

NVE Region Øst

## ► Flomsikring av Otta sentrum

Utredning av flomfare fra Gudbrandsdalslågen og Otta ved Otta sentrum

Oppdragsnr.: 52303409 Dokumentnr.: RIH-RAPP-002 Versjon: J02 Dato: 2024-02-07



## Flomsikring av Otta sentrum

Utredning av flomfare fra Gudbrandsdalslågen og Otta ved Otta sentrum  
Oppdragsnr.: 52303409 Dokumentnr.: RIH-RAPP-002 Versjon: J02

**Oppdragsgiver:** NVE Region Øst  
**Oppdragsgivers kontaktperson:** Grete Hedemann Aalstad  
**Rådgiver:** Norconsult AS, Klæbuveien 127 B, NO-7031 Trondheim  
**Oppdragsleder:** Ingrid Buvarp Aardal  
**Fagansvarlig:** Carolina Frias Uribe  
**Andre nøkkelpersoner:** Anne Vea

J02	2024-02-07	For bruk	Anne Vea	Carolina Frias Uribe	Ingrid Buvarp Aardal
B01	2023-11-14	For kommentar fra oppdragsgiver	Anne Vea	Carolina Frias Uribe	Ingrid Buvarp Aardal
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult 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.

## ► Sammen drag

Til prosjektering av flomsikringstiltak for Otta sentrum er det satt opp en ny hydraulisk modell som beregner flomutbredelse ved flom i Otta og Gudbrandsdalslågen (heretter omtalt som Lågen). Modellen er kalibrert mot observasjoner under ekstremværet Hans i august 2023. Den kalibrerte modellen er benyttet til å beregne flomvannstander ved 20-, 200- og 1000-årsflom (inkl. 20% klimapåslag) i dagens situasjon. Det er utarbeidet flomsonekart (vedlegg 3) for oppgitte gjentaksintervall. I tillegg er flomvannstand ved 200-årsflom (inkl. klimapåslag) beregnet for en fremtidig situasjon med sikring.

Modellen gir vesentlig høyere vannstander ved 200-årsflom enn tidligere beregninger utført i 2017 og 2020. Det er ikke funnet én enkeltårsak som forklarer avvikene. Antakelig skyldes det en kombinasjon av flere forhold. Grunnlaget for kalibrering er ganske ulikt. I tillegg er det benyttet ulike tilnærminger ved modellering, både når det kommer til beregningsverktøy og grensebetingelser.

Ved prosjektering skal det legges til 20 % klimapåslag på vannføringene. For 200-årsflom tilsvarer påslaget ca. 400 m<sup>3</sup>/s. Ved 200-årsflom med klimapåslag er store deler av Otta sentrum oversvømt, inkludert områder på sørsiden av samløpet og enkelte strekninger av E6 på østsiden av Lågen.

Denne rapporten oppsummerer grunnlag for modellen, kalibrering, beregningsresultater og avvik fra tidligere beregninger. Beregnede flomsoner refererer til overflatevann fra flom i hovedelvene. Oversvømmelse som følge av nedbør direkte på terreng, høy grunnvannstand, overvannsproblematikk eller flom fra Kleivrudbekken er ikke vurdert i denne rapporten.

Utredningen er utført iht. NVE-veileder 3-2022; Sikkerhet mot flom [1].

## Innhold

<b>1</b>	<b>Hydrologisk grunnlag</b>	<b>5</b>
1.1	Flomverdier for flomsikring av Otta sentrum	5
1.2	Flomvannføring under ekstremværet Hans i august 2023	5
1.3	Observerte flomvannstand under ekstremværet Hans	10
<b>2</b>	<b>Grunnlag for vannlinjeberegning</b>	<b>15</b>
2.1	Modell	15
2.2	Terrenggrunnlag	15
2.2.1	<i>Forutsetninger for vannlinjeberegning</i>	15
2.2.2	<i>Kjente terrengendringer som ikke inngår i grunnlag for vannlinjeberegning</i>	17
2.2.3	<i>Massetransport i vassdraget</i>	17
2.3	Friksjonsforhold i modellen (Manningstall)	24
2.4	Bruer og kulverter i modellen	25
2.5	Grensebetingelser i 2D-modell	28
2.5.1	<i>2D beregningsområde</i>	28
2.5.2	<i>Øvre grensebetingelse – vannføring inn i modellen</i>	30
2.5.3	<i>Nedre grensebetingelse – kapasitetskurve oppstrøms Sjøa jernbanebru</i>	30
2.6	Kalibrering av 2D-modell	37
2.6.1	<i>Kalibrering mot 2023-flom</i>	37
2.6.2	<i>Sammenlikning med kalibrering fra 2017 og 2020</i>	38
<b>3</b>	<b>Resultater fra vannlinjeberegning</b>	<b>40</b>
3.1	200-årsflom i dagens situasjon	40
3.2	200-årsflom i dagens situasjon – sammenlikning med tidligere beregninger	42
3.3	200-årsflom (inkl. 20% klimapåslag) til dimensjonering av flomsikring	44
3.4	Flomutsatte områder og berørt infrastruktur	47
3.5	Sensitivitetsanalyse	48
3.6	Oppsummering av usikkerheter	48
3.7	Anbefalt sikkerhetspåslag	49
<b>4</b>	<b>Konklusjon og videre arbeid</b>	<b>50</b>
4.1	Konklusjon	50
4.2	Videre arbeid	50
<b>5</b>	<b>Referanser</b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b>Vedlegg</b>	<b>53</b>

# 1 Hydrologisk grunnlag

## 1.1 Flomverdier for flomsikring av Otta sentrum

Til flomsikring av Otta sentrum tas det utgangspunkt i 200-årsflom ( $Q_{200}$ ) som beregnet av NVE i «Flomberegning Gudbrandsdalsvassdraget» i 2015, tabell 28 i [2]. Flomverdier er vist i Tabell 1. For å håndtere samløpsproblematikk utføres beregninger for to ulike kombinasjoner av vannføring i Otta og Lågen, med 200-årsflom nedstrøms samløpet i begge tilfeller. I «belastningstilfelle 1» er det kulminasjonsflom i Lågen og mindre flom i Otta. I «belastningstilfelle 2» er det omvendt.

Ifølge flomberegningen har man ved 1000-årsflom ( $Q_{1000}$ ) i Otta en 200-årsflom ( $Q_{200}$ ) i Lågen og nedstrøms samløpet. Ved 1000-årsflom i Lågen har man 200-årsflom i Otta, og 700-årsflom nedstrøms samløpet.

Til dimensjonering av tiltak skal det benyttes vannføringer med 20% klimapåslag. Mesteparten av bebyggelsen på Otta faller inn under sikkerhetsklasse F2 i TEK17, med krav til sikkerhet mot 200-årsflom. Ved detaljprosjektering av flomsikringen vil det vurderes om noen bygg/områder bør sikres mot 1000-årsflom iht. sikkerhetsklasse F3. Høyeste sikkerhetsklasse omfatter bl.a. bygg for sårbare grupper av befolkningen og bygg som skal fungere i lokale beredskapssituasjoner.

Tabell 1 Kulminasjonsvannføring ved Otta sentrum, for ulike gjentaksintervall. Belastningstilfelle 1 og 2 har samme vannføring nedstrøms samløpet, men ulik vannføring i Lågen og Otta. I tilfelle 1 har Lågen kulminasjonsflom, mens Otta har lavere vannføring enn kulminasjonsflom. I tilfelle 2 har Otta kulminasjonsflom, mens Lågen har lavere vannføring enn kulminasjonsflom.  $Q_{20}$ ,  $Q_{200}$  og  $Q_{1000}$  er hentet fra NVEs «Flomberegning Gudbrandsdalsvassdraget» [2].

Belastningstilfelle	Vannføring Lågen v/ Otta sentrum (m <sup>3</sup> /s)	Vannføring Otta v/ Otta sentrum (m <sup>3</sup> /s)	Sum nedstr. samløp (m <sup>3</sup> /s)
1. 1,2x $Q_{20}$ (kulm. i Lågen)	779	1009	1788
2. 1,2x $Q_{20}$ (kulm. i Otta)	583	1188	1771
1. $Q_{200}$ (kulm. i Lågen)	888	1181	2069
2. $Q_{200}$ (kulm. i Otta)	693	1390	2083
<b>1. 1,2x<math>Q_{200}</math> (kulm. i Lågen)</b>	<b>1067</b>	<b>1417</b>	<b>2484</b>
<b>2. 1,2x <math>Q_{200}</math> (kulm. i Otta)</b>	<b>832</b>	<b>1668</b>	<b>2500</b>
1. 1,2x $Q_{1000}$ (kulm. i Lågen)	1266	1669	2935
2. 1,2x $Q_{1000}$ (kulm. i Otta)	1038	1964	3002

Flomverdiene i Tabell 1 ble beregnet i 2015. Rosten kraftverk med dam Rosten ble satt i drift i 2018. Norconsult har tidligere utarbeidet flomberegningene for dam Rosten [3]. Magasinarealet er ubetydelig. Til flomberegningene er det forutsatt at avløp er lik tilløp. Ettersom det ikke er demping i magasinet, påvirker ikke dam Rosten flomverdiene ved flom i Lågen.

## 1.2 Flomvannføring under ekstremværet Hans i august 2023

Otta sentrum ble rammet av flom under ekstremværet Hans i august 2023. Flomhendelsen er benyttet til å kalibrere den hydrauliske modellen som er utgangspunkt for dimensjonering av flomsikringen.

Utgangspunkt for vannføring er registrerte data ved vannmerkene 2.1235 Rosten total i Lågen og 2.25 Lalm i Otta. Vannmerke 2.614 Rosten ble benyttet til flomberegning i 2015, men ligger nå på minstevannstrekningen nedstrøms dam Rosten etter at kraftstasjonen ble satt i drift i 2018.

Det har vært noe usikkerhet omkring data fra vannføringsmålingene for vannmerke 2.1235 Rosten total fra [www.sildre.no](http://www.sildre.no) og DAGUT. Norconsult har vært i kontakt med hydrologer hos Hafslund Eco vannkraft. I

regulantens beregning er døgnmiddel vannføring i Lågen ved Rosten 432 m<sup>3</sup>/s i kulminasjonsdøgnet 9. august. Med kulminasjonsfaktor 1,15 (fra NVEs flomberegning), svarer det til en kulminasjonflom på 497 m<sup>3</sup>/s. I timesdata fra Sildre kulminerte flommen med 506-507 m<sup>3</sup>/s den 9. august. Ettersom det er godt samsvar mellom regulantens verdier og data fra Sildre, er målte timesverdier fra Sildre benyttet til kalibrering.

Serie 2.1235 versjon 99 i DAGUT har flomverdi på ca. 800 m<sup>3</sup>/s under Hans, men det er ukjent hvordan vannføringen er beregnet. Versjon 99 stemmer ikke overens med regulantens data, og vektlegges ikke i kalibreringen.

For vannføring i Otta benyttes timedata fra Sildre for vannmerke 2.25 Lalm, hvor kulminasjonsvannføring på ca. 985 m<sup>3</sup>/s er registrert om ettermiddagen 9. august.

Det er tatt høyde for restfelt mellom vannmerkene og Otta sentrum gjennom skaleringsfaktor 1,01 for Lalm og 1,064 for Rosten (samme faktorer som NVE benyttet i 2015-flomberegningen).

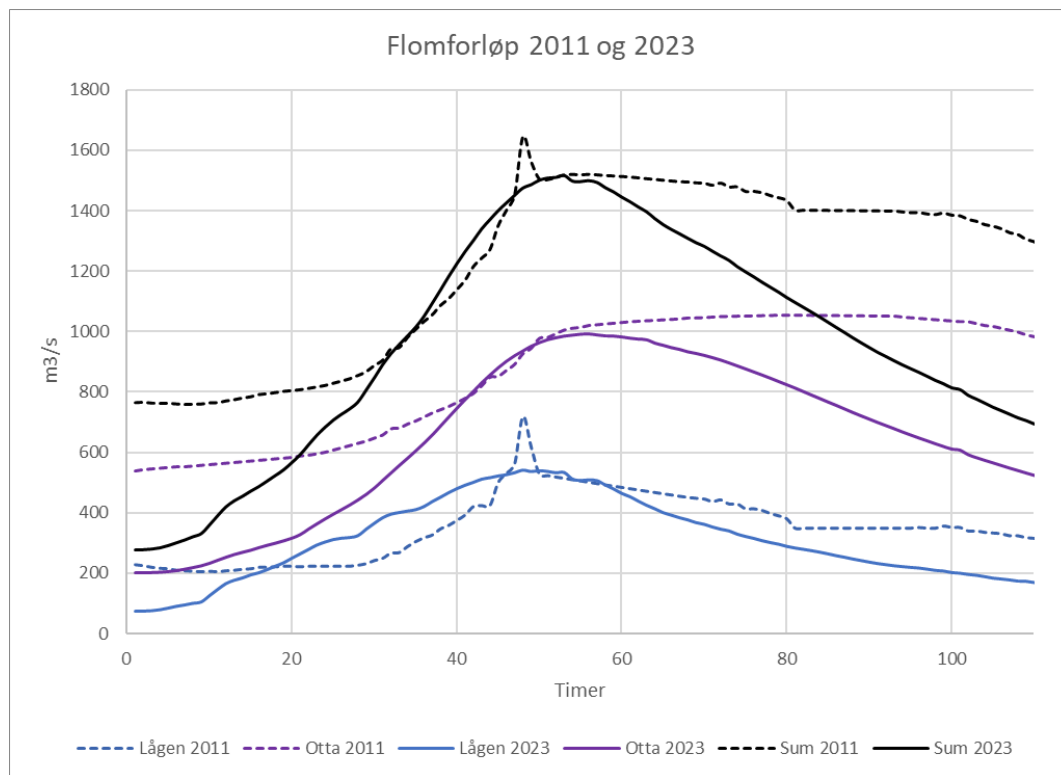
I flomberegningen fra 2015 oppgis det at «For de 6 største flommene ved 2.25 Lalm i Otta kulminerer alle flommene mellom 15 timer - 48 timer etter at de kulminerer ved Rosten i Lågen». Flommen i 2023 skiller seg fra tidligere store flommer ved at begge hovedelver kulminerte innenfor få timer. I Rosten er maks. vannføring observert 9. august kl. 9-11, og i Otta ved Lalm kl. 16-17 samme dato. Ved kulminasjon i Lågen var vannføringen i Otta på nivå med 95% av sin kulminasjonsvannføring, og omvendt.

Registrerte kulminasjonsvannføringer under Hans tilsvarende omtrent det NVE i «Flomberegning Gudbrandsdalsvassdraget» [1] oppgir som 20-årsflom i Otta med tilhørende vannføring i Lågen, se Tabell 2 med uthevede tall som viser vannføring i Otta, Lågen nedstrøms samløp og Lågen oppstrøms samløp ved 20-årsflom i Otta.

Tabell 2 Kopi av tabell med flomvannføringer og gjentaksintervall for Otta og Lågen, hentet fra NVEs «Flomberegning for Gudbrandsdalsvassdraget» [1].

	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
<b>Flom i Otta, hva er vannføring i Lågen?</b>									
Otta	674	796	895	<b>990</b>	1113	1283	1390	1530	1637
Lågen, nedstrøms samløp med Otta	1093	1163	1320	<b>1475</b>	1679	1906	2082	2320	2502
Lågen, oppstrøms samløp med Otta	419	367	426	<b>486</b>	566	624	693	789	865
<b>Flom i Lågen, hva er vannføring i Otta?</b>									
Lågen	402	497	575	649	745	817	888	983	1055
Lågen, nedstrøms samløp med Otta	1076	1173	1335	1490	1691	1907	2070	2284	2446
Otta, oppstrøms samløp med Lågen	674	676	760	841	946	1090	1181	1301	1391

Det har også vært store flommer ved Otta sentrum i bl.a. 2011, 2013, 2015 og 2018. Figur 1 viser flomforløp under flommene i 2011 og 2023, basert på data fra vannmerkene. Grafene er lagt oppå hverandre med tidspunkt for kulminasjon i Lågen i time 48 for begge forløp. 2023-flommen hadde høyere vannføring i Lågen i døgnet fram mot kulminasjon. I 2011 kulminerte Lågen med høyere vannføring enn i 2023, men flomtoppen var kortvarig. For Otta er flomforløpet ganske likt i det siste halve døgnet før kulminasjon i Lågen. Etter kulminasjon i Lågen kom flomtoppen i Otta tidligere, og vannføringen sank deretter raskere, i 2023 enn i 2011. Under flommen i 2011 var det snøsmelting i øverste del av vassdragene samtidig med stor nedbør i feltet, mens «Hans» var en ren regnflom.



Figur 1 Flomforløp 2011 (stiplet) og 2023, basert på observert vannføring ved stasjonene Lalm og Rosten.

Flomfrekvensanalyse av data fra Rosten og Lalm viser at gjennomsnittlig 2-døgns flomvannføring tilsvarer hhv. 90% og 95% av gjennomsnitt for høyeste døgn, se Tabell 3. Flomforløpet under Hans har sammenliknbart 2-døgnsvolum med data fra frekvensanalyse i både Rosten og Lalm, selv om Hans var en ren regnflom uten snøsmelting. For flommen i 2011 hadde Otta nesten samme middelvei over høyeste 1 og 2 døgn. Flomforløpet fra 2023 samsvarer best med forløp fra frekvensanalyse, og skalert forløp fra 2023 benyttes i hydrauliske beregninger. Til andre formål enn flomfareutredning (f.eks. grunnvannsmodellering og vurdering av pumpekapasitet) kan det bli aktuelt å vurdere andre/lengre flomforløp.

Tabell 3 2-døgnsflom relativt til døgnmiddelflom. For flomfrekvensanalyse benyttes data for 1917-2017 for Rosten, og for Lalm benyttes årene 1907-2022.

Datagrunnlag	Rosten	Lalm
Flomfrekvensanalyse	0.90	0.95
Flom 2011	0.89	0.99
Flom 2023 – Hans	0.88	0.93

Flomberegning fra 2015 har ikke tatt hensyn til eventuell demping på strekningen fra Rosten til Otta sentrum. Like nedstrøms vannmerke Rosten ligger Selsmyrene, som er utsatt for oversvømmelse ved flom i Lågen. Ved tidligere flommer har antakelig flomtoppen fra Rosten blitt dempet på strekningen gjennom Selsmyrene. I NVE-rapport Flomsonekart Delprosjekt Selsmyrene fra 2002 [4] beskrives det slik:

«Det viser seg at flomforløpet og hvordan vannet fordeler seg utover Selsmyrene er avgjørende for vannstand i elva, og hvordan flomtoppen flytter seg nedover. Det er ikke kjent at det finnes noen direkte observasjoner av vannstand ved gitte tidspunkt, unntatt på Rosten, men ifølge modellen så vil en flomtopp

på Rosten klokka 16.00 få minutter etter være ved Laurgård bru. Nede ved Bommen bru får en i modellen en betydelig flatere, lavere og forskjøvet flomtopp. For 1995 er hydraulisk beregnet kulminasjonverdi ca 40 m<sup>3</sup>/s lavere enn ved Rosten (ca 6 % reduksjon), og først over midnatt er vannstanden på retur her nede. Dette vil igjen si at Selsmyrene dempet flommen i 1995 for Otta sentrum».

Flyfoto i Figur 2 og Figur 3 viser stor oversvømmelse på Selsmyrene under flommene i 1995 og 2011. Under Hans i august 2023 jobbet grunneierne kontinuerlig med påfyll av masse og skal ha klart å hindre direkte oversvømming. I 2023 var det derfor trolig mindre demping enn tidligere.



Figur 2 Selsmyrene under 1995-flommen. Flyfoto: Blom Geomatics AS, hentet via NVE Atlas.



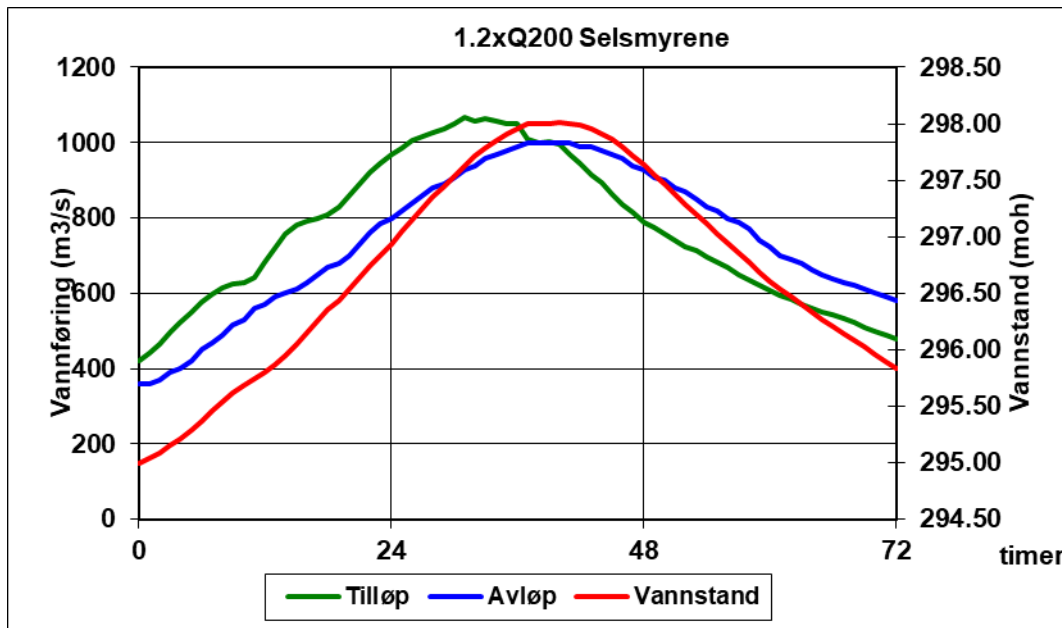


*Flomvannet har inntatt Selsvollene. Foto: Niklas Eriksson, Svv.*

*Figur 3 Flomutbredelse på Selsmyrene i 2011. Utklipp fra Statens vegvesen-rapport ("Rapport om skadeflom i pinsehelga 2011» [5].*

Til flomfarevurdering er det avklart med NVE at det ikke skal tas høyde for demping på Selsmyrene. Det er ikke ønskelig at en eventuell senere flomsikring av Selsmyrene skal kunne forverre flomforholdene ved Otta sentrum etter at Otta sentrum er sikret mot flom.

Det er likevel gjort en enkel vurdering av demping ved stor flom i dagens situasjon. Til klassifisering av dam Rosten [6] satte Norconsult opp hydrologisk ruting for å beregne vannstandsstigning ved nedstrøms ende av Selsmyrene. Her ble data fra NVEs flomsonekartlegging for Selsmyrene lagt til grunn for magasinkurve og kapasitetskurve. Basert på underlag fra klassifisering for dam Rosten, er det utført en forenklet hydrologisk ruting av flomforløp ved  $1,2 \times Q_{200}$  i Lågen, se Figur 4. Tilløpsflommen på  $1067 \text{ m}^3/\text{s}$  reduseres gjennom Selsmyrene til  $998 \text{ m}^3/\text{s}$  ved Bommen bru. Dempingen utgjør om lag 6%. I tillegg forsinkes flomtoppen med 6-10 timer.

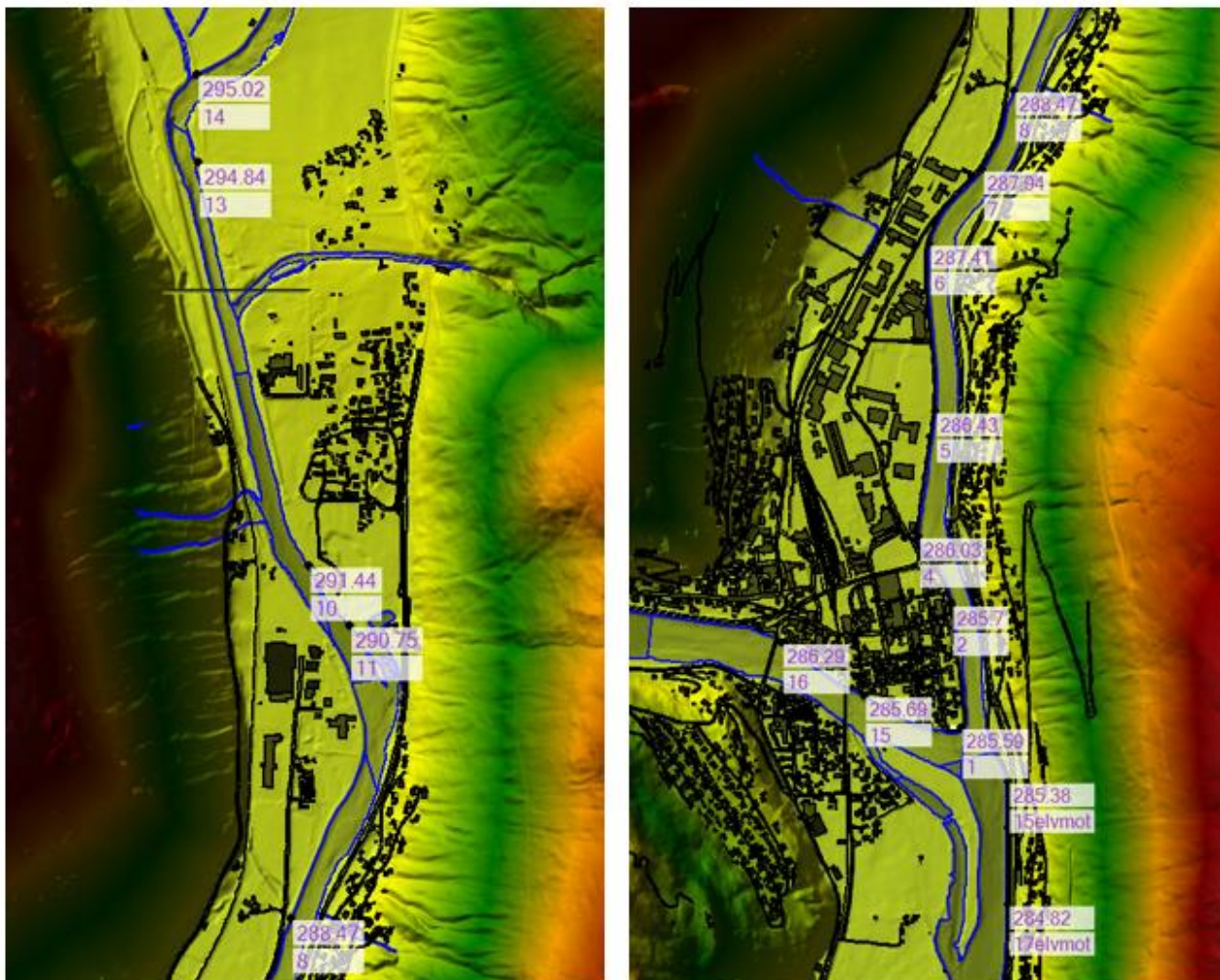


Figur 4 Resultat fra forenklet ruting av 1,2xQ<sub>200</sub> gjennom Selsmyrene. Vannstanden er beregnet i profil 17 fra NVEs flomsonekartlegging; nært Bommen bru.

