

RAPPORT


STORØYNE, GOL – HYDRAULISKE FORHOLD VED PLANLAGT UTBYGGING
 REVIDERT RAPPORT 17.03.2023



KUNDE Hallingdal Bilsenter AS	PROSJEKT Flom ved Storøyne på Gol	DATO 21.12.2022
PROSJEKTNUMMER 10232769	UTFØRENDE Kjetil Sandsbråten	REV. DATO 17.03.2022

Rapporteringsstatus:

- Endelig
- Oversendelse for kommentar
- Utkast

Utarbeidet av: Kjetil Sandsbråten	Sign.: 
--	--

Innholdsfortegnelse

1.	Innledning	4
2.	Kort oppgavebeskrivelse	4
3.	Beskrivelse av planområde	4
4.	Vassdraget	4
5.	Vassdragsreguleringer i elvene	6
6.	Eksisterende flomvurderinger i området.....	7
7.	Krav til sikkerhet mot naturpåkjenninger	9
8.	Vannstandsreguleringer langs planområdet.....	10
8.1.	Hydraulisk programvare.....	10
8.2.	Grunnlag og forutsetninger for modelleringen	10
8.3.	Kartgrunnlag, kartdata og elvenes geometri	10
8.4.	Nylige endringer av terreng i planområdet.....	14
8.5.	Eksisterende hydrauliske strukturer	15
8.6.	Ruhet	20
8.7.	Grensebetingelser	20
8.8.	Sensitivitetsanalyse	20
8.9.	Usikkerhet og sikkerhetsmargin	20
9.	Resultater av vannlinjeberegningene	21
9.1.	Dagens forhold.....	21
9.2.	Planlagte forhold.....	23
9.	Sammendrag	29
10.	Referanser.....	30

1. Innledning

Sweco Norge AS har på vegne av Hallingdal Bilsenter og Turhus Maskin gjort vurderinger og utført beregninger av påvirkningen fra flom på planlagt utbygging på Storøyne nederst ved samløp mellom Hemsila og Hallingdalselva. Arbeidet gjøres i forbindelse med forslag til detaljregulering.

Denne rapporten beskriver i detalj virkningen for flom og vannstandsending i vassdragene, Hemsila og Hallingdalselva, som følge av det planlagte tiltaket.

På bakgrunn av tilbakemeldinger fra møte med kommune og NVE medio februar 2023 er den planlagte utbyggingen og flomsikringen av arealene på Storøyne justert. Dette er foretatt for å imøtekomme kravet om at utbyggingen ikke skulle gi endrede vannstandsforhold ved bruene langs Rv7. I tillegg til justeringer av utbyggingsarealet er det foretatt en innmåling av en rekke nye tverrprofiler i Hemsila og Vesleåna for å få et forbedret dybdekart på strekningene til underlag for den hydrauliske modellen.

Samlet sett gir nå de planlagte tiltakene med flomvoller og terrengheving på området tilstrekkelig flomsikring for utbyggingsarealet uten endring (~1 cm) i vannstandsforholdene ved Sletteemoen og Viko bru på Rv7. I tillegg vil større deler av Storøyne og Rv7 gjennom området, som i dag er flomutsatt, være bedre sikret.

2. Kort oppgavebeskrivelse

Eksisterende flomberegninger for vassdraget gjennomgås og nye beregninger foretas i den grad det anses nødvendig. På bakgrunn av dette fastsettes flomstørrelser for Q200 inkludert nødvendige klimapåslag for denne nedre delen av Hemsila og Hallingdalselva ved samløpet.

Vannstandsstigningen i elvene modelleres og beregnes på grunnlag av denne flomstørrelse og vil sammen med en topografisk beskrivelse av dagens terreng i og langs elveløpet og planene for tiltaket gi grunnlag for utarbeidelse av flomsoner og beskrivelse av reell flomfare i området.

Planområdet vil uten tiltak på området berøres av flom og nødvendige tiltak for sikring beskrives kort. Eventuell detaljprosjektering av vurderte tiltak må senere utføres.

3. Beskrivelse av planområde

Planområdet ligger på en stor elveavsetning ved samløpet mellom Hemsila og Hallingdalselva.

På nordsiden av området deler Hemsila seg og går dels i et mindre løp på nordsiden (Vesleåna) og i et større løp på vestsiden av området. Området er i seg selv dannet av masser som elvene har lagt igjen over årtusener. Deler av området har tidligere vært benyttet som slåtteeng/beitemark men som nå i de siste 15 årene har hatt en kraftig næringsutvikling på arealene.

Flyfotoene fra 2006 i Figur 1 og fra 2020 i Figur 2 viser utviklingen i området de siste 15 årene. Dronefoto fra i år, vist i Figur 3, viser at det også store endringer på den vestre delen i planområdet med en god del masseforflytning.

Planområdet som nå vurderes er markert på Figur 2 og i Figur 3.

4. Vassdraget

Denne delen av Hallingdalsvassdraget strekker seg fra de nordlige delene av Hardangervidda, øst for Hardangerjøkulen, og til de østlige delene av Hemsedalsfjella. Etter samløp av elvene ved Gol renner Hallingdalselva videre ned til utløp i Krøderen. Fra Krøderen renner Snarumselva som går i samløp med Drammenselva nedstrøms Tyrifjorden. Ved samløp av Hemsila med Hallingdalselva ved Gol er nedbørfeltet på totalt 3260 km².



Figur 1 Flyfoto 2006 (norgebilder.no)



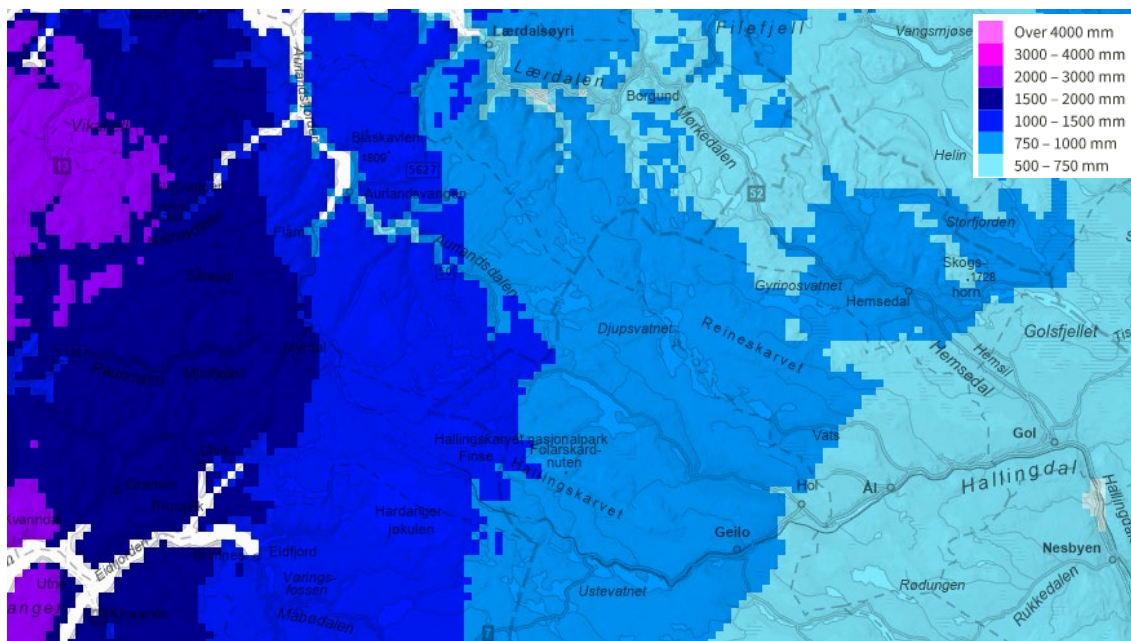
Figur 2 Flyfoto 2020 (norgebilder.no). Planområdet markert med rød stiplet linje.



Figur 3 Dronefoto 2022. Med plassering av eksisterende og planlagt utbygging (HB er Hallingdal bilsenter).
Foto: Turhus maskin

Nedbørfeltet til Hemsila er ved samløpet med Hallingdalselva på 938 km² og Hallingdalselva sitt nedbørfelt på om lag 2320 km². Normalt årsavløp etter samløpet er på 86 m³/s, tilsvarende 26,5 l/s km².

Årsmiddeltemperaturen i nedbørfeltet er på -1,9 °C med en sommertemperatur på 5,0 °C og en vintertemperatur på -6,7 °C. Årsnedbøren er på om lag 840 mm. Nedbøren har en jevn økning oppover vassdraget. Normal årsnedbør øker fra 550 mm ved Gol, 700 mm i Hemsedal og på Geilo, til 1030 mm på Finse. Mest nedbør er det i fjellområdene vest i Hemsedal med over 1500 mm og i området ved Hardangerjøkulen med over 2000 mm (Figur 4).



Figur 4 Nedbørsnormal 1991-2020. Data fra senorge.no.

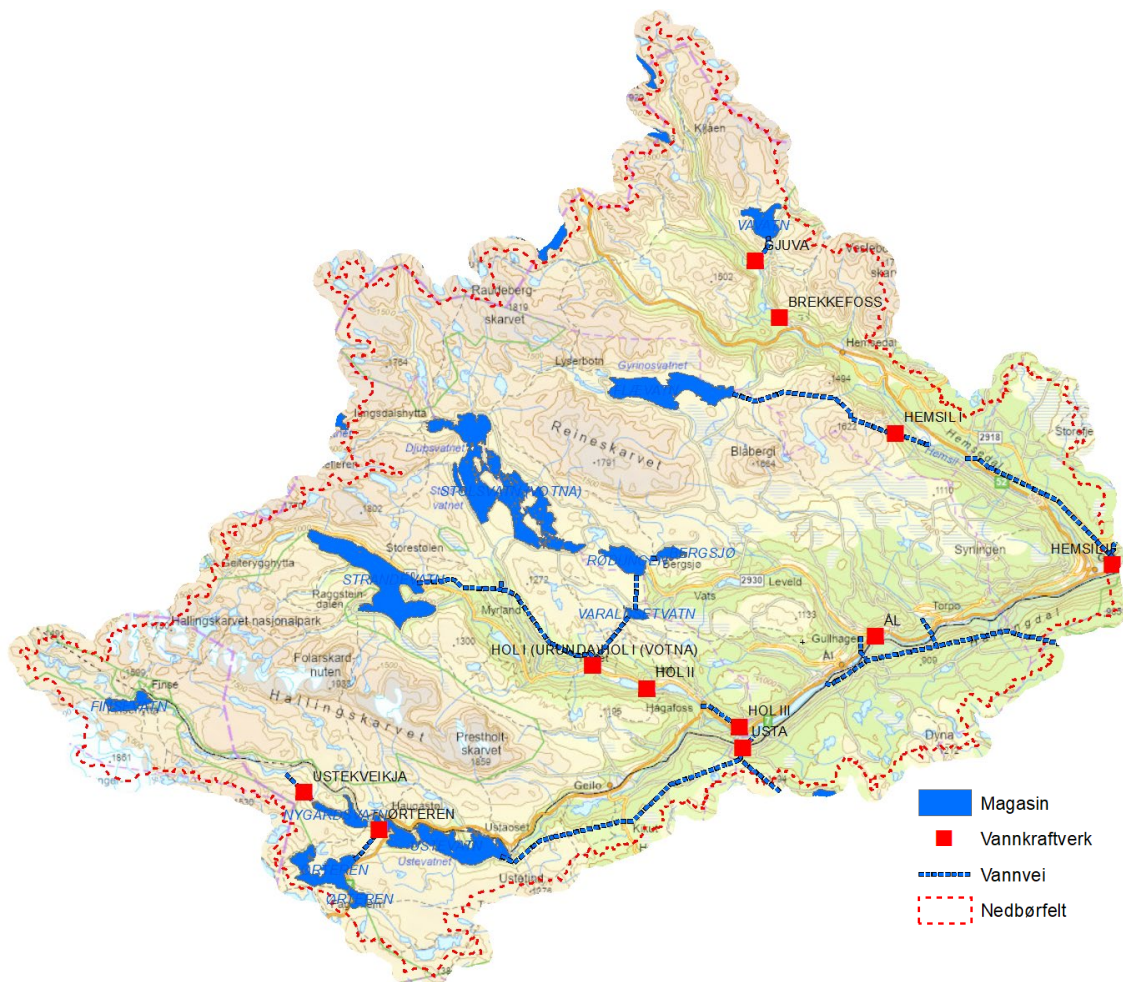
5. Vassdragsreguleringer i elvene

Fra omkring 1950 har det vært en rekke kraftutbygginger i vassdraget som vist i Figur 5. Dette har i sterk grad påvirket vannføringen i Hallingdalsvassdraget, også flomforholdene.

