

Hydrauliske beregninger Gudbrandsdalslågen

Rapport

18.05.2017

Prosjektansvarlig: Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE)
Middelthuns gate 29
0368 Oslo

Forfatter:

Dr. Blasy - Dr. Øverland

Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG

Moosstraße 3 82279 Eching am Ammersee

☎ 08143 / 997 100 info@blasy-overland.de

🌐 08143 / 997 150 www.blasy-overland.de

ea-NVE-010.01/he

Dokumentoversikt

Prosjektbeskrivelse

Bilag Digitale data

Prosjektbeskrivelse

1.	Prosjektansvarlig	1
2.	Bakgrunn og fremgangsmåte.....	1
3.	Oppsetting av den hydrauliske modellen	2
3.1	Hydraulisk beregningsmodell	2
3.2	Elveaksen.....	2
3.3	Tverrprofiler og DEM	4
3.4	Konstruksjoner	10
3.4.1	Bruer.....	10
3.4.2	Vannkraftverk	12
3.5	Arealtilstand og ruhet	12
3.6	Demninger.....	14
3.7	Ineffektive strømningsveier	17
3.8	Hydrologisk grunnlag.....	21
3.9	Beregningsmetode	23
4.	Kalibrering	24
5.	Følsomhetsanalyse	29
6.	Usikkerhet	33
7.	Beregning av nåtilstand.....	36
8.	Tiltak	38
8.1	Analyseområde 1: Mjøsa - Gausa	38
8.1.1	Tiltak 2a, 2b, 3a, 3b.....	39
8.1.2	Tiltak 12a-d.....	40
8.1.3	Tiltak 13.....	42
8.1.4	Tiltak 9, 9a, 9b.....	42
8.2	Analyseområde 2: Tretten - Hundorp	44
8.2.1	Tiltak 15.....	45
8.2.2	Tiltak 15c.....	49
8.2.3	Tiltak 17.....	49
8.2.4	Tiltak 18.....	50
8.2.5	Tiltak 19.....	51
8.2.6	Tiltak 21.....	52

8.2.7	Tiltak 22.....	53
8.2.8	Tiltak 25.....	54
8.2.9	Tiltak 26.....	56
8.2.10	Tiltak 29.....	58
8.2.11	Tiltak 30.....	58
8.3	Analyseområde 3: Otta - Sel	60
8.3.1	Tiltak 34.....	61
8.3.2	Tiltak 35.....	62
8.3.3	Tiltak 36.....	63
8.3.4	Tiltak 37.....	64
8.3.5	Tiltak 39.....	66
9.	Virkningsanalyse av tiltakene	68
9.1	Analyseområde 1	68
9.1.1	Tiltak 2a, 3a, 3b.....	68
9.1.2	Tiltak 9, 9a, 9b.....	69
9.1.3	Tiltak 12a-d og 13.....	69
9.1.4	Tiltak i kombinasjon.....	69
9.1.5	Sammendrag og vurdering av tiltak i analyseområde 1	71
9.2	Analyseområde 2	72
9.2.1	Tiltak 15.....	73
9.2.2	Tiltak 17.....	73
9.2.3	Tiltak 18a, 18b og 19.....	73
9.2.4	Tiltak 21a-d.....	73
9.2.5	Tiltak 22 og 25.....	74
9.2.6	Tiltak 26a-e.....	74
9.2.7	Tiltak 29.....	74
9.2.8	Tiltak 30.....	74
9.2.9	Tiltak i kombinasjon analysområde 2	74
9.2.10	Sammendrag og vurdering av tiltak i analyseområde 2	75
9.3	Analyseområde 3	75
9.3.1	Tiltak 34.....	76
9.3.2	Tiltak 35.....	77

9.3.3	Tiltak 36.....	77
9.3.4	Tiltak 37.....	77
9.3.5	Tiltak 39.....	78
9.3.6	Sammendrag og vurdering analyseområde 3.....	79
10.	Sammendrag.....	79

1. Prosjektansvarlig

Prosjektansvarlig er: Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE)
Middelthuns gate 29
0368 Oslo

2. Bakgrunn og fremgangsmåte

Langs Gudbrandsdalslågen opptrer det ofte skadeflom. Derfor skal det utarbeides en regionalplan (RPL) for Gudbrandsdalslågen. I den forbindelse skal det settes opp en hydraulisk modell av vassdraget. Modellen skal benyttes for å beregne områdene hvor det kan opptre skadeflom og til å vurdere tiltak for å redusere risikoen langs elva. Det er til sammen 24 tiltak som skal vurderes ved hjelp av den hydrauliske modellen.



Figur 2.1: Oversikt over analysert område av Gudbrandsdalslågen

Den hydrauliske modellen omfatter Gudbrandsdalslågen fra vannmerket Rosten nord for Nord-Sel til utløpet i Mjøsa. Det tilsvarer en strekning på ca. 130 km. I tillegg skal utløpene av Gausa (ca. 4,2 km) og Otta (ca. 4,5 km) i Gudbrandsdalslågen undersøkes (se figur 2.1).

3. Oppsetting av den hydrauliske modellen

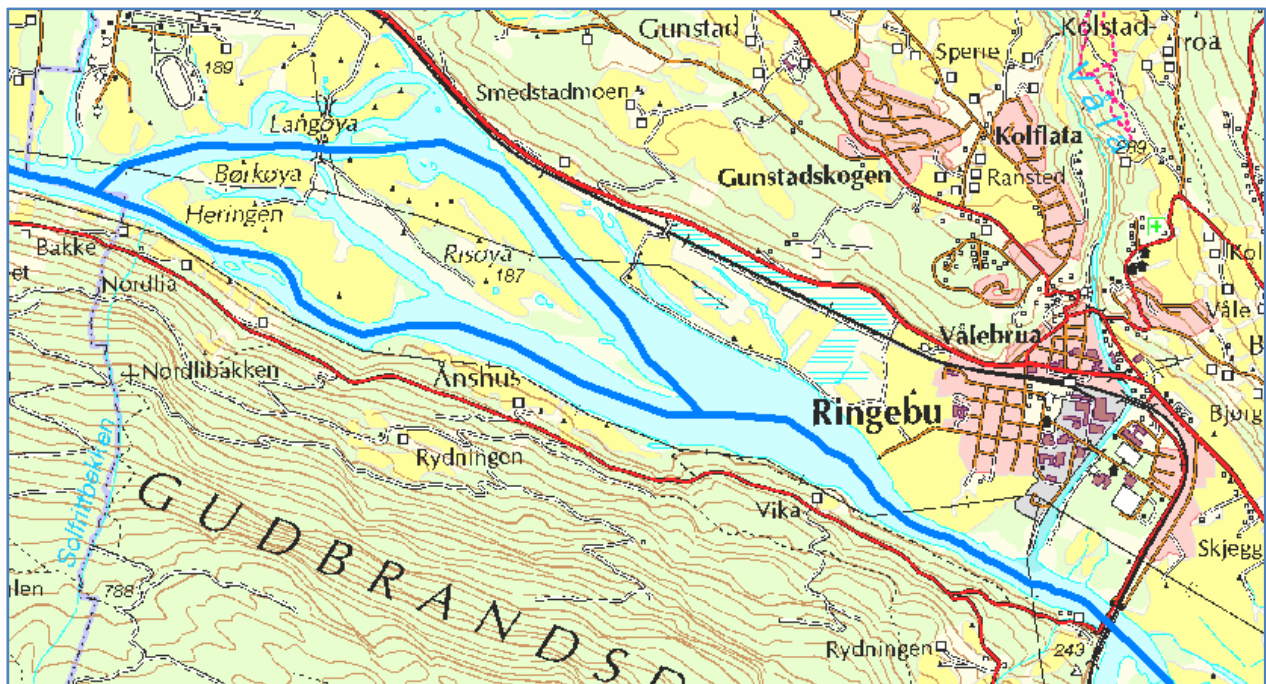
3.1 Hydraulisk beregningsmodell

I beregningene gjøres det bruk av den hydrauliske 1D-modellen HEC-RAS i nyeste versjon 5.0.3. Oppbyggingen av modellens geometri-data skjer stort sett med det geografiske informasjonssystemet ArcGIS og tillegget HEC-GeoRAS.

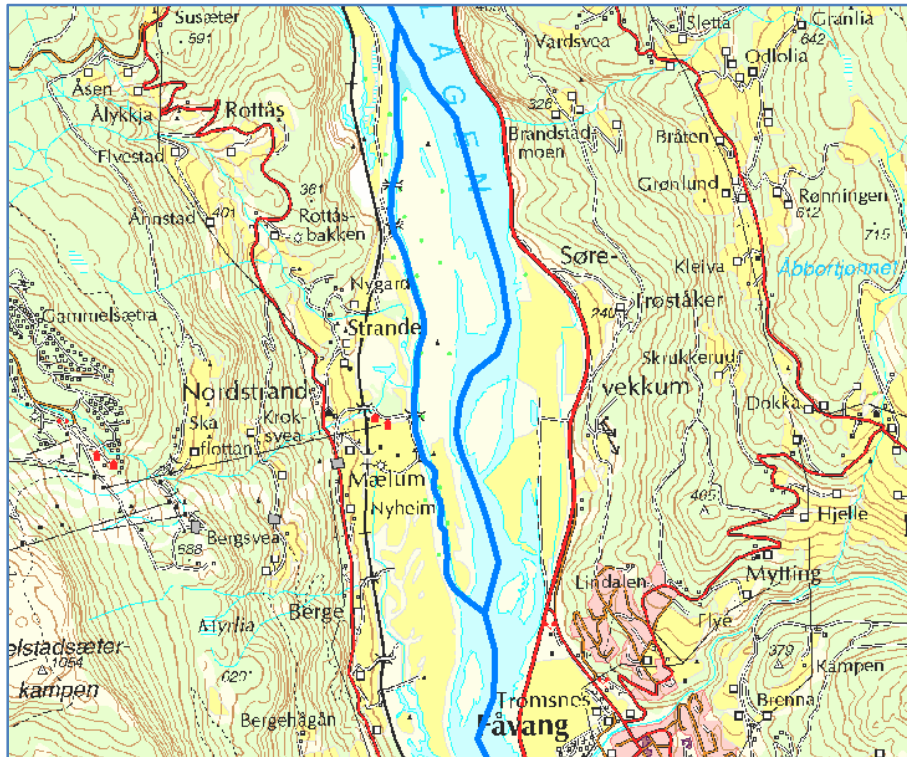
3.2 Elveaksen

En elveakse for Gudbrandsdalslågen er stilt til rådighet av oppdragsgiver. Denne er benyttet uendret. På tre steder tas det imidlertid hensyn til at elva deler seg:

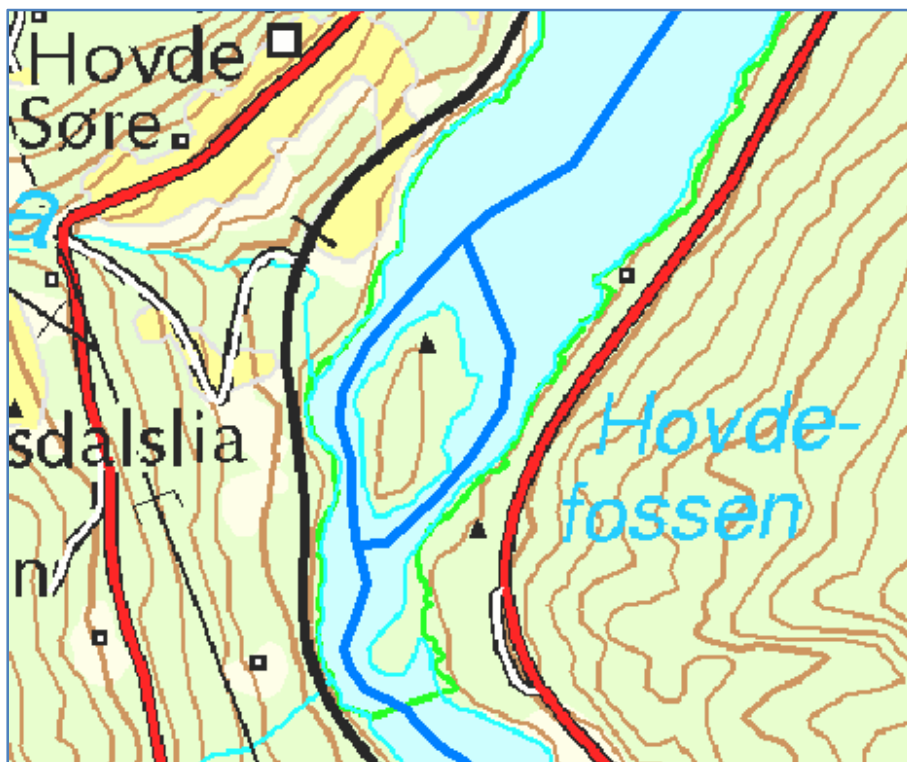
- Ved Ringebu: km 63,300 – 60,600 (se figur 3.1)
- Nord for Fåvang: km 54,800 – 51,100 (se figur 3.2)
- Ved Hovdefossen: km 29,400 – 29,500 (se figur 3.3)



Figur 3.1: Oppdeling ved Ringebu



Figur 3.2: Oppdeling nord for Fåvang



Figur 3.3: Oppdeling ved Hovdefossen

Fordelingen av vannføringen ved begynnelsen av disse tre strekningene beregnes ved hjelp av optimaliseringsopsjonen i HEC-RAS. Elveaksene for Gausa og Otta settes opp i GIS.

3.3 Tverrprofiler og DEM

I modellen benyttes det til sammen 1118 tverrprofiler. Disse er tatt opp med Hec-GeoRAS på grunnlag av de digitale høydemodeller (DHM) som ble stilt til rådighet av oppdragsgiver.

Det ble stilt til rådighet 4 DHM i rasterformat:

- „North_corrected“: km 130,500 – 104,800 oppløsning 0,5 m
- “dtm_otta_frya“: km 106,400 – 73,400, oppløsning 1,0 m
- “DTM_merged_entire“: km 73,560 – 26,500 oppløsning 1,0 m
- “South_corrected“: km 29,327 – 0,000, oppløsning 0,5 m

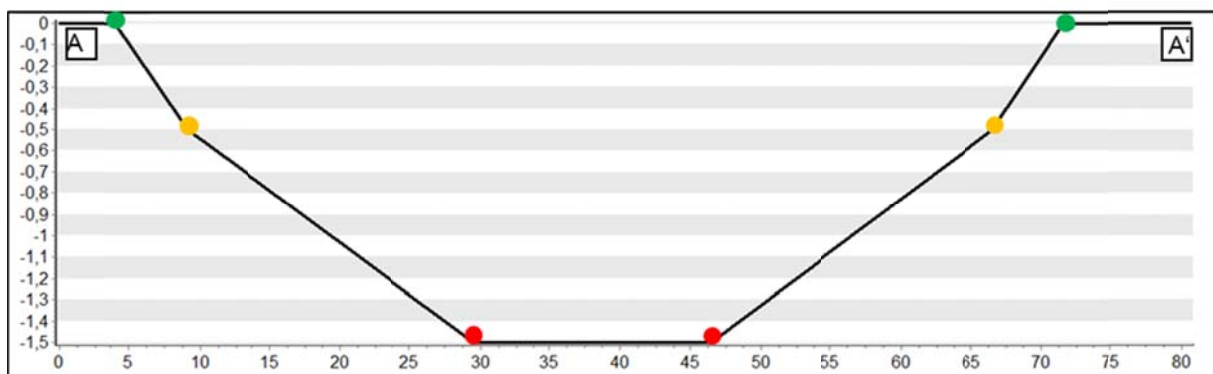
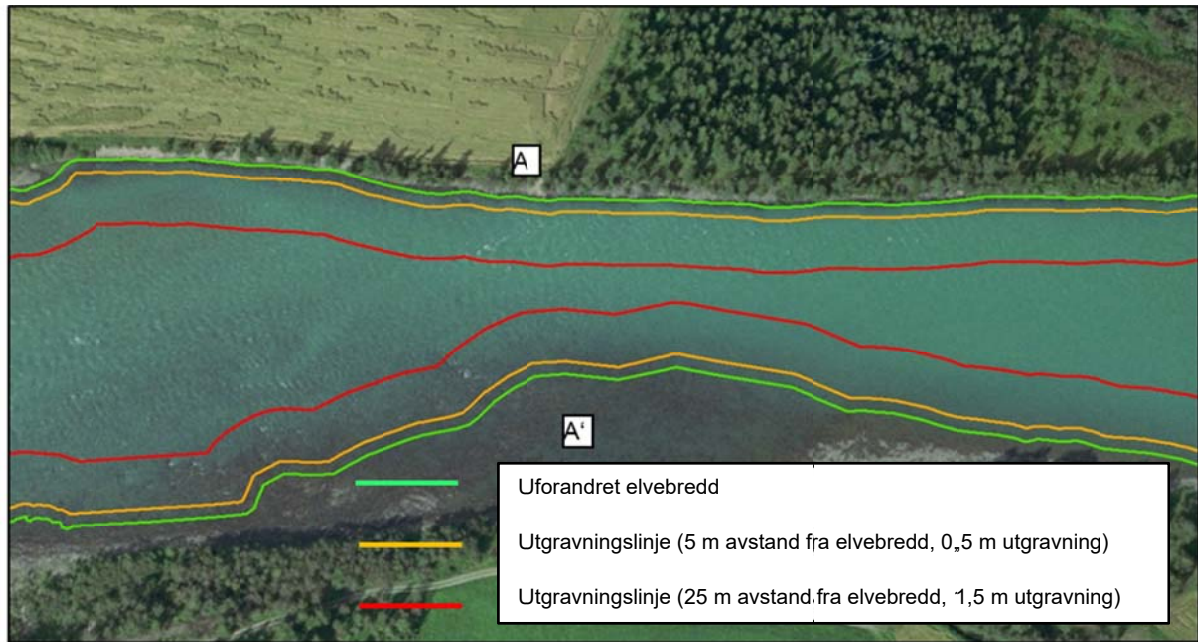
North_corrected og south_corrected inneholder bunndata. I DTM_merged_entire utgjør innholdet overveiende bunndata, mens dtm_otta_frya ikke inneholder noen bunndata. Alt i alt er det tre avsnitt hvor det ikke foreligger bunndata. Her ble elvebunnen stipulert og definert på grunnlag av vurderinger. Det gjelder følgende avsnitt

- km 73,400 – 106,500 (bunnforhold se nedenfor)
- Losna (km 32,900 – 46,000): Bunnforhold på grunnlag av dybdedata stilt til rådighet
- Hovdefossen: Bunnforhold i profil km 0,354

Høydeinformasjon som benyttes for områder uten bunndata, tilsvarer vanligvis vannstanden som ble kartlagt ved bruk av flybasert laserscanning.

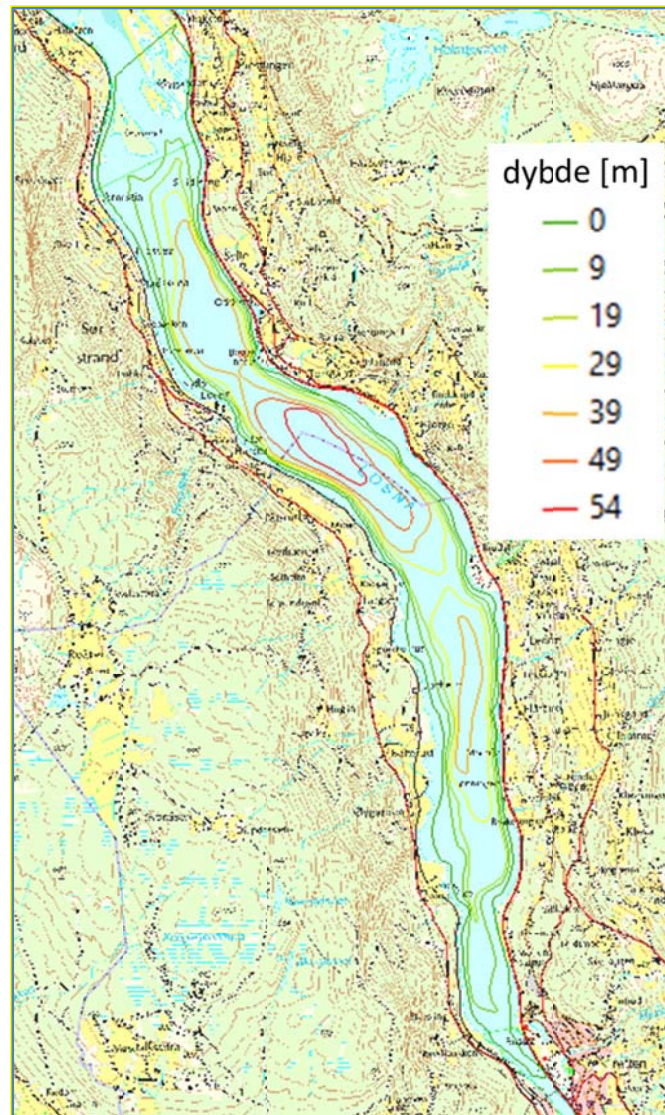
For avsnitt km 73,400 – 106,500 (dtm_otta_frya) foreligger det enkelte tverrprofiler, som ble tatt opp ved en tilleggsmåling av de viktigste bruene i august/september 2016. Disse ble sammenlignet med kotene i DHM, og det ble definert en enhetlig fastsetting av elvebunnen. I en avstand 5 m fra vannkanten antas det en dybde på 0,5 m, og i en avstand 25 m antas det en dybde på 1,5 m (se figur 3.4).

Oppstrøms kraftverket Harpefossen ble det tatt opp en profil ved brua, som viser betydelig lavere bunnkoter. Denne profilet ble lagt inn i modellen, og også profilene ovenfor ble definert dypere.



Figur 3.4: Bunn Lågen ved km 73,400 – 106,500

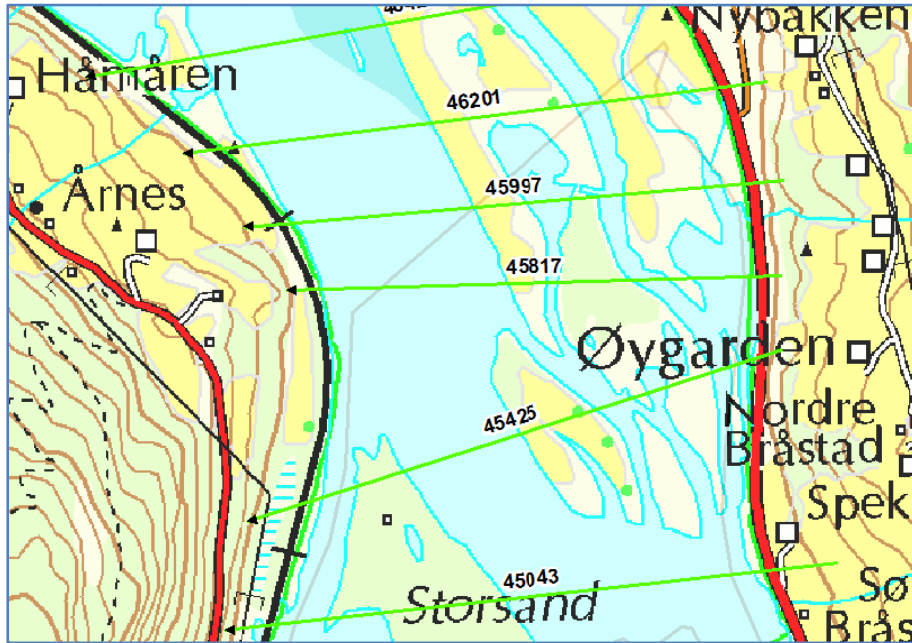
For avsnittet km 44,698 – 32,917 ble dybde dataene for Losna i GIS, som forelå i form av koter, omdannet til TIN og deretter til et raster kongruent med dtm_merged_entire. Dette rasteret med dybdeangivelser ble så subtrahert fra dtm_merged_entire, og resultatet bestemte bunnen i Losna på dette stedet.



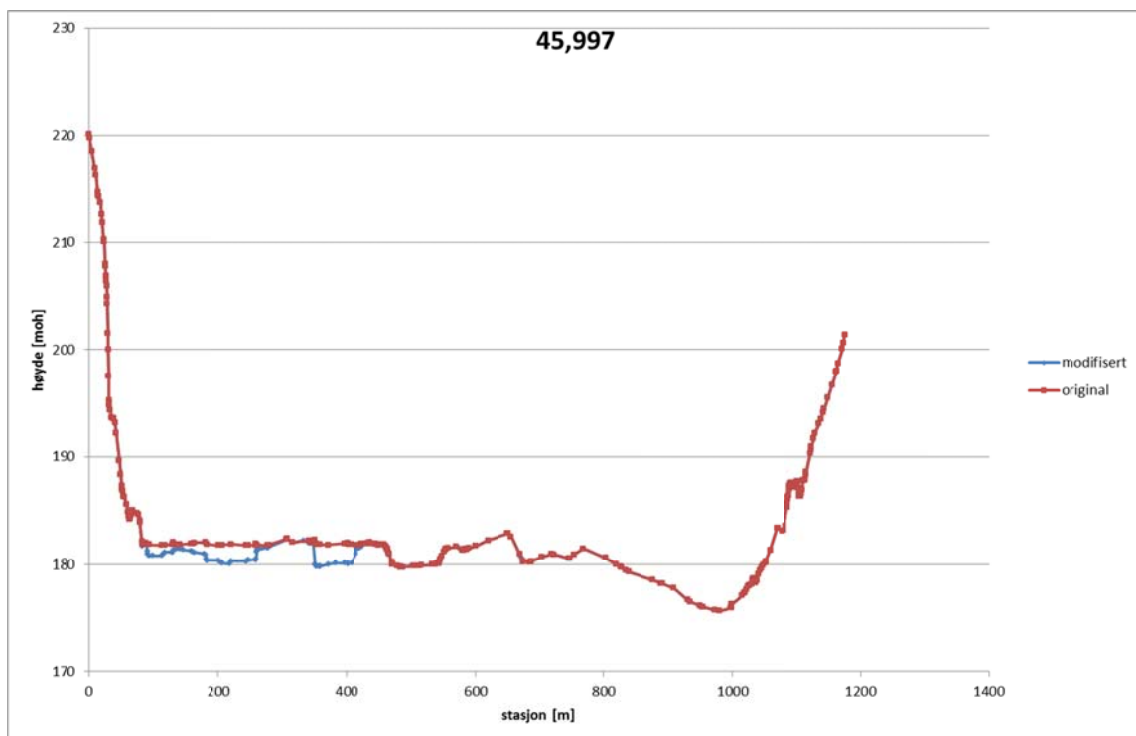
Figur 3.5: Dybdekart for Losna

Også for enkelte av profilene i Losna mangler det bunndata, nemlig opp- og nedstrøms området som er blitt bearbeidet på grunnlag av dybde data. Disse områdene av elva vil måtte bestemmes senere.

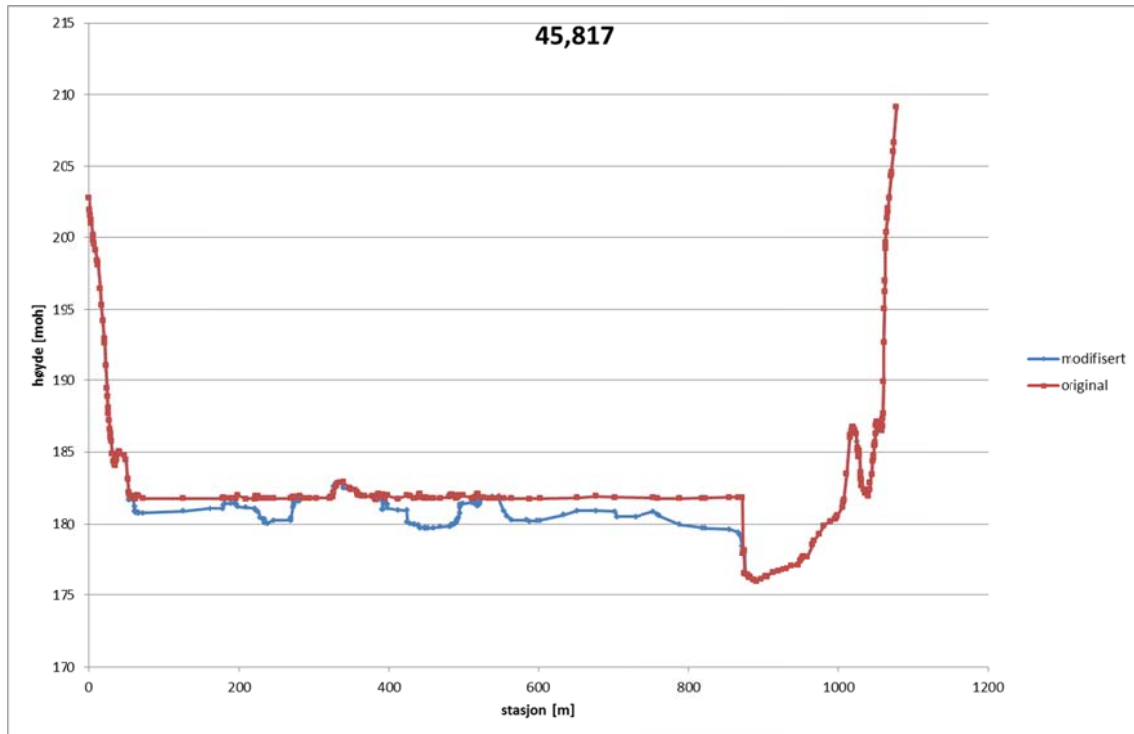
Det dreier seg bl.a. om tre profiler oppstrøms utløpet i Losna (se figur 3.6, profiler ved km 45,997 figur 3.7, 45,817 figur 3.8 og 45,425 figur 3.9). Her er bunnen definert ved hjelp av flyfoto og høydeangivelser fra profiler opp- og nedstrøms. I de følgende figurene vises de nevnte profilene både med de opprinnelige koterne fra DTM-dataene og med tilpassede koter.



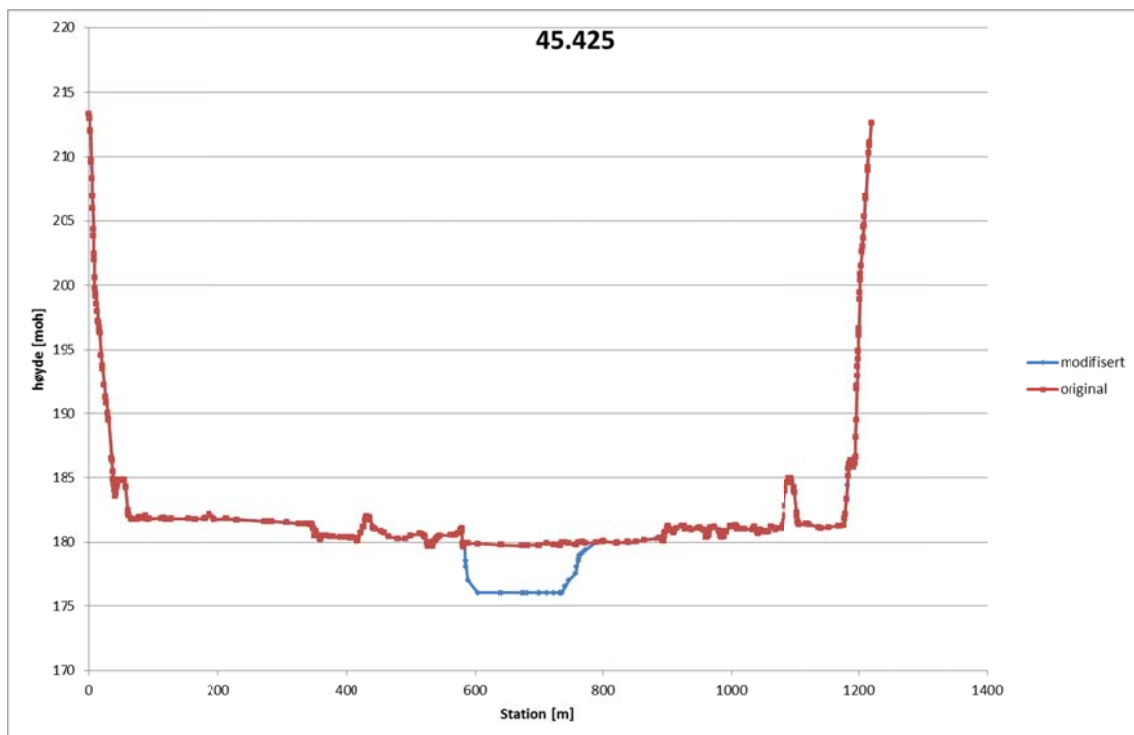
Figur 3.6: Beliggenhet av bearbejdede profiler oppstrøms Losna



Figur 3.7: Modifisert profil km 45,997



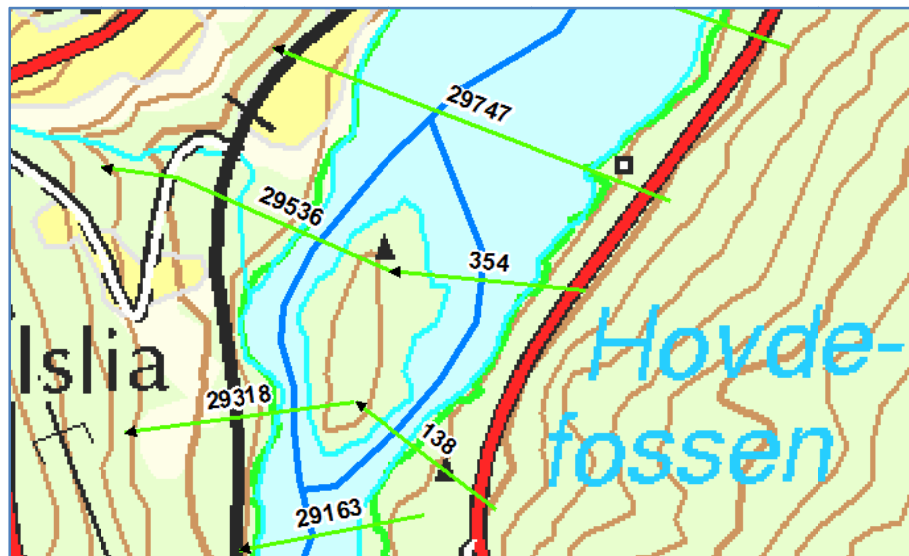
Figur 3.8: Modifisert profil km 45,817



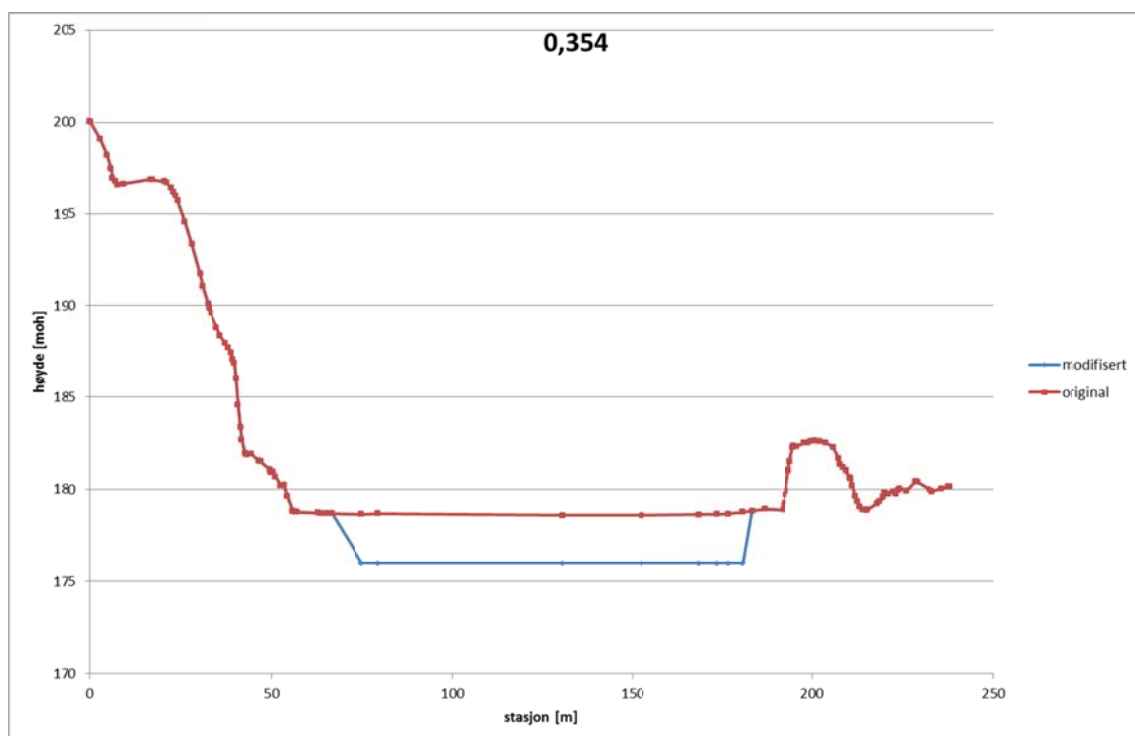
Figur 3.9: Modifisert profil km 45,425

Nedstrøms Losna er et profil (km 0,354) ved Hovdefossen modifisert (se figur 3.10). Bunnen ble senket til 176,0 moh. i elveløpet (se figur 3.11). Det ble undersøkt i hvilken grad bunnhøyden i dette profilet har innvirkning på vannstanden oppstrøms. Til dette ble bunnforholdene variert. Det viste seg at profilet rett oppstrøms km 29,747 ved heving av bunnen fra 176,0 moh. til 178,0 moh. ga 0,25 m høyere vannstand for den kalibrerende

hendelsen fra 2013. Imidlertid avtar effekten videre oppstrøms, slik at vannstanden i Losna ved en bunnhøyde på 178 moh. bare stiger 3 - 4 cm.