### 1.3 Observert flomvannstand under ekstremværet Hans

Under ekstremværet Hans har Rondane Oppmåling målt inn vannstander som vist i Figur 5. Vannlinja ble målt inn om formiddagen 10. august 2023; dagen etter at vannføringene kulminerte i Rosten og Lalm. Ut fra terrengspor ble maksimal flomvannstand anslått til kt. 286,26 i punkt 2 (mellom bruer i Lågen) og 286,15 i punkt 1 (ved samløpet). I begge punkt er maks. vannstand 0,56 m høyere enn vannstanden på tidspunktet for innmåling.

Det festes lit til observerte vannstander. Vannstandene er innmålt av en profesjonell aktør under flomhendelsen. Bilder som Rondane Oppmåling tok ved målepunktene viser at det er litt uryddige strømningsforhold ved punkt 10 (nært oppstrøms ende av tiltaksområdet langs Lågen), ellers har elvene nokså jevn vannoverflate ved de fleste målepunktene. Eksempler er vist i Figur 6. Samtale med hydrolog Frode Randen bosatt på Otta bekrefter at strømmingen i Lågen og Otta var ganske homogen under flommen, uten store stående bølger. Vi må derfor forutsette at innmålt vannstand i hvert punkt er representativ for elvetvernsnittet.



Figur 5 Oversiktskart med punkt hvor vannstand er innmålt av Rondane Oppmåling under ekstremværet «Hans», 10. august 2023 (dagen etter kulminasjonsvannføring i Rosten). Innmålt vannnivå og punktnr. er oppgitt med lilla tekst for hvert innmålingspunkt. Punkt 13 og 14 i venstre bilde ligger oppstrøms Ula.

# Flomsikring av Otta sentrum

Utredning av flomfare fra Gudbrandsdalslågen og Otta ved Otta sentrum  
Oppdragsnr.: 52303409 Dokumentnr.: RIH-RAPP-002 Versjon: J02



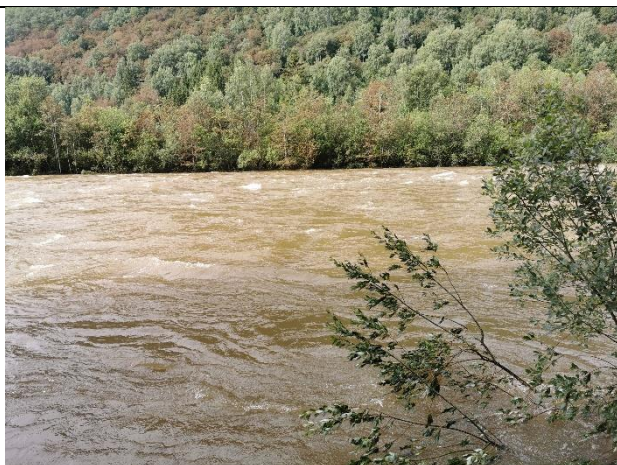
Punkt 1



Punkt 2



Punkt 4



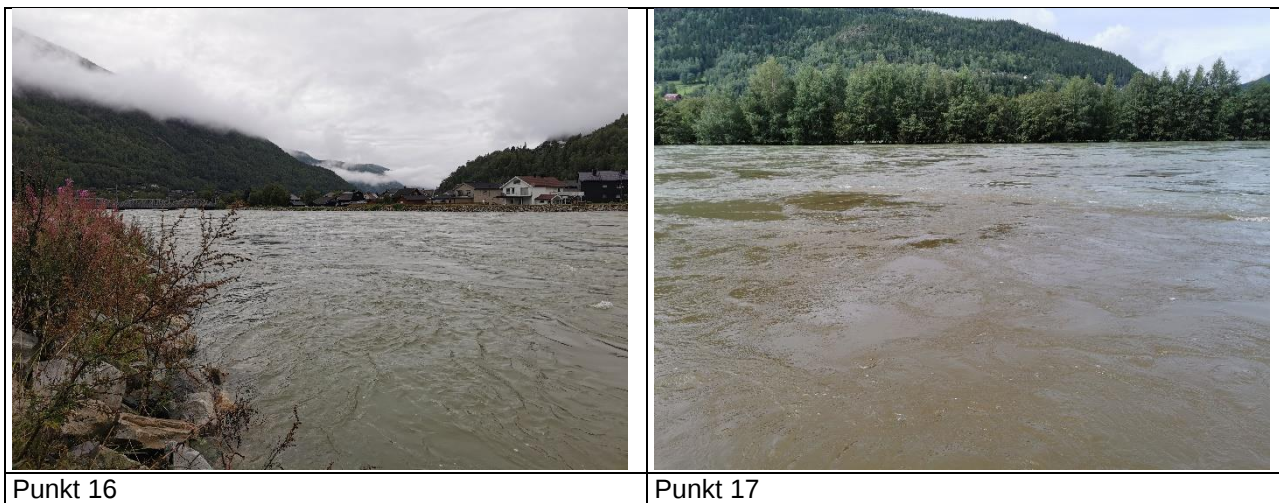
Punkt 10



Punkt 11



Punkt 15



Figur 6 Fotografier fra Rondane Oppmåling, tatt samtidig som innmåling. I punkt 10 er det noe bølger, i øvrige punkt er vannstanden jevn nok til å fungere som grunnlag for kalibrering. Punktene beliggenhet er vist på kart i Figur 5.

Observasjoner fra lokalbefolkningen på Otta og foto tyder på at maks. vannstand i Lågen var høyere i 2023 enn i 2011. Figur 7 viser et bilde av Lågen kjørebri. Figur 8 med foto fra 10. august viser at landkar på Lågen kjørebri er fuktig høyere opp enn flommerket fra 2011, og at vannet har vært nær ved å oversvømme området rundt Circle K. Ifølge artikkel på [www.tungt.no](http://www.tungt.no) [7] ble det under Hans lagt opp en voll av 17 tonn grus for å hindre at elvebredden mot Otta sentrum ble overtoppet i dette området.



7/14

Brua over Lågen ved Otta sentrum. Lågen nærmer seg faretruende bunnen av brua.  
Foto: Bjørn Brandt

Figur 7 Utklipp fra <https://www.gd.no/onsdagens-bilder-fra-dalen/q/5-18-1819515>. Bildetekst fra artikkelen: «Brua over Lågen ved Otta sentrum. Lågen nærmer seg faretruende bunnen av brua.» Publisert 9. august 2023 (kulminasjonsdøgn for vannføring i Rosten), bildetidspunkt er ukjent.

## - Høyeste flomnivået jeg har opplevd



Innehaveren av Circle K på Otta, Svein Tore Nymoen, men det var på hengende håret at ikke stasjonen ble oversvømt. Han har aldri sett høyere nivå på Lågen noen gang. Foto: Einar Almehagen.

Av Einar Almehagen

Publisert: 10.08.23 16:34

Del

40–50 cm over flommen i 2011. Nå var Circle K-innehaveren virkelig redd.

Figur 8 Utklipp fra lokalavis GD <https://www.gd.no/hoyeste-flomnivaet-jeg-har-opplevd/s/5-18-1821269>. Publisert 10. august 2023 (dagen etter kulminasjon). Fra artikkelen: «40-50 cm over flommen i 2011.» «Flommerket på brua over elva viser at nivået nå var betydelig høyere enn i 2011.» Bilde fra Lågen ved Circle K mot nedstrøms side av brua.

## 2 Grunnlag for vannlinjeberegning

### 2.1 Modell

Vannlinjeberegning er utført i Hec-Ras 2D, versjon 6.2. Beregningsmesh'et har varierende celledimensjon. I Lågen og Otta nær tiltaksområdet, og i Otta sentrum, benyttes celler på 5 m x 5 m. Det er minst 8-10 celler på tvers av elva, og liten helning på vannlinja. Celledimensjonen er valgt som et kompromiss mellom beregningstid og nøyaktighet. Ved bl.a. bruer og jernbanefylling er cellene 2 m x 2 m. På flomslettene nedstrøms brukes større celler. Det er utstrakt bruk av breaklines, for å sikre at vann ikke strømmer «gjennom» forhøyninger i terrenget. Breaklines har vært justert etter kontroll av de første kjøringene. Beregningene er kjørt med full momentum-likninger og tidsskritt 1 s. Resulterende Courant-tall blir godt under 1 (0,4-0,6) i elvene, men noe over 1 i små områder med 2 m x 2 m oppløsning.

### 2.2 Terrenggrunnlag

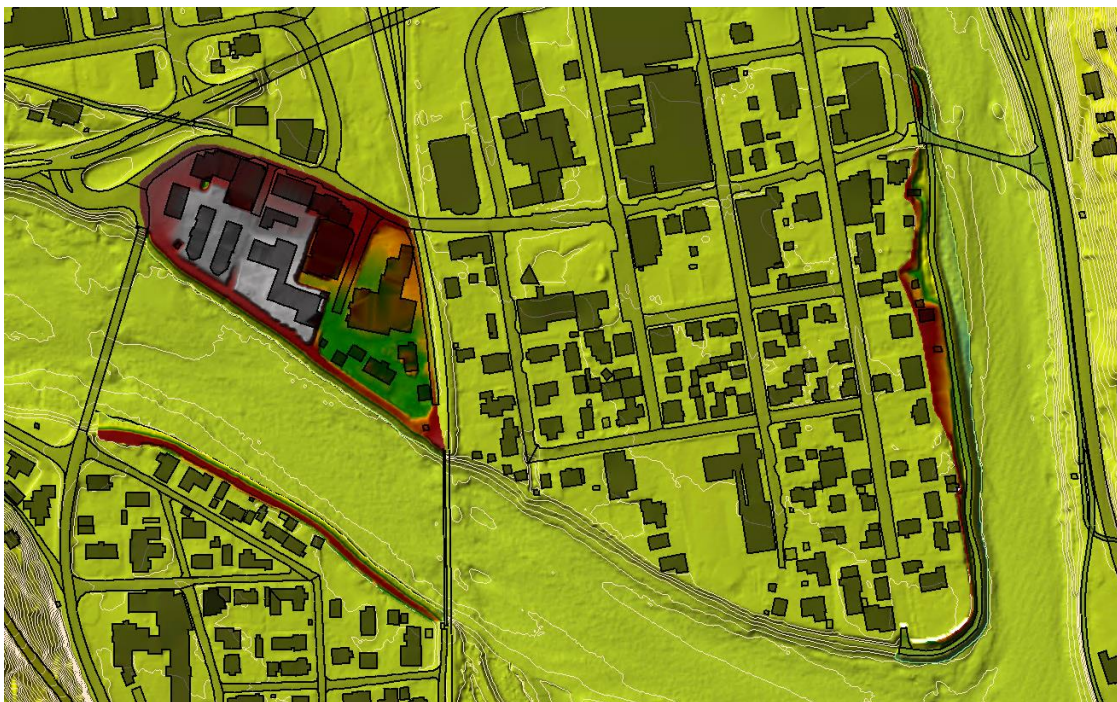
#### 2.2.1 Forutsetninger for vannlinjeberegning

Som terrengmodell til vannlinjeberegning benyttes terrengmodell fra [www.hoydedata.no](http://www.hoydedata.no), supplert med innmålinger. Scanning «NVE Gudbrandsdalslågen 2016» inneholder batymetri for hele beregningsstrekningen. Selve scanningen ble utført høsten 2015. Utenfor dekningsområdet brukes scanning «Nord-Gudbrandsdalen 2013».

I tillegg er enkelte kjente terrengendringer etter 2016 hensyntatt:

- Plastring av høyre og venstre elvebredd i Otta mellom bruene, samt terrengheving ved Otta brygge
- Gangpromenade langs Lågen ned mot samløpet
- Fylling/traktorvei til Ottbragdøya
- Flomvoller sør for samløpet

NVE scannet Otta sentrum med drone i november 2022. Norconsult har mottatt punktsky med bakkepunkter fra NVEs dronescanning. Ved plastring i Otta mellom bruene og utfylling/gangpromenade langs Lågen er det klippet inn biter av terrengmodell generert fra punktskyen. Figur 9 viser hvor terrengmodell fra 2022-punktskyen erstatter eldre høydedata.



Figur 9 Mellom bruer i Ottaelva og langs Lågen ned mot samløp, er terrenngmodellen basert på punktsky fra november 2022. Områdene er uthevet med annen farge i figuren.

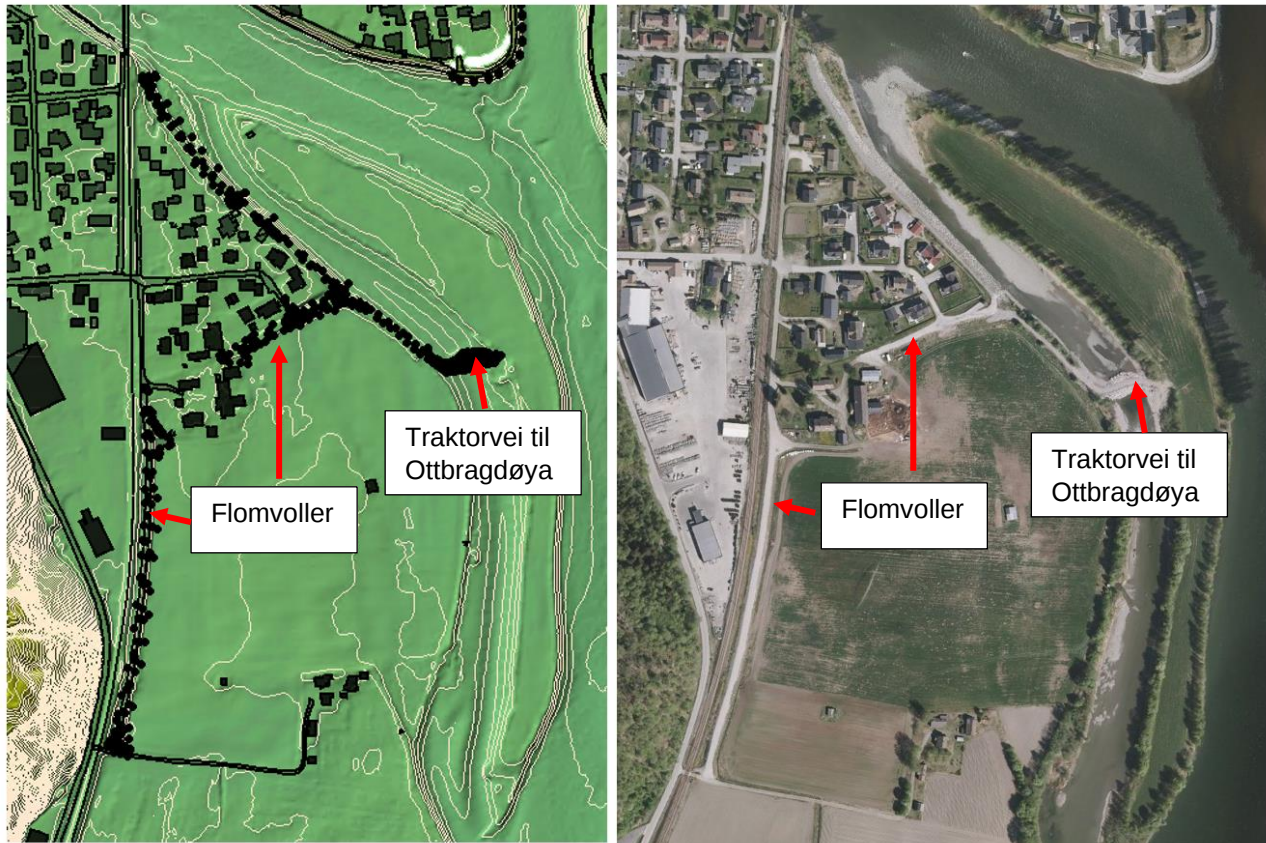
Området sør for jernbanebrua inngår ikke i punktskyen. I senere tid er det gjort flere tiltak her; graving i kanalen mellom Ottbragdøya og vestsiden av elva, plastring ned mot kanalen, fylling/traktorvei (med kulverter) ut til øya, og flomvoller nært boligområdene sør for jernbanebrua. Figur 10 viser tiltak sør for samløpet.

For fylling/traktorvei til Ottbragdøya har Norconsult mottatt dxf-fil med innmålte bakkepunkter fra NVE. Punktene er konvertert til terrenngmodell og lagt inn i grunnlaget.

For sideløpet langs Ottbragdøya stemmer dybde data fra 2016 dårlig med observasjoner fra befarings. Det har ikke vært mulig å fremskaffe rådata for bunnivå i kanalen. Ut fra Blasy-Øverlands rapport «Hydrauliske beregninger for Gudbrandsdalslågen» [10] kan det virke som om det tidligere er gjort en oppmåling av bunndata i dette området. Norconsult har tidligere mottatt terrennggrunnlag fra Blasy-Øverlands hydrauliske 2D-modell. Terrenng for sideløpet ved Ottbragdøya er klippet ut herfra, og lagt inn i Norconsults modell. Bunnivåene virker rimelig opp mot foto/observasjoner av kanalen, men er på nåværende tidspunkt ikke verifisert.

For flomvoller i området sør for jernbanebrua har Norconsult mottatt KOF-filer fra NVE, med innmålte punkter på linje. Flomvollene er lagt inn med manuell terrenngredigering i Hec-Ras basert på høyder i KOF-filene.





Figur 10 Tiltak sør for samløpet. Innmålte punkter i KOF-fil fra NVE er vist med svarte punkter i venstre figur.

### 2.2.2 Kjente terrengendringer som ikke inngår i grunnlag for vannlinjeberegning

I januar 2024 ble [www.hoydedata.no](http://www.hoydedata.no) oppdatert med nye terrengdata for Otta sentrum. Scanningen «Innlandet-Viken flom-skred 2023» er utført i september/oktober 2023, og inkluderer detaljert laserscanning av bl.a. områdene som er vist i Figur 9 og Figur 10. Vannlinjeberegningene til denne rapporten er i hovedsak utført høsten 2023. Det har derfor ikke vært anledning til å benytte de nyeste innmålte høydedataene for å beskrive terreng over vann.

Norconsult er gjort kjent med at inspeksjon av fundamentene til Otta jernbanebru etter ekstremværet Hans viste at det har foregått betydelig bunnsenkning ved brua siden dybdescanningen i 2015. Som et ledd i inspeksjonen, ble det høsten 2023 utført bunnkartlegging av en strekning opp- og nedstrøms jernbanebrua. Bane NOR planlegger å bygge opp en omfattende erosjonssikring for å beskytte fundamentene mot undergraving. Ny plastring medfører at elvebunnen vil heves lokalt. På nåværende tidspunkt er ikke søknad om tiltaket ferdig saksbehandlet. Endringer ved Otta jernbanebru er ikke hensyntatt i vannlinjeberegningene, ettersom bunnscanningen fra høsten 2023 og modell av planlagte tiltak ikke har vært tilgjengelig for Norconsult på tidspunktet da vannlinjeberegning ble utført.

### 2.2.3 Massetransport i vassdraget

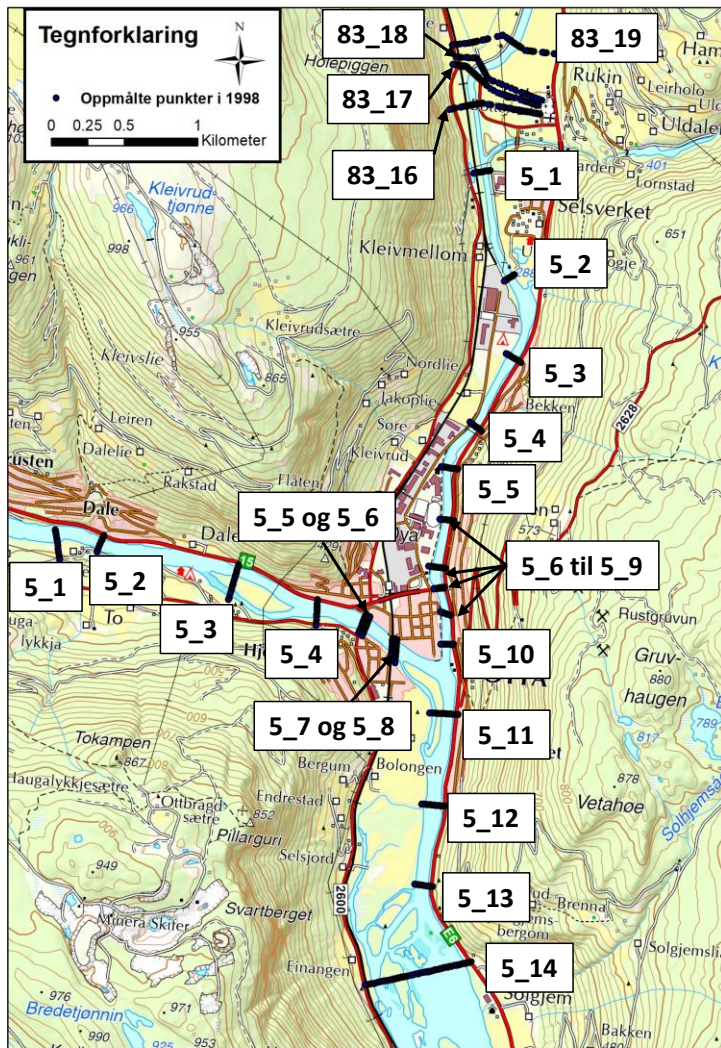
Det foregår massetransport i vassdraget. Terreng kan derfor ha endret seg ut over det som er beskrevet i forrige avsnitt. Løsmasser som vaskes ut i et område, avsettes lenger ned. Flommene i 2018 og 2023 kan ha bidratt til at elvebunnen på beregningsstrekningen kan ha endret seg siden siste scanning høsten 2015.

For å kontrollere eventuelle endringer i elvebunnen etter 2015 er det planlagt en ny bunnkartlegging våren 2024.

Før man får et oppdatert grunnlag for elvebunnen er det relevant å vurdere eventuelle endringer i elvebunnen basert på tilgjengelig informasjon. Det er derfor utført en kontroll av høyder fra dybdekartlegging fra 2015 mot:

- Oppmålte tverrprofiler i Lågen og Otta fra 1998 [7] og 2000 [4]
- Grunnlag fra undervanninspeksjon Otta bru fra 2023 (mottatt fra Bane NOR)

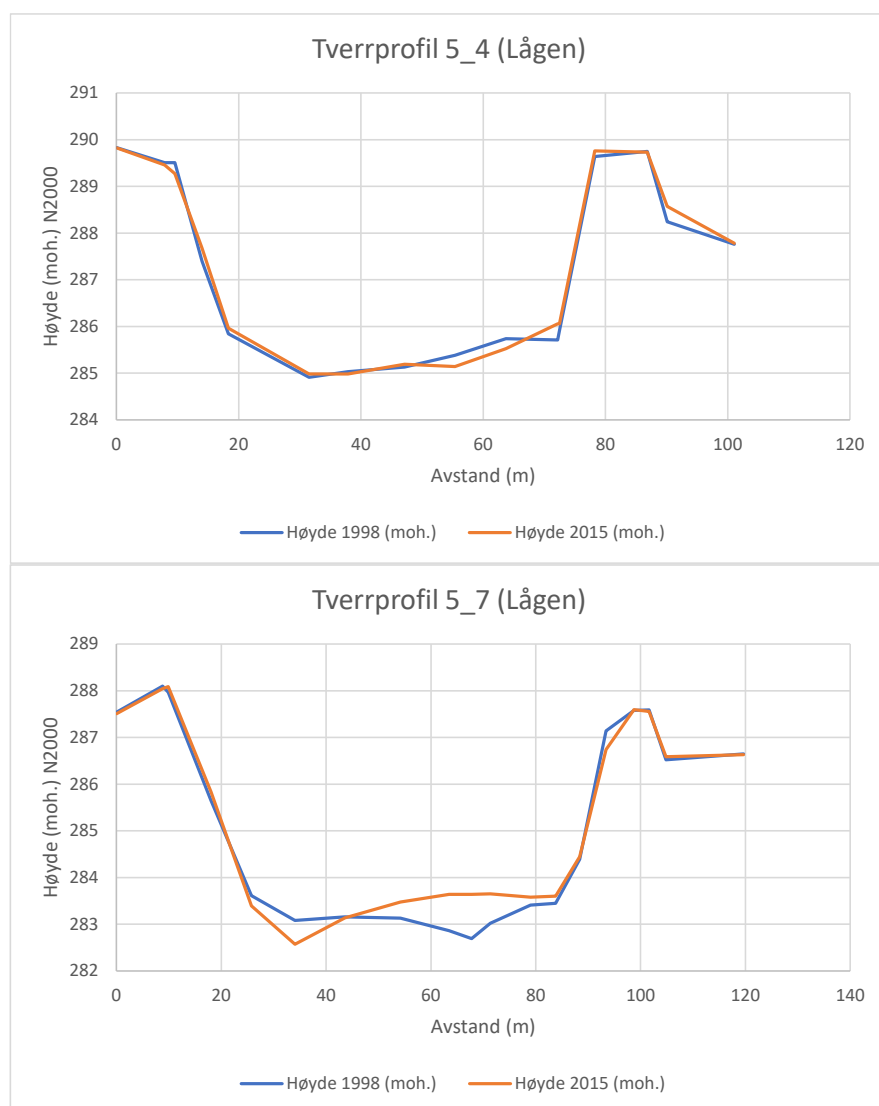
I forbindelse med «Flomsonekart Delprosjekt Otta» [7] ble det i 1998 målt opp 8 tverrprofiler i Otta og 14 tverrprofiler i Lågen. Det ble i tillegg målt flere tverrprofiler i Lågen i 2000 i forbindelse med Flomsonekart Delprosjekt Selsmyrene [4]. Det er gjort en kontroll av de oppmålte tverrprofilene med bunnivåene fra dybdekartleggingen utført i 2015 ved bruk av en Gis-analyse. Figur 11 viser plassering av tverrprofilene.



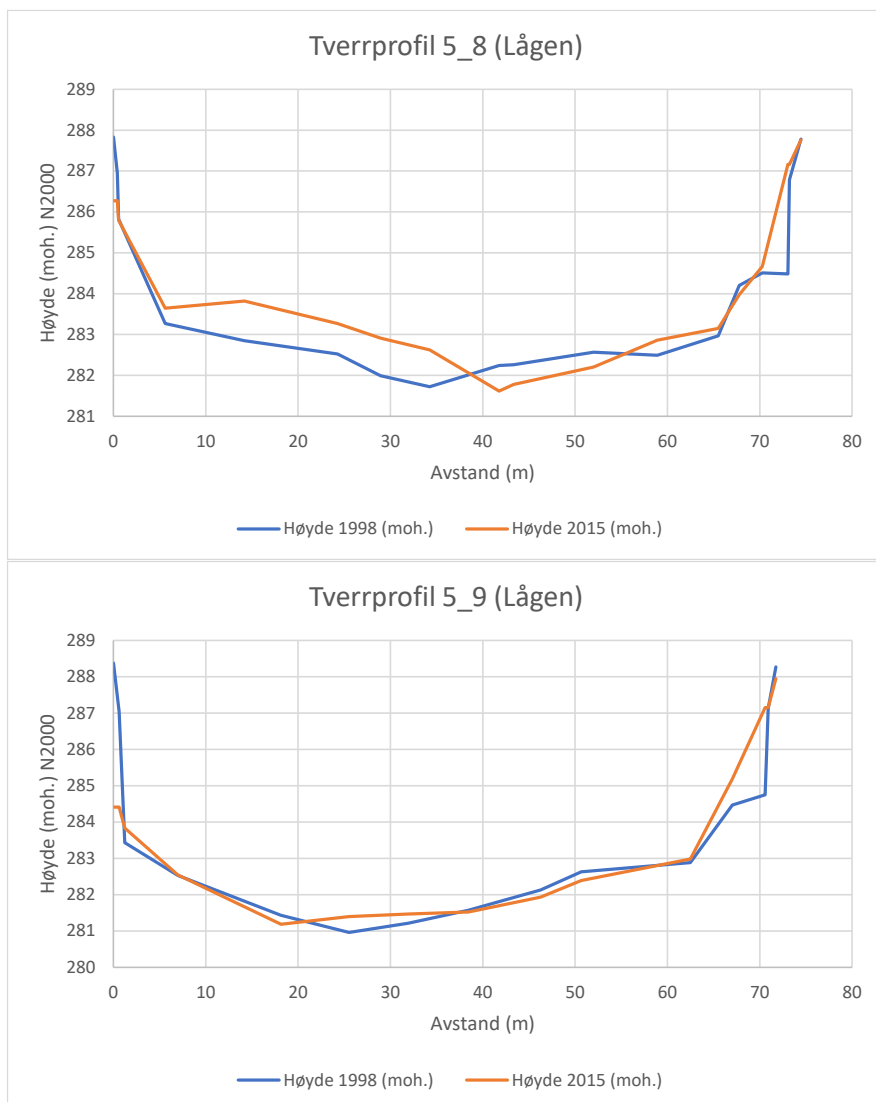
Figur 11 Oversikt over tverrprofiler oppmålt i 1998 og 2000 ifb. med flomsonekartlegging for Otta [9] og Selsmyrene [4].