I Hemsedal var det en omfattende kraftutbygging i perioden 1956-60 med bygging av blant annet kraftverkene Gjuva, Brekkefoss, Hemsil I og Hemsil II.

I den vestligste grenen av vassdraget ligger kraftverkene Ustekveikja, Ørteren og Usta. Usta kraftverk er det største og utnytter et fall på 540 m ned til Strandafjorden. Holselv, Urunda og øvre del av Votna, som er bielver til Hallingdalselva utnyttes til kraftproduksjon i kraftverkene Hol I, II og III. Strandafjorden, som mottar vann fra kraftverkene Usta og Hol III er samtidig inntaksmagasin for Nes kraftverk.

I Hallingdalselva mellom Strandafjorden og Gol ligger Ål kraftverk. Det utnytter et mindre fall i selve hovedvassdraget og betyr lite for flomforholdene nedstrøms. Viktigere for forholdene ved Gol er at flere sideelver blir tatt inn på tunnelen fra Strandafjorden til Nes kraftverk. Fra nordsiden av Hallingdal blir nedre del av Votna og Lya tatt inn, mens fra sør er Ridøla tatt inn. Disse elvene rant tidligere ut i Hallingdalselva oppstrøms Gol. Ytterligere beskrivelse av reguleringene finnes i (NVE, 2004).



Figur 5 Samlet nedbørfelt nedstrøms samløp av Hemsila og Hallingdalselva ved Gol.

6. Eksisterende flomvurderinger i området

NVEs aktsomhetsområder for flom er et nasjonalt kart på oversiktsnivå som viser hvilke arealer som potensielt kan være flomutsatt.

Aktsomhetsområder for flom er produsert på bakgrunn av hydrologiske modeller, basert på erfaring fra norske vassdrag og en digital terrengmodell (NVE 7/2011). Fra 2020 er det langs elver i aktsomhetskartet inkludert et område på minimum 20 m fra kant av elv. Vannstandsstigningen kan derfor ofte være overestimert ved bruk av denne metoden og en mer detaljert kartlegging kan redusere aktsomhets-områdenes utstrekning.

Kartet i Figur 1 er basert på en ny beregning fra NVE i juli 2020 med oppdaterte data og terrengmodell med 10 meters oppløsning (DTM10) fra 29.6.2020 (<https://temakart.nve.no/tema/flomaktsomhet>). Nivået på aktsomhetskartet er tilpasset kommunal oversiktsplanlegging og kartene sier ingen ting om sannsynlighet og bør derfor ikke alene brukes i reguleringsplanarbeid eller for å vurdere utbygging etter sikkerhetskravene i byggeteknisk forskrift.

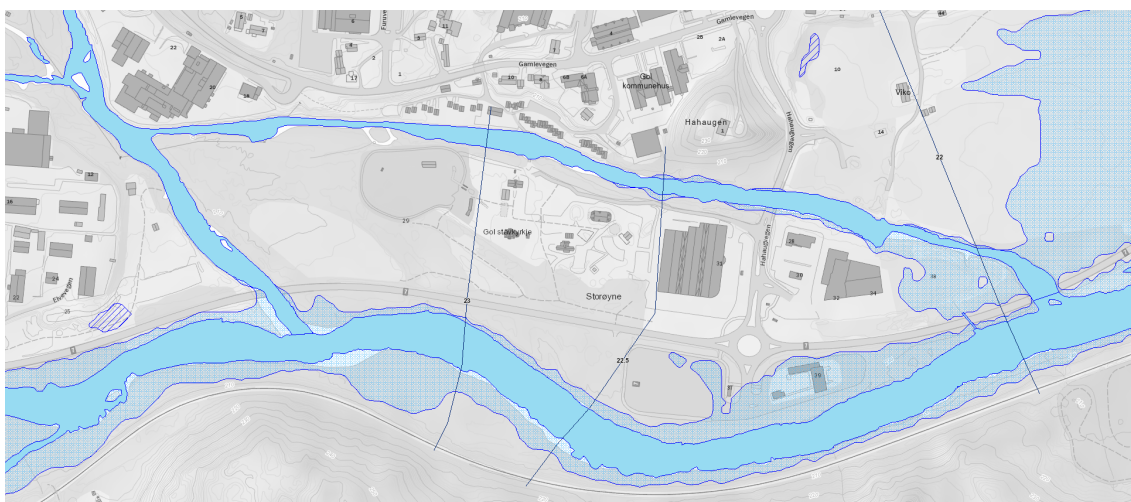
Det er foretatt flomsonekartlegging ved og nedstrøms planområdet i selve Hallingdalselva. Dette inkluderer imidlertid ikke områdene langs Hemsila (NVE, 2006). Utarbeidet flomsone for Q200 i Hallingdalselva er vist i Figur 7.

Oppstrøms i Hemsila ble det i 2014 gjort en oppdatering av tidligere flomsonekart, på en 5 kilometer lang mellom Hemsedal sentrum og Ulsåk (NVE, 2014).

I forbindelse med alle disse flomsonekartprosjektene er det gjort omfattende flomberegninger som grunnlag for fastsettelse av flomstørrelser. Disse er beskrevet i hhv. (NVE, 2001), (NVE, 2004), (NVE, 2006) og (NVE, 2014) i tillegg til to kortere notat fra 2010/2011 (NVE, 2010) og (NVE, 2011).



Figur 6 Flomaktsomhetskart over samløpet mellom Hemsila og Hallingdalselva (NVE 2022)



Figur 7 Utarbeidet flomsone for Q200 i Hallingdalselva (NVE, 2006).

Flomanalysene har vist at vårflokker er dominerende i hovedvassdraget, men det kan være sommer- og høstflokker, spesielt i de mindre sidevassdragene. Reguleringene i både Hallingdalselva og Hemsila har ført til en kraftig reduksjon av flomvannføringer i vassdragene. Størst reduksjon i m^3/s er antatt for flokker med gjentaksintervall på 50 år. For mer sjeldne flokker antas det at reguleringene gradvis har mindre innflytelse, slik at ved en 500-års flom regnes vassdraget som om det var uregulert.

Den siste flomberegningen fra 2014 ble oppdatert med bl.a. lengre dataserier og redusert forholdstall mellom døgnmidler og kulminasjonsverdier i forhold til flomberegningene i (NVE, 2004). I hovedsak som følge av observasjoner gjort under de to store flommene i 2004 og 2007.

Dette har medført noe mindre kulminasjonsvannføringer, primært for større flokker. Datagrunnlaget for flomberegningene karakteriseres som godt og flomberegningen er klassifisert i klasse 2.

Det forventes ikke større flommer i store elver som i dag har snøsmelteflom som årets største flom. Snøsmelteflommene vil komme stadig tidligere på året og bli mindre mot slutten av århundret (Klimaservicesenteret, 2022).

Klimafremskrivninger indikerer dermed at det i Hemsil og Hallingdalselva ikke vil være noen endringer av 200-årsflommen frem mot år 2100 (NVE, 2016). Det anbefales derfor 0 % klimapåslag for områdene dekket av flomsonekart i Drammensvassdraget, deriblant dette området på Gol.

Mindre nedbørfelt (under 100 km²) med mindre magasineringskapasitet og raskere avrenning er imidlertid mer sårbare for økning i intens nedbør og det bør i slike små nedbørfelt antas 20 % økning i flomvannføringene.

Flomvannføringene for Q200 ved samløpet mellom Hemsila og Hallingdalselva er dermed som oppgitt fra (NVE, 2014) og vist nedenfor i Tabell 1.

Tabell 1 Benyttede kulminasjonsvannføringer

	Areal i km ²	QM i m ³ /s	Q200 i m ³ /s
Hemsil før samløp med Hallingdalselva	938	230	745
Hallingdalselva ved samløp Hemsil (ved kulminasjon i Hemsil)	2318	125	675

7. Krav til sikkerhet mot naturpåkjenninger

Arealplanlegging som tar hensyn til naturfare, er et viktig virkemiddel for å redusere risikoen for skader ved ekstreme naturhendelser som flom og ras. Den beste måten å forebygge på er å unngå å bygge i fareutsatte områder eller eventuelt ved å identifisere risiki og gjøre tiltak for å redusere eller unngå disse.

De antatte effekter av pågående klimaendringer gir grunn til å være mer på vakt mot flom og skred, og prosesser relatert til disse. Hyppigere og mere ekstreme nedbørshendelser gir nye utfordringer for bygging og overvannshåndtering, i både bebygde og ubebygde områder.

For tiltak eller byggverk gjelder PBLs § 28-1 «Grunn kan bare bebygges, eller eiendom opprettes eller endres, dersom det er tilstrekkelig sikkerhet mot fare eller vesentlig ulempe som følge av natur- eller miljøforhold. Det samme gjelder for grunn som utsettes for fare eller vesentlig ulempe som følge av tiltak». Det er videre gitt føringer i «Krav til sikkerhet mot naturpåkjenninger» i § 7 i «Forskrift om tekniske krav til byggverk» (Byggeteknisk forskrift, TEK 17). Denne er gjeldende for konstruksjoner og anlegg, også midlertidige.

For sikkerhet mot flom og stormflo skal det dimensjoneres eller sikres mot flom slik at den største nominelle årlige sannsynlighet (returperioden) avhengig av konsekvensgrad ikke overskrides.

For byggverk/konstruksjoner hvor konsekvens anses som liten er denne største nominelle årlige sannsynlighet satt til 1/20 eller 20 års returperiode (Sikkerhetsklasse F1). For middels konsekvens (F2), her innbefattet infrastruktur, er returperioden satt til 200 år og for byggverk/konstruksjoner med stor konsekvensgrad er returperioden på 1000 år (F3). Byggverk hvor konsekvensen av en flom er særlig stor, skal ikke plasseres i flomutsatt område.

F2 omfatter de fleste byggverk beregnet for personopphold, eksempelvis: bolig, fritidsbolig, skole og barnehager, kontorbygninger og industribygg. Det utredes her derfor for sikkerhetsklasse F2 tilsvarende flom og hendelser med gjentakintervall på 200 år.

8. Vannstandsberegninger langs planområdet

For å planlegge sikker arealbruk langs vassdrag er det nødvendig å vite hvor høyt vannstanden går ved store vannføringer, som oftest 200-års flom. I tillegg kan det være nødvendig å finne vannstander og vannutbredelser ved lavere vannføringer og gjentaksintervaller for å oppnå andre mål.

Beregning av vannstand for en gitt vannføring kalles vannlinjeberegninger. Samme metodikk kan benyttes for å vurdere virkningene av nye tiltak som her i dette tilfellet, bropilarer og midlertidig utfylling i og langs elveleiet.

Vannlinjeberegninger kan utføres ved hjelp av ulike hydrauliske datamodeller. De vanligste beregningene er endimensjonale, og brukes der vannet følger et godt definert løp i en retning. Hvis vannet strømmer i flere retninger, for eksempel ut over flomsletter, tilbake fra flomsletter eller kutter over meandersvinger, kan man også benytte to- eller tredimensjonale strømningsmodeller. Disse er ofte tyngre i bruk og krever større mengde med terreng- og hydrauliske parametere.

Frem til relativt nylig har slike modellverktøy vært i mindre bruk grunnet manglende tilgang på gode nok terrengdata og gode nok koblinger og håndtering av hydrauliske strukturer i vassdraget. Men med fremvekst av tilgang på laserdata og andre gode terrengdata over større områder samt bedre håndtering av hydrauliske strukturer er disse modellverktøyene blitt bedre i bruk.

