



Naturfareforum – Helhetlig risikostyring i små nedbørfelt

Pilotfelt Skurva - utfordringer og muligheter
Asplan Viak AS



NVE Ekstern rapport nr. 20/2021

Naturfareforum – Helhetlig risikostyring i små nedbørfelt : pilotfelt Skurva - utfordringer og muligheter

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Asplan Viak AS v/Åsta Gurandsrud Hestad, Jon Bergersen Zeigler og Marcos Carvajalino-Fernandez

Forsidefoto: Krysning mellom Skurva og Nordsetervegen. Foto: Asplan Viak

ISBN: 978-82-410-2172-5

ISSN: 2535-8235

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 20

Saksnummer: 201605627

Sammendrag: Rapporten presenterer resultater fra hydrologiske og hydrauliske analyser i et lite nedbørfelt i Lillehammer kommune – Skurva. Det er presentert forslag knyttet til overvåking, beredskap og en arbeidsmåte som kan følge alle stadier fra planlegging til drift. Feltet er valgt ut som pilot i et delprosjekt i Naturfareforum som skal synliggjøre utfordringer og muligheter knyttet til håndtering av flomrisiko i små nedbørfelt.

Emneord: Flom, erosjon, risikostyring, hydrologi, arealbruk, små nedbørfelt

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
E-post: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

desember, 2021

Forord

Denne rapporten inngår i et delprosjekt i Naturfareforum (DP1) med tittel «Helhetlig risikostyring i små nedbørfelt». Hovedproblemstillingen for prosjektet er hvordan nedstrøms negative konsekvenser knyttet til overvann, flom og skred som følge av inngrep i små nedbørfelt kan minimaliseres. Formålet er skadereduksjon gjennom helhetlig risikostyring i nedbørfeltet som favner alle berørte sektorer og dekker hele livssyklusen til anlegg.

Det er etablert en bredt sammensatt arbeidsgruppe med representanter fra: Norges vassdrags- og energidirektorat, Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, KS – kommunenes sektororganisasjon, Meteorologisk institutt, Landbruksdirektoratet, Miljødirektoratet, Bane NOR, Statens vegvesen og Bondelaget. Aktivitetene i prosjektet favner bredt og søker dels å synliggjøre utfordringer i pilotområder, dels å komme med konkrete forslag til løsninger som kan overføres til risikostyring i andre små nedbørfelt.

Skurva i Lillehammer kommune er valgt som et pilotfelt. Denne rapporten, som Asplan Viak har utarbeidet, viser resultater fra modelleringer i nedbørfeltet samt forslag knyttet til overvåking, beredskap og en arbeidsmåte som kan følge alle stadier fra planlegging til drift.

Lillehammer kommune har bidratt i prosjektet med opplysninger og grunnlagsdata for vassdraget og kommunenes beredskapsarbeid knyttet til vassdrag.

Oslo, desember 2021



Anne Britt Leifseth
Leder styringsgruppa Naturfareforum



Hallvard Berg
Leder arbeidsgruppa DP1

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

PILOTFELT SKURVA – UTFORDRINGER OG MULIGHETER NATURFAREFORUM – DP 1 - PILOTFELT

Dato: 19.08.2021
Versjon: 03



Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver:	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
Tittel på rapport:	Rapport_Pilotfelt_Skurva
Oppdragsnavn:	Prosjekt pilotfelt - bistand til analyser - Naturfareforum
Oppdragsnummer:	625423-01
Utarbeidet av:	Åsta Gurandsrud Hestad, Jon Bergersen Zeigler
Oppdragsleder:	Jon Bergersen Zeigler
Tilgjengelighet:	Åpen

Sammendrag

I runde 1 av prosjektet ble det utført nedbør-avløpsmodellering av Skurvas nedbørfelt, samt gjort betraktninger rundt vassdragsberedskap. Modelleringen ga følgende resultater:

- Nedbørfeltgrensene kan variere etter hvilke stikkrenner/kulverter som er overbelastet. I en maksimalt uheldig ekstrem situasjon kan nesten hele Skurvas felt føre vann utenom Abbortjern. Fokus burde derfor være å sørge for at mest mulig flomvann går til Abbortjernet, der flomtoppen vil dempes betydelig.
- Beregningen med den opprinnelige modellen viste veldig lite vann over terskelen nedstrøms Skurvbrua ved flom. Mesteparten av vannet så ut til å gå tilbake til hovedvassdraget lengre nedstrøms.
- Abbortjernets fordrøyningskapasitet ble ikke utredet videre utredet da dette allerede var vurdert av COWI. Ved behov for ekstra kapasitet kan det også vurderes overføring mot myrene i Mesnavassdraget.

I runde 2 av prosjektet ble følgende gjennomgått:

- Ny beregning av terskel nedstrøms Skurvbrua. **Konklusjon:** Det er lite som tyder på at det går vannmengder av betydning til nabovassdraget under storflom.
- Beregning for utvalgte kritiske punkter. **Konklusjon:** 2D-beregning ga tilsynelatende best resultater for de vurderte kryssningene, fordi det på alle stedene var mulig for vann å renne i grøfta utenom stikkrenne.
- Beregninger av effekt som følge av endringer i arealbruk. **Konklusjoner:** Økning i harde flater, for eksempel hyttefeltutbygging og hugst, er blant inngrepene som gir størst negativ effekt på avrenning / eller: størst økning av avrenning.
- Overvåkning i nedbørfeltet, samt beredskap
- Sammenheng mellom erosjon, sedimenttransport og flom
- Forslag til arbeidsmetodikk for ulike stadier i vassdragsforvaltningen

03	19.08.21	Rettet dim. for Skurvbrua i modell + generell korrektur	JBZ, MCF	JBZ, IDB
02	20.01.21	Rapport oppdatert med nye analyser	JBZ, ÅGH, MCF	IDB, ÅGH, GD, MV
01	17.01.20	Førsteutkast/foreløpig	JBZ og ÅGH	IDB og ÅGH
VERSJON	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KS

Forord

Asplan Viak AS er engasjert av Norges vassdrags – og energidirektorat til å utføre analyser i forbindelse med prosjektet *Helhetlig risikostyring i små nedbørfelt* som er etablert innenfor det tverrsektorielle samarbeidet Naturfareforum. Prosjektet har som mål å illustrere utfordringer og mulige løsninger knyttet til forvaltning av arealbruk og tekniske inngrep i nedbørfelt til mindre vassdrag ved å studere pilotfelt.

Denne rapporten tar utgangspunkt i nedbørfeltet til vassdraget Skurva som renner gjennom Lillehammer. Vassdraget er valgt ut i samarbeid med prosjektgruppa i Naturfareforum og Lillehammer kommune. Lillehammer kommune har bistått med opplysninger og grunnlagsdata for vassdraget og kommunenes beredskapsarbeid knyttet til vassdrag.

Arbeidet har vært gjennomført i to deler. Den første delen ble gjennomført høsten 2019 og foreløpig rapport ble levert i januar 2020. Den andre delen av arbeidet ble gjennomført høsten 2020, og har omfattet hydrologiske og hydrauliske analyser basert på arbeidet utført i første del.

Rapporten er utarbeidet av Jon Bergersen Zeigler, Åsta Gurandsrud Hestad og Marcos Carvajalino-Fernandez. Rune Fanastølen Tuft, Gerard Dam og Mari Vestland har også deltatt i arbeidet. Rapporten er kontrollert av Ingri Dymbe Birkeland.

Kontaktperson i NVE har vært Hallvard Jostein Berg. Kontaktperson i Vegdirektoratet har vært Joachim Sellevold. Kontaktperson i Lillehammer kommune har vært Anders Breili. Oppdragsleder hos Asplan Viak har vært Åsta Gurandsrud Hestad, og fra 01.05.2021 Jon Bergersen Zeigler.

Sandvika, 19.08.2021



Jon Bergersen Zeigler
Oppdragsleder



Ingri Dymbe Birkeland
Kvalitetssikrer

Innhold

1. INNLEDNING	6
1.1. Bakgrunn for prosjektet	6
1.2. Befaring på Lillehammer	6
1.3. Vassdraget Skurva	6
1.4. Tidligere kartlegginger/utredninger i vassdraget	11
1.5. Innmålinger og feltarbeid	12
2. MODELLERING AV SKURVAS NEDBØRSFELT	13
2.1. Bakgrunn	13
2.2. Grunnlag.....	13
2.3. Metode.....	14
2.4. Resultater	15
2.5. Oppsummering	18
3. MODELLERING AV TERSKEL VED NORDSETERVEGEN	19
3.1. Bakgrunn	19
3.2. Grunnlag.....	19
3.3. Metode.....	21
3.4. Resultater	22
3.5. Oppsummering	23
3.6. Nye beregninger etter innmåling (2020/2021).....	23
4. MODELLERING AV KRITISKE PUNKTER	28
4.1. Generelt	28
4.2. Skurvbrua	28
4.3. Stikkrenne FV2520 m6301	33
4.4. Stikkrenne FV2520 m6629 (Blisterbekken).....	37
4.5. Krysning Sjøsetervegen	42
4.6. Konklusjon modellvalg for krysningpunkter i vassdrag	46
5. MULIGHET FOR ULIKE FLOMDEMPENDE TILTAK.....	47
6. AREALBRUK OG EFFEKT PÅ AVRENNINGSFORHOLD	54
6.1. Modell av nedbørsfelt.....	54
6.2. Ruhetsverdier basert på arealtype	55
6.3. Resultater av diverse inngrep og arealbruksendringer.....	56
7. OPPSUMMERING AV MODELLERING	64
8. OVERVÅKNING I NEDBØRFELTET	65
8.1. Vannføringskurver for kritiske punkter.....	65
8.2. Vannføringsmålinger	65
8.3. Eksisterende stasjonsnett	66
8.4. Mulige steder for etablering av nye målestasjoner	69
8.5. Ulike alternativer for overvåkning/måleutstyr	69
8.6. Praktisk bruk	72

9. EROSJON, SEDIMENTTRANSPORT OG FLOM	73
9.1. Erosjonsprosesser	73
9.2. Sedimentkilder	74
9.3. Sedimenttransport	75
9.4. Sedimentbudsjett	77
9.5. Morfologisk modell	78
9.6. Tiltak for å håndtere masser	80
10. ARBEID MED VASSDRAGSBEREDSKAP I LILLEHAMMER	83
10.1. Prosjekt vassdrag	83
10.2. Arbeid med tiltaksplaner	83
10.3. Beredskap	84
10.4. Forslag til tiltak	87
11. FORSLAG TIL ARBEIDSMÅTE SOM KAN FØLGE ALLE STADIER FRA PLANLEGGING TIL DRIFT	88
11.1. Skaffe oversikt over eksisterende planer og styringsdokumenter	88
11.2. Skaffe oversikt over regelverk	88
11.3. Skaffe oversikt over praktiske utfordringer	90
11.4. Beredskapsplan/arbeid	97
11.5. Erfaringsbank	98
KILDER	99
VEDLEGG	100

1. INNLEDNING

1.1. Bakgrunn for prosjektet

Denne rapporten tar utgangspunkt i nedbørfeltet til vassdraget Skurva som renner gjennom Lillehammer. Formålet med rapporten har vært å bruke vassdraget som pilotfelt for å identifisere ulike utfordringer knyttet til forvaltning og av små nedbørfelt, og komme med forslag til løsninger på utfordringene.

Arbeidet har bestått av to deler. Den ene delen omfatter hydraulisk modellering og analyse av nedbørfeltet til Skurva for å få bedre oversikt over fordeling av vann i vassdraget i flomsituasjoner. Den andre delen har bestått i å utarbeide et forslag til fremgangsmåte for en planmessig tilnærming til håndtering av utfordringer knyttet til flom og vassdrag.

1.2. Befaring på Lillehammer

Det ble arrangert et oppstartsmøte kombinert med befaring på Lillehammer 28.10.2019. Jon Bergersen Zeigler og Åsta Gurandsrud Hestad fra Asplan Viak deltok på befaringen sammen med representanter fra prosjektgruppa i Naturfareforum og Lillehammer kommune.

Det ble gitt presentasjon av arbeid med vassdragsberedskap i Lillehammer, og foretatt befaring langs Skurva med fokus på områder med kjente utfordringer.

1.3. Vassdraget Skurva

Vassdraget består av to deler/nedbørfelt. Den øvre delen har utspring i Gropmarka og ledes over til Mesnaelva. Den nedre delen har utspring i områdene ovenfor Sjøsetervegen og renner gjennom bebyggelsen i Nordre Ål og nordre bydel av Lillehammer. De to delene av vassdraget skiller av en terskel rett oppstrøms Skryftgangen (Figur 1-5). Ved stor vannføring, kan vann renne over terskelen og ned i delen av Skurva som renner gjennom sentrum. Dette skjedde ved flomhendelsen i 2014, noe som medførte store skader langs de nedre delene av vassdraget. Oversiktskart som viser øvre og nedre del av vassdraget, er vist i Figur 1-1. Nedbørfelt for nedre del er vist i Figur 1-3. Nedbørfelt for øvre del er vist i Figur 1-4

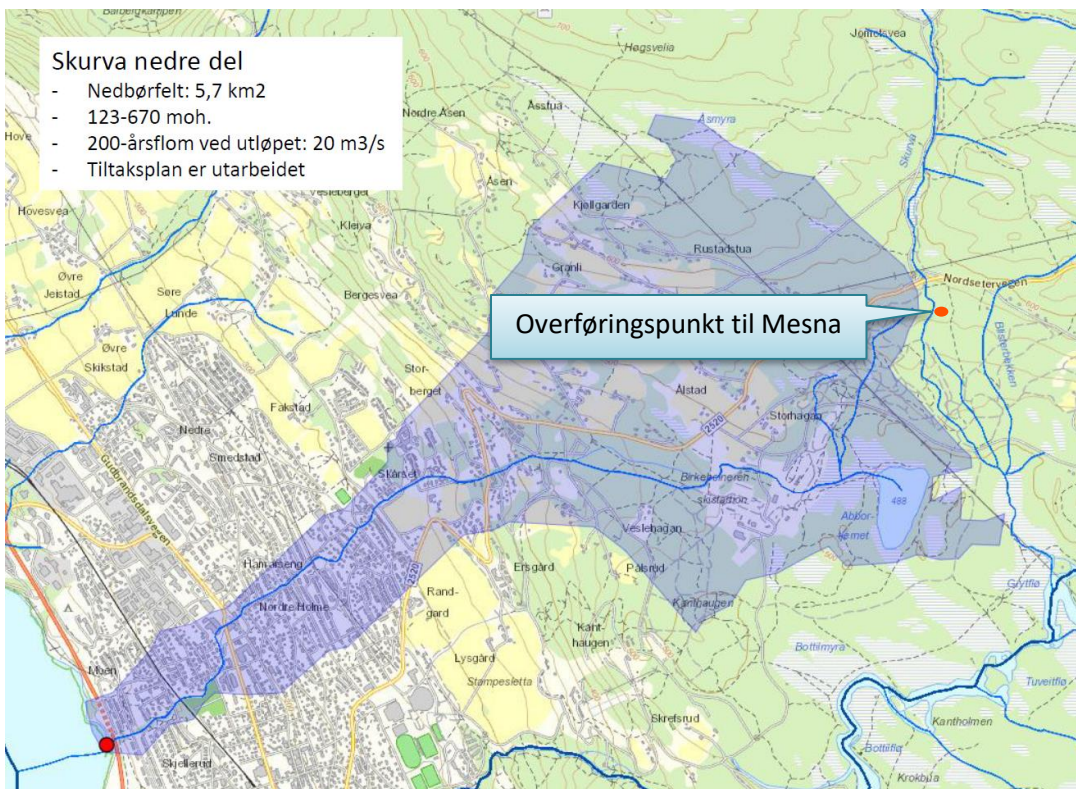
Øvre del av vassdraget er preget av skog – og myrområder. Nedre del av vassdraget er preget av tekniske inngrep og tiltak mot flom og erosjon. Der Skurva renner gjennom sentrum, ligger bebyggelse og infrastruktur svært nær vassdraget, se Figur 1-7.



Figur 1-1. Oversiktskart som viser øvre og nedre del av Skurva. (Kilde: SCALGO Live)



Figur 1-2. Krysning mellom Skurva og Nordsetervegen med 5 stk. DN1000-kulverter. (Foto: Asplan Viak, 2019)



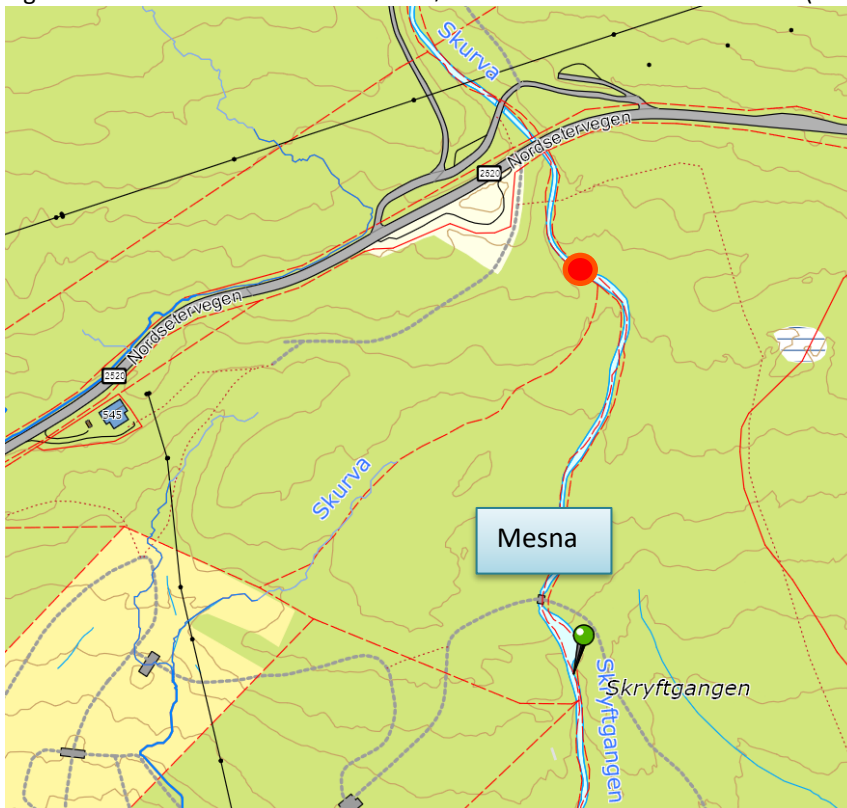
Figur 1-3. Nedbørfelt til nedre del av Skurva. (Kilde: NVE Atlas/NEVINA/Lillehammer kommune).



Figur 1-4. Nedbørfelt til øvre del av Skurva. (Kilde: NVE Atlas/NEVINA/Lillehammer kommune).



Figur 1-5. Terskelen som leder vann fra øvre del av Skurva over til Mesna. (Foto: Asplan Viak, 2019)



Figur 1-6. Plassering av terskelen (rød sirkel) som leder vann fra øvre del av Skurva sørover til Mesna.



Figur 1-7. Bebyggelse og infrastruktur ligger tett på Skurva. (Foto: Asplan Viak, 2019)



Figur 1-8. Skurva er lukket på deler av strekningen gjennom sentrum. (Foto: Asplan Viak, 2019)

1.4. Tidligere kartlegginger/utredninger i vassdraget

Det har tidligere vært utført utredninger og beregninger for Skurva i forbindelse med ulike tiltak. Resultater fra tidligere utredninger er presentert i følgende rapporter:

1. **Sikring mot flom- og erosjonsfare i Skurvabekken** (Multiconsult, 2012)
Flomberegninger, vannlinjeberegninger og dimensjonering av erosjonssikring i Skurva ved boligområdet Rosenlund.
2. **Flom- og skredhendelser i Gudbrandsdalen** (NVE-rapport 123/2015, NVE 2015)
Dokumentasjon av flom – og skredhendelser i vassdrag i Gudbrandsdalen i 2011, 2013 og 2014.
3. **Sikringstiltak mot flomskader i Skurva** (COWI, 2017)
Vurdering av ulike tiltak for flomdemping og flomsikring i Skurva
4. **Pilotfelt Skurva – utfordringer og muligheter** (Asplan Viak, 2019)
Hydraulisk modellering og analyse av nedbørfeltet til Skurva for å få bedre oversikt over fordeling av vann i vassdraget i flomsituasjoner.

For å få en helhetlig oppsummering og vurdering av resultatene fra alle rapportene, er det laget en sammenstilling og sammenligning av resultatene og datagrunnlaget fra rapport 1 (Multiconsult, 2012), rapport 3 (COWI, 2017) og rapport 4 (Asplan Viak, 2019). Rapport 2 (NVE, 2015) er ikke med i sammenstillingen da denne rapporten omhandler dokumentasjon av flom – og skredhendelser i vassdraget, og ikke beregninger. Sammenstillingen er vist i Vedlegg 1.

Det er valgt ut følgende parametere som er sammenlignet:

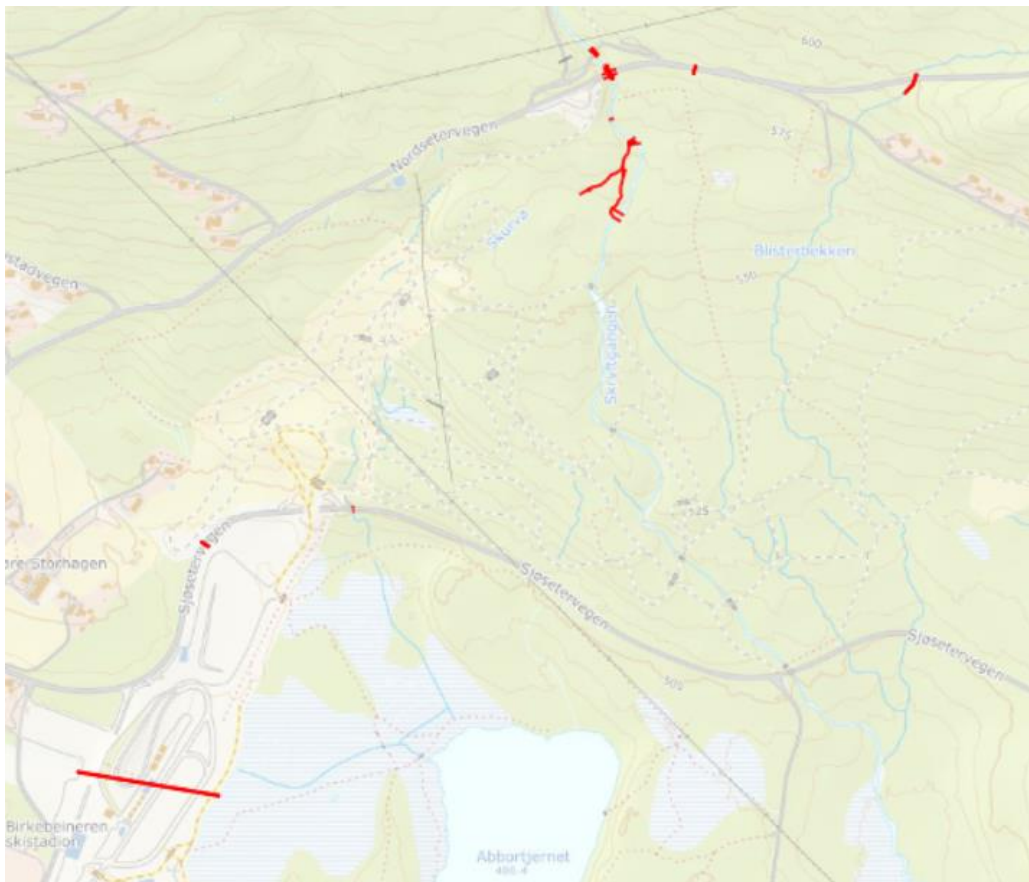
- Formål med rapport/utredning
- Geografisk utstrekning. Overlappende områder?
- Beregnede spesifikke flommer
- Benyttede målestasjoner for vannføring
- Benyttede nedbørsdata (målestasjon, form på nedbørforløp, varighet og tidsoppløsning)
- Beregningsmetoder for hydrologiske og hydrauliske beregninger
- C-faktorer/Mannings tall

Sammenstillingen viser at det er få parametere som er beregnet i alle rapportene. Det er også ulikheter i beregningsmetoder, for eksempel for beregning av vannføring. Dette gjør det vanskelig å sammenligne resultater direkte. Årsaken til at det er ulikheter i parametere som er beregnet, er trolig at de tre utredningene er gjort med forskjellige formål.

1.5. Innmålinger og feltarbeid

For å få bedre nøyaktighet i modellering av de hydrauliske forholdene i Skurva, er det gjort innmålinger av punkter i nedbørfeltet og langs vassdraget som er vurdert å være kritiske.

Innmålinger og feltarbeid er utført av Scan Survey på oppdrag fra Asplan Viak. Arbeidet ble utført i november 2020. Kartutsnitt som viser oversikt over innmålte punkter er vist i Figur 1-9.



Figur 1-9. Kartutsnitt viser innmålte punkter (Scan survey AS). Abbortjernel nederst i utsnittet.

2. MODELLERING AV SKURVAS NEDBØRSFELT

2.1. Bakgrunn

Flom i Skurva har medført mye skader i bebyggelsen rundt vassdraget de senere årene. Det er derfor ønskelig å se på mulighetene for forebyggende tiltak lengre opp i nedbørfeltet, samt fremskaffe mer kunnskap om feltet som helhet. Mye av flomproblemene skyldes vann på avveie, f.eks. elver som tar andre løp, går over i nabovassdrag, renner forbi stikkrenne pga. manglende kapasitet osv.

COWI (Berg, 2017) har modellert hele nedbørfeltet til Skurvas vestre gren i sin rapport «Sikringstiltak mot flomskader i Skurva». Dette feltet strekker seg fra utløpet rett oppstrøms E6 i Lillehammer sentrum opp til ca. Skurvas (hovedelvas) krysning med Nordsetervegen i nord. Feltet inkluderer ikke vannet som kommer til denne krysningen via hovedelva (Figur 2-1).



