikke hensyntas i 1D beregninger. Forventet kapasitet antas å ligge mellom verdiene beregnet i HY-8 og HEC-RAS 1D modell.  $Q_{berørt}$  i tabellen er vannføringen som gir en vannstand like oppstrøms brua som er i nivå med underkant av brudekket.

Tabell 6 - Overslag kapasiteter for bruer

Kryssing	Type	$Q_{berørt}$ HY-8 (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{berørt}$ HEC-RAS 1D (m <sup>3</sup> /s)
Utløp Mjøsa*	Bru/boks	26.00	-
Trebru camping	Bru/boks	19.00	> 37
Bru oppstrøms camping	Bru/boks	14.00	> 37
Bru Dampsagvegen	Bru/boks	7.50	14.00
Gangbru Dampsagvegen	Bru/boks	17.00	25.50

\*Kapasiteten gjennom brua ved utløpet til Mjøsa er i stor grad styrt av vannstanden i Mjøsa, i tabellen er det gjort et overslag for kapasiteten ved HRV i Mjøsa (ca. kt. + 123 m.o.h.).



## 6 Sensitivitet og usikkerhet

For tiden finnes det ingen metoder som er utviklet for å beregne bruer i 2D områder i HEC-RAS. Der dimensjonerende vannføring ikke når opp til underkant av brudekket vil bruene kunne modelleres ved bruk av terrengmodellen direkte. I tilfeller der brudekket blir dykket og/eller overtoppet vil brua kunne gi oppstuvinger i elva, og modellering av bruene vil derfor være av betydning for resultatene.

Det sistnevnte er tilfellet i berregningene utført ifm. denne rapporten. For å hensynta virking av bruene anbefales det at bruene legges inn som kulverter eller luker, for deretter å kalibrere vannstandene mot 1D berregninger av bruene (Goodell, 2016).

I berregningene utført ifm. denne rapporten er bruene lagt inn som luker, og 2D modellen kalibrert så langt som mulig mot vannstander berregnet i en 1D modell ved vannføring  $Q_m$  (årsflom). Berregnede vannstander ved  $Q_m$  overtopper ikke kanalen og berører ikke bruer verken i 1D eller 2D simuleringene, og det antas at 2D effekter vil gi mindre innvirkning på resultatene. Elvas kurvatur gir allikevel noe utslag på vannstandene i 2D da overhøyden i ytterkuren berregnes ved 2D, mens 1D gir en horisontal vannflate i hvert profil.

$Q_m$  er for øvrig også den eneste berregnede flommen i Rambøll sin 1D modell som ikke gir overtopping av bruene ved Dampsagvegen.

Ved berregning av en 200-årsflom inkl. klimatillegg i analyseområdet uten bruer (kun terreng) får vi fremdeles overtopping av elva ved bruene ved Dampsagvegen. Overtoppingene resulterer dog i lavere vannføringer på terrenget på hver side av elva og større vannføring i elva enn berregningen der bruene er lagt inn som luker. I berregninger uten bruer er tverrsnittene ved bruene noe større enn de oppmålte tverrsnittene, og forventes å gi større kapasitet i elva enn det som er reelt. Videre vil bruene gi en oppstuvings effekt, dog antatt lavere enn den som berregningsresultatene for bruer lagt inn som luker presenterer. Bruene lagt inn som luker gir en vannstandsøkning lokalt på ca. 0,5 – 0,8 m sammenlignet med vannstander i modellen uten bruer.

Ved berregningen uten bruer oppnås en vannføring på ca. 1,4 m<sup>3</sup>/s på terrenget ved Dampsagvegen mot sør (i profil 4) vs. ca. 5,4 m<sup>3</sup>/s i modellen der bruene er lagt inn som luker. Mot nord (i profil 1) gir berregningen uten bruer ca. 0,15 m<sup>3</sup>/s vs. ca. 1,8 m<sup>3</sup>/s i berregningen der bruene er lagt inn som luker. I elva nedstrøms bruene gir berregningen uten bruer ca. 35 m<sup>3</sup>/s vs. ca. 29 m<sup>3</sup>/s i berregningen med bruer modellert som luker. Forskjellene er ikke ubetydelige. Graden av overtopping ved en 200-årsflom inkl. klimatillegg er vanskelig å fastsette, men forventes å ligge mellom ytterpunktene beskrevet ovenfor.

Det er allikevel tydelig at bruene ved Dampsagvegen er en flaskehals som forventes å føre til overtopping av vegen slik at minst 1-2 bolighus vil bli berørt ved en 200-årsflom inkl. klimatillegg, i tillegg til Dampsagvegen.

Resultatene fra den mest konservative berregningen er presentert i denne rapporten som et øvre, konservativt estimat.

Det er utført en sensitivitetsanalyse for manningstall ved å øke mannings  $n$  med 20 %. Økningen gir maksimalt ca. 5 cm vannstandsstigning i analyseområdet enkelte steder. I store deler av analyseområdet ligger vannstandsøkningen, som resultat av økte manningstall, på mellom 0 og 2 cm.