8.1. Hydraulisk programvare

Beregningen av vannstander ved ønskede vannføringer i området er utført ved hjelp av den hydrauliske modellen HEC-RAS 6.3.1 fra 2022 (US Army Corps of Engineers).

Programmet er en én- og todimensjonal modell for beregning av stasjonære og ikke stasjonære strømninger og er et av de mest anvendte modellene innen hydrauliske beregninger i naturlig og kanaliserte elver. Programmet beregner gjennomsnittlig vannstand og hastighet i profilene. Det er benyttet to-dimensjonal beregning i dette arbeidet.

For den tidligere flomsonekartleggingen i Hallingdalselva ble det benyttet en en-dimensjonal modell.

For mer opplysninger om programmet, se <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

8.2. Grunnlag og forutsetninger for modelleringen

Grunnlagsbehov og forutsetninger for vannlinjeberegningene er gitt nedenfor:

- Vannføringer, se kapittel 8
- Modellert område, se kapittel 8.3
- Elvas geometri, se kapittel 8.3
- Elvas ruhet (strømningsmotstand), se kapittel 8.6
- Grensebetingelser, se kapittel 8.7

8.3. Kartgrunnlag, kartdata og elvenes geometri

Laserdata NDH Gol-Hemsedal 5 pkt 2018 (Terratec, 2018) er benyttet for området og nærliggende terreng. Dette er laserdata med en punkttetthet på 5 pkt/m². Høydemodell for dataene er NN2000.

I tillegg benyttes det en rekke innmålinger foretatt med C-POS GPS ved befarings høsten 2022, og enkelte innmålinger foretatt av Turhus maskin noe før.

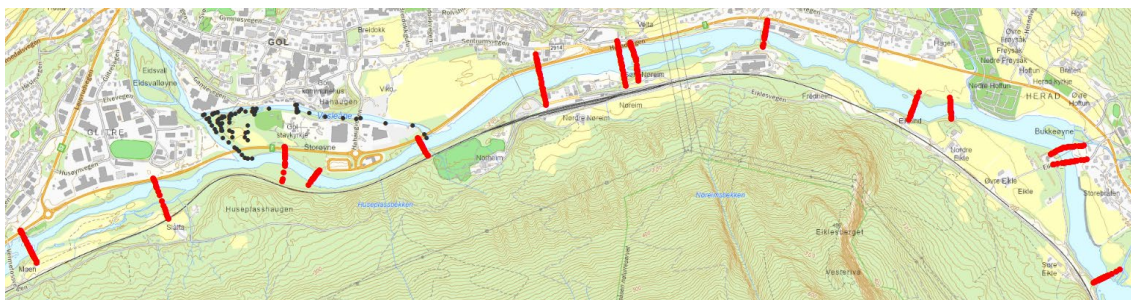
Flydato (innmålingsdato) for dette området var 31.05.2018. Fra oppdragsrapporten (Terratec, 2018) er det oppgitt en kontroll av høydenøyaktighet mellom laserdataene og kontrollpunkter med en høydefeil på om lag ± 6 cm.

Det er dessverre ingen observasjoner av vannføring under innmålingstidspunktet. Nærmeste målestasjon 12.611 Liaåni, rett nedstrøms Gol, ble opprettet i september 2018. Noe nedenfor denne ligger 12.167 Svenkerud som dessverre også mangler observasjoner mellom 1998-2019.

Gjennomgang av klimadata (nedbør/snø) på xgeo.no for perioden før innmålingstidspunktet gir ingen nedbør og snøfri forhold i størsteparten av nedbørfeltet, noe som indikerer forhold for lav vannføring i perioden med innmåling. Det var noe snøsmelting i svært høytliggende områder, oppstrøms reguleringsmagasin. Andre målestasjoner, snøkart og annen klimatisk informasjon fra regionen viser lite snø i forhold til normalt denne sesongen, en tidlig vår og overstått vårflokk under innmålingen.

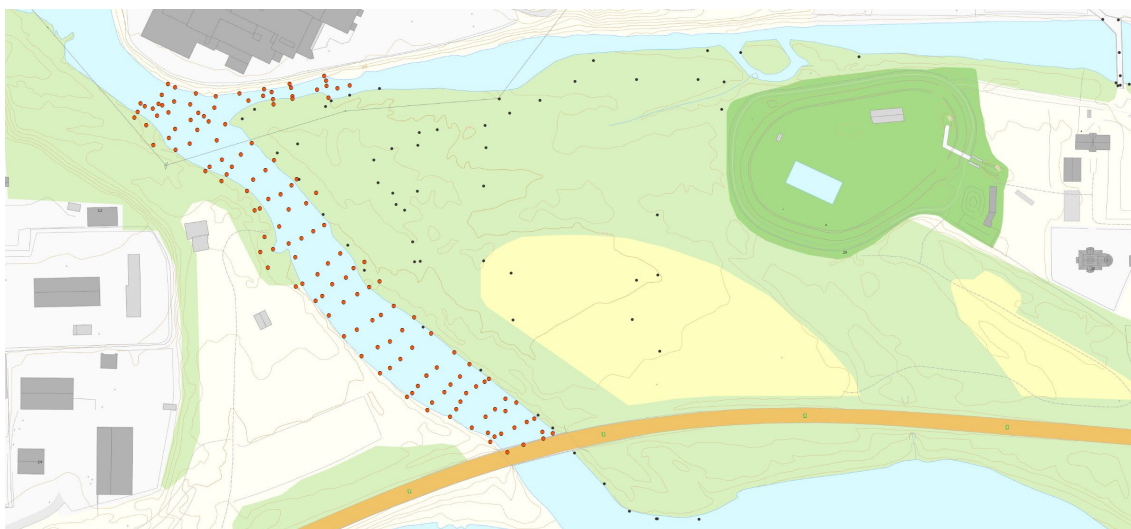
Dette gir en terrengmodell som sannsynligvis også har gode data et stykke ned i selve elveleiet. Terrengmodellen er også sammenholdt med flyfoto på strekningen for å forsikre oss om at elveleiet med eventuelle hydrauliske utfordringer også er godt beskrevet.

I tillegg er det gjort innmålinger av vannstand og vurdering av dybde i en rekke tverrprofiler under befaringen høsten 2022 som benyttes til å beskrive dybde og bunnforhold i terrengmodell og hydraulisk modellering. For dybdeforhold i Hallingdalselva er det benyttet tidligere innmålte tverrprofiler fra NVE. Alle punktmålinger vist nedenfor i Figur 8.



Figur 8 Punkttinnmålinger av høyde. Svarte punkt fra Sweco og røde punkt NVE.

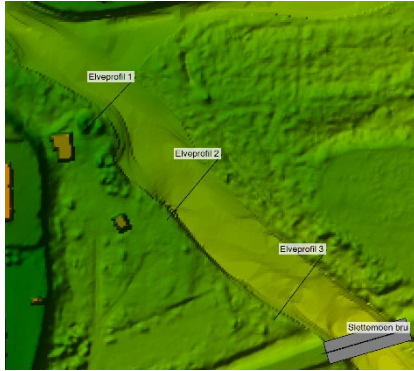
I februar/mars i år ble det innmålt over 150 nye punktmålinger i en rekke tverrprofiler i Hemsila og Vesleåna, i elveløpet langs det planlagte tiltaket, for å få en bedre beskrivelse av dybdeforholdene i elva.



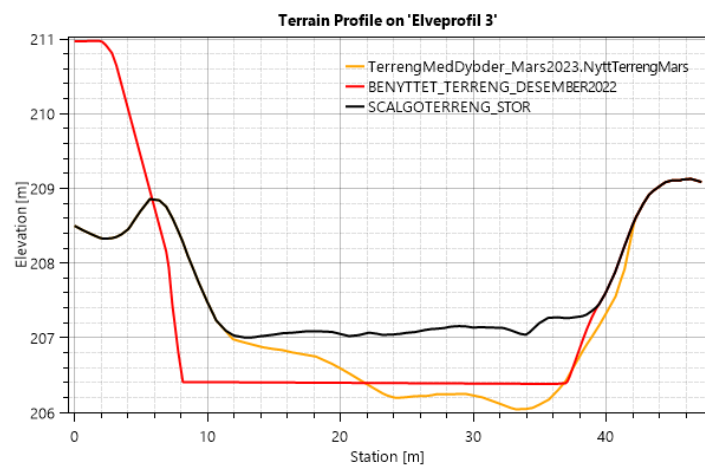
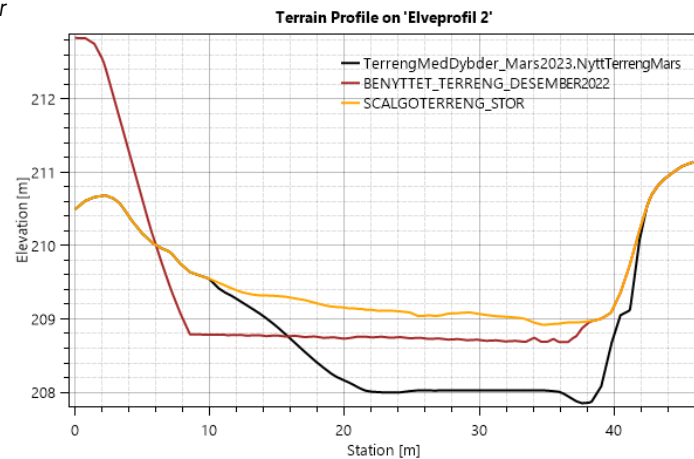
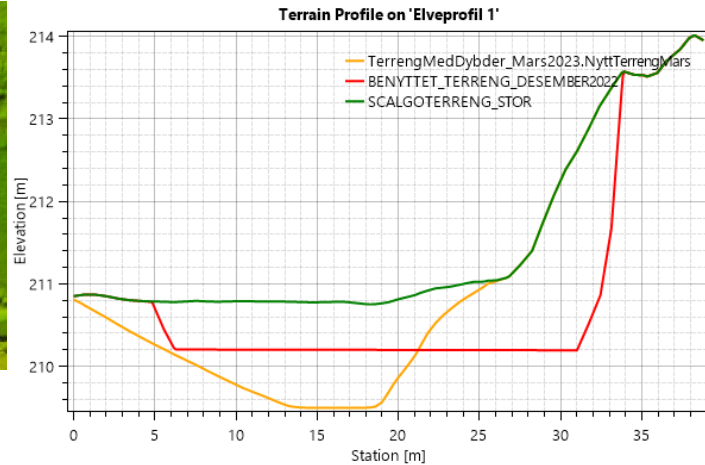
Figur 9 Nye innmålinger av høyde/dybde vinteren 2023

Plasseringen av punktmålingene er vist i Figur 9. Figur 10 nedenfor, vises tre tverrprofiler på elvestrekningen med tilhørende representasjon av elvebunnstopografien.

«Scalگو-terreng» er terrengprofilen direkte fra laserdata og «Benyttet terreng – Desember 2022» er den antatte elvedybden og -formen som ble benyttet i den hydrauliske modellen ved forrige modellering. Nye innmålinger gir et mere representativt bilde av elveløpet enn benyttet tidligere. Som antatt gir den en dypål og en mer korrekt representasjon for elvetverrsnittet. Generelt ligger dypeste punkt elvebunnen ca. 1 meter dypere enn laserdataene indikerer. Med bakgrunn i disse innmålingene er en TIN av elvebunnstopografien utarbeidet og benyttet i den hydrauliske modellen

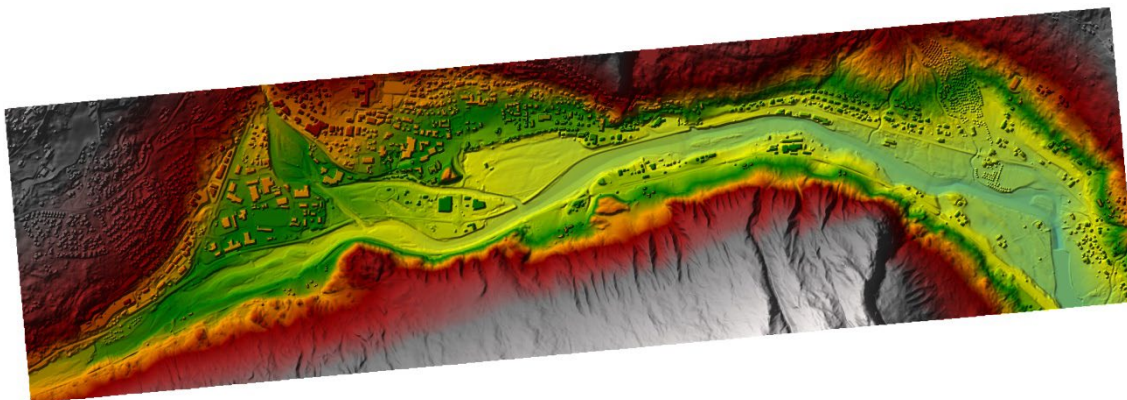


Figur 10 Tverrprofiler langs nedre del av Hemsila med terrengprofiler for gammel og ny representasjon av elvebunnstopografien. Terrengprofilene er sett nedover elven.