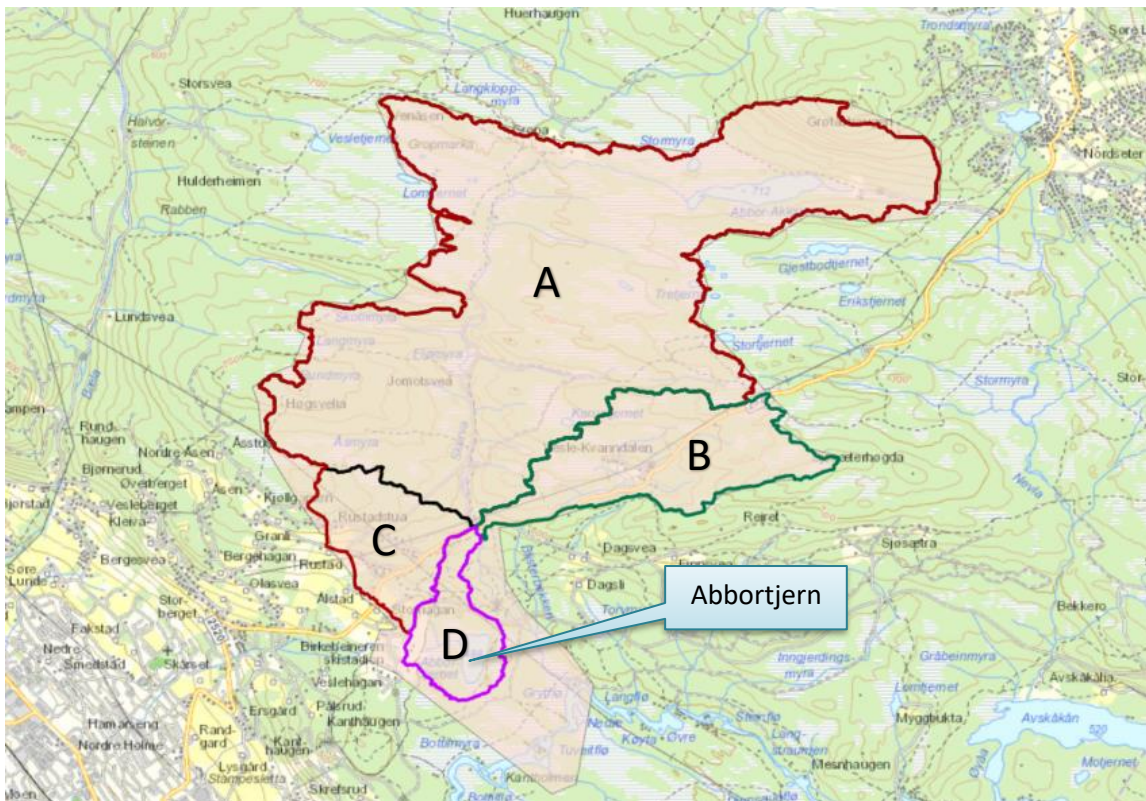
Figur 2-1. Nedbørfeltet modellert i COWIs rapport (Berg, 2017). Feltet inkluderer ikke Skurva oppstrøms Nordsetervegen.

I COWIs rapport (Berg, 2017) er det fokusert på Abbortjernets potensial som fordrøyningsmagasin, Det er derfor ikke sett nærmere på dette i denne rapporten.

Fokus har i stedet vært på nedbørfeltets (vekslende) avgrensing og fordelingen av vann i kritiske punkter. Et annet tema som kan være verdt å undersøke er mulighetene for overføring av vann til Mesnavassdraget, enten via hovedelva eller via myr tilknyttet Abbortjern.

2.2. Grunnlag

For modelleringen av nedbørfeltet defineres først avgrensingen. Dette gjøres ved hjelp av kartverktøyet SCALGO, som baserer seg på til enhver tid best tilgjengelige laserdata fra kartverket. Dette gir hovednedbørfelt som vist i Figur 2-2. Areal for hvert delnedbørfelt er vist i Tabell 2-1.



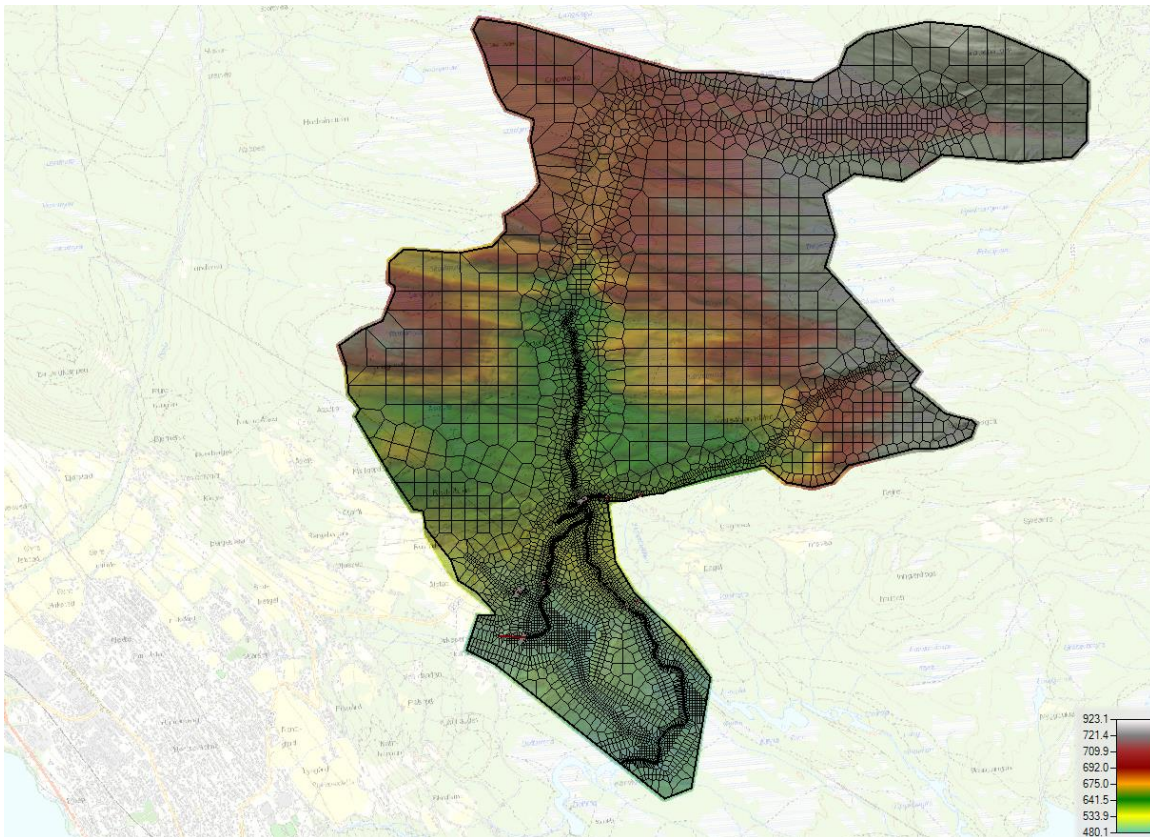
Figur 2-2. Hovednedbørfelt oppstrøms Abbortjern. Rosa skravert område viser utstrekning av 2D-nedbør-avløpsmodellen.

Tabell 2-1. Totalt teoretisk nedbørfeltareal oppstrøms Abbortjern.

Nedbørfelt	Beskrivelse	Totalareal (km ²)
A	Oppstrøms Skurvbrua	10.44
B	Nordsetervegen øst	1.98
C	Nordsetervegen vest	1.09
D	Nedstrøms Skurvbrua	0.72

2.3. Metode

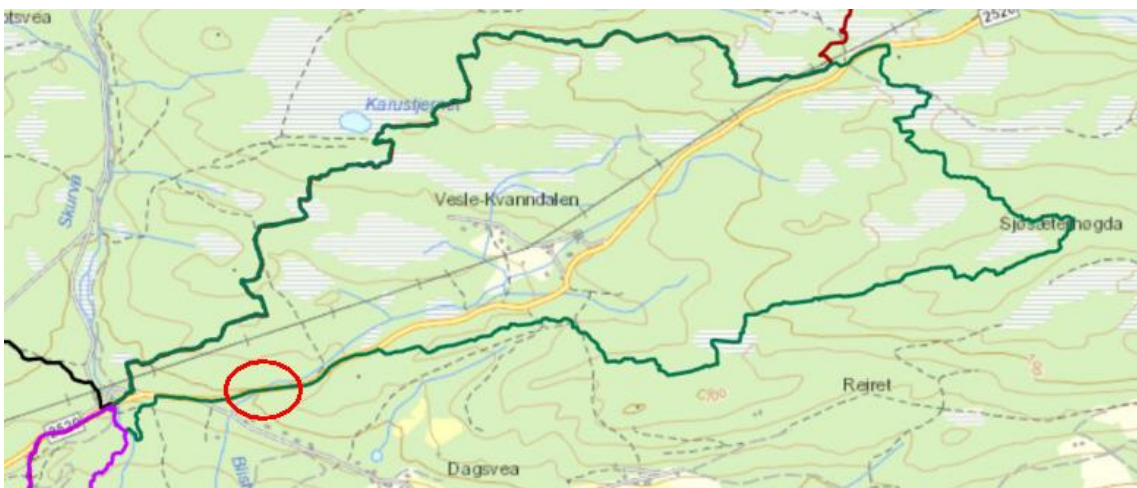
Det er satt opp 2D-modell for hele nedbørfeltet i HEC-RAS 5.0.7 (Figur 2-3). Beregningsnett er generert for et område som inkluderer minimum utstrekningen av nedbørfeltene i Figur 2-2 (2D-areal vist i figuren). Det er benyttet samme nedbørsserie/forløp som input som COWI brukte i sine beregninger. Hydraulisk ruhet for hele modellen settes til 0.03, da dette erfaringsmessig gir en mer stabil modell for nedbørssimulering. En mer detaljert analyse av effekter av ruheten på nedbørfelts vannføring vil gis i overskrift 6: «Arealbruk og effekt på avrenningsforhold». Bru- og kulvertkryssinger legges inn med estimert dimensjon og fall der det ikke foreligger data. Øvrige høyder hentes fra terrengmodellen. Terrenget er basert på prosjekt «Lillehammer 2014» med 25 cm oppløsning, hentet fra kartverkets laserinnsynstjeneste Høydedata.no. Det er kjørt beregning for 46 timer, med ett sekunds tidssteg (diffusion wave) for å få med nedbørstoppen i alle vassdrag i modellen. Abbortjern ser ut til å reagere tregest, og kulminerer ca. fem timer etter nedbørstoppen i inputserien. Nedstrøms grensebetingelse er satt til normalstrømning med helning 0,05.



Figur 2-3. 2D-modelloppsett for nedbørfelt oppstrøms Abbortjern.

2.4. Resultater

Beregningen viser at feltgrensene oppstrøms Abbortjern er noe usikre, og kan være følsomme for terrenginngrep, gjentetting av kulverter og lignende i feltet. Felt B vil f.eks. lede mesteparten av vannet mot Mesna via Blisterbekken i en normalsituasjon. Ved tett stikkrenne risikerer en at mesteparten av vannet går til Skurva via Nordsetervegen.



Figur 2-4. Vann fra hele felt B kan ende opp i Skurva ved tette stikkrenner i krysningspunktet (rød sirkel).

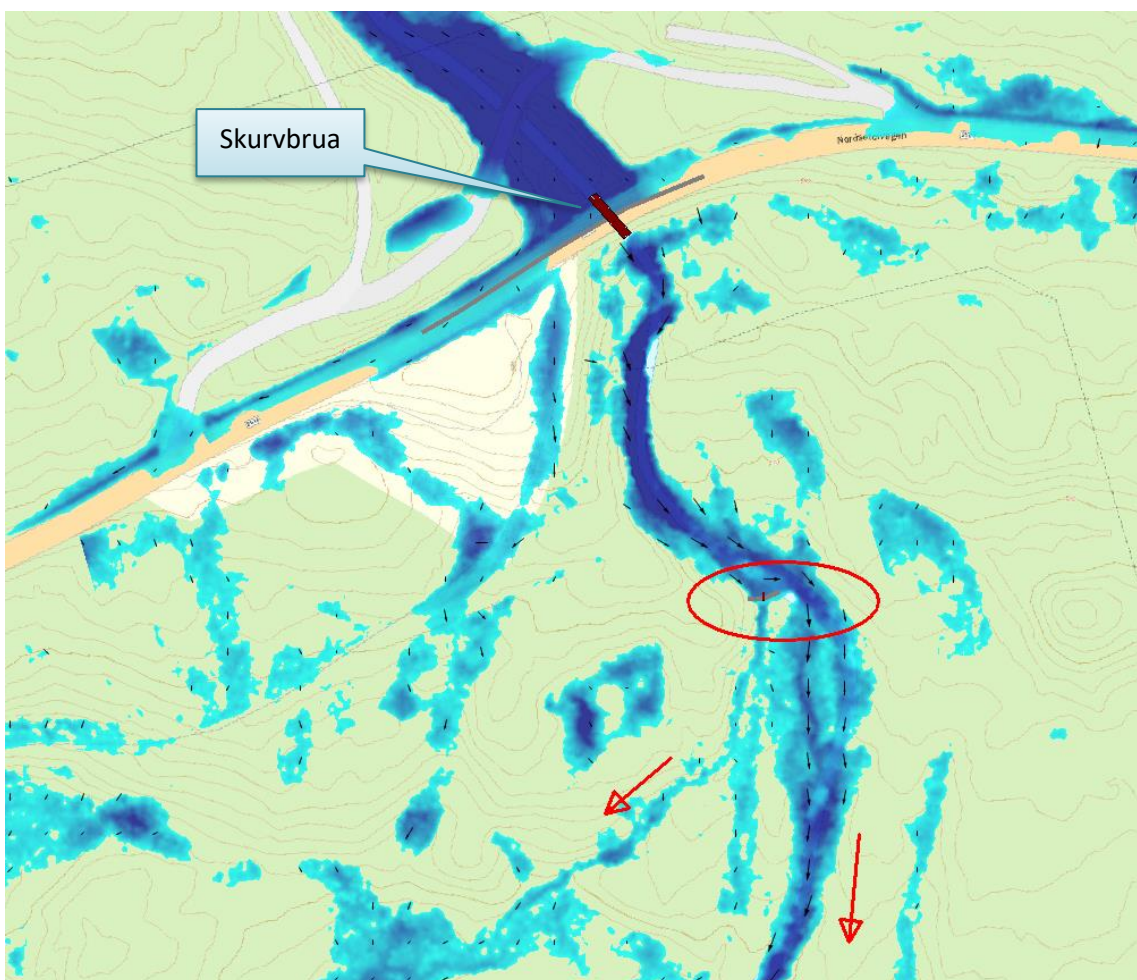
Rett Vest for Birkebeiner Skistadion er det også et krysningspunkt som i tilfelle gjentetting kan føre vann fra felt C helt utenom Abbortjern og rett til Skurva (Figur 2-5). I et maksimalt uheldig

ekstremtilfelle (med samtlige kulverter overbelastet) kan tilnærmet hele Skurvas nedbørfelt drenere ned Nordsetervegen og utenom Abbortjern. Dette punktet bør undersøkes i felt.



Figur 2-5. Krysningpunkt vest for skistadion som ved gjentetting kan føre vann utenom Abbortjern (fra SCALGO Live). Dette punktet er studert nærmere i kapittel 4.5.

Det går tilsynelatende kun en liten mengde vann i det vestre løpet av Skurva nedstrøms terskelen/demningen nedenfor Skurvbrua. Modellen indikerer også at en del av vannet som går over terskelen går tilbake i hovedelva litt lengre nedstrøms (Figur 2-6). Dette bør verifiseres i felt. Terskelen/tappeledningen var kun lagt inn med estimerte høyder (topp/krone +567,05) i denne modellversjonen, men er i ettertid oppmålt (kapittel 3.6).



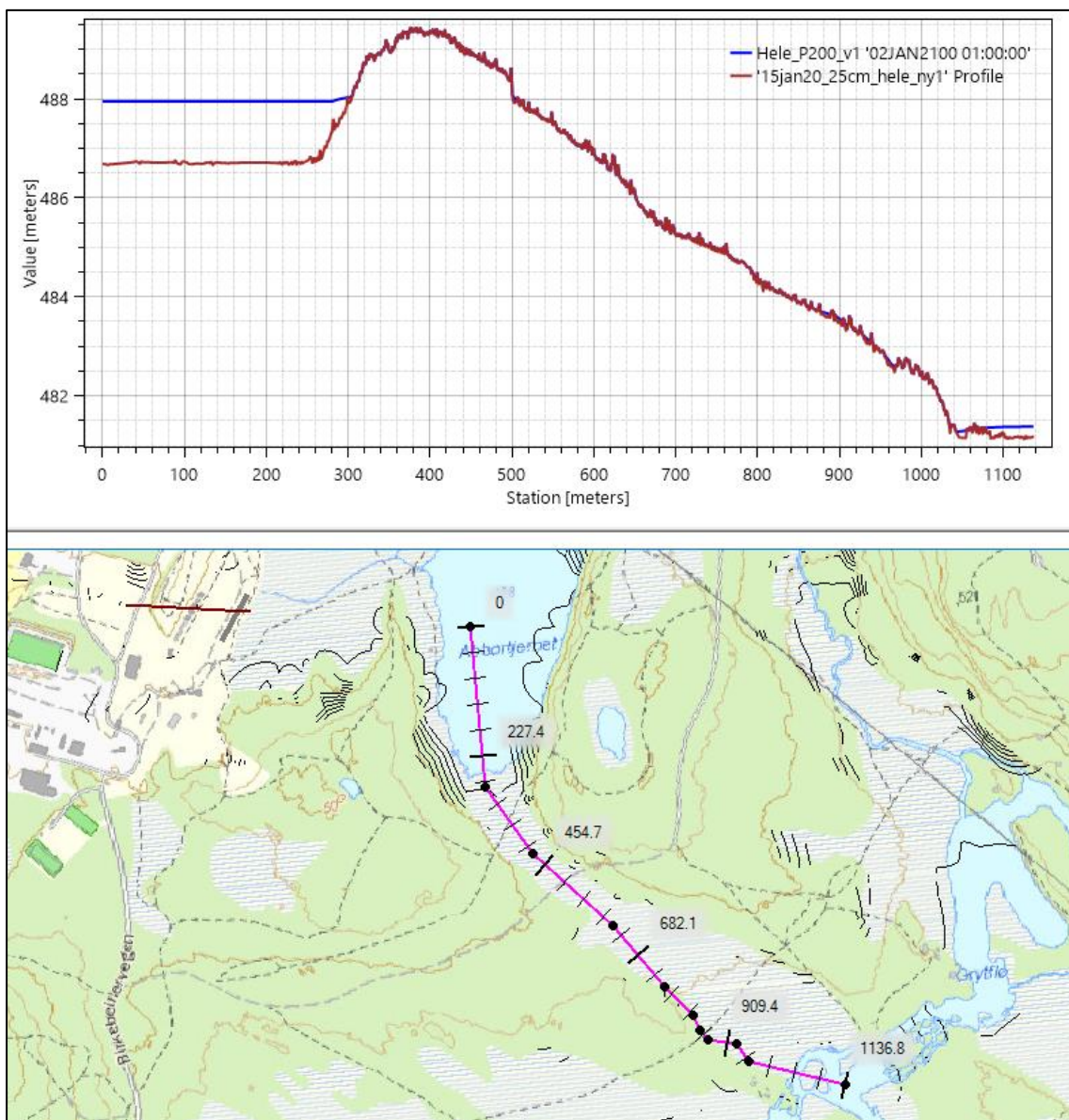
Figur 2-6. Modellen indikerer relativt lite vann i det vestre løpet av Skurva nedstrøms terskel/demning (rød ring).

Beregnet spissvannføring i hovedelva oppstrøms terskelen er $44,8 \text{ m}^3/\text{s}$ i denne modellen. Rett nedstrøms terskelen beregnes spissvannføring på $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ for det vestre løpet, mot $42,8 \text{ m}^3/\text{s}$ i hovedløpet. Dette utgjør henholdsvis 4 % og 96 % av totalvannføringen. Noe lengre nedstrøms er fordelingen 9 % mot 92 %. Økningen for det vestre løpet (Skurva), skyldes at terrengvann fra nordvest gir større og større bidrag.

Noe vann renner også vestover fra Skurvbrua nedover Nordsetervegen. Dette skyldes for det meste at det var lagt inn estimerte høyder og dimensjoner på kulvertene i denne modellen. Modellen indikerer også at mye av dette vannet vil kunne finne veien tilbake i vassdraget lengre vest, men det er tvilsomt om dette ville skjedd i praksis, jfr. tidligere flomhendelser. Ekstra stikkrennekapasitet under Nordsetervegen vest for Skurvbrua kunne muligens gitt økt sikkerhet mot slike hendelser.

Fordrøyningskapasiteten i Abbortjern er allerede utredet av COWI og vurdert som god. Noe annet som kan være verdt å vurdere er muligheten for å overføre vann til myrene i sørøst (i praksis Mesnavassdraget). Høydeforskjellen er relativt liten, og dette kan åpne for enda mer flomdemping. Høybrekk langs profilet i Figur 2-7 er ca. +489,5. Avstanden gjennom denne toppen er ca. 220 m. Mesnavassdraget framstår generelt også som bedre egnet til å håndtere og dempe

flomvann. En aktuell utredning kan derfor være å konsekvensvurdere overføring av vann fra Skurva/Abbortjern mot Mesnavassdraget.



Figur 2-7. Myrområdene videre sørøst for Abbortjern kan muligens være aktuelle for fordrøyning. Høybrekk langs profilet på ca. +489,5. (Terreng/vannstandsplott).

2.5. Oppsummering

2D-modelleringen av nedbørfeltet oppstrøms Abbortjern ga ingen umiddelbare nye oppdagelser, selv uten oppmålt geometri.

- Skurvas krysning med Nordseterveien (Skurvbrua) utgjør et kritisk punkt hvis kulverter ikke tar unna. I verste fall kan hele nedbørfeltet oppstrøms gå utenom Abbortjern og dermed ikke bli dempet.

- Ved terskelen nedstrøms Nordsetervegen/Skurvbrua går det tilsynelatende mindre vann i det vestre løpet enn først antatt. Selv med oppmålt geometri er det tvilsomt om modellen ville beregnet at noe særlig mer vann ville gått over terskelen og vestover ved flom. Noe av dette ville trolig også gått tilbake til hovedvassdraget litt lengre nedstrøms
- Tette/overbelastede kulverter vil føre til at mer vann ledes utenom Abbortjern, hvilket vil øke potensialet for skader lengre nedstrøms. Første prioritet bør være å sørge for at mest mulig flomvann ledes til Abbortjern, f.eks. via flomveier som samler opp vann fra eventuelle tette kulverter.

Følgende forslås undersøkt etter modelleringsrunde 1 for å øke kunnskapsgrunnlaget om Skurvas nedbørfelt:

- Oppmåling av terskel (inkl. tappeledning) nedstrøms Skurvbrua (høyder, senterlinje)
- Oppmåling av kulverter/stikkrenner i nedbørfeltet (dimensjon, kote inn/ut)
- Kartlegging/befaring av kritiske punkter for å vurdere hvor vannet vil gå når kapasiteten overskrides

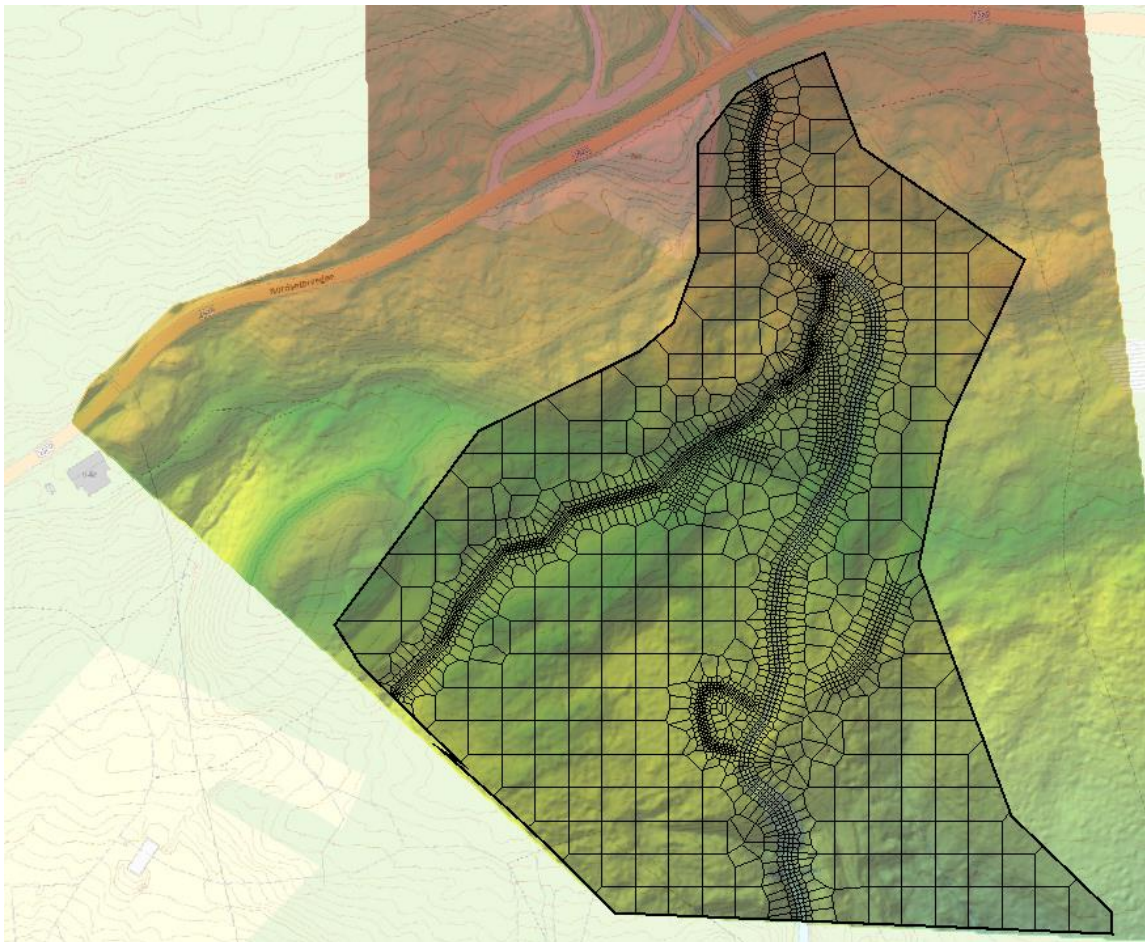
3. MODELLERING AV TERSKEL VED NORDSETERVEGEN

3.1. Bakgrunn

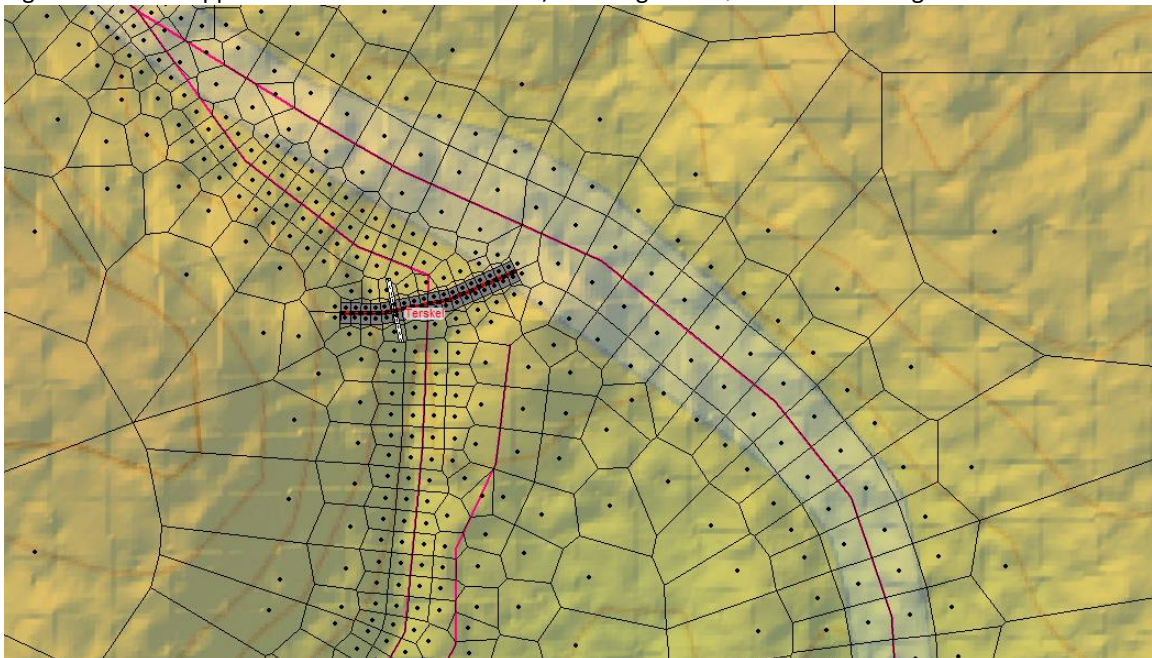
Som nevnt i kapittel om nedbør-avløpsmodellen er det ønskelig å få bedre oversikt over hvor mye flomvann som kan tenkes å renne over terskelen og vestover. Det er derfor satt opp en 2D-modell spesifikt for dette området (Figur 3-1), med større detaljnivå enn nedbør-avløpsmodellen.