Figur 3.10: Beliggenhet av den justerte profilet nedstrøms Losna ved Hovdefossen



Figur 3.11: Modifisert profil km 0,354

For de øvrige strekningene ble bunndataenes kvalitet kontrollert på grunnlag av tverrprofilene, stilt til rådighet av oppdragsgiver. Det ble funnet god overensstemmelse med et gjennomsnittlig avvik på ca. 20 cm.

Ved datareduksjon omdannes de digitale høydedata (DHM) i rasterformat til en digital terrengmodell på basis av triangulering (TIN). Det ble lagt til grunn en nøyaktighet på 0,2 m. Avsnittet km 73.400 - 106.500, hvor bunnen er stipulert, ble omdannet til et 2m-raster.

I HEC-GeoRAS anbefales det sterkt å omdanne til TIN ved bruk av høyoppløst DTM basert på laserscanning fra fly. I HEC-GeoRAS genereres det ved utledningen av tverrprofilene et høydepunkt i profilet for hvert rasterpunkt når det brukes rasterdata. Ved de til dels svært lange profilene på over 500 m innebærer dette at profilene ved en oppløsning på 1 m ville generere over 500 profilpunkter. Bruk av primære rasterfiler innebærer avgrensning både i HEC-GeoRAS og i HEC-RAS: På grunn av det høye antallet og den store lengden på tverrprofilene fører utledning av koteinformasjonen til at systemet går ned i HEC-GeoRAS. Dessuten kan en profil i HEC-RAS inneholde maks 500 punkter. Dersom det også benyttes data for å definere voller ineffective flow areas for denne profilet, reduseres antallet mulige profilpunkter ytterligere.

Av den grunn må de primære rasterdataene omdannes. Det foreligger to mulige metoder: Rasteret kan generaliseres slik at det får en høyere oppløsning, eller det kan omdannes til TIN. Det viser seg at det mest effektive og nøyaktige alternativet er den metoden som anbefales i HEC-GeoRAS, altså omdanning til TIN.

Også etter omdanningen av DTM-rasteret til TIN er fremdeles enkelte av tverrprofilene for store til å importeres til modellen HEC-RAS (over 500 punkter). For disse benyttes filterfunksjonen (cross section point filter med opsjonen „minimize area change“), noe som medfører en reduksjon til maks 500 punkter.

3.4 Konstruksjoner

Konstruksjonene langs elva ble implementert i modellen. Det omfatter i tillegg til de mange bruene også to vannkraftverk med tilhørende demninger.

3.4.1 Bruer

Til modellering av bruene foreligger det byggetegninger for mange av dem. Andre bruer ble oppmålt terrestrisk. Enkelte bruer anses etter befaring på stedet ikke å være hydraulisk relevante, og blir ikke tatt med i modellen. Tabellen nedenfor viser bruene i det undersøkte området, informasjon om det foreligger byggetegninger for dem samt opplysninger om brua er implementert i modellen.

Ved implementeringen av bruene i modellen er det tatt hensyn til de ulike referansenivåene i de forskjellige datakildene: Mens brutegningene har som referanse NN1954 og ble overført til NN2000 for modellen, foreligger oppmålingsdataene for bruene i NN2000-format, og kunne overføres direkte til modellen. Oversikt over de modellerte bruene er å finne i tabell 3.1.

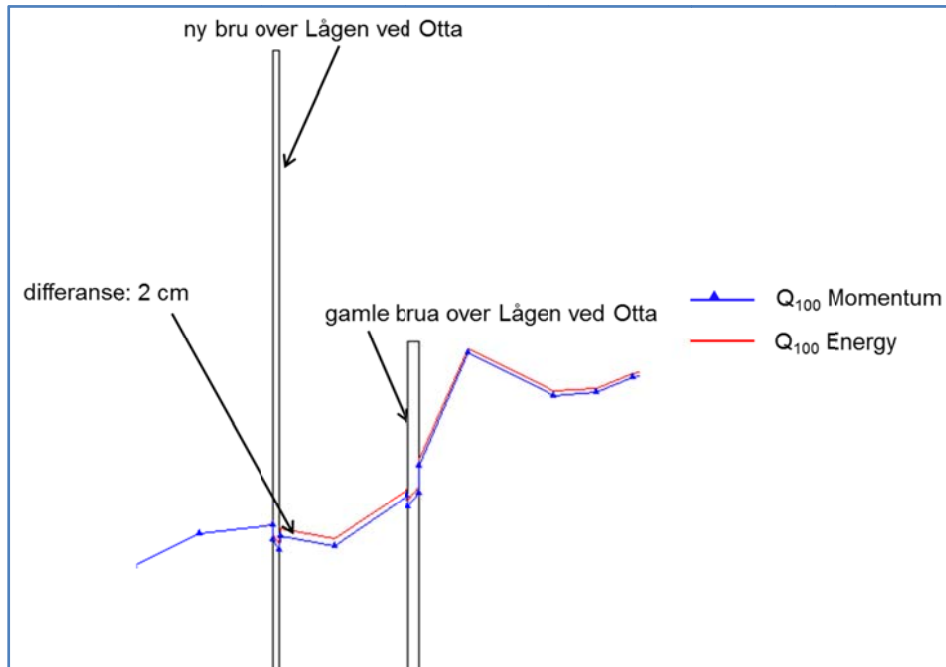
Tabell 3.1: Oversikt modellerte bruer

ID	Elvekilometer	Betegnelse	Data
1		Vingnesbrua	tegning/ikke i modellen
2		E6 bru Lillehammer	tegning/ikke i modellen
3	6.093	Bru - Gausdalsvegen	tegning
4	0.239	Blåbrua	tegning
5	0.288	Bru over Gausa (Fv 255)	tegning
6	7.825	Brunlaug bru	oppmåling
7	14.210	Bru ved Husemoen	ikke modellert
8	17.392	Bru ved Granrudmoen	oppmåling
9	20.300	Bru ved Tingberg	oppmåling
10	32.126	Tretten bru (Fv 254)	tegning
11	49.675	Fåvang bru (Fv 319)	tegning
12	2.409/53.600	Bru over flomløp	oppmåling
13	1.203/52.260	Kvitfjell alpinanlegg - bru over flomløp	ikke modellert
14	2.650/53.800	Bru over flomløp	ikke modellert
15	106.438	Jernbanebru Sjoa	oppmåling
16	58.136	Jernbanebru Ringebu	oppmåling
17	58.163	Ringebu (Fv 319)	tegning
18	2.397/62.500	Bru til Langøya	oppmåling
19	2.397/62.500	Bru til Børkøya	oppmåling
20	68.403	Hundorp bru (Fv 256)	tegning
21	73.714	Bru - Meierivegen (Fv 403)	tegning
22	76.826	Bru ved Harpefoss (Fv 401)	ikke modellert
23	78.125	Bru ved Harpefoss kraftverk	oppmåling
24	84.878	Bru ved Vinstra (Fv 255)	oppmåling
25	85.048	Bru ved Vinstra	oppmåling
26	90.321	Bru	oppmåling
27	93.347	Bru til Storøya - Kvam	oppmåling
28	95.226	Kvam bru (gammel)	oppmåling
29	104.506	Sjoa bru (FV 257)	tegning
30	104.789	Bru - Stasjonsvegen, Sjoa	tegning
31		bru ved Sjoa over Sjoa	ikke i modellen
32	0.403	Jernbanebru Otta	oppmåling
33	115.642	Gamblebrua over Lågen ved Otta	tegning
34	0.647	Bru over Ottaelva (Fv418)	tegning
35	115.824	Ny bru over Lågen ved Otta (Rv 15)	tegning
36	119.589	Bru på Sel (Fv 435)	tegning
37	123.765	Bru ved Byrtneset, Selsvollene	oppmåling
38	129.158	Bru ved Nord-Sel (Fv 438)	tegning
39	75.595	Harpe bru E6 Frya - Vinstra	tegning

Til modellering av bruene ble det ved „low flow“-beregninger (vannføring under bruenes underkant som ikke medfører oppdemning) gjort bruk av energy-metoden. Også moment-metoden ble vurdert, uten at det oppstod nevneverdige forskjeller sammenlignet med energy-metoden, slik det fremgår av eksemplet i figur 3.12. Begge metodene ble utprøvd for Q_{100} ved de to bruene over Lågen på Otta. Det ble registrert en maksimal forskjell på 2 cm.

De to andre metodene Yarnell og WSPRO ble ikke testet, da disse bare kan brukes ved underkritisk strømning.

Til „high flow“ (ved vannføring over bruens underkant, som fører til oppdemning eller overstrømning av brua) ble det gjort bruk av „pressure-“ og/eller “weir-“metoden.



Figur 3.12: Beregnet vannstand med Q100 i Lågen ved Otta med energy- og momentmetoden

3.4.2 Vannkraftverk

De to vannkraftverkene Harpefossen (km 87.064) og Hunderfossen (km 14.952) implementeres i modellen. Konstruksjonsdata for demningene overføres til modellen fra foreliggende tegninger. Lukeåpninger og overløp på demningene ble ved hjelp av optimaliseringsverktøyet i HEC-RAS innstilt slik at det så langt mulig oppstod høyeste regulerte vannstand (HRV) for det enkelte kraftverk. Det ble fastlagt følgende høyeste regulerte vannstander:

- Harpefossen: 220,3 moh.
- Hunderfossen: 172,0 moh.

Ved svært store flomhendelser kan høyeste regulerte vannstand ikke overholdes ved optimaliseringen, og dette fører ved beregningene til høyere vannstander ovenfor demningen

3.5 Arealtilstand og ruhet

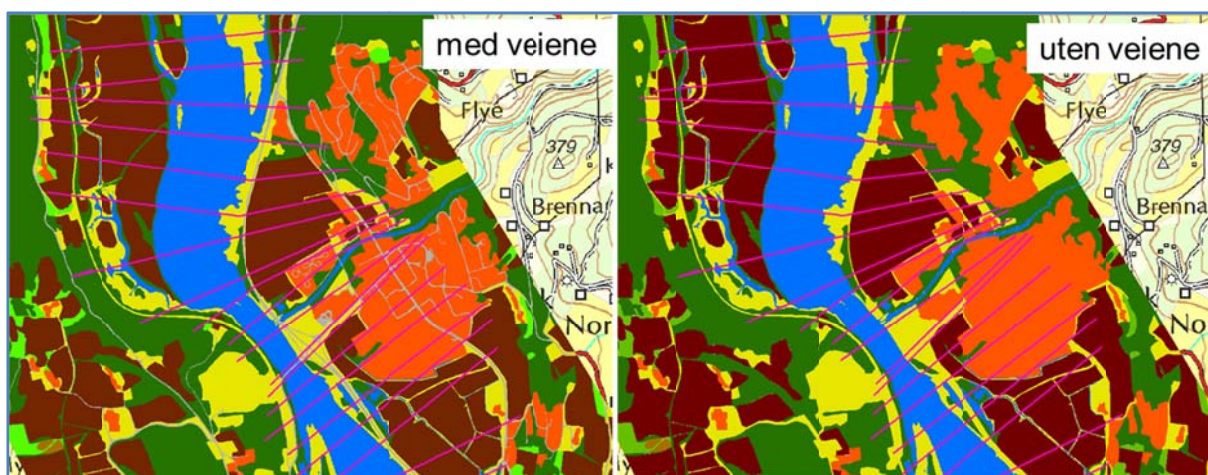
Arealtilstanden overføres fra AR5-datasettet.

Arealtilstanden på elveprofilenes forland analyseres med HEC-GEO-Ras, og inngår dermed i fastsettingen av ruhetkoeffisientene for strømningsberegningen. Av spesiell betydning for det undersøkte området var øyene og deres innflytelse på vannføringsforholdene. Med den

beskrevne fremgangsåten var det mulig å få en god topografisk avbildning av øyområdene, slik at de kunne benyttes som arealbruksdata i den hydrauliske modellen.

Det foreligger begrensninger i HEC-RAS med hensyn til varierende ruhet innen et enkelt profil. Til sammen tillates det maks 20 forskjellige ruhetsparametere. Tverrprofilene er til dels meget store, og dermed overskrider det maksimale antall ruhetsverdier i mange av profilene. Dessuten har HEC-GeoRAS en begrensning når det gjelder ruhet ved maksimal oppdeling av tverrprofilene og/eller det maksimale antall tverrprofiler. Det hadde som følge at modellen gikk ned ved flere forsøk på å ekstrahere ruhet fra arealbruksdata. Derfor måtte det foretas en reduksjon av arealbruksdataene.

Det viste seg ved den beskrevne fremgangsmåten at arealandelen av veier bare utgjør en liten del av de enkelte tverrsnittene, men medfører mye oppdeling av arealene i tverrprofilen. For at dataene skal kunne bearbeides må det foretas en generalisering av veiarealene. Det gjøres ved at veiarealer fordeles på de tilliggende arealene (se figur 3.13).



Figur 3.13: Arealbruk med og uten veier med Fåvang som eksempel

Bestemmelse av vassdragets ruhet skjer ved kalibrering (se avsnitt 4).

Tabell 3.2: Arealbruk og ruhet

Kode	Forklaring	Manning's n
21	Fulldyrka jord	0,060
22	Overflatedyrka jord	0,060
23	Innmarksbeite	0,050
30	Skog	0,100
60	Myr	0,050
50	Åpen fastmark	0,028
11	Bebyggd	0,100

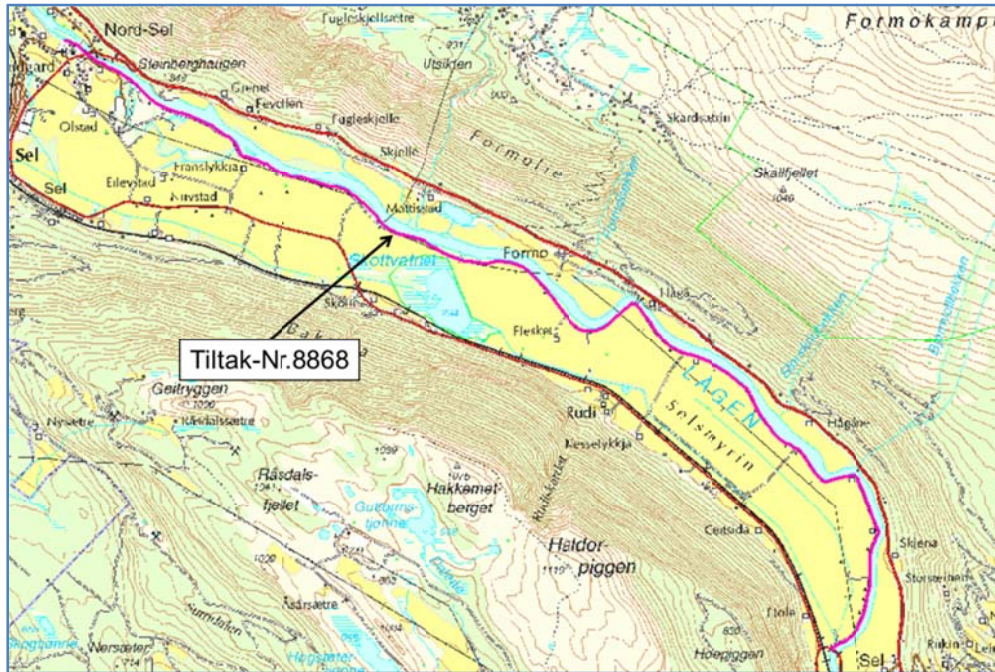
3.6 Demninger

Naturlige vollstrukturer og eksisterende flomsikringstiltak omfattes av begrepet „levee“ (voller). Imidlertid er eksisterende flomsikringstiltak kun implementert i modellen dersom de fremgår tydelig av profilet. Bortsett fra beliggenheten foreligger det ikke andre opplysninger (f.eks. høydenivå) om eksisterende flomvoller. Derfor ble høydedata fra tverrprofilen brukt til definisjon i modellen. En oversikt over hvilke vollstrukturer og flomsikringstiltak som er definert som levee (voller), finnes i tabell 3.3 samt figur 3.14 t.o.m. figur 3.18.

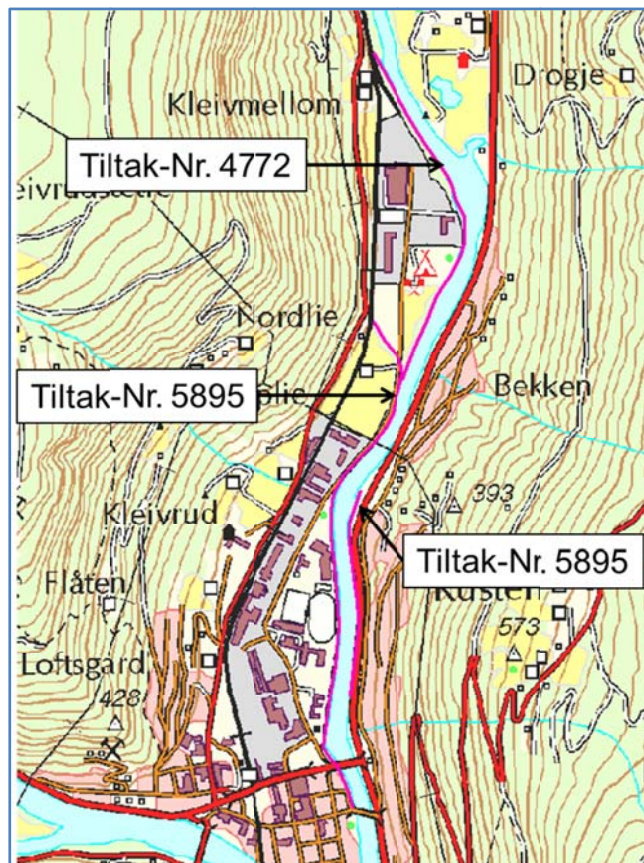
Tabell 3.3: Oversikt voller i modellen

fra km	til km	Elvebredd side	Typ	Tiltaksnr.	Tiltaksnavn
129,361	119,660	høyre	elveforbygning	8868	Lågen ved Selsmyrane, Sel, Oppland
118,413	117,310	høyre	elveforbygning	4772	Lågen ved Kleivmellom, Sel, Oppland
117,165	115,714	høyre	elveforbygning	5895	Lågen ved Otta, Sel, Oppland
116,770	116,054	venstre	elveforbygning	5895	Lågen ved Otta, Sel, Oppland
57,807	56,190	venstre	elveforbygning	6529	Lågen ved Vestad, Ringebu, Oppland
51,457	48,670	venstre	elveforbygning	7202	Lågen ved Fåvang
51,132	50,612	høyre	elveforbygning	8509	Lågen ved Berge, Ringebu, Oppland
54,264	51,663	høyre	elveforbygning	8879 / 8349	Lågen ved Storvollen – Mæhlum, Ringebu, Oppland
47,443	46,201	venstre	vei	-	E6
53,106		venstre	elveforbygning	9198	Flomsikring mot Lågen ved Trøstaker
52,754	51,663	venstre	elveforbygning	6038	Lågen ved Brandstad og Trøstaker

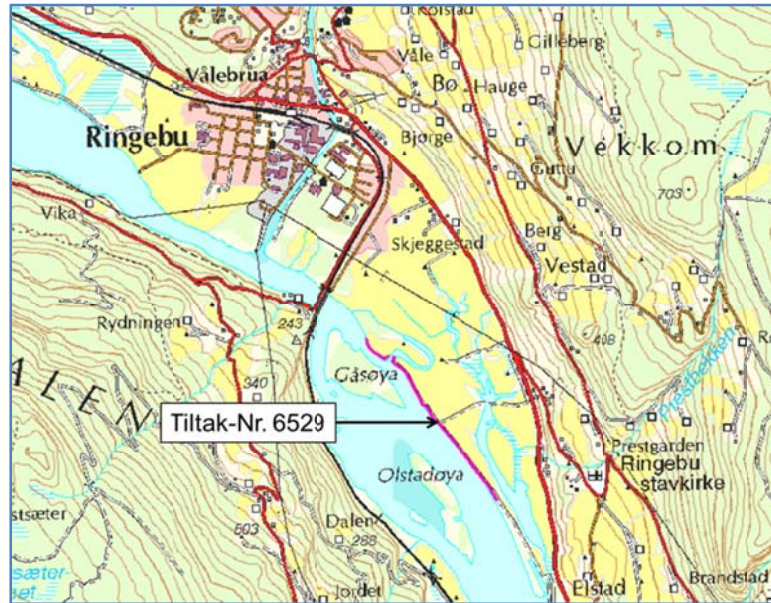
Denne definisjonen av levee (voller) innebærer at det lavereliggende forlandet ikke automatisk regnes med til vassdragets vannføringstverrsnitt. Det medfører en økning i tverrsnittet. Når damtoppen overskrides, fremkommer det tydelig hvor forlandet vil bli oversvømt. Når det skjer vil forlandet fylles og det vil oppstå en parallell vannføring på forlandet. Denne vannføringssituasjonen kan ikke avbildes i en 1D-modell. Tendensen er at det i denne vannføringssituasjonen vil bli beregnet for høye vannstander i 1D-modellen.



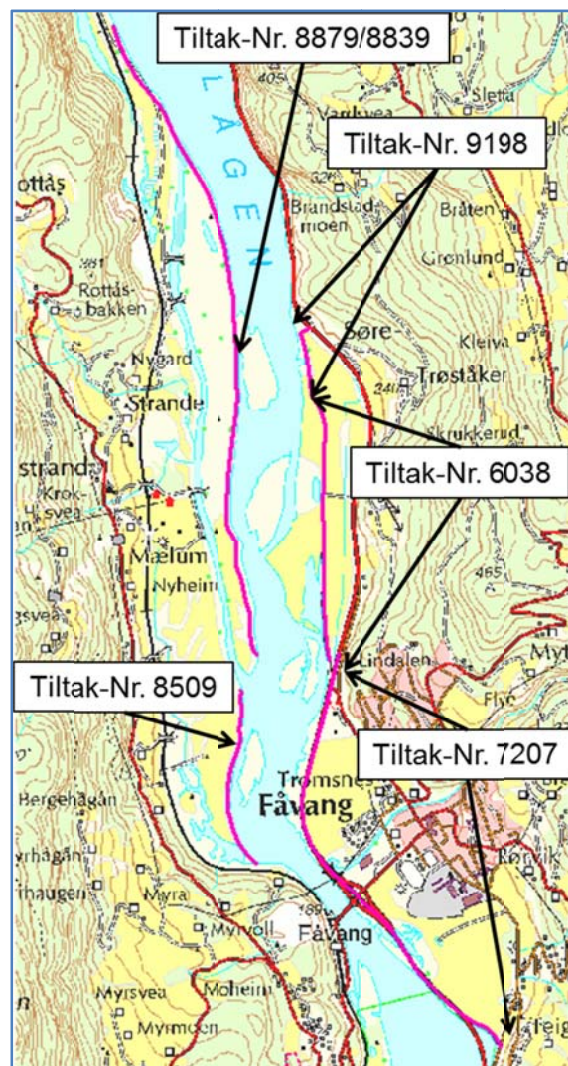
Figur 3.14: Flomvoller definert som levee på Selsmyrene



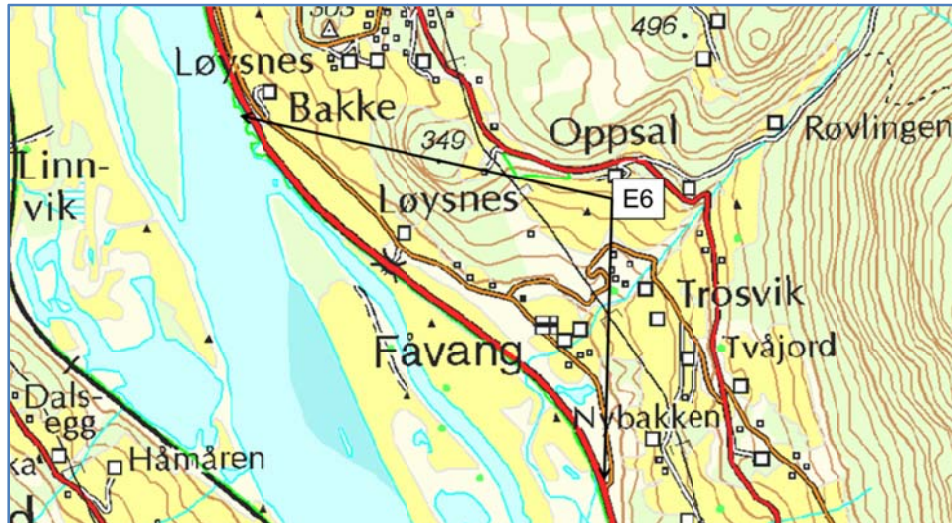
Figur 3.15: Flomvoller definert som levee ved Otta



Figur 3.16: Flomvoller definert som levee ved Ringebu



Figur 3.17: Flomvoller definert som levee ved Fåvang

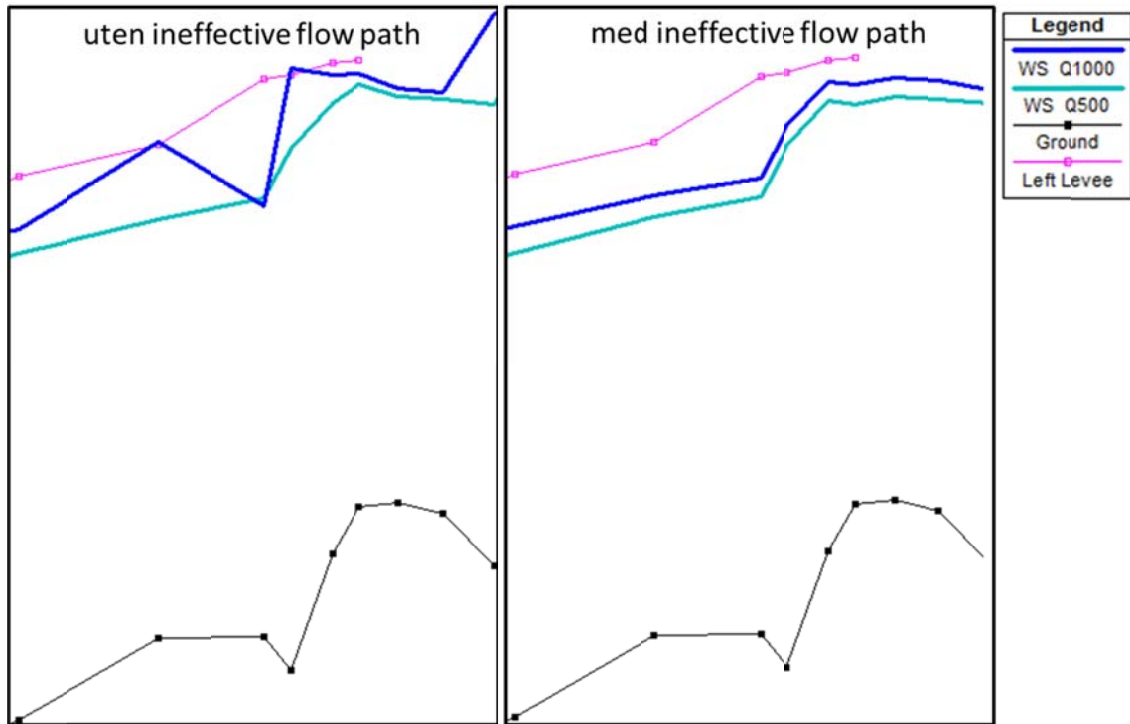


Figur 3.18: E6 definert som levee (voll)

3.7 Ineffektive strømningsveier

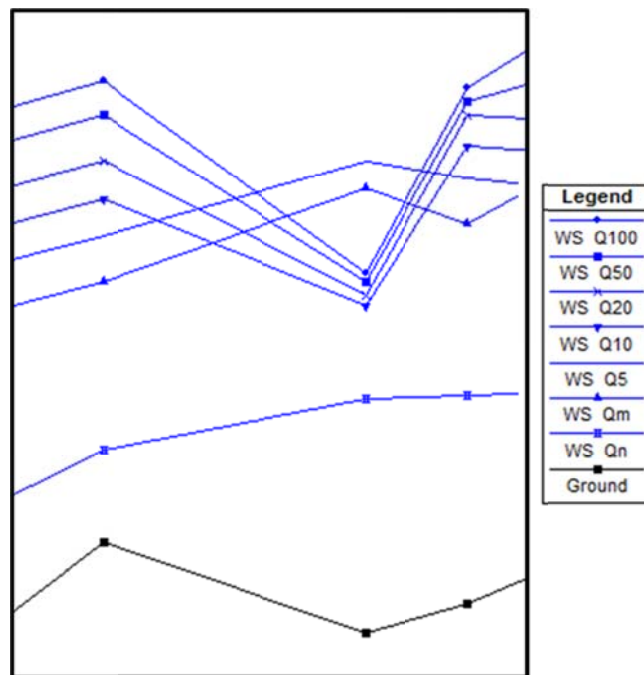
I modellen bestemmes det vanligvis ineffektive strømningsveier i nærheten av bruer (opp- og nedstrøms bruer).

Også områdene bak vollene definert som levee i avsnittene av Selsmyrene mellom Sel og Otta må defineres som ineffektive strømningsveier (jf. tabell 3.3 vollene med tiltaksnr. 8868, 4772 og 5895). Dette må gjøres fordi det ellers vil oppstå situasjoner med økende vannføring hvor det ved enkelte profiler vil føre til lavere vannstand når en voll ved profilet nedstrøms akkurat overstrømmes. Grunnen til at vannstanden synker er det store tverrsnittet i profilet nedstrøms, som oppstår straks vollen overstrømmes, og som får innvirkning på beregningen. Når det defineres ineffektive strømningsveier bak vollene, unngår en at det strømningstverrsnittet får en plutselig og stor utvidelse.



Figur 3.19: Utsnitt av lengdeprofilen med overstrømming av vollen ved profil km 116,448

I andre tilfeller der det ved enkelte profiler forekommer lavere vannstand til tross for høyere vannføring, skyldes dette overgangen fra strømmende til strykende vann.



Figur 3.20: Eksempel på strykende vannføring ved Q10 og høyere, ved profil km 118,076

Ved øyer som medfører oppdeling av vannføringen, ble det ikke gjort bruk av ineffektive strømningsavsnitt, siden det kan tas hensyn til strukturenes oppstuvende effekt via ruheten, og denne kan fordeles innenfor tverrprofilene ved hjelp av arealbruksdata (se avsnitt 3.5).