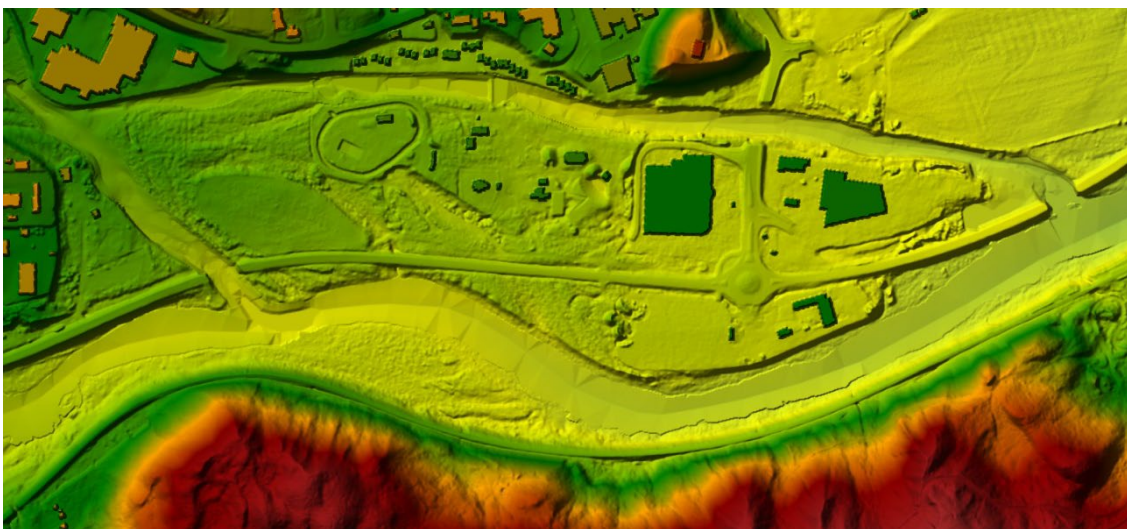


Utarbeidet elvebunnstopografi, laserdata samt FKB data på bygninger, vei og annen relevant informasjon er en digital terrengmodell med meget fin oppløsning (1 x 1 meter) laget med hjelp av modulene 3D-Analyst og Spatial Analyst i GIS programvaren ArcGIS 10.8.1 og benyttet som grunnlag i den hydrauliske beregningsmodellen.

Det modellerte området er vist i Figur 11, over planområdet i mer detalj i Figur 12 og lengdeprofil av Hallingdalselven i Figur 13.

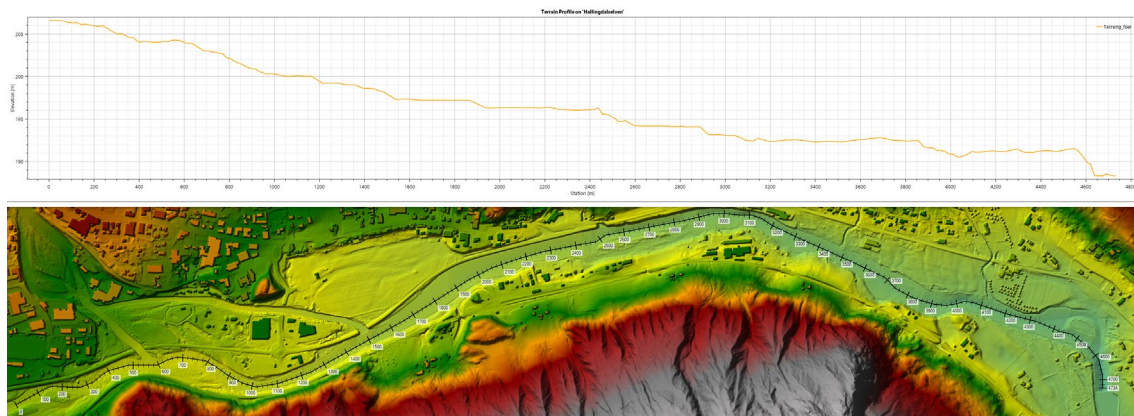


Figur 11 Detaljert terreng- og dybdemodell av Hallingdalselva og Hemsila.



Figur 12 Detaljert terrengmodell over planområdet.

Området nedstrøms samløpet er forholdsvis langt. Modellen dekker over 6 km elvestrekning for å sikre at nødvendige nedstrøms forhold har riktig påvirkning på vannstandsforholdene i planområdet. Elven faller kun 15 meter på denne lange strekningen noe som betyr at nedstrøms forhold kan ha betydning langt oppstrøms.



Figur 13 Lengdeprofil av Hallingdalselva

8.4. Nylige endringer av terreng i planområdet

Terrengmodellen for dagens forhold er basert på laserdata fra 2018. I etterkant av disse innmålingene har det skjedd en god del endringer som man kan se godt i dronefotoet fra oktober 2022 som er vist under.

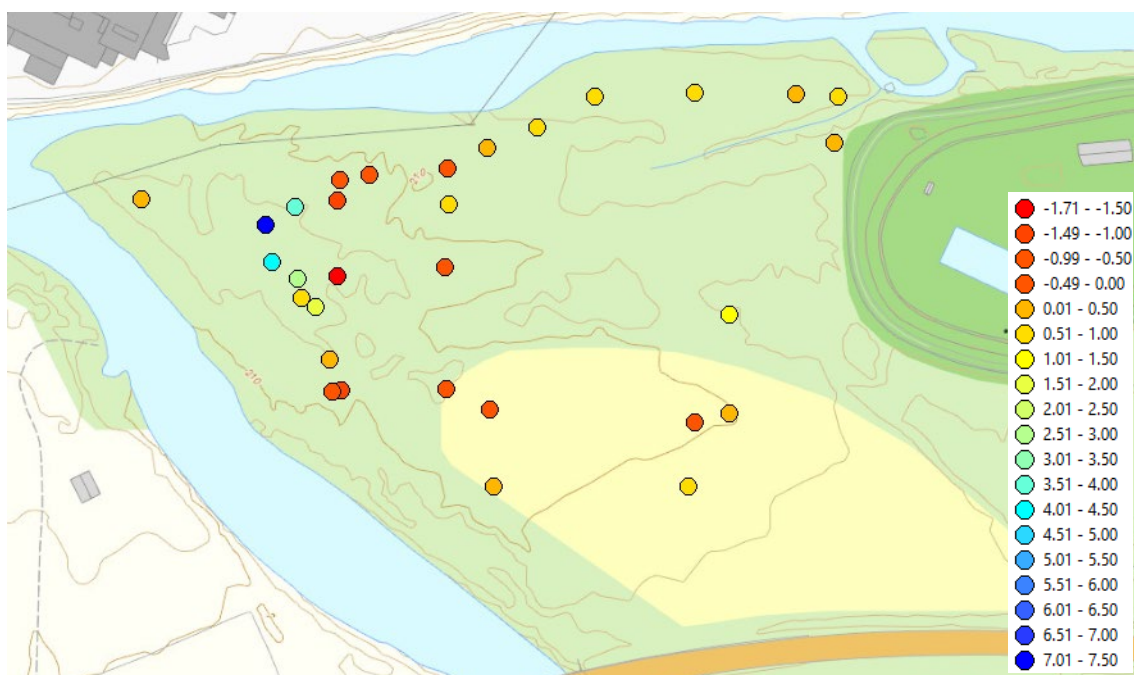
Innmålinger med CPOS-GPS foretatt samtidig og sammenlignet med data fra laserscanninger viser at den indre delen av området er senket noe, mens det spesielt i nordvestre hjørne er anlagt en stor haug/voll opptil 7 meter høyere enn tidligere terreng (Figur 15).

Det er pågående justeringer av terrenget i hele denne delen av området. Dagens forhold er modellert med originale laserdata så dette vil gi noe andre resultater av dagens modellerte forhold.



Figur 14 Dronefoto oktober 2022.

Foto: Turhus maskin.



Figur 15 Innmålinger i oktober sammenlignet med lasermåling fra 2018

8.5. Eksisterende hydrauliske strukturer

Hemsila krysser flere bruer på sin vei ned mot Hallingdalselva. Vesleåna som går på nordsiden krysser en gangbru, Hahaugvegen bru og Viko bru på Rv7 på vei mot Hallingdalselva. Hovedløpet i vest krysser under Slettemoen bru på Rv7 før den renner inn hovedelven. Plassering av broer er vist i Figur 16.

En halv kilometer lenger ned går Hallingdalselva under Eiklesvegen bru, vist i Figur 25. Denne går imidlertid så høyt over elva og med så smale pilarer at den antas ikke ha vesentlig utslag på vannstanden i planområdet. Brofoto og brotegninger er vist i Figur 19 - Figur 25.



Figur 16 Plassering av broer i modellområdet

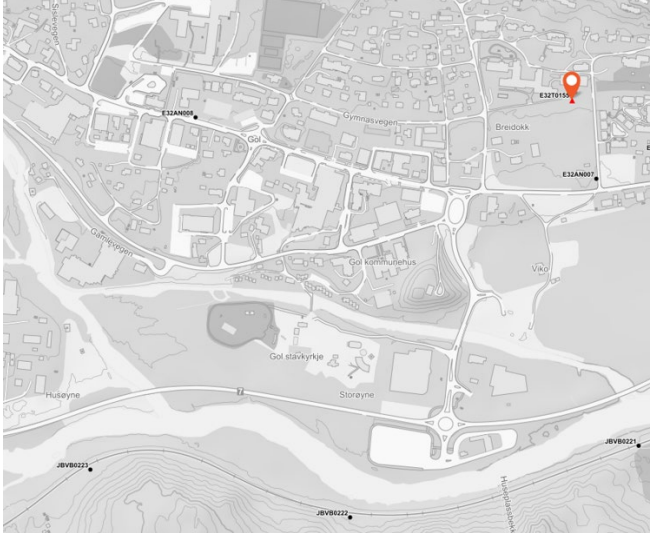
Videre nedstrøms i vassdraget er det flere broer. Modelleringen stopper imidlertid ovenfor disse, men vannstanden fra tidligere flomsonekartleggingen, hvor denne påvirkningen er hensyntatt, er vurdert.

Benyttede laserdata og dagens innmålinger er innmålt i høydesystemet NN2000. Tverrprofilering utført for NVE i forbindelse med flomsonekartprosjektet på Gol er ikke beskrevet i rapporten og kan muligens være i NN54. Dette vil i så fall kunne gi en marginal vannstandsøkning i Hallingdalselva.