Generelt stemmer høydene oppmålt i 1998 godt overens med høydene fra bunnkartleggingen, men på enkelte steder er det funnet betydelig avvik. Figur 12 til Figur 15 viser tverrprofilene som har størst avvik mellom oppmålingen i 1998 og bunnkartlegging i 2015. Alle tverrprofilene er vist i vedlegg 2.

De største endringene er registrert i Lågen ca. 150 m oppstrøms Lågen kjørebri (tverrprofil 5\_7) og ved Lågen kjørebri (tverrprofil 5\_8), samt ved Loftsgardsbrua (tverrprofil 5\_9). Tverrprofilene er tegnet medstrøms. Ved tverrprofil 5\_7 er det registrert en bunnsenkning på ca. 0,5 m på østre side av elveløpet og nesten 1 m bunnheving i hovedløpet. Ved tverrprofil 5\_8 er det registrert en bunnheving på østre siden av elven på nesten 1 m og ca. 0,6 m bunnsenkning i hovedløpet. Masseavlagringen er tydelig vist på flyfotoer. Ved Loftsgardsbrua er det tegn til at det er dannet seg/ blitt bygd en fylling på den vestre skråningen.

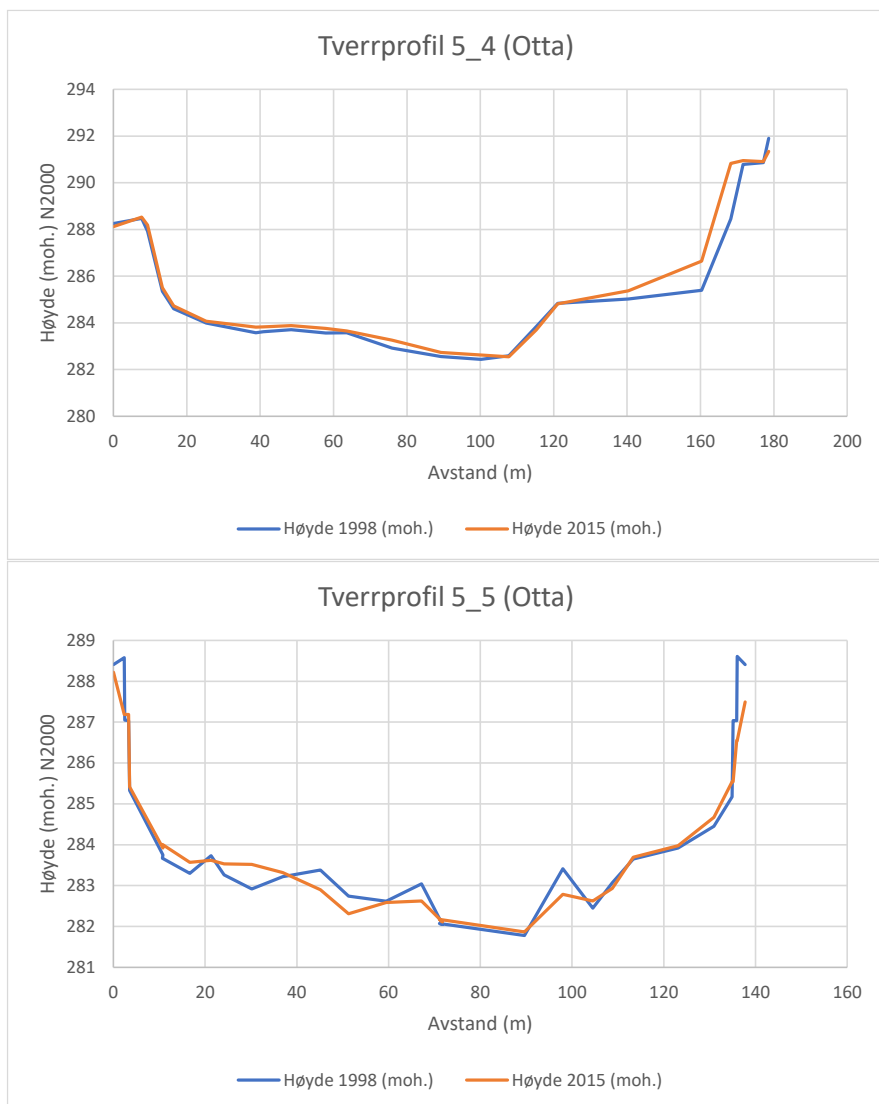


Figur 12 Tverrprofiler i Lågen med store endringer mellom oppmålingen i 1998 og bunnkartlegging i 2015 (tverrprofilene er tegnet medstrøms). Tverrprofil 5\_4 og 5\_7.

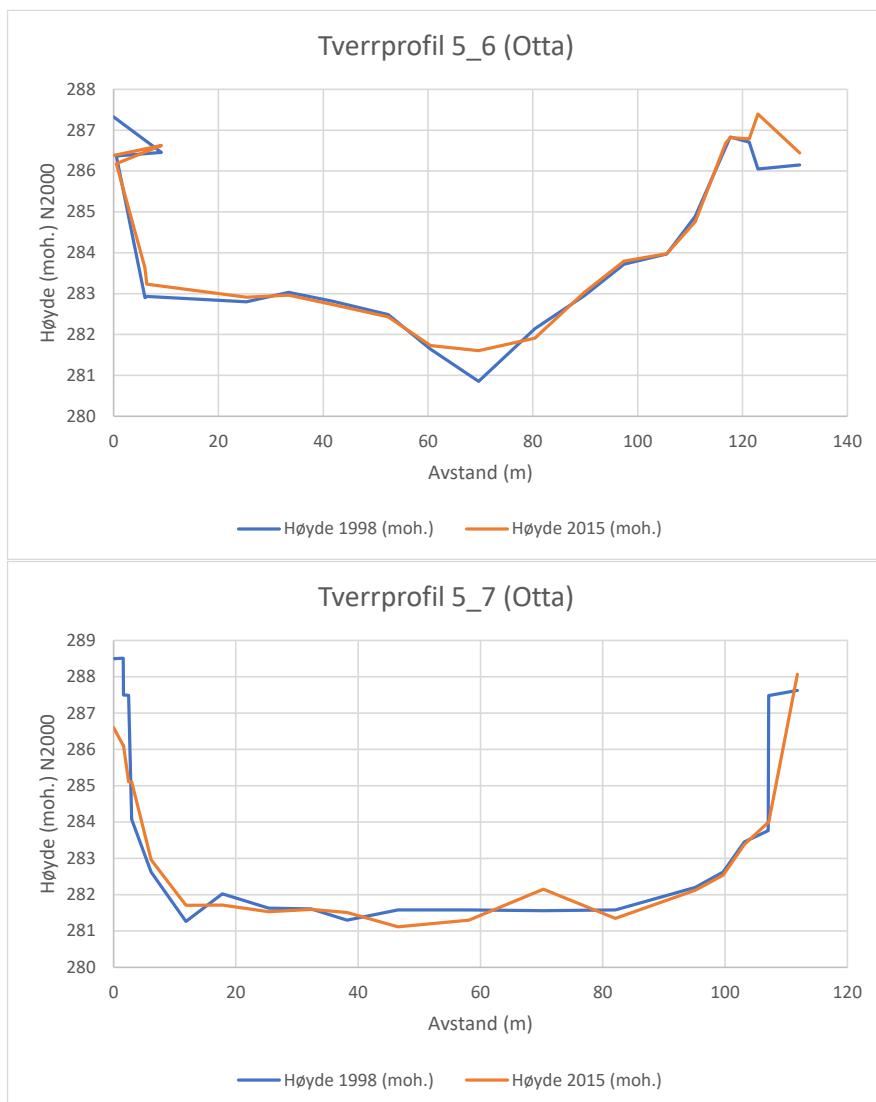


Figur 13 Tverrprofiler i Lågen med store endringer mellom oppmålingen i 1998 og bunnkartlegging i 2015 (tverrprofilene er tegnet medstrøms). Tverrprofil 5\_8 og 5\_9.

I Otta er det registrert en utvidelse av Veggumsveien sør for elva (tverrprofil 5\_4). I tillegg er det registrert ca. 1 m bunnheving og andre endringer ved Otta kjørebri og ca. 0,6 m bunnsenkning ved jernbanebrua.



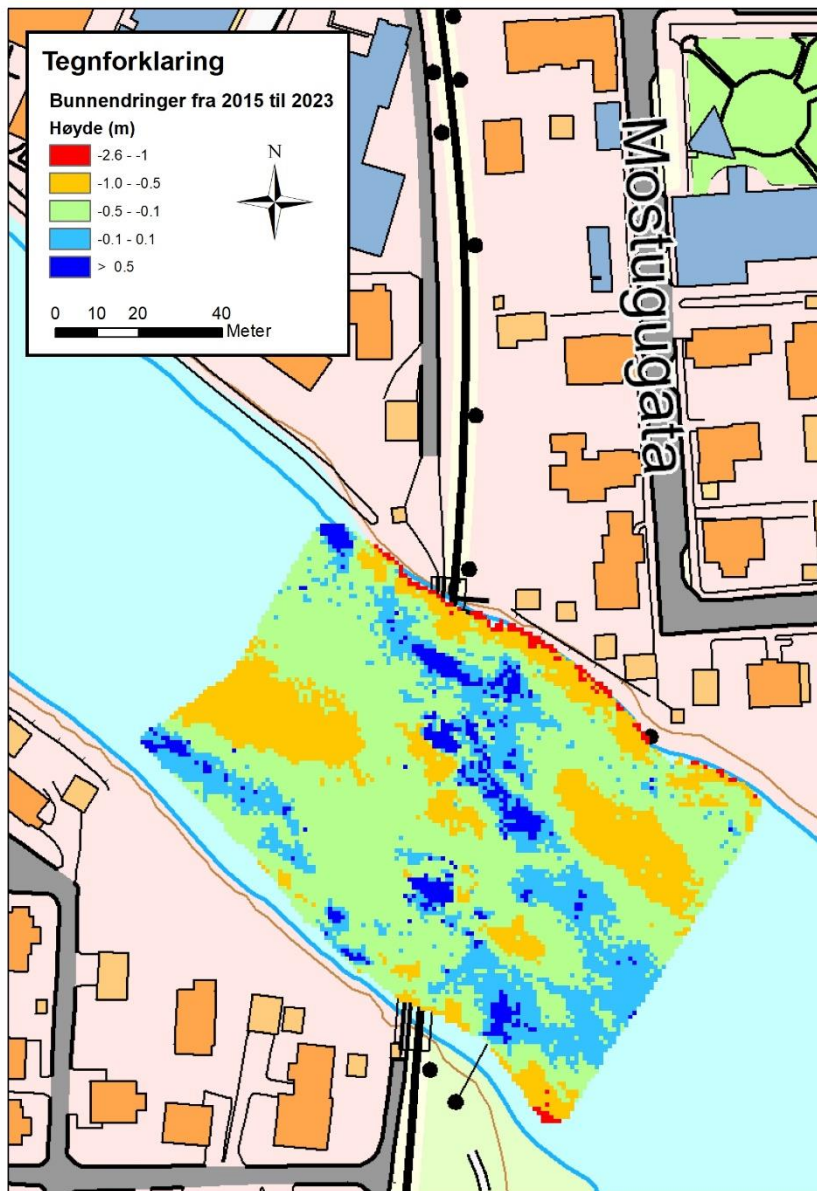
Figur 14 Tverrprofiler i Otta med store endringer mellom oppmålingen i 1998 og bunnkartlegging i 2015 (tverrprofilene er tegnet medstrøms). Tverrprofil 5\_4 og 5\_5.



Figur 15 Tverrprofiler i Otta med store endringer mellom oppmålingen i 1998 og bunnkartlegging i 2015 (tverrprofilene er tegnet medstrøms). Tverrprofil 5\_6 og 5\_7.

Vi har fra Bane NOR mottatt laserdata fra grunnvannsinspeksjon for Otta jernbanebru utført i 2023 og en 3D-modell av brukonstruksjonen. Det er utført en Gis-analyse av dette området og sammenlignet med bunnkartleggingen fra 2015. Figur 16 viser høydeforskjellene mellom ekkolodding-2023 sammenlignet med bunnkartlegging fra 2015. Negative verdier tilsvarer bunnsenkning (rød, oransje og lysgrønn farge).

Generelt er det registrert senkning av elvebunnen og på enkelte steder noe avlagring av masser (mørkeblå farge). Bunnsenkningen i hovedløp er opptil ca. 0,9 m oppstrøms brua og ca. 0,7 m nedstrøms brua.



Figur 16 Endringer i elvebunnen ved Otta jernbanebru mellom 2015 og 2023. Høydeforskjellene er beregnet mellom ekkolodding-2023 (mottatt fra BaneNOR) sammenlignet med bunnkartlegging fra 2015 (hentet fra høydedata). Negative verdier tilsvarer bunnsenkning (rød, oransje og lysgrønn farge)

I Notat «Fv418 Otta bru Erosjon ved pilar III» fra 2007 [8], er det beskrevet erosjon ved brupilarene. Figur 17 viser et bilde av Fv418 bru med erosjonssikring rundt brupilaren (til venstre) og et bilde fra 2023 der erosjonssikringen rundt brupilaren er borte (til høyre). At brupilarene er utsatt for erosjon ble også observert på NVE og Norconsults befaring i juni 2023, da pilarfundamentene så ut til å ligge høyere enn elvebunnen rundt disse.



Bilde på oppstrøms side av bru. Pilar II nærmest, og videre pilarene III til V.

Figur 17 Ottabrua (Fv.418). Bildet til venstre er hentet fra notatet 2007 [8], mens bildet til høyre er tatt av Norconsult v/ Carolina F. Uribe under befaring i juni 2023 ifbm. oppstart av flomsikringsprosjektet.

Analysen ovenfor viser at Otta ved prosjektområdet er utsatt for erosjon, spesielt ved bruene. Det er også registrert bunnendringer i Lågen, både erosjon og masseavlagring.

### 2.3 Friksjonsforhold i modellen (Manningstall)

Friksjonsforhold (overflateruhet) beskrives vha. Manningstall i modellen. Ruheten har betydning for beregnet vannstand og hastighet. Høyere Mannings n gir høyere vannstand og lavere hastighet. Lavere n-verdier gir motsatt effekt.

Mannings n er lagt inn for ulike arealklasser fra FKB-data, med verdier som vist i Tabell 4. Bygninger inngår ikke med høyde i terrengmodellen, men er representert med Mannings n 10 slik at de ikke er gjennomstrømbare. Friksjonstall i elveløpet er bestemt ut fra kalibrering på målte vannstander fra 2023-flommen – se nærmere beskrivelse i avsnitt om kalibrering. Kalibrerte Mannings-verdier tilsvarer Mannings M på 25-29, som er innenfor vanlig intervall i litteratur. Vassdragshåndboka oppgir for større elver at Mannings M vanligvis er i intervallet 17-40 for «regulære strekninger uten store steiner eller kantvegetasjon», og 10-29 for «ujevne løp og grove bunn- og sideforhold». Mannings n i vassdraget er satt høyere enn i 2017- og 2020-modellen, se avsnitt 2.6.2 Sammenlikning med kalibrering fra 2017 og 2020.

Tabell 4 Mannings n for ulike arealklasser benyttet i hydraulisk 2D-modell.

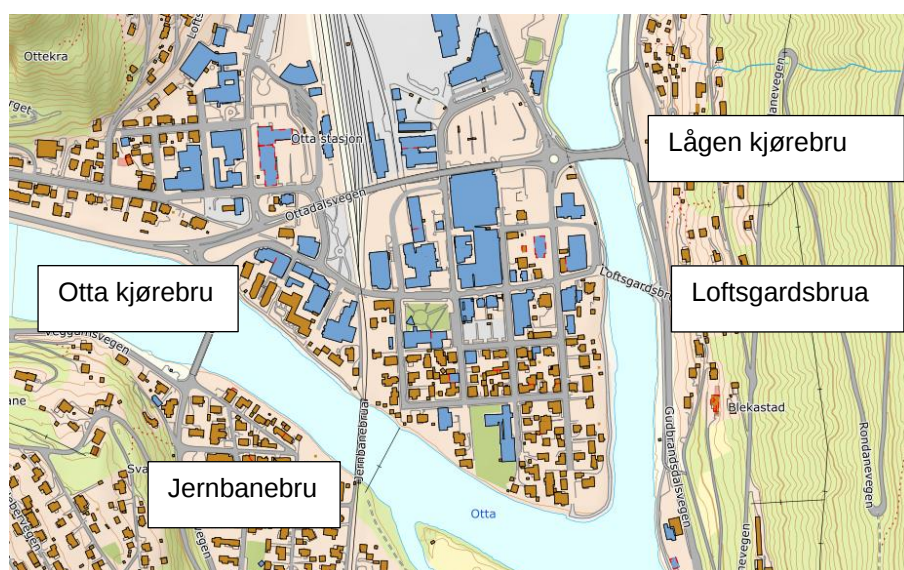
Arealklasse	Mannings n (s/m <sup>1/3</sup> )
Samferdsel	0.02
Bygning	10
Åpen fastmark	0.025
Fulldyrka jord	0.06
Bebygd areal	0.016
Skog	0.08
Innmarksbeite	0.06
Myr	0.06
Overflatedyrka jord	0.06



Arealklasse	Mannings n (s/m <sup>1/3</sup> )
Elv – Lågen, fra Ula ned til Solgjemsøyene	0.04
Elv – Otta	0.035
Elv – Lågen, nedstr. Solgjemsøyene	0.03

## 2.4 Bruer og kulverter i modellen

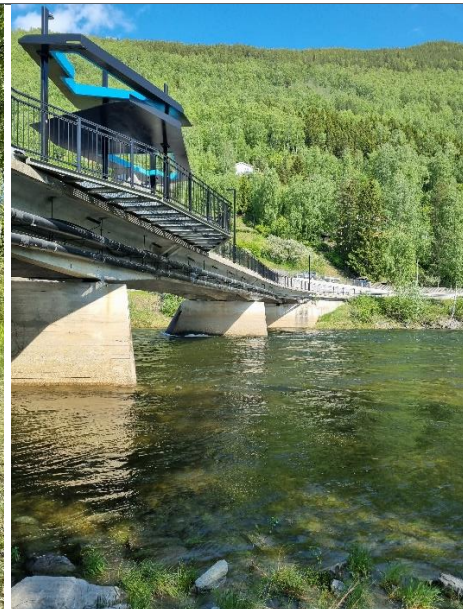
Innenfor beregningsområdet er det fire bruer; Lågen kjørebru og Loftsgardsbrua (gangbru) over Lågen, og Ottabrua (kjørebru) og jernbanebru over Otta – se Figur 18 og Figur 19.



Figur 18 Bruer i beregningsområdet - kart.

## Flomsikring av Otta sentrum

Utredning av flomfare fra Gudbrandsdalslågen og Otta ved Otta sentrum  
Oppdragsnr.: 52303409 Dokumentnr.: RIH-RAPP-002 Versjon: J02



Lågen kjørebru

Loftsgardsbrua (gangbru over Lågen)



Ottabrua (foto fra Google Street View)



Jernbanebru over Otta

Figur 19 Bruer i beregningsområdet - foto fra befaring 8. juni 2023.

For bruene i Lågen, er pilarene modellert som del av terrengmodellen. Brudekket er lagt inn som SA/2D Connections med dimensjoner som vist i Tabell 5. For bruene i Otta er både pilarer og brudekke lagt inn som SA/2D Connections. Mulighet for å modellere bruer i Hec-Ras 2D kom med versjon 6 i 2021, og er derfor en relativt ny funksjonalitet. For å kontrollere resultatet fra brumodelleringen i 2D, er det gjort en enkel sammenlikning med resultat for Lågen kjørebru i 1D-modell (korrigert til samme Manningstall i elva som 2D-modellen). 2D-modellen gir noe lavere falltap gjennom brua. I 1D-modellen er falltap gjennom brua ved  $Q_{200}$ , belastningstilfelle 1, ca. 0,35-0,4 m, mot 0,3 m i 2D-modellen.

Lysåpninger er hentet fra brutegninger i Vedlegg 1. For de to kjørebruene er brutegningene lastet ned fra Statens vegvesen sin brudatabase; BRUTUS. Brutegning fra Otta jernbanebru og Eide bru (jernbanebru ved Sjoa) er mottatt fra Bane NOR. Brutegning for Loftsgardsbrua er hentet fra Norconsults arkiv. Tegningene er tidligere mottatt fra Sel kommune, i forbindelse med et oppdrag knyttet til Loftsgardsbrua i 2019. Underkant brudekke var ikke innmålt da vannlinjeberegningene ble kjørt. Underkant bru for Lågen kjørebru og Otta kjørebru er satt til samme nivå som i Blasy-Øverlands modell. For Loftsgardsbrua er underkant brudekke beregnet fra tykkelse, målt på tegning. Jernbanebrua har påhengt gangbane på oppstrøms side og VA-ledninger i innkassing under brua.

Tabell 5 Bruer i beregningsområdet – nivå brudekke.

Bru	O.k. brudekke (moh)	U.k. brudekke (moh)
Lågen kjørebru	287.97	286.80
Loftsgardsbrua (gangbru)	288.3	286.85
Ottabrua	288.5	287.2
Otta jernbanebru	288.1	286.78

Norconsult har nylig (etter at beregningene til denne rapporten ble utført) gjort en GPS-innmåling av bruene ved Otta sentrum, utenom jernbanebrua. Måling verifiserer at underkant brudekke ligger på omtrent samme nivå som forutsatt i Blasy-Øverlands modell for bruene i Lågen. For Ottabrua viser målingene at over- og underkant bru ligger ca. 0,2 m lavere enn forutsatt i Tabell 5. GPS-målingene har usikkerhet på +/- 0,1 m. For jernbanebrua viser 3D-modellen av brua at underkant bru ligger ca. 0,2 m høyere enn forutsatt i Tabell 5

Fire betongkulverter gjennom vadested til Ottbragdøya er foreløpig ikke innmålt, og ikke lagt inn i modellen. Ved dimensjonerende flom vil de ha liten betydning ettersom området er fullstendig oversvømt (Figur 20).

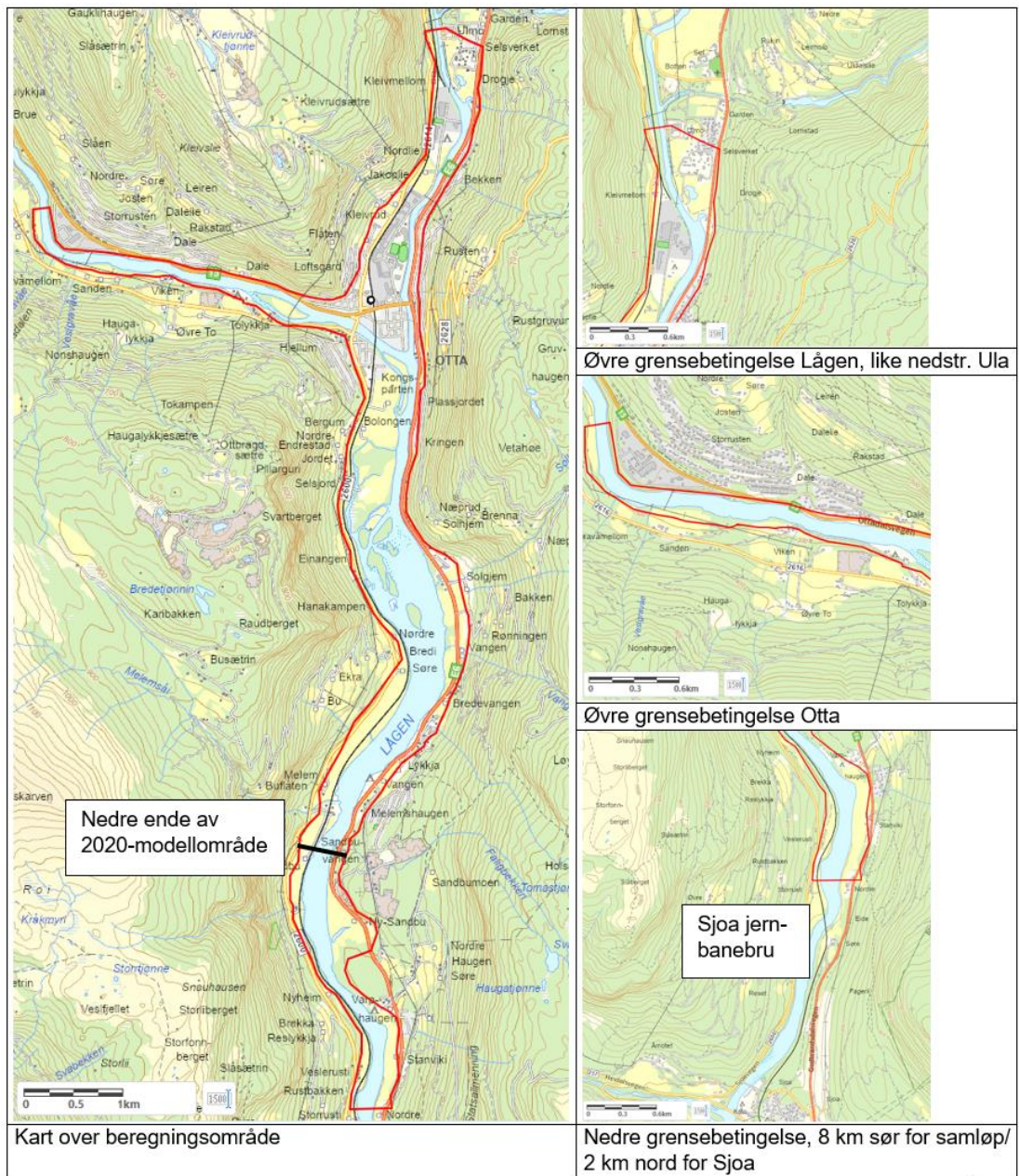


Figur 20 Betongkølverter i fylling/vadested til Ottbragdøya. Området er oversvømt under ekstremværet Hans. Foto fra Norconsult, 10. juli 2023 (venstre) og under ekstremværet Hans 9. august 2023 (høyre).