3.2. Grunnlag

Det er benyttet samme terrengmodell som for nedbør-avløpsmodellen (terrengmodell med 25 cm cellestørrelse), men input i form av konstant vannføring (Q_{200} -verdi fra COWIs rapport (Berg, 2017), uten klimapåslag). Ruhet er satt til 0,045 for hele modellen. Terskelen er lagt inn som 2D-connection, og terskelhøyde/geometri er estimert tilsvarende som i nedbør-avløpsmodellen. Utsnitt av terskelområdet vist i Figur 3-2. Som inputvannføring er det tatt utgangspunkt i COWIs tall for 200-årsflom på 2316 l/s/km^2 . Med en feltstørrelse oppstrøms på $10,57 \text{ km}^2$ blir inputvannføringen $24,48 \text{ m}^3/\text{s}$. Vannføringen kommer inn i modellen rett nedstrøms krysning Nordsetervegen. Det legges til grunn at kun den delen av felt B (Figur 2-2) som bidrar i normalsituasjonen, bidrar med vann i denne beregningen. Nedstrøms grensebetingelse er satt til normalstrømning.



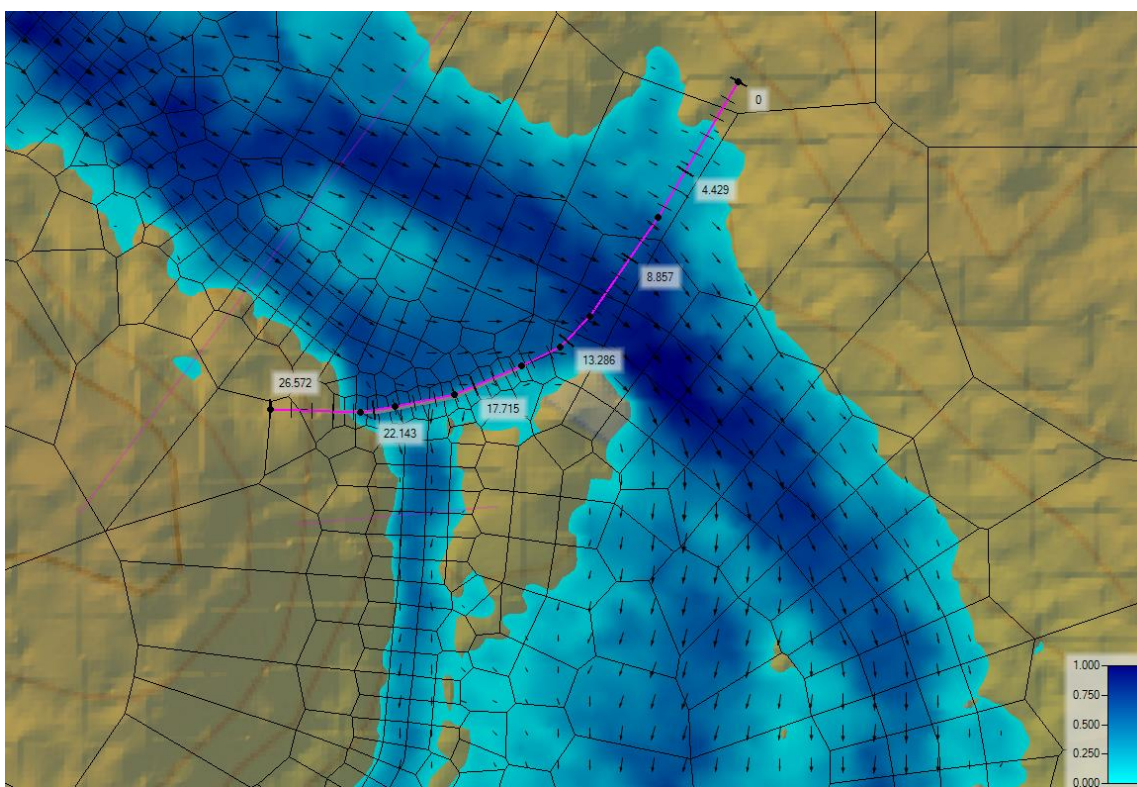
Figur 3-1. Modelloppsett for området med terskel/demning nedstrøms Nordsetervegen.



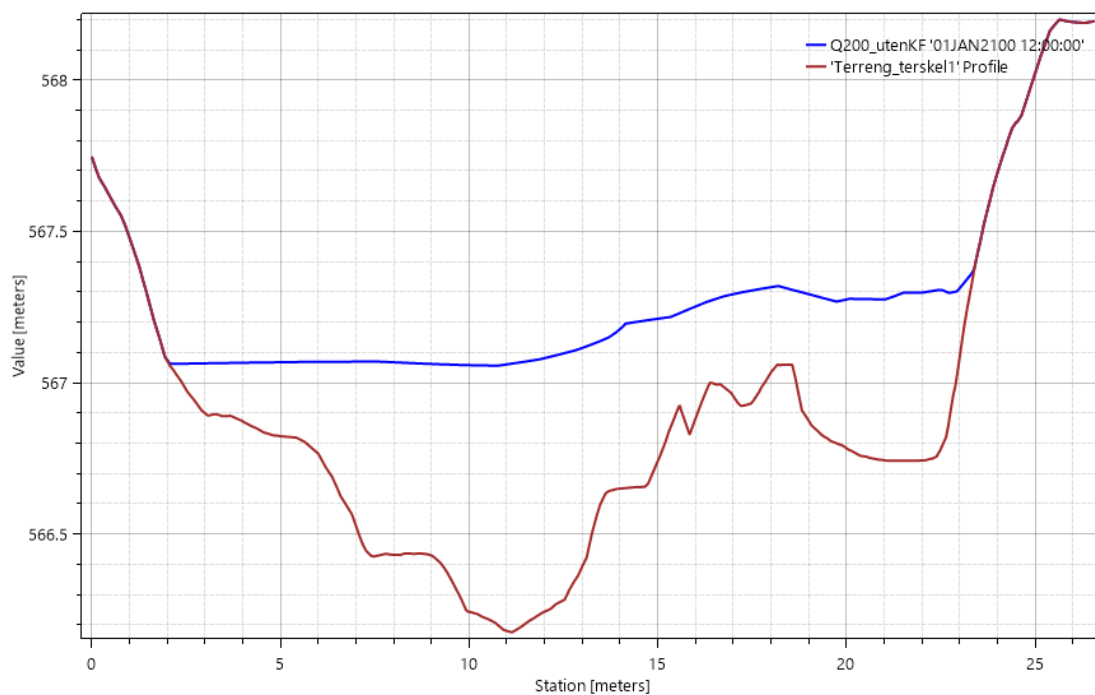
Figur 3-2. Utsnitt av modellen ved terskelen.

3.3. Metode

Modellen kjøres med 0,5 sekunds tidssteg og beregningsmetode Diffusion wave til det oppnås stasjonære forhold. Dybdeplott av terskelområdet vises i Figur 3-3 med tverrprofil fra terrengmodell i Figur 3-4:



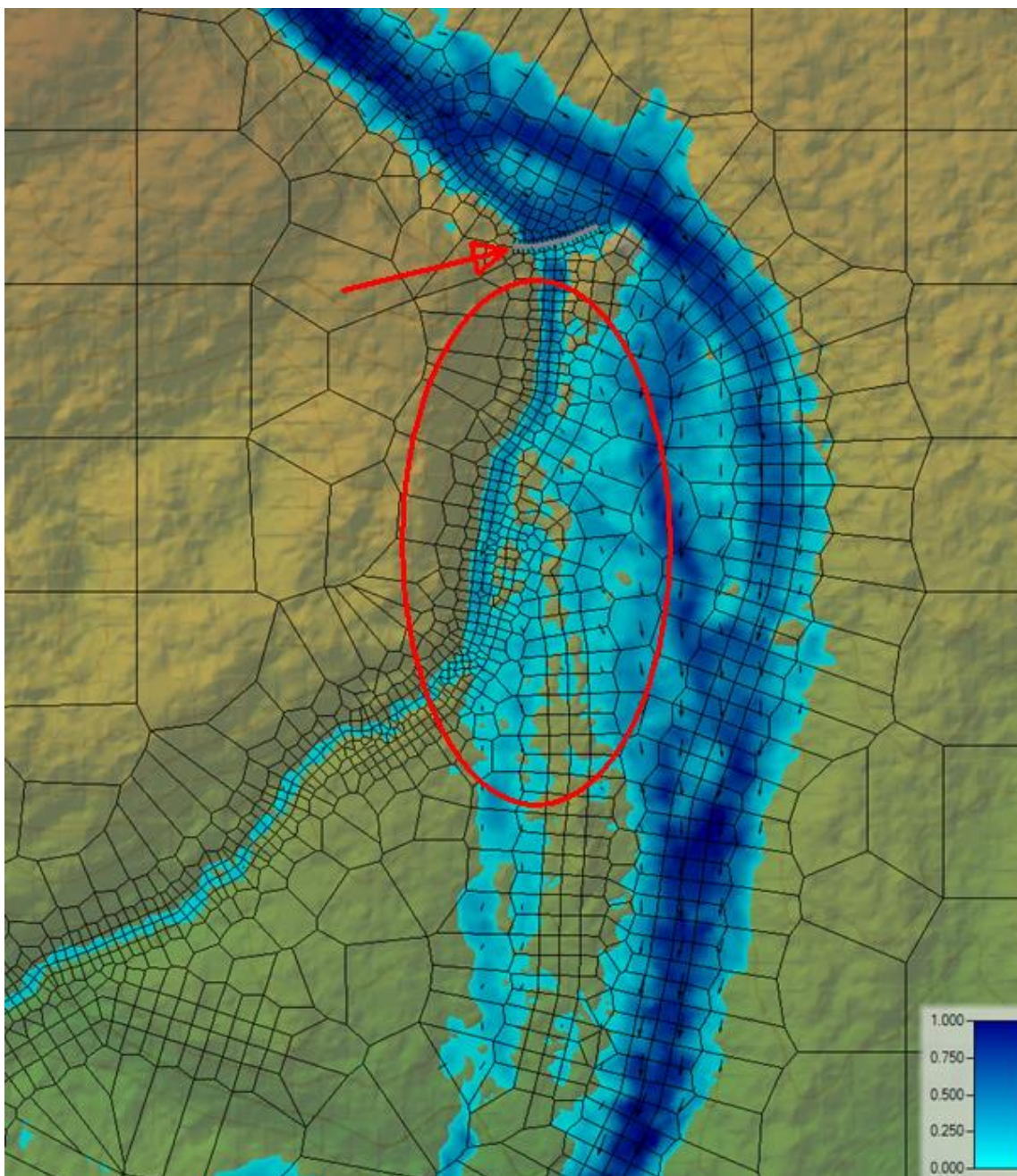
Figur 3-3. Dybdeplott ved terskelområdet.



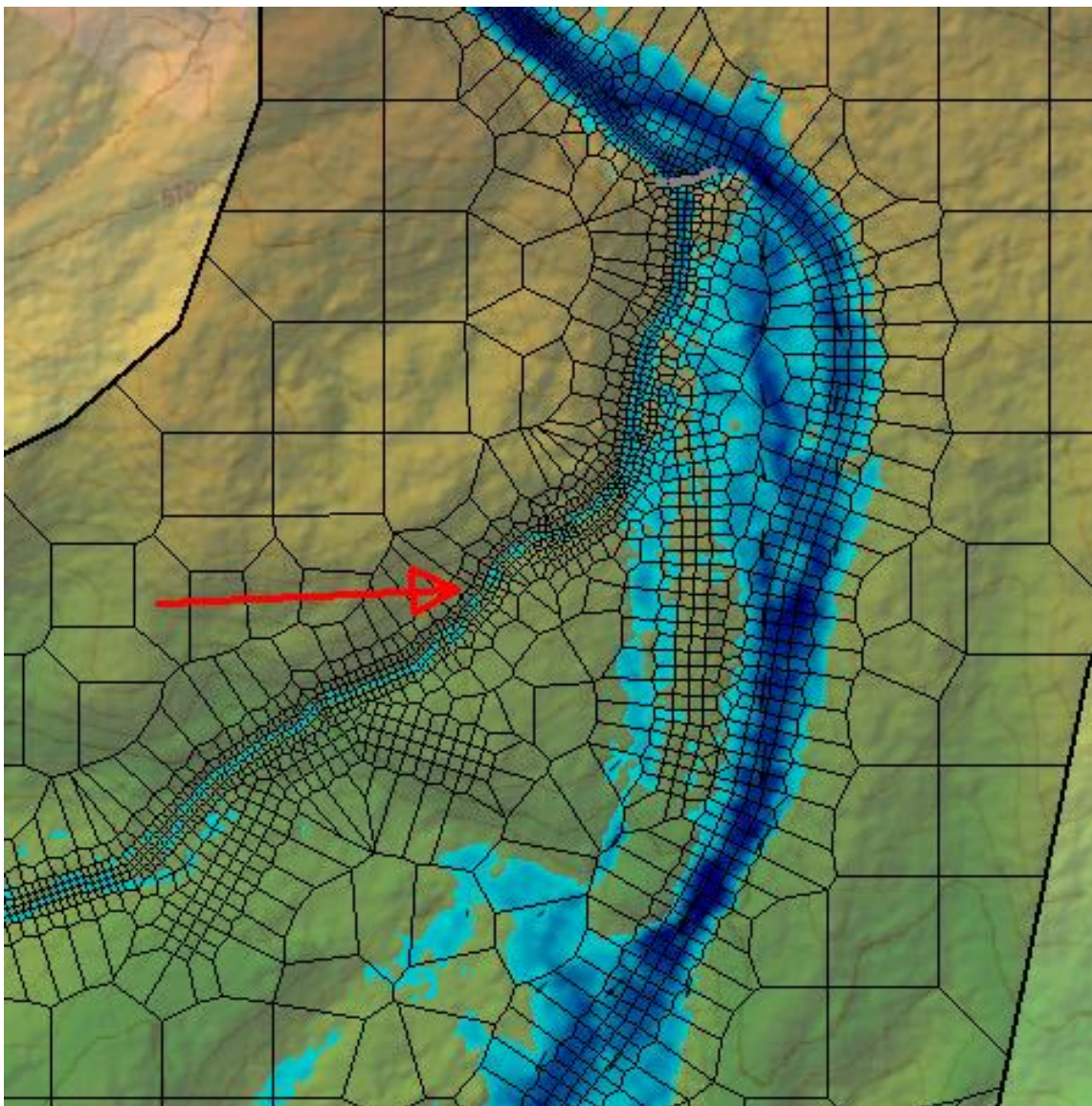
Figur 3-4. Tverrprofil av elva ved terskel (selve terskelen vises ikke, men er i modellen lagt på +567,05).

3.4. Resultater

Dybdeplott av terskelområdet vises i Figur 3-5. Beregningen tyder på at mesteparten av vannet som går over terskelen renner tilbake til hovedvassdraget igjen lengre nedstrøms. Ca. 7 % av 200-års- vannføringen ser ut til å gå over terskelen. I punktet vist i Figur 3-6 er det nesten ingenting igjen av det opprinnelige vannet som gikk over terskelen. 99 % av vannføringen går da i hovedløpet mot Mesna.



Figur 3-5. Dybdeplott av terskelområdet (terskel vist med pil). Mesteparten av vannet som går over terskelen ser ut til å gå tilbake i hovedvassdraget litt lengre nedstrøms (markert med rød ring).



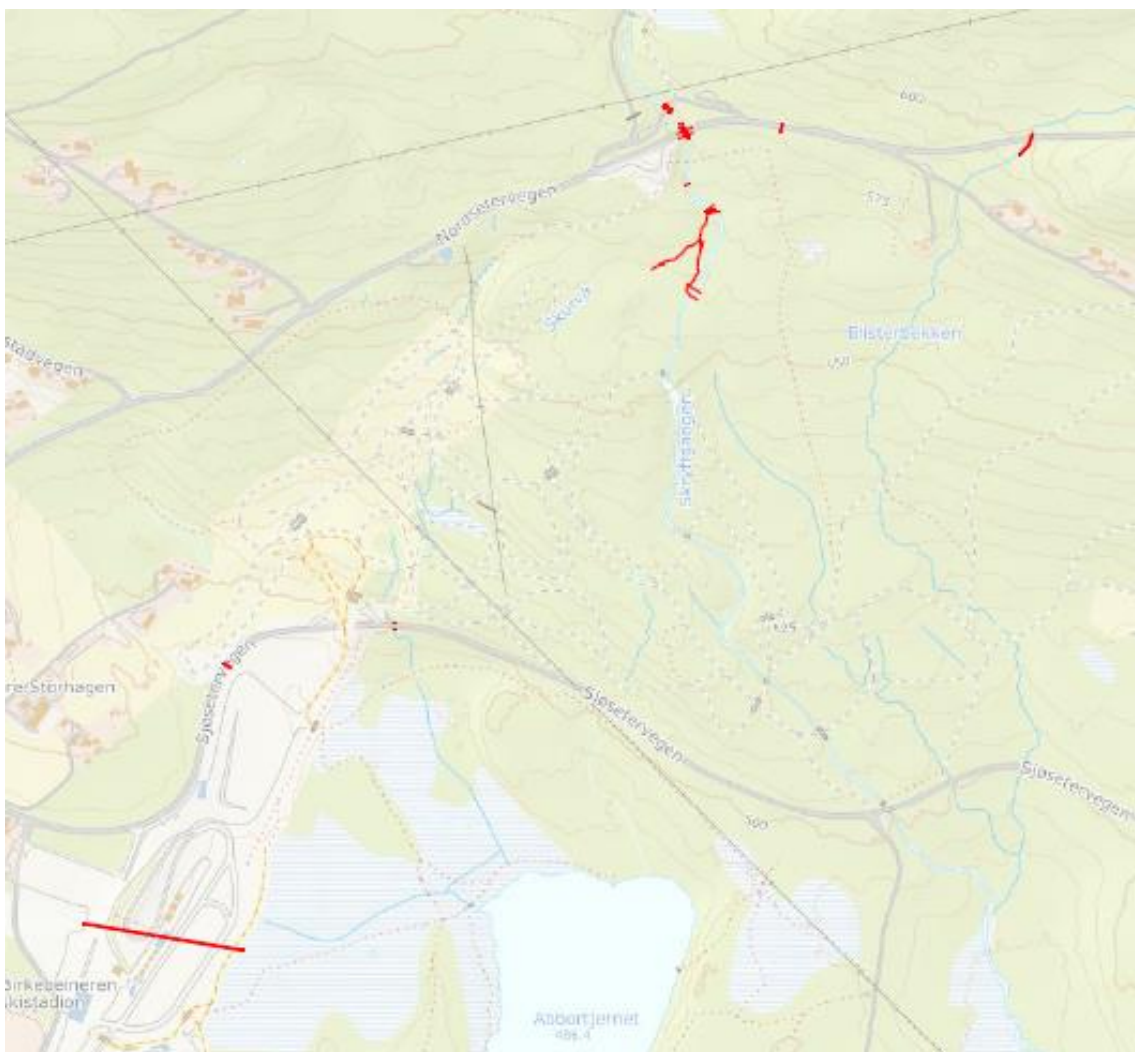
Figur 3-6. I elvestrengen ved rød pil er det nesten ingenting igjen av vannet som opprinnelig gikk over terskelen. 99 % av vannføringen går i det østre løpet mot Mesna.

3.5. Oppsummering

Beregningen tyder på at veldig lite vann fra selve elva går videre i det vestre løpet fra terskelen, selv ved storflom. Når det er sagt vil vestre løp/Skurva få et betydelig bidrag av terrengavrenning fra sør/vestsiden av Nordseterveien. Det må også understrekes at terskelen er modellert med estimert geometri og høyde i denne runden. Øvrig terreng er basert på laserdata fra 2014. Det er uansett god grunn til å undersøke disse forholdene nærmere i felt for å verifisere beregningene.

3.6. Nye beregninger etter innmåling (2020/2021)

Scan Survey AS utførte som nevnt oppmåling av utvalgte punkter høsten 2020. Hovedsakelig var det snakk om inn-utløpshøyder på stikkrenner, men også elveprofiler ved Skurvbrua, terskelen, og nedstrøms denne. Figur 3-7 viser målestedene. Utsnitt for Skurvbrua/terskel er vist i Figur 3-8.



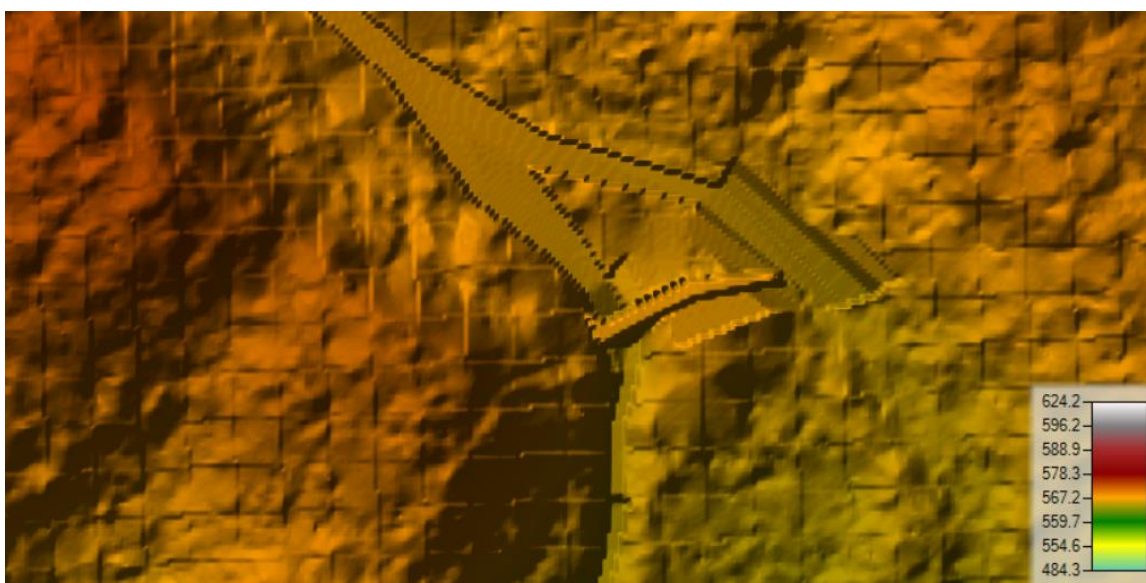
Figur 3-7. Oppmålte punkter/profiler høsten 2020 (Scan survey AS). Abbortjern nederst i bildet.

For terskelen viste innmålingen at toppen lå på ca. +567,15 moh. (mot 567,05 estimert) med bredde ca. 0,46 m og lengde ca. 11,4 m. Eksisterende modeller ble så oppdatert med innmålingene, og nye ble også satt opp. Den oppdaterte beregningen for 200-årsflommen viser at det fortsatt bare beregnes ca. 0,9 m³/s videreført over kanten mot det vestgående sidevassdraget. Lengre nedstrøms er denne mengden ytterligere redusert. Dette indikerer at modellen, som før, beregner at vann også går tilbake mot hovedvassdraget nedstrøms terskelen.

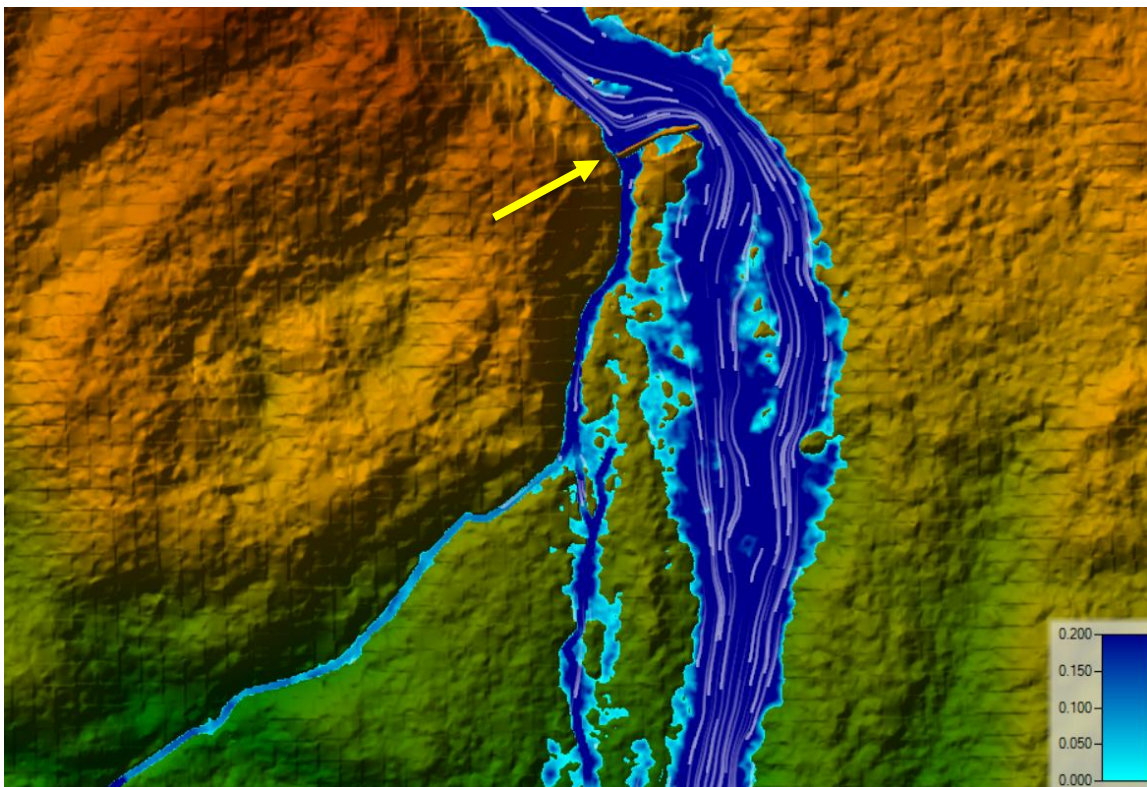
Det tyder også på at terskelen ikke ser ut til å være en kilde til «vann på avveie» som tidligere spekulert. Det understrekes at terrengdata nedstrøms terskelen fortsatt er relativt mangelfulle. De oppmålte linjene vil dermed skille seg tydelig ut fra omgivelsene i terrengmodellen. Dette er vist i Figur 3-9. Dybdeplott for oppdatert 200-årsflommodellering er vist i Figur 3-10.