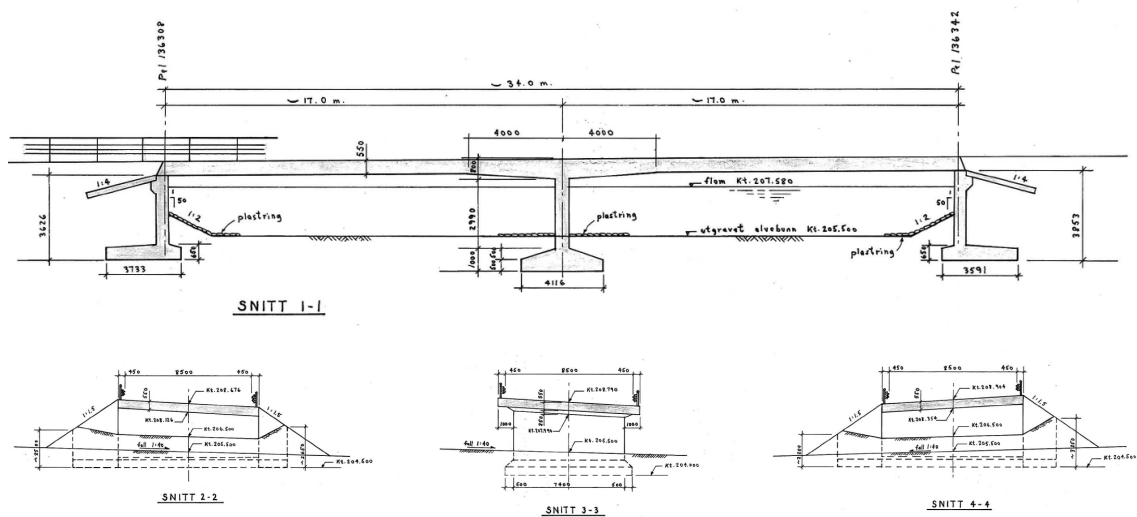
Landheving har gjort at forskjellen mellom NN54 og NN2000 her i området er på 10.8 cm som vist i Tabell 2 nedenfor. Høyder gitt i eldre brutegninger er justert med denne verdien.

Tabell 2 Differanse mellom NN54 og NN2000 for gitte fastpunkt i området

Punktnavn	NN54	NN2000	Differanse I meter
JBVB0223	212.836	212.942	0.106
JBVB0222	208.971	209.078	0.107
E32AN008	226.75	226.856	0.106
E32AN007	210.177	210.286	0.109
JBVB0221	206.801	206.908	0.107
E32T0155 (Landsnett)	217.895	218.003	0.108



Figur 17 Plassering av fastpunkter i området.



Figur 18 Brutegning Slettemoen bru



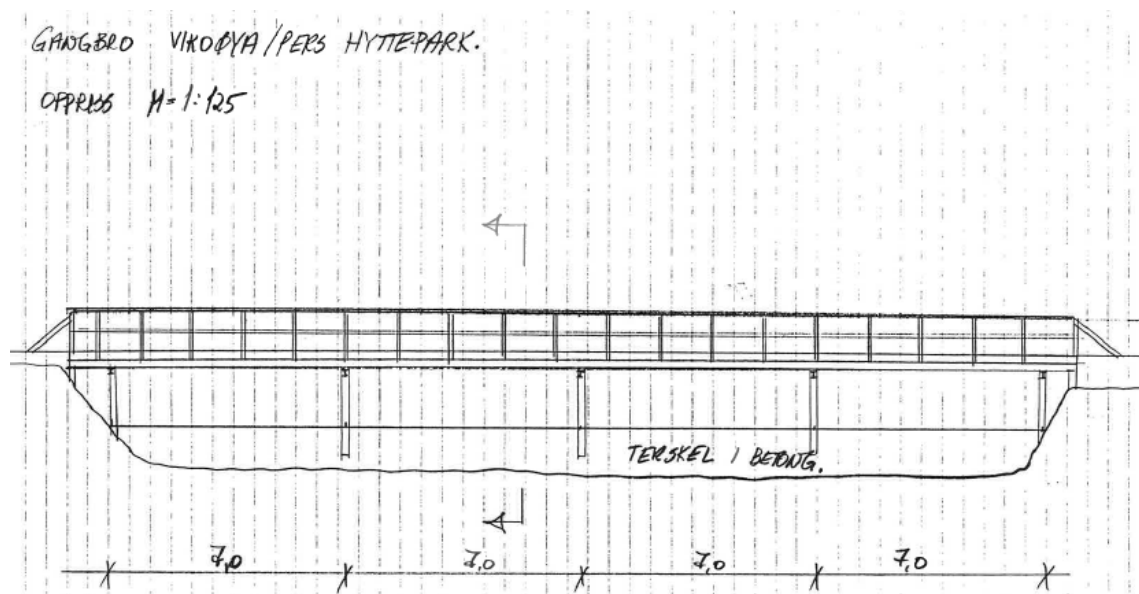
Figur 19 Slettemoen Bru over Hemsila, Bilde fra vestre nedstrøms side.



Figur 20 Hahaugvegen bru. Sett fra oppstrøms side.



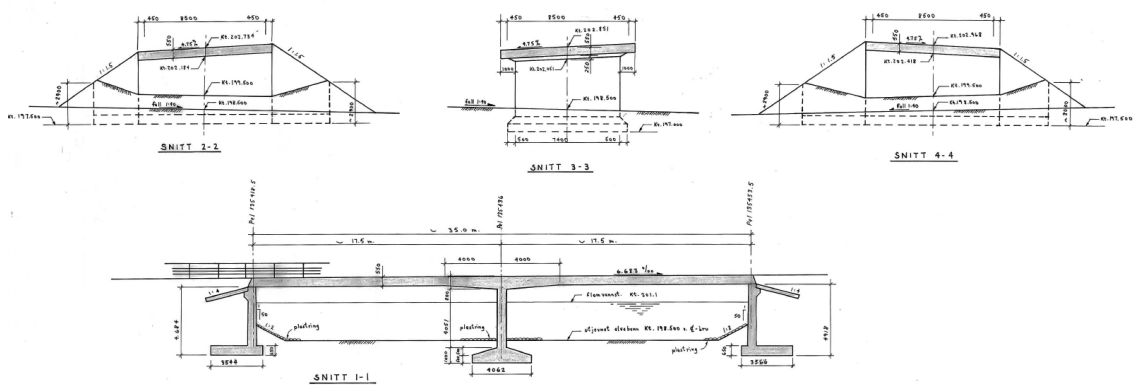
Figur 21 Gangbru over Vesleåna. Sett fra oppstrøms side.



Figur 22 Broskisse gangbru.



Figur 23 Vikø bru. Sett fra oppstrøms side.



Figur 24 Brotegning Vikø bru.



Figur 25 Bro Eiklesvegen over Hallingdalselva.

8.6. Ruhet

I beregningsmodellen må elvens og terrengets ruhet (strømningsmotstand) uttrykt ved Mannings koeffisient, n , benyttes.

Mannings n for elveleie og elvebunn er satt, basert på empiriske verdier som referert i (Chow, 1959).

Det er ikke foretatt direkte målinger av flomvannstand og flomvannføring på denne strekningen i elven og modellen er derfor ikke kalibrert med hensyn på dette. Det kan ved en senere anledning gjøres innmålinger av sammenhengende vannføring og vannstand for å kunne forbedre modellresultatene.

For de oversvømte arealene av elvebredden over normalt flomnivå, er Manningstallet generelt satt til $n = 0.040$. Det er benyttet verdier i lavere del av normalområdet. Det er noe vegetasjon på breddene, men lite vegetasjon i elvebunnen. Elvebunnen er, med unntak av enkelte nedre deler av hovedløpet av Hemsila, jevn og består hovedsakelig av slipt elvestein og grus og med lite hølør og fordypninger som kan gir økt ruhet. Elveløpet er satt til 0,030.

8.7. Grensebetingelser

Resultatene fra flomberegningene er brukt som input for vannføring i den hydrauliske modellen. Det er kjørt modellberegninger med vannføring som beskrevet tidligere; Q200 uten klimapåslag.

Det er ikke utført vannføringsmålinger med tilhørende vannstandregistreringer som kan benyttes for å sette øvre grensebetingelse. Øverst og nederst på strekningene er derfor den naturlige helningen benyttet.

8.8. Sensitivitetsanalyse

Sensitivitetsanalysen er gjort ved å variere ruheten i elveleiet og elvebreddene for å se hvordan dette påvirker beregnet vannlinje. Resultatene viser at det ved å variere Mannings $n \pm 20\%$ gir endringer i vannstanden, i størrelsesorden ca. 25 cm.

8.9. Usikkerhet og sikkerhetsmargin

I Kapittel 8.2 nevnes beregnet flommer, elvas geometri og elvas ruhet som forutsetning og grunnlag for en vannlinjeberegning. Nøyaktigheten på denne informasjonen varierer, og skal vurderes når man fastsetter sikkerhetsmarginer.

Terrengmodellen som ligger til grunn, har meget gode laserdata. Terrengmodellen utenfor elveleiet anses derfor som meget god. Tidspunktet for innmåling var godt, i en periode med lave vannføringer og for elveleiet anses modellen derfor også som god. Elvestrekningen har også meget gode batymetriske data.

Sensitivitetsanalysen viser at ved å øke/reducere ruheten med 20 % vil dette gi noen endringer i vannstand. Modellens andre grensebetingelser er de forskjellige benyttede flomvannføringer, elvas helning øverst, vannstander nedstrøms ved forskjellige gjentakintervall.

Fra NVEs interne veileder for vannlinjeberegninger er det anbefalt en sikkerhetsmargin mellom 0.1 – 0.6 meter basert på usikkerheter i deler av underlagsmaterialet. For beregnede vannstander i Hemsila og Hallingdalselva anbefales det å legge til en sikkerhetsmargin på 30 cm basert på usikkerheten i inngangsparametrene.

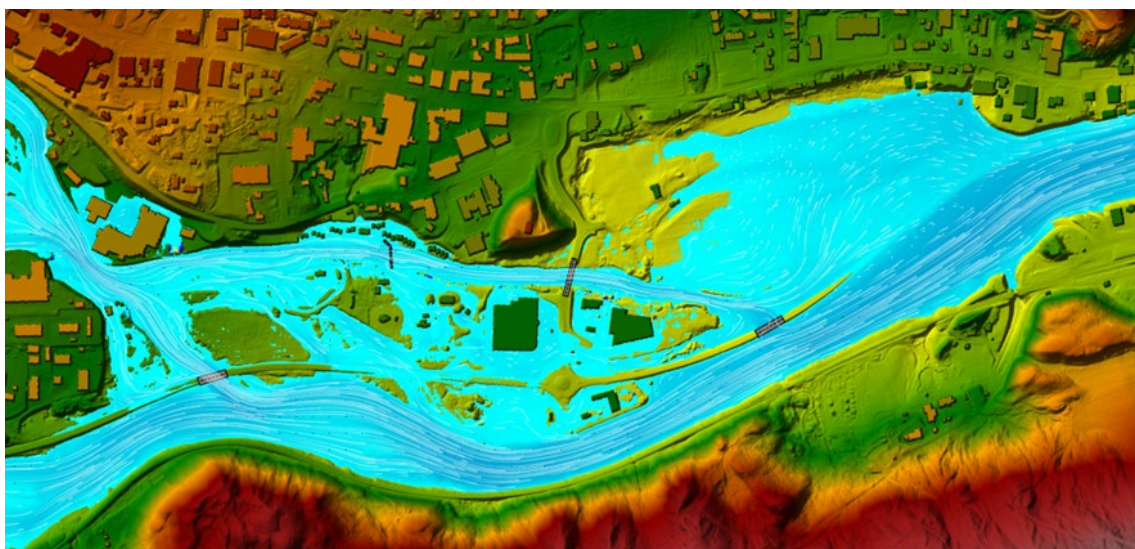
9. Resultater av vannlinjeberegningene

Sett i forhold til tidligere rapport kan det være noe avvik også mot beskrivelsene og resultatene for dagens forhold. Dette skyldes at nye innmålinger av elvebunn også vil påvirke resultatene for denne situasjonen. Generelt er resultatet ved Slettemoen bru senket med 23 cm fra 208,71 til 208,48 og ved Viko bru noe mindre fra 202,50 ned til 202,44.

9.1. Dagens forhold

Dagens situasjon, uten tiltak i planområdet gir tilnærmet resultater som vist i Figur 26. Det vil imidlertid være noe avvik grunnet nylige terrengjusteringer beskrevet tidligere i kapittel 8.4.

Flomvannføringen vil fordele seg med om lag 490 m³/s i hovedløpet ned mot Slettemoen bru og de resterende 255 m³/s i Vesleåna og på tvers over Storøyne. Over arealene på Storøyne vil det gå om lag 25 m³/s.