## 2.5 Grensebetingelser i 2D-modell

### 2.5.1 2D beregningsområde

Beregningsområdet er vist i Figur 21. Området strekker seg ca. 2,5-3 km lenger ned enn det som er vist i Figur 3.1 i mulighetsstudien fra 2020 [11]. 2020-beregningen har nedre grensebetingelse omtrent ved Sandbuvangen. Det fremgår ikke av 2020-rapporten hvilken type grensebetingelse som ble benyttet.



Figur 21 Beregningsstrekning for Hec-Ras 2D-modell vist med rød omkrets (2023). Nedre ende av kartleggingsområde fra 2020 er tegnet inn, basert på avgrensning vist i Figur 3.1 i 2020-rapporten [11].

## 2.5.2 Øvre grensebetingelse – vannføring inn i modellen

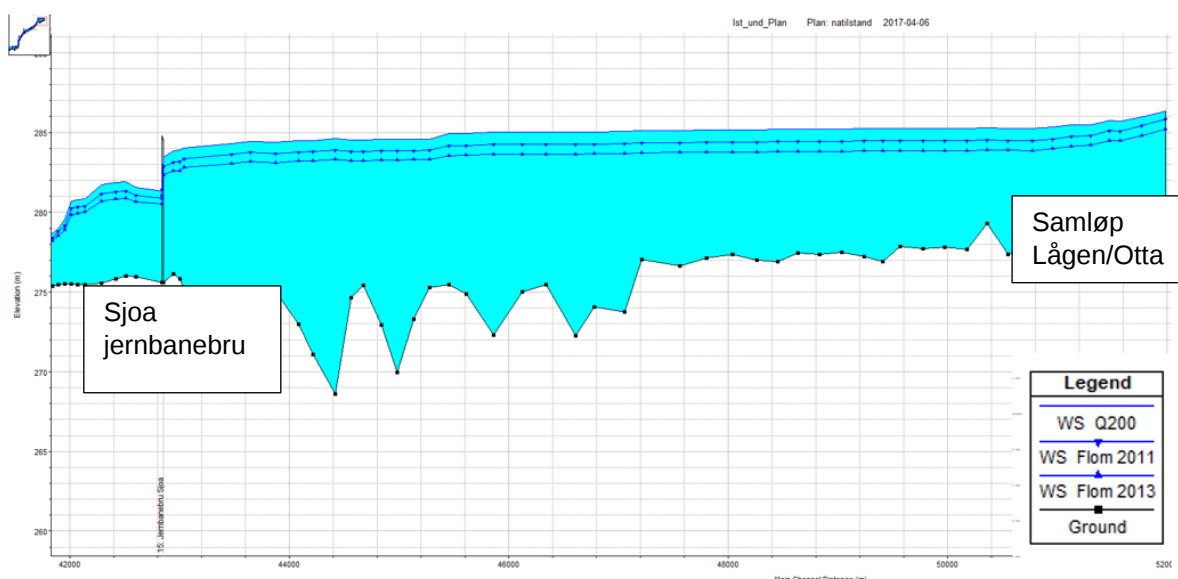
Som øvre grensebetingelse i Otta og Lågen benyttes vannføringer fra Tabell 1. På beregningsstrekningen nedstrøms samløpet kommer det ikke inn noen vesentlige sidevassdrag. Totalt feltareal øker med mindre enn 1%, fra om lag 6150 til 6200 km<sup>2</sup>. Det er derfor ikke lagt inn grensebetingelser med vannføring inn lenger ned i modellen.

## 2.5.3 Nedre grensebetingelse – kapasitetskurve oppstrøms Sjoa jernbanebru

Strømningen er underkritisk i hele beregningsområdet, slik at vannstand nedstrøms tiltaksområdet påvirker vannstand ved Otta sentrum. Nedre grensebetingelse er plassert ca. 8 km nedstrøms samløpet og 2 km nord for Sjoa tettsted, på samme sted som tverrsnitt 106849.1 i Blasy-Øverlands 1D-modell for Gudbrandsdalslågen [10]. Det er valgt å legge grensebetingelsen i et tverrsnitt såpass langt ned, for å komme forbi området med store flomsletter. Tverrsnittet ligger ned mot Sjoa, hvor Lågen går i et dypt og godt definert elvetrau.

Ved Sjoa jernbanebru snevres Lågen inn til et smalere tverrsnitt, og fallet øker ned mot Sjoa tettsted. I 1D-beregning fra 2017 stuver jernbanebrua ved Sjoa opp vannstanden i det lange, slake partiet oppstrøms i Lågen (tilbake mot Otta). Norconsult mener derfor at det er viktig å bruke en kapasitetskurve («rating curve») som nedre grensebetingelse i vår 2D-modell. En kapasitetskurve beskriver sammenhengen mellom vannføring og vannstand der vannet forlater beregningsområdet. Dersom man ikke skulle benyttet «rating curve», ville alternativet i Hec-Ras vært normalstrømning (eller en fast vannstand). Siden resultatene fra 1D-modellen i Figur 22 tydelig viser at det ikke er normalstrømning i nederste del av vårt modellområde, er normalstrømning uegnet som nedre grensebetingelse.

Til versjon B01 av rapporten satte Norconsult opp en «rating curve» som nedre grensebetingelse i 2D-modellen. Kurven bestod av punkter med vannføring og tilhørende vannstand for ulike gjentaksintervall, hentet direkte fra resultater i tverrsnitt 106849.1 i Blasy-Øverlands 1D-modell. 1D-modellen omfatter simulering av hele Gudbrandsdalslågen inkl. sidevassdrag. Lengdesnitt fra 2017-resultatet er vist i Figur 22.



Figur 22 Beregnet vannstand for  $Q_{200}$  fra 2017-modell, samt flommer i 2011 og 2013. Vannlinja er vist fra samløpet (høyre ende av figuren) til Sjoa jernbanebru. Resultatet er hentet fra plan "natilstand", profil  $Q_{200}$ , Flom 2011 og Flom 2013.

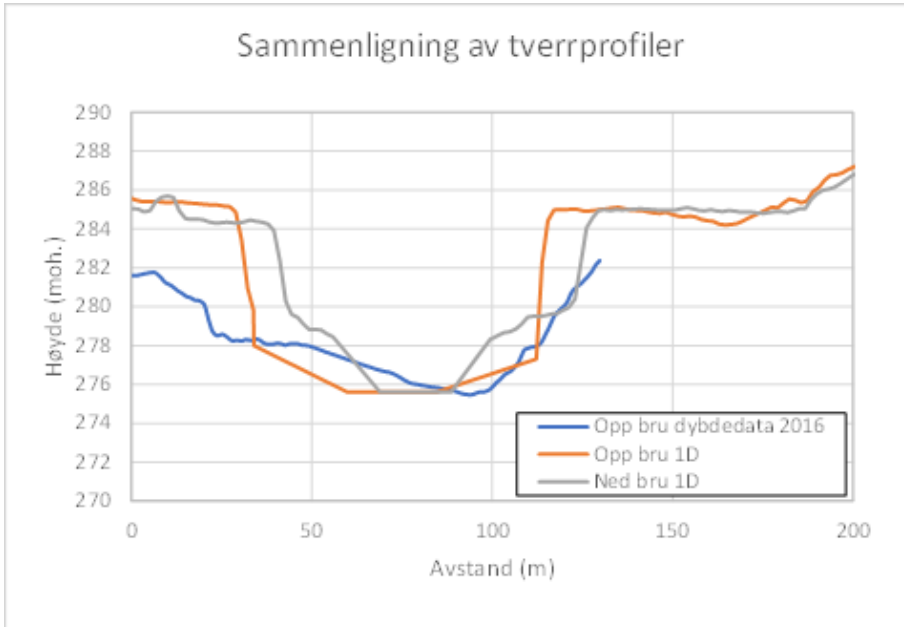
1D-modellen fra 2017 har betydelige falltap gjennom Sjoa jernbanebru; hele 2,1 m ved 200-årsflom, og 1,8 m ved flommene i 2011 og 2013. Det finnes flyfoto av brua fra flomhendelser i 2018 og 2013, se Figur 23. Bildene bekrefter at vannstanden er høyere på oppstrøms side av pilaren enn nedstrøms. Fra bildene er det ikke mulig å anslå om 1,8 m høydeforskjell er reelt.



Figur 23 Flyfoto av Sjoa jernbanebru ved flom i 2018 (venstre) og 2013 (høyre). Foto fra [www.norgebilder.no](http://www.norgebilder.no).

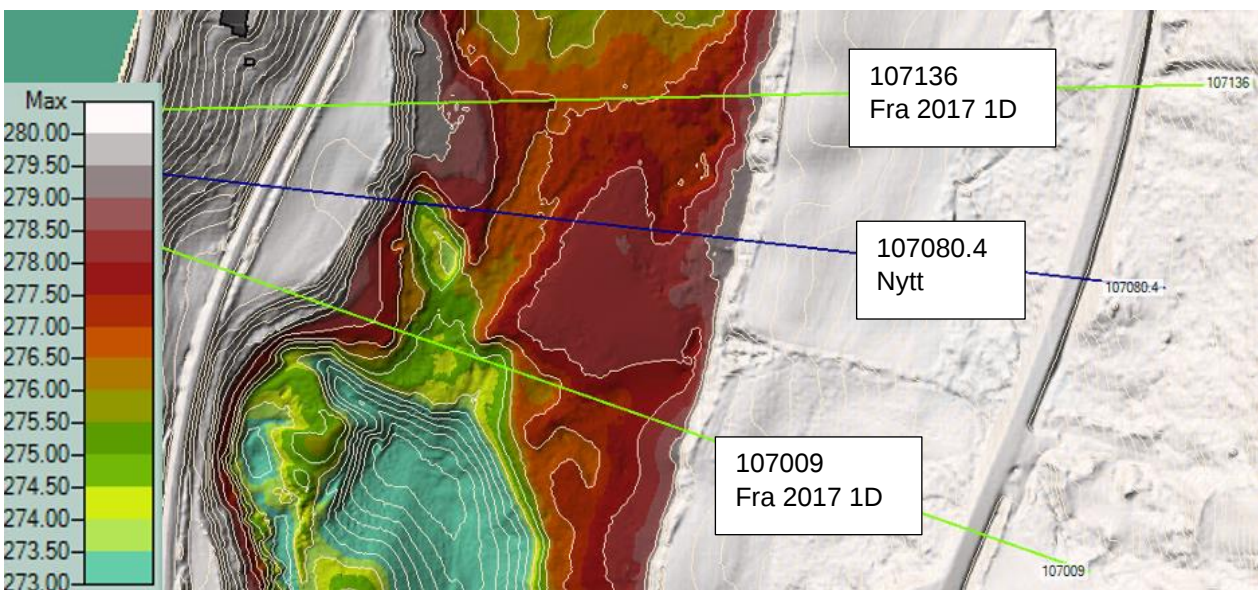
2017-modellen har usikkerhet i terrenggrunnet på strekningen fra Sjoa jernbanebru og ned til Frya. Dybdedata «NVE Gudbrandsdalslågen 2016» (grønn laser) avsluttes like oppstrøms Sjoa jernbanebru. Herfra og ned til Frya har 1D-modellen benyttet et stipulert tverrsnitt – se 2017-rapporten, kapittel 3.3, for detaljer.

Figur 24 sammenlikner tverrsnitt ved brua fra ulike modeller. Blått tverrsnitt er tatt fra dybdedata der dybdescanningen avsluttes rett oppstrøms brua. Rødt og grått tverrsnitt er stipulerte brutverrsnitt fra 2017-modellen. Stipulerte tverrsnitt i 1D-modellen er vesentlig trangere enn dybdedataene rett oppstrøms, spesielt for høye vannstander. Hvis tverrsnittet i 1D-modellen er mer begrensende enn hva terrenget i realiteten er, vil det føre til at beregnet vannstand på oppstrøms side av Sjoa jernbanebru blir for høy. Det vil igjen gi for høy vannstand tilbake mot Otta. På grunn av usikkerhet i 1D-modellen fra 2017, er det til versjon J02 av rapporten satt opp en ny versjon av 1D-modellen for strekningen fra oppstrøms Otta og forbi Sjoa tettsted.



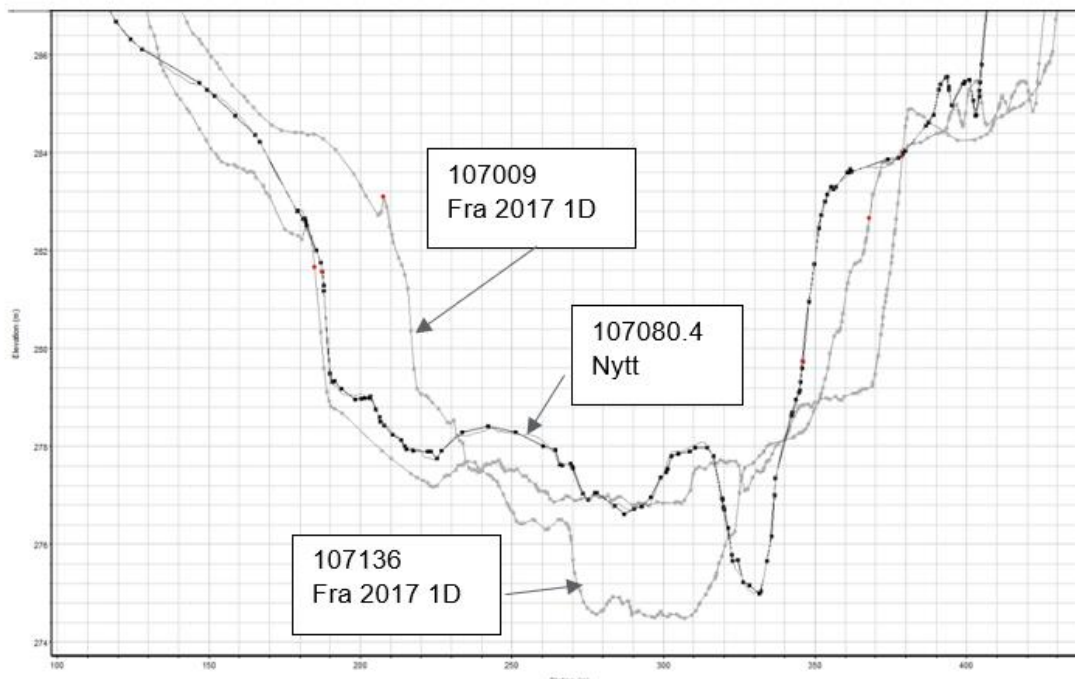
Figur 24 Sammenlikning av tverrprofiler ved Sjoa jernbanebru. Blå linje viser tverrsnitt av bunnen der terrengmodell «NVE Gudbrandsdalslågen 2016» er avsluttet; like oppstrøms brua. Rød og grå linje viser tverrsnitt opp- og nedstrøms brua i 1D-modellen fra 2017.

Gjennomgang av 2017-tverrsnittene mellom Otta sentrum og Sjoa jernbanebru viste at tverrsnittene ikke nødvendigvis var plassert der terrenget er mest begrensende. Til ny 1D-modell er det lagt inn flere tverrsnitt mellom 2017-tverrsnittene på strekningen. Se eksempel i Figur 25 og Figur 26 for elvestrekningen fra gårdene Veslerusti/Roheim ned mot Nordre Eide. De to grønne tverrsnittene er fra 2017-modellen. Mellom de grønne tverrsnittene ligger et trangere og grunnere parti. Herfra er blått tverrsnitt lagt inn til ny modell. I alle tre tverrsnitt er dybde data hentet fra scanning «NVE Gudbrandsdalslågen 2016».



Figur 25 Nytt tverrsnitt (blått) i parti med grunn elvebunn mellom tverrsnitt fra 2017-modell (grønne). Høyde i moh.



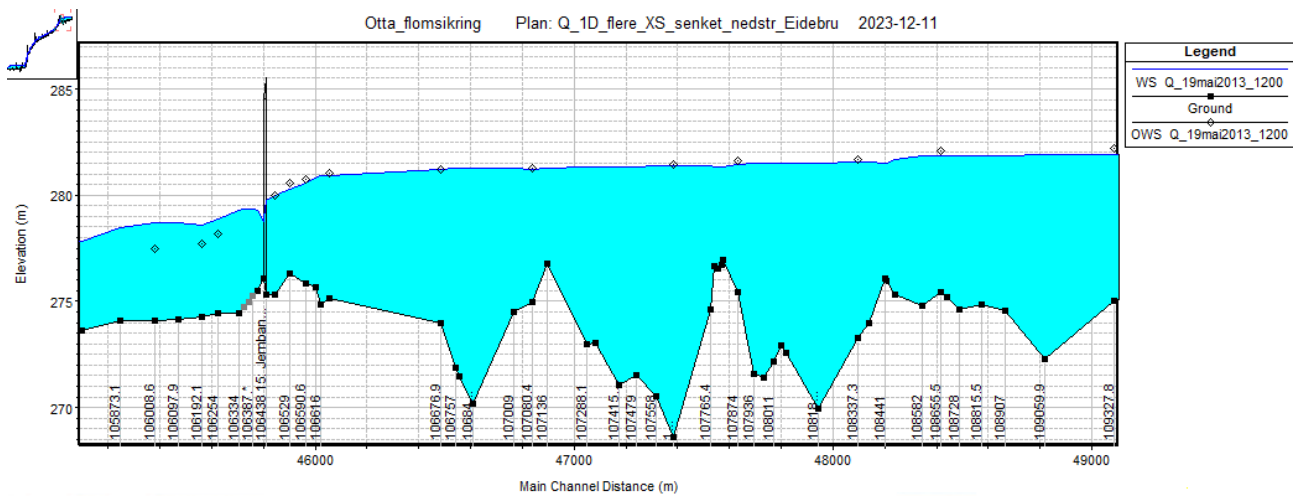


Figur 26 Tverrsnitt 107136 (fra 2017, grått), 107080.4 (nytt, svart) og 107009 (fra 2017, grått). Bunnivå i Lågen ligger høyere i svart tverrsnitt (107080.4), som er lagt inn i modellen mellom de to grå tverrsnittene. Rutenettet har oppløsning 10 m på x-aksen og 0,4 m på y-aksen.

Sjoa jernbanebru er modellert i Hec-Ras. Brutegning for Sjoa jernbanebru er mottatt fra Bane NOR. Der bunnscanningen er avsluttet, er det tatt ut et tverrsnitt fra dybde data (tilsvarende blått tverrsnitt i Figur 24). Dette benyttes som «upstream bridge» tverrsnitt i Hec-Ras, i stedet for rødt tverrsnitt i Figur 24. Nedstrøms brua er det lagt inn nye tverrsnitt. Her foreligger det ikke oppmålte dybde data. Tverrsnittene er estimert på bakgrunn av brutegning, foto fra brustedet og flyfoto. I forhold til 2017-terreng er bunnen senket nedstrøms brua.

Det foreligger få målinger av flomvannstand på strekningen mellom Otta sentrum og Sjoa jernbanebru. For å kalibrere den nye 1D-modellen, benyttes laserdata fra [www.hoydedata.no](http://www.hoydedata.no), scanning «Nord-Gudbrandsdal 2013». Scanningen inkluderer ikke dybde data. Terrengnivå i Lågen tilsvarer derfor vannstand på scanningstidspunktet 19. mai 2013. Til simulering er vannføring fra samme dato hentet fra vannmerkene. Med data fra 19. mai 2013 viser simulert vannføring god tilpasning til vannstand fra laserdata i tverrsnittet hvor kapasitetskurve til nedre grensebetingelse hentes ut (Figur 27).

Nedstrøms jernbanebrua er tilpasningen dårligere. For vannføringen 19. mai 2013 går strømmingen gjennom kritisk ved brua, slik at vannstand nedstrøms brua ikke betyr noe for oppstrøms vannstand. Ettersom det ikke foreligger dybde data nedstrøms brua, er det ikke forsøkt å kalibrere 1D-modellen her.

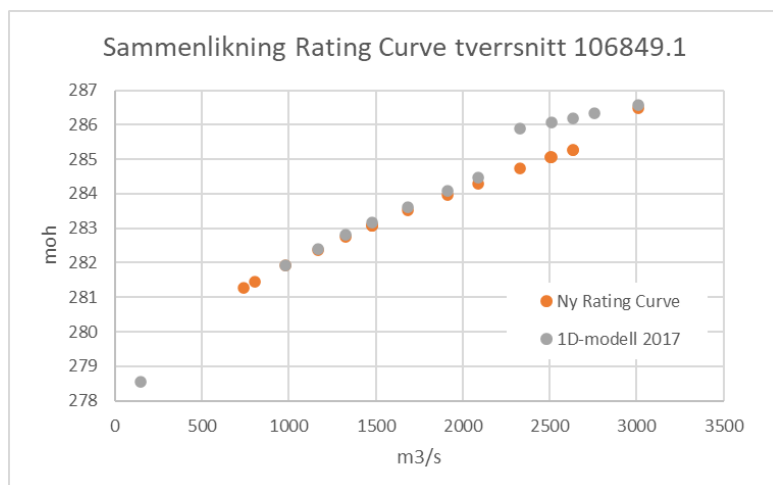


Figur 27 Ny 1D-modell med resultater fra simulert vannføring 19. mai 2013. Observert vannstand fra høydedata (små ringer) stemmer godt med simulert vannstand på strekningen ned mot Sjoa jernbanebru.

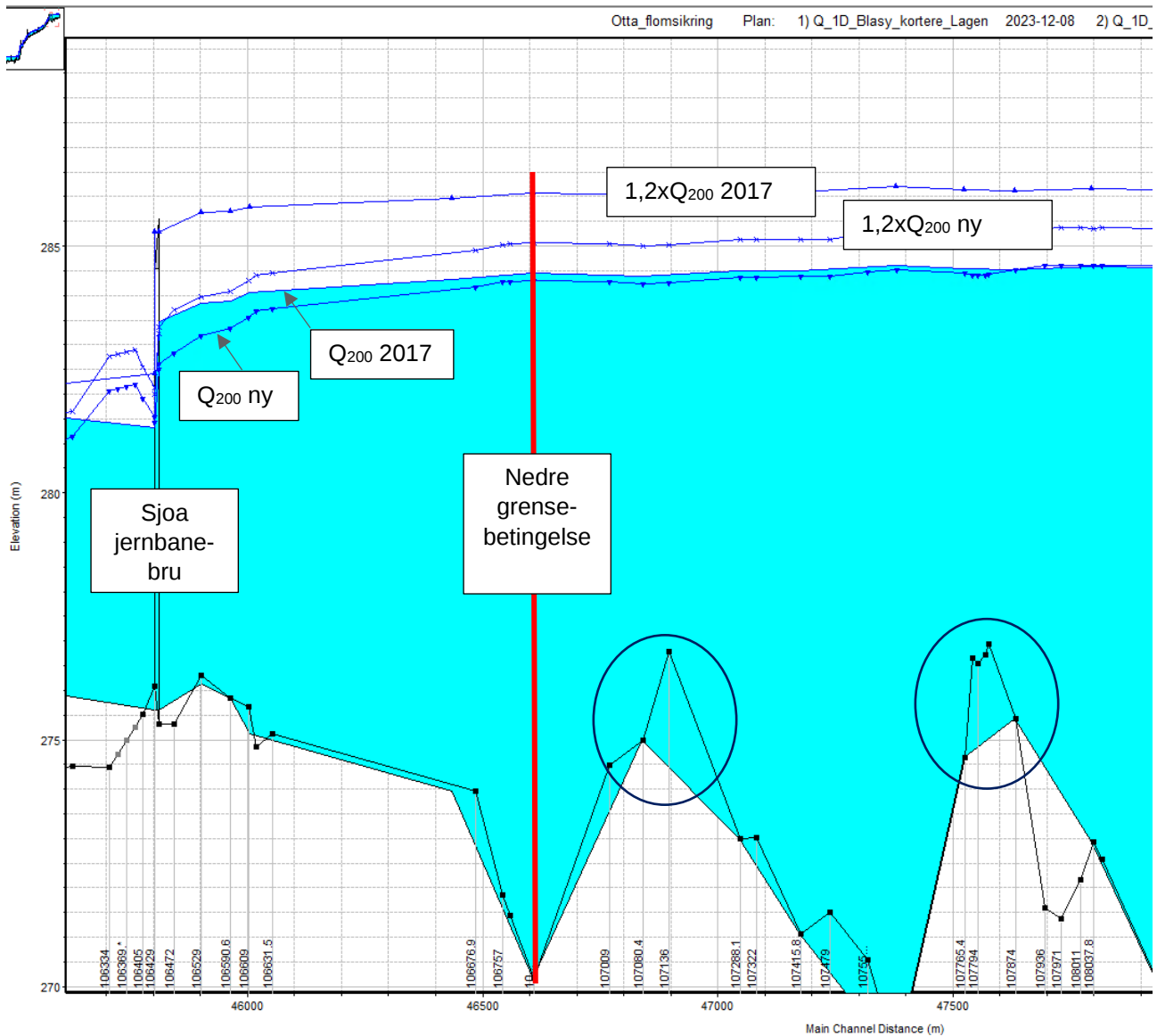
Målet med ny 1D-modell er å revidere kapasitetskurven som var satt opp for tverrsnitt 106849.1 fra 2017-resultatene. Ny og gammel kapasitetskurve er vist i Figur 28. Beregnet vannstand for  $Q_{200}$  og  $1,2xQ_{200}$  med 2017-modell og ny modell er vist i Figur 29.

Ved  $Q_{200}$  (ca. 2100 m<sup>3</sup>/s) har 2017-modellen flat vannstand ned mot brua, og stort falltap gjennom brua. Ny 1D-modell har større helning på vannlinja ned mot brua, og ca. 1 m lavere vannstand ved selve brua. Vannstanden går gjennom kritisk i 2017-modellen, men akkurat ikke i den nye 1D-modellen (Froude = 0,96). Selv om ny 1D-modell gir lavere vannstand ved Sjoa jernbanebru, har ny modell og 2017-modellen omtrent samme vannstand i tverrsnittet hvor nedre grensebetingelse er tatt ut. Vannstand ved Otta sentrum blir dermed omtrent den samme ved  $Q_{200}$  med ny og gammel nedre grensebetingelse.

Ved  $1,2xQ_{200}$  (ca. 2500 m<sup>3</sup>/s) har ny modell 1 m lavere vannstand i tverrsnittet hvor kapasitetskurven hentes. Det skyldes at vannstanden når opp til underkant brudekke av Sjoa jernbanebru i 2017-modellen, men ikke i ny 1D-modellen. Det gir noe utslag i beregnet vannstand ved Otta sentrum, sammenliknet med versjon B01 av denne rapporten.



Figur 28 Rating Curve fra 1D-modell i tverrsnitt 106849.1 benyttes som nedre grensebetingelse i 2D-modell.