Figur 3-8. Oppmålte punkter/profiler ved Skurvbrua/Nordsetervegen + terskelområdet nedstrøms.

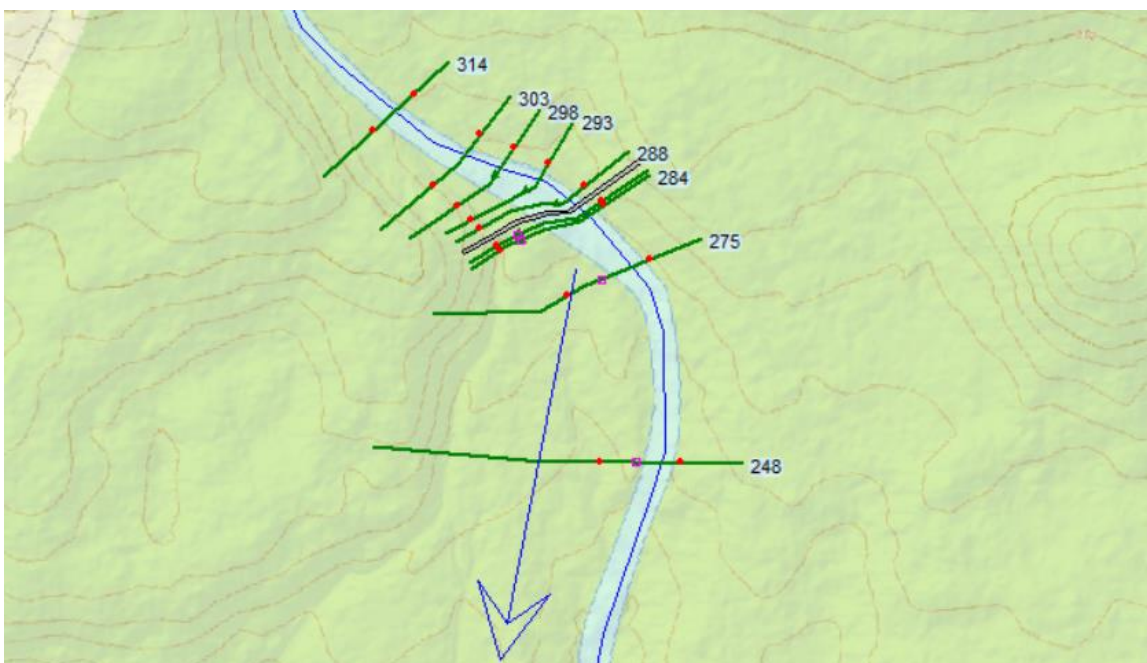


Figur 3-9. Oppmålte partier ved terskelen danner et tydelig skille mot øvrig laserterreng. Dette er spesielt tydelig rundt selve terskelen.

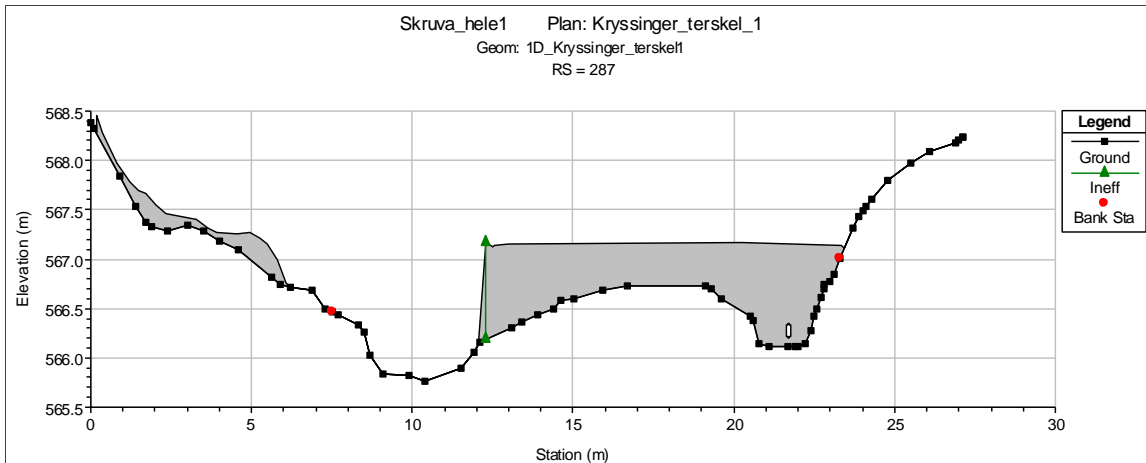


Figur 3-10. 200-årsvannføring (dybdeplott) med oppdatert terreng. Beregnet videreført vannmengde over terskelen til vestre sidevassdrag er under $1 \text{ m}^3/\text{s}$. (Terskel markert med gul pil)

Det ble også satt opp alternativ HEC-RAS 1D-modell (Figur 3-11) for å beregne vannføringskurve for elvetverrsnittet med terskelen. Terskelprofilene ble lagt inn som «Inline Structure» (profil 288).

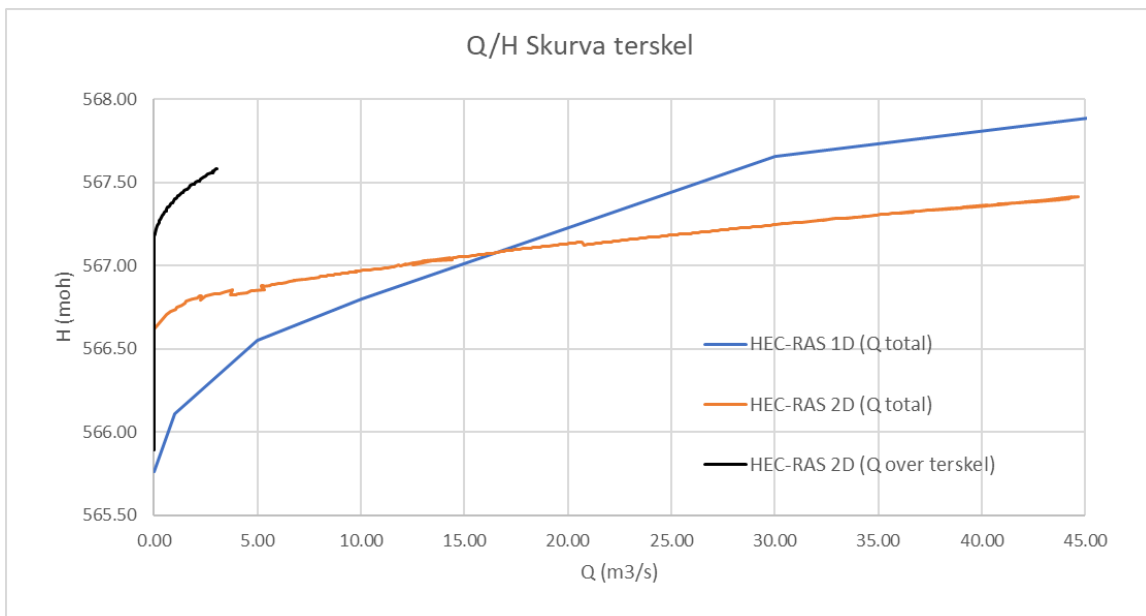


Figur 3-11. 1D HEC-RAS-modell for beregning av vannføringskurve for terskelområdet. (Terskelen er ved profilnr. 288).



Figur 3-12. Terskelprofil i HEC-RAS.

For både 1D (stasjonær) og 2D ble det så kjørt et spekter av vannføringer for å estimere vannføringskurve for profilet. 1D-kjøringen ga en vannføring på ca. $18,3 \text{ m}^3/\text{s}$ i hovedløpet som kritisk vannføring for når vannstanden når opp til topp av terskelen. 2D-kjøring ga ca. $18,8 \text{ m}^3/\text{s}$ som kritisk vannføring for overtopping. Det finnes ikke kjente vannføringsmålinger for terskelområdet. Avvikene mellom modellene kan skyldes at 1D-ruhetsverdier ikke nødvendigvis er direkte overførbare til 2D. (Samme ruhetsverdier kan gi forskjellige resultater.) Kurvene vises i Figur 3-13. For begge kjøringene ble det benyttet ruhetsverdi $n = 0,04$ for både elv og sideterreng. Beregnet vannmengde over terskelen mot vestre sidevassdrag ble ellers kun $3 \text{ m}^3/\text{s}$ ved vannføring i hovedvassdraget på $50 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 3-13. Estimerte vannføringskurver for terskelen.

4. MODELLERING AV KRITISKE PUNKTER

4.1. Generelt

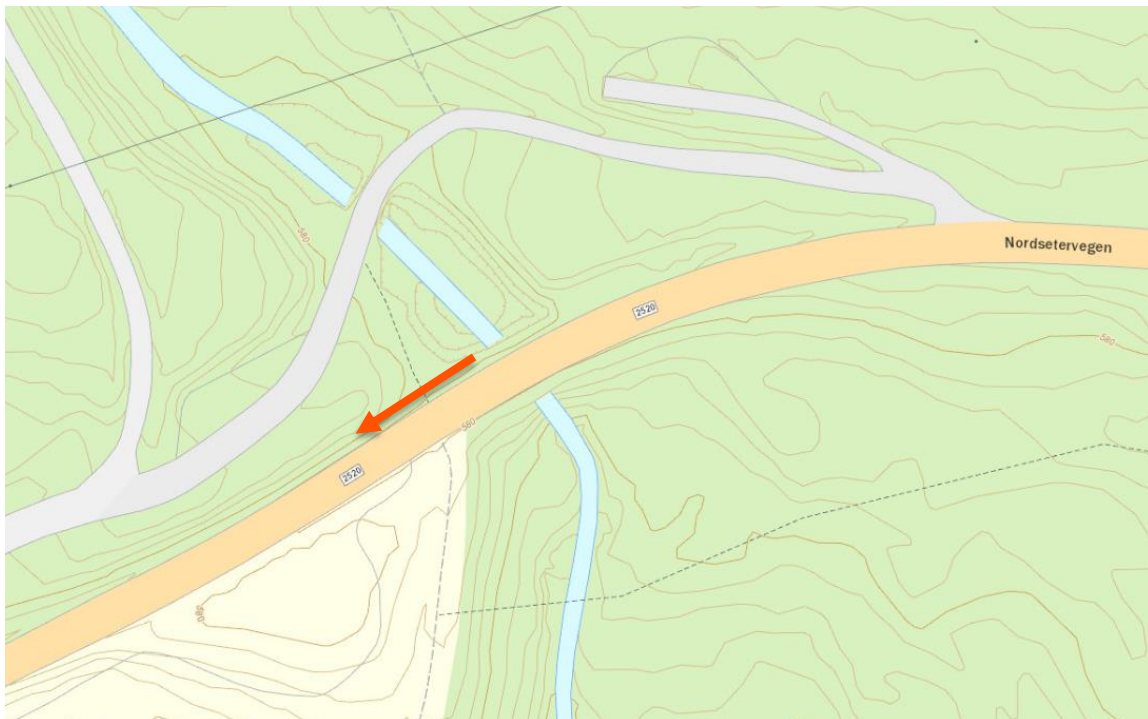
Det er satt opp hydrauliske modeller for utvalgte kritiske punkter. Hovedmålet er å estimere kritiske nivåer og øvrig karakteristik, f.eks. for kulvertstrømning, vannføringskurver og overtopping. Et annet delmål er å teste hvilke modelleringsprogrammer/beregningsmetoder som er best egnet for de forskjellige situasjonene. Det er brukt HY-8, HEC-RAS 1D og HEC-RAS 2D. Modellene er satt opp med tilnærmet like inngangsdata.

Generelt er det brukt et minimum av grunnlag, typisk det man ofte vil ha tilgjengelig på kort varsel for tilsvarende jobber: Laserdata/høydemodell, innmålte stikkrennehøyder/dimensjon + et minimum av profilinnmålinger.

Det benyttes ruhet basert på erfaringsverdier fra Vassdragshåndboka, $n = 0,04$ for elveløp og $0,012$ for kulverter/stikkrenner. Innløpstapskoeffisient i HEC-RAS settes til $0,6$.

4.2. Skurvbrua

For Skurvbrua (Figur 4-1) ble det målt opp kulverthøyder/dimensjon, samt et par tverrprofiler. Øvrig grunnlag er laser-høydemodell (25 cm oppløsning). En utfordring på dette stedet er at vannet vil begynne å renne sørover i grøfta hvis nivået stiger nok. Krysningen består av fem kulverter på 1000 mm, som vist i Figur 1-2.

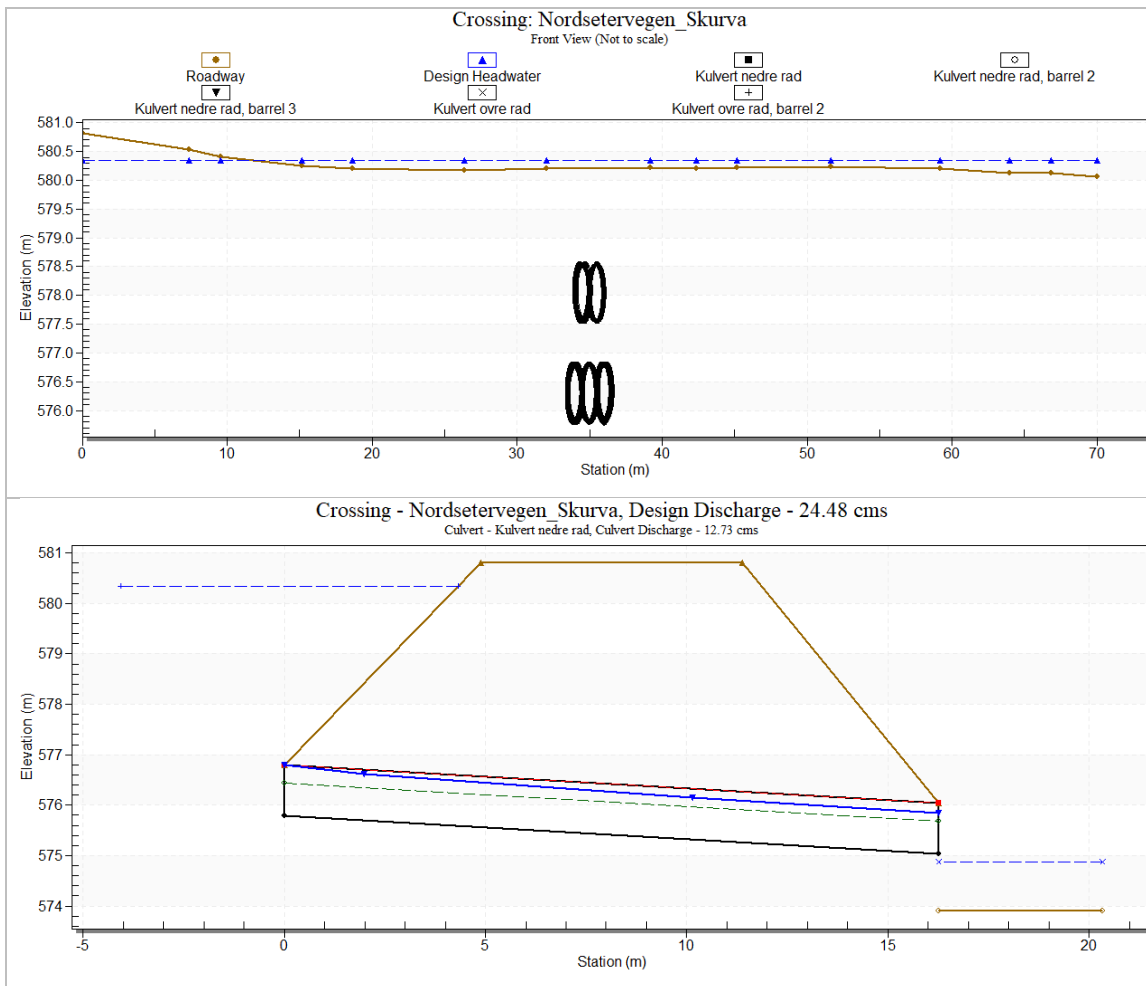


Figur 4-1. Skurvbrua. Ved stor flom eller gjentetting av kulverter kan vann begynne å renne mot sørvest i veigrøfta.

4.2.1. HY-8

Modell for Skurvbrua ble lagt inn i HY-8 med irregulært veiprofil, samt irregulært nedstrøms tverrsnitt (hentet fra terrengmodell oppdatert med innmålinger). De fem kulvertene legges inn som to kulverter i to nivåer, med henholdsvis to og tre løp. Dette fordi programmet har

begrensninger som gjør at opptegning i «front view» med fem enkeltstående kulverter gir programkrasj. En annen begrensning som gjør seg gjeldende, er grensen på 15 punkter i linja for topp vei. Resulterende front- og sidevisning vises i Figur 4-2.

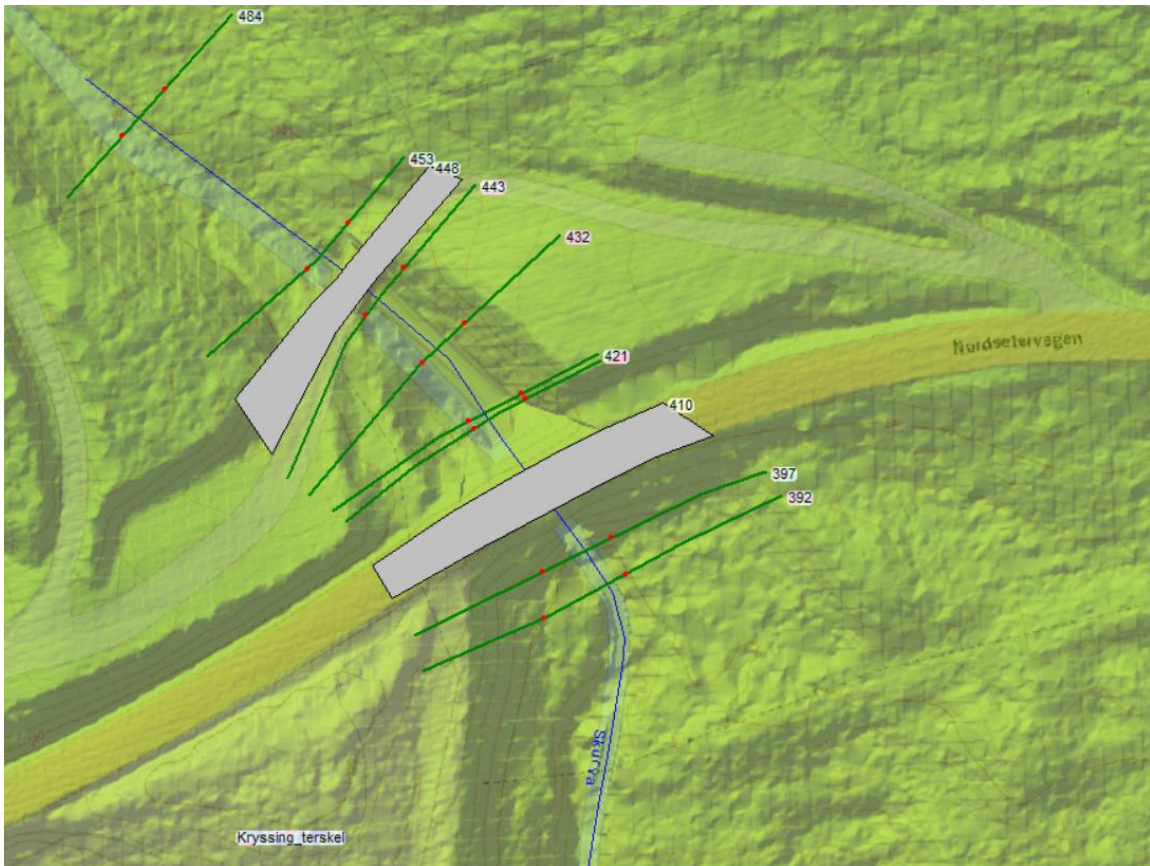


Figur 4-2. Oppsett for Skurvbrua i HY-8.

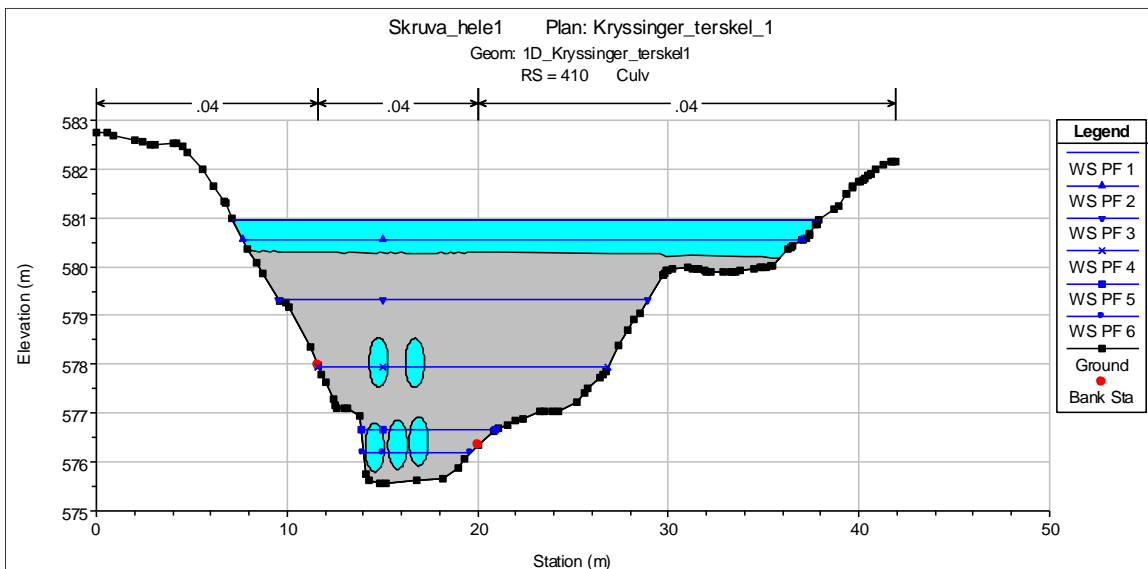
HY-8 beregningen gir kritisk vannføring for overtopping på ca. $18,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (580,07 moh). Beregningen fanger riktignok ikke opp at vann kan begynne å renne i grøfta før dette nivået. Ut fra terrenngmodellen virker nivået for begynnende vannstrømming i grøfta å være +580,00 moh. HY-8- modellen kunne trolig vært justert for å fange opp dette ved å la vegprofilen bøye av nordover og skjære høybrekket i grøfta. En vil da riktignok møte på 15-punktens-begrensningen for opptegning av veilinja, samt at det krever tilgang på en terrenngmodell. Alt i alt fungerer HY-8 greit til denne typen krysning. Det er riktignok bare marginalt mer tidkrevende å sette opp en HEC-RAS-modell, som gir vesentlig bedre analysemuligheter.

4.2.2. HEC-RAS 1D

Det settes opp HEC-RAS-modell basert på den opprinnelige terrenngmodellen, oppdatert med innmålinger (Figur 4-3). Bruprofilen med kulvertene vises i Figur 4-4.



Figur 4-3. HEC-RAS 1D-modell for Skurvbrua.

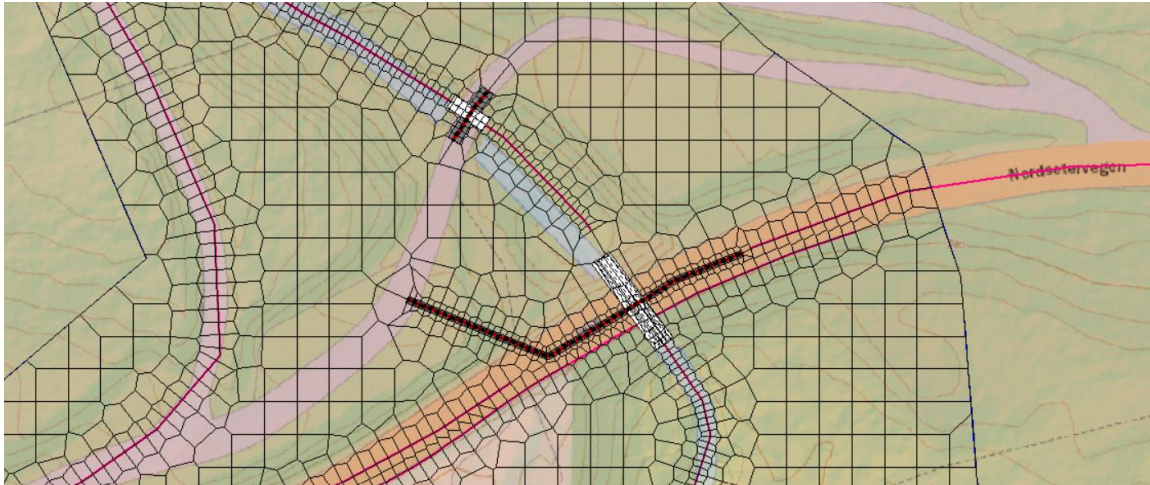


Figur 4-4. Oppstrøms bruprofil for Skurvbrua med opp mot 50 m³/s vannføring.

HEC-RAS 1D gir bedre oversikt og flere muligheter enn HY-8, men vil heller ikke uten videre beregne vann på avveie sørvestover i veigrøfta. Modellen beregner overtopping ved ca. 26,4 m³/s (+580,18 moh).