I tillegg defineres det en ineffektiv strømningsvei på høyre side av innsnevringen i Gausa før utløpet i Gudbrandsdalslågen. Denne omfatter idrettsplassen (se figur 3.21).



Figur 3.21: Ineffektive strømningsveier Gausa

Andre ineffektive strømningsveier ble definert på steder der det er kort overgang fra smale til brede elvetverrsnitt eller omvendt (se figur 3.22 og figur 3.23).

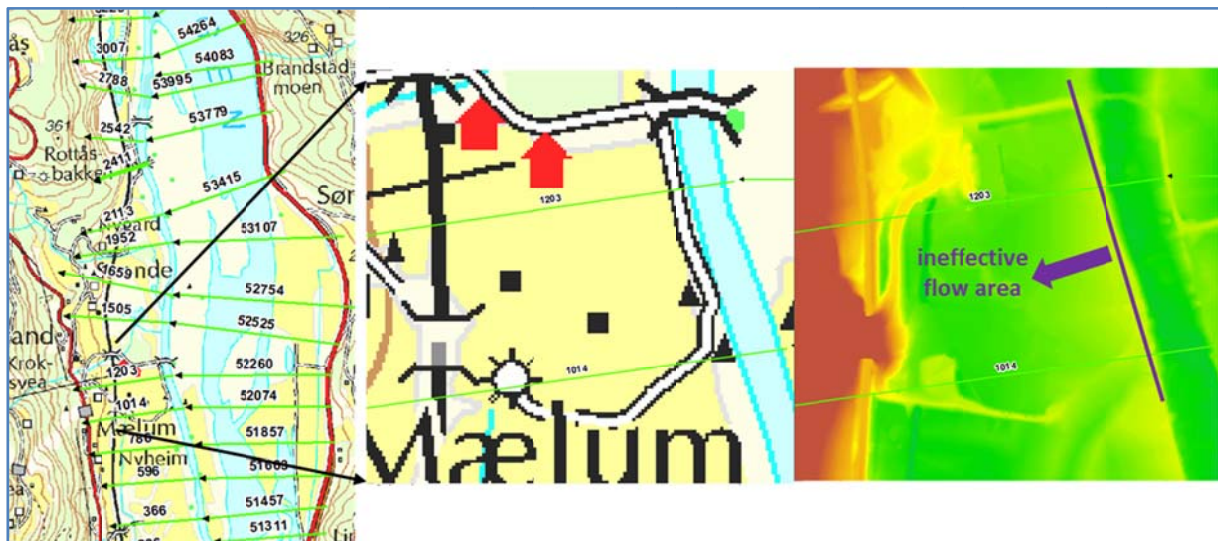


Figur 3.22: Eksempel på bunnforhold i elva ved profil 76,566 til 76,519



Figur 3.23: Eksempel på utvidelse og innsnevring av elva ved profil 18,362 og 18,319

Også målområdet ved Kvittfjell er definert som ineffektiv strømningsvei, siden området er omsluttet av voller. Dersom det blir oversvømmelse fra sideelvene til Lågen, må vollene først overstrømmes fra nord eller øst før det blir oversvømmelse i det indre området.



Figur 3.24: Ineffektiv strømningsvei i målområdet ved Kvittfjell

3.8 Hydrologisk grunnlag

Oppdragsgiver har levert hydrologiske data som omfatter kulminasjonsvannføring for forskjellige gjentaksintervaller¹. Denne ble implementert i den hydrauliske modellen, og vannføringen ved forskjellige gjentaksintervaller fikk tilordnet stasjoneringsnummer. Vannføringene er oppført i tabell 3.4. Vannføringene i Otta og Gausa tilsvarer differansen mellom vannføringen i Gudbrandsdalslågen opp- og nedstrøms utløpet av sideelvene. Vannføringsoppdelingen i avsnittene „Lågen_3“ og „omløp_Ringebu“, „Lågen_5“ og „omløp_Fåvang“ samt „Lågen_7“ og „Hovdefossen“ ble beregnet med optimaliseringsopsjonen.

¹NVE (2015): Flomberegning for Gudbrandsdalsvassdraget (002.DZ); Rapport nr. 157-2015.

Tabell 3.4: Vannføringer i den hydrauliske modellen (m³/s]

Elv	Avsnitt	km	Qn	Qm	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
Lågen	Lågen_1	130546.3	32	353	436	504	569	653	716	779	862	925
Lågen	Lågen_1	123897.5	33	366	452	523	590	677	743	808	894	959
Lågen	Lågen_1	118985.8	36	400	495	572	645	741	813	884	978	1049
Lågen	Lågen_1	117165.6	37	402	497	575	649	745	817	888	983	1055
Otta	Otta_1	4454.106	107	666	745	826	934	1089	1194	1337	1447	666
Lågen	Lågen_2	115182.4	144	980	1163	1320	1475	1679	1906	2082	2320	2502
Lågen	Lågen_2	112767.3	145	983	1167	1325	1480	1685	1913	2089	2327	2510
Lågen	Lågen_2	104140.4	178	1204	1429	1623	1814	2064	2330	2542	2828	3048
Lågen	Lågen_2	101460.3	179	1206	1432	1626	1816	2067	2333	2546	2832	3052
Lågen	Lågen_2	95080.83	180	1215	1442	1637	1829	2082	2349	2563	2851	3073
Lågen	Lågen_2	78114.84	214	1256	1491	1693	1891	2153	2330	2562	2874	3114
Lågen	Lågen_2	68500.3	225	1246	1500	1703	1903	2166	2345	2577	2891	3133
Lågen	Lågen_2	65410.62	226	1265	1501	1705	1904	2168	2346	2579	2893	3135
Lågen	Lågen_2	63585.36	231	1296	1538	1746	1951	2221	2404	2642	2963	3210
Lågen	Lågen_3	63247.27	131	605	697	775	847	927	978	1044	1134	1192
Lågen-omløp 1	omløp_Ringebu	3193.914	100	691	841	971	1104	1294	1426	1598	1839	2018
Lågen	Lågen_4	60319.34	232	1297	1539	1748	1953	2222	2406	2644	2965	3212
Lågen	Lågen_4	58464.53	237	1323	1570	1783	1992	2267	2455	2697	3024	3275
Lågen	Lågen_4	54842.1	239	1326	1574	1787	1997	2272	2461	2704	3031	3283
Lågen	Lågen_5	54505.7	239	1280	1511	1709	1861	2103	2265	2474	2755	2967
Lågen-omløp 2	omløp_Fåvang	3358.967	0,01	46	63	78	136	169	196	230	276	316
Lågen	Lågen_6	48811.45	244	1351	1604	1821	2034	2315	2508	2755	3088	3344
Lågen	Lågen_6	44698.3	242	1356	1610	1828	2042	2324	2517	2765	3099	3356
Lågen	Lågen_6	32243.55	244	1361	1615	1834	2049	2332	2527	2775	3110	3368
Lågen	Lågen_8	29536.47	37	552	674	780	884	1023	1122	1248	1413	1526
Lågen-omløp 3	Hovdefossen:	354.1421	207	809	941	1054	1165	1309	1405	1527	1697	1842
Lågen	Lågen_9	29163.35	244	1361	1615	1834	2049	2332	2527	2775	3110	3368
Lågen	Lågen_9	15857.22	249	1371	1628	1849	2065	2350	2546	2796	3133	3393
Lågen	Lågen_9	9241.121	250	1374	1631	1852	2069	2355	2551	2801	3139	3399
Gausa	Gausa_1	4166.583	15	68	81	92	103	117	128	140	155	166
Lågen	Lågen_7	6730.676	265	1442	1712	1944	2172	2472	2679	2941	3294	3565

De ovenfor nevnte vannføringene gjelder for beregning av flomhendelser i Lågen. Når det gjelder utløpene av Otta og Gausa, tas det også hensyn til flomhendelser i disse to sideelvene.

Vannføringene ble tatt fra den nevnte vannføringsstudien, som inneholder både vannføringene i Otta og Gausa og den samtidige vannføringen i Lågen. De brukte vannføringene for flomhendelser i Otta og Gausa er oppført i tabell 3.5 og tabell 3.6.

Tabell 3.5: Vannføringer flom Otta

River	Reach	km	Qm	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
Lågen	Lågen_1	117165.6	333	411	475	537	616	676	735	813	872
Otta	Otta_1	4454.106	674*	796	895	990	1113	1283	1390	1530	1637
Lågen	Lågen_2	115182.4	1006*	1207	1370	1526	1729	1958	2125	2343	2509

Tabell 3.6: Vannføringer flom Gausa

River	Reach	km	Qm	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
Lågen	Lågen_9	9241.121	1167	1223	1389	1552	1766	1913	2101	2354	2549
Gausa	Gausa_1	4166.583	272	348	409	469	545	602	659	735	792
Lågen	Lågen_7	6730.676	1439	1571	1798	2020	2311	2515	2760	3089	3341

3.9 Beregningsmetode

Beregningene gjennomføres stasjonært („steady flow“) med de vannføringer som er oppført i tabell 3.4 og med „mixed flow regime“. Til dette må det foreligge en nedre randbetingelse. Den blir definert som vannstanden i Mjøsa ved modellens ende. Denne er oppgitt av oppdragsgiver for forskjellige gjentaksintervaller, og verdiene er oppført i tabell 3.7.

Ved flom i Gausa er det lavere vannføringer i Lågen. Derfor ble det ved nedre randbetingelse antatt lavere vannstander i Mjøsa. Disse ble beregnet med vannstand-vannføring-relasjonen, som utledes av vannføringene i Lågen (se tabell 3.8).

Som øvre randbetingelser ved modellens begynnelse for Lågen, Otta og Gausa ble det brukt kritisk dybde „critical depth“.

Tabell 3.7: Vannstand Mjøsa som nedre randbetingelse

Flom	Q (m ³ /s)	vannstand (moh.)
Q _n	265	123,00
Q _m	1442	123,51
Q ₁₀	1712	124,19
Q ₂₀	1944	124,60
Q ₅₀	2172	125,23
Q ₁₀₀	2472	125,78
Q ₂₀₀	2679	126,43
Q ₅₀₀	2941	127,44
Q ₁₀₀₀	3294	128,34

Tabell 3.8: Vannstand Mjøsa som nedre randbetingelse ved flom i Gausa

Flom	Q (m ³ /s)	vannstand (moh.)
Q _m	1439	123,50
Q ₁₀	1571	123,63
Q ₂₀	1798	124,10
Q ₅₀	2020	124,33
Q ₁₀₀	2311	124,89
Q ₂₀₀	2515	125,45
Q ₅₀₀	2760	126,03
Q ₁₀₀₀	3089	126,98

4. Kalibrering

Det foretas kalibrering av den hydrauliske modellen. Det skjer ved tilpassing til vassdragets ruhet. Til kalibreringen foreligger det vannføringsmålinger fra tre vannmerker (se tabell 4.1) og registrerte vannstander ved flomhendelsene i 2011 og 2013. Beliggenheten av vannmerkene og flom-merkene fremgår av oversiktskartene. De foreliggende tallene fra vannmerkene, ble ifølge oppdragsgiver levert i NN1954 og er omdannet til NN2000 for kalibreringen.

Tabell 4.1: Vannføringsmålinger for flomhendelsene i 2013 og 2011

Vannmerke	Flom 2013		Flom 2011	
	Q [m ³ /s]	gjentaksintervall	Q [m ³ /s]	gjentaksintervall
Rosten	464	ca. Q ₅₋₁₀	675	Q ₅₀
Eide	1888	ca. Q ₂₀	2547	ca. Q ₂₀₀
Losna	2365	Ca. Q ₅₀	2441	Ca. Q ₁₀₀

For ikke bare å kunne kalibrere de avsnittene der det foreligger flomverdier i nærheten av de tre vannmerkene, og hvor dermed vannføringen korresponderer godt med vannstanden, ble det forsøkt å overføre verdiene fra vannmerkene til hele elvestrekningen (se tabell 4.2), samsvarende med det hydrologiske lengdesnittet (se tabell 3.4). Denne overføringen er imidlertid beheftet med usikkerhet, siden vannføringene målt ved vannmerkene må tilordnes ulike gjentaksintervaller.

Tabell 4.2: Hydrologisk oversikt langs Lågen for flommen i 2013 og 2011

Punkt i vassdraget	Flom 2013		Flom 2011	
	Q [m ³ /s]	Beregning	Q [m ³ /s]	Beregning
Lågen, ved Nord-Sel bru	464	Q Rosten (Q5 x 1,06)	675	Q Rosten (Q50*1,034)
Lågen, oppstr. saml. med Ula	481	Q5 x 1,06	700	Q50 x 1,034
Lågen, nedstr.saml.m/ Ula	556	Q10	745	Q50 x 1,034
Lågen,oppstr.saml.m/Otta	559	Q10	749	Q50 x 1,034
Otta	761	Q10	986	Q50 x 1,034
Lågen, nedstr. saml. med Otta	1320	Q10	1736	Q50 x 1,034
Lågen, oppstr. saml. med Sjøa	1480	Q20	1742	Q50 x 1,034
Lågen, nedstr. saml. med Sjøa	1814	Q20	2134	Q50 x 1,034
Lågen, oppstr. saml. Veikleåa	1816	Q20	2137	Q50 x 1,034
Lågen, nedstr. saml. Veikleåa	1829	Q20	2152	Q50 x 1,034
Lågen, ved Harpefoss (krv.)	1888	Q Eide	2547	Q Eide (Q200 x 0,994)
Lågen, ved Hundorp bru	1950	Q50 x 0,9 (Q20/Q50=0,88)	2562	Q200 x 0,994
Lågen, oppstr. saml. med Frya	1951	Q50 x 0,9	2564	Q200 x 0,994
Lågen, nedstr. saml. med Frya	1999	Q50 x 0,9	2627	Q200 x 0,994
Lågen, oppstr. saml. med Våla	1999	Q50 x 0,9	2629	Q200 x 0,994
Lågen, nedstr. saml. med Våla	2154	Q50 x 0,95	2681	Q200 x 0,994
Lågen, oppstr. saml. m/Tromsa	2158	Q50 x 0,95	2688	Q200 x 0,994
Lågen, nedstr. saml. Tromsa	2199	Q50 x 0,95	2432	Q200 x 0,994
Lågen, ved innløp til Losna	2365	Q Losna (Q50 x 1,018)	2441	Q Losna (Q100 x 0,97)
Lågen, ved utløp av Losna	2373	Q50 x 1,018	2451	Q100 x 0,97
Lågen, ved Hunderfossen kr. v.	2391	Q50 x 1,018	2469	Q100 x 0,97
Lågen, oppstr. saml. m/ Gausa	2397	Q50 x 1,018	2474	Q100 x 0,97
Gausa	119	Q50 x 1,018	124	Q100 x 0,97
Lågen, nedstr. saml. m/ Gausa	2516	Q50 x 1,018	2598	Q100 x 0,97

Tabell 4.3 viser resultatene av kalibrering for flommen i 2013, tabell 4.4 til tabell 4.7 resultatene av kalibreringen for flommen i 2011. Det viste seg stort sett å være god overensstemmelse med flommerkene. For området mellom Rustberg og Granrudmoen (km 23,9 - 17,9), hvor det er flommerker for begge hendelsene, viste det seg imidlertid at de antatte vannstandene var betydelig undervurdert. For å finne årsakene til dette ble det undersøkt mulig innflytelse fra både opp- og nedstrøms dette avsnittet.

Området oppstrøms viste seg å ikke ha noen effekt på vannstanden i det undersøkte avsnittet. Modellen oppstrøms ble avsluttet og startet først noen få hundre meter oppstrøms de første flommerkene ved Rustberg. Det ble ikke funnet noen endring i vannstand.

For området nedstrøms ble effekten av vannstanden ved kraftverket Hundefossen (km 14,9) undersøkt. Vannstanden ble her økt til 173,5 moh., som tilsvarer demningens overkant og som ikke blir nådd selv ved ekstreme hendelser. Det medførte at det ca. 3,4 km oppstrøms

kraftverket blir målt ca. 0,3 m høyere vannstand, og at vannstandsøkningen i en avstand av ca. 8,8 km utgjør ca. 0,15 m. Sammenlignet med det tydelige avviket på 0,5 – 1,0 m for begge de kalibrerende hendelsene er dermed kraftverkets innflytelse ubetydelig, ikke minst fordi så ekstreme avvik fra HRV som er 172 moh. ikke er sannsynlige.

Man må derfor gå ut fra at de antatte vannføringene ligger altfor lavt for begge de to hendelsene.

Tabell 4.3: Kalibrering flom 2013

Nr	Sted	Stasjon [km]	Q [m³/s]	Observert [moh.]	Beregnet [moh.]	Differanse [m]
20	Gudbrandsdalsvegen_680	110,412	1480	283,35	283,72	0,37
21	Gammelheimen	95,020	1829	252,14	252,30	0,16
22	Oppstrøms_Kjerringshølen	93,349	1829	249,80	251,12	1,32
19	Sletvika	86,737	1829	242,19	242,88	0,69
23	Frya_travbane	3,025	1143	187,62	187,75	0,13
18	Nedstrøms_Risøya	0,806	1143	187,45	187,22	-0,23
17	Nedstrøms_Elstad_camp	55,398	2154	185,30	185,40	0,10
16	Tromsnesvegen_ved_siden_bensin_st	51,133	2158	185,21	185,15	-0,06
15	Fåvang	49,571	2158	184,59	184,62	0,03
14	Olsfødøya	46,428	2199	184,31	184,34	0,03
13	Målåsineset	38,561	2365	184,27	184,28	0,01
12	Sandviksberget	35,938	2365	184,23	184,28	0,05
11	Båsstø_Kongsvegen_1690	33,315	2365	184,15	184,17	0,02
7	Vollen	23,351	2373	177,01	176,62	-0,39
8	Blomberg	22,407	2373	176,80	176,62	-0,18
9	Kongsvegen_433	21,522	2373	176,92	176,58	-0,34
10	Øyer_oppstrøms_brua	20,443	2373	176,22	175,63	-0,59
5	Øyer_nedstrøms_brua	20,027	2373	176,52	175,20	-1,32
6	Øyer_nedstrøms_brua	20,027	2373	176,54	175,20	-1,34
4	Jemne	19,632	2373	176,11	175,24	-0,87
3	Oppstrøms_Jevnesletta	19,383	2373	176,22	175,25	-0,97
1	Oppstrøms_Jemnhagen	19,220	2373	176,00	175,26	-0,74
2	Jevnesletta	19,220	2373	176,06	175,26	-0,80
0	Jemnhagen	19,039	2373	176,04	175,26	-0,78

Tabell 4.4: Kalibrering flom 2011 Rosten - Otta

Navn	Stasjon [km]	Q (m ³ /s)	Observert [moh.]	Beregnet [moh.]	Differanse [m]
30-1	129,361	675	302,57	302,62	0,05
30-2	129,169	675	301,51	301,57	0,06
31-1	127,706	675	297,95	297,98	0,03
31-2	127,343	675	297,88	297,99	0,11
32-1	127,141	675	298,08	297,94	-0,14
32-2	126,883	675	297,58	297,85	0,27
33-1	126,473	675	297,82	297,79	-0,03
33-2	125,844	675	297,73	297,71	-0,02
34-1	124,745	675	297,57	297,49	-0,08
34-2	123,770	700	297,20	297,32	0,12
35-1	123,051	700	297,16	297,1	-0,06
35-2	121,668	700	296,96	296,86	-0,10
Bru-1	121,325	700	296,71	296,7	-0,01
Bru-2	120,719	700	296,49	296,5	0,01
Bru-3	119,943	700	296,34	296,47	0,13
Bru-4	119,660	700	296,17	296,33	0,16
oppmålingsdata	119,594	700	295,93	296,12	0,19
Oppstr_bru	119,577	700	296,06	296,08	0,02
100	119,491	700	295,73	296,12	0,39
101	116,001	749	286,67	286,39	-0,28
102	115,826	749	286,35	286,12	-0,23
103	115,826	749	286,38	286,12	-0,26
104	115,536	749	286,03	285,85	-0,18

Tabell 4.5: Kalibrering flom 2011 Fåvang - Losna

Navn	Stasjon [km]	Q [m ³ /s]	Observert [moh.]	Beregnet [moh.]	Differanse [m]
105-1	50,979	2688	185,34	185,5	0,16
106	49,850	2688	185,12	184,82	-0,30
107	49,356	2688	184,78	184,81	0,03
108	49,257	2688	184,81	184,8	-0,01
109	49,131	2688	185,04	184,8	-0,24
110	48,983	2688	184,85	184,78	-0,07
111	48,493	2432	185,04	184,74	-0,30
112	47,444	2432	184,51	184,59	0,08
113	33,315	2441	184,26	184,28	0,02
114	33,057	2441	183,88	184,15	0,28
115	32,917	2441	183,83	184	0,17
116	31,807	2451	182,57	182,07	-0,50

Tabell 4.6: Kalibrering flom 2011 Otta

Navn :	Stasjon [km]	Q (m ³ /s)	Observert [moh.]	Beregnet [moh.]	Differanse [m]
137	2,635	1425	291,25	291,5	0,25
19-1	1,869	1425	289,17	289,44	0,27
19-2	0,649	1425	286,73	287,08	0,35
16-1	0,629	1425	286,42	286,96	0,54
16-2	0,482	1425	286,50	286,41	-0,09
10-1	0,403	1425	286,80	286,21	-0,59
10-2	0,318	1425	286,08	285,92	-0,16

Tabell 4.7: Kalibrering flom 2011 Hovdefossen - Granrudmoen

Navn	Stasjon [km]	Q (m ³ /s)	Observert [moh.]	Beregnet [moh.]	Differanse [m]
117	23,706	2451	177,28	176,79	-0,49
118	23,706	2451	177,26	176,79	-0,47
119	22,973	2451	177,20	176,73	-0,47
120	22,877	2451	177,21	176,74	-0,47
121	22,714	2451	177,20	176,74	-0,46
122	22,407	2451	177,23	176,74	-0,49
123	22,139	2451	177,45	176,73	-0,72
124	22,139	2451	177,47	176,73	-0,74
125	22,139	2451	178,18	176,73	-1,45
126	22,016	2451	177,19	176,72	-0,47
127	21,364	2451	177,35	176,7	-0,65
128	20,563	2451	177,22	176,33	-0,89
129	20,311	2451	176,90	175,49	-1,41
130	20,153	2451	176,69	175,32	-1,37
131	20,027	2451	176,58	175,31	-1,26
132	19,885	2451	176,62	175,33	-1,29
133	18,948	2451	175,92	175,36	-0,56
134	18,816	2451	176,12	175,36	-0,76
135	18,469	2451	175,80	175,36	-0,44
136	18,319	2451	175,98	175,35	-0,63

Ved kalibreringen for hele modellen må det tas hensyn til at det riktignok foreligger et betydelig antall målinger for de to kalibreringshendelsene, men at disse ikke er jevnt fordelt over hele modellen. Det finnes lange avsnitt hvor det foreligger få eller ingen måledata. I det store og hele kunne likevel alle avsnitt der det skal vurderes tiltak – med unntak av Gausa – kalibreres på en tilfredsstillende måte.

På grunnlag av kalibreringen er vassdraget tildelt følgende ruhet:

Tabell 4.8: Ruhet for vassdrag etter kalibrering

fra km	til km	k_{st} [$m^{1/3}/s$]
Lågen		
130,546	128,273	27
128,273	120,558	34
120,555	106,676	45
106,555	45,425	34
45,425	32,917	33.3
32,917	14,952	25
14,894	0	34
Otta		
4,454	1,558	24
1,558	0	34
Gausa		
4,166	0	34

Resultatene av beregningen for flommen i 2013 fremgår av tegningene H 200 i bilaget.

5. Følsomhetsanalyse

Det gjennomføres en følsomhetsanalyse, hvor vassdragets ruhet og vannføring varieres. I følsomhetsanalysen varieres ruheten med +/- 20 %. Effekten av de forskjellige ruhetene fremgår av tabell 5.1. Det vises midlere avvik i vannstand for hele modellen ved forskjellige gjentaksintervaller.

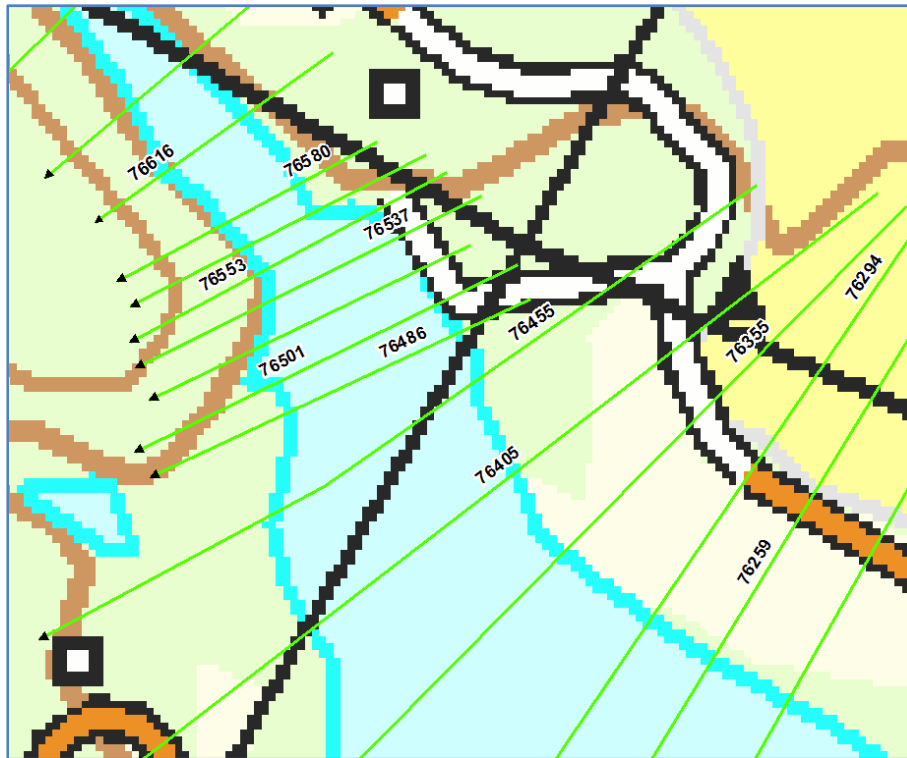
Variabiliteten i avvik fra beregnet vannstand ved en følsomhetsanalyse av ruheten er i figur 5.2 vist med en 200-års vannføring som eksempel. Det er tydelig å se at det er lange avsnitt hvor følsomheten er meget jevn ved ulik ruhet, mens enkelte tverrprofiler oppviser store sprang. Disse sprangene forårsakes av vekslingen mellom strømmende og strykende vann, og dette tas hensyn til ved beregningsmetoden „mixed flow“. Ved reduksjon av ruheten økes hastigheten, slik at terskelen for strykende vannføring overskrides (se f.eks. profil km 10,420), mens økning av ruheten fører til at opprinnelig strykende vannføring går over til strømmende (se f.eks. profil km 76,486).

Profilen ved km 10,420 ligger i avsnittet mellom Hunderfossen og Fåberg, hvor elvetverrsnittet er relativt smalt og det simuleres hyppig strømningsveksling. Ved den kalibrerte ruheten $k_{st} = 34 \text{ m}^{1/3}/s$ for profilen beregnes det et Froude-tall på 0,58. Når ruheten økes med 20 % ($k_{st} = 41 \text{ m}^{1/3}/s$) øker tallet til 1,71.

Profilen ved km 76,486 ligger i overgangsområdet mellom den bratte strekningen nedenfor Harpefossen og det bredere avsnittet oppstrøms Hundorp (se figur 5.1), hvor det skjer en overgang fra strykende til strømmende vann. Også profilene oppstrøms profil 76,486 oppviser strykende vannføring. Endring av ruheten medfører en forskyvning av stedet der

spranget skjer, slik at det ved lavere ruhet ved profil 76,486 ikke lenger simuleres strykende vannføring og det beregnes tilsvarende høyere vannstander.

Generelt medfører variasjoner av ruheten at områdene med strykende vannføring forskyves, siden strekningene med strykende vannføring blir lengre, mens de ved lavere ruhet blir kortere.

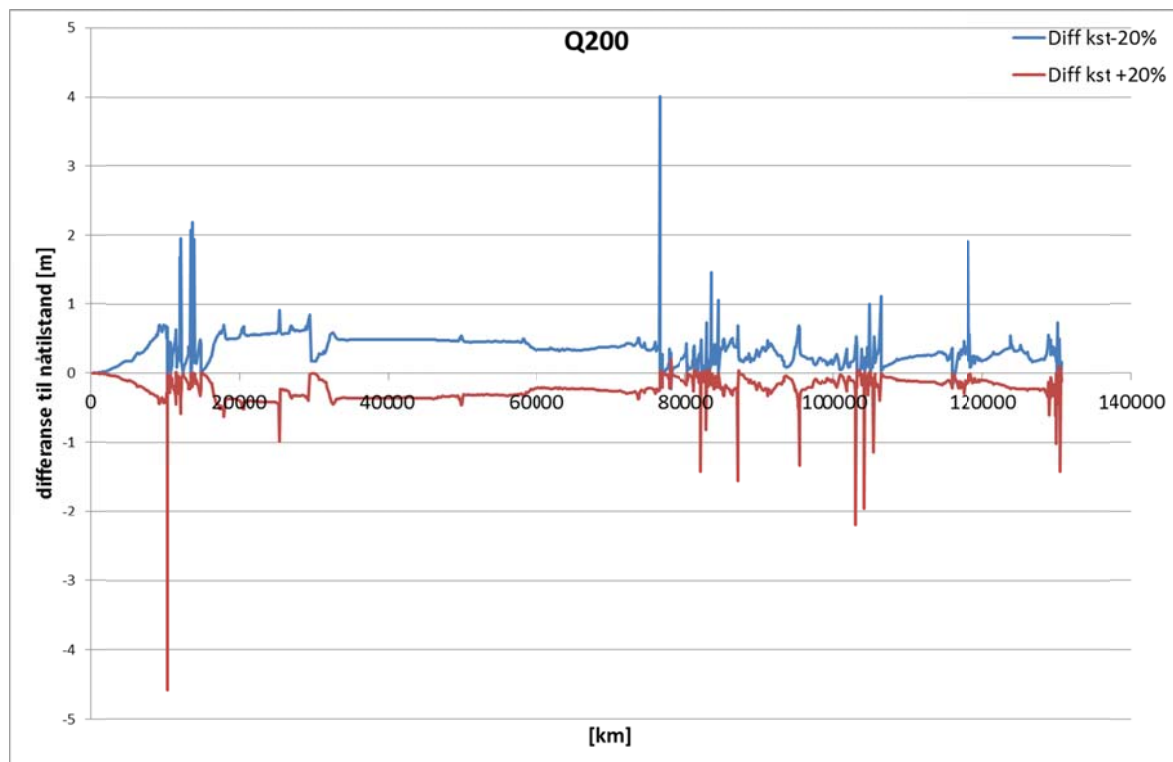


Figur 5.1: Overgang fra den bratte strekningen nedenfor Harpefossen til bredere elveavsnitt oppstrøms Hundorp

Resultatet av beregningene for flom Q_{20} vises i kart H 300 til H 302 i bilaget.

Tabell 5.1: Resultater av følsomhetsanalysen for ruhet

	Q_n	Q_m	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{500}	Q_{1000}
Differanse $k_{st}-20\%$ [m]	0,12	0,28	0,29	0,29	0,31	0,33	0,33	0,33	0,33	0,34
Differanse $k_{st}+20\%$ [m]	-0,09	-0,18	-0,19	-0,20	-0,19	-0,20	-0,20	-0,21	-0,21	-0,22

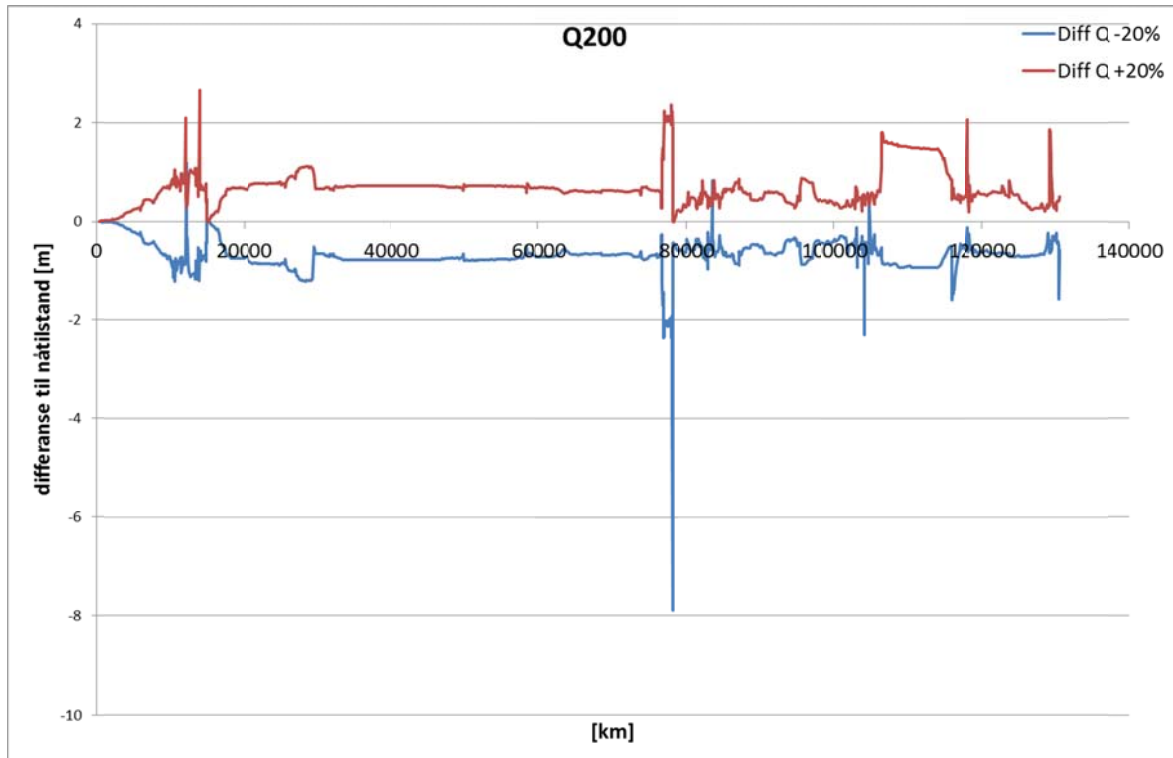


Figur 5.2: Lengdesnitt med variabiliteten i vannstandsdifferanse ved følsomhetsanalyse av ruheten

Ved analysen av følsomheten i vannføringene varieres vannføringene i tabell 3.4 med +/- 20 %. Virkningen av de forskjellige vannføringene vises i tabell 5.2. Det vises midlere avvik i vannstand for hele modellen ved forskjellige gjentaksintervaller. Som forventet øker avviket ved økende gjentaksintervall.