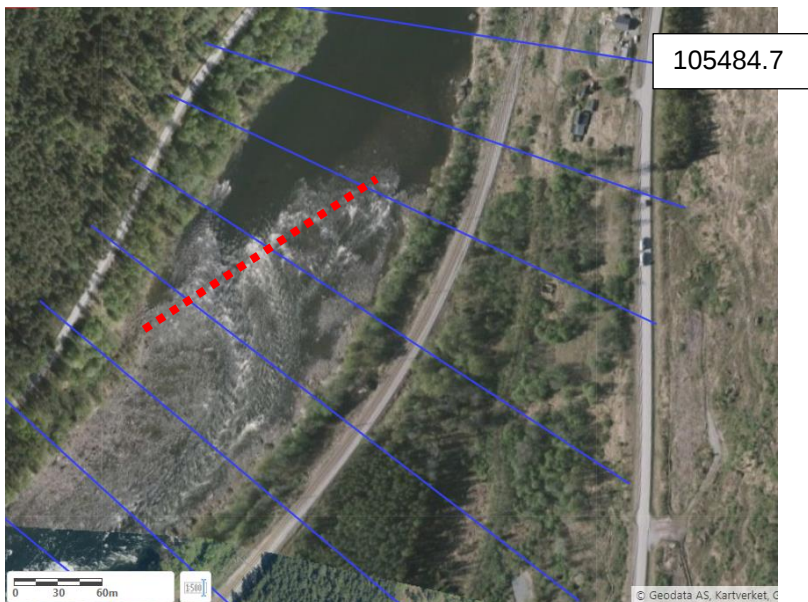


Figur 29 Lengdesnitt av beregnet vannstand ned mot Sjoa jernbanebru. Sammenlikning av vannlinje fra ny 1D-modell mot 2017 1D-modell. Ved Sjoa jernbanebru er vannstanden ca. 1 m lavere i ny 1D-modell sammenliknet med 2017-modellen ved  $Q_{200}$ , men forskjellen er liten i tverrsnittet hvor nedre grensebetingelse hentes ut. For  $1,2xQ_{200}$  er forskjellen ca. 2 m ved brua og 1 m ved nedre grensebetingelse. Blå ringer viser hvor bunnivå i ny modell ligger høyere enn i 2017-modellen, pga. nye tverrsnitt som er lagt inn der dybde data viser begrensende snitt.

Froude-tallet ved Sjoa jernbanebrua er  $<1$  ved  $1,2xQ_{200}$ . Dermed kan forhold nedstrøms brua påvirke vannstanden ved Otta sentrum ved dimensjonerende flom. Først i modelltverrsnitt 105484.7 (ca. 1 km nedstrøms Sjoa jernbanebru) går strømmingen gjennom kritisk. Det er usikkert om det samsvarer med faktiske forhold, ettersom bunndata på strekningen mangler og tverrsnittene er basert på en antatt geometri.

Flyfoto av strekningen fra Sjoa jernbanebru ned til Sjoa tettsted (Figur 30 og Figur 31) viser at bunngeometrien er komplisert. Nedstrøms tverrsnitt 105484.7 ligger en naturlig terskel av stein. På lav

vannføring er store partier tørrlagt på hver side av elva nedstrøms terskelen. I 1D-modellen fra 2017 er tverrsnittene plassert på tvers av terskelen, og de grunne partiene fremkommer ikke tydelig i de stipulerte tverrsnittene.



Figur 30 Stryk mellom Sjoa jernbanebru og Sjoa tettsted. Det mangler dybde data i området. Blå linjer er tverrsnitt fra 2017-modellen, med stipulert/regelbasert geometri. Ved 1,2xQ<sub>200</sub> gir oppdatert 1D-modell at strømmingen går gjennom kritisk i tverrsnitt 105484.7. Rød, stiplet linje antyder naturlig terskel av stein som kan sees fra flyfoto. Foto fra [www.norgebilder.no](http://www.norgebilder.no).



Figur 31 Stryk mellom Sjoa jernbanebru og Sjoa tettsted på lav vannføring. Rød, stiplet linje antyder naturlig terskel av stein som kan sees fra flyfoto. Foto fra [www.norgebilder.no](http://www.norgebilder.no), flyfoto Midt-Gudbrandsdal 2017. Nederst i bildet vises bru over til Stasjonsvegen på Sjoa.

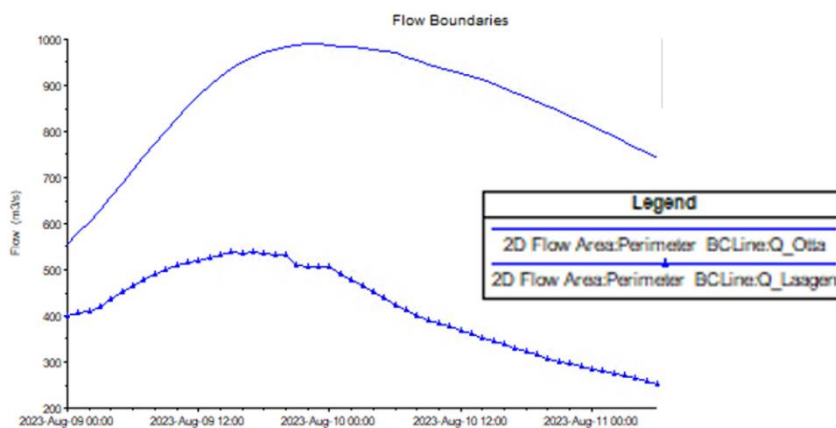
Arbeid med ny 1D-modell har vist at beregnet vannstand er sensitiv for bunngeometri på strekningen hvor det mangler innmålte dybdeedata. Inntil det foreligger terrenggrunnlag (bunndata fra kartlegging) for Lågen nedstrøms Sjøa jernbanebru, vil det være noe usikkerhet knyttet til nedre grensebetingelse som benyttes i 2D-simulering av flomvannstand ved Otta sentrum, slik det er vist i avsnitt 3.5 *Sensitivitetsanalyse*.

## 2.6 Kalibrering av 2D-modell

### 2.6.1 Kalibrering mot 2023-flom

Det er utført kalibrering mot flommen i august 2023. Mannings  $n$  i elvene er justert for å oppnå samsvar med observasjonene fra Rondane Oppmåling. Til kalibrering er flomforløpet simulert med timesverdier fra vannmerkene, korrigert for økning i feltareal. Simuleringsperioden går fra 8. august kl. 18:00 og ut døgnet 10. august. Det er benyttet terrengmodell som inkluderer tiltakene som er omtalt i avsnitt om terrengmodell.

Observasjonene av vannstand i Otta sentrum ble registrert i løpet av en periode på 3-4 timer om formiddagen den 10. august. For å hente ut vannstand fra Hec-Ras på rett tidspunkt, må det korrigeres for transporttid fra vannmerkene ned til observasjonspunktene. Avstand fra vannmerke Rosten til oppstrøms ende av modellen i Lågen er ca. 11 km, herfra er det ytterligere 4 km videre ned til samløpet. Fra vannmerke Lalm i Otta til samløpet er det ca. 17 km. Det er valgt å lese av beregnet vannstand fra modellen 10. august kl. 14:00 for punkter oppstrøms samløpet, og 16:00 nedstrøms. Det tilsvarer en forskyvning på 3-5 timer for de fleste observasjonspunktene.



Figur 32 Flomforløp med vannføring fra 2023-flom (9.-11. august 2023), til kalibrering. Øverste kurve viser vannføring i Otta, nederste (med triangler) viser vannføring i Lågen.

Det er kjørt ca. 10 ulike scenarier for ruhet i Lågen og Otta. Best samsvar med observasjoner oppnås med Mannings  $n$  lik 0,04 i Lågen ned til Solgjemsøyene og 0,035 i Otta. Simuleringsresultater i Tabell 6 viser god tilpasning til målt vannlinje 10. august, og også rimelig godt samsvar med terrengspor som angir maks. vannstand. De fleste avvik ligger innenfor forventet måleavvik/nøyaktighet ved måling av vannstander i elv.

Tabell 6 Kalibrering mot 2023-flom – inndata og resultater.

Strekning	Rondane Oppmåling Punkt id	Observasjon tidspunkt	Lest av fra Hec-Ras kl.	Observert vannstand (moh)	Simulert vannstand (moh)	Avvik (m)
Lågen	10	10:43	14:00	291.44	291.41	-0.03
Lågen	11	10:59	14:00	290.75	290.65	-0.10
Lågen	8	10:12	14:00	288.47	288.47	0.00
Lågen	7	10:04	14:00	287.94	287.94	0.00
Lågen	6	mangler	14:00	287.41	287.35	-0.06
Lågen	5	09:45	14:00	286.43	286.44	0.01
Lågen	4	09:35	14:00	286.03	286.04	0.01
Lågen	3	09:24	14:00	285.91	285.87	-0.04
Lågen	2	09:17	14:00	285.70	285.76	0.06
Lågen v/samløp	1	09:03	14:00	285.59	285.56	-0.03
Otta	15	08:53	14:00	285.69	285.69	0.00
Otta	16	08:43	14:00	286.29	286.32	0.03
Nedstr samløp	15elvmot	12:10	16:00	285.38	285.37	-0.01
Nedstr samløp	16 elvmot	12:14	16:00	285.10	285.10	0.00
Nedstr samløp	17elvmot	12:21	16:00	284.82	284.87	0.05
<b>Maks. verdier, observert vannstand basert på terrengspor</b>						
Lågen	2	-	maks.	286.26	286.52	0.26
Lågen v/samløp	1	-	maks.	286.15	286.16	0.01

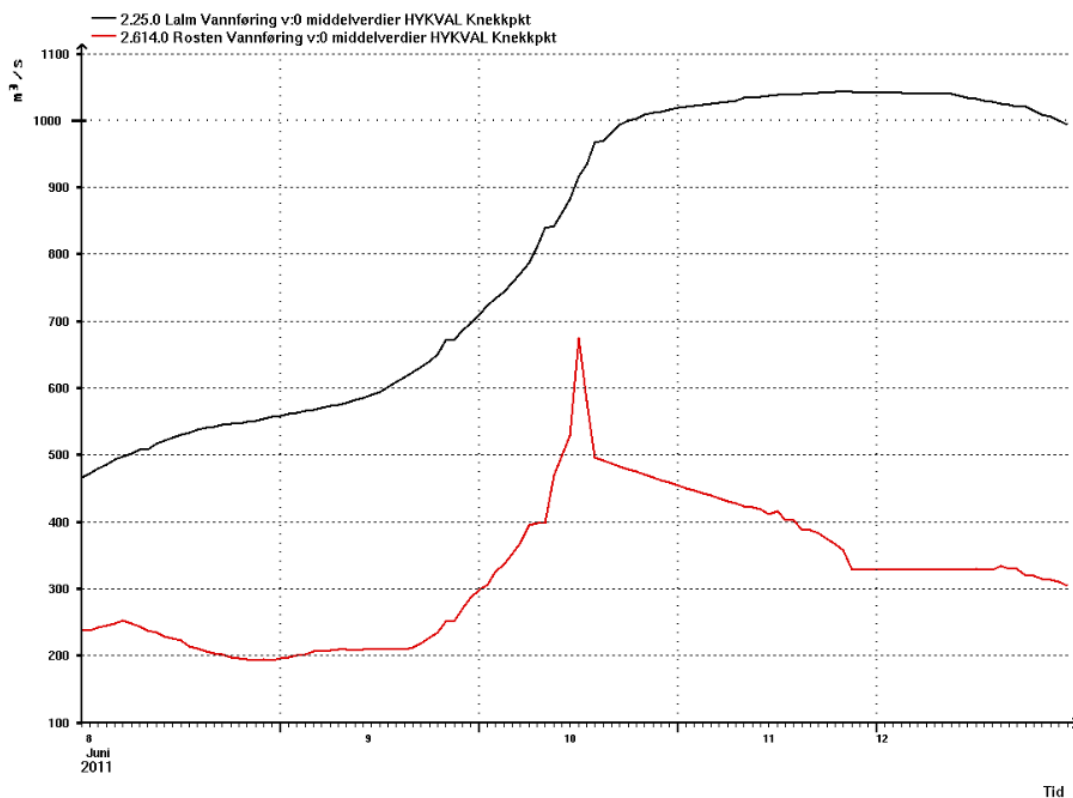
## 2.6.2 Sammenlikning med kalibrering fra 2017 og 2020

Med flomforløp fra ekstremværet Hans og Mannings n på samme nivå som Blasy-Øverland benyttet, ga modellen lavere vannstander enn observert. I 2017- og 2020-beregningene er Mannings n  $< 0,03 \text{ s/m}^{1/3}$  (varierende, ned til 0,022). Mannings n måtte økes til 0,035-0,04  $\text{s/m}^{1/3}$  for å oppnå vannstander som samsvarer med målinger fra 2023-flommen.

Kalibrering av tidligere 1D-modell er godt beskrevet i 2017-rapporten fra Blasy-Øverland [10]. 2017-modellen omfattet hele Gudbrandsdalslågen. Tabell 4-4 «Kalibrering flom 2011 Rosten – Otta» og tabell 4-6 «Kalibrering flom 2011 Otta» viser generelt god tilpasning til observert vannlinje, men de største negative avvikene (beregnet vannstand lavere enn observert) er nærmest Otta sentrum. For profilene 116001-115536 i Lågen er beregnet vannstand 18-28 cm lavere enn observert ved 2011-flommen. Profilene ligger på strekningen fra like oppstrøms Lågen kjørebri, til nedstrøms Loftsgårdsbrua – se kart i Figur 34. Beregnet vannstand i Otta er høyere enn observert fram til bruene, men 0,1-0,6 m lavere enn observert på de siste 500 m ned mot samløpet.

Til 2017-kalibreringen av 2011-flommen ble det utført stasjonær beregning direkte på kulminasjonsvannføringer. For Lågen ved Otta sentrum er 2011-kalibreringsflom satt til  $749 \text{ m}^3/\text{s}$ . Det samsvarer rimelig godt med kulminasjonsverdi fra FINUT på  $675 \text{ m}^3/\text{s}$  i Rosten registrert 10. juni 2011 kl. 12:00. Skalert for restfelt tilsvarer det  $715 \text{ m}^3/\text{s}$  i Lågen ved Otta sentrum, gitt skaleringsfaktorer fra NVEs flomberegning. 2011-flommen i Lågen hadde imidlertid svært spiss og kortvarig kulminasjon. Fram til to timer før, og to timer etter kulminasjon, var registrert vannføring  $< 500 \text{ m}^3/\text{s}$  i Rosten. Flomforløpet for juni 2011 er vist i Figur 33. Den spisse flomtappen kan ha blitt dempet på strekningen gjennom Selsmyrene ned til Otta. Hvis vannføring til kalibrering er satt høyere enn hva den i realiteten var, og modellen skal samsvare med

observerte vannstander, må ruheten i modellen settes ned. I så fall virker det rimelig at Norconsults modell har høyere Mannings n-verdier enn tidligere modell.



Figur 33 Flomforløp juni 2011 for 2.25 Lalm (svart kurve) og 2.614 Rosten (rød kurve). Fra FINUT.

I 2020-rapporten er det lite detaljer om kalibrering. Differanse i vannstand ved  $Q_{200}$  fra 2017- til 2020-resultatene er ikke diskutert i rapporten.

Det er tatt hensyn til kjente ulikheter i terrengmodell mellom de to flomepisodene. Norconsults kalibrering på 2023-flommen benytter terrengmodell med tiltakene som er beskrevet i avsnitt om terrengmodell. Det har vært utført terrengendringer i senere tid (etter 2011) med utfylling til gangpromenaden langs Lågen, og erosjonssikring mellom bruer i Otta og langs kanalen ved Ottbragdøya. Utfyllingene kan isolert sett ha bidratt til noe høyere vannstand under flommen i 2023.

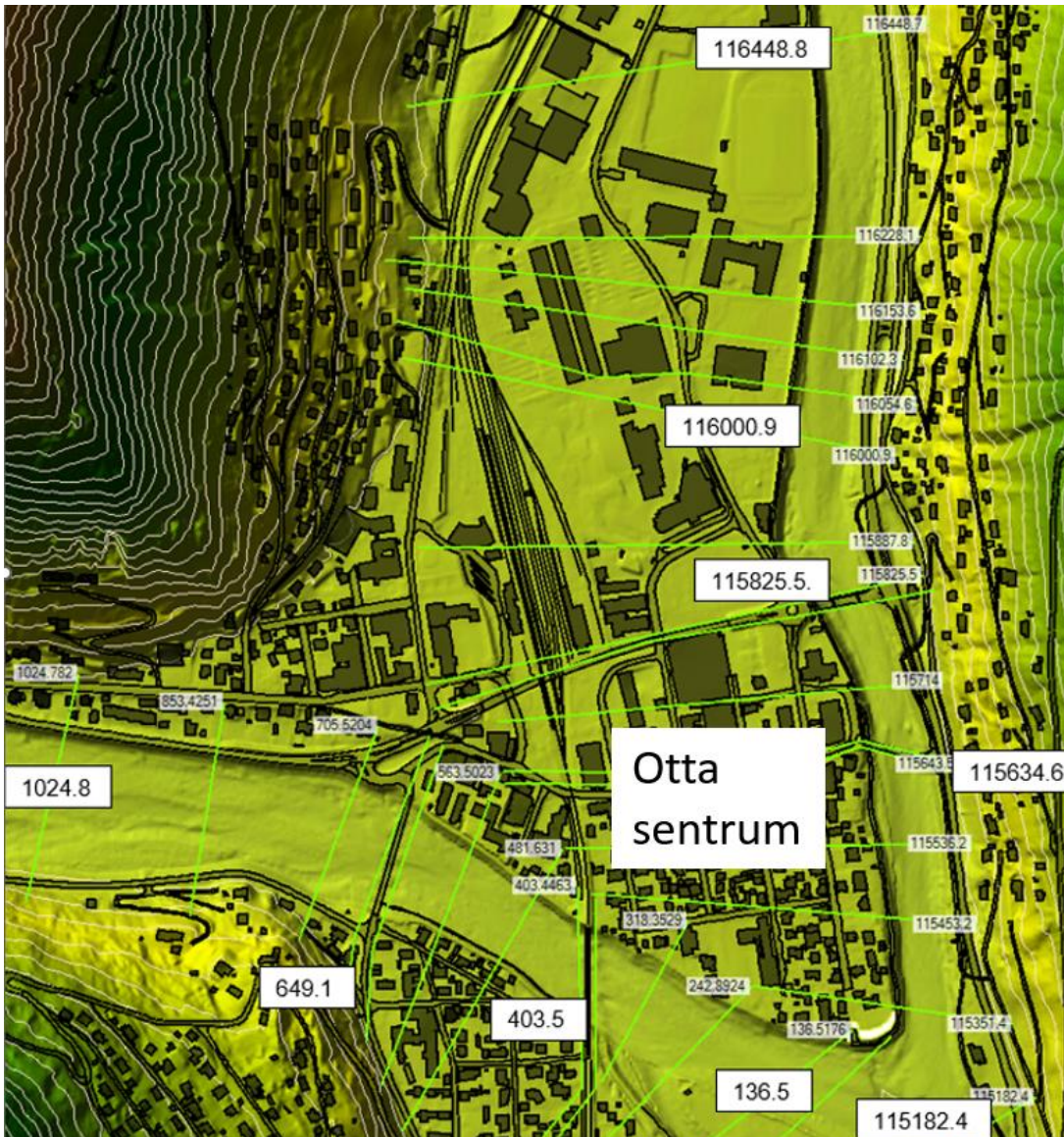
1D-modellen beregner gjennomsnittlig vannstand i tverrsnitt. 2D-modellen beregner lokale vannstander, og vannstanden kan variere gjennom et tverrsnitt i elva. Norconsult har ikke hatt tilgang på detaljerte 2D-vannstander fra Blasy-Øverland. Der Lågen svinger litt like oppstrøms Lågen kjørebri, gir Norconsults 2D-beregning ca. 0,1 m høyere vannstand i yttersving (mot Otta sentrum) enn midt i elva. Forskjellen i lokale vannstander synes å være moderat, og utgjør sannsynligvis ingen vesentlig del av avvikene.

Norconsult vurderer at for kalibrering må vi ta utgangspunkt i kunnskapsgrunnlaget fra Hans i 2023, selv om det medfører at kalibreringen gir andre resultater enn tidligere arbeid. Det er valgt å benytte Mannings n 0,035-0,04 i beregning av 200-årsflom.

### 3 Resultater fra vannlinjeberegning

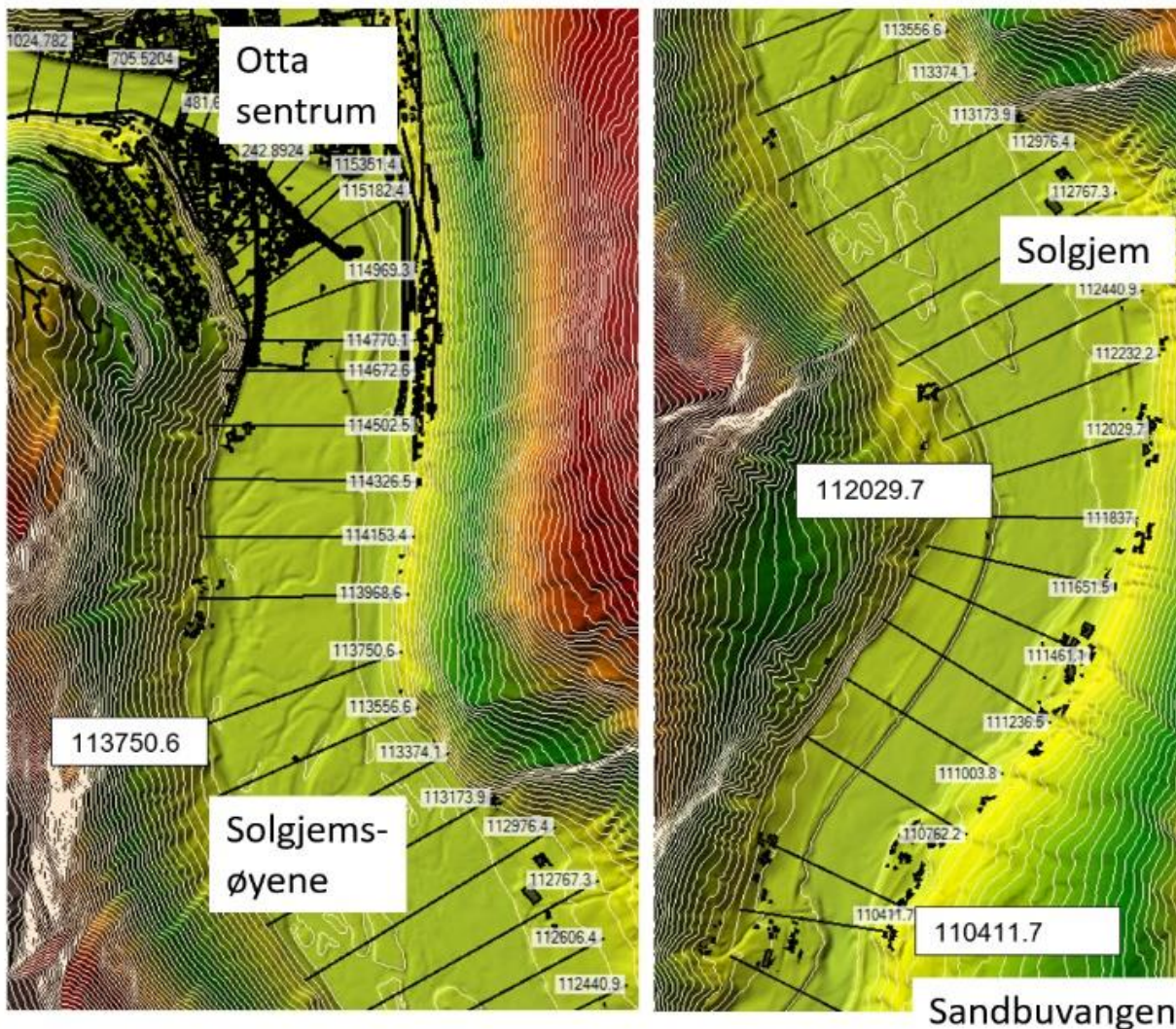
#### 3.1 200-årsflom i dagens situasjon

Tabell 1 oppsummerer beregnede vannstander ved 200-årsflom. Kolonner «NO 2023» viser beregnet vannstand fra Norconsults 2D-modell for belastningstilfelle 1 (kulminasjon i Lågen) og 2 (kulminasjon i Otta). For å kunne sammenlikne med tidligere resultater, er resultatene tatt ut i enkelte tverrsnitt som ble benyttet av Blasy-Øverland i 2017, se Figur 34 og Figur 35 for plassering.



Figur 34 Plassering av tverrsnitt nær Otta sentrum. Tverrsnittnummer i hvite tekstbokser viser tverrsnitt som benyttes til resultattabeller. Nummerering av tverrsnitt er hentet fra Hec-Ras-modellen som ligger til grunn for Blasy-Øverlands rapport fra 2017 [10].





Figur 35 Plassering tverrsnitt nedstrøms samløp i terrengmodell fra [www.hoydedata.no](http://www.hoydedata.no). Nummerering av tverrsnitt er hentet fra Hec-Ras-modellen som ligger til grunn for Blasy-Øverlands rapport fra 2017 [10].

Tabell 7 viser en sammenligning av resulterende vannstander fra tidligere utførte flomutredninger og Norconsults resultater. Kolonner «B-Ø 2017» er resultater hentet fra Blasy-Øverlands Hec-Ras 1D-modell, plan «natilstand», profil «Q200» (tilsvarer belastningstilfelle 1) og «Q200 Otta» (belastningstilfelle 2). 2020-resultater fra Blasy-Øverland er lest av manuelt fra kart i dwg-fil «V101-102\_Oversiktskart – nåtilstand\_190830» på aktuelle tverrprofiler. Nøyaktigheten er begrenset av at kartet har 0,25 m ekvidistanse. Vannstand er forsøkt lest av på nærmeste kotelinje.

Tabell 7 Resultat for Q<sub>200</sub> fra Norconsult (2023) og Blasy-Øverland (1D i 2017 og 2D i 2020).

Profil	B-Ø Reach	NO 2023 Vst. tilf. 1 (moh)	NO 2023 Vst. tilf. 2 (moh)	NO 2023 Max. vst. (moh)	B-Ø 2017 Vst. tilf. 1 (moh)	B-Ø 2017 Vst. tilf. 2 (moh)	B-Ø 2017 Max. vst. (moh)	B-Ø 2020 Max vst. (moh)
116448.7	Lågen 1	288.66	288.46	288.66	287.99	287.54	<b>287.99</b>	<b>288.25</b>
116000.9	Lågen 1	288.26	287.87	288.26	287.73	287.30	<b>287.73</b>	<b>287.50</b>
115825.5 (Lågen kjørebru, oppstr.)	Lågen 1	288.06	287.74	288.06	287.60	287.21	<b>287.60</b>	<b>287.25</b>
115634.6 (nedstr. Loftsgardbrua)	Lågen 1	287.22	287.18	287.22	286.33	286.36	<b>286.36</b>	<b>286.50</b>
115182.4 (nedstr. samløp)	Lågen2	286.90	286.93	286.90	286.33	286.33	<b>286.33</b>	<b>286.25</b>
114326.5	Lågen2	286.16	286.19	286.16	285.49	285.49	<b>285.49</b>	<b>284.75</b>
113750.6	Lågen2	285.96	286.00	285.96	285.26	285.26	285.26	<b>283.75</b>
112029.7	Lågen2	285.84	285.88	285.84	285.21	285.21	285.21	<b>283.00</b>
110411.7	Lågen2	285.75	285.71	285.75	285.12	285.12	285.12	<b>282.00</b>
1024.782	Otta	288.14	288.42	288.14	287.52	288.67	<b>288.67</b>	<b>287.50</b>
649.14 (oppstr. Otta kjørebru)	Otta	287.87	288.08	287.87	286.99	288.42	<b>288.42</b>	<b>287.25</b>
403.45 (oppstr. jernbanebru)	Otta	287.32	287.40	287.32	286.49	287.74	<b>287.74</b>	<b>286.25</b>
136.51	Otta	286.99	287.02	286.99	286.41	286.37	<b>286.41</b>	<b>286.25</b>

### 3.2 200-årsflom i dagens situasjon – sammenlikning med tidligere beregninger

Avvik mellom Norconsults resultater og de to tidligere beregningene er vist i Tabell 8. Sammenliknet med 2017-modellen gir Norconsults resultater vesentlig høyere vannstand i Lågen, og lavere vannstand i Otta. Beregnet vannstand i Norconsult-modellen er høyere enn 2020-resultatene i begge elver. 2020-modellen gir svært lave vannstander nedstrøms samløpet – avviket er på mellom 3 og 4 m sammenlikning med Norconsults resultat, og over 2 til 3 m sammenliknet med 2017-resultatet.