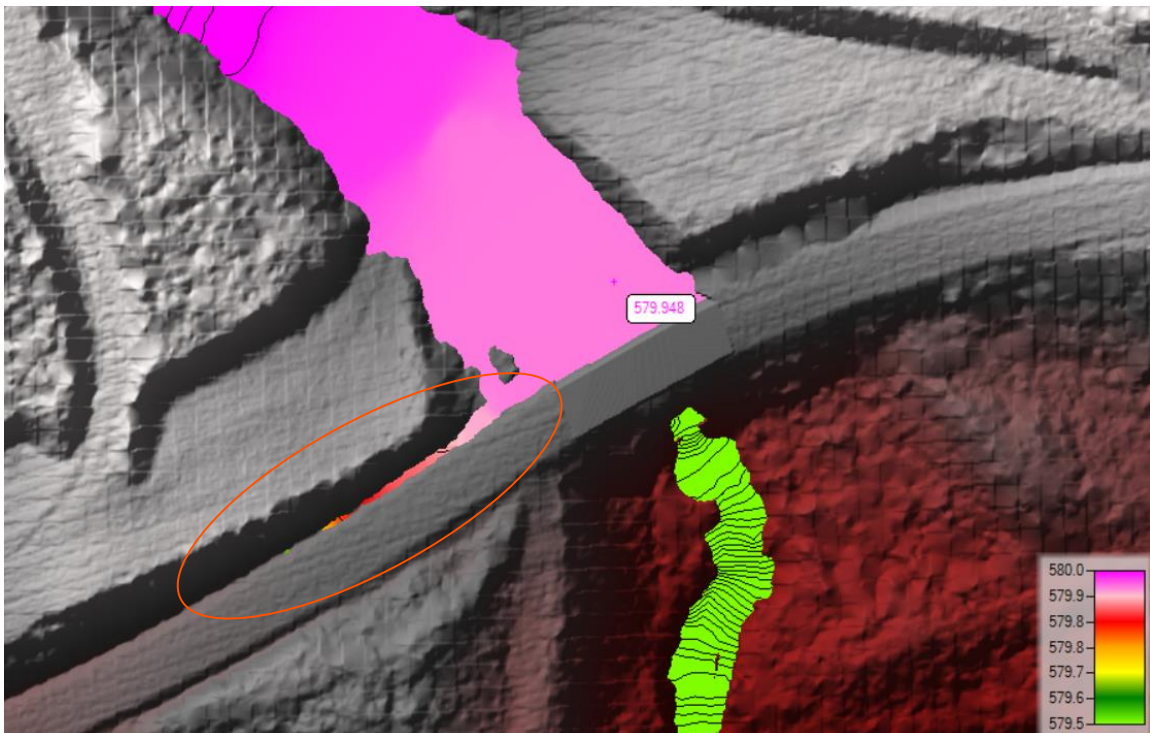
4.2.3. HEC-RAS 2D

2D-modell for Skurvbrua ble satt opp som vist i Figur 4-5, med alle individuelle kulvertløp lagt inn.



Figur 4-5. HEC-RAS 2D-modell av Skurvbrua.

Det ble kjørt en vannføringsserie der vannføringen øker jevnt opp mot 50 m³/s over seks timer. Det ble brukt bølgeligning Diffusion wave og 1 sek. tidssteg. Vannstandsplott for ca. kritisk nivå vises i Figur 4-6. Ved dette nivået begynner vann å strømme i veigrøfta. På dette tidspunktet er innkommende vannføring 18,3 m³/s og vannstand foran kulvertene +579,948 moh.

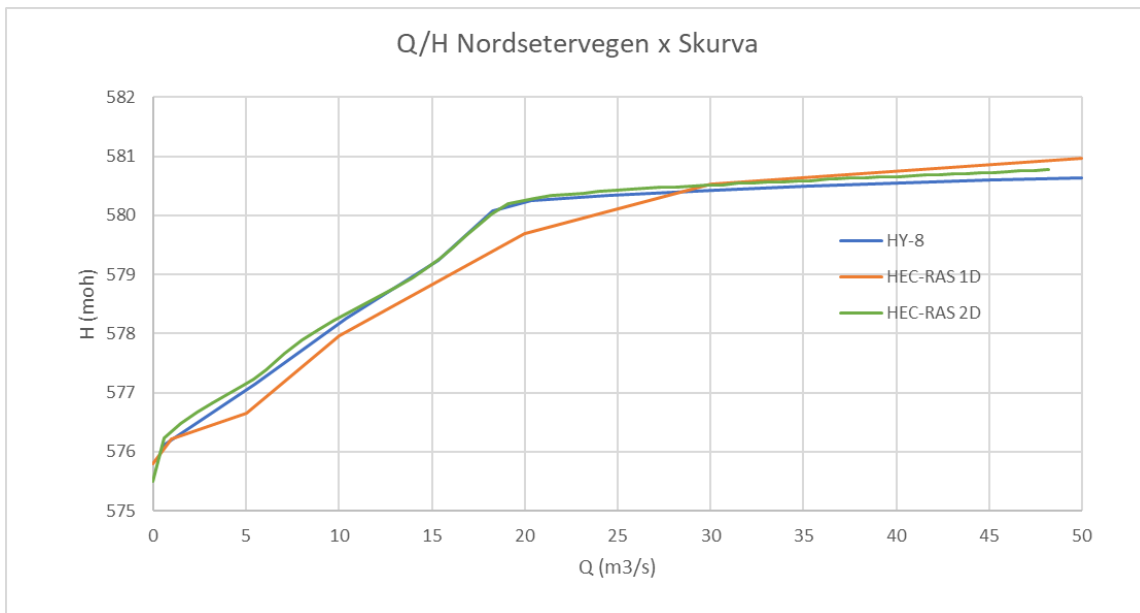


Figur 4-6. Vannstandsplott ved nivå for begynnelende strømning i veigrøfta (rød markering).

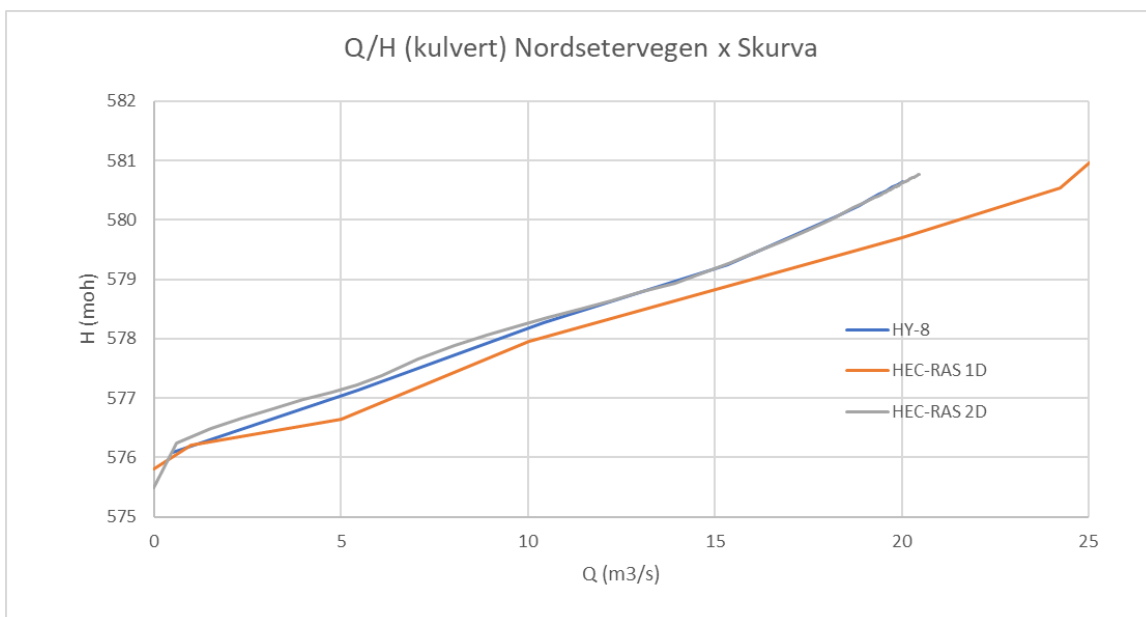
Overtopping begynner ved ca. +580,20 moh vannstand foran kulvertene og innkommende vannføring ca. 19,4 m³/s.

4.2.4. Oppsummering

Resulterende vannføringskurver for Skurvbrua (inkludert kulverter) for de forskjellige modellene er vist i Figur 4-7. Vannføringskurve for kulverter er vist i Figur 4-8.



Figur 4-7. Beregnede vannføringskurver for Skurvbrua.

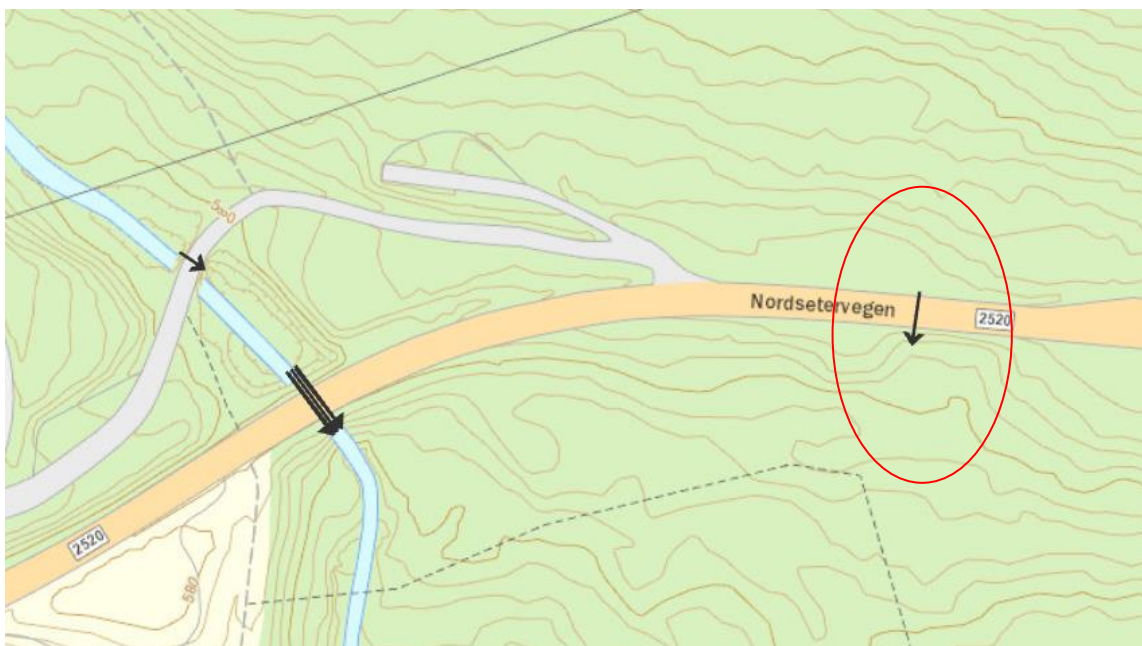


Figur 4-8. Beregnede vannføringskurve for kulverter gjennom Skurvbrua.

For denne krysningen gir de tre metodene noenlunde like resultater. En kan slutte fra det at for ren kulvertdimensjonering vil HY-8 eller 1D HEC-RAS gi tilfredsstillende resultater. Ved risiko for vann på avveie via veigrøfter og lignende, vil en 2D-modell trolig være enkleste metode for å kartlegge kritiske nivåer.

4.3. Stikkrenne FV2520 m6301

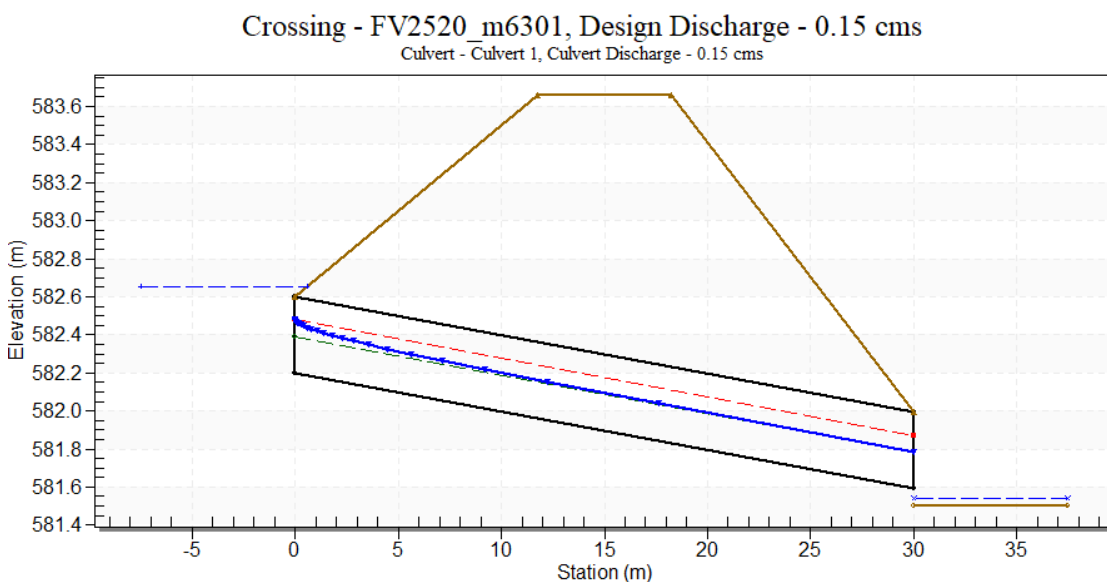
Denne stikkrenna krysser Nordsetervegen nordøst for Skurvbrua (Figur 4-9) og hadde tilsynelatende risiko for å videreføre vann i grøfta fra innløpet, jfr. f.eks. Figur 2-6. For denne er det målt inn innløp- og utløpshøyde, samt dimensjon. Øvrig grunnlag er tatt fra laserdata.



Figur 4-9. Stikkrenne FV2520 m6301 (400 mm).

4.3.1. HY-8

Modelloppsett i HY-8 er som følger (Figur 4-10).



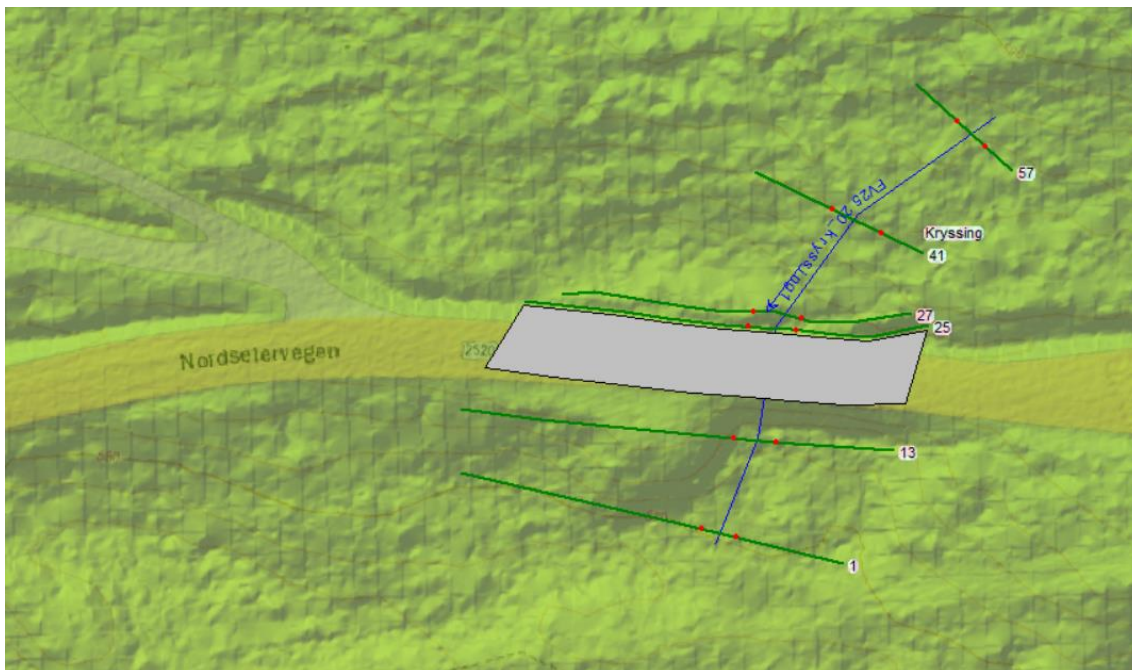
Figur 4-10. Sidevisning av HY-8-oppsett. Topp vei er lagt med konstant kote og 10 m lengde.

Det brukes konstant høyde for topp vei (+583,66 moh.) og 10 m. veilengde. Dette for å gjøre det enkelt, da programmet uansett ikke kan beskrive vann som renner i grøfta forbi innløpet.

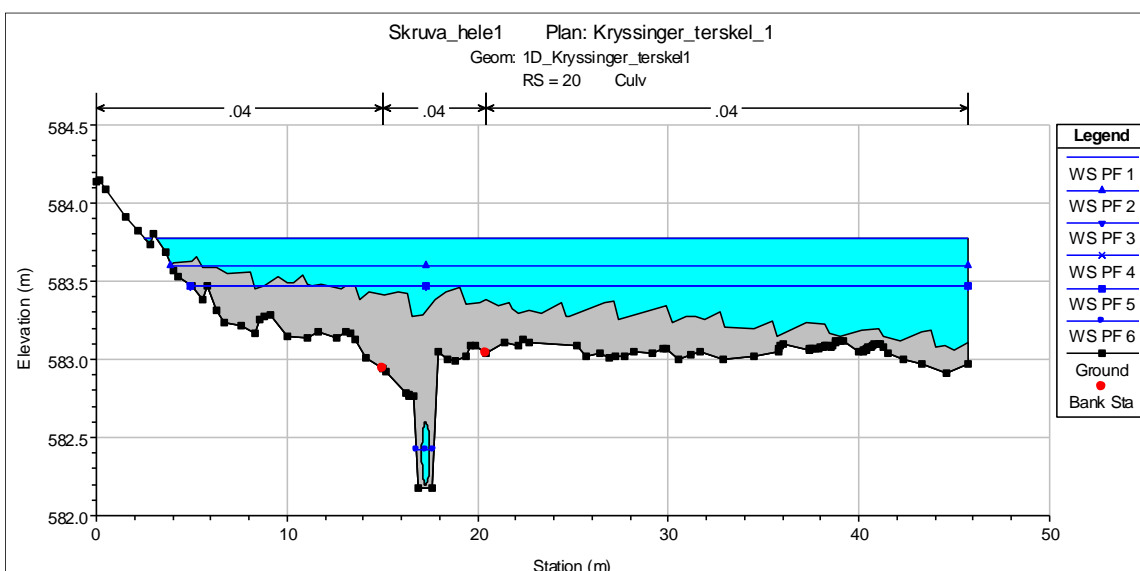
Beregningen viser overtopping av veibane allerede fra $0,38 \text{ m}^3/\text{s}$. Vann vil renne vestover i grøfta lenge før dette.

4.3.2. HEC-RAS 1D

Modelloppsett er vist i Figur 4-11. Selv om denne modellen gir flere muligheter enn HY-8 er ingen av dem særlig egnet til denne typen kryssinger. Liten oppstuvningsmulighet ved innløpet og godt fall på veigrøft mot vest tilsier at mesteparten av vannet ved en flom vil gå forbi stikkrenna. Tverrprofil av kryssingen vises i Figur 4-12.



Figur 4-11. 1D modell for stikkrenne FV2520 m6301.

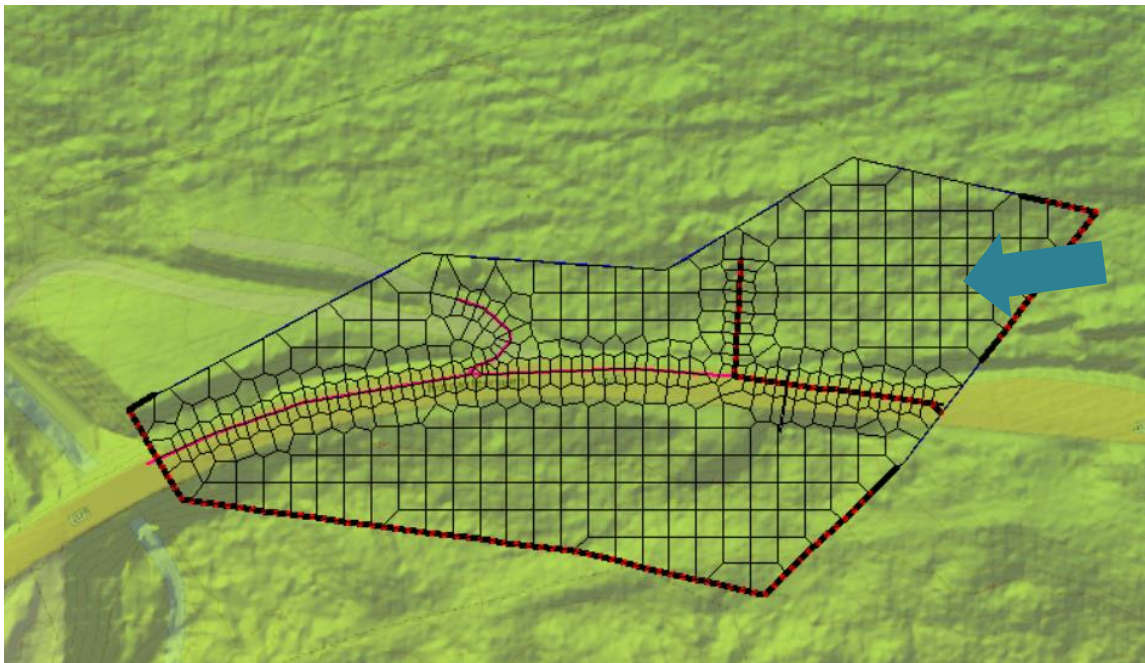


Figur 4-12. Tverrprofil av kryssingen med vannføring opp mot $20 \text{ m}^3/\text{s}$.

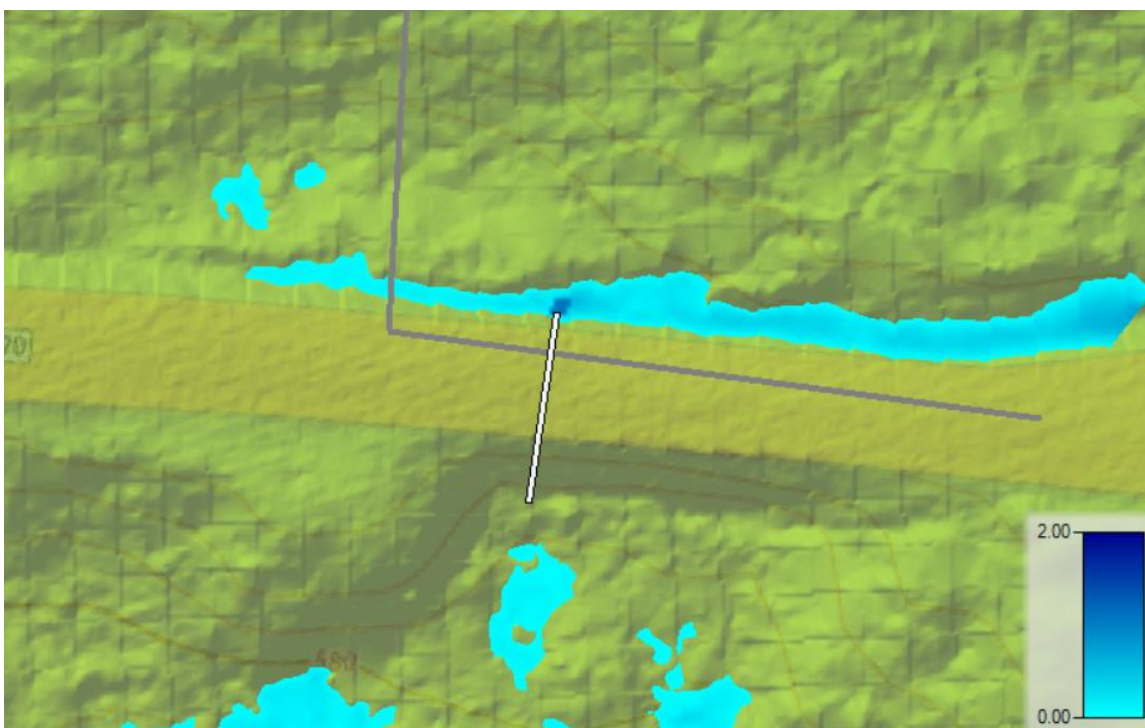
Beregnet kulvertkapasitet er ca. $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.3.3. HEC-RAS 2D

Modelloppsett vises i Figur 4-13. 2D-Connection er lagt med knekk nordover for å få med vann som renner i grøfta. Dybdeplott ved nivå for «grøftestrømning» vises i Figur 4-14 og begynner ca. ved 1,05 m dybde ved innløpet. Innkommende vannføring er da ca. $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

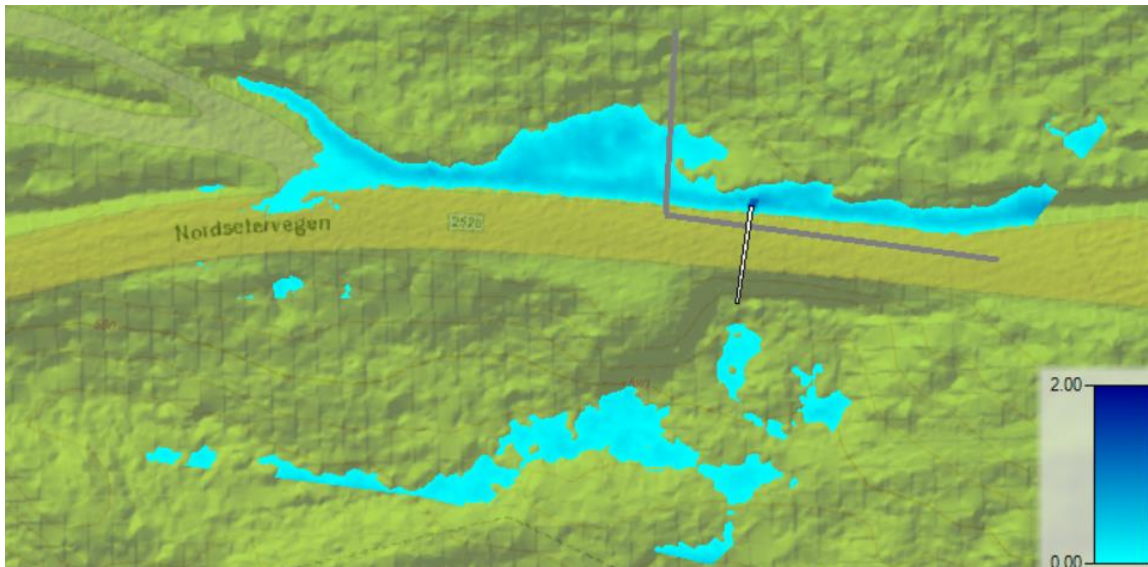


Figur 4-13. 2D-modelloppsett. Vann kommer inn fra nord/øst.



Figur 4-14. Dybdeplott for begynnende grøftestrømning.