Variabiliteten i avvikene fra beregnet vannstand ved følsomhetsanalysen av vannføringene er vist i figur 5.3 med en 200-års vannføring som eksempel. Analogt med de større avvikene som er beskrevet ovenfor ved variering av ruhet, oppstår det også ved variering av vannføringene større avvik ved veksling mellom strømmende og strykende vann.

Nedstrøms kraftverket ved Harpefossen opptrer en stor differanse på nesten 8 m når vannføringen reduseres med 20 %. Som det fremgår av det hydrauliske lengdesnittet i figur 5.4, dannes det ved liten vannføring en lavere vannstand, noe som medfører større helning og strykende vannføring. På grunn av det bratte fallet fører dette til en ekstremt stor forskjell fra beregningen med primærvannføring.

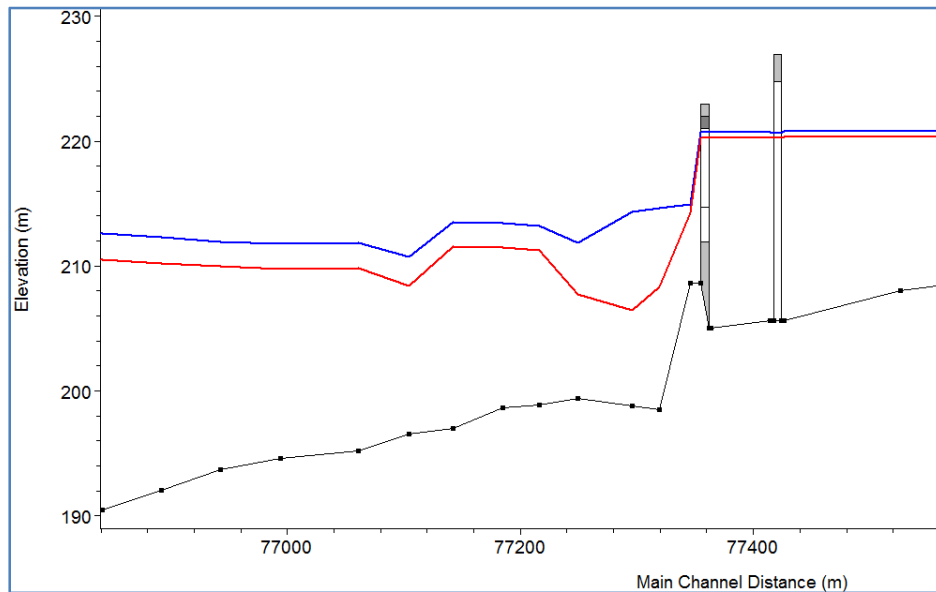


Figur 5.3: Lengdesnitt med variabiliteten i vannstandsdifferansen ved følsomhetsanalyse av vannføringer

I tillegg viser tegning H 303 til H 305 effekten av ulike vannføringer ved flom Q_{20} .

Tabell 5.2: Resultater av følsomhetsanalysen for vannføringer

	Qn	Qm	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
differanse $Q_{-20\%}-Q$ [m]	-0,16	-0,46	-0,50	-0,54	-0,56	-0,58	-0,63	-0,67	-0,75	-0,77
differanse $Q_{+20\%}-Q$ [m]	0,13	0,42	0,45	0,46	0,51	0,55	0,63	0,65	0,62	0,66



Figur 5.4: Hydraulisk lengdesnitt ved kraftverket Harpefossen for Q_{200} (blått) og $Q_{200-20\%}$ (rødt)

6. Usikkerhet

Vannstander og oversvømmelsesområder som er beregnet med den hydrauliske modellen, er beheftet med usikkerhet av ulike slag. I det følgende vil de forskjellige usikkerhetene bli beskrevet og diskutert.

- Vannføring

En feilkilde ved modelleringen er de benyttede vannføringene. Det undersøkte området har tre vannmerker, nemlig Rosten, Lalm og Losna. Disse gjør det mulig å benytte datarekker fra mange år tilbake. Forutsetning for en pålitelig registrering er en godt dokumentert vannføringskurve (vannstand-vannføring-relasjon). Det er ikke mulig å bedømme kvaliteten av denne relasjonen. På grunn av de lange tidsrekkene kan det imidlertid settes opp en statistikk som gjør det mulig å utlede også vannføringer med lav hendelsessannsynlighet, ikke minst fordi det i løpet av dette tidsrommet også har opptrådd ekstreme hendelser.

Vannføringen er pga. de tre vannmerkene godt dokumentert også for store vannføringer, men det viste seg å være vanskeligheter ved kalibreringen basert på vannstandsmålinger, nemlig å kombinere vannstandsmålingene med tilhørende vannføring når det er stor avstand mellom målingene og vannmerkene. De vannføringene som er benyttet i modellen for de to kalibrerende hendelsene kan bare betinget anvendes på det brukte hydrologiske lengdesnittet, siden de to flomhendelsene ved vannmerket oppviser ulikt gjentaksintervall og det er usikkert hvilket intervall, og dermed hvilken vannføring, som skal tilvises til målepunktene imellom. I den ovenfor nevnte studien, som de benyttede vannføringene er tatt fra, vurderes datagrunnlaget vannføringene beror på som meget godt, selv om det også her legges vekt på de store usikkerhetene. Ved følsomhetsanalysen ble vannføringene variert med +/- 20 %. Over hele elvestrekningen viste det seg å være et midlere avvik på ca. +/- 30 cm ved Q_m økende til ca. +/- 70 cm ved Q_{1000} .

- Geometri

Til å sette opp modellgeometrien benyttes DHM med høy oppløsning (0,5 m eller 1 m). Dette inneholder størsteparten av vassdragenes bunndata. Slik oppnås det en svært detaljert modellering med et stort antall tverrprofiler, siden disse ikke må måles opp enkeltvis. Imidlertid kan ikke den høye nøyaktigheten overføres i sin helhet til tverrprofilene i modellen, da det på den ene siden er begrensninger når det gjelder oppsetting av tverrprofilene i HEC-GeoRAS, og på den annen side er antallet profilpunkter i HEC-RAS begrenset til 500 punkter. Dette betyr at det er nødvendig å generalisere (omdanning til TIN, filter i HEC-RAS), noe som reduserer den opprinnelige nøyaktigheten av DHM. Dessuten foreligger det ingen bunndata for området km 106,4 – 73,4. Stipuleringen av bunnen er forbundet med usikkerhet. Større nøyaktighet kan bare oppnås ved optak av et stort antall tverrprofiler eller måling med ekkolodd som i de andre avsnittene.

Også i området Losnavatnet og ved Hovdefossen måtte det gjøres antakelser på grunn av manglende bunndata. Det ble undersøkt effekten på vannstanden oppstrøms ved ulike antakelser for Hovdefossen (se avsnitt 3.3). Modelleringen av Losnavatnet på basis av de dybde-data som var stilt til rådighet er heller grov, imidlertid er usikkerheten relativt liten på grunn av vanndybden.

Det gode datagrunnlaget muliggjør en svært detaljert beskrivelse av vassdragsgeometrien på tvers av vassdraget. Det ble forsøkt å utnytte det gode datagrunnlaget optimalt ved også å avbilde lengdeforløpet. Imidlertid viste det seg at den høye profiltettheten, som er uvanlig for en 1D-modell med denne lengden, til dels medførte instabilitet, som i sin tur krever tilpasning av modellen.

På grunn av vassdragets størrelse og de store vannføringene ved flom må det tas hensyn til at bunntverrsnittene ved store flomhendelser kan endre seg betydelig som følge av bunntverrsnittbevegelser, slik at bunndata fra ekkoloddmåling taper betydelig i nøyaktighet. Den brukte DHM baserer seg på målinger foretatt etter de to flomhendelsene i 2011 og 2013, og kan dermed anses som både aktuell og nøyaktig.

- Modellparametere

Ved bruk av beregningsmetoden „mixed flow“ oppstår det effekter av den kritiske strømningsdybden. Vannstanden blir derved senket lokalt. Effekten begrenser seg til strekninger med strømningsendring til strykende vann, hvor vannstanden senkes lokalt. Det har ingen innvirkning på områdene opp- og nedstrøms.

De brukte ruhetene for arealbruk baserer seg på normerte verdier. Effekten på vannstandsberegningen vurderes som liten sammenlignet med fordelingen av ruhetsverdier i selve vassdraget. Siden det benyttes AR5-arealbruksdata oppnås et meget høyt romlig detaljnivå når det gjelder fordelingen av ruhet i tverrprofilene og i modellen generelt.

Effekten av ruhetene i vassdraget ble undersøkt ved følsomhetsanalysen (se avsnitt 5). Vassdraget som helhet viste seg å ha et midlere avvik i vannstanden på -15 til +20 cm.

Effekten av den brukte metoden ved modellering av bruene viste seg å være liten (se avsnitt 3.4.1). Det opptrer bare forskjeller i området 2 – 3 cm.

- Randbetingelser

De benyttede randbetingelsene for modellens begynnelse har bare liten effekt på beregnet vannstand. Effekten avtar betydelig etter bare få profiler nedstrøms modellens begynnelse, og spiller ingen rolle for beregnede vannstander lenger nedstrøms. Vannstanden i Mjøsa ble brukt som nedre randbetingelse. På grunn av sin størrelse utgjør Mjøsa en svært sikker randbetingelse. Denne randbetingelsen har i nedre del av modellen, særlig i området ved Gausas utløp i Lågen, stor innflytelse på de modellerte vannstander.

Kraftverkdemninger: Innflytelsesområde inntil XY m oppstrøms, generelt robust kalibrering av kraftverkene ved optimalisering av vannstanden.

- Modellmetode

Generelt er det ved hydraulisk 1D-modellering alltid usikkerhet når det gjelder vurderingen av strømmingen når en demningsstruktur parallelt med vassdraget overstrømmes. For det første er det ikke entydig akkurat på hvilket sted den overstrømmes, siden strukturen bare avbildes punktuelt i den enkelte tverrprofil. For det andre er det ikke mulig å avbilde strømmingssituasjonen bak den overstrømte demningen entydig i modellen. Det kan ikke fastslås om det oppstår en strømningsstruktur parallelt med vassdraget eller om vannet som har strømmet over demningen på et sted, samler seg lokalt og ikke har noen innflytelse i tverrprofilene nedstrøms.

I enkelte områder har forlandet en sterkt strukturert topologi, noe som fort kan medføre 2d-strømningsforhold, som i sin tur bare kan avbildes indirekte i en 1D-modell. Dersom f.eks. flomvollen på høyre bredd av Selsmyrene overstrømmes, dannes det straks et meget stort vannføringstverrsnitt med dybde som nesten tilsvarer bunnen i Lågen.

Det foreslås derfor at det på enkelte steder i tillegg til 1D-modellen gjennomføres beregninger med en 2D-modell. Med denne vil en både kunne simulere overstrømmingen av parallelle vollstrukturer og strømningsoppførselen utenfor elveleiet.

Mange av de nevnte usikkerhetsfaktorene er relativt konstante over hele modellen (f.eks. vannføringer, modellparametere, ruhetsverdier). Derfor er det fremfor alt det DEM som ligger til grunn og resultatene av kalibreringen som vil være avgjørende faktorer når det gjelder å vurdere modellens nøyaktighet langs vassdraget. På grunnlag av disse to faktorene er modellens nøyaktighet blitt vurdert avsnitt for avsnitt (se tabell 6.1). Ved fastleggingen av en verdi for modellens usikkerhet eller dens nøyaktighet må det tas hensyn til at de forskjellige faktorene ikke nødvendigvis akkumuleres, men at resultatet er en midlere verdi for usikkerhet / nøyaktighet.

Tabell 6.1: Vurdering av modellens nøyaktighet avsnitt for avsnitt

Avsnitt	[km]	DEM	Kalibrering	Nøyaktighet
Rosten - Otta	130,5 - 116,6	DEM med bunndata	tallrike målepunkter, gode kalibreringsresultater	+/- 0,3 m
Otta	4,4 - 0,0	DEM med bunndata	enkelte målepunkter, tilfredsstillende kalibreringsresultater	+/- 0,4 m
Storrusti - Harpefoss	106,6 - 73,4	DEM uten bunndata	få målepunkter, dårlige kalibreringsresultater	+/- 0,75 m
Hundorp - Hovdevossen	73,4 - 29,5	DEM stort sett med bunndata, bearbeidet med DEM ved Losna	tallrike målepunkter, gode kalibreringsresultater	+/- 0,3 m
Hovdefossen - Hunderfossen	29,5 - 15,0	DEM med bunndata	tallrike målepunkter, dårlige kalibreringsresultater	+/- 1,0 m
Hunderfossen - Mjøsa	15,0 - 0,0	DEM med bunndata	ingen målepunkter	+/- 0,5 m
Gausa	4,2 - 0,0	DEM med bunndata	ingen målepunkter	+/- 0,5 m

Generelt oppviser de tre områdene der det skal vurderes tiltak en relativt høy modellnøyaktighet. Det skyldes for det første at det foreligger data for elvebunnen eller, som ved Losnavatnet, at disse ikke utgjør noen avgjørende nøyaktighetsfaktor. For det andre foreligger det i dette området tallrike vannstandsmålinger for de to flomhendelsene, og det ble oppnådd gode resultater ved kalibreringen. Et unntak danner analyseområde 1, hvor det ikke foreligger noen måleverdier. Imidlertid reduseres usikkerheten i dette området noe ved effekten av Mjøsa, siden vannstanden her har status som vannføringsrandbetingelse.

Det anbefales generelt et sikkerhetspåslag på 0,5 m. I områder med større usikkerhet bør det imidlertid legges til et påslag som minst tilsvarer antatt modellnøyaktighet.

7. Beregning av nåtilstand

Med den kalibrerte hydrauliske modellen gjennomføres det flomberegninger for alle de gjentaksintervaller som er oppført i tabell 3.4.

Det beregnes oversvømte arealer for alle beregnede gjentaksintervall.

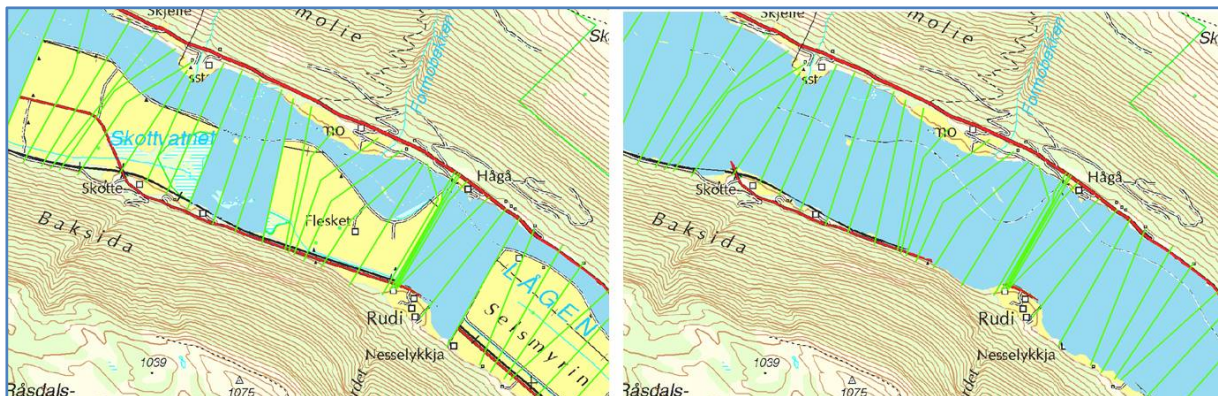
Med GIS og tillegget HEC-GeoRAS overføres de vannstander som er beregnet i profilene til hele arealet, med interpolert vannstand mellom profilene. Ved kombinasjon av interpolert vannstand og terrenghøyder beregnes oversvømte arealer. Til terrengoverflaten brukes de digitale høydemodellene som er stilt til rådighet. På grunn av den svært store datamengden er disse skalert til en rasterbredde på 4 m.

Ved utløpene av Otta og Gausa beregnes i tillegg til flom i Lågen også separateflomhendelser i de to elvene. Beregnet oversvømt areal utgjør i dette området summen av maksimalt oversvømt areal ved de to flomhendelsene.

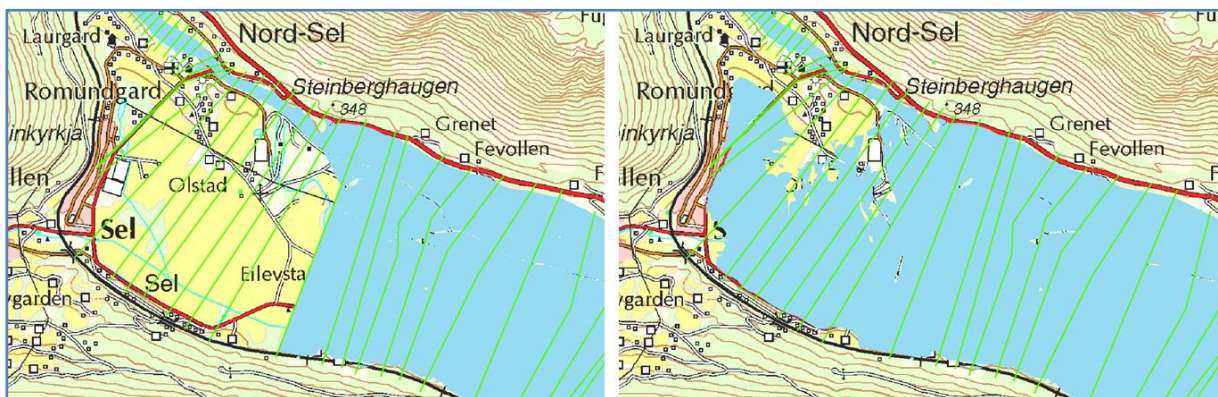
Ved beregningen av oversvømte arealer med HEC-GeoRAS vises, i området ved flomvoller som overstrømmes, bare området opp- og nedstrøms til neste profil som oversvømt areal (se eksempel i figur 7.1).

Man kan imidlertid ved engangs overstrømming av flomvollen regne med at vannet også bak vollen renner videre parallelt med elva og med helningen. Ved beregningen av oversvømte arealer går en derfor fram på følgende måte: Fra det profilet hvor flomvollen overstrømmes, opphører levee-definisjonen nedstrøms i den videre beregningen med HEC-GeoRAS. Dermed er det mulig å ta med i beregningene også området bak flomvollen som oversvømt areal i analysen (se eksempel i figur 7.1). Det er ikke gjort noen ny beregning uten voller. Den angitte vannstanden gjelder dermed beregningen med voll, med utgangspunkt i vannstanden i hovedtverrsnittet i tverrprofil.

I beregningen på Selsmyrene opphører vollene å fungere nedstrøms første overstrømt profil, og i tillegg beregnes arealet oppstrøms profilet med overstrømt levee. Da Selsmyrene er et svært flatt område, må en regne med at vannet som overstrømmer flomvollen, kan bre seg også mot nord. Det beregnes hvor stort areal som ligger under den vannstanden som ble beregnet for det overstrømte profilet (se eksempel i figur 7.2).



Figur 7.1: Sammenligning mellom analysen av oversvømt areal for Q_{50} ved Skottvatnet med definerte levees (til venstre) og etter at levee-definisjonene er fjernet (til høyre)



Figur 7.2: Sammenligning Q_{50} for Nord-Sel med definisjon uten tilleggsareal (til venstre) og med tilleggsareal ved vannstand = 298,15 moh. (til høyre)

I bilag vises beregnede oversvømte arealer for gjentakintervall Q_n (H400), Q_{20} (H401), Q_{20} (H402), Q_{200} (H403) og sammenfattet for direkte sammenligning for gjentakintervall Q_m , Q_{20} , Q_{200} og Q_{1000} (H404) i tegninger.

8. Tiltak

I tillegg til å beregne flomsituasjonen i nåtilstand er det utført beregninger for mange tiltak og tiltakskombinasjoner innenfor de modellerte elveavsnittene. De analyserte tiltakene inndeles i tre avsnitt:

- Analyseområde 1: Mjøsa - Gausa,
- Analyseområde 2: Tretten - Hundorp
- Analyseområde 3: Otta - Sel.

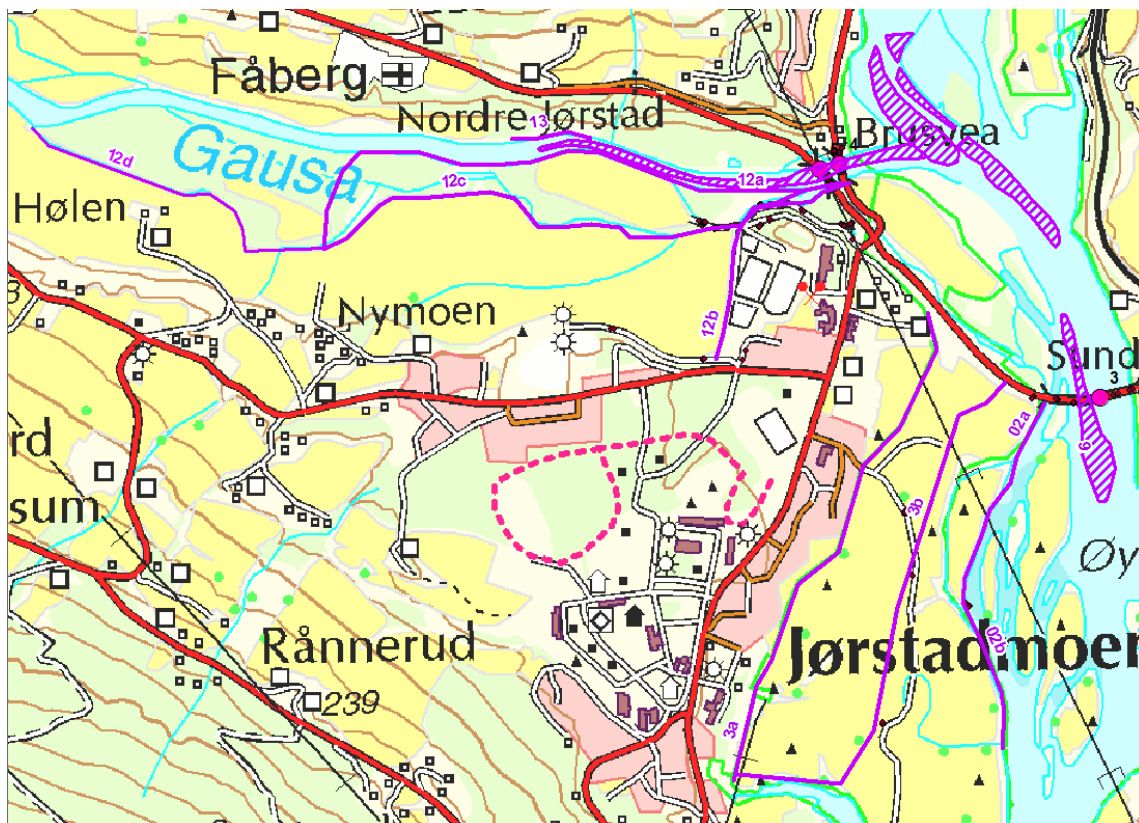
I det følgende vil de enkelte tiltakene i de tre analyseområdene bli beskrevet, og det vil bli gjort rede for hvordan de er implementert i modellen.

Beskrivelsen av resultatet av beregningene er å finne i avsnitt 9 som virkningsanalyse i sammenligning med nåtilstand.

En oversikt over de enkelte tiltakene med en kort forklaring av resultatene er å finne i vedlegg 5.

8.1 Analyseområde 1: Mjøsa - Gausa

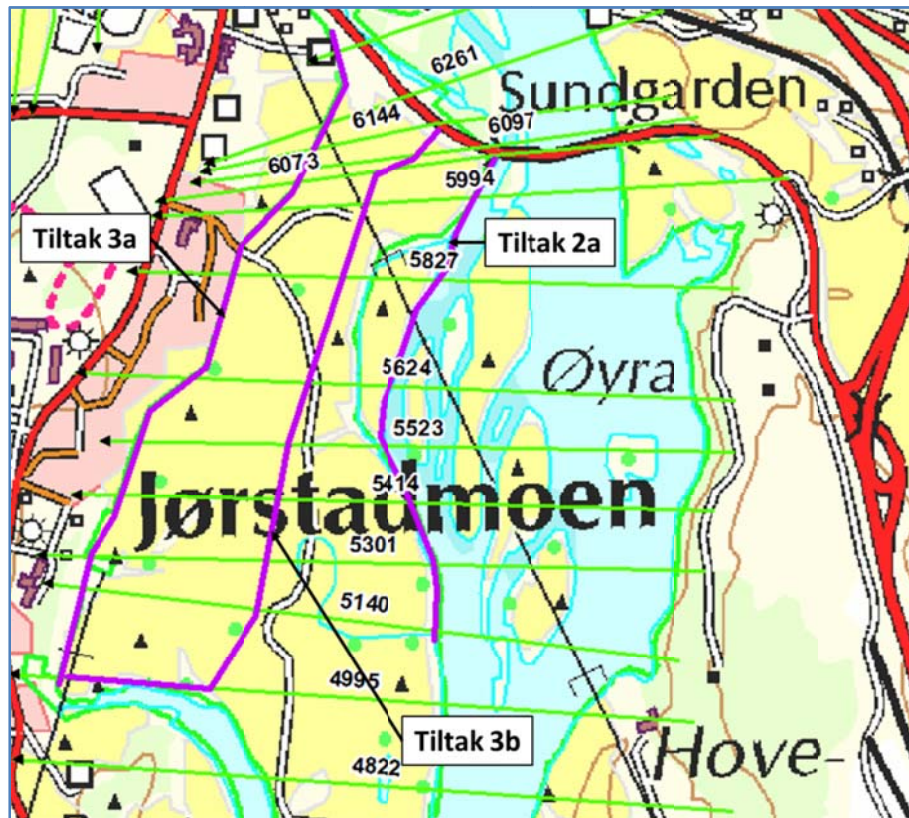
Analyseområde 1 inneholder ulike tiltak knyttet til bygging og flytting av flomvoller ved Gausa (tiltak 12a-d, tiltak 13) og ved Lågen nedstrøms utløpet av Gausa (tiltak 2a og b, tiltak 3a og b) samt masseuttak ved utløpet av Gausa (tiltak 9).



Figur 8.1: Oversikt analyseområde 1

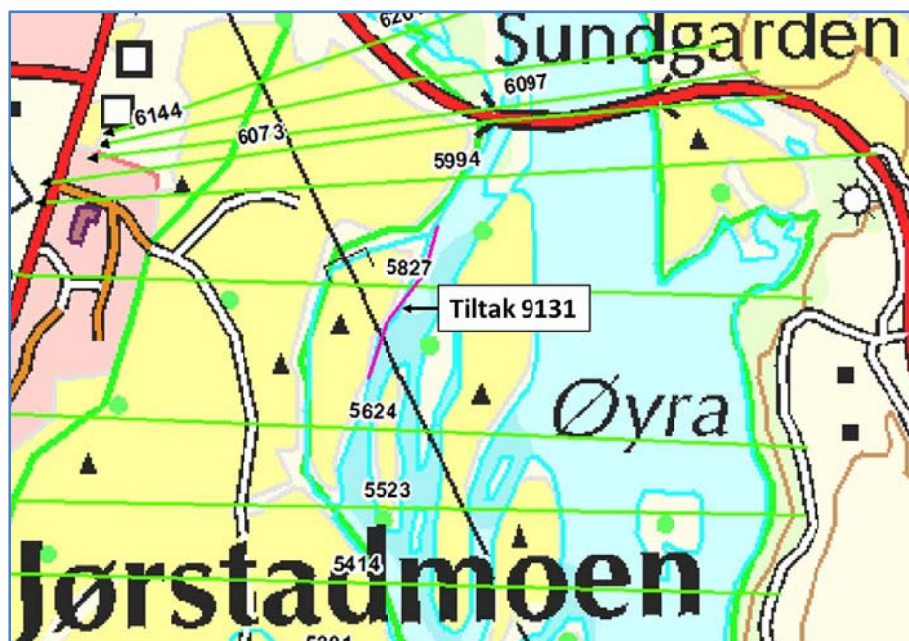
8.1.1 Tiltak 2a, 2b, 3a, 3b

Tiltak 2a, 2b, 3a og 3b gjelder området på venstre bredd av Gudbrandsdalslågen sør for utløpet av Gausa (se figur 8.2).



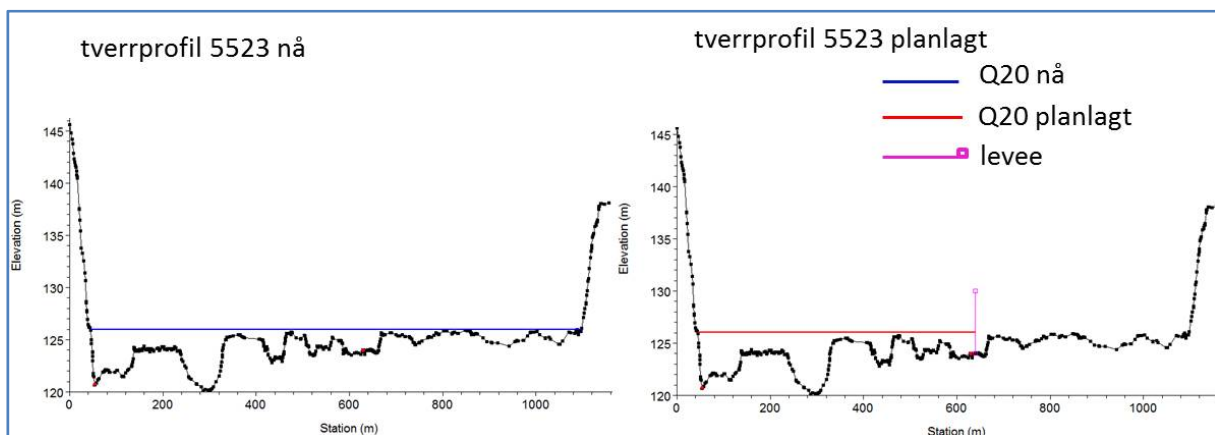
Figur 8.2: Oversikt tiltak 2a, 3a og 3b

Tiltak 2a går ut på å heve og forlenge eksisterende flomsikring (tiltak nr. 9131, se figur 8.3).



Figur 8.3: Eksisterende flomsikring (tiltak 9131)

I den hydrauliske modellen defineres det en voll i profil 6073 – 5140 med en høyde. Området bak vollen defineres som ikke gjennomstrømbart, og det tilhørende tverrsnittet blir tilsvarende innsnevret (se figur 8.4). Stiger vannstanden over høyden som er definert for vollen, så overstrømmes denne og i modellen benyttes igjen det samlede tverrsnittet for beregningene. I beregningene er det imidlertid gjort bruk av en høydeverdi som innebærer at det ikke blir overstrømming selv ved høyeste beregnede vannføring (Q_{1000}). Det er riktignok usannsynlig at det vil bli iverksatt flomsikringstiltak for så store hendelser, men når vollen defineres med denne høyden, blir det mulig å analysere den hydrauliske virkningen over hele spekteret av mulige vannføringer, og dermed også ved ekstremt høy vannføring. Ved definisjonen av en levee (voll) tas det ikke hensyn til flomvollens tverrsnitt, siden den bare benytter et abstrakt punkt i tverrprofilen. I virkeligheten ville, i det minste ved svært høye flomvoller, også bredden spille en rolle, siden den bidrar til å innsnevre strømnings-tverrsnittet. Med de analyserte elvenes store bredde spiller imidlertid bredden på flomvollen bare en underordnet rolle, og dermed vil effekten av den abstraksjonen som en levee-definisjon utgjør, være ubetydelig i forhold til betydningen av flomvollen i tverrprofilen.



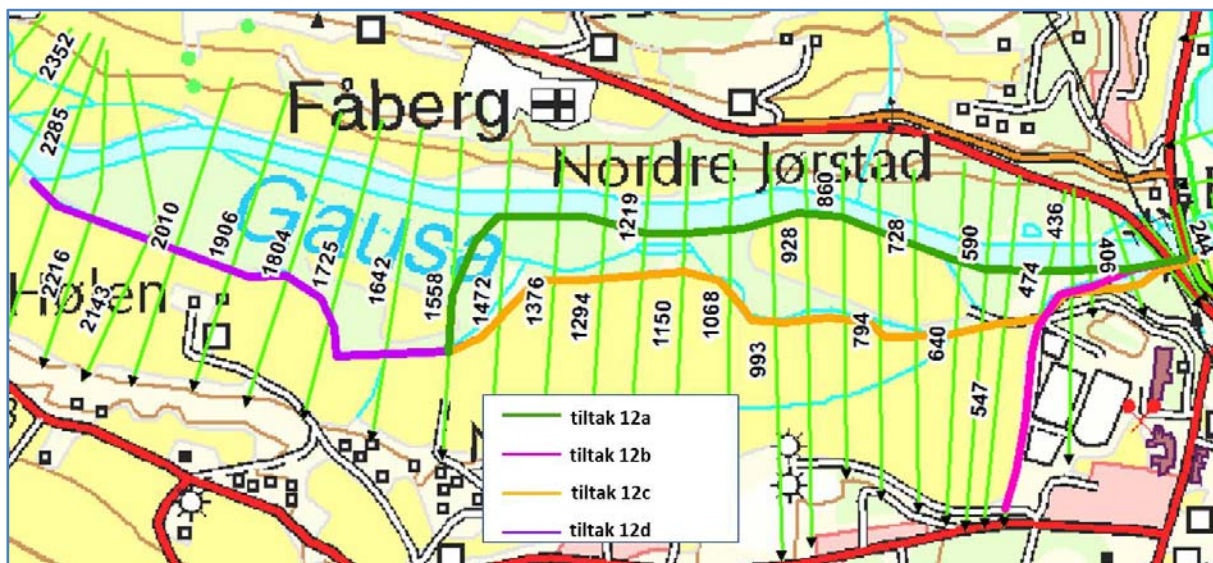
Figur 8.4: Eksempel på definisjonen av en levee for tiltak 2a i profil 5523 med vannstand for Q_{20} i nåtilstand og planlagt tilstand

I tiltak 2b skal eksisterende flomsikringstiltak 9131 fjernes. Da dette kun gjelder profil 5827 og heller ikke er angitt der, ble det ikke tatt hensyn til dette tiltaket.