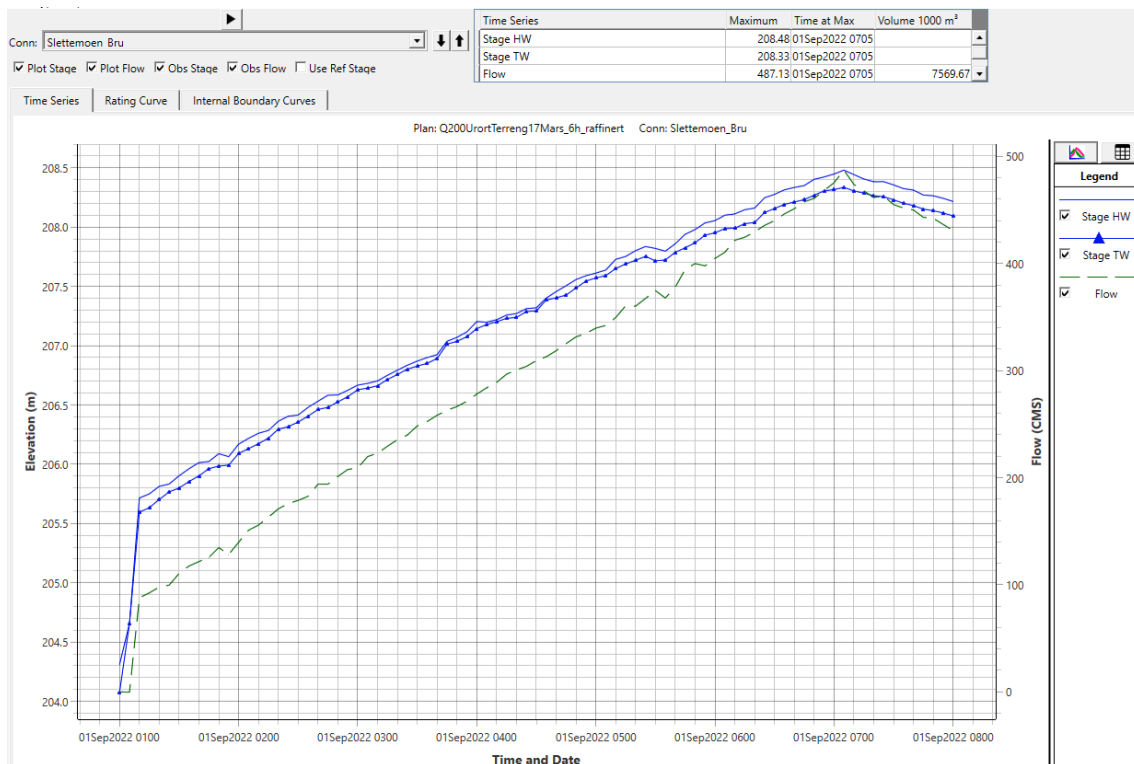
Figur 26 Flomutbredelse Q200 for dagens forhold.

I hovedløpet i vest vil vannstanden akkurat komme opp i siden på brodekket på Slettemoen bro's østre side. Senterlinje i toppen av brudekket har en høyde fra øst til vest på 208,67 – 208,90.

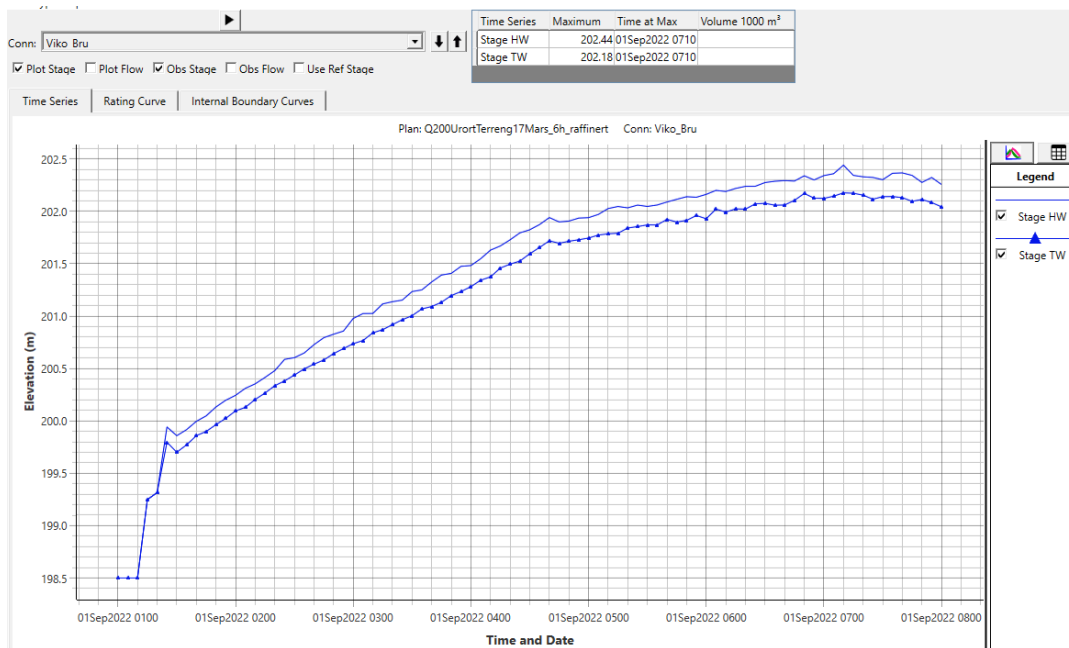
Broen heller noe i løpsretningen så vannet når ikke opp til topp av brodekket, men underkant av bru er på kote 208.23. Beregnet vannstand ved broen går opp 208.42. Vannstanden vil dermed gå opp på siden av broen, men ikke overtoppe denne. Plott av vannstand og vannføring for Slettemoen bru er vist i Figur 27.

Langs Vesleåna vil vannstanden under Hahaugveien bru være langt under brudekket. Underkant bro er på kote 205.1 mens vannstanden maksimalt stiger til kote 203,81.

Ved Viko bru er maksimal vannstand beregnet til 202,44. Også her er brodekket stigende fra øst til vest fra 202,84 til 203,07. Laveste punkt i underkant av bru er på kote 202,16 (ved midtpilar) og vannstanden vil dermed nå opp på siden av broen, men ikke overtoppe denne. Plott av vannstand for Viko bru er vist i



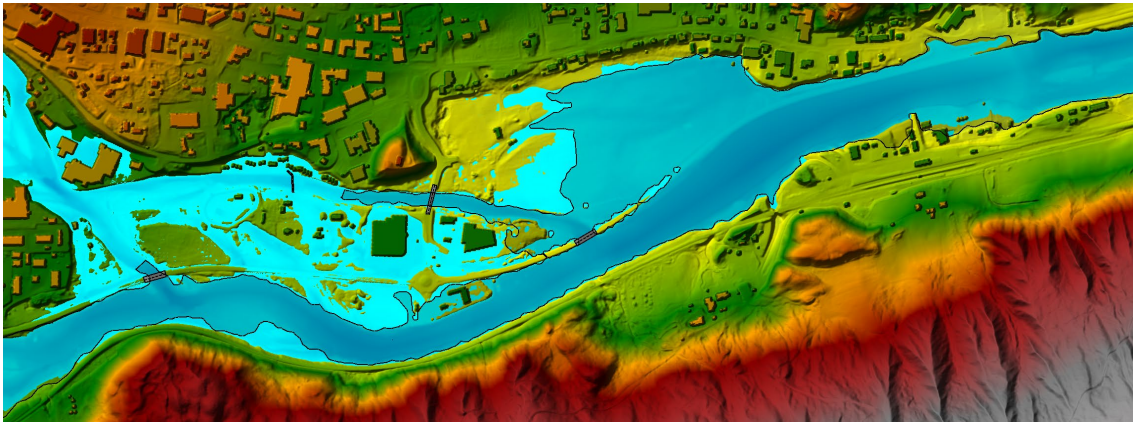
Figur 27 Vannstander og vannføring ved Slettemoen bru før tiltak.



Figur 28 Vannføring og vannstand ved Viko bru. Dagens forhold.

Vann vil overtoppe venstre bredd av Vesleåna, oppstrøms Viko bru, og renne utover jordbruksarealene på nordsiden.

Tidligere flomsonekartlegging fra 2006 ble modellert med 1D og var gjort for samlet vannføring fra Hemsila og Hallingdalselva, men kun modellert for selve Hallingdalselva. Denne nye modellering i 2D gir høyere vannstander i Hallingdalselva., spesielt på de strekningene som har noe større fall.



Figur 29 Dagens 2D modellering sammenlignet med tidligere beregnet flomsone fra 2006.

Resultatene fra dagens modellering med 2D sammenfaller ellers brukbart i hovedelven nedenfor samløpet av Vesleåna med Hallingdalselva.

På strekningen ovenfor dette ser det ut til at 1D underestimerer vannstandstigningen, med opptil 1-2 meter. Kartgrunnlaget var i 2006 langt mindre detaljert, og uten å direkte sammenligne terrengdata som ble benyttet den gang og det som er tilgjengelig i dag er det vanskelig å si noe helt sikkert om hva disse beregningsavvikene skyldes.

9.2. Planlagte forhold

I rapport av desember 2022 ble det modellert med planlagte tiltak på Hallingdal bilsenters eiendom som vist i Figur 30.

Rundt dette arealet ble det planlagt en 5 meter bred voll med en gang-/turvei på toppen. I nordøstre hjørne var topp høyde av vollen planlagt til kote 214,50 synkende jevnt ned til kote 209,50 langs Vesleåna. Langs hovedløpet i vest skulle vollen synke jevnt fra 214,50 øverst og ned til kote 210,50 rett oppstrøms Slettemoen bru. Herfra og videre østover, på nordsiden av Rv7, ville høyden avta jevnt ned til kote 209. De foreslåtte høyder er vist i Figur 30.



Figur 30 Planlagte tiltak på eiendommen, desember 2022. Benyttede kotehøyder.

Dette planlagte tiltaket påvirket vannstanden noe ved Slettemoen bro. Det ble beregnet en vannstandsøkning på 23 cm som med det modellerte elveleiet da ga en vannstandstigning til kote 208,93. Dette ga overtopping av brodekket på den østre delen av brodekket.

Tiltaket med flomvullen rundt eiendommen ga også noen endringer i fordelingen av vannføring i de to løpene. Plasseringen av flomvullen gir et noe redusert tverrsnitt for vann å strømme inn i Vesleåna samt at det ikke lenger hadde samme mulighet til å flomme innover Storøyne. Vannføringen i hovedløpet vil øke til i overkant av 570 m³/s og vannføringen i Vesleåna vil reduseres tilsvarende denne økningen. Redusert vannføring i Vesleåna ville gi noe lavere vannstander langs dette elveløpet.

I møte med NVE og kommunen i februar 2023 ble en slik vannstandsøkning ikke ansett som akseptabel og tiltakshaver ble anmodet om å tilpasse tiltaket slik at vannstandsendingene ble neglisjerbare.