Tabell 8 Resultat for Q<sub>200</sub>, og sammenlikning med tidligere beregnede vannstander fra uthevede kolonner i tabellen over.

Profil	Diff. mellom NO 2023 og B-Ø 1D 2017 (m)	Diff. mellom NO 2023 og B-Ø 2D 2020 (m)
116448.7	0.67	0.41
116000.9	0.53	0.76
115825.5 (Lågen kjørebru, oppstr.)	0.46	0.81
115634.6 (nedstr. Loftsgardbrua)	0.86	0.72
115182.4 (nedstr. samløp)	0.60	0.68
114326.5	0.70	1.44
113750.6	0.74	2.25
112029.7	0.67	2.88
110411.7	0.63	3.75
1024.782	-0.25	0.67
649.14 (oppstr. Otta kjørebru)	-0.34	0.83
403.45 (oppstr. jernbanebru)	-0.34	0.90
136.51	0.61	0.77

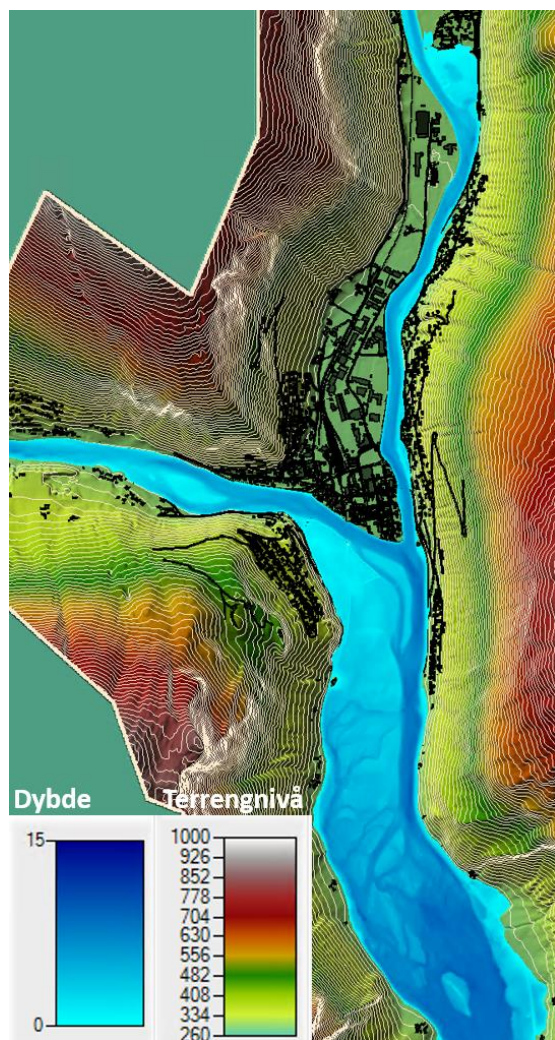
Vi har ikke funnet noen enkeltårsak som forklarer de store avvikene mellom beregningene i 2017, 2020 og 2023. Antakelig skyldes det en kombinasjon av flere mulige forhold:

- Beregningene i 2017, 2020 og 2023 er utført i hhv. Hec-Ras 1D, Hydro\_AS-2D og Hec-Ras 2D. De tre modellene har ulik beregningsmetodikk. Antakelig beregner de f.eks. ikke kapasitet under bruene på samme måte. For større flommer kan det gi større utslag i vannstand, især når vannstanden kommer opp til underkant brudekke.
- Det kan virke som om 2020-modellen er sterkt påvirket av en nedre grensebetingelse, som ikke avspeiles i 2017- eller 2023-resultatene. I 2020-modellen er nedre grensebetingelse plassert nærmere tiltaksområdet enn i 2017 og 2023 (se Figur 21). Ettersom strømmingen er underkritisk hele veien, vil eventuell lav vannstand i nedstrøms ende føre til for lav vannstand ved tiltaksområdet. Norconsults modell og 2017-modellen har avvik på ca. 0,6-0,7 m i de fleste av tverrsnittene på den 6 km lange strekningen i Lågen. Avviket er i samme størrelsesorden hele veien. Derimot øker avviket i 2020-resultatene nedover i modellen. 2020-resultatene har svært lav vannstand nederst i 2D-modellen. I tverrsnitt 110411 er det over 3 m avvik mellom 2017- og 2020-resultatene, og nærmere 4 m mellom 2023- og 2020-resultatene.
- 2017-kalibrering er utført på kulminasjonsvannføringer for 2011-flommen. Som stasjonær vannføring i Lågen ble det benyttet vannføring fra høyeste enkelttime målt i Rosten, uten å ta høyde for evt. demping underveis. I 2011 ble flomverket på Selsvollene overtoppet flere steder, se Figur 3 og NVE-rapport 13-2019 [12]. Den spisse flomtoppen som er målt i Rosten kan ha blitt dempet på vei ned mot Otta sentrum, slik at kulminasjonsvannføringen i Lågen ved Otta sentrum var lavere enn i Rosten.
- For høy vannføring ved Otta sentrum kan ha medført at ruheten måtte settes til en lav verdi i 2017-modellen ved kalibrering. I 2017-modellen ble Mannings M satt til 45 i Lågen. Til sammenlikning anbefaler Vassdragshåndboka M-verdier fra 17 (høy ruhet) til 40 (lav ruhet). Hvis ruheten er for lav, vil også vannstand ved 200-årsflom bli for lav. 2023-kalibreringen er utført med flomforløp fra vannmerkene. Flomforløp gjengir dynamikken i flomhendelsen bedre. For simulering med forløp hefter det likevel noe usikkerhet rundt tidsforsinkelse.
- I kalibrert 2017-modell for Gudbrandsdalslågen, er beregnet vannstand lavere enn observert i et område som er sentralt for flomsikringen. Avvik i kalibrering vil forsterkes i simulering av større flommer.
- Det er gjort utfyllinger i elveløpene nært Otta sentrum de siste årene. Isolert sett kan terrengendringene ha økt flomvannstanden noe. Påvirkning fra tiltak ved Ottbragdøya er usikker, ettersom det ikke foreligger innmålt terreng etter tiltak. Det kan ikke utelukkes at endringer her bidrar til oppstuvning ved Otta sentrum.
- Terrengmodellen for elveløpet er basert på bunnscanning utført i september 2015. Massetransport i elva etter 2015 kan ha påvirket observert vannstand ved 2023-flommen. Ved dimensjonerende flom er strømmingen underkritisk forbi jernbanebru nord for Sjoa. Fra jernbanebrua og videre nedstrøms er terrenggrunlaget svært usikkert på grunn av manglende scanning. Terrenget på elvebunnen helt ned mot Sjoa, kan være av betydning for vannstanden ved tiltaksområdet.

### 3.3 200-årsflom (inkl. 20% klimapåslag) til dimensjonering av flomsikring

På nåværende tidspunkt er ikke flomvollene prosjektert. Det er likevel utført en foreløpig simulering av flomvannstand med flomsikring, der kanten på mesh'et er lagt langs elvebredden i tiltaksområdet slik at Otta sentrum ikke kan oversvømmes. I resten av simuleringsområdet kan vann flyte fritt ut på flomslettene, se illustrasjon i Figur 36.

Formålet med simuleringene er å gi en indikasjon på flomvannstand etter sikring mot 200-årsflom til fagområdene Hydrogeologi og Flomvoller. Det er ikke tatt hensyn til praktiske utfordringer som f.eks. sikring av området ved Lågen kjørebru, hvor det åpenbart ikke kan anlegges en permanent flomvoll på tvers av innkjøringen til Otta sentrum. Simuleringen bør likevel gi et representativt bilde av vannstand i en situasjon der vann ikke kan renne inn i Otta sentrum.



Figur 36 Utsnitt av modell for  $1,2 \times Q_{200}$  med tiltak. Beregningsmesh'et ligger langs elvebredden ved Otta sentrum, slik at vann ikke kan strømme ut her. NB: mesh'et er avgrenset for å gi en indikasjon på vannstand ved ferdig sikret situasjon. Flomvollene er ikke prosjektert på nåværende tidspunkt, og derfor ikke lagt inn i modellen.

Til beregningen er det benyttet flomverdier for  $Q_{200}$  med 20% klimapåslag fra Tabell 1. I belastningstilfelle 1 (flom i Lågen) er det benyttet flomforløp fra Rosten for 2023-flommen, skalert slik at kulminasjonsverdien i

forløpet tilsvarer 1067 m<sup>3</sup>/s. Samtidig er vannføring i Otta satt til 1417 m<sup>3</sup>/s som stasjonær verdi. I belastningstilfelle 2 (flom i Otta) benyttes flomforløp fra Lalm for 2023-flommen, skalert slik at kulminasjonsverdien i forløpet for Otta tilsvarer 1668 m<sup>3</sup>/s. Samtidig er vannføring i Lågen satt til 832 m<sup>3</sup>/s som stasjonær verdi.

I mulighetsstudien fra 2020 [11] ble det ikke lagt til klimapåslag. Til 2023-prosjektet er 20% klimapåslag et krav. Med klimapåslag er total vannføring >400 m<sup>3</sup>/s høyere enn i 2020-beregningen, og dimensjonerende flomvannstander kan derfor ikke sammenliknes direkte med tidligere resultater.

Resultat fra vannlinjeberegning av Q<sub>200</sub> med 20% klimapåslag er vist i Tabell 9. Vannstander er lest av midt i elva. Vannlinjer fra de to beregningene er vist i Figur 37 (Lågen) og Figur 38 (Otta). I Figur 39 er det vist at flomsikring og klimapåslag medfører at beregnede vannstander øker med inntil ca. 1 m fra Q<sub>200</sub> i dagens situasjon til 1,2xQ<sub>200</sub> med flomsikring.

Tabell 9 Beregnede vannstander ved 1,2xQ<sub>200</sub> med sikring. Tilfelle 1 henviser til «belastningstilfelle 1», kulminasjonsflom i Lågen og tilhørende flom i Otta. Motsatt i tilfelle 2.

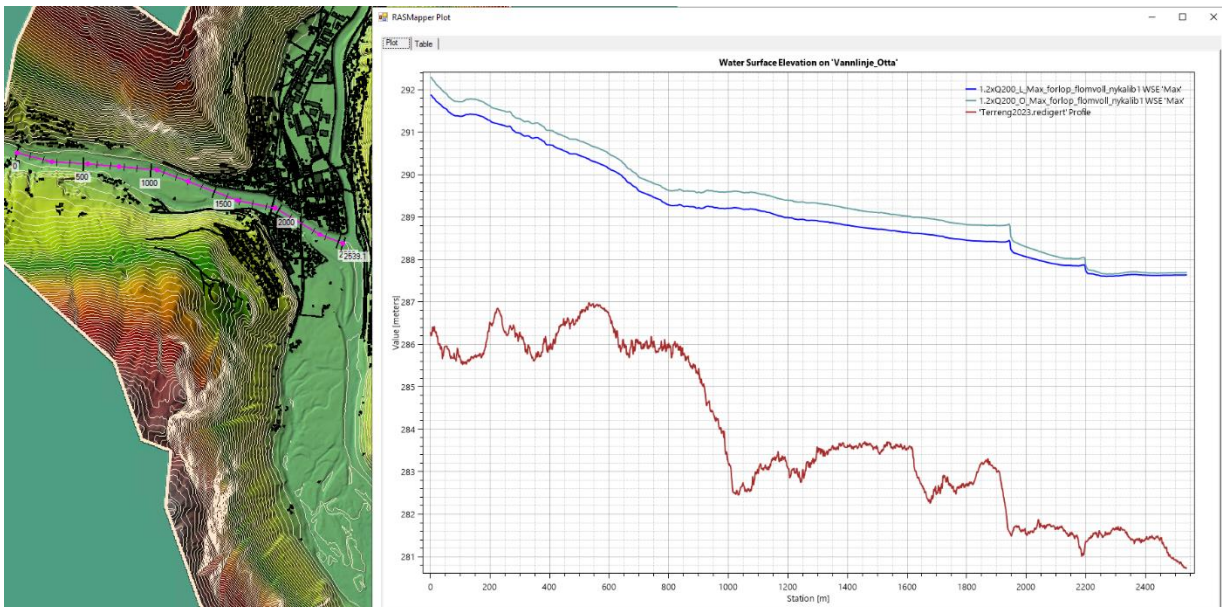
Profil	Vst. tilf. 1 (moh)	Vst. tilf. 2 (moh)	Max. vst. (moh)
116448.7	<b>289.67</b>	289.18	289.67
116000.9	<b>289.17</b>	288.76	289.17
115825.5 (Lågen kjørebri, oppstr.)	<b>289.04</b>	288.64	289.04
115634.6 (nedstr. Loftsgardbrua)	<b>287.90</b>	287.82	287.90
115182.4 (nedstr. samløp)	<b>287.63</b>	287.55	287.63
114326.5	287.01	<b>287.05</b>	287.05
1024.782	288.68	<b>289.07</b>	289.07
649.14 (oppstr. Otta kjørebri)	288.45	<b>288.83</b>	288.83
403.45 (oppstr. jernbanebri)	287.87	<b>288.06</b>	288.06
136.51	287.64	<b>287.69</b>	287.69

Vannstand på kt. 289,04 i Lågen ved Lågen kjørebri medfører at brua overtoppes. I tverrsnittet er vannlinja skrå, og høyest (ca. kt. 289,15-289,20) i yttersving mot Otta sentrum. Terrengnivå ved rundkjøringen ved Circle K ligger på kt. 288,0. Med så høy vannstand vil dette bli et utfordrende område for flomsikring. Ved Loftsgardsbrua og jernbanebrua ligger vannstanden omtrent på nivå med overkant brudekke. Kjørebri over Otta overtoppes.

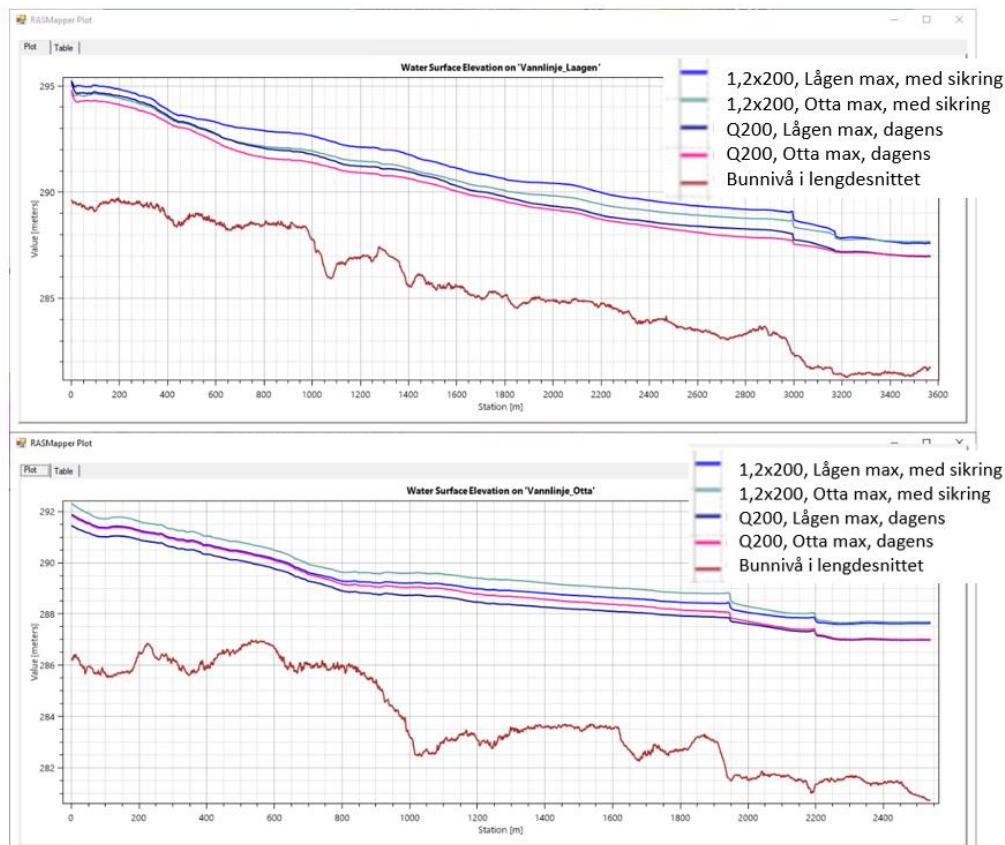
I mulighetsstudien er det ikke planlagt flomvoll ved gangpromenaden langs Lågen ned mot samløpet. Beregnede vannstander i Tabell 9 er så høye at vannet vil nå opp til bebyggelsen innenfor gangveien i dette området.



Figur 37 Vannlinje i Lågen ved 1,2xQ<sub>200</sub> med sikring for belastningstilfelle 1 (kulminasjonsflom i Lågen, blå linje) og 2 (kulminasjonsflom i Otta, grønn linje). Rød kurve viser elvebunnens nivå.



Figur 38 Vannlinje i Otta ved 1,2xQ<sub>200</sub> med sikring for belastningstilfelle 1 (blå) og 2 (grønn). Rød kurve viser elvebunnens nivå.



Figur 39 Vannlinje i Lågen (øverst) og Otta (nederst) – sammenlikning av vannstand ved  $Q_{200}$  i dagens situasjon mot  $1,2xQ_{200}$  med flomsikring. Vannlinjenes plassering er vist i Figur 37 og Figur 38.

### 3.4 Flomutsatte områder og berørt infrastruktur

Det er utarbeidet flomsonekart (vedlegg 3) for 20-, 200- og 1000-års flom inkludert 20 % klimapåslag. I dette avsnittet er flomutsatte områder og viktig berørt infrastruktur omtalt. Fra NVE har vi mottatt adresser og beskrivelse av seks bygg i sikkerhetsklasse F3, ifølge klassifisering fra TEK-17 [13]. Blant disse byggene er to bofelleskap for funksjonshemmede, legevakt/ alarmsentral, beredskapssenter, politistasjon og hotell med evakueringscenter. I tillegg omtales bruene innenfor prosjektområdet og E6 øst for Lågen (vurdert bare ved  $1,2xQ_{200}$ ).

#### 20-års flom inkl. 20 % klimapåslag ( $1,2xQ_{20}$ )

Området Tårua og campingplassen nord i prosjektområdet ved Lågen begynner å bli flomutsatt ved  $1,2xQ_{20}$ . I Otta sentrum er området mellom jernbanelinjen og Lågen, ned til Ottadalsvegen, flomutsatt. Her ligger det flere industriområder, som Loftgardsøya, Øya industriområde og Mostuguøya. På enkelte steder er det også oversvømt på vestsiden av jernbanelinjen.

Nord for Otta, mellom jernbanebrua og Otta kjørebru, ligger det et flomutsatt område. Sør for Otta, mellom samløpet og Sjoavegen ligger det også et flomutsatt område (vest for Ottbragdøya).

Ved ca.  $1,2xQ_{20}$  begynner vann å nå underkant av bruene i prosjektområdet. Lågen kjørebru er den av bruene som er mest utsatt for høye flomvannstander.

Ett av de to bofelleskapene i sikkerhetsklasse F3 er så vidt berørt av flomsonen ved 1,2xQ<sub>20</sub>.

### **200-års flom inkl. 20 % klimapåslag (1,2xQ<sub>200</sub>)**

I tillegg til alle områdene som er oversvømt ved 1,2xQ<sub>20</sub>, er industriområdet ved Skansenvegen flomutsatt ved 1,2xQ<sub>200</sub>. Det er ytterligere områder vest for jernbanelinjen som er flomutsatt, samt området sør for Ottadalsvegen. På enkelte steder er vanndybder i det flomutsatte området vest for Lågen over 1 m.

Det er også flomutsatte områder nord og sør for Otta, og vest for Sjoavegen.

Ved 1,2xQ<sub>200</sub> er både Lågen og Otta kjørebuer overtoppet. Vannstand når underkant av alle bruene, og jernbanebrua er nesten overtoppet. Loftgardsbrua ligger fortsatt høyt nok og blir ikke overtoppet.

Ved 1,2xQ<sub>200</sub> er E6 øst for Lågen langs prosjektområdet flomutsatt. Nord i prosjektområdet er det en kort strekning rett sør for Skreddarstugu som er flomutsatt, der veien går i et lavbrekk. Sør for Bekken og ned til Loftgardsbrua er E6 flomutsatt. Ved samløpet Otta/ Lågen og sørover er E6 noe flomutsatt.

Ett av byggene i sikkerhetsklasse F3 er flomutsatt, mens fire andre F3-bygg er så vidt/ til dels berørt av flomsonen ved 1,2xQ<sub>200</sub>

### **1000-års flom inkl. 20 % klimapåslag (1,2xQ<sub>1000</sub>)**

Ved 1,2xQ<sub>1000</sub> er størstedelen av flomsletten langs vestre siden av Lågen, fra Tårua og sørover, flomutsatt, inkludert området nord og sør for Otta. På enkelte steder er det vanndybder over 2 m.

Alle bruene innenfor prosjektområdet er overtoppet, og fem F3-bygg er flomutsatt.

## **3.5 Sensitivitetsanalyse**

Det er utført sensitivitetsanalyse på nedre grensebetingelse ved 200-årsflom, belastningstilfelle 1 (Lågen 888 m<sup>3</sup>/s, Otta 1181 m<sup>3</sup>/s). Nedre grensebetingelse er gitt ved en «rating curve», som beskriver sammenhengen mellom vannføring og vannstand. Resultatene viser at hvis vannstanden ved alle vannføringer i «rating curve» heves eller senkes med 1 m, endres vannstanden ved Otta sentrum med hhv. +0,25 m og -0,15 m. Det er i tillegg gjort en undersøkelse av sensitivitet for Mannings n nedstrøms samløpet. Hvis n settes ned fra 0,04 til 0,03, reduseres vannstanden med ca. 15 cm i Otta og Lågen ved Otta sentrum. Modellen synes å være noe sensitiv for mindre endringer i inngangsparameterne.

## **3.6 Oppsummering av usikkerheter**

Gjennom arbeid med beregningene er det funnet flere usikkerheter som påvirker beregningsresultatene. Oppsummert gjelder det først og fremst:

- **Terrenggrunnlag.** Det er usikkerhet knyttet til endringer i elvebunnen etter siste scanning, både med tanke på tiltak ved Ottbragdøya og eventuell massetransport. Usikkerheten kan reduseres med ny scanning av elvebunnen, som er planlagt våren 2024.
- **Nedre grensebetingelse.** Nedre grensebetingelse er basert på resultat fra 1D-modell for Lågen. Til versjon J02 av rapporten, er det gjort et arbeid med å forbedre 1D-modellen fra Otta sentrum og ned til Sjoa på bakgrunn av foto/flyfoto, brutegninger og scannet vannflate fra høydemodell. Ettersom scanning av elvebunnen mangler fra Sjoa jernbanebru og nedstrøms, er det fortsatt gjenstående usikkerhet ettersom strømmingen ved dimensjonerende flom er underkritisk forbi Sjoa jernbanebru.



Selv om nevnte punkter kan undersøkes nærmere, vil det allikevel gjenstå noe usikkerhet i flomberegning og vannlinjeberegning. Resterende usikkerhet håndteres gjennom et sikkerhetspåslag ved prosjektering, iht. NVE-veileder 03-2022 Sikkerhet mot flom [1].

### 3.7 Anbefalt sikkerhetspåslag

Nivå for topp flomvoll må dimensjoneres med et sikkerhetspåslag til beregnet flomvannstand. Det er valgt å ta utgangspunkt i vannstand ved  $1,2xQ_{200}$ , ettersom de fleste byggene er i sikkerhetsklasse F2. Iht. NVE-veileder 3-2022 skal sikkerhetspåslaget bestemmes ut fra endring i beregnet vannstand ved økt vannføring, der påslag i vannføring vurderes ut fra kvaliteten på flomberegning og hydraulisk modell.

I flomberegningen [1] er allerede datagrunnlaget plassert i klasse 1 (beste klasse); «Godt hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i vassdraget». Norconsult vurderer at den hydrauliske modellen i utgangspunktet tilfredsstiller kravene til klasse A; «Modellen er kalibrert for en vannføring tilsvarende en 20-årsflom eller større, og avviket mellom de beregnede og observerte vannstandene er i hovedsak mindre enn 10 cm.» Alternativt kan klasse B være aktuell. Kvaliteten på datagrunnlaget tilsier dermed 5% (A), alternativt 10% (B), påslag på vannføring. Med 5% og 10% økning i vannføring, blir vannlinja ved Otta sentrum hhv. 0,15-0,2 m og 0,35-0,4 m høyere enn ved  $1,2xQ_{200}$ . Ved dimensjonering av flomvoller bør det derfor legges til grunn et sikkerhetspåslag på minst 0,2-0,4 m.

Sikkerhetspåslaget kan endre seg. Den hydrauliske modellen skal oppdateres med innmålinger av bruer og evt. nytt terrenggrunnlag. Endelig sikkerhetspåslag fastsettes senere, når den hydrauliske modellen er ferdigstilt.

## 4 Konklusjon og videre arbeid

### 4.1 Konklusjon

Otta sentrum har vært utsatt for store flommer i senere tid, bl.a. i 2011, 2013, 2018 og senest i 2023 under ekstremværet Hans. Vårflom er dominerende, men augustflommen i 2023 viste også at ren regnflom kan forårsake høy vannstand i Lågen og Otta. Registrert vannføring under Hans tilsvarer omtrent 20-årsflom i Otta med tilhørende vannføring i Lågen.

Under flommen i 2023 ble det utført innmålinger av vannstand. Disse observasjonene ligger til grunn for en kalibrert hydraulisk modell. Det er utført beregninger i Hec-Ras 2D av 20-, 200- og 1000-årsflom med 20% klimapåslag, og 200-årsflom uten klimapåslag. Ved mindre flommer, er elvebredden av Lågen ved Circle K det mest utsatte punktet. Her tar vannet veien ut av elveløpet, og renner inn mot Otta sentrum. Ved 200-årsflom inkl. 20% klimapåslag overtoppes lengre strekninger av elvebredden. I praksis er hele tettstedet oversvømt, inkludert boligområdet sør for samløpet og flere partier av E6 på østsiden av Lågen.