I tiltak 3a og 3b skal flomvollen flyttes lenger mot vest. Ved modelleringen ble det imidlertid benyttet samme måte som ved tiltak 2a, med definisjon av levees. Det gjelder ved tiltak 3a for profil 6376 – 4995, og ved tiltak 3b for profil 6144 – 4995.

8.1.2 Tiltak 12a-d

I tiltak 12a-12d (se figur 8.5) skal eksisterende flomsikring (tiltak nr. 8845 og 8844, se figur 8.6) heves og forlenges. Det gjøres i modellen ved at det defineres voller i alle tverrprofiler langs den planlagte flomvollen (for definisjonen av levees jf. tiltak 2a i avsnitt 8.1.1). Høyden på vollene settes slik at flomvollen selv ved største beregnede hendelse ikke overstrømmes. Dermed kan det beregnes nødvendig høyde på flomsikringen ved ulike gjentaksintervall. Profilene hvor det defineres voller, er for alle de fire tiltakene definert i tabell 8.1.



Figur 8.5: Oversikt tiltak 12a - d



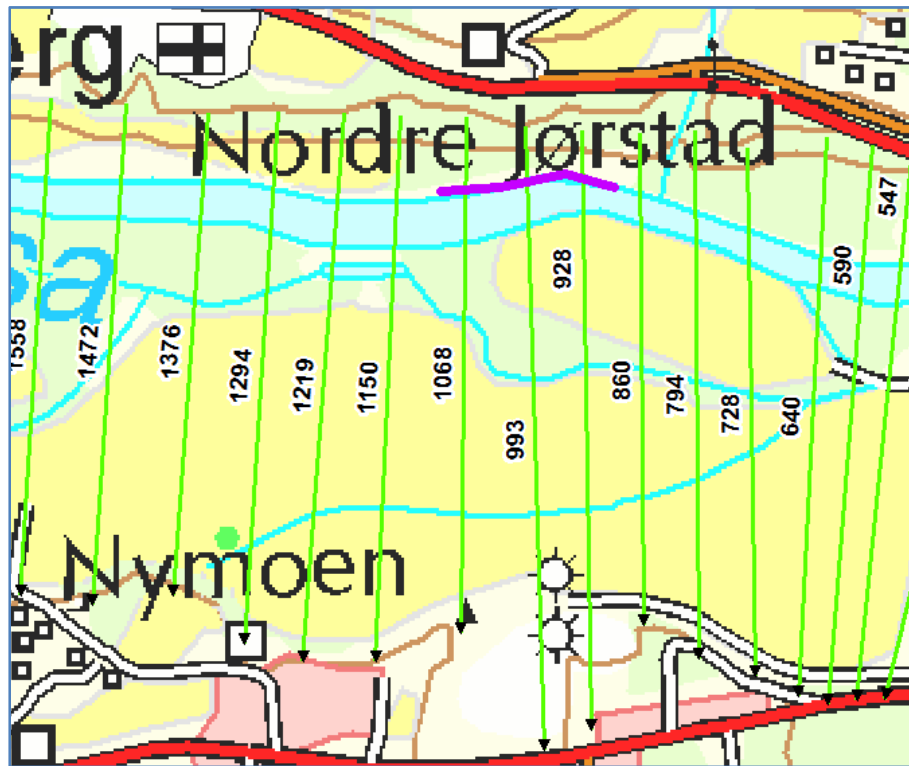
Figur 8.6: Beliggenhet av eksisterende flomsikringstiltak 8845 og 8844

Tabell 8.1: Definisjon av levees i profilene for tiltak 12a-d

Tiltak	fra profil	til profil
12a	1558	98
12b	474	98
12c	1558	98
12d	2285	98

8.1.3 Tiltak 13

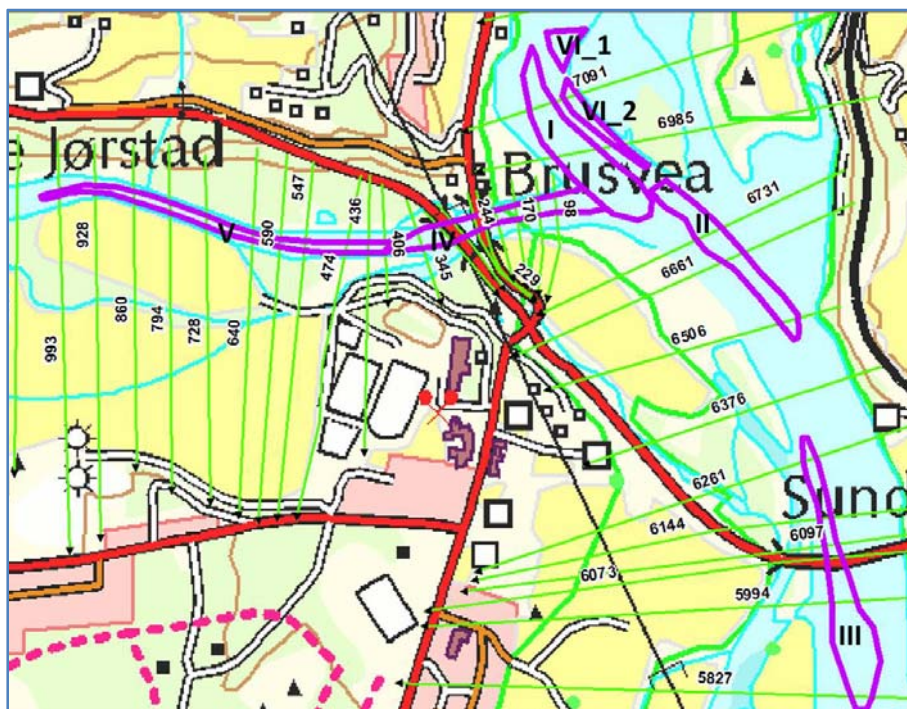
Tiltak 13 innebærer å fjerne eksisterende flomsikring på venstre bredd av Gausa. Det medfører tilpasning av de to profilene ved km 1,076 og 0,988.



Figur 8.7: Tiltak 13: Fjerning av flomsikring på venstre bredd av Gausa

8.1.4 Tiltak 9, 9a, 9b

Til dette tiltaket beregnes virkningen av masseuttak ved utløpet av Gausa. Det gjøres bruk av DHM for å finne grunne eller oppørede områder på elvebunnen. Disse områdene blir så senket til en bestemt høyde (se figur 8.8). Hvilke arealer og volum som må graves ut, fremgår av tabell 8.2.



Figur 8.8: Oversikt tiltak 9

Tabell 8.2: Masseuttak tiltak 9

	Høyde [moh.]	Areal [m ²]	Volum [m ³]
I	122,5	18 800	12 500
II	121,5	15 000	8 200
III	122,0	20 000	6 800
IV	123,0	12 000	12 800
V	125,8-123,0	11 100	12 200
VI_1	122,5	1 100	1 200
VI_2	122,5	3 500	1 600
sum		81 500	55 300

I tillegg til tiltak 9, som omfatter alle beregnede uttaksområder, er det analysert to andre kombinasjoner av uttaksområder, tiltak 9a og 9b:

Til forskjell fra tiltak 9 omfatter masseuttaket i tiltak 9a bare område IV og V, og er dermed begrenset til Gausa (se figur 8.8 og tabell 8.3).

Tabell 8.3: Masseuttak 9a

	Høyde [moh.]	Areal [m ²]	Volum [m ³]
IV	123,0	12 000	12 800
V	125,8-123,0	11 100	12 200
sum		23 100	25 000

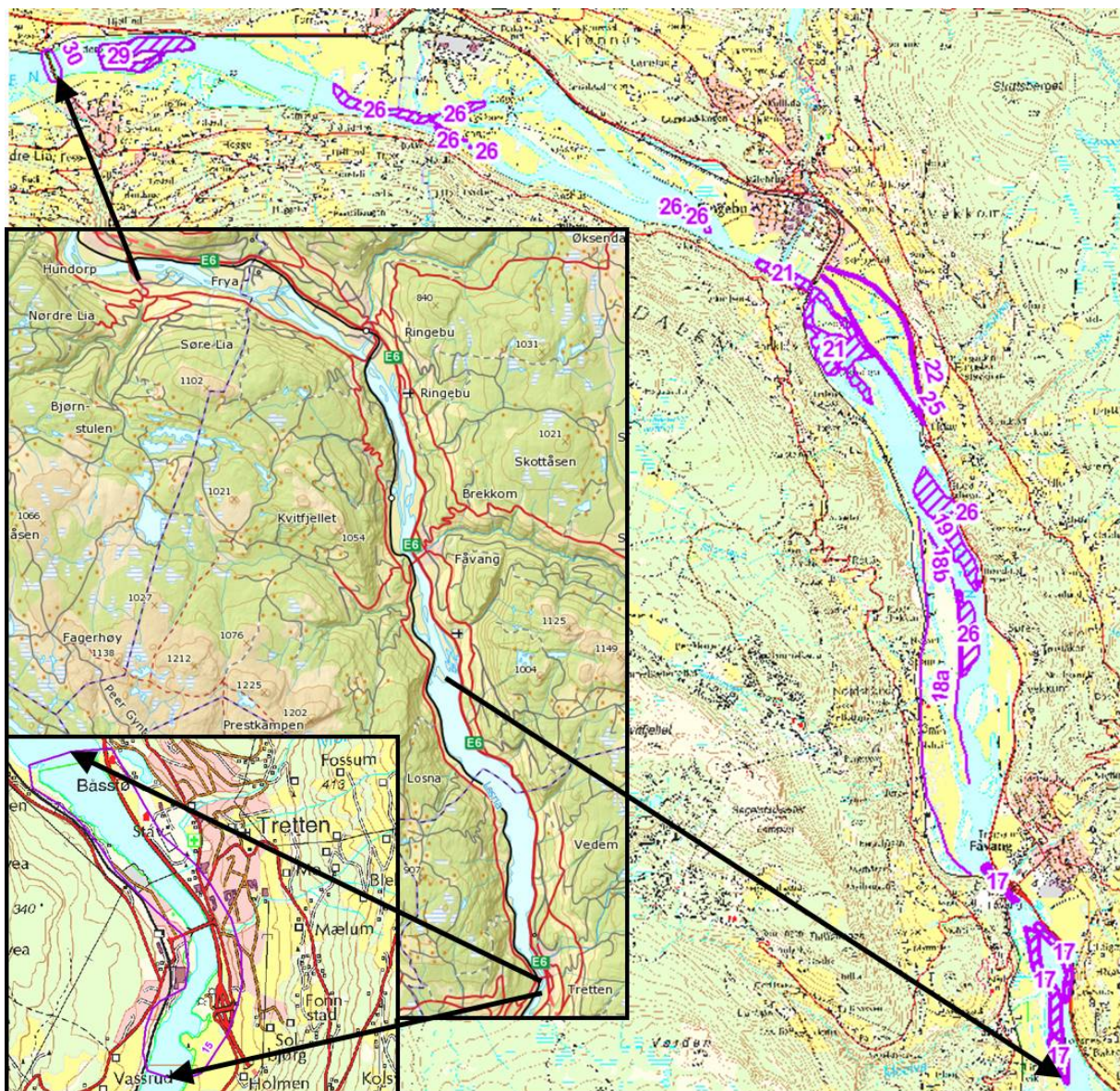
Til forskjell fra tiltak 9 omfatter masseuttaket i tiltak 9b bare område I, IV, V og begrenser seg dermed til Gausa og dens utløp i Lågen (se figur 8.8 og tabell 8.4).

Tabell 8.4: Masseuttak 9b

	Høyde [moh.]	Areal [m ²]	Volum [m ³]
I	122,5	18 800	12 500
IV	123,0	12 000	12 800
V	125,8-123,0	11 100	12 200
sum		41 900	37 500

8.2 Analyseområde 2: Tretten - Hundorp

Analyseområde 2 omfatter avsnittet mellom Tretten og Hundorp. Det undersøkes bl.a. ulike tiltak for senking av vannstanden i Losnavatnet (tiltak 15), masseuttak (tiltak 17, 21,26 og 29) samt virkningen av forskjellige traceer for E6 (tiltak 22 og tiltak 25).



Figur 8.9: Oversikt analyseområde 2

8.2.1 Tiltak 15

I tiltak 15 vurderes ulike varianter for senking av vannstanden i Losnavatnet.

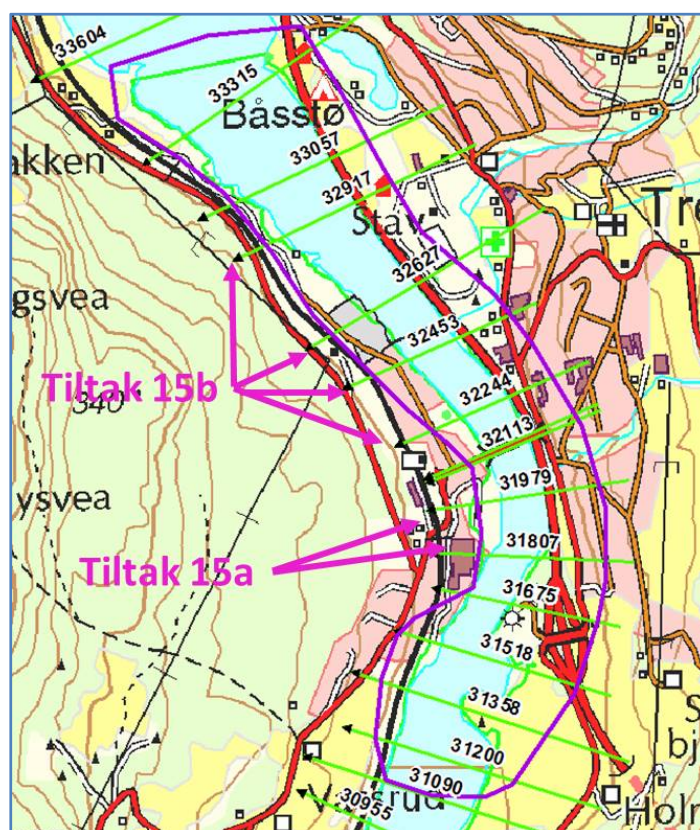
I tiltak 15a senkes grunna nedstrøms Tretten-brua (se figur 8.10). For dette modifiseres bunnen i tverrprofilene ved km 31,979 og 31,807 (se figur 8.11 og figur 8.12).

I tiltak 15b (variant 00) blir området oppstrøms Tretten-brua utvidet og gravd ut. Tverrprofilene km 32,244 ti 32,917 modifiseres i tråd med uttaket (se figur 8.13 til figur 8.16). Variant 01 av tiltak 15b innebærer, sammenlignet med variant 00 enda større utvidelse av elva, med et utgravd område som strekker seg mot nord til profilet ved km 33,057.

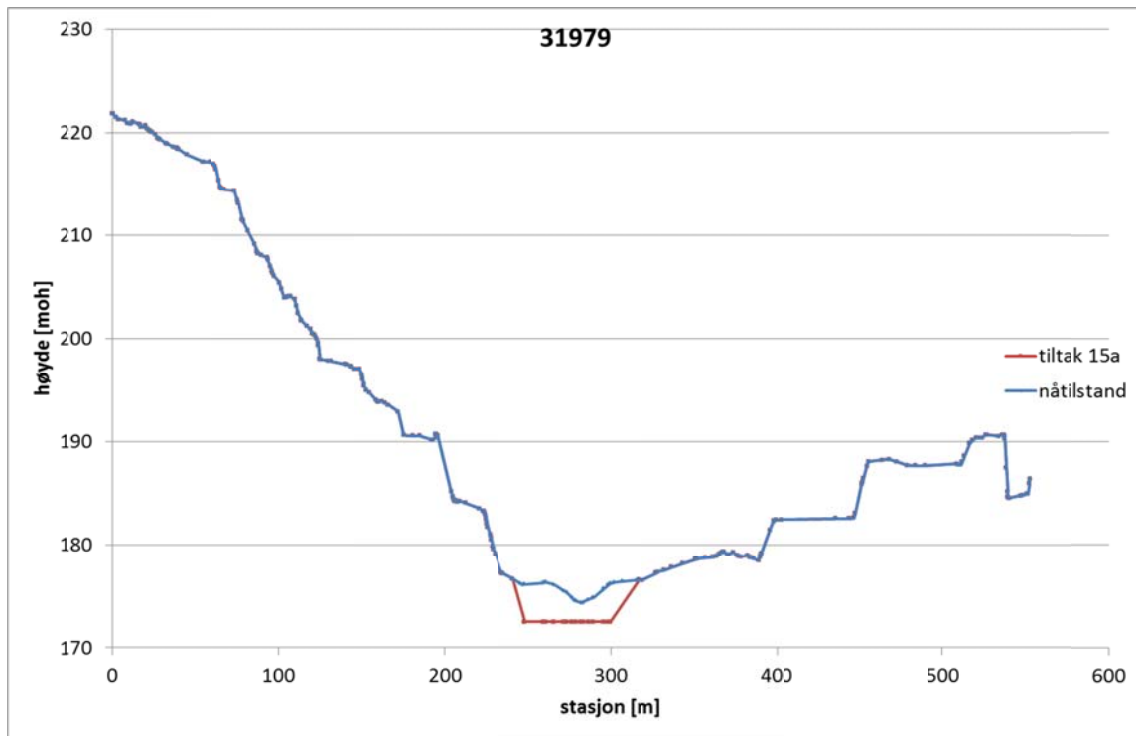
I tabell 8.5 er det oppført uttaksdybde og volum for tiltak 15a og 15b.

Tabell 8.5: Senkingsdybde og uttaksvolum for tiltak 15a og 15b (versjon 00 og 01)

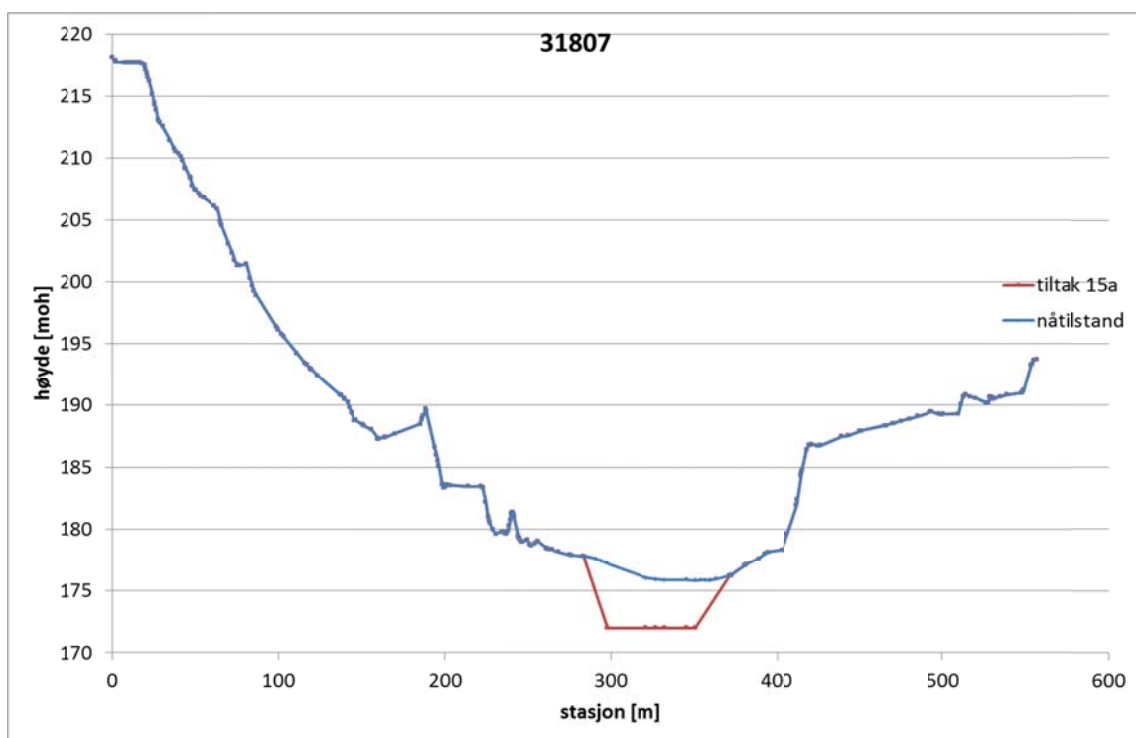
Tiltak	Høyde [moh.]	Volum [m ³]
15a	172,5 - 172,0	90 000
15b versjon 00	176,0 - 175,0	170 000
15b versjon 01	175,0	624 000



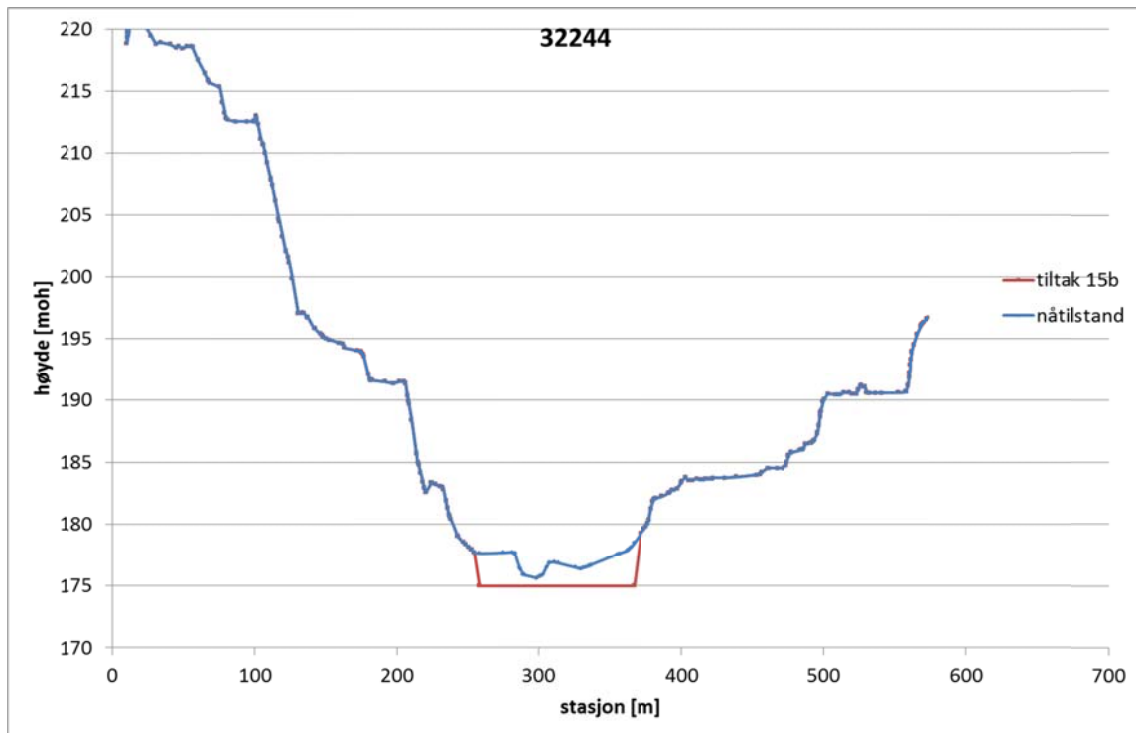
Figur 8.10: Oversikt tiltak 15a og 15b



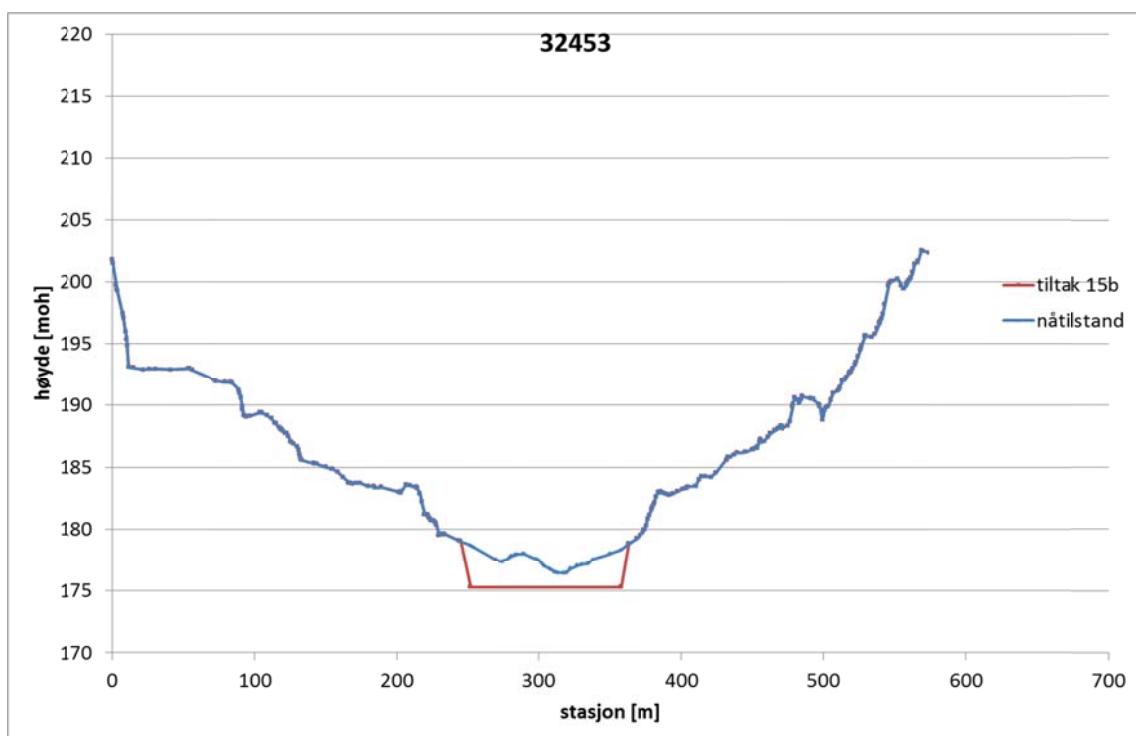
Figur 8.11: Utgravn profil ved km 31,979 for tiltak 15a



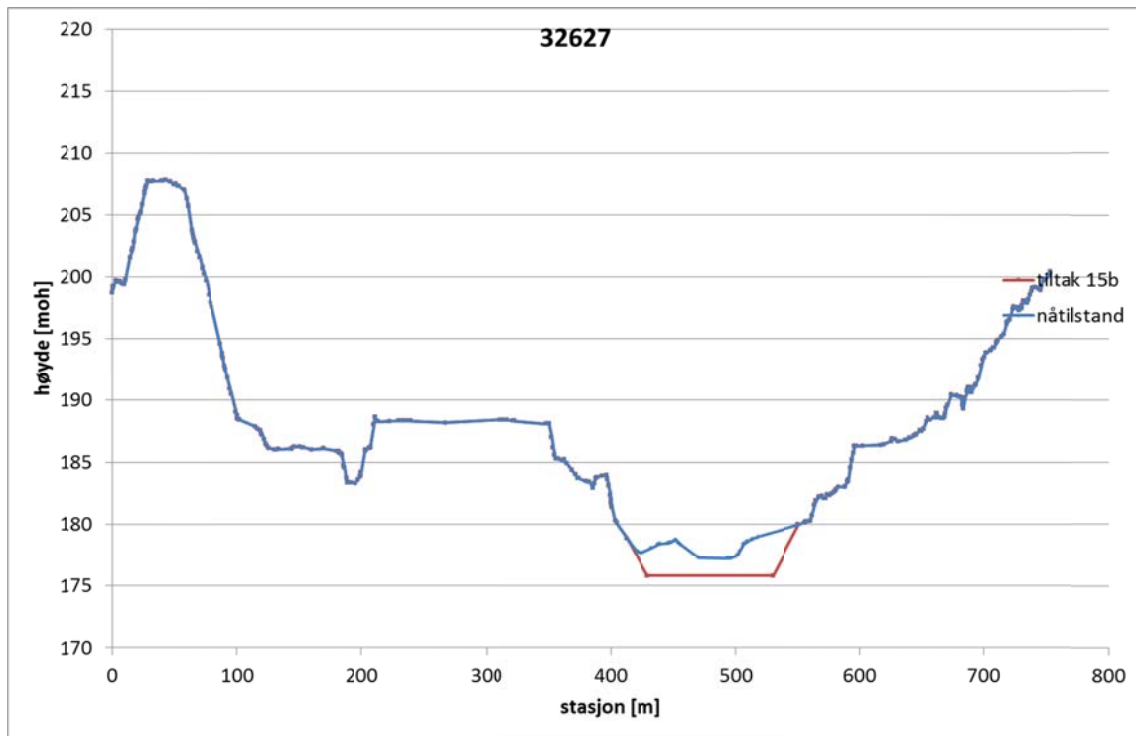
Figur 8.12: Utgravn profil ved km 31,807 for tiltak 15a



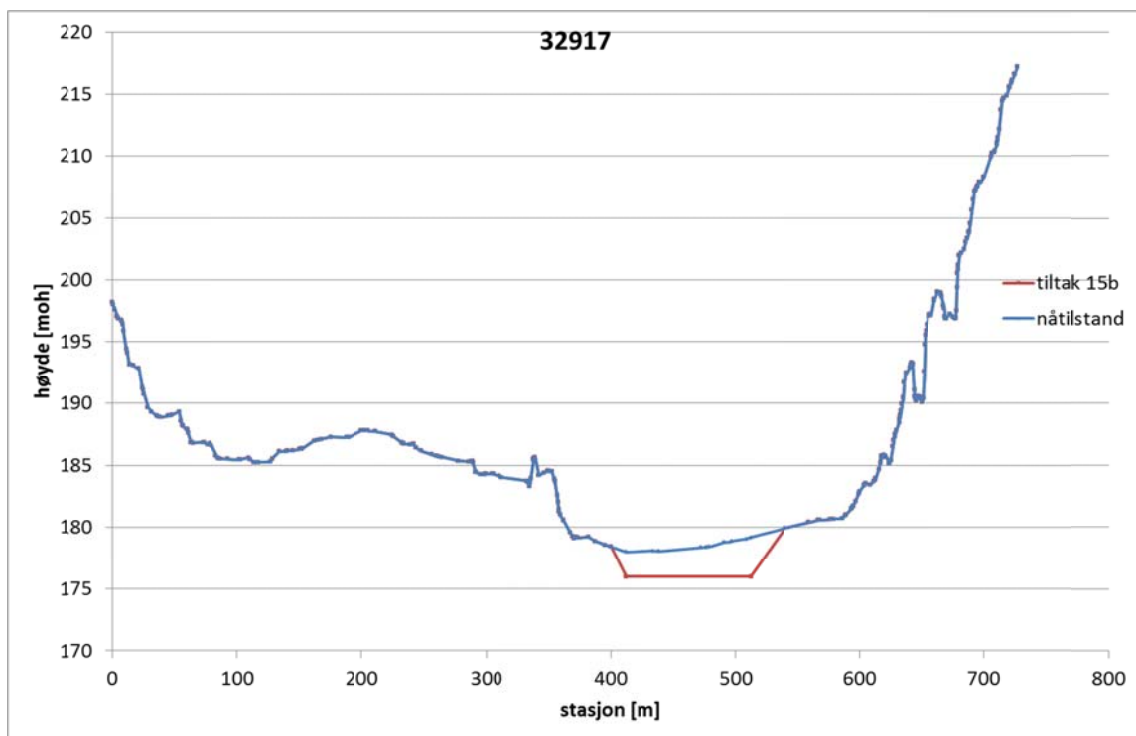
Figur 8.13: Utgravd profil ved km 32,244 for tiltak 15b



Figur 8.14: Utgravd profil ved km 32,453 for tiltak 15b



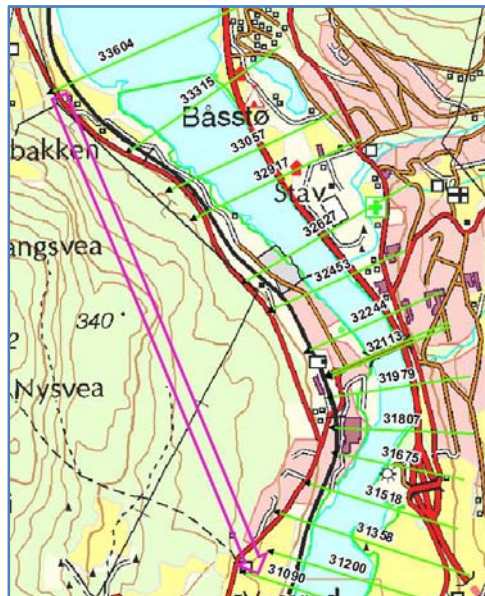
Figur 8.15: Utgravd profil ved km 32,627 for tiltak 15b



Figur 8.16: Utgravd profil ved km 32,917 for tiltak 15b

8.2.2 Tiltak 15c

Tiltak 15c undersøker virkningen av en flomtunnel. I modellen defineres det innløp i tunnelen i profilet ved km 33,604 ved at vannføringen reduseres på dette stedet. Det defineres utløp til Lågen igjen i profilet ved km 31,090 ved at vannføringen økes med samme verdi. Effekten analyseres for tre ulike vannmengder som avledes gjennom flomtunnel: 500, 1000 og 1500 m³/s.