Ved lave vannstander vil resultatene være usikre da vannstandene som berregnes tar utgangspunkt i den underliggende terrengmodellen. Evt. feil i terrengmodellen, eller terrengformasjoner som er så små at de ikke fanges opp eller utjevnes ved interpolering av laserpunktene som terrengmodellen generes fra, vil kunne gi feil i resultatene.

Evt. endring av profiler eller terrenget som resultat av erosjon/sedimentering er ikke hensyntatt i berregningene. Berregningene forutsett at alle bruer og kulverter er frie for eventuelle tilstoppinger. Tilstopping av bruer og kulverter vil gi høyere vannstander oppstrøms kryssingene og større grad av

vann på sideterrenget. Brurekkverkene og evt. tilstopping av brurekkverk er ikke hensyntatt i beregningene. Evt. påvirkning fra is i vassdraget er ikke hensyntatt i beregningene.

Usikkerhetene forbundet med overtoppingen av vassdraget og bruene som er beskrevet ovenfor kan reduseres i arbeidet med forslag til tiltak i analyseområdet. Ved tiltak som hindrer overtopping kan elvestrekningen modelleres i 1D, hvor brumodelleringen er vesentlig enklere.

## 7 Referanser

Brunner, G. W. (2016). *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual*. US ARMY CORPS OF ENGINEERS HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER (HEC).

Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw Hill Book Company.

FHWA. (2012). *HYDRAULIC DESIGN OF HIGHWAY CULVERTS*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Goodell, C. (2016, May). *The RAS Solution*. Hentet fra <http://hecrasmodel.blogspot.no/>:  
<http://hecrasmodel.blogspot.no/2016/05/bridges-in-2d-important-update.html>

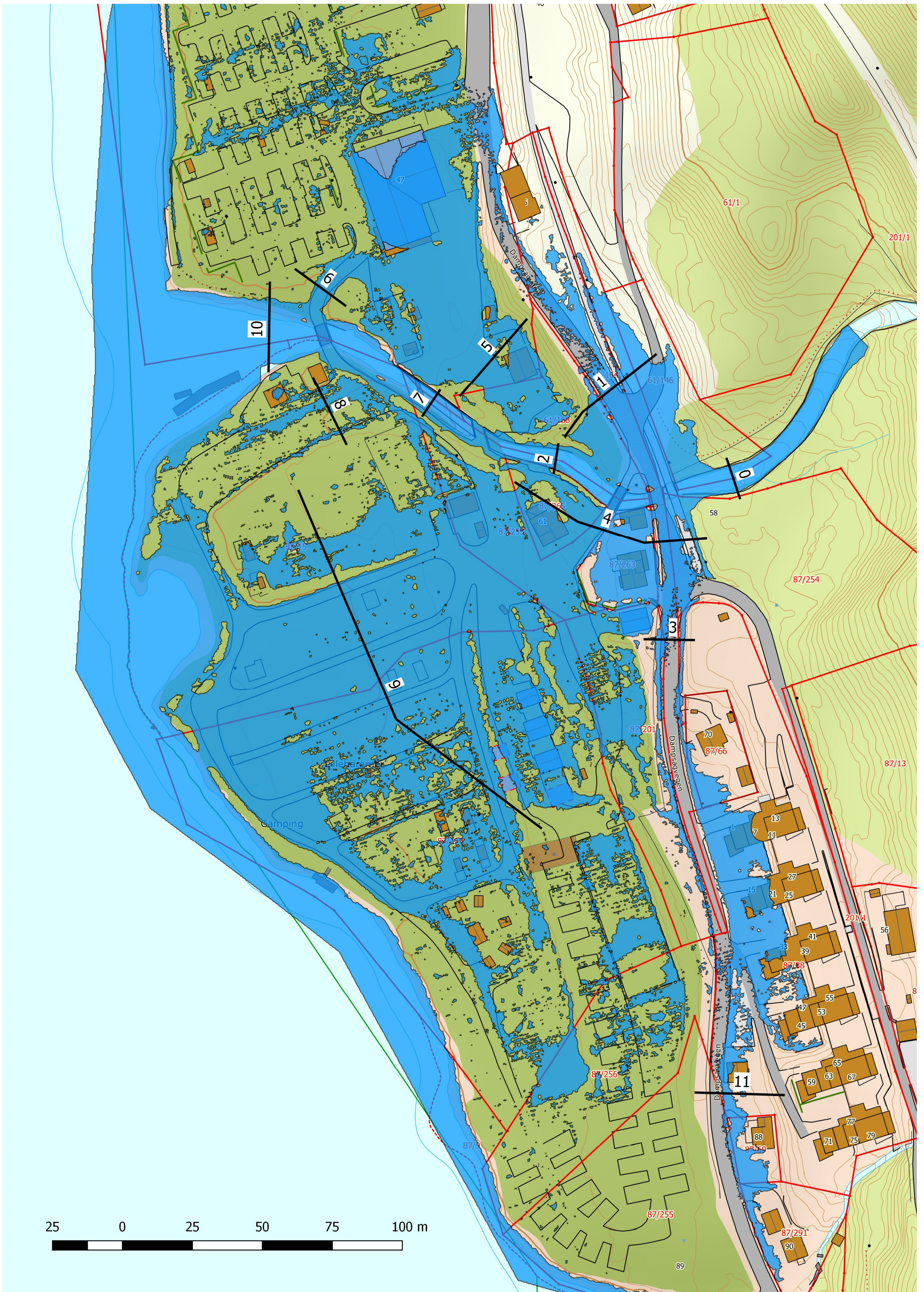
Rambøll. (2016). *Flomanalyser av Åretta fra Høstmælingsvegen til utløp i Mjøsa*.