For 200-årsflom (uten klimapåslag) har vannlinjeberegningene fra 2023 gitt vesentlig høyere vannstander enn tidligere beregninger i 2017 og 2020. Den viktigste usikkerhet i beregningene er vurdert å være terrenggrunnlaget på elvebunnen, ettersom kalibrering mot flom under ekstremværet Hans ga høyere Manningstall enn tidligere beregninger. Det kan ikke utelukkes at endringer i elvebunnen etter dybdekartlegging i 2015 i seg selv har bidratt til de høye vannstandene under Hans.

Til dimensjonering av flomvoll, skal det legges til 20% klimapåslag på vannføringer. Ved 200-årsflom medfører det et tillegg på totalt ca. 400 m<sup>3</sup>/s. Med flomvoller vil i tillegg vannføringene begrenses til elveløpet. Når ikke tiltaksområdet fungerer som flomslette ved stor flom, øker flomvannstanden i elvene.

### 4.2 Videre arbeid

Det foreligger planer om å scanne elvebunnen i løpet av 2024. Endelig løsning for erosjonssikring av jernbanebrua ved Otta må inngå i terrenggrunnlaget. For terreng over vann, benyttes nyeste laserscanning fra januar 2024 fra [www.hoydedata.no](http://www.hoydedata.no). Etter at oppdatert terrenggrunnlag foreligger, kan vannlinjeberegningen kjøres på nytt for å undersøke i hvilken grad terrengendringer påvirker beregnede vannstander. Til oppdaterte beregninger vil også bruene legges inn i vannlinjemodellen med høyder fra GPS-oppmålingen som ble utført i desember 2023.

Til denne rapporten (J02) er det utarbeidet resultatkart med dybde og kotelinjer for vannstand. Etter at endelige beregninger er ferdigstilt, kan det tas ut resultater/kart for bl.a. hastighet, dybde x hastighet og evt. energinivå.

På bakgrunn av det oppdaterte terrenggrunnlaget, utarbeides det en modell for fremtidig terreng med de planlagte flomvollene. Det kjøres nye simuleringer med flomvollene, og endelig sikkerhetspåslag fastsettes.

Etter en tverrfaglig vurdering (flomvoll, grunnvann og overvann) skal det foreslås en dimensjonerende flom. Med grunnlag i berørte bygninger ved dimensjonerende flom, skal det utføres en kost-nytteanalyse med NVEs verktøy. Som en del av videre arbeid beregnes også gjentaksintervall for begynnende skadeflom.

Beregningene til denne rapporten har gitt høyere vannstander enn tidligere forutsatt. I videre arbeid må det vurderes om det vil være nødvendig med sikringstiltak ut over de som er beskrevet i mulighetsstudien [11], f.eks. ved gangpromenaden langs Lågen ned mot samløpet.

Prosjektering av flomsikringstiltak skal ta hensyn til forventet massetransport. Når dybdekartlegging fra 2024 foreligger, kan det gjøres en sammenlikning mot 2016-dataene for å vurdere massetransporten i vassdraget.

## Flomsikring av Otta sentrum

Utredning av flomfare fra Gudbrandsdalslågen og Otta ved Otta sentrum  
Oppdragsnr.: **52303409** Dokumentnr.: **RIH-RAPP-002** Versjon: **J02**

Dette vil danne grunnlag for en vurdering av hvordan sikringen skal utformes for å ta høyde for massetransport.

## 5 Referanser

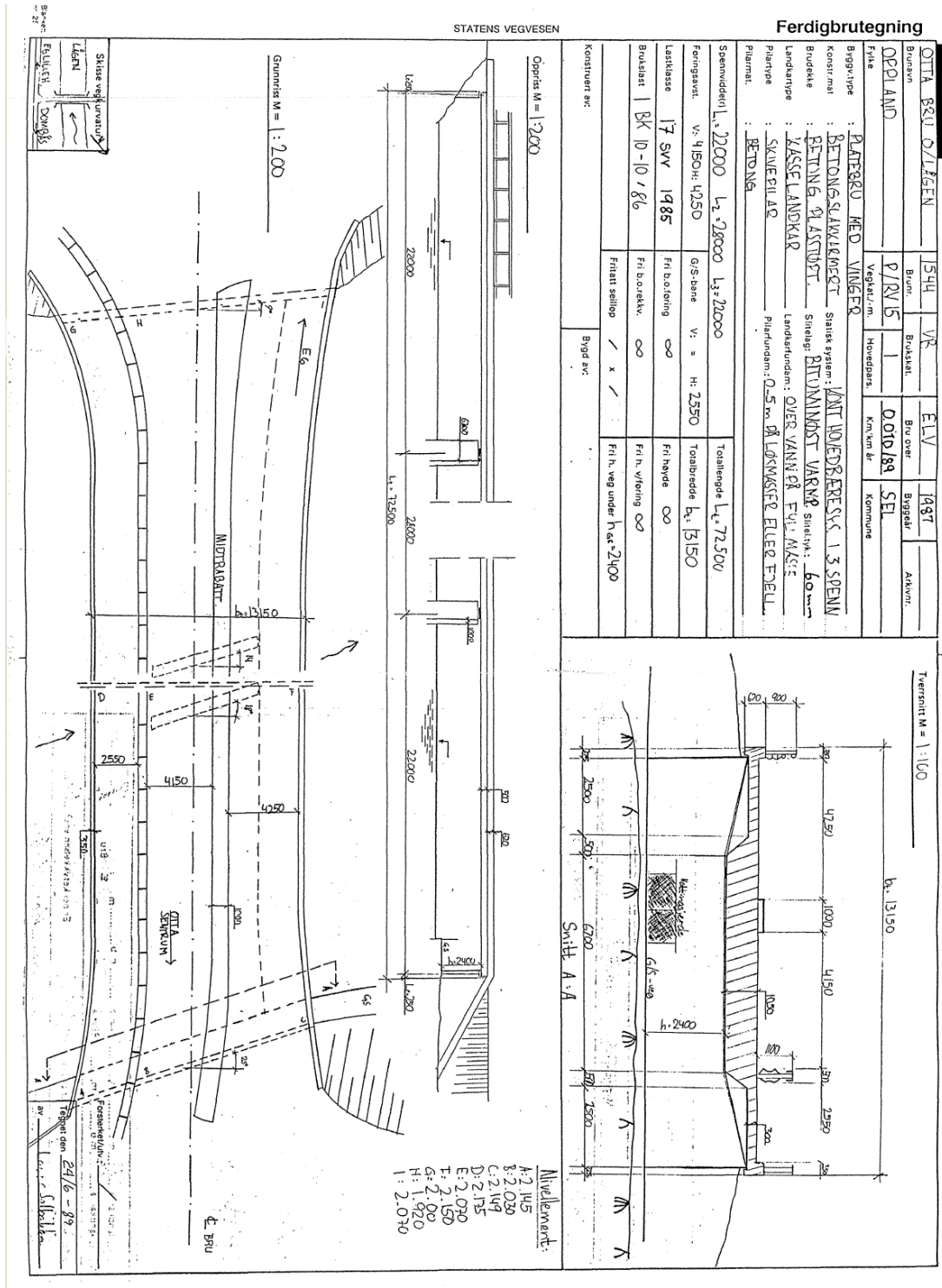
1. NVE (2022). *Sikkerhet mot flom: utredning av flomfare i reguleringsplan og byggesak*. NVE-veileder 3-2022.
2. NVE (2015). *Flomberegning for Gudbrandsdalsvassdraget (002.DZ)*. Rapport 127-2015.
3. Norconsult (2014). *Flomberegning Rosten kraftverk*. Oppdragsnr. 5131680, rapport rev. 01 (29.10.2014)
4. NVE (2002). *Flomsoneskart Delprosjekt Selsmyrene*. Rapport 11-2022.
5. Statens vegvesen (2012). *Rapport om skadeflom pinsehelga 2011*.
6. Norconsult (2013). *Damklassifisering, Rosten kraftverk*. Oppdragsnr. 5131680.
7. [https://www.tungt.no/article/view/1043784/hans\\_rosten\\_entreprenor\\_lager\\_demning\\_for\\_a\\_hindre\\_circkle\\_k\\_pa\\_otta\\_fra\\_a\\_bli\\_oversvomt](https://www.tungt.no/article/view/1043784/hans_rosten_entreprenor_lager_demning_for_a_hindre_circkle_k_pa_otta_fra_a_bli_oversvomt) Besøkt 17.01.2024.
8. Statens vegvesen (2007). Fv418 Otta bru. Erosjon ved Pilar III.
9. NVE (2000). *Flomsoneskart Delprosjekt Otta*. NVE-rapport 5-2000.
10. Dr. Blasy – Dr. Øverland (2017). *Hydrauliske beregninger Gudbrandsdalslågen*.
11. Dr. Blasy – Dr. Øverland (2020). *Flomsikring Otta – konsept for sikringstiltak*.
12. NVE (2019). *Selsvollene flomverk (VV6869), Sel kommune. Status og behov for oppgradering*. NVE-rapport 13-2019 (ekstern rapport).
13. Direktoratet for Byggkvalitet (2017). Byggteknisk forskrift (TEK-17) med veiledning. [Byggteknisk forskrift \(TEK17\) med veiledning - Direktoratet for byggkvalitet \(dibk.no\)](https://www.dibk.no/Byggteknisk-forskrift-TEK17-med-veiledning)

## 6 Vedlegg

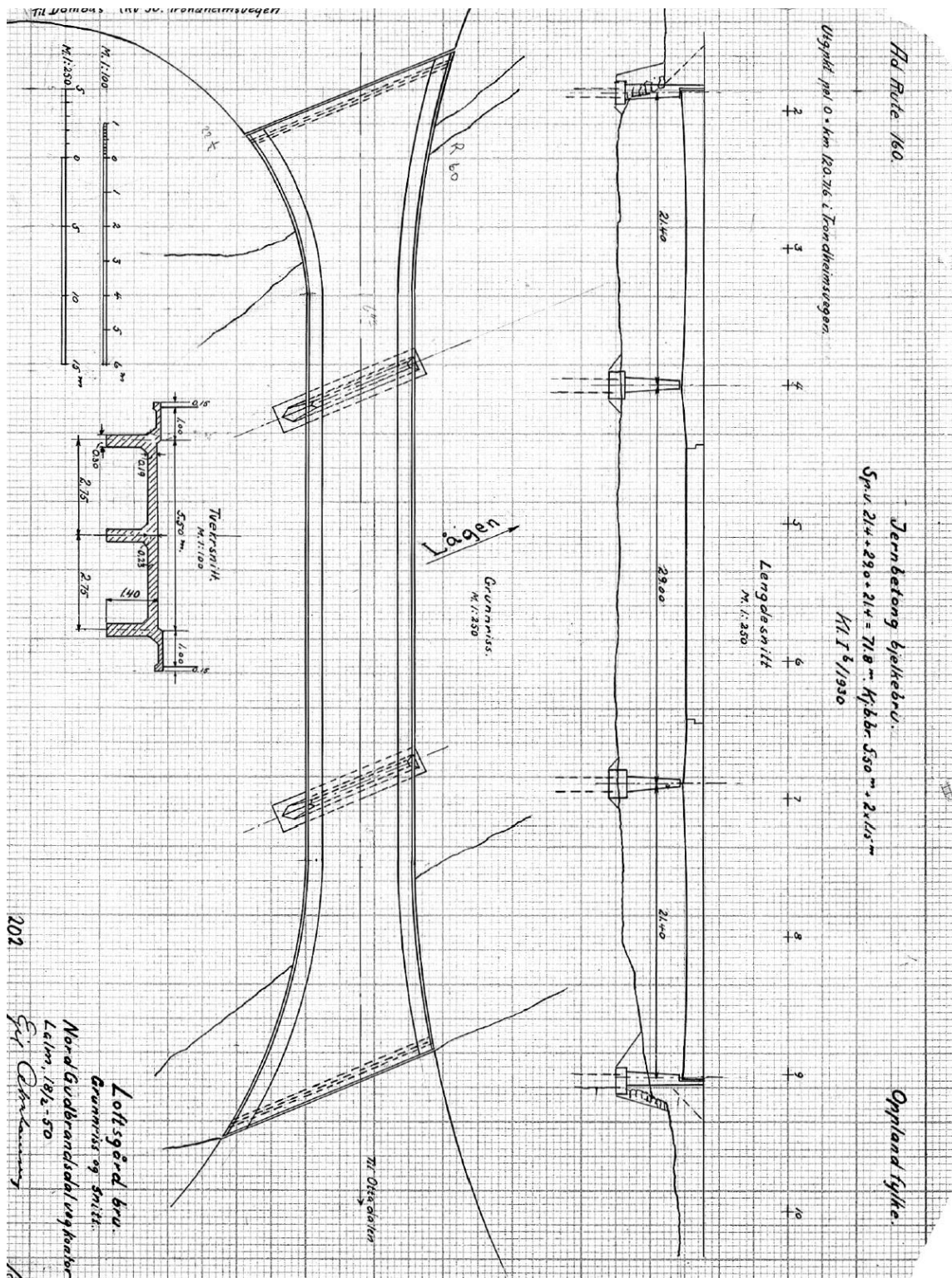
1. Brutegninger
2. Sammenligning av tverrprofiler
3. Flomsonekart

Vedlegg 1 Brutegninger

Otta bru over Lågen («Lågen kjørebru»)

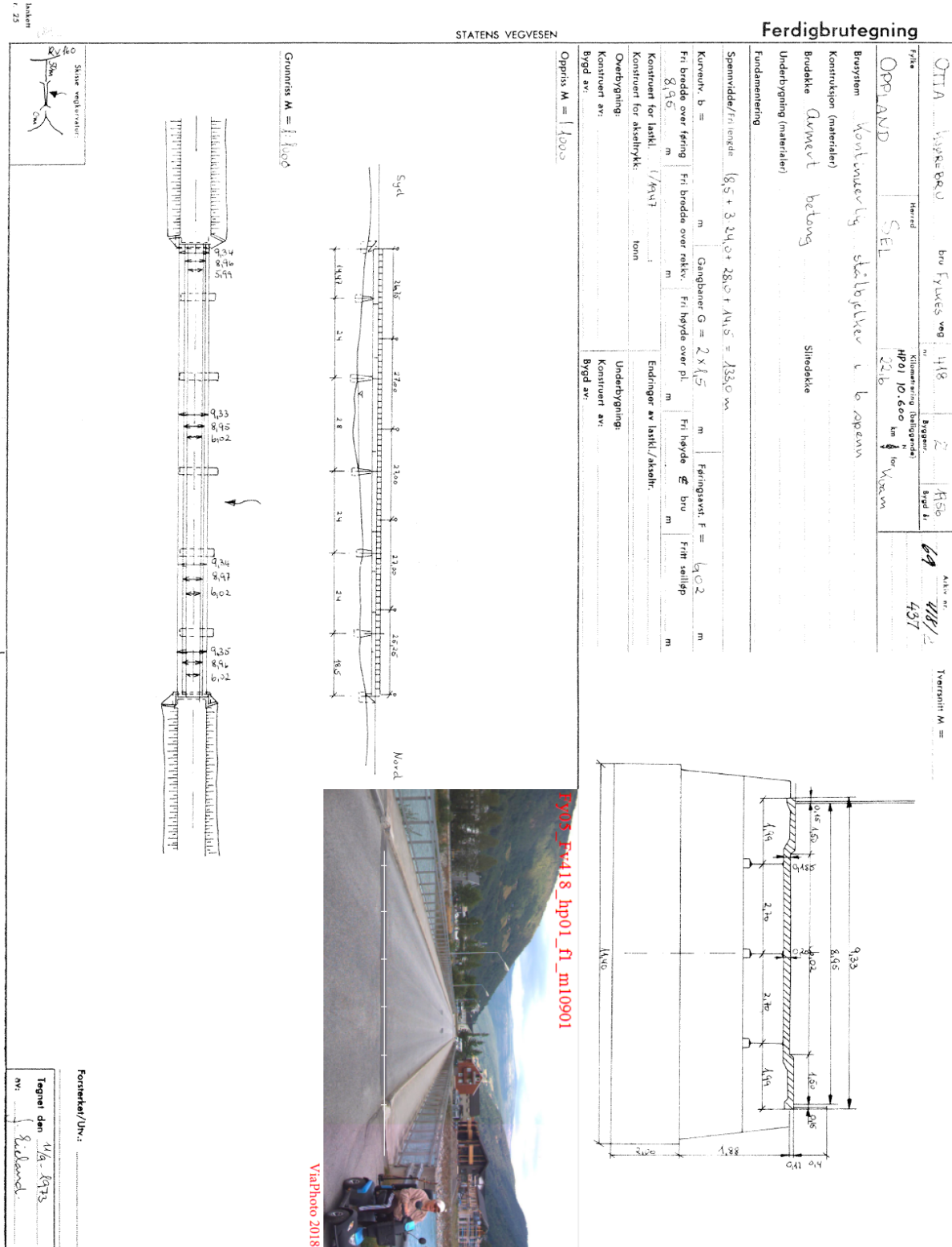


Loftgårdsbrua (gangbru over Lågen)