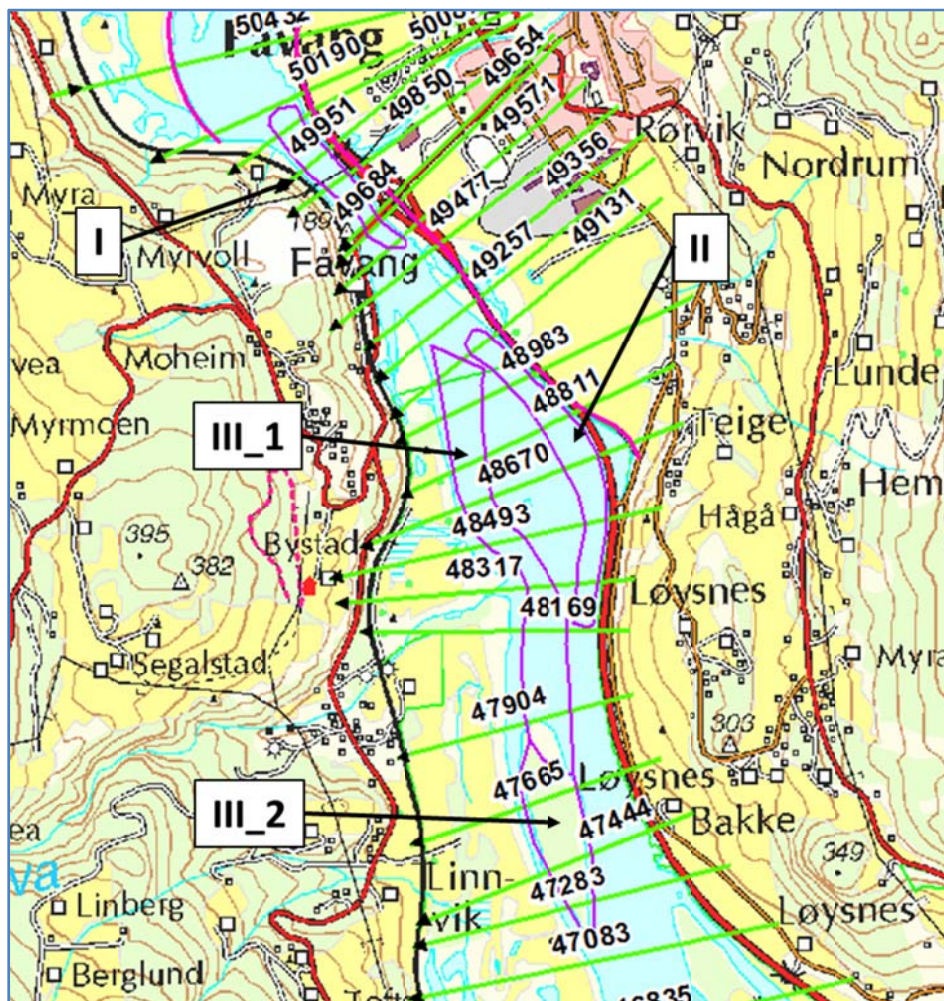
Figur 8.17: Oversikt tiltak 15c

Ved en eventuell iverksetting av dette tiltaket må det i tillegg til tunnelen også bygges en reguleringskonstruksjon (f.eks. oppblåsbar demning (gummiluke) eller klaffluke), for å regulere effekten på flomavløpet.

8.2.3 Tiltak 17

Tiltak 17 undersøker virkningene av tre ulike masseuttak i Fåvang og nedstrøms. Ved hjelp av DHM blir det søkt etter grunne og oppørrede områder i elveløpet. Deretter tas det ut masse til et bestemt nivå er nådd. For beregningene i modellen eksporteres høydene i tverrprofilene fra det nye DHM i HEC-GeoRAS til HEC-RAS.

Uttaksstedene fremgår av figur 8.18. Utgravningsdybder og -arealer er sammen med tilhørende volum angitt i tabell 8.6. Til sammen gjennomføres det tre forskjellige kombinasjoner av masseuttak. Tiltak 17a begrenser seg til masseuttak på det smale stedet ved brua (I). Ved tiltak 17b graves det også ut på venstre bredd (I+II). Ved tiltak 17c kombineres alle uttaksområdene (I+II+II_1+III_2).



Figur 8.18: Oversikt masseuttak tiltak 17

Tabell 8.6: Masseuttak tiltak 17

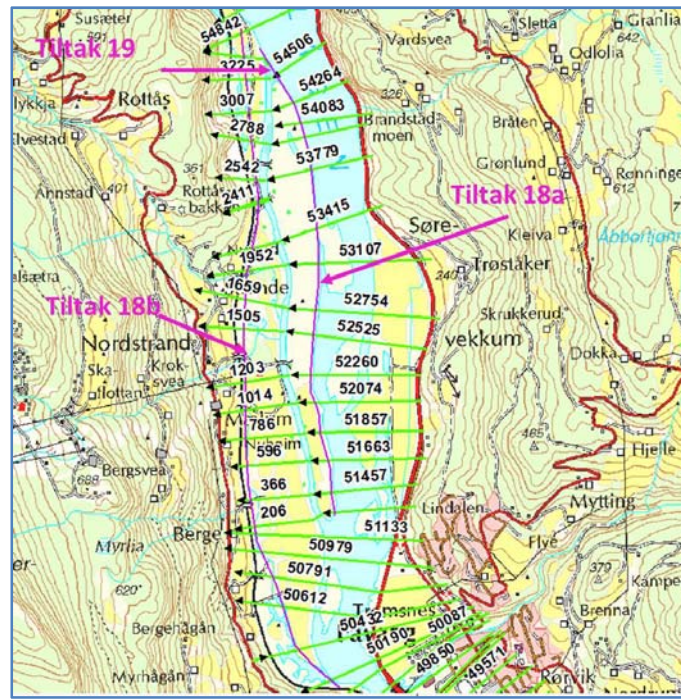
	Høyde [moh.]	Areal [m ²]	Volum [m ³]	Profil [km]
I	176,0	48 000	84 000	
II	176,0	76 000	105 000	
III_1	178,0 - 177,0	155 000	335 000	
III_2	177,0	110 000	405 000	
17a (I)		48 000	84 000	50,087 – 49,571
17b (I+II)		124 000	189 000	50,087 – 48,316
17c (I+II+III_1+III_2)		389 000	929 000	50,087 – 47,282

8.2.4 Tiltak 18

Tiltak 18 (se figur 8.19) innebærer at eksisterende flomvoll ved Kvittfjell med tiltaksnr. 8879/8839 (se figur 3.17 og tabell 3.3) både heves (tiltak 18a), og flyttes (tiltak 18b).

Ved tiltak 18a heves flomvollen, som allerede er definert som levee, i profilene ved km 54,506 til km 51,311 til en høyde på 190,0 moh. Dermed vil den ikke overstrømmes, selv ved største beregnede flomvannføring.

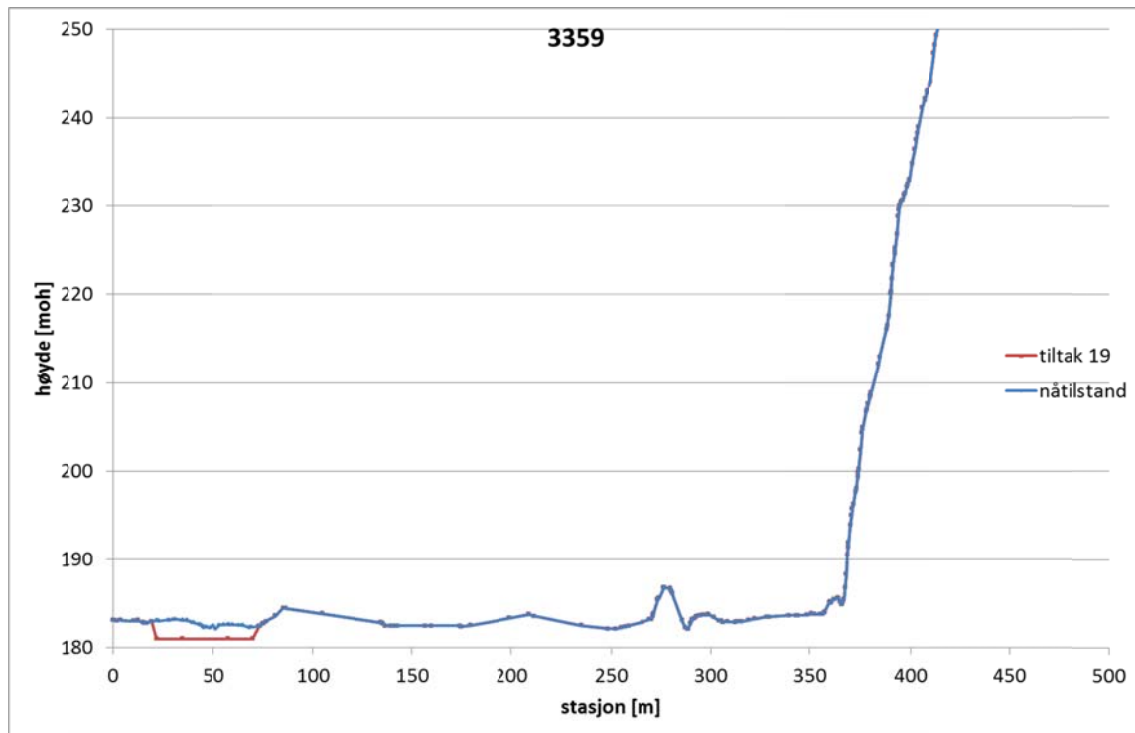
Ved tiltak 18b oppheves levee-definisjonen i modellen; en ny definisjon i vestre kant er ikke nødvendig, da terrenget stiger bratt. I tillegg fjernes det definerte ineffektive strømningsarealet (se figur 3.24) i alpinbakkens målområde, som opprinnelig skulle definere den eksisterende flomvollen. Det skjer for å muliggjøre en uhindret gjennomstrømning fra nord mot sør.



Figur 8.19: Oversikt tiltak 18a, 18b og 19

8.2.5 Tiltak 19

Tiltak 19 består i å åpne sideløpet som renner parallelt med Lågen på vestsiden. I modellen senkes innløpet av sideløpet ved km 3,359 over en lengde på ca. 50 m fra ca. 182,5 til 181,0 moh. (se figur 8.20). Dermed vil vannet selv ved lav vannstand kunne renne inn i sideløpet. På dette stedet er det allerede ved Q_m en vannstand på 183,86 moh. i modellen, og dermed vil dette sideløpet også i nåtilstand ta en del av vannføringen i Lågen.

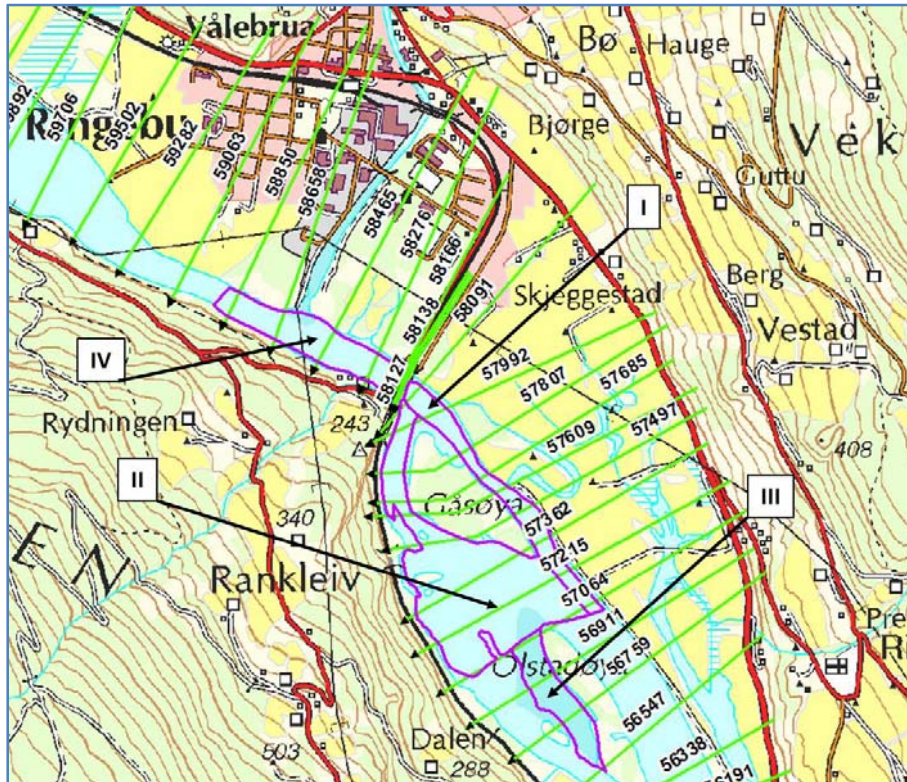


Figur 8.20: Senking av profilet ved km 3,359 for tiltak 19

8.2.6 Tiltak 21

Tiltak 21 omfatter tre forskjellige masseuttak nedstrøms de tre bruene på Ringebu, dette på grunnlag av analyse av DHM og beregning av vannstanden i nåtilstand. Det er en tydelig vannstandsøkning oppstrøms bruene, og derfor utvides uttaksområdet til det smale stedet oppstrøms bruene (se figur 8.21). Til beregningene i modellen eksporteres høydene i tverrprofilene fra det nye DHM i HEC-GeoRAS til HEC-RAS.

Til sammen er det fire uttakssteder som undersøkes, og disse kombineres med hverandre på ulike måter (tiltak 21a, 21b, 21c og 21d). Uttaksdybde, areal og volum er vist i tabell 8.7.



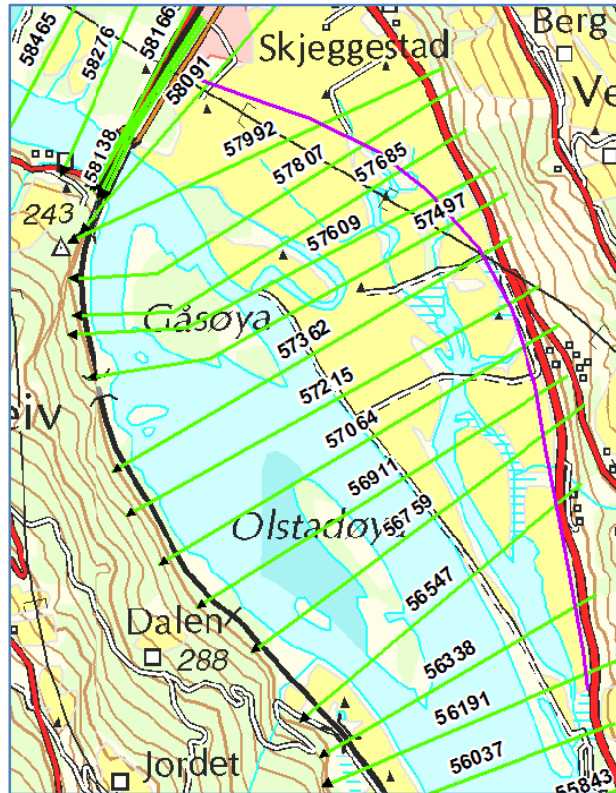
Figur 8.21: Oversikt masseuttak tiltak 21

Tabell 8.7: Masseuttak for tiltak 21

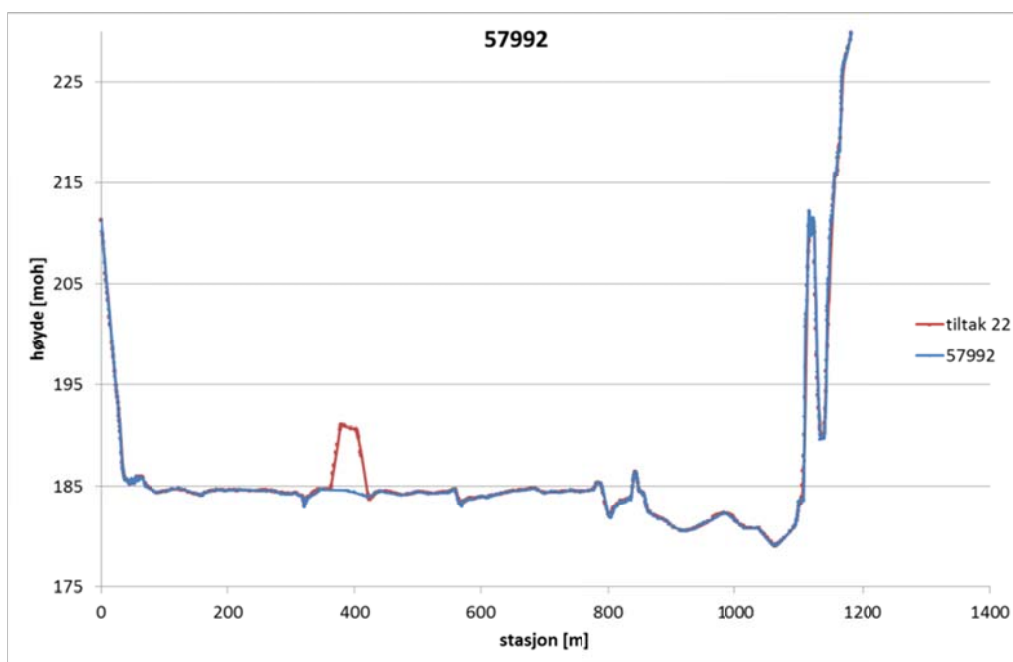
	Høyde [moh.]	Areal [m ²]	Volum [m ³]	Profil [km]
I	179,0	49 000	100 000	
II	179,0	254 000	380 000	
III	180,0	55 000	85 000	
IV	178,0	83 000	170 000	
21a (I)		49 000	100 000	58,091 – 57,064
21b (II+III)		309 000	465 000	58,091 – 56,547
21c (I+II+III)		358 000	565 000	58,091 – 56,547
21d (IV)		83 000	170 000	58,850 – 58,276

8.2.7 Tiltak 22

Tiltak 22 undersøker virkningen av tracealternativ 1.3 for E6 på flomsituasjonen i Lågen sør for Ringebu. Forløpet av dette tracealternativet mot de to bruene sør i tettstedet fremgår av figur 8.22. For å implementere planlagt tilstand i den hydrauliske modellen blir DHM definert på den måten at vegtraceen tillegges de høyder som foreligger. Det dreier seg om profilet fra km 58,091 til 56,191. Disse settes opp på nytt i HEC-GeoRAS og overføres til HEC-RAS (eksempel profilet ved km 57,992 i figur 8.23). I tillegg fjernes modellens definisjon av eksisterende flomvoll som levee. I stedet defineres traceens overkant som ny levee. Eventuelle kulverter eller bruer nedstrøms den planlagte traceen blir ikke implementert i modellen. Det medfører at området øst for flomvollen ikke oversvømmes før vannstanden kommer høyere enn traceens overkant.



Figur 8.22: Forløpet av tracevariant 1.3 for E6 ved tiltak 22

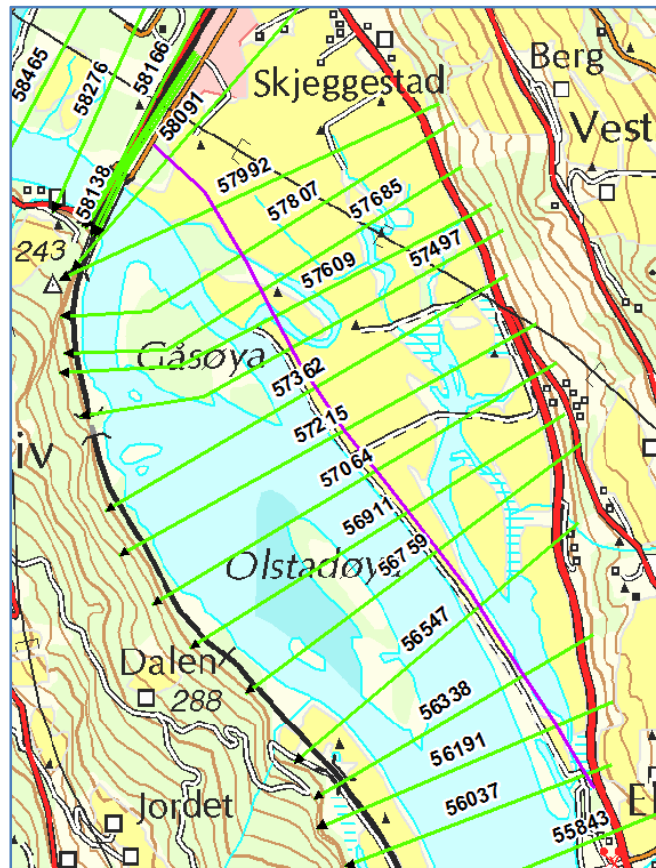


Figur 8.23: Tverrprofil ved km 57,992 i nåtilstand og med tracealternativ 1.3

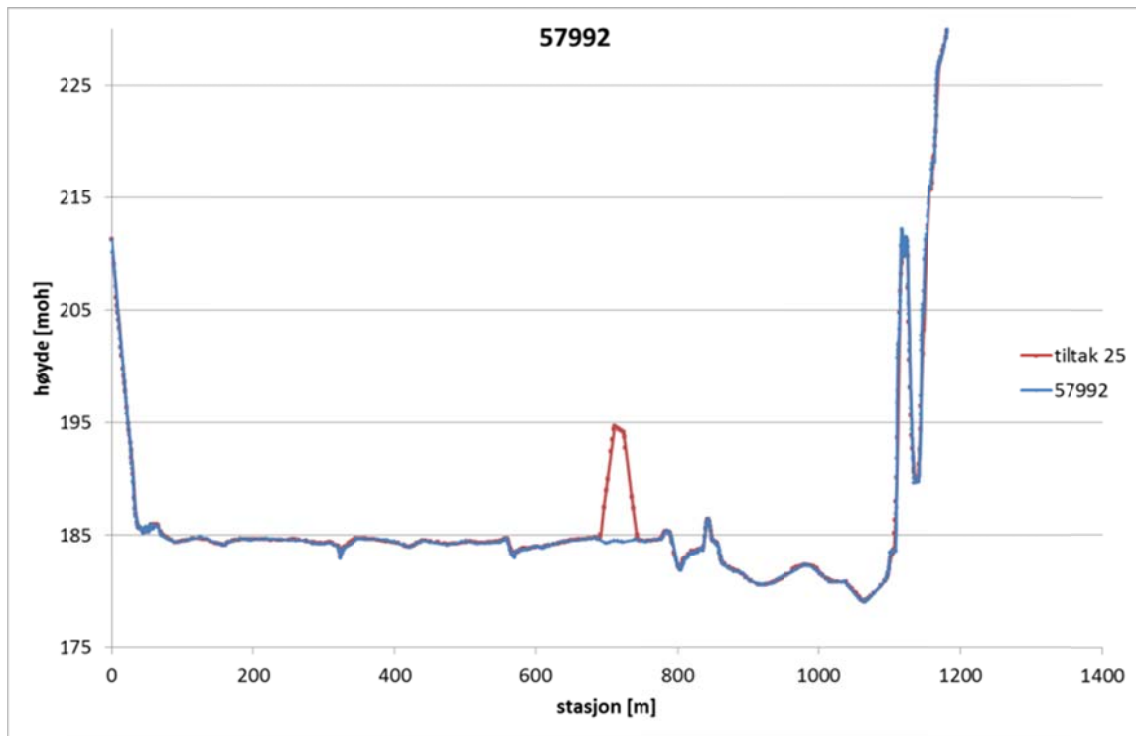
8.2.8 Tiltak 25

Tiltak 25 undersøker virkningen av tracealternativ 1.1 for E6 på flomsituasjonen i Lågen sør for Ringebu. Forløpet av dette tracealternativet mot de to bruene sør i tettstedet fremgår av figur 8.24. For å implementere planlagt tilstand i den hydrauliske modellen blir DHM definert på den måten at vegtraceen tillegges de høyder som foreligger. Det dreier seg om profilet fra

km 58,091 til 56,037. Disse settes opp på nytt i HEC-GeoRAS og overføres til HEC-RAS (eksempel profilet ved km 57,992 i figur 8.25). I tillegg fjernes modellens definisjon av eksisterende flomvoll som levee. I stedet defineres traceens overkant som ny levee. Eventuelle kulverter eller bruer nedstrøms den planlagte traceen blir ikke implementert i modellen. Det medfører at området øst for flomvollen ikke oversvømmes før vannstanden kommer høyere enn vegens overkant.



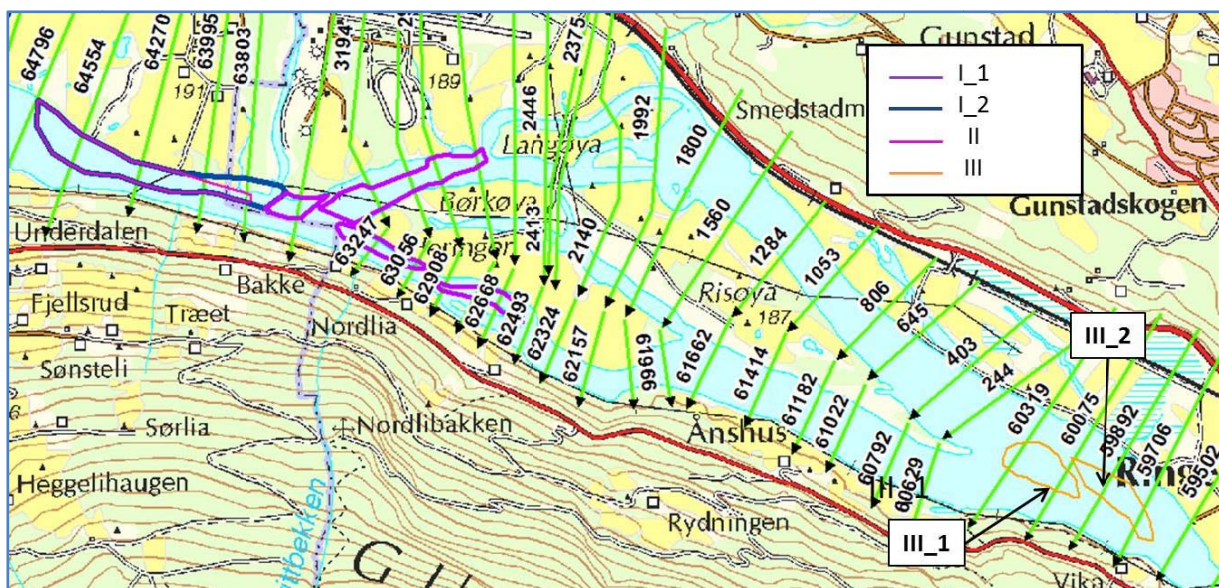
Figur 8.24: Forløpet av tracevariant 1.1 for E6 ved tiltak 25



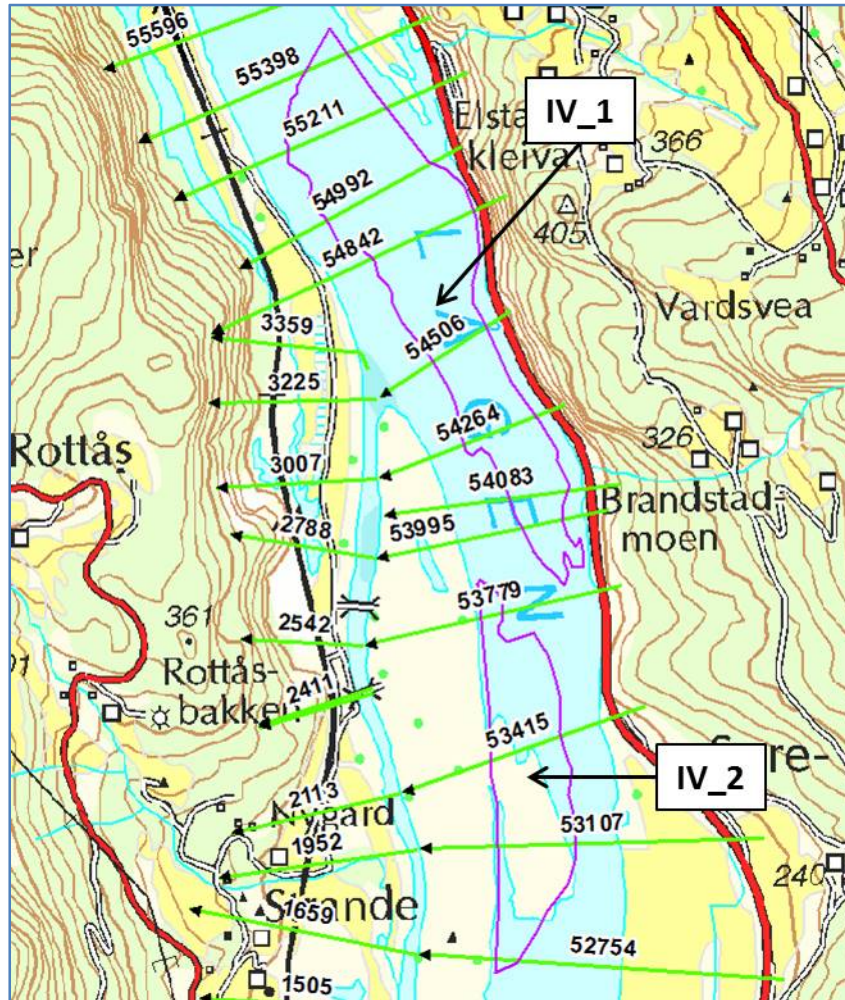
Figur 8.25: Tverrprofil ved km 57,992 i nåtilstand og med tracealternativ 1.1

8.2.9 Tiltak 26

Tiltak 26 omfatter flere masseuttak ved utløpet av Frya og nedstrøms (se figur 8.26 og figur 8.27). Basert på elvebunnens topografi velges forskjellige uttakssteder, og disse kombineres med hverandre. Uttaksdybde, areal og volum for de ulike uttaksstedene og kombinasjoner av disse er angitt i tabell 8.8.



Figur 8.26: Oversikt masseuttak tiltak 26



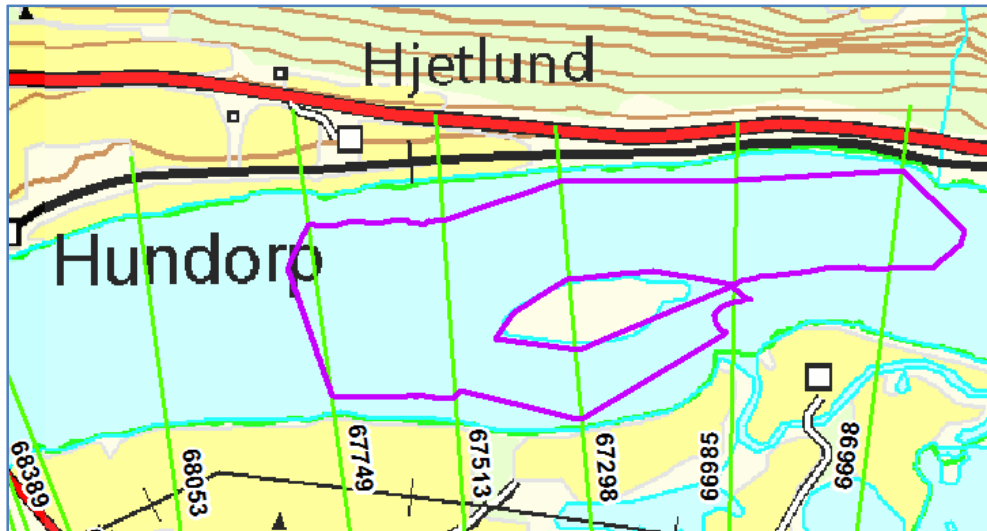
Figur 8.27: Oversikt masseuttak tiltak 26e med uttaksarealer IV_1 og IV_2

Tabell 8.8: Masseuttak for tiltak 26

	Høyde [moh.]	Areal [m ²]	Volum [m ³]	Profil [km]
I_1	182,0	85 000	190 000	
I_2	182,0	100 000	273 000	
II	182,4 - 181,5	114000	180 000	
III_1	181,0	40 000	39 200	
III_2	181,0	37 800	30 200	
IV_1	179,5	164 800	136 800	
IV_2	179,5	336 600	293 800	
26a (II)		114 000	180 000	63,585 – 62,667/ 3,193 – 2,727
26b (I_1)		85 000	190 000	64,554 – 63,803
26c (I_1+II)		199 000	370 000	64,554 – 62,667/ 3,193 – 2,727
26d (I_2+II)		214 000	453 000	64,554 – 62,667/ 3,193 – 2,727
26e (III_1+III_2+IV_1+IV_2)		579 200	500 000	60,319 – 59,706/ 55,398 – 52,754

8.2.10 Tiltak 29

Tiltak 29 innebærer et masseuttak ved Hundorp. Ved profilene km 67,749 – 66,697 senkes elvebunnen til en høyde på 183,0 – 182,0 moh. over et areal på 287.000 m². Det er beregnet et uttak på ca. 532.000 m³.