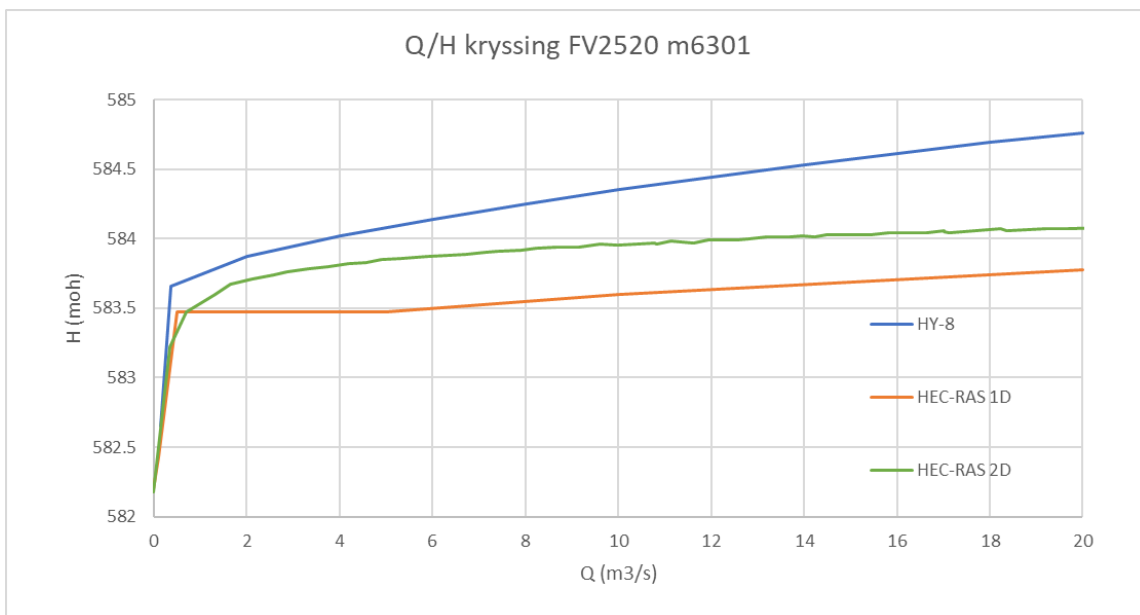
Overtopping av vei begynner i det dybden ved innløpet er ca. 1,3 m og innkommende vannføring ca. 0,8 m³/s (Figur 4-15).



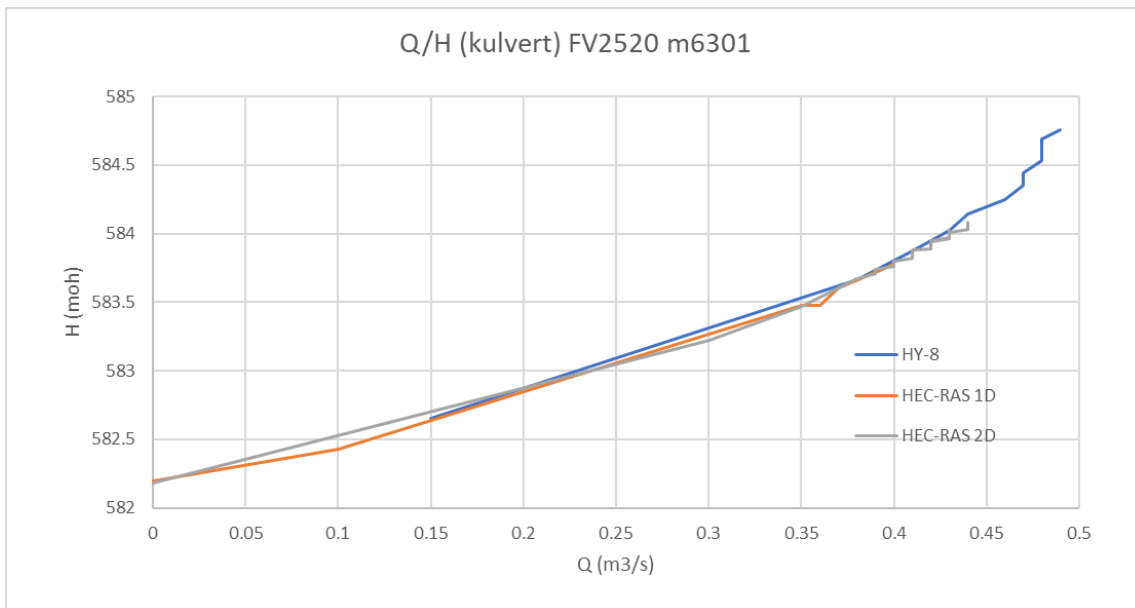
Figur 4-15. Begynnende overtopping av vei ca. 50 m vest for kryssningen.

4.3.4. Oppsummering

Beregnete vannføringskurver for de ulike metodene er vist i Figur 4-16 og Figur 4-17.



Figur 4-16. Beregnet vannføringskurve for krysningspunktet.

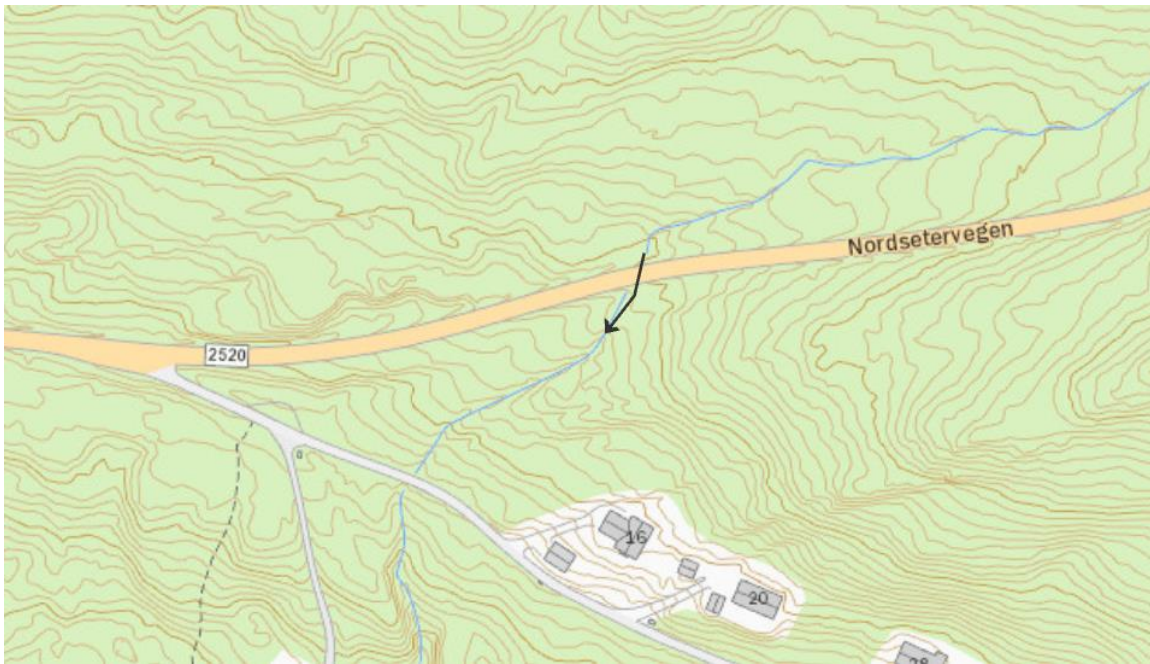


Figur 4-17. Beregnede vannførings-/kapasitetskurver for stikkrenna.

Det er et visst sprik mellom de beregnede kurvene, men det er å forvente på en krysning som i utgangspunktet er lite egnet for 1D-modellering. Selv med 2D-modellering ville det nok lønnet seg å utvide modellen ytterligere mot øst for å få jevnet ut innkommende vannføring. Det er sånn sett interessant å sammenligne med den første modellkjøringen av hele Skurva-feltet (Figur 2-6). Selv om den beregningen ble gjort uten kjente stikkrennedimensjoner eller høyder gir den noenlunde likt resultat som med innmåling. Ukjente grunnlagsdata trenger sånn sett ikke være noen hindring for å kunne modellere fram en grov oversikt over mulige kritiske punkter

4.4. Stikkrenne FV2520 m6629 (Blisterbekken)

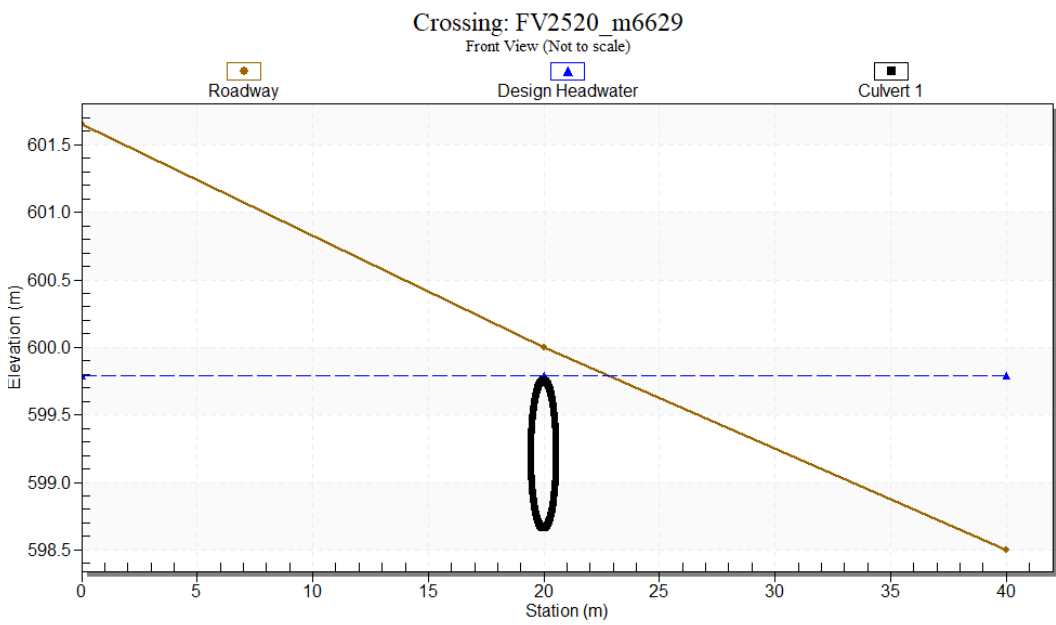
Dette er en av de litt større krysningene som fører vann mot Skurva. Hvis kulverten skulle gå tett vil vann kunne renne vestover i grøfta.



Figur 4-18. Plassering av kryssningen.

4.4.1. HY-8

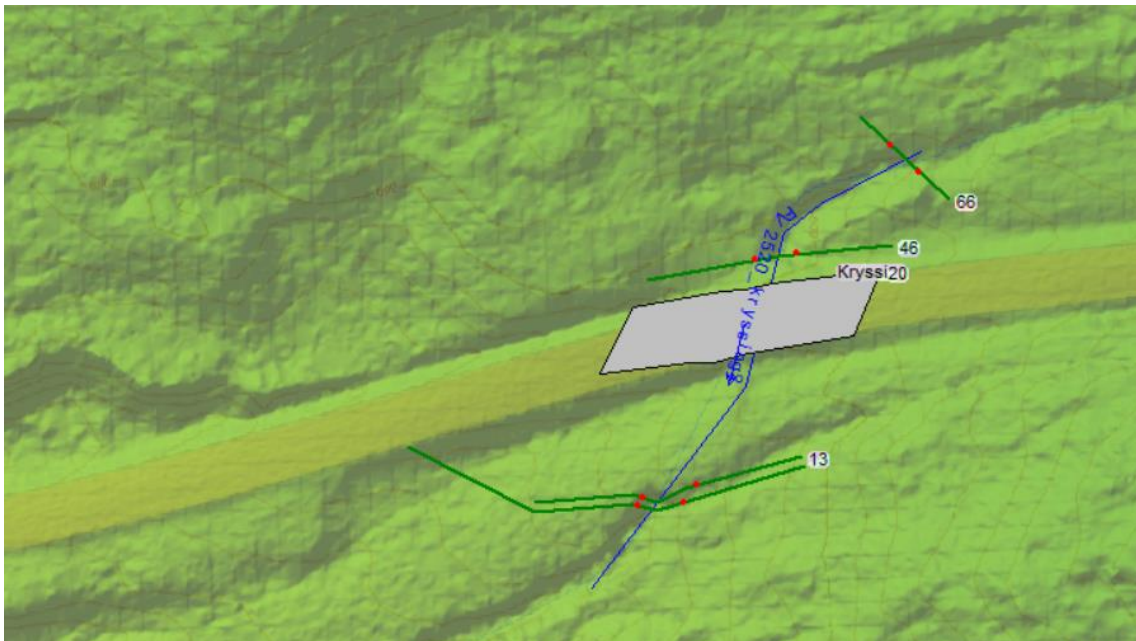
Denne kryssningen er heller ingen ideell kandidat for 1D-modellering da den har relativt lik karakteristikk som m6301, men større tilsig. HY-8 modell settes uansett opp som vist i Figur 4-19, med irregulær veilinje. Veibanen på stedet faller mot vest, så det sier seg selv at vann vil renne videre i grøfta lenge før det skjer overtopping. Stikkrennedimensjon er 1100 mm med beregnet utnyttbar kapasitet ca. 2,1 m³/s.



Figur 4-19. HY-8 oppsett (frontvisning sett fra oppstrøms side).

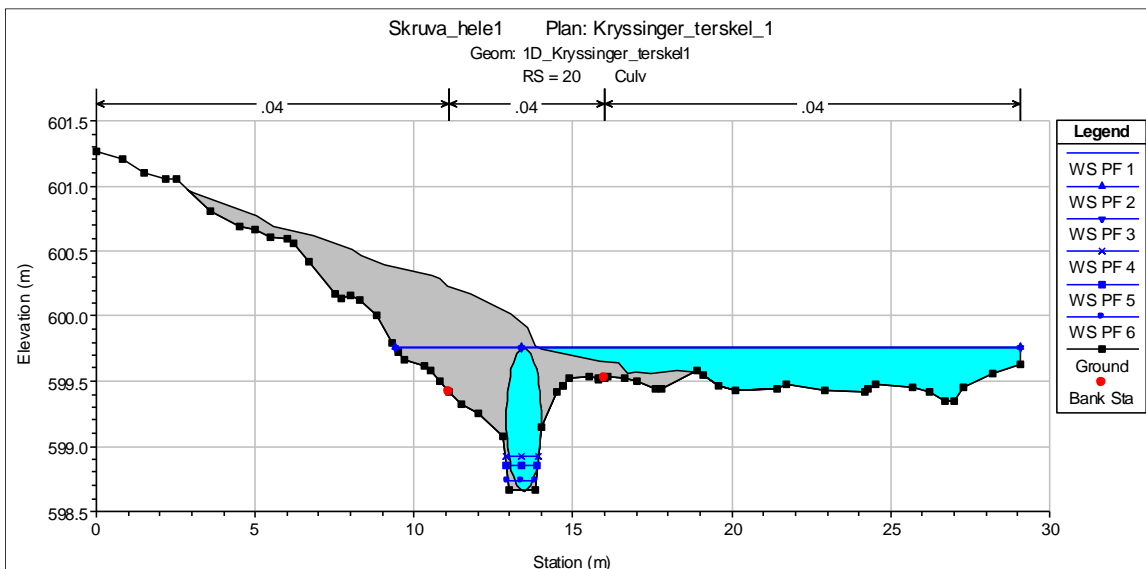
4.4.2. HEC-RAS 1D

Oppsett vises i Figur 4-20:



Figur 4-20. Oppsett for 1D HEC-RAS.

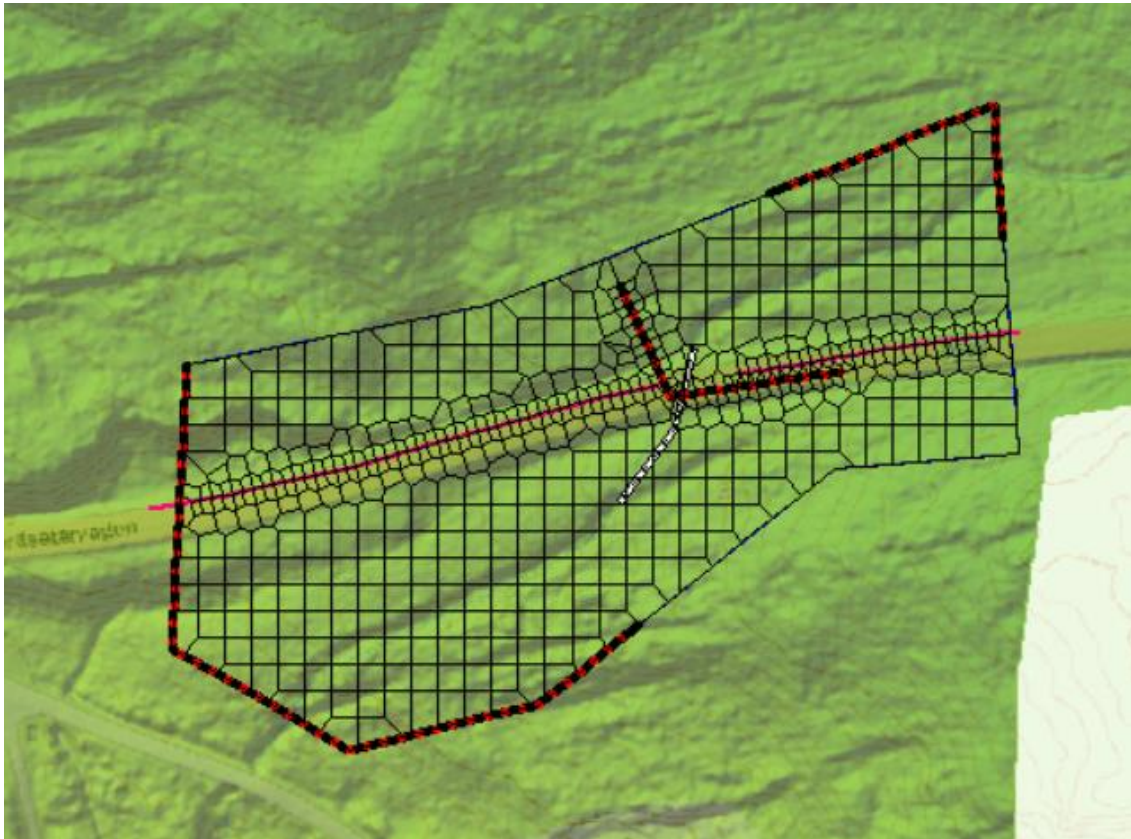
Som nevnt er 1D-modell lite egnet for å beskrive utbredelse av flom på en slik krysning. En kunne selvfølgelig tilpasset modelloppsettet noe, med ekstra lange profiler på begge sider av veien, og tilsvarende lang «bru». Da vil det uansett trenge en terrengmodell, og har man det er en 2D-modell uansett like raskt eller raskere å sette opp. Beregnet oppstuvning for «bruprofilet» er vist i Figur 4-21. Det benyttes vannføringer opp mot 20 m³/s. Beregnet kapasitet i stikkrenna blir opp mot ca. 2,6 m³/s.



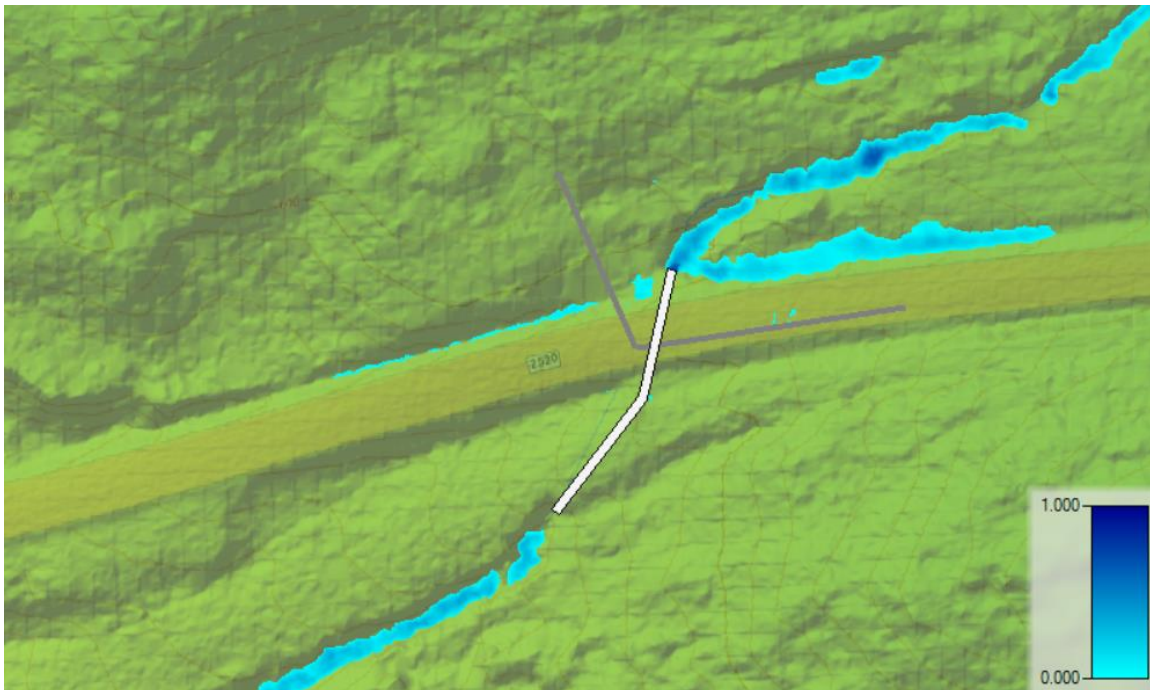
Figur 4-21. 1D-Vannlinjer for selve krysningen.

4.4.3. HEC-RAS 2D

Modeloppsett vises i Figur 4-22 og dybdeplott for begynnende grøftestrømning i Figur 4-23.

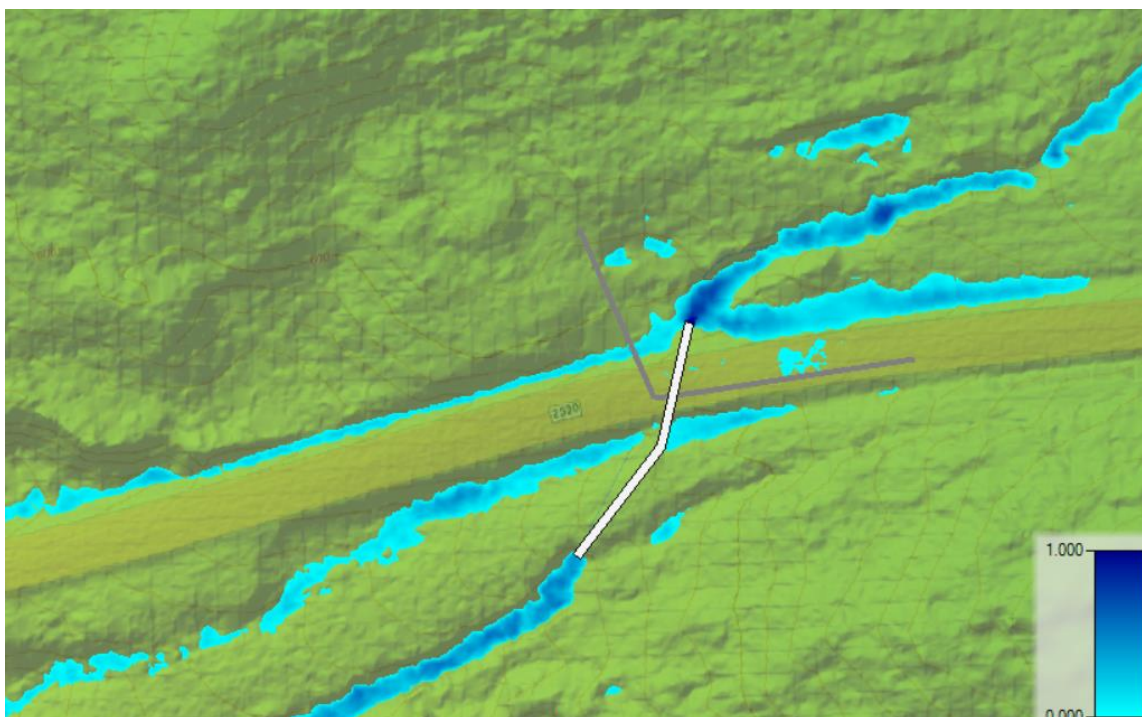


Figur 4-22. Oppsett for 2D-modell. Vannet kommer inn gjennom stiplet linje i øvre høyre (nordøstre) hjørne, og kan gå ut gjennom stiplet linje nederst til venstre.



Figur 4-23. Dybdeplott for begynnende grøftestrømning.

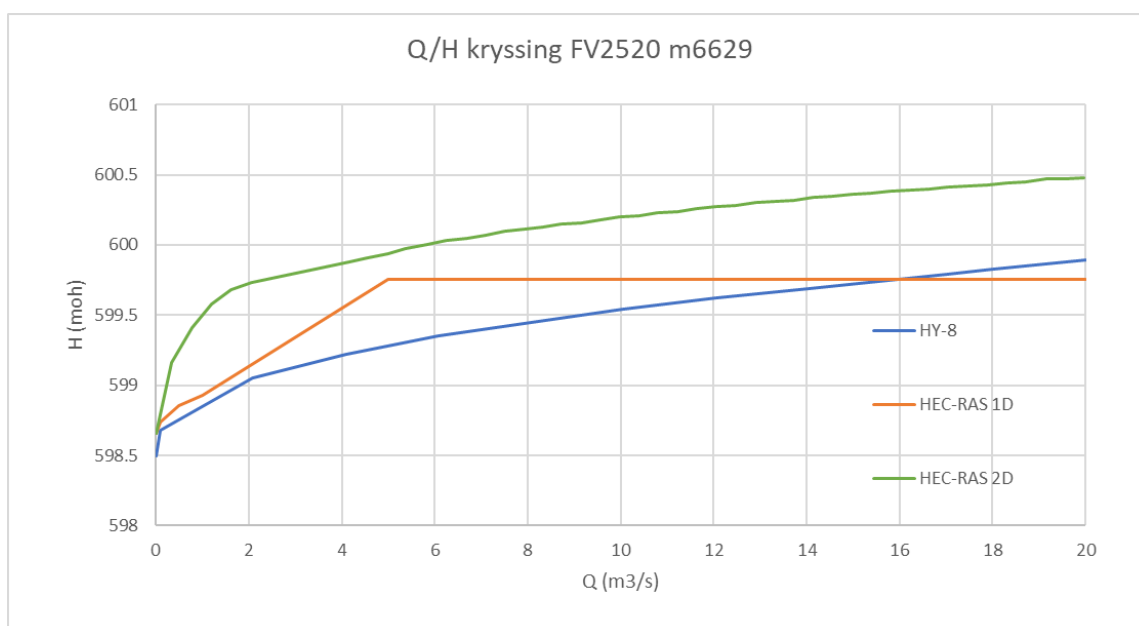
Grøftestrømning vestover begynner allerede ved dybde 0,67 m ved innløpet. Innkommende vannføring er da ca. $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Overtopping ser ut til å begynne ved ca. 1 m innløpsdybde og ca. $1,35 \text{ m}^3/\text{s}$ innkommende vannføring.