## 8 Vedlegg

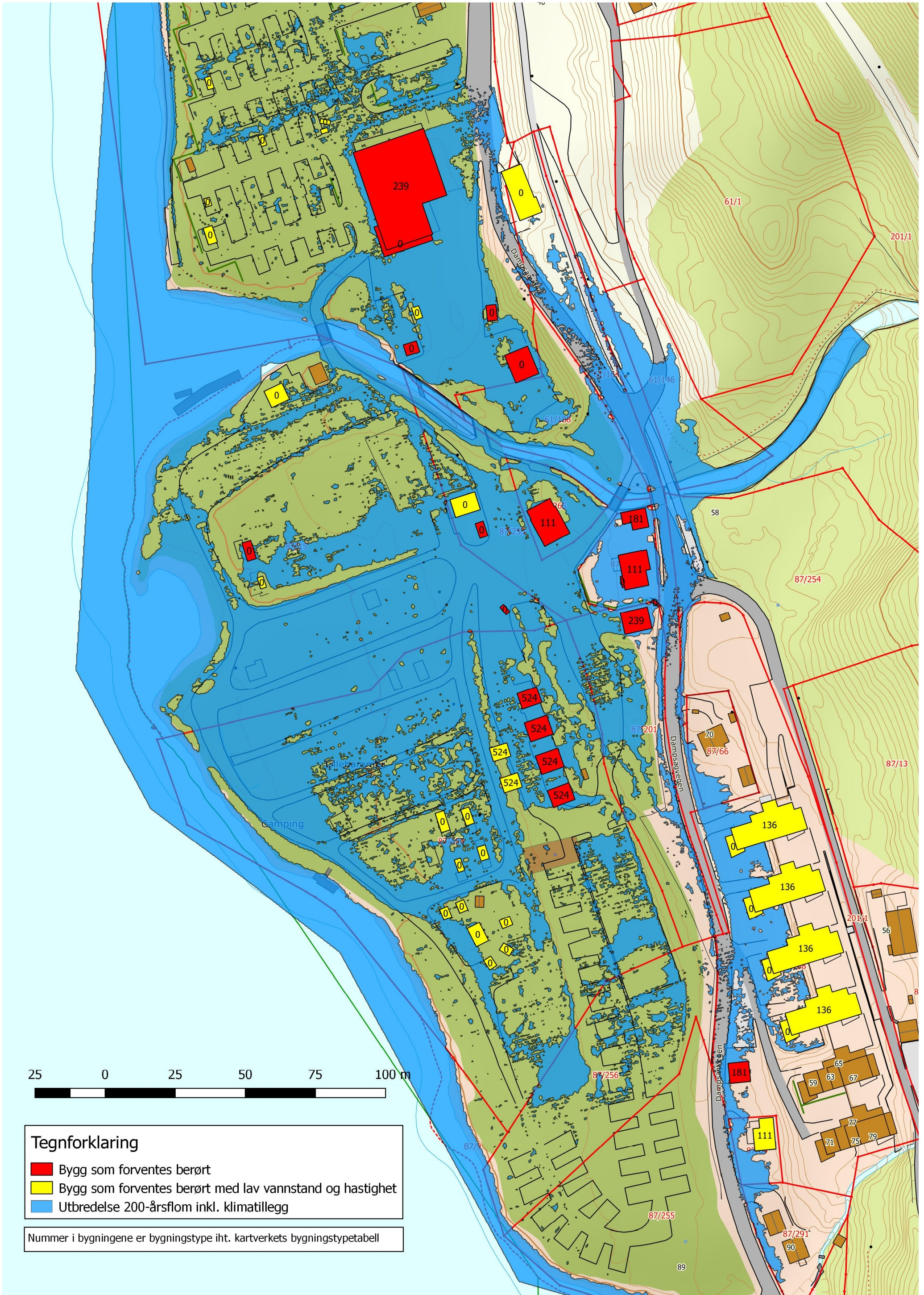
1 – Tverrprofiler og vanndekning for 200-årsflom inkl. klimatillegg

2 – Berørte bygg og vanndekning for 200-årsflom inkl. klimatillegg









25 0 25 50 75 100 m

- Tegnforklaring**
- Bygg som forventes berørt
  - Bygg som forventes berørt med lav vannstand og hastighet
  - Utbredelse 200-årsflom inkl. klimatillegg

Nummer i bygningene er bygningstype iht. kartverkets bygningstypetabell