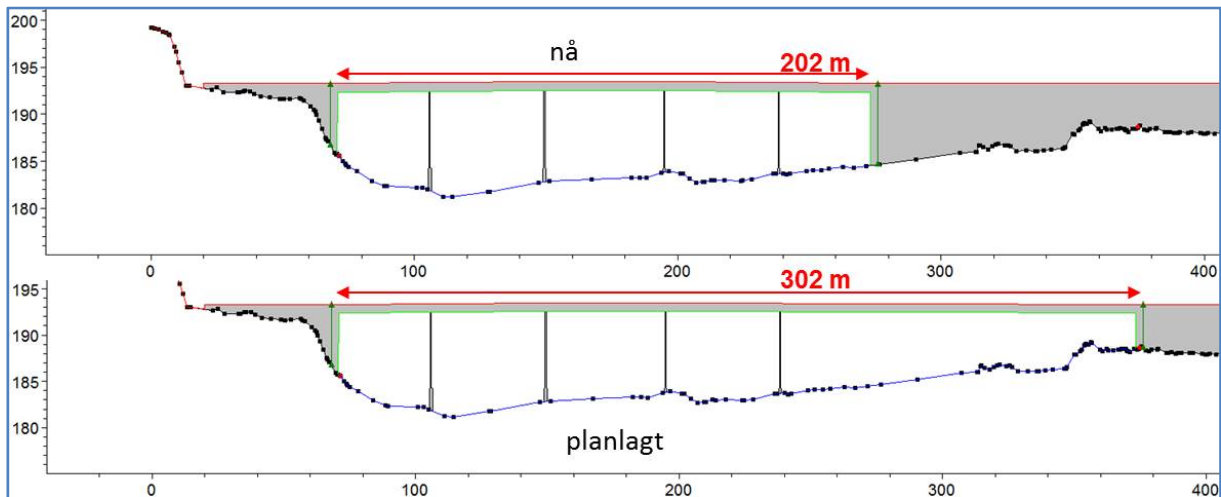
Figur 8.28: Masseuttak tiltak 29

8.2.11 Tiltak 30

Hundorp-brua medfører en innsnevring av strømmingstverrsnittet, spesielt på høyre bredd (se figur 8.29). Tiltak 30 undersøker hvilken effekt en lengre bru med større strømmingstverrsnitt vil ha på flomsituasjonen. I modellen beholdes pilarenes beliggenhet, mens bruas spenn utvides med 100 m på høyre bredd. Det kreves ingen nye konstruksjonselementer (flere pilarer e.l.) (se figur 8.30).



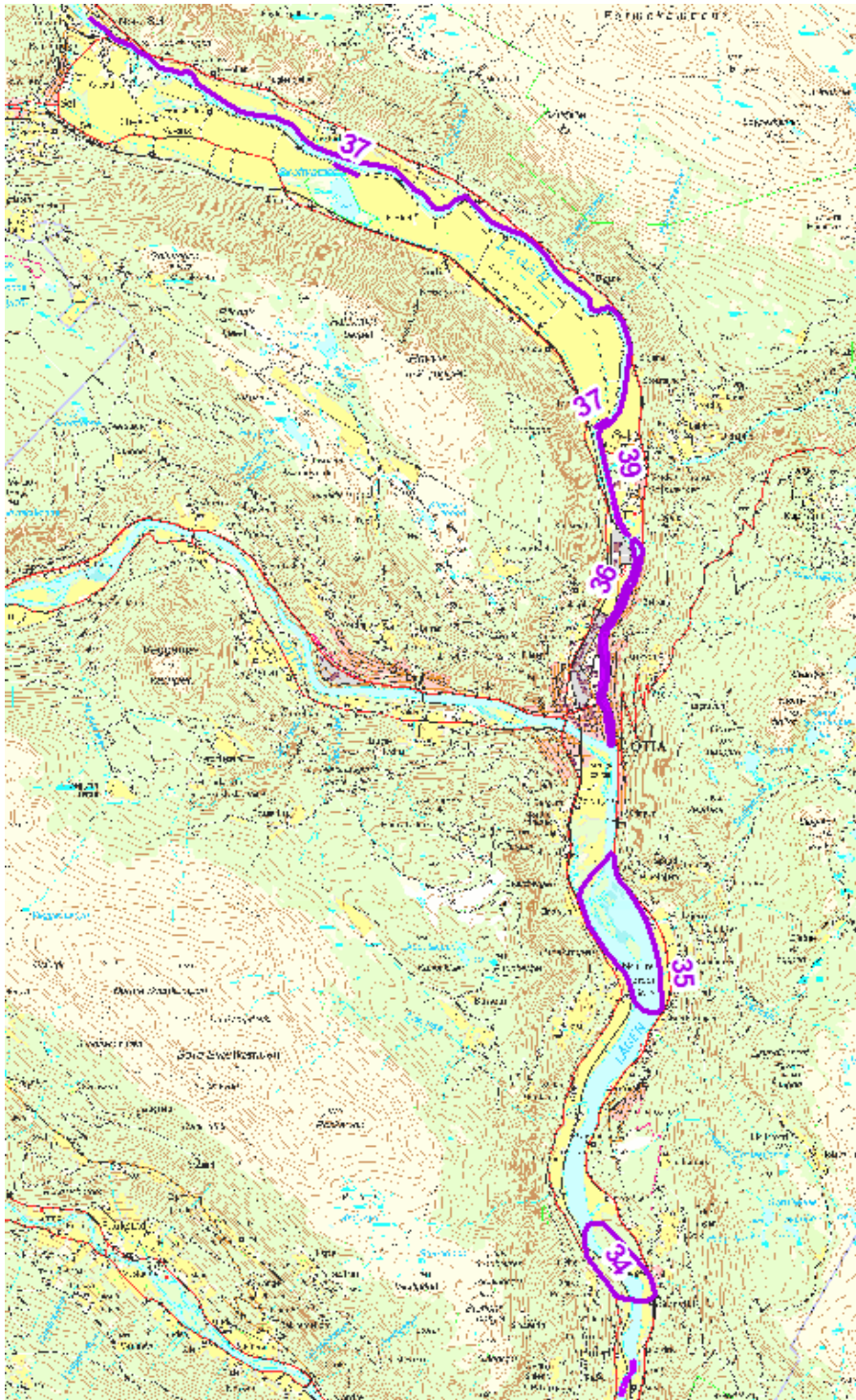
Figur 8.29: Hundorp bru sett mot høyre bredd



Figur 8.30: Hundorp bru i nåtilstand og planlagt tilstand

8.3 Analyseområde 3: Otta - Sel

Analyseområde 3 omfatter området mellom Sjøa i sør og Sel i nord. Det vurderes forskjellige tiltak for å senke vannstanden ved flom sør for Otta (tiltak 34 og tiltak 35), i selve Otta (tiltak 36) og oppstrøms Otta på Selsmyrene (tiltak 37 og tiltak 39). Det skal også undersøkes hvilken innvirkning en ny trace for E6 vil kunne ha (tiltak 35a).



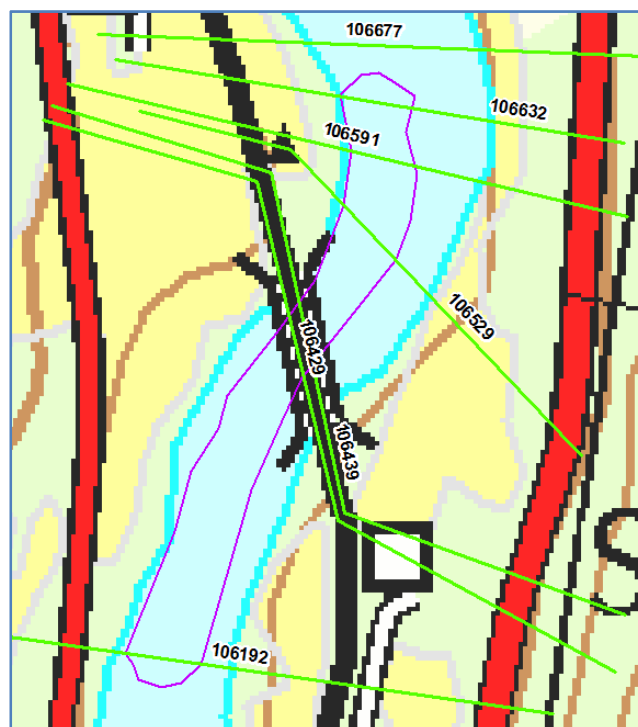
Figur 8.31: Oversikt analyseområde 3

8.3.1 Tiltak 34

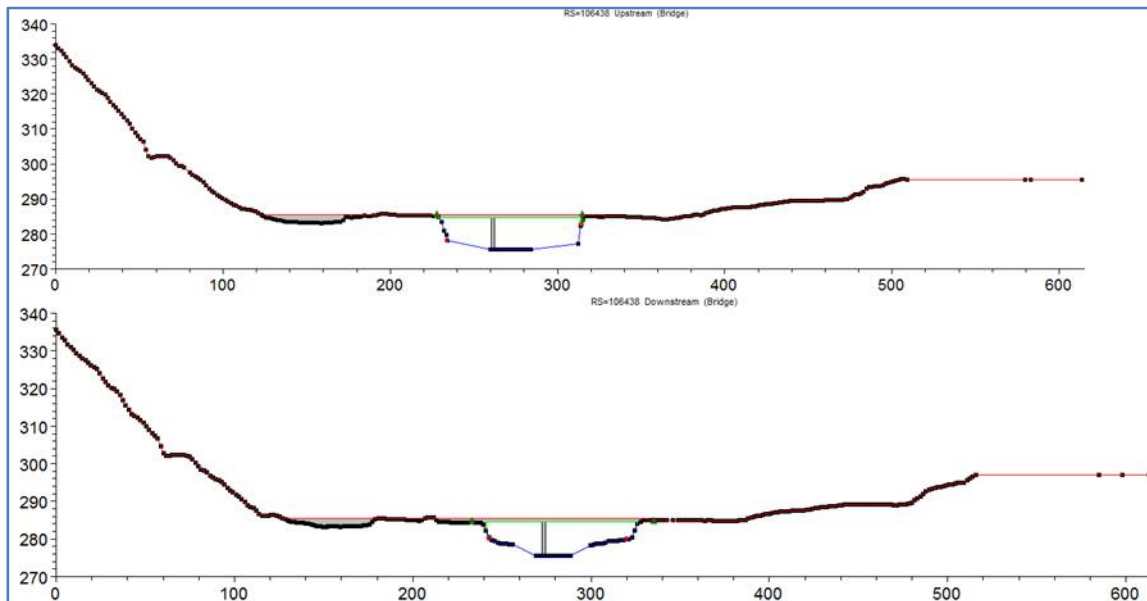
De ulike alternativene av tiltak 34 undersøker mulighetene for å senke vannstanden i avsnittet mellom utløpene av Otta og Sjoa.

Ved tiltak 34 skal innsnevringen i Veslestraumen fjernes. Det beregnes to forskjellige versjoner. I versjon 00 fjernes bare bunnterskelen (profiler km 107,784 og 107,765) og bunnen senkes til en høyde på 275,0 - 274,7 moh., mens versjon 01 i tillegg omfatter en utvidelse av strømningsstverrsnittet til profil km 108,481.

Tiltak 34a omfatter det smale området ved jernbanebrua på Sjoa (se figur 8.32). I versjon 00 tas hele brua ut av modellen for å undersøke hvilken virkning innsnevringen har på på flomsituasjonen. En ny og større bru er ikke vurdert. Versjon 01 omfatter i tillegg til fjerning av brua også senking av elvebunnen. I det markerte området på figur 8.32 senkes bunnen til en høyde på 276,0 moh. (profiler km 106,632 – 106,192).



Figur 8.32: Tiltak 34a

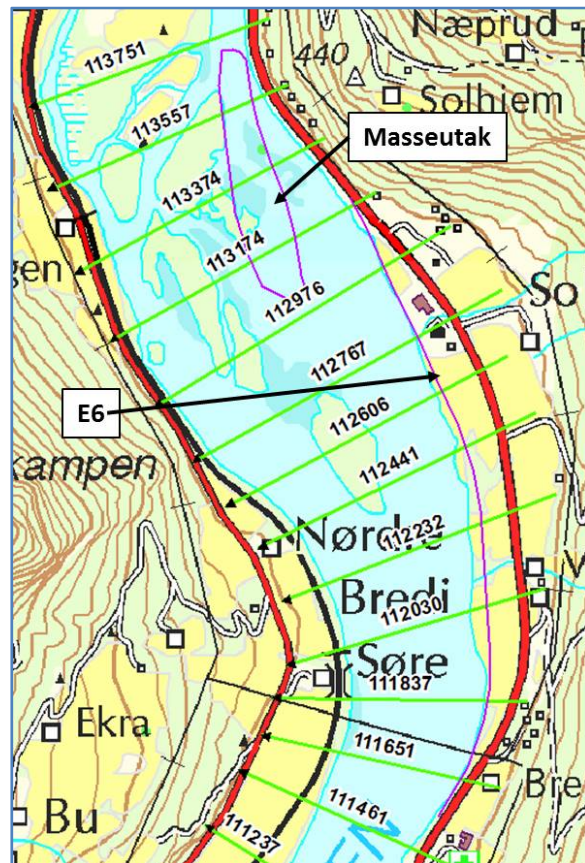


Figur 8.33: Jernbanebrua i modellen (opp- og nedstrøms)

8.3.2 Tiltak 35

Tiltak 35 skal undersøke både virkningen av den planlagte traceen for E6 (tiltak 35a), og masseuttak (tiltak 35b) nedstrøms utløpet av Otta i Gudbrandsdalslågen. De to tiltakene kombineres med tiltak 35c (se figur 8.34).

Geometrien i den planlagte nye traceen for E6 er stilt til rådighet og implementert i DHM. Det er satt opp flere digitale høydemodeller for masseuttak og for kombinasjonene av masseuttak og ny trase for E6. For de relevante tverrprofilene (km 113,357 – 111,651) ble geometrien satt opp på nytt på grunnlag av høydemodellene og implementert i modellen.

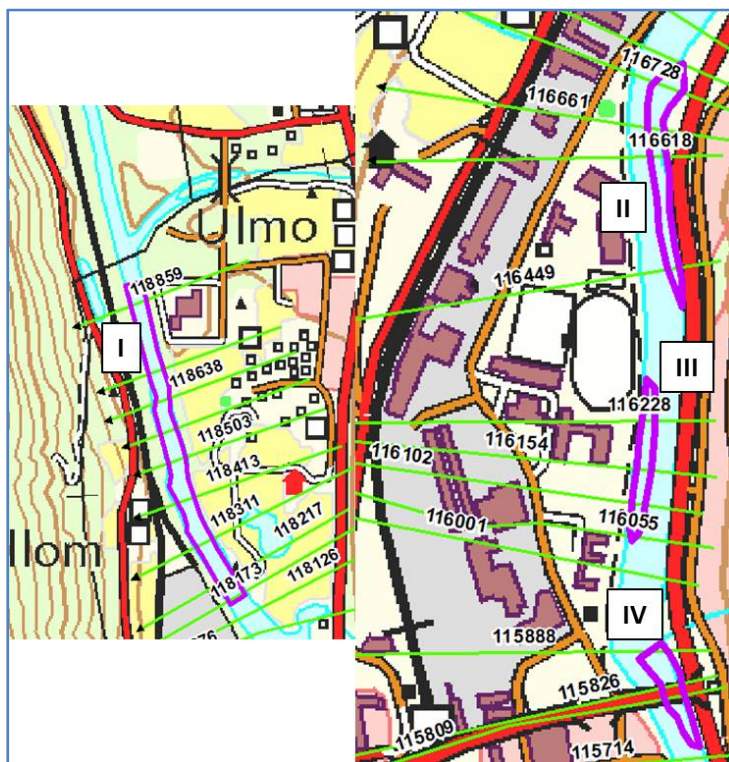


Figur 8.34: Tiltak 35: Ny trace for E6 og masseuttak

8.3.3 Tiltak 36

Tiltak 36 omfatter masseuttak i Gudbrandsdalslågen i Otta-området (se figur 8.35). Masseuttakene er de samme som i prosjektet „Vannlinjeberegning Gudbrandsdalslågen og Otta²“. I det nordre avsnittet baserer uttaksdybden seg på profilopptak fra 1998, og det er bunnhøyden fra den målingen som skal gjenopprettes. De tre søndre avsnittene utgjøres av sandbanker, som skal senkes til 0,1 m under middelvannstand. Uttaksvolumene fremgår av tabelle 8.9.

² Dr. Blasy-Dr. Øverland: Vannlinjeberegning Gudbrandsdalslågen og Otta, 12.04.2017.



Figur 8.35: Beliggenhet av masseuttak for tiltak 36

Tabelle 8.9: Masseuttak for tiltak 36

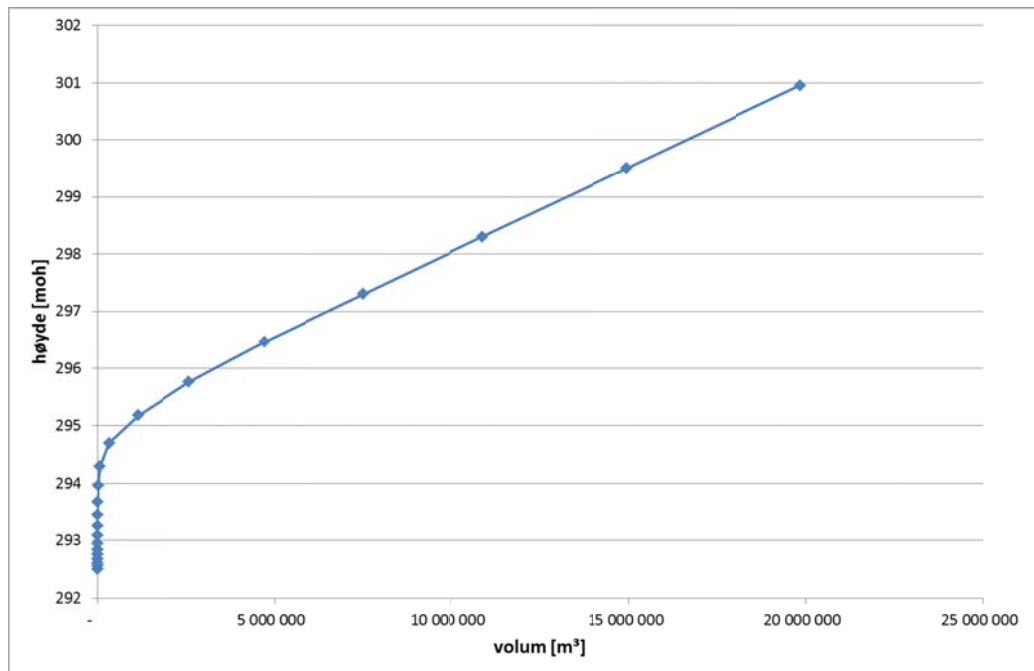
	Areal [m ²]	Volum [m ³]	Profil [km]
I	27 000	16 000	118,859 – 118,173
II	7 900	4 500	116,728 – 116,449
III	4 400	1 700	116,228 – 116,005
IV	4 200	2 900	115,888 – 115,826

8.3.4 Tiltak 37

Tiltak 37 undersøker virkningen av en målrettet bortledning av vann fra Lågen over Selsmyrene, som er vurdert retensjonsområder. Myrene skal oversvømmes i flom for å senke vannstanden i elva.

I modellen defineres denne bortledningen som en sidestruktur i form av et flomløp. Selsmyrene defineres som et magasinområde og beregnes via en vannstands-volumrelasjon. Denne relasjonen er automatisk utledet av DHM i HEC-GeoRAS og er vist i figur 8.36 og tabell 8.10.

Flomløpet er definert med bredde 100 m og høyde 294,5 moh. ved profil km 165,680. Idet vannstanden når denne høyden begynner flomløpet å virke og vann renner ut i magasinområdet. Det er ikke definert noe tilbakeløp til elva.

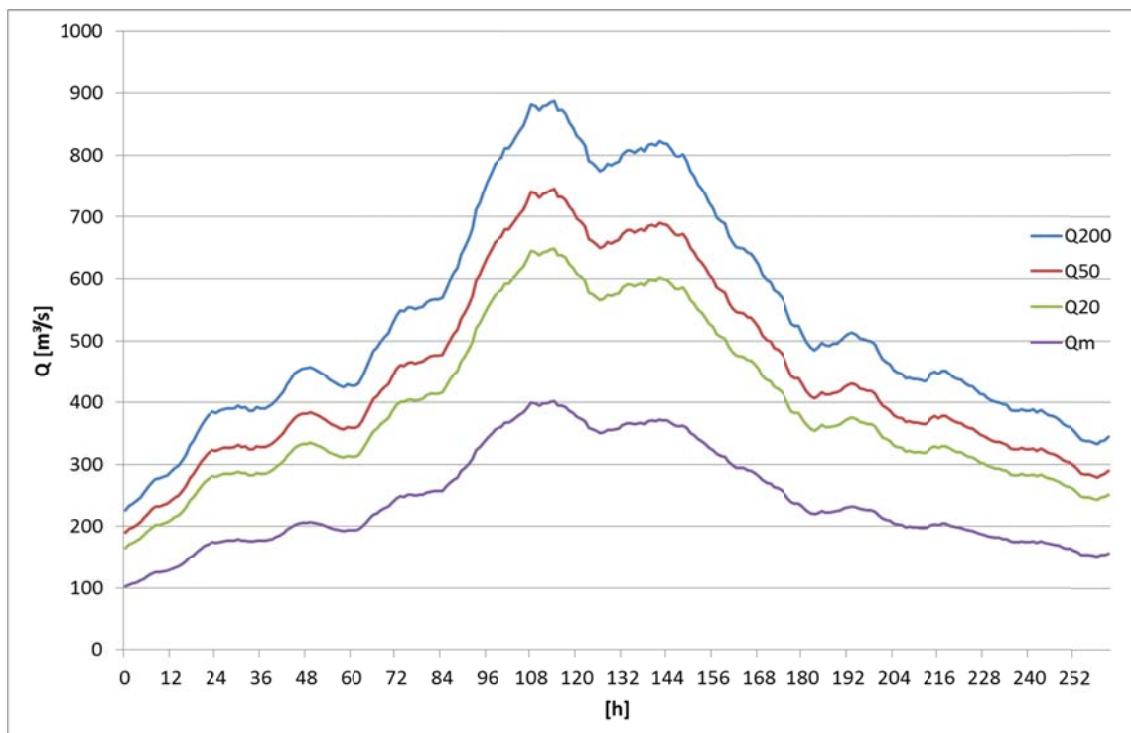


Figur 8.36: Vannstand-volum-relasjon magasinområde Selsmyrene

Tabell 8.10: Vannstand-volum-relasjon magasinområde Selsmyrene

Høyde [moh.]	Volum [m³]
292,55	0
293,25	2 397
293,44	4 894
293,68	9 638
293,96	18 971
294,29	67 681
294,70	326 683
295,18	1 137 560
295,76	2 588 870
296,46	4 708 040
297,30	7 508 100
298,30	10 883 300
299,50	14 938 900
300,95	19 841 500

Beregningene med magasinområdet må utføres instasjonært. Det benyttes et hydrogram som oppdragsgiver har stilt til rådighet og som stammer fra en reell hendelse i 2014 og er blitt skalert til flomkarakteristika (se figur 8.37).



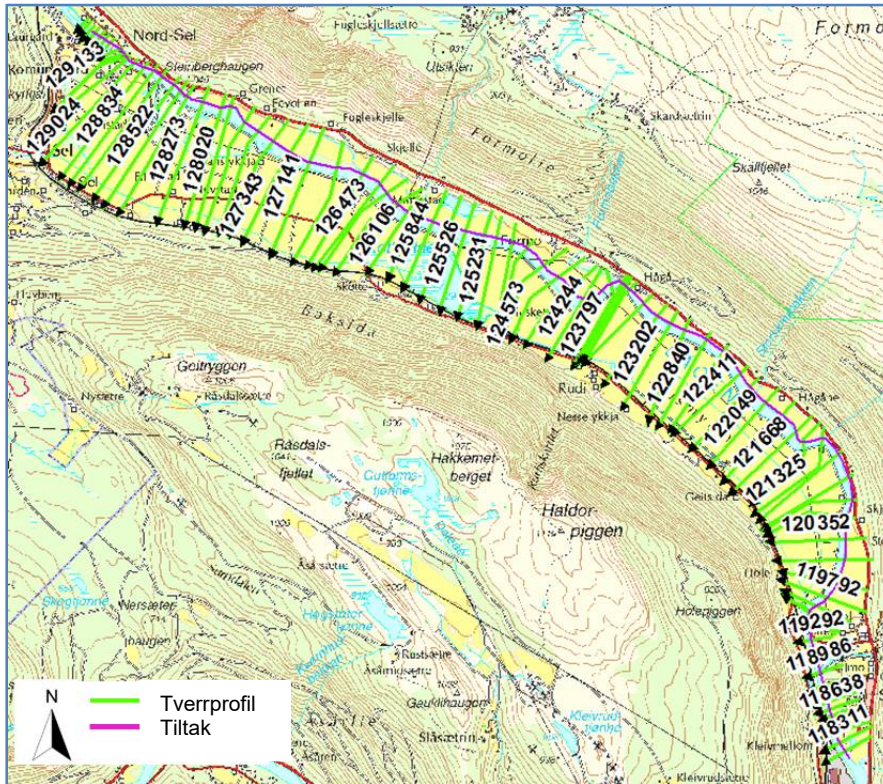
Figur 8.37: Hydrogrammer for instasjonære beregninger

De instasjonære beregningene ble bare gjennomført for gjentaksintervallene Q_m , Q_{20} , Q_{50} og Q_{200} . Da resultatene av stasjonære og instasjonære beregninger ikke uten videre kan sammenlignes, blir ikke resultatene for tiltak 37 sammenholdt med stasjonære beregninger for nåtilstand, men det gjennomføres instasjonære beregninger også for nåtilstand.

I beregningene ble profilenes geometri i nåtilstand benyttet. De omfatter også Selsmyrene på høyre elvebredd. I modellen er de imidlertid skilt fra elva ved definisjonen av levees (se figur 3.14 i avsnitt 3.6).

8.3.5 Tiltak 39

Tiltak 39 innebærer senking av elvebunnen i avsnittet mellom Nord-Sel og Otta (profiler km 129,620 – 118,217). Det er analysert senking til tre ulike dybder: 0,3 m (tiltak 39a), 0,6 m (tiltak 39b) og 0,9 m (tiltak 39c). Til modelleringen ble høydene tilpasset ny elvebunn og profilenes geometri satt opp på nytt. Tabell 8.11 viser uttaksvolumet for de ulike dybdene.



Figur 8.38: Oversikt tiltak 39

Tabell 8.11: Masseuttak tiltak 39

Tiltak	Senking	Volum [m ³]
tiltak 39a	-0,3 m.	150 000
tiltak 39b	-0,6 m.	298 000
tiltak 39c	-0,9 m.	447 000

9. Virkningsanalyse av tiltakene

Tiltakene som er beskrevet i kapitell 8, er beregnet for alle aktuelle gjentaksintervall med den hydrauliske modellen. I tillegg til enkelttiltakene er også flere tiltak som befinner seg i nærheten av hverandre, kombinert med hverandre.

Beregningen av tiltakene og kombinasjonene er alltid gjennomført med den komplette modellen. Et unntak er tiltak 37, som på grunn av den instasjonære beregningen begrenser seg til avsnittet oppstrøms utløpet av Otta.

Virkingen er beregnet ved å sammenligne endringen i vannstand med nåtilstand. Virkingen langs elva oppstrøms er beregnet med en terskelverdi på 3 cm i forhold til nåtilstand.

9.1 Analyseområde 1

En oversikt over virkingen av tiltakene i analyseområde 1 er å finne i tabell 9.1. Det er angitt både området tiltakene er definert for og virkningsområdet. I tillegg vises tverrprofilen med maksimal endring i forhold til nåtilstand, oppgitt for en Q_{200} .

Tabell 9.1: Oversikt tiltak i analyseområde 1

Tiltak		Profil		Effekt vannlinje			
nr.	Beskrivelse	fra km	til km	fra km	til km	max. Q_{200} [m]	Profil km
2a	Forleng flomsikring	5,140	6,073	5,414	9,365	0,15	6,073
3a	Trekke flomsikring inn	4,995	6,376	-	-	-	-
3b	Trekke flomsikring inn	4,995	6,144	5,414	7,999	0,08	6,073
9	Masseuttak	5,826	7,091	6,261	9,365	-0,06	7,275
		0,098	0,993	0,094	1,068	-0,61	0,590
9a	Masseuttak	0,993	0,098	0,229	1,068	-0,56	0,590
9b	Masseuttak	6,985	7,091	7,275	7,999	-0,01	7,091
		0,097	0,993	0,229	1,068	-0,56	0,590
12a	Utvide og heve flomverk	0,098	1,158	0,206	2,009	1,14	1,068
12b	Trekke flomsikring inn	0,098	0,474	0,206	1,804	0,04	0,590
12c	Trekke flomsikring inn	0,098	1,558	0,206	1,804	0,71	1,472
12d	Trekke flomsikring inn	0,098	2,285	0,098	2,423	0,71	1,472
13	Fjerne sikring	0,933	1,067	0,933	1,150	-0,04	1,150

9.1.1 Tiltak 2a, 3a, 3b

Tiltak 2a, 3a og 3b består av en flomvoll på høyre bredd av Lågen ved Jørstadmovollene. De avviker fra hverandre ved flomvollens beliggenhet. Som ventet medfører tiltak 2a den største økningen av vannstanden i Lågen, da beliggenheten rett ved elva fører til størst innsnevring av strømningstverrsnittet i flom. Tilsvarende liten er virkingen ved tiltak 3b, mens det ved tiltak 3a ikke oppstår noen målbar forandring av vannstanden i forhold til nåtilstand. Grunnen til det er dels at eksisterende sikring knapt har noen virkning ved større flomhendelser i nåtilstand. Dessuten tilsvarer beliggenheten av planlagt flomvoll nesten den maksimale

oversvømmelseslinjen i nåtilstand, og dermed oppstår det så å si ingen endringer i oversvømt areal.

Generelt viser tiltakene en relativt liten virkning på vannføringssituasjonen i flom. Selv den store innsnevringen av tverrsnittet ved tiltak 2a har ved Q_{200} bare en økning på maksimalt 0,15 cm. Virkningen kan riktignok fortsatt påvises noen kilometer oppstrøms, men her er den bare på ca. 0,5 cm. Den største vannstandsøkningen begrenser seg til området ved flomvollen.

9.1.2 Tiltak 9, 9a, 9b

Masseuttak ved tiltak 9, 9a og 9b har fremfor alt en tydelig virkning når det gjelder Gausa. Ved flom her får man en senking av vannstanden på opptil ca. 0,6 m. Derimot har det liten innvirkning på Lågen, hvor vannstanden bare senkes med noen få centimeter. I det hele påvirkes Lågen ved utløpet av Gausa særlig av Mjøsa. Ved flom i Gausa stipuleres det, ved samme gjentaksintervall, en lavere vannstand enn ved flom i Lågen. Dermed får også tiltaket større virkning. En sammenligning av tiltakene 9, 9a og 9b viser at virkningen på Gausa av masseuttak så å si er uavhengig av uttak i Lågen, og nesten ene og alene skyldes masseuttak i Gausa.

9.1.3 Tiltak 12a-d og 13

På samme måte som ved tiltakene 2a, 3a og 3b i Lågen (jf. avsnitt 9.1.1), medfører flomvollenes ulike beliggenhet og de tilhørende innsnevringene av strømningsstverrsnittet ulike vannstandsøkning. Flomvollens beliggenhet rett ved elvebredden ved tiltak 12a medfører en vannstandsøkning på stedvis over 1,0 m, mens flomvollene lenger unna i tiltak 12c og 12d forårsaker en maksimal økning på ca. 0,7 m. Virkningen av flomvollen 12c på vannstanden ved flom er derimot uten betydning. Virkningen på vannstanden begrenser seg hovedsakelig til selve flomvollene; oppstrøms avtar virkningen raskt. Virkningen ved flom av tiltak 13 er ubetydelig.

9.1.4 Tiltak i kombinasjon

For analyseområde 1 ble det analysert flere tiltakskombinasjoner. Det dreier seg om kombinasjoner av flomvoller som i regelen forårsaker vannstandsøkning, med masseuttak, som medfører at vannstanden senkes.

Følgende 10 kombinasjoner ble analysert:

Tabell 9.2: Oversikt kombinasjoner i analyseområde 1

12a + 9	12c + 9	12d + 9	3b + 9	3b+12d +9	3b+12d+9b	12a+9a	12b+9a	12c+9a	12d+9a
---------	---------	---------	--------	-----------	-----------	--------	--------	--------	--------

Resultatene av disse beregningene og en sammenligning med nåtilstand er å finne i Tabell 9.3.

Det viser seg at masseuttaket i tiltak 9 reduserer vannstandsøkningen som skyldes flomvollene (tiltak 12 og 3b), men er ikke i stand til å utlignen den helt.

9.1.5 Sammendrag og vurdering av tiltak i analyseområde 1

Beliggenheten av flomvullen ved Jørstadvollene sør (tiltak 2a, 3a og 3b) påvirker vannstanden i Lågen med inntil ca. 0,1 m (tiltak 2a). Imidlertid er den samlede effekten relativ liten på grunn av elvas store bredde, til tross for at det ved tiltak 3b i snitt fjernes over 200 m og ved tiltak 2a over 400 m av det høyre forlandet. Tiltak 3b viser seg å være et godt kompromiss; betydelige arealer unngår oversvømmelser også ved store flomhendelser, samtidig som flomvollene bare medfører mindre vannstandsøkninger i elva.

Masseuttakene i tiltak 9 har først og fremst innvirkning på Gausa, mens de for Lågen er uten betydning. Tiltak 9a, som begrenser seg til Gausa, har i det alt vesentlige samme virkning på Gausa som tiltak 9 og 9b, som i tillegg innebærer masseuttak i Lågen. Derfor er det heller å anbefale siden det har en større effekt på vannstanden.

For flomvollene i tiltak 12 er resultatet i regelen vannstandsøkning i området med flomvoll, og den fortsetter oppstrøms med avtagende virkning. Fra profil 590 og til utløpet i Lågen beregnes det imidlertid lavere vannstand enn i modellen av nåtilstand. Grunnen er høyere vannhastigheter, som igjen skyldes innsnevringen.

Ved en kombinasjon av flomvoller og uttak i Gausa kan vannstandsøkningen i profilene mellom km 0,640 og 1,219 reduseres, men ikke utlignes helt. I området nedstrøms blir senkingen av vannstanden som skyldes flomvollene, forsterket av masseuttaket. Området oppstrøms forblir uforandret sammenlignet med enkelttiltakene (flomvoll uten masseuttak), siden effekten av uttaket avtar oppstrøms.

Virkingen av tiltak 13 er ubetydelig.

9.2 Analyseområde 2

En oversikt over virkningen av tiltak i analyseområde 2 er å finne i Tabell 9.4.

I tillegg til det området som tiltakene er definert for, er også virkningsområdet angitt. I tillegg vises tverrprofilen med maksimal endring i forhold til nåtilstand, oppgitt for en Q_{200} .