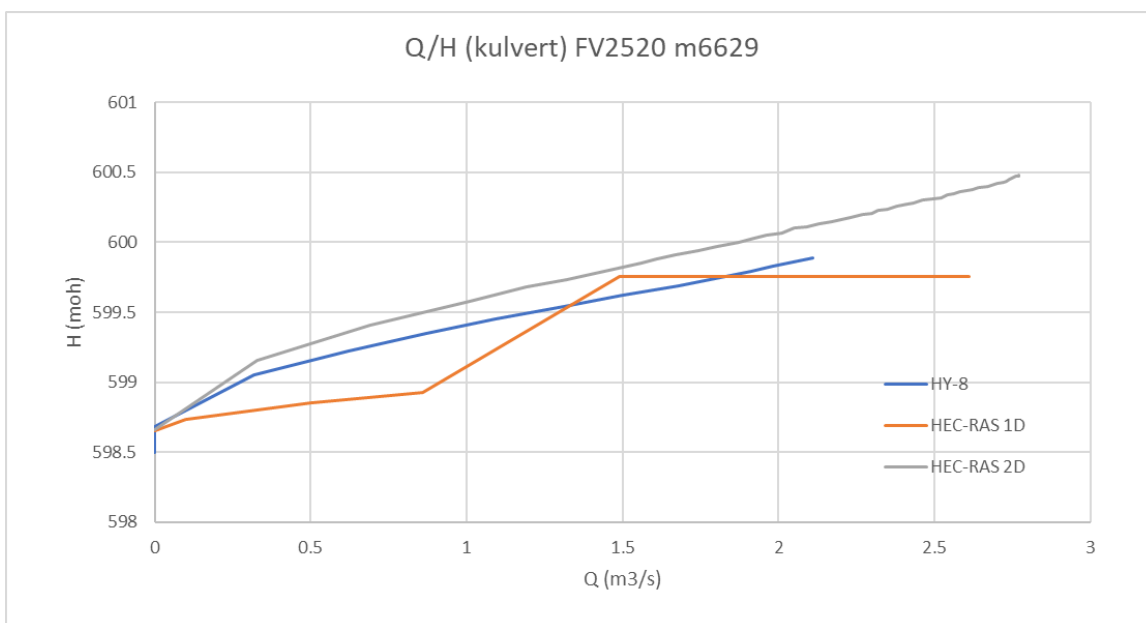
Figur 4-24. Begynnende overtopping øst for krysningen.

4.4.4. Oppsummering

Beregnete vannføringskurver for de ulike metodene er vist i Figur 4-25 og Figur 4-26.



Figur 4-25. Beregnet vannføringskurve for veibane/stikkrenne i krysningspunktet.



Figur 4-26. Beregnede vannførings-/kapasitetskurver for stikkrenna mot oppstrøms vannstand.

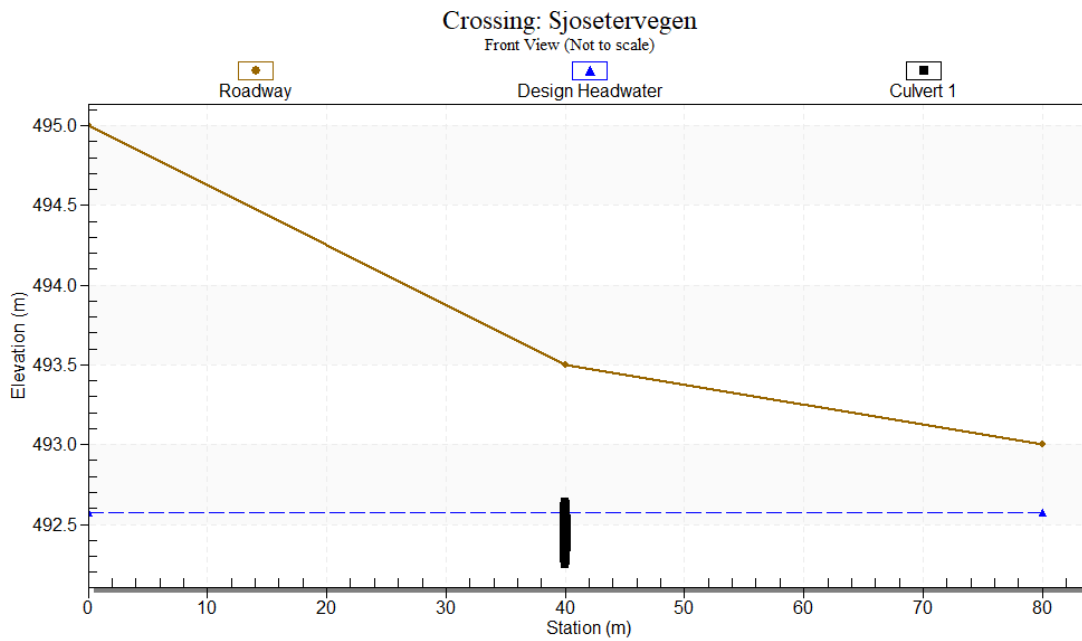
Beregnete vannføringskurver blir noe sprikende her også, da dette også er en krysning som er lite egnet for 1D-modellering. Det er også problematisk å definere et tydelig sted for hvor oppstrøms vannstand skal regnes fra, da det er fall vekk fra stikkrenneinnløpet. Det virker uansett ganske klart at 2D-modell er best egnet her, selv om det bare er målt inn stikkrennehøyder og rørdimensjon.

4.5. Krysning Sjøsetervegen

Mulig kritiske punkt, ref. Figur 2-5. I en maksimalt uheldig situasjon der kulvertene gjennom Skurvbrua tettes, kan vann potensielt komme helt til denne krysningen. At dimensjonen bare er 400 øker også risikoen for gjentetting. Terrenget ved innløpet er flatt, og vannet vil sannsynligvis renne sørover i grøfta hvis stikkrenna tettes.

4.5.1. HY-8

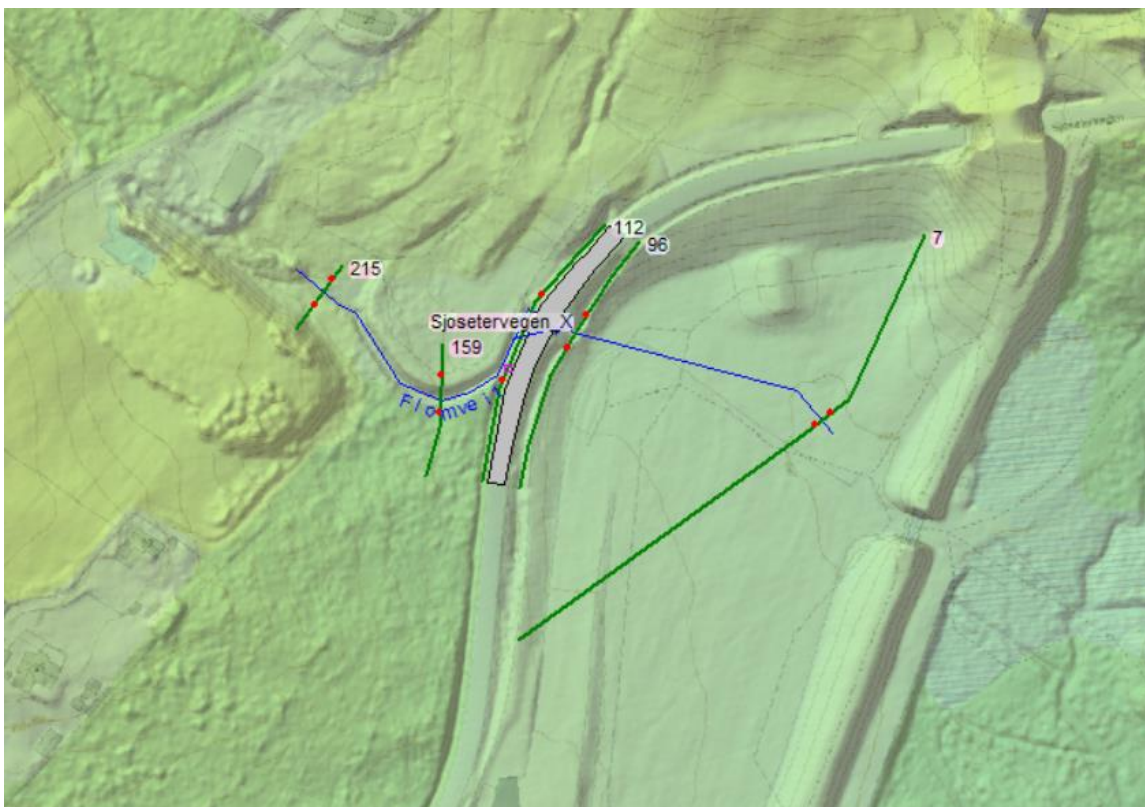
Modeloppsett vises i Figur 4-27. Også denne krysningen er lite egnet for 1D-modellering pga. det flate terrenget og muligheten for at vann renner forbi innløpet. Overtopping kan skje, men da lengre sør der veifyllinga blir lavere. Den er lagt inn som irregulær kurve med tre punkter. Beregnet kulvertkapasitet er ca. 0,4 m³/s.



Figur 4-27. Frontview sett fra oppstrøms side for HY-8 modelloppsett.

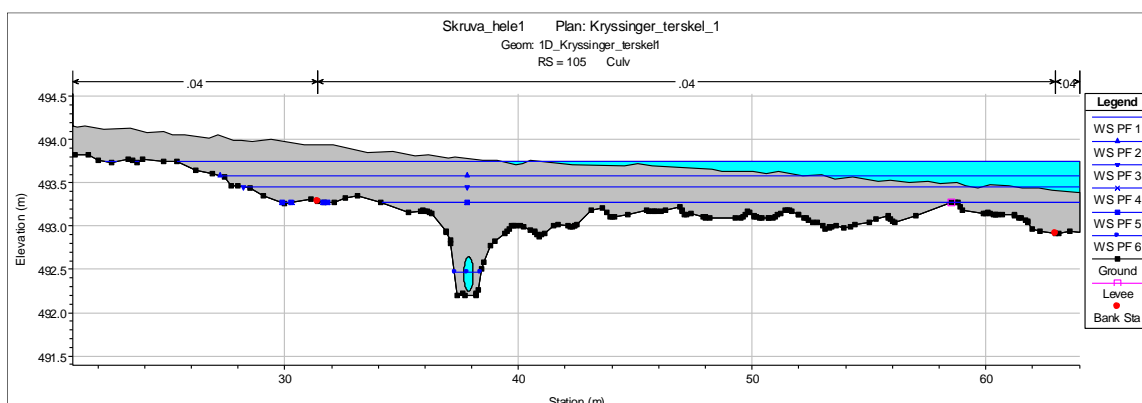
4.5.2. HEC-RAS 1D

Modelloppsett vises i Figur 4-28. Det benyttes vannføringer opp mot 20 m³/s.



Figur 4-28. Modelloppsett for HEC-RAS 1D.

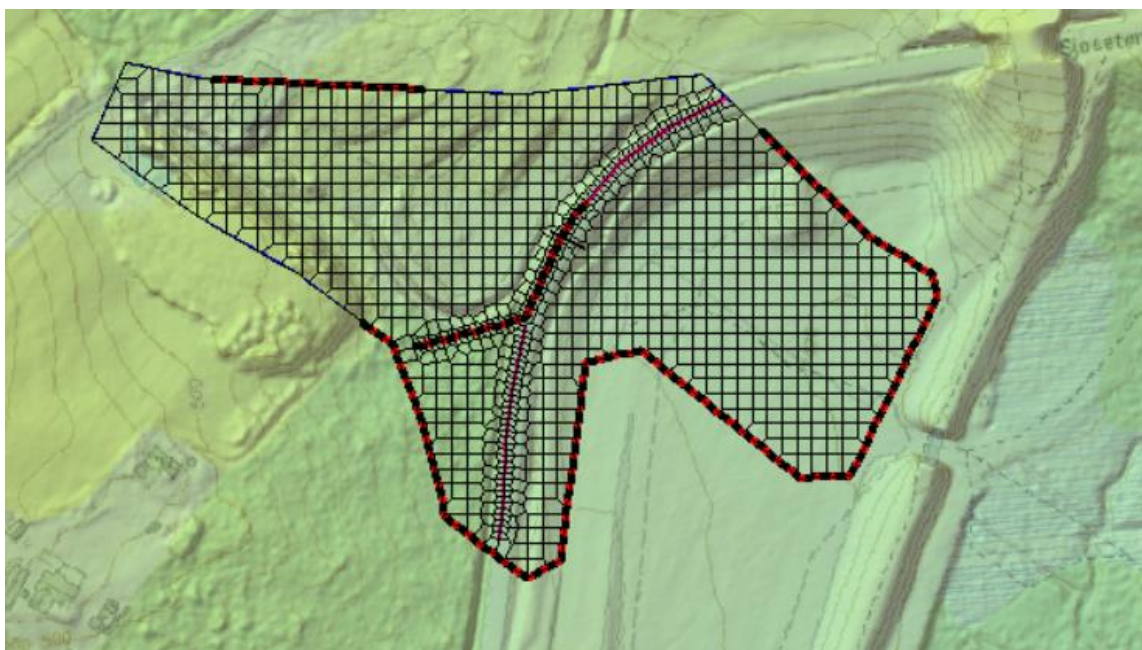
Tverrprofil for krysningen vises i Figur 4-29. Som nevnt er en 1D-tilnærming lite egnet her. Om en skulle optimalisert modellen ville det involvere betydelig lengre tverrprofiler. Beregnet kulvertkapasitet blir ca. $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$.



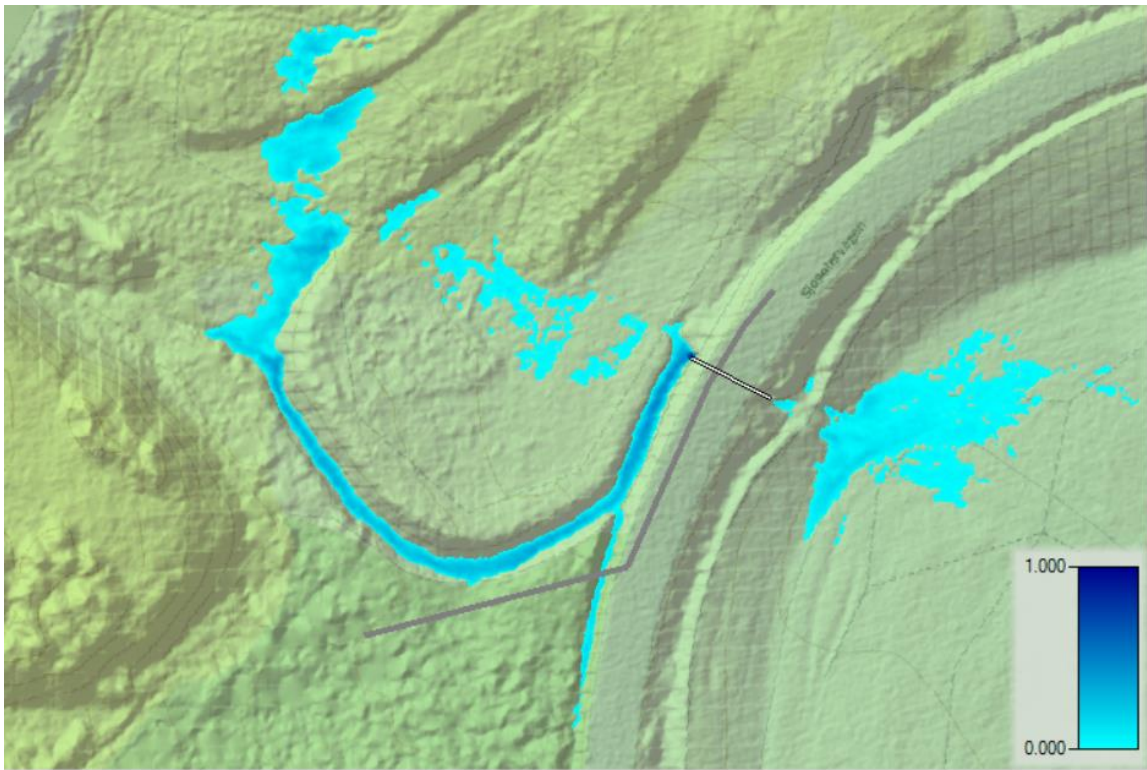
Figur 4-29. Tverrprofil for krysning.

4.5.3. HEC-RAS 2D

Modeloppsett vises i Figur 4-30. Grøftestømning begynner ved ca. 0,7 m dybde ved innløpet og ca. $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$ innkommende vannføring (Figur 4-31)

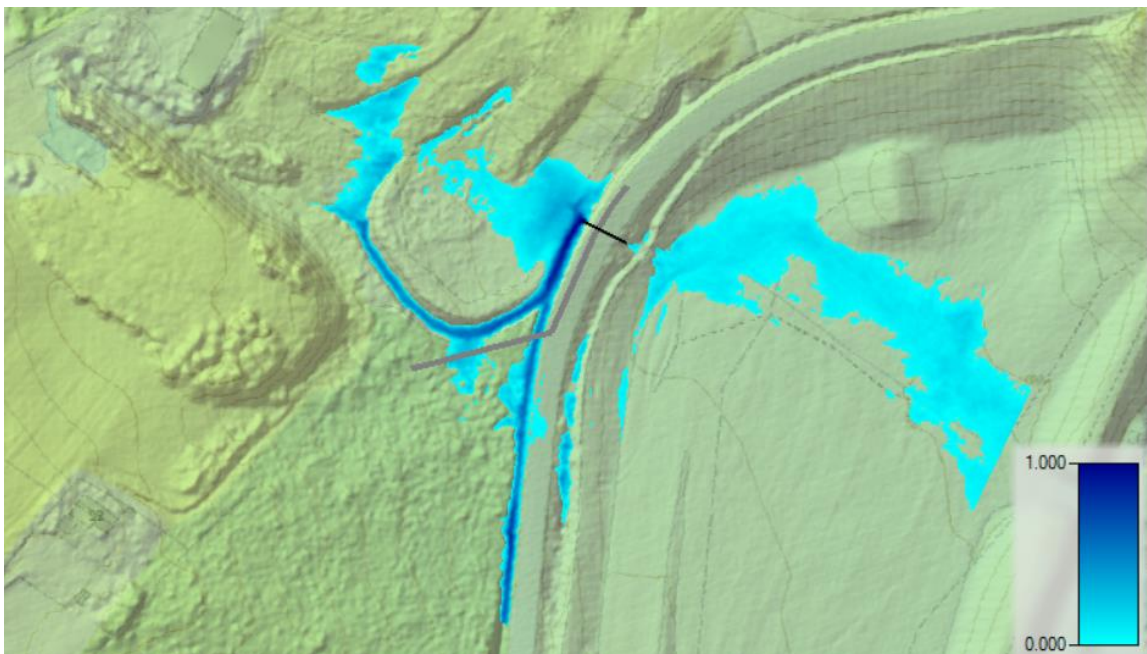


Figur 4-30. 2D-modelloppsett. Vann kommer inn gjennom stiplet linje i nord og kan gå ut gjennom stiplet linje i sør/øst.



Figur 4-31. Dybdeplott for begynnende grøftestrømning.

Overtopping begynner ved innløpsdybde ca. 1,25 m og innkommende vannføring ca. 1,54 m³/s.



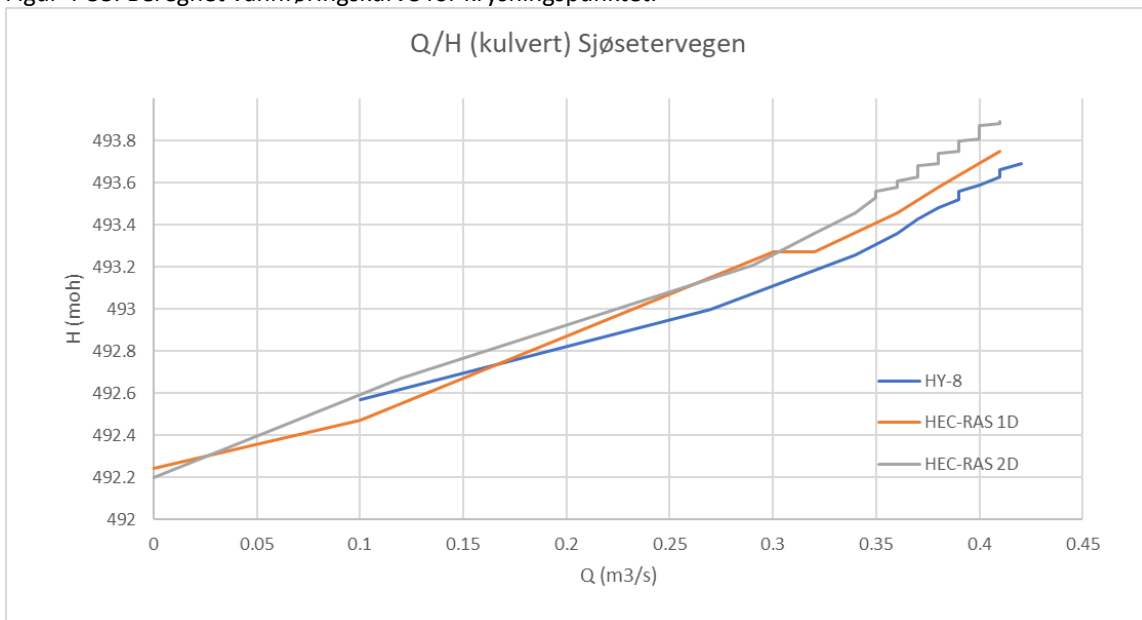
Figur 4-32. Begynnende overtopping sør for krysningspunktet.

4.5.4. Oppsummering

Beregnete vannføringskurver for de ulike metodene er vist i Figur 4-33 og Figur 4-34.



Figur 4-33. Beregnet vannføringskurve for kryssningspunktet.



Figur 4-34. Beregnede vannførings-/kapasitetskurver for stikkrenna

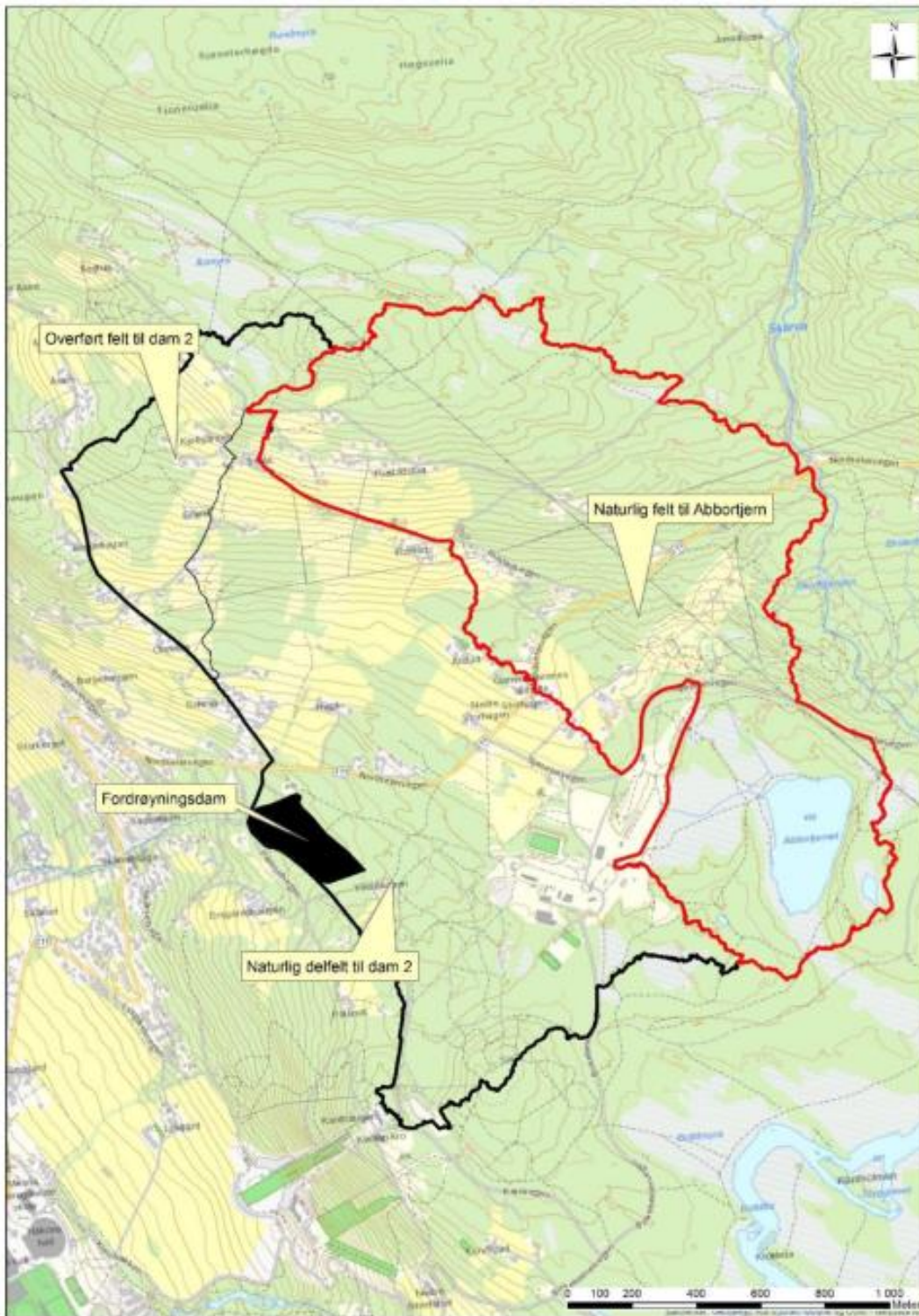
2D-modell viste seg igjen som enkleste og beste tilnærming for å beskrive flomsituasjonen for en kryssing i flatt terreng. Beregningen samsvarer også bra med resultatene fra den opprinnelige 2D-modellkjøringen for hele nedbørfeltet.

4.6. Konklusjon modellvalg for kryssningspunkter i vassdrag

2D-modellering viste seg som den best egnede metoden for modelleringen av disse spesifikke kryssningene. For enklere kryssninger der vassdraget følger et noenlunde definert løp også ved flom/overtopping, vil 1D-modellering som oftest være tilstrekkelig. 1D-modeller kan selvfølgelig også settes opp for å beregne strømning utenom den definerte kanalen, men det vil ofte kreve mer arbeid enn en 2D-modell.