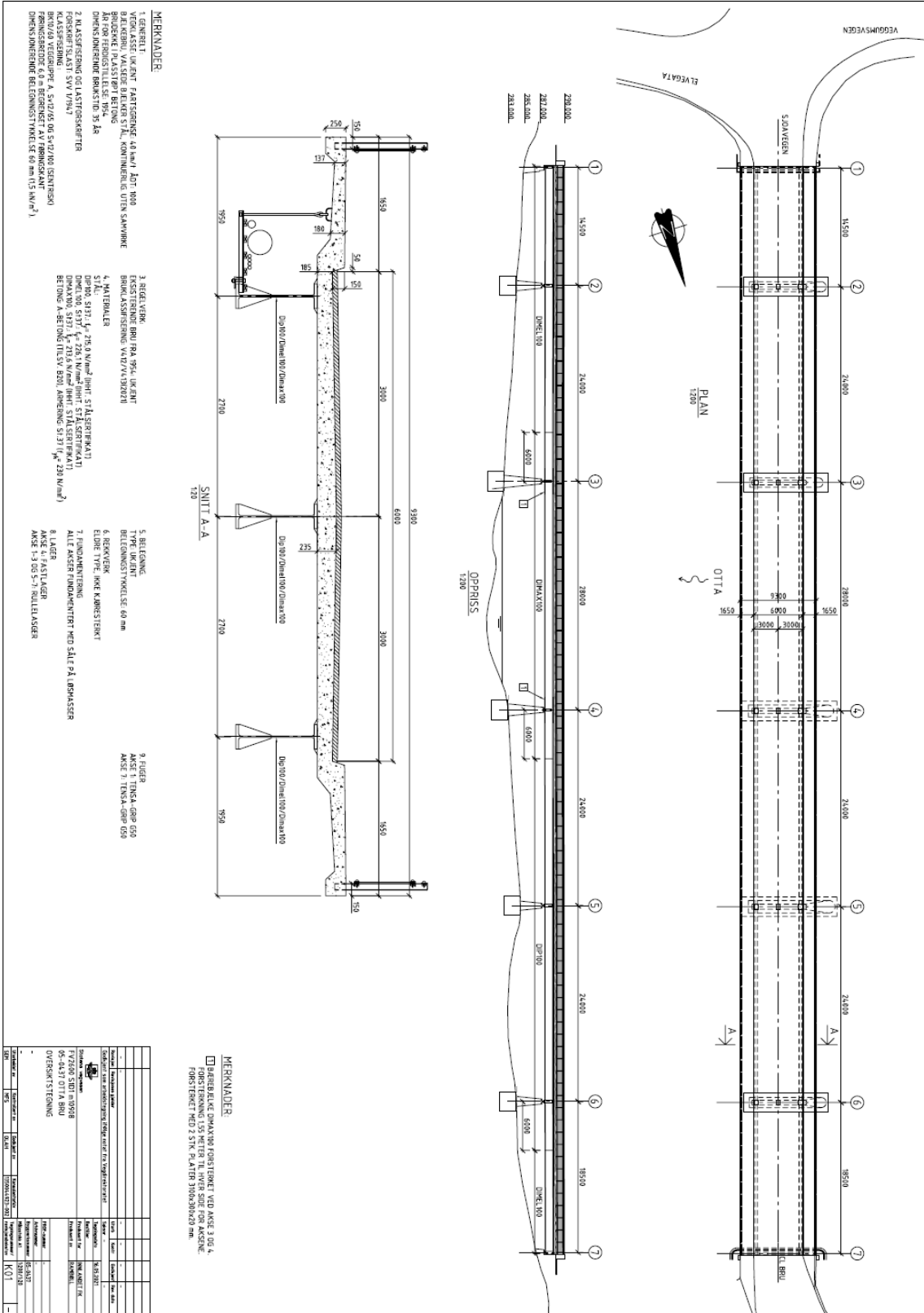


a

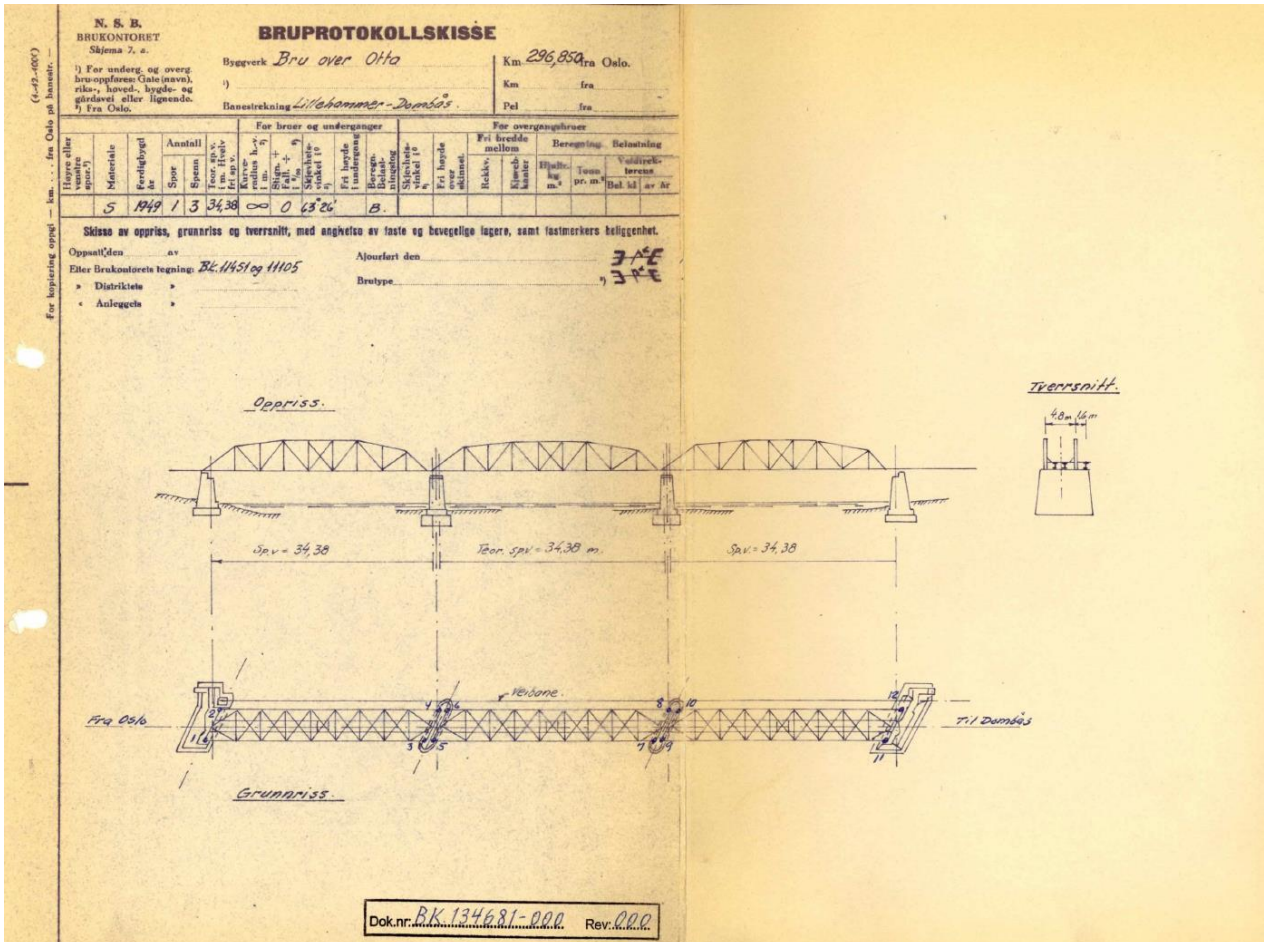
Otta kjørebru





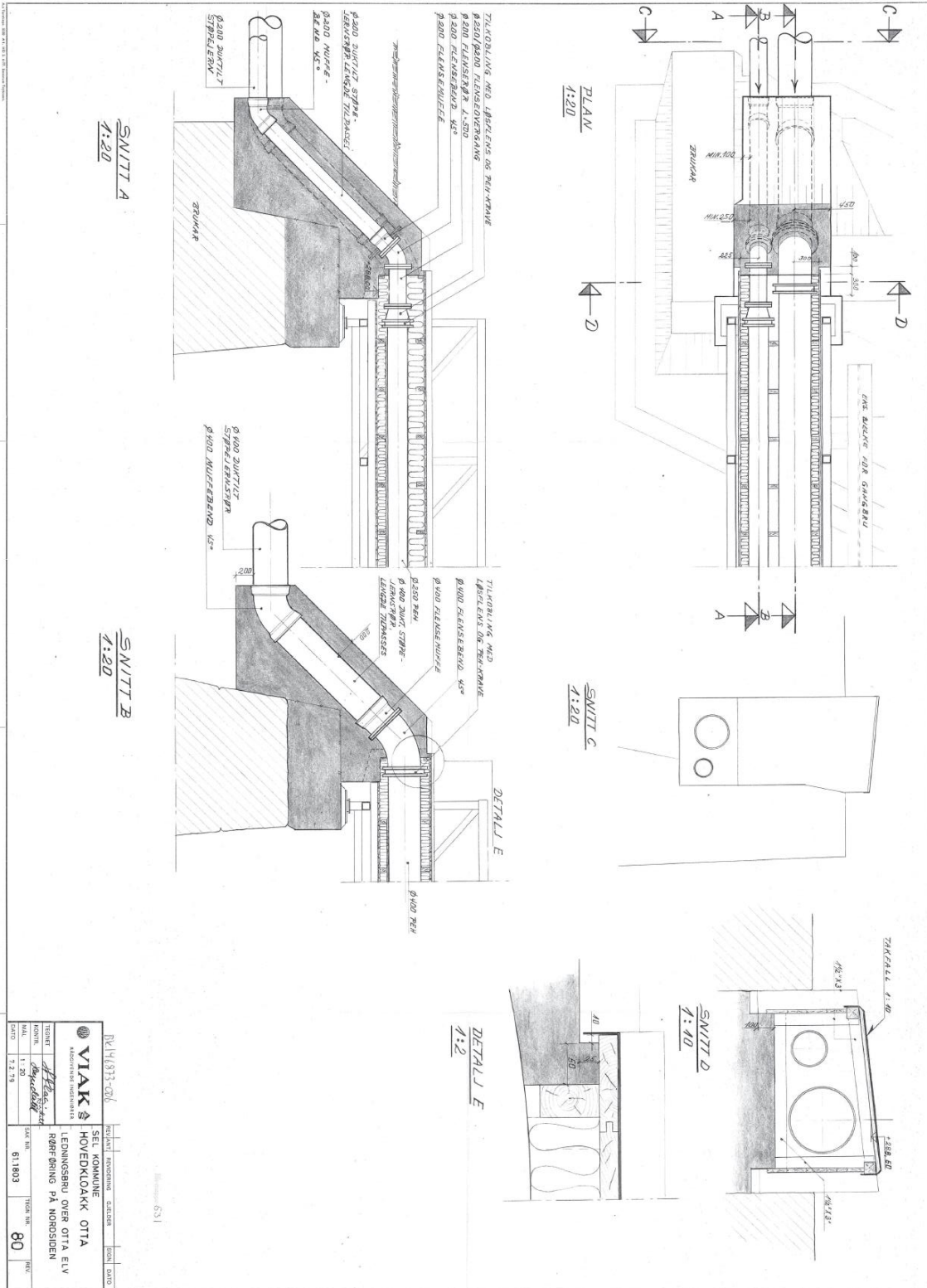


Otta jernbanebru



# Flomsikring av Otta sentrum

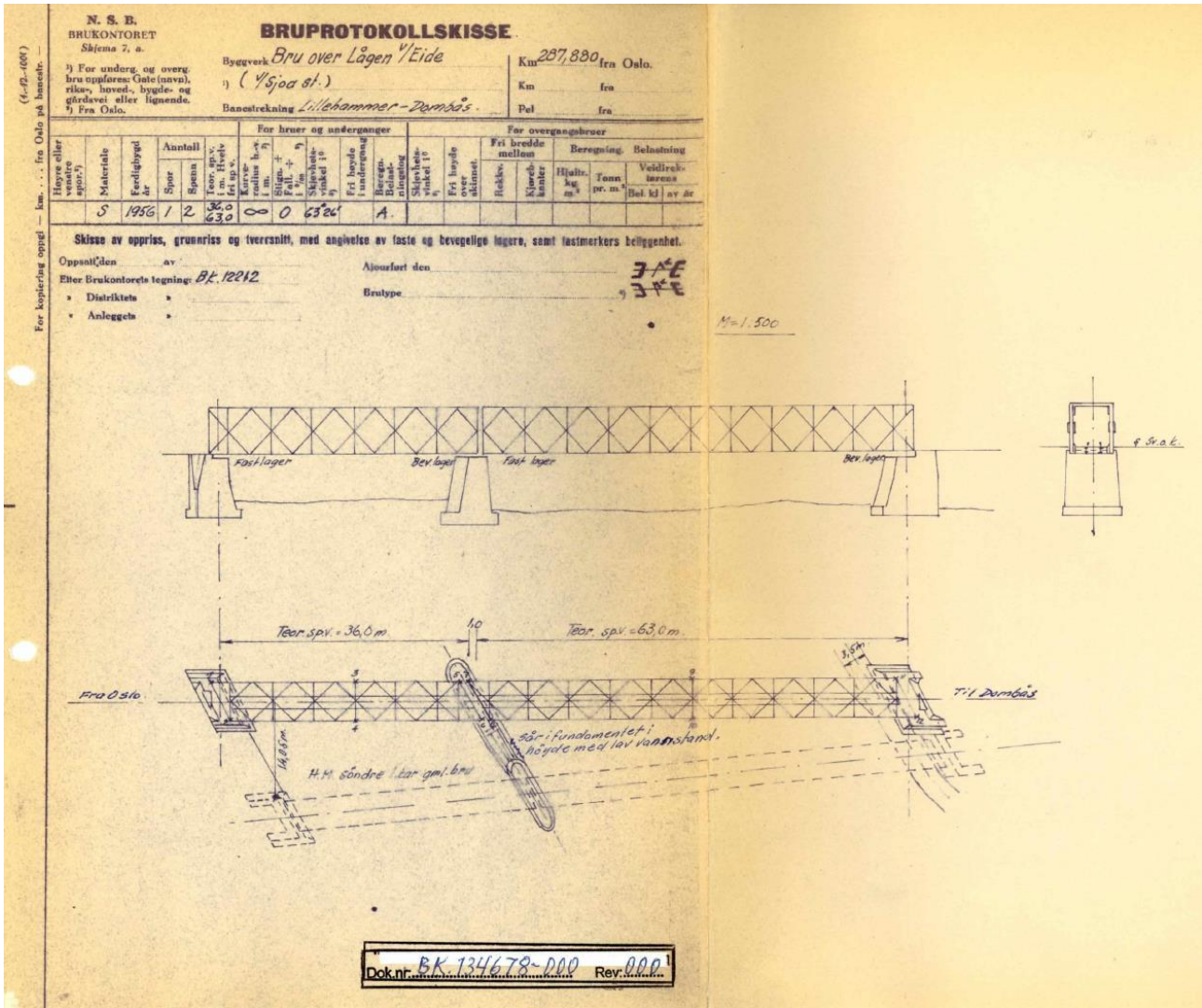
Utredning av flomfare fra Gudbrandsdalslågen og Otta ved Otta sentrum  
Oppdragsnr.: 52303409 Dokumentnr.: RIH-RAPP-002 Versjon: J02



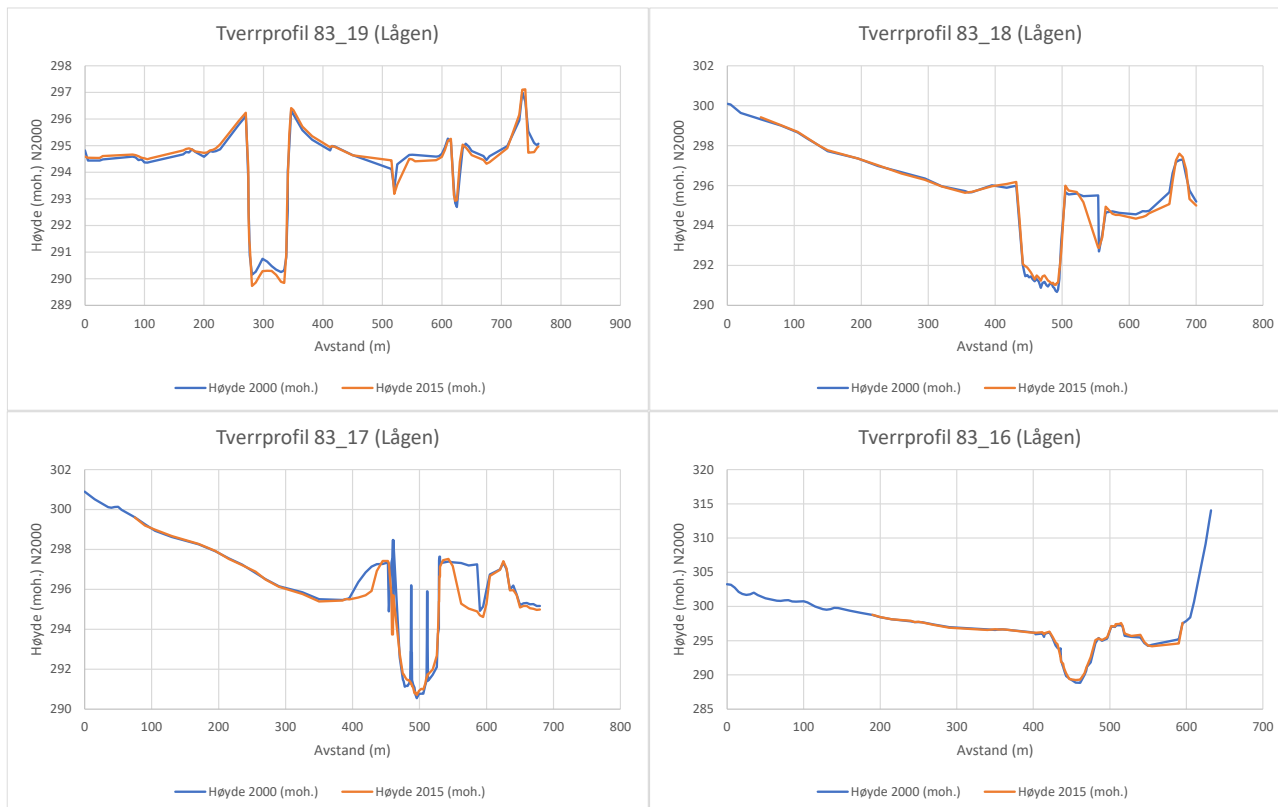
PROSJEKTANT	RIH/0373-026	PROSJEKT	SEI KOMMUNE HOVEDLOKK OTTA
UTARBEIDET AV	VIAS	TEKNISSKISSE	LEDDINGSRØR OVER OTTA ELV RØRFØRING PÅ NORSIDEN
TRASÉ	VIAS	MAK	1:20
DATE	2.2.79	TEK. NR.	611803
SCALE		SCALE	80

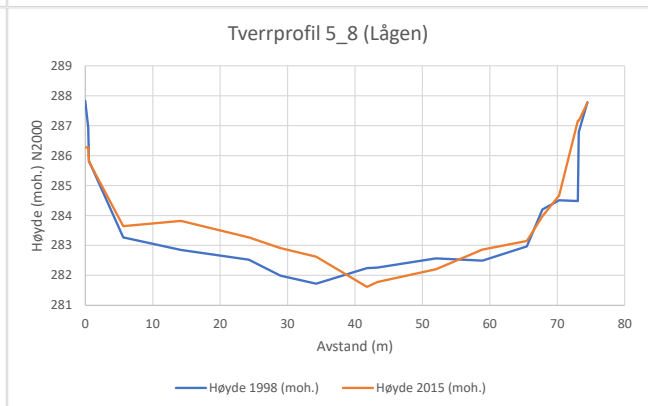
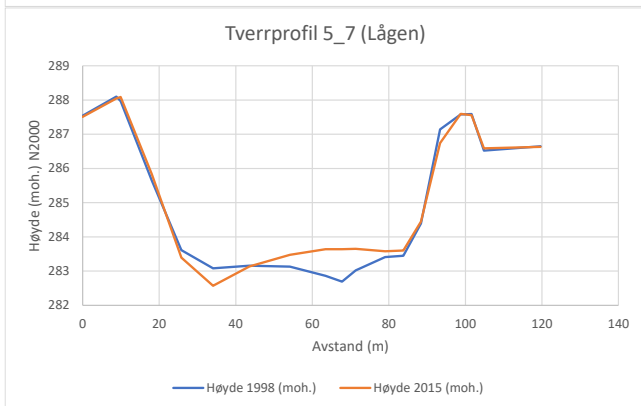
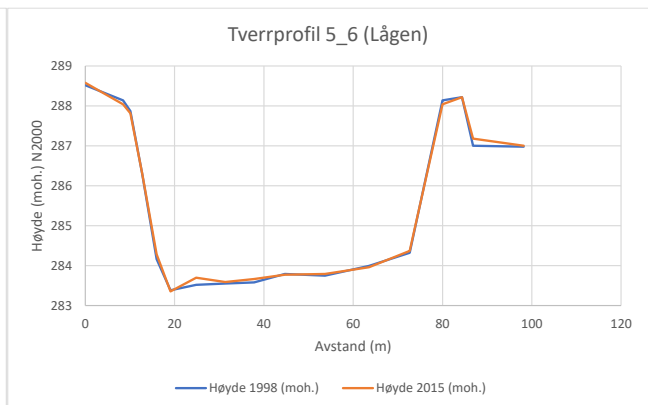
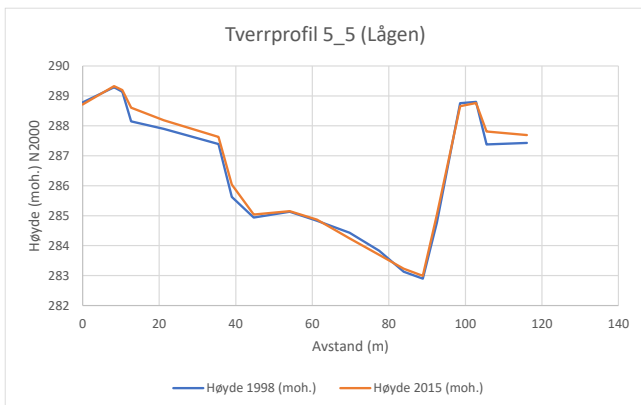
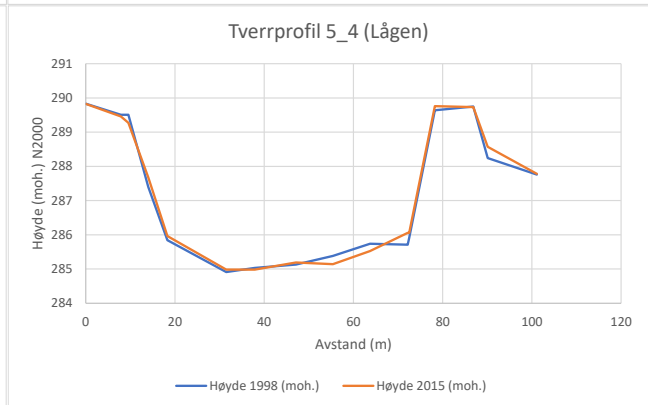
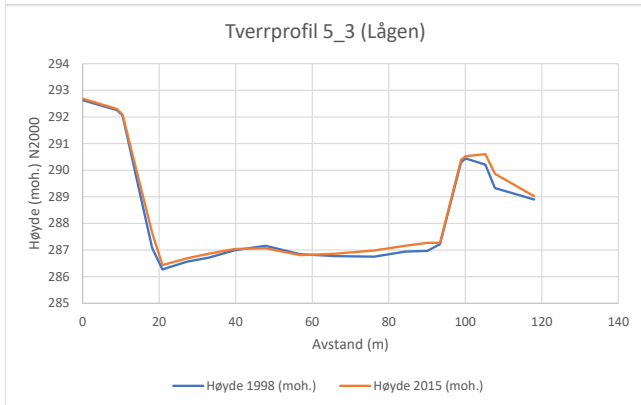
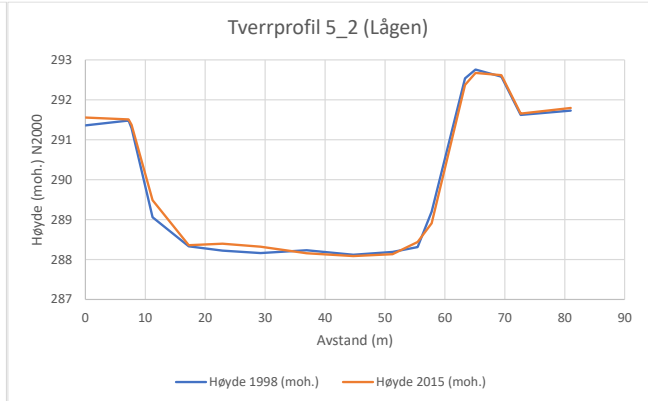
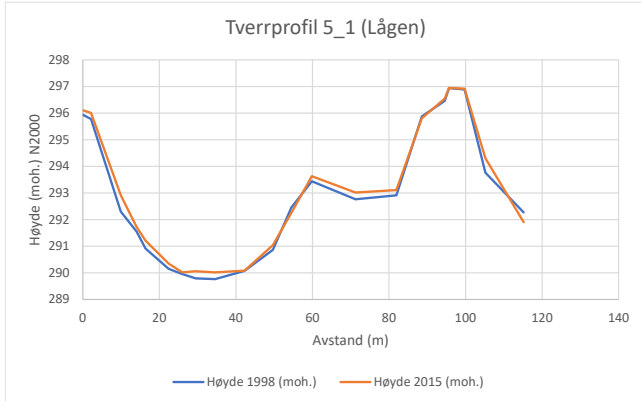


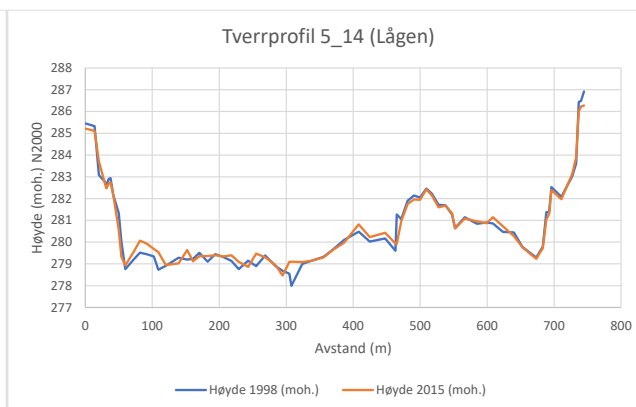
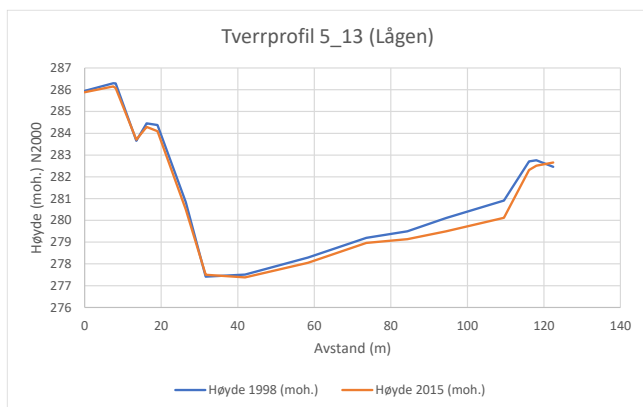
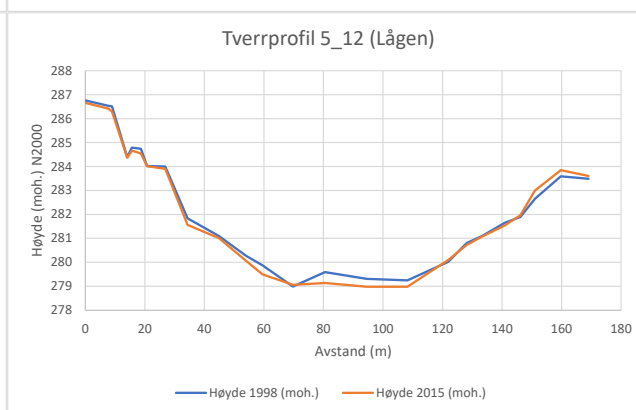
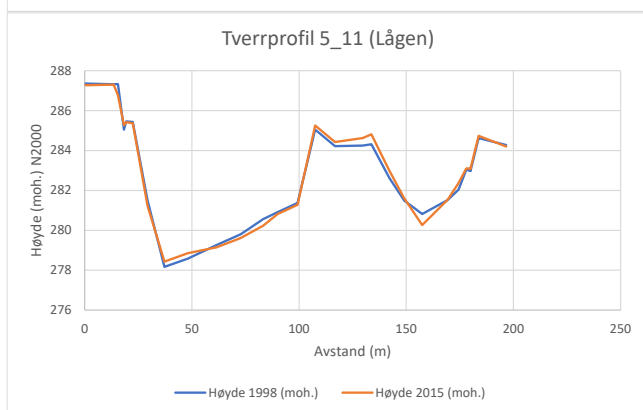
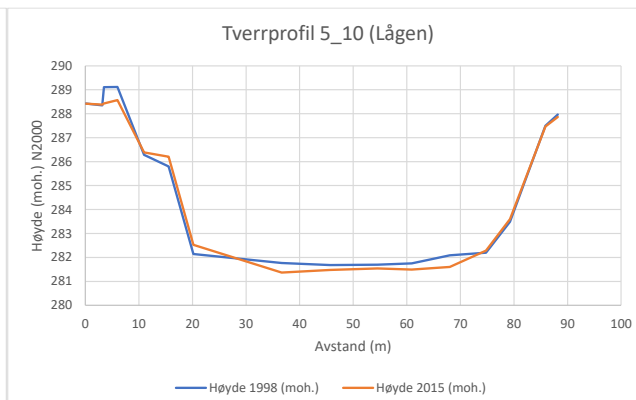
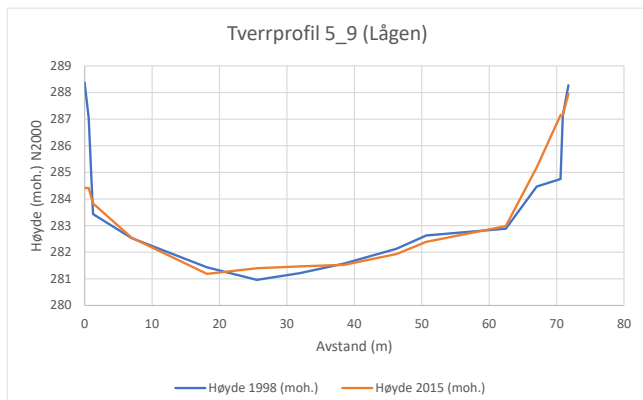
Sjøa jernbanebru (Eide bru)



## Vedlegg 2 Sammenligning av tverrprofiler





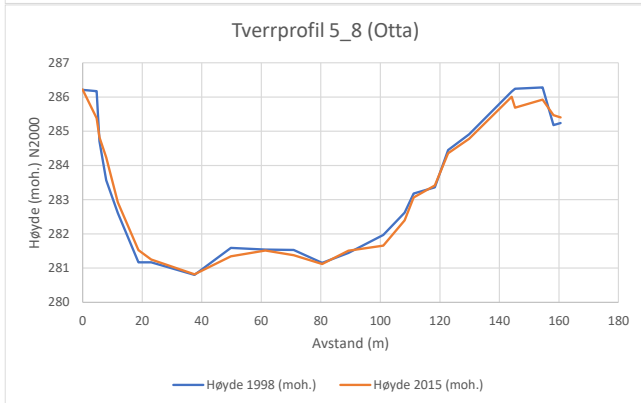
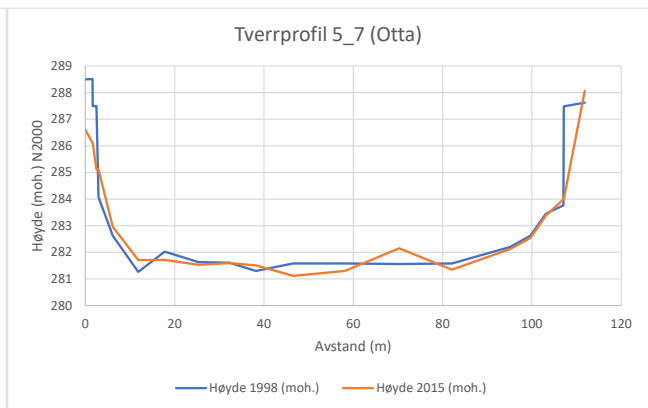
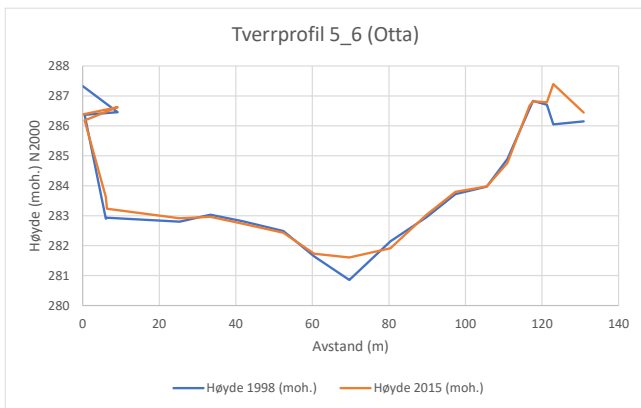
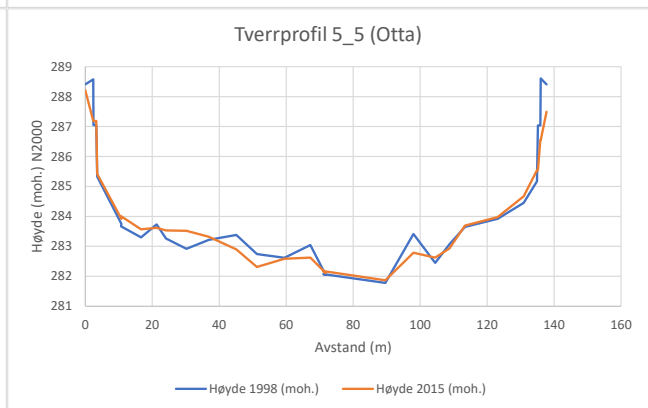
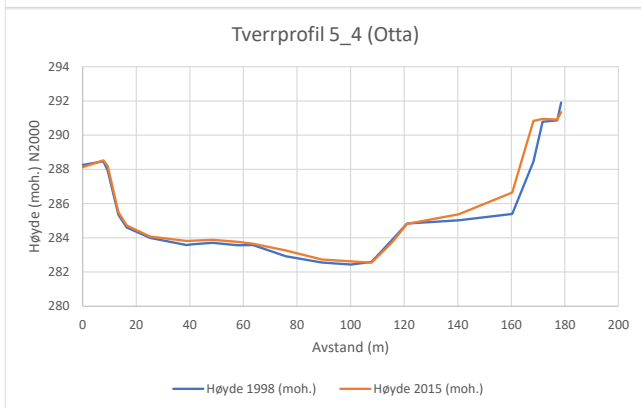
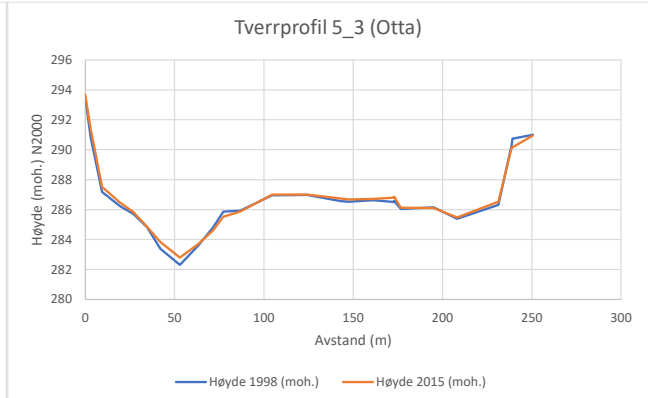
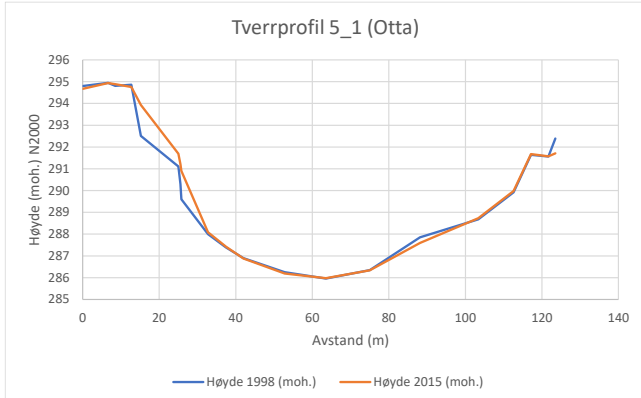




# Flomsikring av Otta sentrum

Utredning av flomfare fra Gudbrandsdalslågen og Otta ved Otta sentrum

Oppdragsnr.: 52303409 Dokumentnr.: RIH-RAPP-002 Versjon: J02



## Flomsikring av Otta sentrum

Utredning av flomfare fra Gudbrandsdalslågen og Otta ved Otta sentrum  
Oppdragsnr.: **52303409** Dokumentnr.: **RIH-RAPP-002** Versjon: **J02**

### Vedlegg 3 Flomsonekart