Tabell 9.4: Oversikt tiltak i analyseområde 2

Tiltak		Profil		Effekt vannlinje			
		fra km	til km	fra km	til km	max. Q_{200} [m]	Profil km
15a	Senke terskel	31,807	31,979	31,807	58,276	-0,27	32,113
15b V00	Senkning flomløp	32,244	32,917	32,453	63,803	-0,62	33,057
15b V01	Senkning flomløp	32,244	33,057	32,453	63,803	-0,84	33,315
15c 500m ³ /s	Flomveistunnel	31,090	33,604	31,518	63,585	-0,56	34,564
15c 1000m ³ /s	Flomveistunnel	31,090	33,604	31,518	64,270	-1,09	35,216
15c 1500m ³ /s	Flomveistunnel	31,090	33,604	31,518	68,330	-1,6	34,074
17a	Masseuttak	49,571	50,087	49,951	63,056	-0,17	50,190
17b	Masseuttak	48,316	50,087	49,684	63,056	-0,18	50,979
17c	Masseuttak	47,282	50,087	47,904	63,585	-0,21	50,432
18a	Heving flomvoll	51,311	54,506	53,107	59,282	0,08	54,842
				1,505	3,359	-0,22	3,359
18b	Trekke flomsikring inn	51,311	54,506				
19	Åpne flomløp	3,359					
21a	Masseuttak	57,064	58,091	57,992	63,056	-0,04	58,127
21b	Masseuttak	56,547	58,091	57,497	63,056	-0,04	58,127
21c	Masseuttak	56,547	58,091	57,497	63,585	-0,07	58,127
21d	Masseuttak	58,276	58,850	58,465	72,449	-0,34	59,063
22	Ny E6: trasealternativ 1.3	56,191	58,091	57,807	61,022	0,05	58,166
25	Ny E6: trasealternativ 1.1	56,037	58,091	56,759	63,995	0,22	58,166
26a	Masseuttak	62,667	63,585	62,768	74,625	-0,21	63,803
		2,727	3,194			-0,06	3,194
26b	Masseuttak	63,803	64,554	64,720	73,723	-0,09	65,165
26c	Masseuttak	62,667	64,554	62,768	75,980	-0,23	64,796
		2,727	3,193			-0,06	3,194
26d	Masseuttak	62,667	64,554	62,768	76,294	-0,27	64,796
		2,727	3,193			-0,06	3,194
26e	Masseuttak	59,706	60,319	53,779	61,966	-0,03	55,398
		52,754	55,398				
29	Masseuttak	66,697	67,749	67,298	74,497	-0,06	68,053
30	Ny bru	68,403		68,5	72,975	-0,04	68,500

9.2.1 Tiltak 15

Området ved Tretten omfatter nedre ende av Losnavatnet som er et smalt område. Derfor vil tiltak i dette området kunne senke vannstanden i hele vannet og virkningen vil også kunne fortsette oppstrøms.

Således påvirker de relativt små inngrepene i tiltak 15a med senking av terskelen allerede en senking av vannstanden i Losnavatnet med ca. 6 - 8 cm. Senking og utvidelse av vassdraget i tiltak 15b vil medføre en senking av vannstanden på fra ca. 60 cm (versjon 00) til ca. 80 cm (versjon 01). Siden virkningen fortsetter oppstrøms, vil det ved Fåvang oppnås en senking av vannstanden ved Q_{200} på hhv. $>0,4$ m (versjon 00) og $>0,5$ m (versjon 01). En lignende virkning som tiltak 15b versjon 00 oppviser 15c med flomtunnel og bortledning av $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Ved bortledningsmengder på $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ og $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ er det beregnet en senking av Losnavatnet på over hhv. 1,0 m og 1,5 m. Oppstrøms blir det ved Fåvang påvist en virkning på hhv. ca. 0,6 – 0,7 m og ca. 0,7 – 0,9 m (alt etter analysert gjentaksintervall). Imidlertid er det tvilsomt om det er mulig å realisere en flomtunnel i størrelsesorden $> 1000 \text{ m}^3/\text{s}$.

9.2.2 Tiltak 17

Masseuttaket ved Fåvang i tiltak 17 medfører en maksimal senking av vannstanden på 0,17 – 0,21 m. Dermed kan tiltak 17a, med masseuttak opp til utløpet av Tromsa, anses som den mest effektive varianten. Sammenlignet med tiltak 17b er det bare ca. halvparten og sammenlignet med tiltak 17c bare en tiendedel av volumet som må tas ut av vassdraget. Grunnen er at uttaksstedet befinner seg i det smale området, som får en effektiv utvidelse av løpet. Ved uttaksstedene nedstrøms er elva betydelig bredere, og dermed vil betydelig større uttaksmengder være mindre effektive når det gjelder å senke vannstanden.

9.2.3 Tiltak 18a, 18b og 19

Ved stenging av flomkanalen i tiltak 18a vil vannstanden ved flom kunne senkes inntil 0,22 m, samtidig som vannstanden i Lågen vil stige med maks ca. 0,08 cm. Imidlertid vil det til høyre for flomvollen, til tross for stengningen, være nesten de samme oversvømte arealer som i nåtilstand, dette fordi tilbakestuvning fra området bak flomvollene vil føre til øversvømmelse.

Ved tiltak 18b ble det ikke påvist noen nevneverdig virkning, da flomvollene ligger akkurat ved den nåværende grensen for de oversvømte arealer. Heller ikke ved senkingen av utløpet i flomkanalen kan det påvises noen særlig endring av vannstanden i flom, siden terskelen i utløpsområdet i nåtilstand overstrømmes allerede ved relativt små flomhendelser.

9.2.4 Tiltak 21a-d

Masseuttakene i tiltak 21a-c ved Ringebru har relativt liten virkning på vannstanden. Også ved store hendelser er senkingen av vannstanden svært liten med bare ca. 3 cm. Tiltak 21d viser derimot en noe større effekt på vannstanden, med beliggenhet lenger oppstrøms ved det smale stedet mellom bruene og utløpet av Våla. Effekten fortsetter også å virke lenger oppstrøms. Som ved tiltak 17 er også her grunnen til den større effekten plasseringen i et smalt område. De andre uttaksstedene ligger lenger nedstrøms, hvor tverrsnittet er større.

9.2.5 Tiltak 22 og 25

Virkingen av de to variantene for den nye E6 er generelt relativt små. Vegens overkant er definert som levee, og dermed fungerer arealet bak vegen først som vannførende område når vegen overskrides. Dermed kunne modellen bli brukt til å beregne vegens maksimale effekt på vannstanden ved flom.

Man må imidlertid gå ut fra at i realiteten vil kulverter og bruer, bli bygd over til området til venstre for vegen, slik at også dette området til dels vil bli oversvømt. Dermed vil vannstandsøkningen bli lavere enn i modellen.

Trase 1.1 i tiltak 25 medfører ved større vannføringshendelser lokale vannstandsøkninger på inntil 0,2 m. Oppstrøms avtar imidlertid denne virkingen raskt. Trase 1.3 (tiltak 22) oppviser derimot ved store flomhendelser maksimalt en vannstandsøkning på ca. 5 cm. Ved mindre flomhendelser blir det derimot en mindre senking av vannstanden, siden denne traceen medfører fjerning av eksisterende flomvoll langs elvebredden slik at strømningstverrsnittet dermed blir større. Denne effekten er imidlertid begrenset til mindre hendelser, hvor flomvollen ikke er oversvømt ($<Q_{50}$).

9.2.6 Tiltak 26a-e

Masseuttakene i tiltak 26a-d ved utløpet av Frya medfører en senking av vannstanden ved flom på ca. 0,1 m (tiltak 26b) til ca. 0,25 m (tiltak 26d) i uttaksområdet og rett oppstrøms. Ved mindre flomhendelser vil virkingen stort sett være noe større. Sett i forhold til de betydelige uttaksmengdene på over 450.000 m³ vil den oppnådde effekten på flomsituasjonen være relativt liten.

Tiltak 26e er analysert med det mål for øye å ta ut en samlet mengde på ca. 500.000 m³ og bruke sanden til å forbedre kvaliteten på jorda. Den er lite permeabel og medfører at vannet ved flomhendelser blir stående lenger. Ved å blande inn elvesand håper man på en bedre dreneringseffekt på jordbruksarealene. Som ventet blir virkingen av masseuttakene på grunn av den lille uttaksdybden og de store arealene ubetydelig med maks 5 cm vannstandsening.

9.2.7 Tiltak 29

Masseuttaket i tiltak 29 medfører en senking av vannstanden på $< 0,1$ m. Virkingen er målbar til ca. 10 km oppstrøms tiltaket.

9.2.8 Tiltak 30

Økningen av spennet på Hundorp-brua i tiltak 30 medfører en ubetydelig virkning på mindre enn 5 cm. Under naturlige forhold uten bru står det et vesentlig større strømningstverrsnitt til disposisjon. I nåtilstand innsnevres tverrsnittet av brua, særlig på høyre bredd. Imidlertid viser beregningene at denne innsnevringen ikke er vesentlig til hinder for vannføringen.

9.2.9 Tiltak i kombinasjon analysområde 2

Den eneste analyserte tilleggskombinasjon av tiltak i analyseområde 2 er kombinasjonen av masseuttak 17a på Fåvang og tiltak 18b og 19 ved Kvitfjell. Tiltak 18b og 19 har imidlertid

knappt noen virkning på vannstanden, og dermed kan denne tiltakskombinasjonen omtrent likestilles med enkelttiltak 17a.

9.2.10 Sammendrag og vurdering av tiltak i analyseområde 2

De analyserte tiltakene i nedre ende av Losnavatnet (tiltak 15) viser generelt størst effekt når det gjelder virkning oppstrøms. Senkingen av terskelen (tiltak 15a) medfører bare en liten senking av vannstanden, mens tiltak 15b viser seg å ha betydelig større virkning. Dessuten viser versjon 00 seg å være mer effektiv enn versjon 01, siden en betydelig mindre årsak (uttaksvolum 160.000 m³ mot 624.000 m³) gir betydelig effekt på senking av vannstanden i Losnavatnet (>0,4 m), mens den i versjon 01 bare blir 0,1 – 0,2 m større.

En lignende virkning som ved tiltak 15b versjon 00 har flomtunnelen med en bortledningsmengde på 500 m³/s. Med enda større bortledningsmengder på 1000 m³/s og 1500 m³/s kan det riktignok oppnås enda større vannstandssenking, men så store inngrep krever også en betydelig kritisk vurdering av muligheten for realisering og av nytte-kost.

Masseuttakene ved Fåvang (tiltak 17) viser seg å ha relativt liten virkning, mens virkningen av tiltakene lenger nedstrøms, tiltak 15b versjon 00 eller bortledning av 500 m³/s (tiltak 15c) medfører en større vannstandsening i det samme virkningsområdet.

Tiltak 18a viser seg å være lite hensiktsmessig, siden området som sikres av flomvollen på høyre bredd på grunn av den relativt høye vannstanden nedstrøms blir oversvømt nedenfra og det dermed er nesten de samme arealer som oversvømmes som i nåtilstand. For tiltak 18b og 19 er det så godt som ikke påvist noen virkning på vannstanden ved flom.

Masseuttakene 21a-c viser seg å være lite virksomme til tross for det relativt store uttaksvolumet. Betydelig mer effektivt ser tiltak 21d ut til å være, hvor utvidelsen blir foretatt i det smale området.

Den innsnevrende virkningen av de nye E6-traseene i variantene 1.1 (tiltak 25) og 1.3 (tiltak 22) ble i modellen beregnet slik at maksimal vannstand ved disse kunne finnes ved at det ble utelukket forbindelse til venstre side av traceen bortsett fra ved overstrømning. I realiteten vil det oversvømte arealet kunne bli større ved at det skapes forbindelse ved kulverter e.l. under E6. Det er likevel ikke å forvente at dette fører til noen betydelig lavere vannstand.

Masseuttakene 26a og 26 b ved Frya viser seg å være lite virksomme. Ved kombinasjoner (tiltak 26c) er det derimot mulig å oppnå en tydelig reduksjon av vannstanden på >0,2 m. Et enda større uttak ved utløpet av Frya (tiltak 26d) viser seg derimot å være mindre effektivt, da det til tross for et betydelig større uttaksvolum på over 450.000 m³, mot 370.000 m³ ved tiltak 26c, bare er mulig å oppnå en ytterligere senking av vannstanden på 4 cm.

Tiltak 29 (masseuttak) og 30 (utvidelse av brua) viste seg å ha liten effekt.

9.3 Analyseområde 3

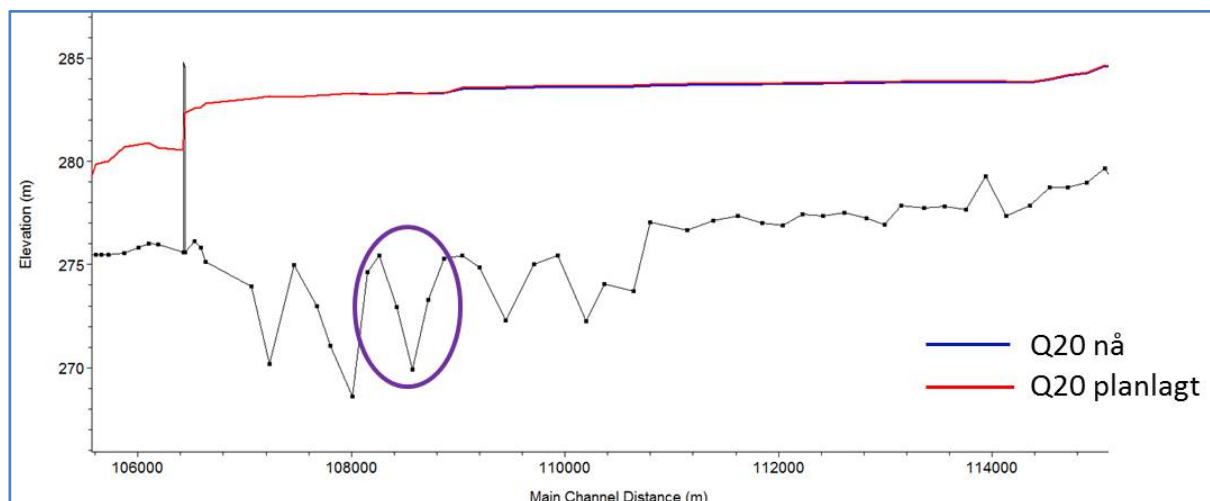
En oversikt over virkningen av tiltak i analyseområde 3 er å finne i tabell 9.5. I tillegg til det området som tiltakene er definert for, er også virkningsområdet angitt. Dessuten angis det tverrprofilen med maksimal endring i forhold til nåtilstand, oppgitt for en Q₂₀₀.

Tabell 9.5: Oversikt tiltak i analyseområde 3

Tiltak		Profil		Effekt vannlinje Q200			
		fra km	til km	fra km	til km	max	Profil km
34 V00	Senke terskel	107,748	107,765	108,038	114,153	-0,03	108,038
34 V01	Senke terskel/ utvide flomløp	107,765	108,481	108,038	114,969	-0,08	108,656
34a V00	Fjerne Jernbanebru Sjoa	106,429	106,439	106,529	115,826	-0,88	106,529
34a V01	Masseuttak og fjerne bru	106,192	106,632	106,529	115,826	-1,04	106,529
35a	Ny trase for E6	111,651	113,174	113,174	114,327	0,03	113,374
35b	Masseuttak	113,174	113,557	113,751	113,969	0,00	113,751
35c	Masseuttak og ny trase for E6	111,651	113,557	113,174	113,557	0,03	113,374
36	Masseuttak	115,714	118,859	115,826	128,609	-0,59	119,129
37	Innslipp og magasinering	125,680		115,351	128,609	-0,04	125,844
39a	Senking elvebunn	118,217	129,620	118,413	128,738	-0,71	129,096
39b	Senking elvebunn	118,217	129,620	118,413	128,738	-0,24	126,383
39c	Senking elvebunn	118,217	129,620	118,413	128,738	-0,37	126,010

9.3.1 Tiltak 34

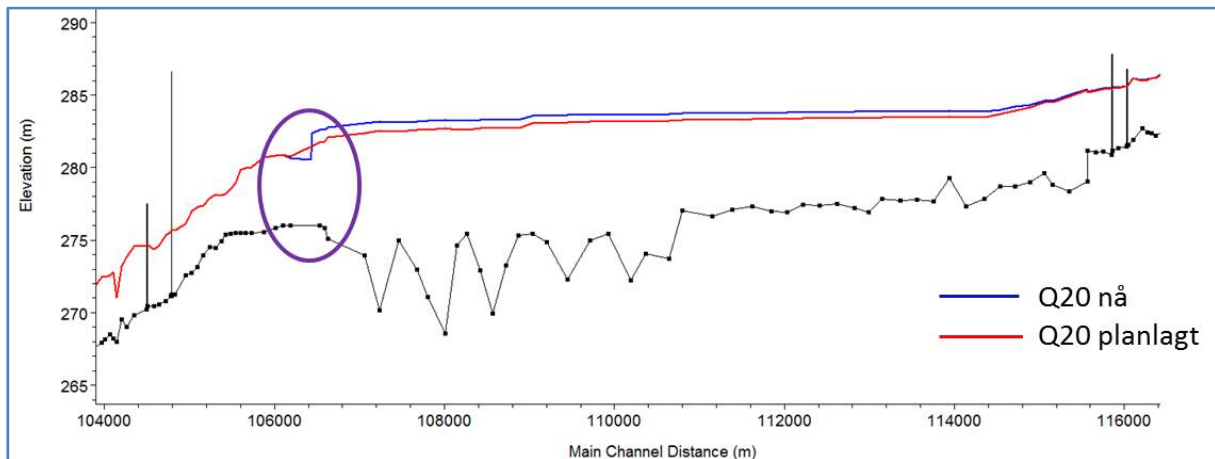
Med tiltak 34 skal vannstanden ved flom senkes mellom Sjoa og Otta. Ved Veslestraumen/Sandbu ligger det en bunnterskel på et smalt sted. Med tiltak 34 versjon 00 er terskelen senket, i versjon 01 er i tillegg elveleiet utvidet. Det viste seg imidlertid at begge tiltakene bare hadde liten virkning på vannstanden; ved versjon 00 vil det kun oppnås en senking på maks 0,03 m og ved versjon 01 maks 0,08 m. Ser man på det beregnede hydrauliske lengdesnittet (figur 9.1), viser det seg imidlertid at vannstanden mellom jernbanebrua ved Sjoa og ca. km 114,500 så å si ikke har noe fall, og at området som ble analysert for tiltak 34 ikke har noen nevneverdig effekt på vannstanden. Nedstrøms jernbanebrua faller vannstanden mye.



Figur 9.1: Hydraulisk lengdesnitt ved Q_{20} for tiltak 34 versjon 01 sammenlignet med nåtilstand

Derfor ble i tiltak 34a jernbanebrua analysert. I versjon 00 ble brua fjernet helt fra modellen. Det medfører en senking av vannstanden på inntil 0,88 m ved Q_{200} . Senkingen er målbar helt til Otta.

I versjon 01, som i tillegg omfatter masseuttak i området ved brua, kan det oppnås en ytterligere senking på samlet over 1,0 m (se figur 9.2).



Figur 9.2: Hydraulisk lengdesnitt ved Q_{20} for tiltak 34 versjon 01 sammenlignet med nåtilstand

Det må imidlertid vektlegges at vannstanden er beheftet med usikkerhet, da det bare ved brua foreligger terrengdata fra ekkoloddmålinger. Rett nedstrøms brua foreligger det ikke slike data, og elvebunnen er bestemt ved senere utgraving (se avsnitt 3.3).

9.3.2 Tiltak 35

Den planlagte flyttingen av traceen for E6 ved Solhjem (tiltak 35a) nærmere elva vil medføre en innsnevring av strømningstverrsnittet. De beregnede vannstandsøkningene blir imidlertid liggende på verdier klart under 10 cm. Masseuttaket som ble analysert i tiltak 35b har knapt noen målbar innvirkning på vannstanden. Dermed blir det i tiltak 35c med den analyserte kombinasjonen av ny E6-trace og masseuttak, beregnet tilnærmet de samme ubetydelige vannstandsøkningene som ved tiltak 35a.

9.3.3 Tiltak 36

Masseuttakene ved Otta, analysert som tiltak 36, medfører vannstandsening på inntil nesten 0,6 m. Senkingen er målbar oppstrøms til ca. km 139,000.

9.3.4 Tiltak 37

Ved tiltak 37 ble Selsmyrene på høyre bredd av Lågen oversvømt i flom ved hjelp av et flomoverløp. Tabell 9.6 viser maksimal bortledet vannføring samt oversvømmelsens høyde og volum på Selsmyrene for de fire analyserte gjentakintervallene. Til tross for de relativt store bortledede mengdene får man i selve elva bare en mindre senking av vannstanden på < 0,5 cm i forhold til nåtilstand.

Tabell 9.6: Resultat av beregninger for magasinareal Selsmyrene

	Maks tilløp [m ³ /s]	Høyde (moh.)	Volum 1000 m ³
Qm	31	295,40	1684
Q20	51	297,27	7405
Q50	53	297,59	8474
Q200	58	297,90	9542

Det må påpekes at 1D-beregningen av tiltakene er beheftet med usikkerhet, siden det oppstrøms bortledningen skjer oversvømmelser når den definerte levee-høyden overskrides i modellen. I modellen er det for dette avsnittet gjort bruk av hele tverrsnittet av tverrprofilen inklusive Selsmyrene. For profilet nedstrøms brukes det innsnevrede tverrsnittet til leveen før denne overskrides. Den vannmengden som allerede har rent ut på Selsmyrene oppstrøms, blir det ikke tatt hensyn til i profilene nedstrøms. Den parallelle strømmingen som oppstår mellom Lågen og høyre forland bak flomvollene, samt de konkrete stedene hvor flomvollen overstrømmes, kan ikke gjengis med 1D-modellen. Vi foreslår derfor å beregne denne vannførings situasjonen med en 2D-modell.

9.3.5 Tiltak 39

Senkingen av elvebunnen ved tiltak 39 er foretatt i 3 trinn på 0,3 m, 0,6 m og 0,9 m. Den senkingen som gjennomsnittlig ble oppnådd ved Q_{200} for området mellom ca. km 118,500 og km 128,500, er angitt i tabell 9.7.

Tabell 9.7: Gjennomsnittlig senking av vannstanden ved km 118,500 – 128,500 for Q_{200}

Tiltak	Senking elvebunn [m]	Effekt vannlinje [m]
39a	-0,30	-0,07
39b	-0,60	-0,20
39c	-0,90	-0,33

Beregningene viser at uttaksdybden i elvebunnen ikke er lik senkingen av vannstanden. Det trengs en betydelig større uttaksdybde for å oppnå en bestemt vannstands senking.

I tabell 9.5 er det oppført en ekstrem vannstands senking for tiltak 39a langt oppstrøms ved km 129,096. Denne er på over 0,7 m, altså betydelig høyere enn endringen lenger nedstrøms og også høyere enn ved de større uttakene i tiltak 39b og 39c. Grunnen til dette er det bratte terrenget, hvor det til dels opptrer strykende vannføring. Den sterke senkingen i dette profilet skyldes altså en strømningsveksling.

9.3.6 Sammendrag og vurdering analyseområde 3

Senking og utvidelse av elvetverrsnittet ved Veslestraumen (tiltak 35 versjon 00 og 01) viste seg ved beregningene å ha liten effekt. Ved analyse av det beregnede hydrauliske lengdesnittet viste området ved jernbanebrua seg å ha en betydelig større oppdemmende virkning. Derfor ble det som tiltak 35a (versjon 00 og 01) gjennomført tilleggsundersøkelser. Fjerning av brua og masseuttak ville gi en betydelig større senking av vannstanden.

Den beregnede virkningen av den nye traceen for E6 (tiltak 35a) kan det ses bort fra. Også det undersøkte masseuttaket i nærheten av traceen har liten effekt på vannstanden ved flom. Bare ved mindre flomhendelser kan det påvises en virkning. Det innebærer at det også kan ses bort fra den kombinerte virkningen av de to tiltakene (tiltak 35c).

Bunnsenkingen ved Otta (tiltak 36) kan medføre en til dels betydelig vannstandssenking ved flom, som vil føre til en avlastning i selve Otta.

Tiltak 37 med bortledning og målrettet oversvømmelse av Selsmyrene gir i modellen bare liten virkning på vannstanden i Lågen. Imidlertid vil, som beskrevet i avsnitt 9.3.4, situasjonen med en lavtliggende myr parallellt med Lågen og adskilt fra elva med en flomvoll, beskrives utilstrekkelig i en 1D-modell.

Bunnsenkingen i tiltak 39 viser seg å være effektiv og kan medføre en tydelig senking av vannstanden ved flom.

10. Sammendrag

Det er satt opp en hydraulisk modell av Gudbrandsdalslågen for å beregne oversvømt areal og analysere flomsikringstiltak.

Den omfatter området fra vannmerket Rosten nord for Nord-Sel til utløpet i Mjøsa. Det tilsvarer en strekning på ca. 130 km. I tillegg vurderes utløpene av Gausa (ca. 4,2 km) og Otta (ca. 4,5 km) i Gudbrandsdalslågen.

Det er gjort bruk av den hydrauliske 1D-modellen HEC-RAS i versjon 5.0.3. Beregningene gjennomføres stasjonært („steady flow“) med „mixed flow regime“. Som nedre randbetingelse defineres vannstanden i Mjøsa ved modellens avslutning.

Til modellen ble det tatt opp 1118 tverrprofiler. For å utlede geometrien ble det gjort bruk av høyoppløste digitale høydemodeller, som er satt sammen av to datamodeller. Forlandsdataene skriver seg fra flybasert laserscanning, mens elvebunnen er målt med ekkolodd. Det foreligger imidlertid ikke slike data for hele strekningen. Derfor er det for avsnittet km 73,400 – 106,500 beregnet et masseuttak basert på noen av tverrprofilene som forelå for dette avsnittet. For Losnavatnet er beregningen foretatt på grunnlag av et dybdekart.

Det er utledet ruheter fra arealruksdata (AR5) for samtlige tverrprofiler. I modellen er det tatt hensyn til 32 bruer og demningene ved de to vannkraftverkene Harpefossen og Hunderfossen. Eksisterende flomvoller ble definert som levee, slik at de overstrømmes først når flomvollens høyde er nådd.

Modellen ble kalibrert ved tilpasning av ruhetene i elva på grunnlag av flomhendelsene i 2011 og 2013. For disse hendelsene forelå det vannføringsmålinger fra de tre vannmerkene Rosten, Eide og Losna samt vannstandsmålinger fra analyseområdet.

De tre vannføringsmålingene fra vannmerkene ble overført til det samlede hydrologiske lengdesnittet av analyseområdet ved interpolasjon. Det viste seg stort sett å være god korrespondanse mellom beregnet vannstand og flommerkene. For området mellom Rustberg og Granrudmoen (km 23,9 - 17,9), hvor det er flommerker for begge hendelsene, viste det seg imidlertid at de antatte vannstandene var betydelig undervurdert. Årsaken til dette er ikke helt klar. Det antas at de stipulerte vannføringene er undervurdert.

Det ble gjennomført en følsomhetsanalyse for elveruhetene og vannføringene. De ruhetene som ble fastlagt ved kalibreringen varierer med +/- 20 %, og det samme ble gjort med vannføringene.

Med følsomhetsanalysen av ruheten opptrådte det i snitt avvik på ca. +/-0,2 – 0,3 m i forhold til den kalibrerte modellen. Større avvik ble funnet i områder der økt eller redusert ruhet fører til forskyvning av steder der strømmingssprang skjer. Med følsomhetsanalysen av vannføringen tiltar forskjellene med økt gjentaksintervall, slik at det for Q_n ble registrert et avvik i gjennomsnitt mindre enn +/- 0,2 m, mens det for Q_{1000} ble beregnet vannstandsforskjeller i gjennomsnitt på mer enn +/- 0,8 m. Analogt med følsomhetsanalysen av ruhetene opptrer det større avvik ved strømningsendringer.

Modellens usikkerhet er blitt diskutert. Det er undersøkt forskjellige usikkerhetskilder som anvendte vannføringer, modellgeometrien, modellparameterne, randbetingelser og modellmetode. Generelt oppviser områdene der det skal vurderes tiltak, en relativt høy modellnøyaktighet. Det skyldes i første rekke den gode tilgangen på data (f.eks. høydemodeller og vannstandsmålinger til kalibrering).

Det anbefales generelt et sikkerhetspåslag på 0,5 m. I områder med større usikkerhet bør det imidlertid legges til et sikkerhetspåslag som minst tilsvarer antatt modellnøyaktighet.

Beregningene av nåtilstand ble gjennomført for 10 forskjellige gjentaksintervaller (Q_n , Q_m , Q_5 , Q_{10} , Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} , Q_{200} , Q_{500} og Q_{1000}). De brukte vannføringene stammer fra studien "Flomberegning for Gudbrandsdalsvassdraget" fra NVE (Rapport nr. 157-2015). I tillegg til flomhendelsene i Gudbrandsdalslågen ble også flomhendelsene i Otta og Gausa undersøkt i utløpsområdet, også disse med samme gjentaksintervall. Ved utregningen av de oversvømte arealer ble det beregnet maksimal utbredelse fra begge hendelsene.

I tillegg til beregning av oversvømte arealer i nåtilstand ble det også analysert flere tiltak og tiltakskombinasjoner. Tiltakene deles inn i tre avsnitt:

- Analyseområde 1: Mjøsa - Gausa,
- Analyseområde 2: Tretten - Hundorp
- Analyseområde 3: Otta - Sel.

Det er analysert 26 tiltak i ulike varianter og kombinasjoner. Tilsammen er det 59 forskjellige planlagte tilstander som er satt opp i modellen og regnet ut.

De fleste analyserte tiltakene består i bygging, flytting eller heving av flomvoller samt masseuttak. Det er også undersøkt virkningen av bortledning fra elva, endringer i bruceometri samt forskjellige tracevarianter for den planlagte nybyggingen av E6, som går parallellt med Gudbrandsdalslågen. Planlagt tilstand ble enten satt opp direkte i modellen eller i GIS-systemet ved manipulering av den digitale høydemodellen som lå til grunn og ny oppsetting av tverrprofilens geometri. Beregningen av tiltakene og kombinasjonene ble alltid gjennomført med den komplette modellen. Et unntak er tiltak 37, da dette på grunn av den instasjonære beregningen begrenser seg til avsnittet oppstrøms utløpet av Otta.

Alle tiltakene ble, som også nåtilstand, beregnet for 10 gjentaksintervall. Effekten av de enkelte tiltakene samt variasjonene og kombinasjonene av dem ble vurdert ved sammenligning av beregnede vannstander med nåtilstand, og deretter ble de bedømt i forhold til hverandre.

Det viste seg at tiltak parallelt med elva, som flomvoller eller de analyserte traceene for E6, riktignok fører til innsnevring av strømningsverrsnittet og dermed til lokal økning av vannstanden, men denne effekten avtar raskt oppstrøms. Stort sett er disse virkningene relativt små på grunn av den generelt store bredden på elva.

Bedre virkning oppnås med masseuttak i elva, som gjør elva dypere og til dels også bredere. Imidlertid er virkningen avhengig av beliggenheten av uttaket. Det ble oppnådd størst senking av vannstanden på smale steder, mens i brede elveavsnitt kan selv svært store masseuttak føre til lite relevant senking av vannstanden ved flom. Spesielt vidtrekkende viste tiltaket ved Tretten (tiltak 15) seg å være, i søndre ende av Losnavatnet. Dette tiltaket medfører ikke bare at vannstanden i hele Losnavatnet senkes, men virkningen forplanter seg også langt oppstrøms.

Eching am Ammersee, den 18.05.2017



Dr. Blasy - Dr. Øverland
Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG

Bearbeider:

Dr. Andreas Heckl (Dipl.-Geogr.)
Dr.-Ing. Manfred Schindler

Bilag

Digitale Data

Oversikt digitale data

DVD 1	Rapport – hydraulikk Gudbrandsdalslågen.pdf 1 Datagrundlag modelutarbeidelse Arealtilstand Avrenning Konstruksjoner Terrengmodell
DVD 2	2 Fotos Fotos_Gudbrandalslagen_2016-07-18
DVD 3	Fotos_Gudbrandalslagen_2016-07-19
DVD 4	Fotos_Gudbrandalslagen_2016-07-20
DVD 5	3 Modell HEC-RAS_Lagen.zip HEC-RAS_Tiltak_37.zip 4 Resultater Flomsoner_nåtilstand.zip Flomsoner_tiltak.zip resultater_analyseområde_1.xlsx resultater_analyseområde_2.xlsx resultater_analyseområde_3.xlsx 5 Oversikt tiltak oversikt_tiltak.pptx oversikt_tiltak.pdf 6 Plantegninger

Oversikt digitale plantegninger

Tegning nr.	Betegnelse	målestokk
H100	Oversiktskart	1:10.000
H200	Oversømt areal flom 2013	1:10.000
H300	Følsomhetsanalyser friksjon Q_{20}	1:10.000
H301	Følsomhetsanalyser friksjon: Differanse i vannstanden Q_{20} : $k_{st+20\%} - k_{st \text{ kalibrert}}$	1:10.000
H302	Følsomhetsanalyser ruhet: Differanse i vannstanden Q_{20} : $k_{st+20\%} - k_{st \text{ kalibrert}}$	1:10.000
H303	Følsomhetsanalyser vannføring: $Q_{20} +/-20\%$	1:10.000
H304	Følsomhetsanalyser vannføring: Differanse i vannstanden $Q_{20+20\%}-Q_{20}$	1:10.000
H305	Følsomhetsanalyser vannføring: Differanse i vannstanden $Q_{20-20\%}-Q_{20}$	1:10.000
H400	Oversømt areal Q_n	1:10.000
H401	Oversømt areal Q_m	1:10.000
H402	Oversømt areal Q_{20}	1:10.000
H403	Oversømt areal Q_{200}	1:10.000
H404	Oversvømt areal $Q_5, Q_{20}, Q_{200}, Q_{1000}$	1:10.000