Figur 31 Tiltaksareal desember 2022



Figur 32 Tiltaksareal mars 2023

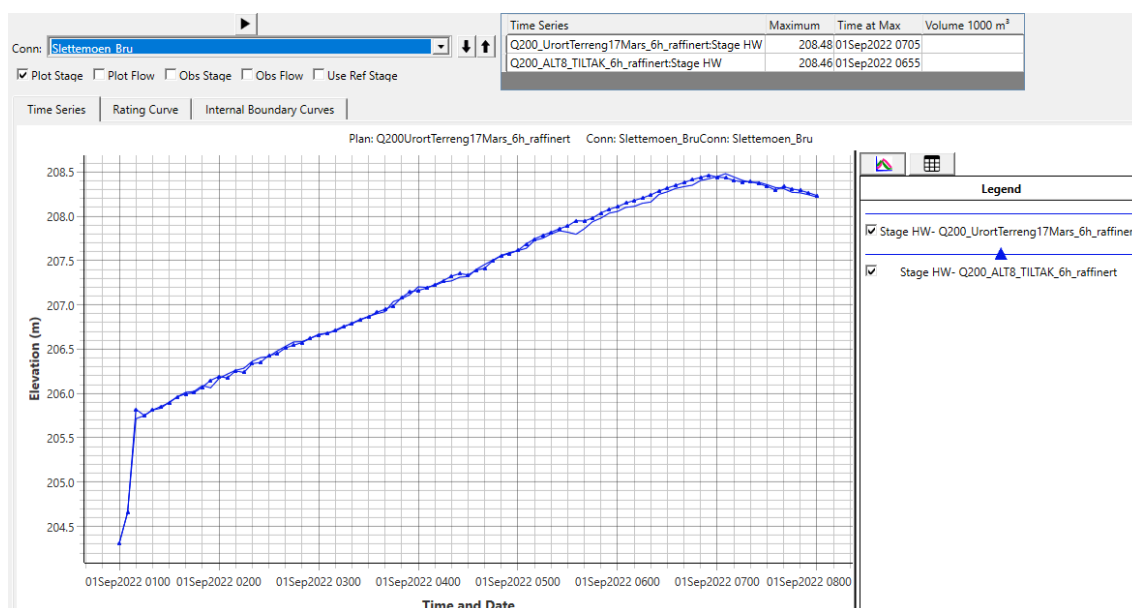
Figur 32 viser de grep som er gjort for at flomvoller og oppfylling av areal ikke skal påvirke vannstandsforholdene ved Slettemoen og Viko bru.

Bruk av flomvoll rundt området er generelt et godt grep for å sikre arealene og de planlagte byggene. Den kan bygges med tilgjengelige løsmasser fra området, men bør bygges som en tett konstruksjon for også å sikre mot vanngjennomtrengning fra vassdragene på utsiden og ikke bare som erosjonssikring.

Når det gjelder høyder innenfor flomvollene er man noe mer fri til å sette høyden, men dette forutsetter en tett flomvoll. Det anbefales imidlertid alltid å prosjektere med tilstrekkelig fall vekk fra bygning og bortledning av overflatevann i trygge former i grøfter o.l. Dette kan i dette tilfellet ledes østover hvor det vil være tilstrekkelig fall. Arbeidet som er gjort i denne rapporten er for å gi nødvendige høyder og dimensjoneringskriterier. Detaljprosjektering av vollene og erosjonssikringen må gjøres senere.

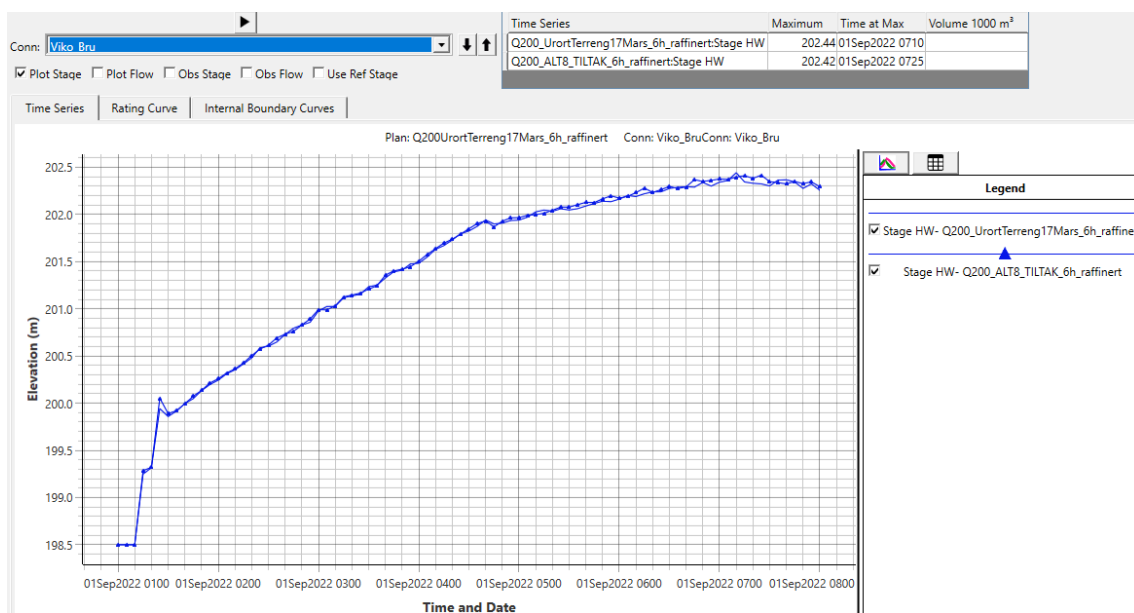
Resultatene av modelleringen med Q200 blir som vist i Figur 35. De foreslåtte tiltakene vil sikre arealene mot flomvann fra både Vesleåna og Hemsila. Tiltakene vil heller ikke øke flomvannstanden ned mot Slettemoen og Viko bru. Ved broene vil vannstanden reduseres med 2 cm etter tiltak. Dette skyldes marginalt endrede vannføringer og vannhastigheter i modellen.

Oppstrøms i Hemsila, ovenfor Storøyne, er endringene neglisjerbare. Denne delen av Hemsila har strykende forhold, med Froudetall¹ > 1 ved større vannføringer. At Froudetallet er > 1 tilsier at tiltak som plassering av flomvoller og eventuelle endringer i elveløpet i hovedsak vil påvirke forholdene videre nedstrøms mens endringer i forholdene oppstrøms vil være neglisjerbare etter kort avstand. Modellresultatene støtter også oppunder dette.

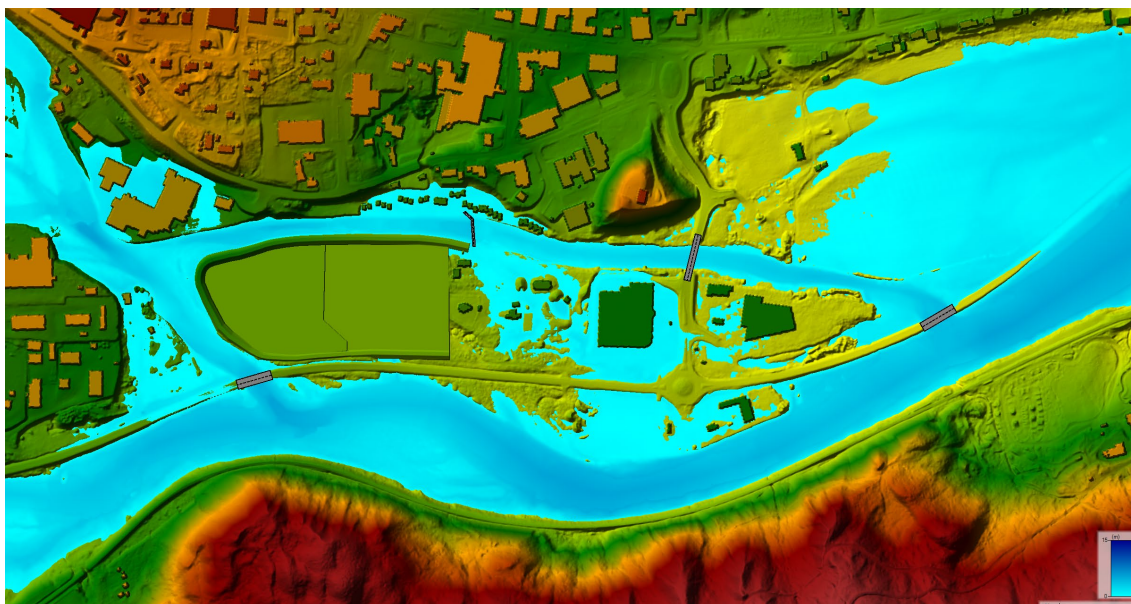


Figur 33 Slettemoen bro, før og etter tiltak

¹ Froude-tallet er en dimensjonsløs verdi som beskriver forskjellige strømningsregimer for åpen strømming. Froude-tallet er et forhold mellom treghet og tyngdekraft. Ved kritisk hastighet (Froude =1) vil forstyrrelser på overflaten forbli stasjonær. I subkritisk strømming (Froude < 1) styres strømmen fra et nedstrøms punkt og effekter overføres oppstrøms. Denne tilstanden fører til oppstuvning. Ved superkritisk strømming (Froude > 1) styres effekter ovenfra og forstyrrelser overføres nedstrøms i elven.



Figur 34 Viko bru, før og etter tiltak.

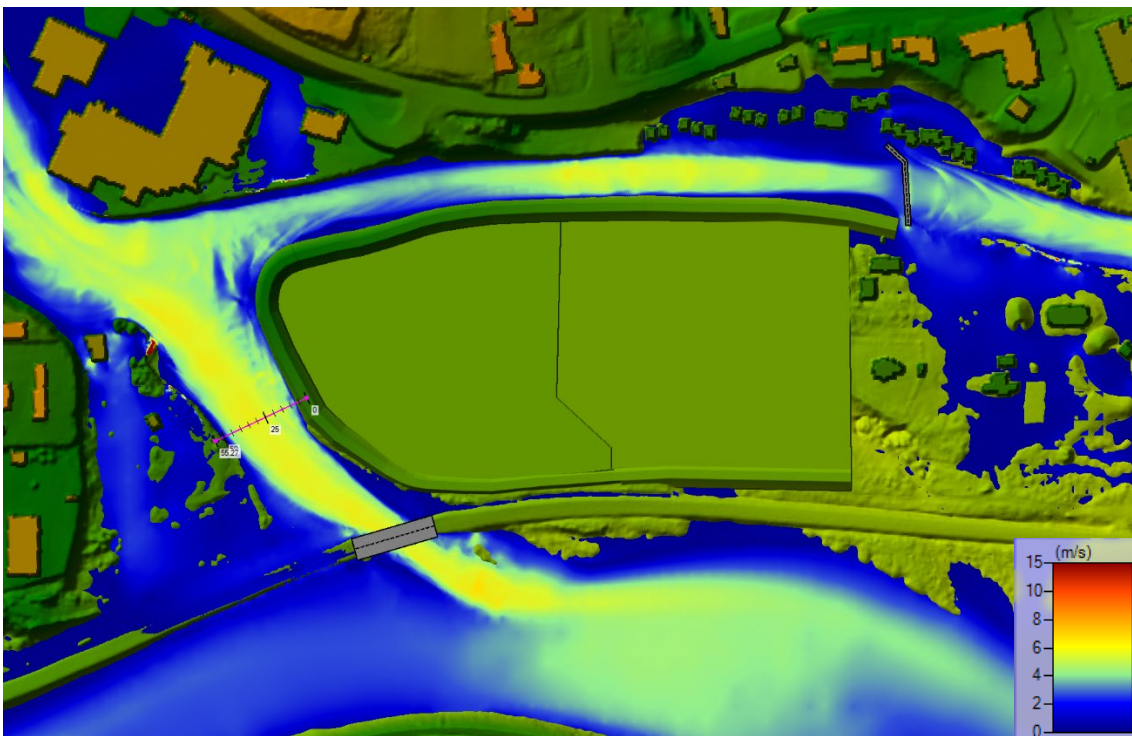
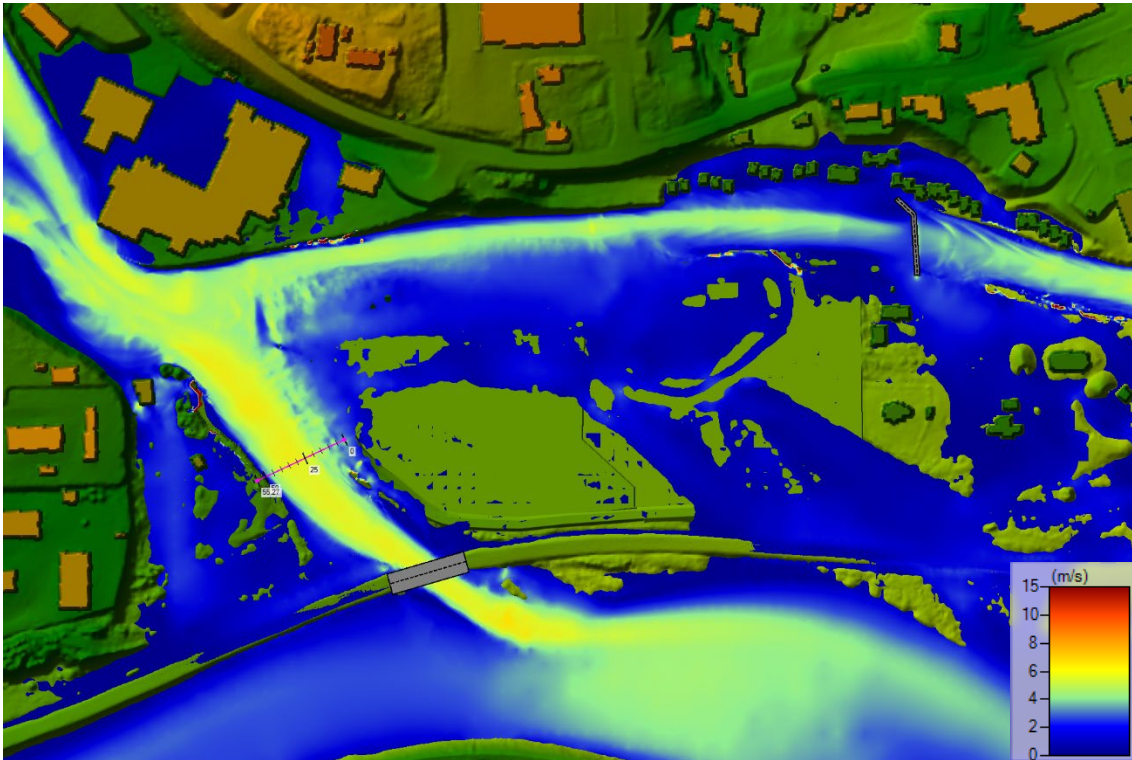


Figur 35 Resultater av modellering med Q200 og foreslåtte tiltak.

Endret plassering av flomvoll rundt utbyggingsområdet fra foreslått tiltak i desember 2022 vil nå gi mindre påvirkning på tverrsnittsareal inn mot Vesleåna og vil, som nevnt tidligere, gi mindre påvirkning på fordeling av vannføring i de to løpene. Mer tilbaketrukket plassering av flomvollene vil også gi mindre påvirkning i arealet ned mot dagens elveløp og kan gi plass for nødvendig kantvegetasjon.

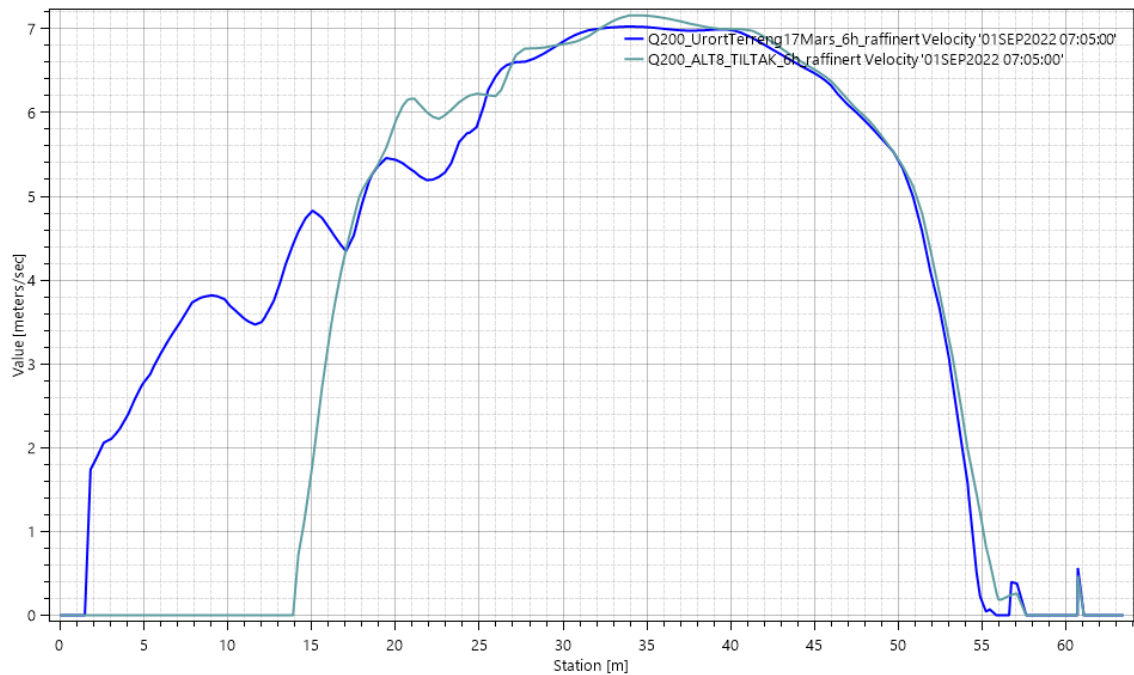
Dette tiltaket vil imidlertid redusere arealet på innsiden av flomvollene noe. Dette kan påvirke plassering av spesielt parkeringsareal i de opprinnelige tegningene.

Vannhastigheter i elveløpene er i liten grad påvirket av tiltaket. Vannhastigheter før og etter tiltak, er vist i Figur 36 og viser lignende resultater med unntak av at det er et noe mer konsentrert elveløp etter tiltaket.



Figur 36 Vannhastigheter i Hemsila/Vesleåna før (øverst) og etter tiltak (nederst).

Vannhastigheten, før og etter tiltak, for tverrsnittet markert i Figur 36 er vist i grafen i Figur 37. Hastighetsøkningen etter tiltak er neglisjerbar i dette tverrsnittet.

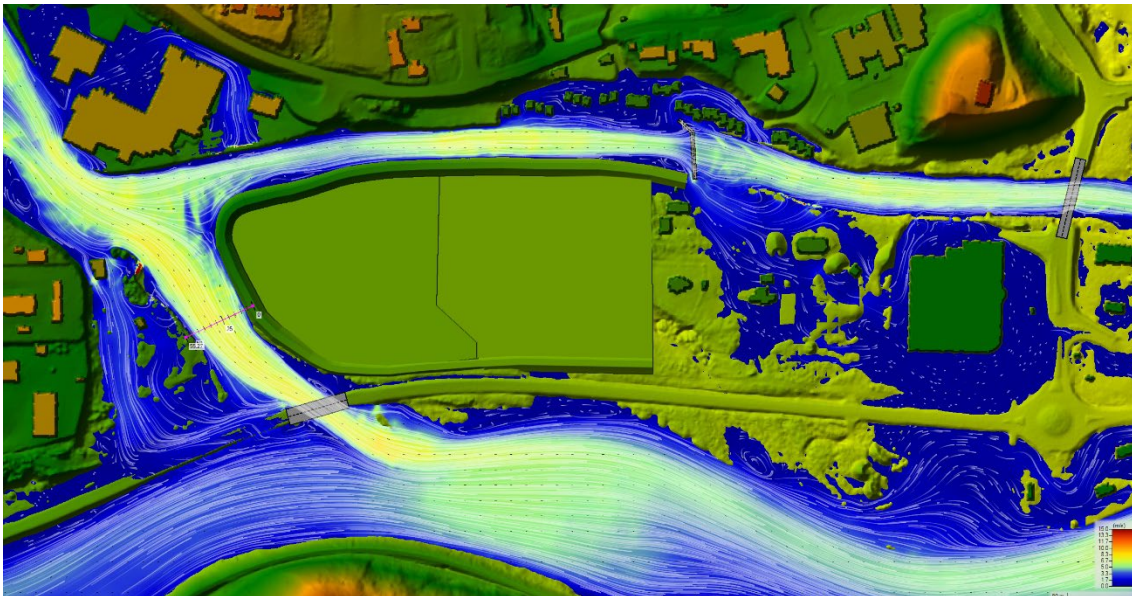


Figur 37 Vannhastighet i markert tverrsnitt, før og etter tiltaket med flomvoller.

Vannhastighetene langs denne delen av elven er generelt forholdsvis høy i slike ekstreme flomsituasjoner, på rundt 7 m/s, noe som gir behov for erosjonssikring i ytterkant av flomvollen. Langs Vesleåna er de høyeste vannhastighetene opp mot 6 m/s.

Figur 38 viser maksimale vannhastigheter og strømningsmønsteret i området etter tiltaket med flomvoller.

Flomvollene vil også fungere som erosjonssikring og vil skjerme arealene på Storøyne mot uønsket erosjon eller sedimentasjon under store flommer.



Figur 38 Vannhastigheter og strømningsmønster etter tiltak med flomvoller på Storøyne.

Som man ser av bunnmaterialet og steinstørrelser på breddene, i foto i Figur 39, av den nedre delen av hovedløpet i Hemsila er det mye stor stein som er eller har vært på vei ned vassdraget. Tilsvarende massetransport må kunne påregnes også i kommende store flommer.

Muntlige opplysninger tilsier at det tidligere har vært ryddet masser og stor stein i denne delen av elveløpet etter tidligere flommer. Dette er tiltak som kan være effektive i å øke kapasiteten i elveløpet både for flomvann og tiltransporterte masser. Det samme gjelder under dagens broer hvor det ser ut til at det er en viss pålagring. Det bør i så fall avklares at de biologiske forholdene på strekningen ikke forringes og at eventuelle uttak av masser ikke gir utilsiktet erosjon i elvebunnen.



Figur 39 Bunnforhold i nedre del av hovedløpet i Hemsila

9. Sammendrag

De utførte beregningene og analysene viser at det ved å etablere flomvoller i planområdet langs Vesleåna og Hemsila kan beskytte arealene mot uønsket flom. Det er tilstrekkelig plass i området for etablering av disse med tilstrekkelig høyde og nødvendig skråningshelning. Vannhastigheter i Hemsila opp mot 7 m/s gir behov for godt dimensjonert erosjonssikring i yttersiden av flomvollen og dette må senere detaljprosjekteres.

Etablering av flomvoll gir marginale endringer i vannføringer i de to løpene av Hemsila og Vesleåna. Tiltaket vil ikke gi økt vannstandstigning verken ved Slettemoen eller Viko bru på Rv7. Modellen indikerer en marginal reduksjon på 2 cm begge steder. Vannstanden vil overstige underkant bro på begge broer, men vil ikke overtoppe brodekket. Det er ingen endring fra dagens forhold.

I dag vil høyre bredd av Vesleåna overtoppes under en Q200 flom og vann vil strømme inn over store deler av arealene på Storøyne. Også arealene rundt den relativt nybygde Biltemabutikken vil berøres av flomvann under en slik hendelse. Dette kan imidlertid reduseres ved enkle tiltak som å justere høyde på eksisterende flomvoll/kant mot Vesleåna. Dette er ikke sett på i detalj her.

10. Referanser

- Chow, V. (1959). *Open-channel hydraulics*. New York: McGraw-Hil.
- Klimaservicesenteret. (2022). *Klimaprofil Buskerud*. Hentet fra https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/buskerud#3_hydrologi
- NVE. (2001). *Dokument nr 14. Flomberegninger i Hallingdalsvassdraget. Hemsedal, Gol og Nesbyen (012.CZ)*. .
- NVE. (2004). *Flomsonekartprosjektet. Flomberegninger i hallingdalsvassdraget, Hemsedal, Gol og Nesbyen*.
- NVE. (2006). *Flomsonekart. Delprosjekt Gol*. Flomsonekart 12/2006.
- NVE. (2006). *Flomsonekart. Delprosjekt Gol*.
- NVE. (2010). *NVE notat (10.03.2010, Flomvannføringer i Hemsil ved Tuv (012.CDZ),.*
- NVE. (2011). *NVE notat (19.10.2011), Flomvannføringer i Hallingdalsvassdraget (012.CZ)*.
- NVE. (2014). *Flomsonekartprosjektet. Delprosjekt Hemsedal*.
- NVE. (2016). *Klimaendringer og fremtidige flommer i Norge*. Rapport 81/2016.
- Terratec. (2018). *Laserskanning for nasjonal detaljert høydemodell. NDH Gol-Hemsedal 5pkt*.