5. MULIGHET FOR ULIKE FLOMDEMPENDE TILTAK

I rapporten «Utredning av mulige flomsikringstiltak i nedbørfeltet til Skurva» (Berg, 2017), er det foreslått å fordrøye vann i Abbortjern. Det er også foreslått å etablere en fordrøyningsdam ved Kantvegen. Foreslått plassering er vist i Figur 5-1. Begge tiltakene er vurdert å ha betydelig flomdempende effekt (Berg, 2017). Eksempel på utforming av overvannsdam er vist i Figur 5-1.



Figur 5-1. Oversiktskart som viser plassering av foreslått fordrøyningsdam ved Kantvegen (Berg, 2017).

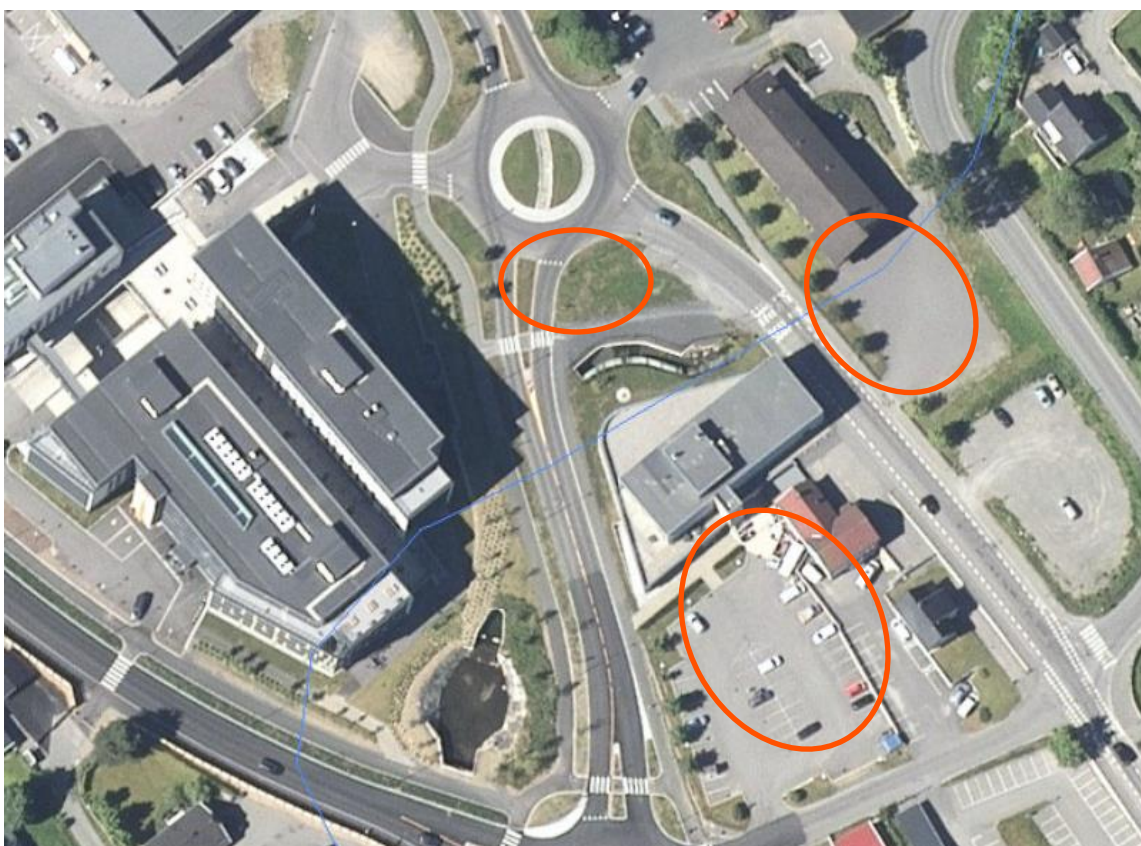
De foreslåtte fordrøyningsvolumene er plassert i øvre del av vassdraget. I nedre del av vassdraget, med bebyggelse og infrastruktur, er det færre områder med tilgjengelig areal for slike tiltak. Samtidig er vassdraget trangt, og har liten ekstra kapasitet i de bynære områdene. Det er derfor nødvendig å se på løsninger for lokal overvannshåndtering for å begrense avrenning til vassdraget.

Dette er også i tråd med de nye Statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning kraft der det i kap. 4.3 krav til planprosess og beslutningsgrunnlag, fremkommer følgende knyttet til overvann:

«Ved planlegging av nye områder for utbygging, fortetting eller transformasjon, skal det vurderes hvordan hensynet til et endret klima kan ivaretas. Det bør legges vekt på gode helhetlige løsninger og ivaretagelse av økosystemer og arealbruk med betydning for klimatilpasning, som også kan bidra til økt kvalitet i uteområder. Planer skal ta hensyn til behovet for åpne vannveier, overordnede blågrønne strukturer, og forsvarlig overvannshåndtering.

Bevaring, restaurering eller etablering av naturbaserte løsninger (slik som eksisterende våtmarker og naturlige bekker eller nye grønne tak og vegger, kunstige bekker og basseng mv.) bør vurderes. Dersom andre løsninger velges, skal det begrunnes hvorfor naturbaserte løsninger er valgt bort».

Oversiktsbildet i Figur 5-2 viser potensielle områder som kan brukes til tiltak for overvannshåndtering. Disse områdene ble observert på befaringen 28.10.19. Nærbildet fra området langs Skurva er vist i Figur 5-3. Figur 5-4 og Figur 5-5 viser en henholdsvis ambisiøs og litt mindre ambisiøs måte å utforme et slik område.



Figur 5-2. Oversiktsbilde over området ved Storgata. Eksempel på potensielle områder for overvannshåndtering er markert med rød sirkel. Bildet er hentet fra NVE Atlas.



Figur 5-3. Område som potensielt kan brukes til fordrøyning av overvann. (Foto: Asplan Viak, 2019).



Figur 5-4. Fort Worth Water Gardens i Texas, USA (Ivarsson, 2020).



Figur 5-5. Eksempel på område som har to funksjoner – lekeclass og område som tåler oversvømmelse (Ivarsson, 2020).

I det følgende vises eksempler på ulike tiltak for håndtering av overvann:

Åpning av vassdrag



Figur 5-6. Åpnet strekning av Alnaelva i Oslo. Foto: Kim H. Paus/Asplan Viak.



Figur 5-7. Åpnet strekning av Alnaelva i Oslo. Foto: Kim H. Paus/Asplan Viak.

Kanaler/grøfter for oppsamling av overvann



Figur 5-8. Kanaler for oppsamling av overvann i Vaterlandsparken, Oslo. Foto: Kim H. Paus/Asplan Viak.
Grønne tak og grønne vegger



Figur 5-9. Eksempler på grønne tak og grønne vegger. Foto: Bergknapp AS.

Permeable overflater



Figur 5-10. Eksempel på permeabel flate. Gressarmering i Nobels gate, Oslo. Foto: Kim H. Paus/Asplan Viak.

Regnbed



Figur 5-11. Regnbed i Deichmans gate, Oslo. Foto: Åse Holte/Asplan Viak.

Arealer som kan oversvømmes



Figur 5-12. Eksempel på areal som er dimensjonert for å tåle oversvømmelse. Kilde: Oslo kommune (2016).

Dammer/områder for fordrøyning av overvann



Figur 5-13. Eksempel på fordrøyning av overvann. Nansenparken, Fornebu. Foto: Kim H. Paus/Asplan Viak.

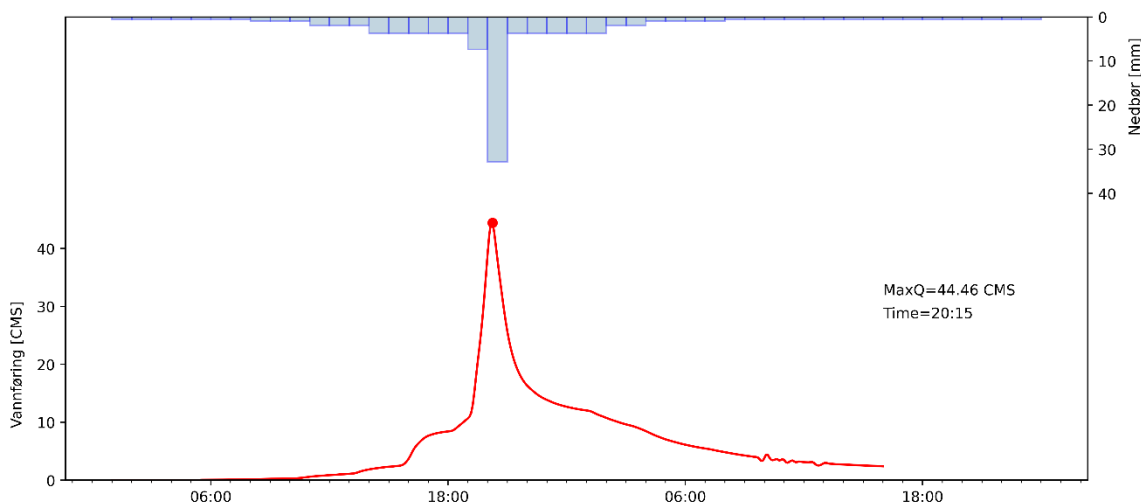
6. AREALBRUK OG EFFEKT PÅ AVRENNINGSFORHOLD

Arealbruk i feltet kan ha stor påvirkning på hydrologiske forhold. Det er gjort en følsomhetsanalyse som beskriver hvilke forhold som er viktigst ved endret arealbruk i nedbørfeltet, og hvordan dette kan håndteres i fremtidig planlegging.

Arealinngrep og problemstillinger som er inkludert i analysen er:

- Bruk av konstant ruhetsverdi for detaljerte areal typer etter NIBIO AR5
- Redusert ruhetsverdi inn i vannforekomster (elv, bekk)
- Storskala skogsdrift
- Lokalisert skogsdrift i bratt felt vs. felt med slak helning
- Endring av andel harde flater, særlig ved konvertering av myr til bar jord
- Nye hyttefelt (konsekvenser av utbygning)
- Blokkering av kritiske vassdragskonstruksjoner

Effekter av arealbruksendringer er vurdert hovedsakelig i øvre del av vassdraget, hvor naturen stort sett er uberørt av menneskeinngrep og potensialet for påvirkninger fra nye tiltak dermed er større. Resultater er evaluert i forhold til endringer i vannføring ved kontrolltversnitt oppstrøms terskel/demning. Vannføringen fra modellen er presentert i kapittel 2 (Figur 6-1) og tas i bruk som referanseindeks.



Figur 6-1. Vannføring i kontrolltversnitt oppstrøms terskel/demning fra opprinnelig modell (uten innmålinger). Nedbør tilsvarende 200-årsflommen.

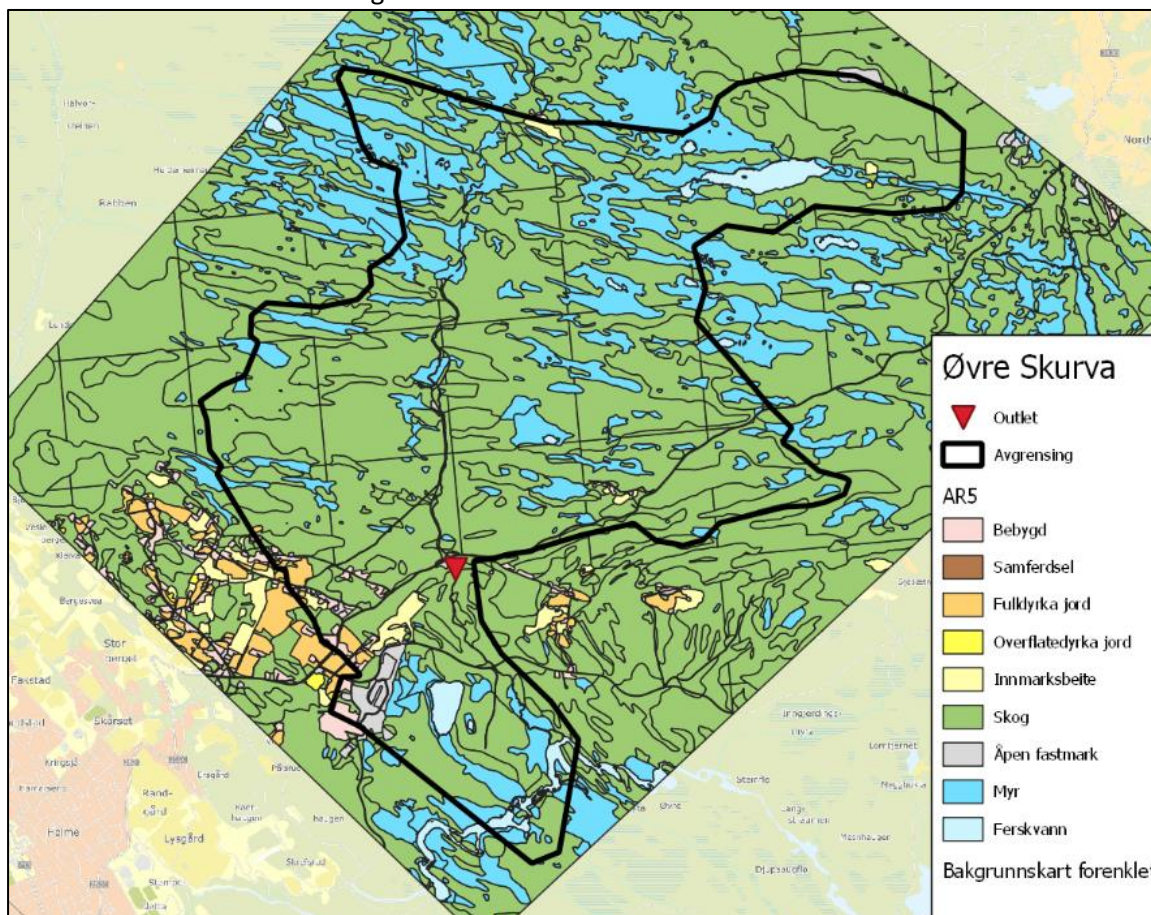
6.1. Modell av nedbørsfelt

HEC-RAS 2D-modellen som er beskrevet i kapittel 2.3 er bruk som oppsett for analyse av arealbruksendringer. Nesten alle endringsscenarioer er inkludert som variasjoner av ruhetsverdier forskjellige steder i nedbørsfeltet, unntatt scenarioer for blokkering av vassdragskonstruksjoner. Disse er modifiserte direkte i modellens geometri-fil. Ruhetsverdier som skal representere de overnevnte tiltakene, er tatt fra forskjellige referanser, blant annet: FHWA's «Urban drainage design manual» (FHWA-NHI, 2001) og NRCs ruhetsverdier for

forskjellige arealtyper. Selv om referanser gir et godt utgangspunkt for å tilpasse ruhetsverdier til arealtyper, er den endelige avgjørelsen hovedsakelig basert på den utførendes erfaring.

6.2. Ruhetsverdier basert på arealtype

Det er benyttet NIBIOs kart over arealtyper, AR5 (Ahlstrøm mfl., 2014; Figur 6-2) som et alternativ til bruk av en konstant ruhetsverdi for hele nedbørsfeltet i den opprinnelige modellen ($n=0.03$). Nedbørsfeltet til Øvre Skurva består stort sett av arealtypene skog og myr, med noen ferskvannsforekomster i nordlige del.



Figur 6-2. AR5 arealtyper i øvre del av Skurva nedbørsfelt.

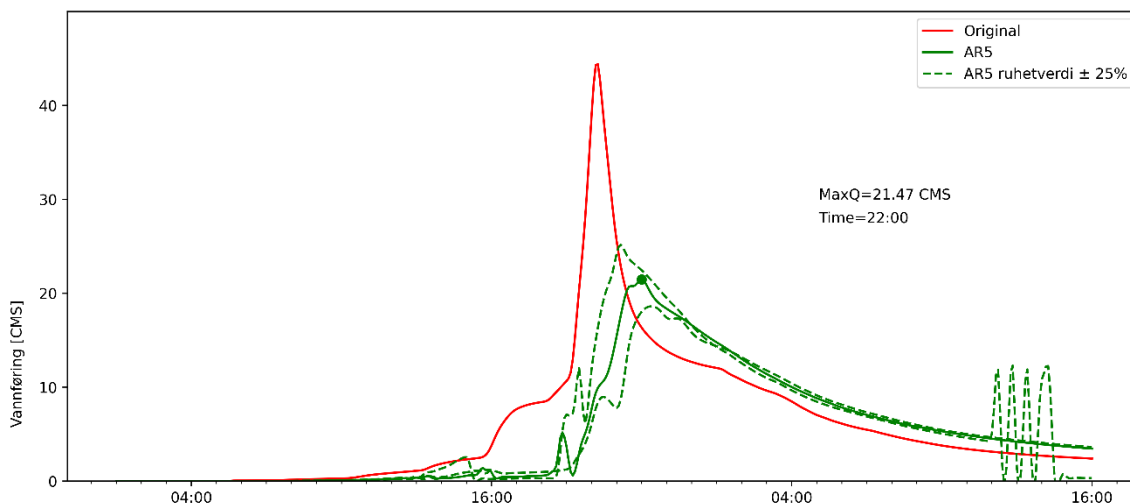
Tilpassende ruhetsverdier for de ulike arealtypene inkludert i AR5 er vist i Tabell 6-1. Disse verdiene er stort sett basert på Tabell 3-1 i FHWA-NHI (2001), kombinert med erfaringsbasert justering.

Tabell 6-1. Asplan Viaks foreslåtte ruhetsverdier for AR5-arealtyper.

Arealtype (AR5)	Ruhetsverdi (n)
Bebygd	0.12
Bygning (tak)	0.011
Ferskvann	0.01
Fulldyrka jord	0.17
Innmarksbeite	0.15
Myr	0.05
Åpen fastmark	0.25

Overflatedyrka jord	0.13
Samferdsel	0.013
Skog	0.4

Sammenligning av vannføringsresultater for den opprinnelige modellen og versjonen med AR5-ruhetsverdier presenteres i Figur 6-3. Da det er en del usikkerhet forbundet med valgte ruhetsverdier, har vi inkludert et usikkerhetsintervall på 25 % i begge retninger.



Figur 6-3. Sammenligning av vannføring oppstrøms terskelen mellom opprinnelig modell og AR5-arealtyper (inkludert 25 % usikkerhetsintervall, stiplet linje).

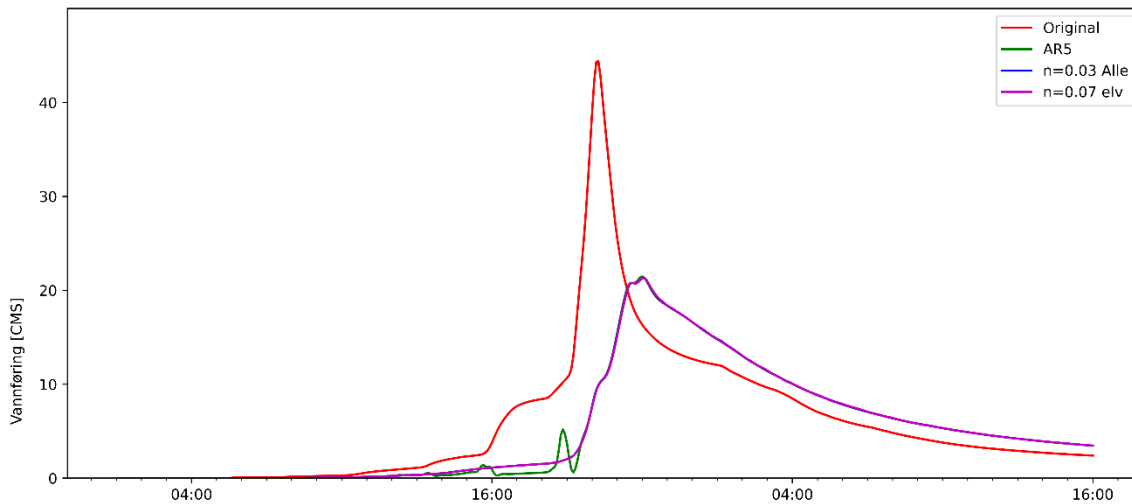
Flomtoppen reduseres omtrent 52 % på grunn av fordrøyning i store skogsområder i øvre del av nedbørsfeltet. Samtidig kan man observere en forsinkelse på ca. 2 timer i tidspunkt for kulminasjonsverdi (opprinnelig tid kl. 20:15). Selv om det er forskjeller i hydrografene pga. usikkerhet i ruhetsverdier, medfører endringen fra konstant til arealtype-basert ruhet en reduksjon av flomverdier ved utløpet.

6.3. Resultater av diverse inngrep og arealbruksendringer

6.3.1. Redusert ruhetsverdi inn i vannforekomster

Valg av ruhetsverdi for bekkeløp og elvebunn er mer komplekst enn for terrengoverflaten. Dette kommer av de morfologiske endringene i tverrsnittet, som er forårsaket av tidligere flomhendelser. Ruhetsverdi for ferskvannsforkomster er mye diskutert i det hydrologiske fagsamfunnet, og den valgte verdien på $n=0.01$ (Tabell 6-1) kan være altfor lav hvis det ligger hindringer i vannløpet (f.eks. vegetasjon), eller at bunnmaterialet er veldig grovt. Derfor er det utført to tester med høyere verdier for henholdsvis alle vannforekomster ($n=0.03$) og kun i hovedelven som renner gjennom nedbørsfeltet ($n=0.07$). Verdiene er hovedsakelig hentet fra anbefalinger i FHWA-NHI (2001) og resultater er presentert i Figur 6-4.

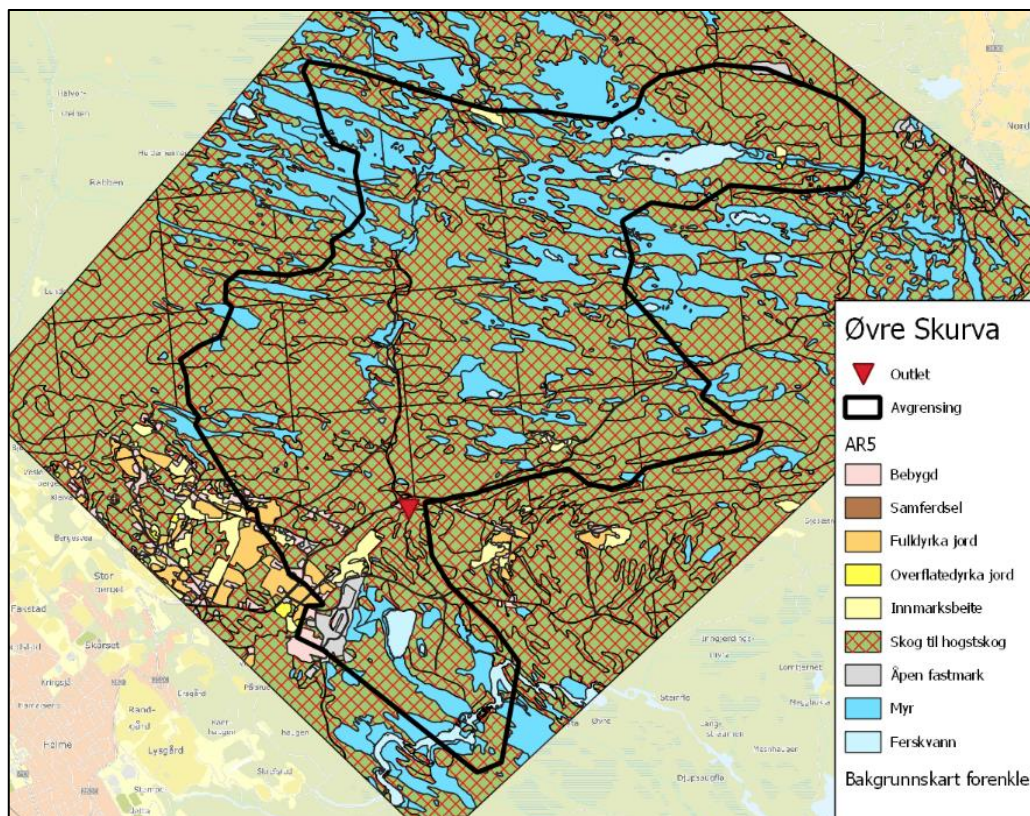
Vannføring oppstrøms terskel er nesten lik for alle scenarioer i henhold til modellresultatene.



Figur 6-4. Vannføring oppstrøms terskel med økt ruhetsverdi i vannforekomster.

6.3.2. Storskala skogsdrift

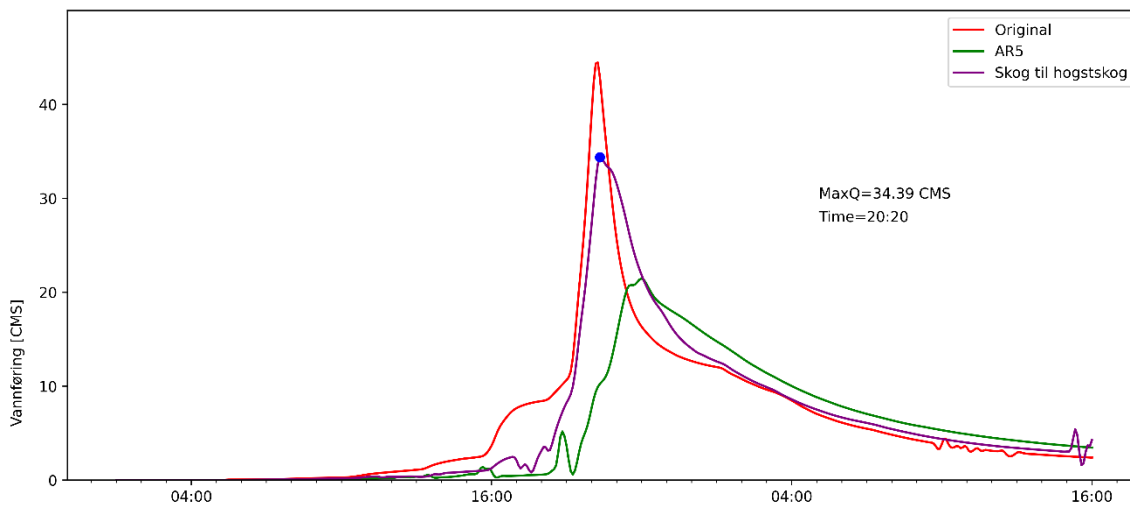
Skog er den dominerende arealtypen i Skurvas felt. Analyse av et teoretisk storskala-inngrep over hele skogsområde kan derfor illustrere viktigheten av å verne uberørte skogsområder for å unngå endringer i vannføringsdynamikk i nedbørfeltet. Scenariet omfatter endring av alle skogsområder ($n=0.4$) til hogstfelt ($n=0.1$).



Figur 6-5. Påvirket område for teoretisk storskala skogsdrift.

Figur 6-6 viser en veldig stor effekt på vannføring som følge av storskala hogst i feltet, med en merkbar økning på ca. 60 % sammenlignet mot AR5-scenariet. Effekten er nesten den samme

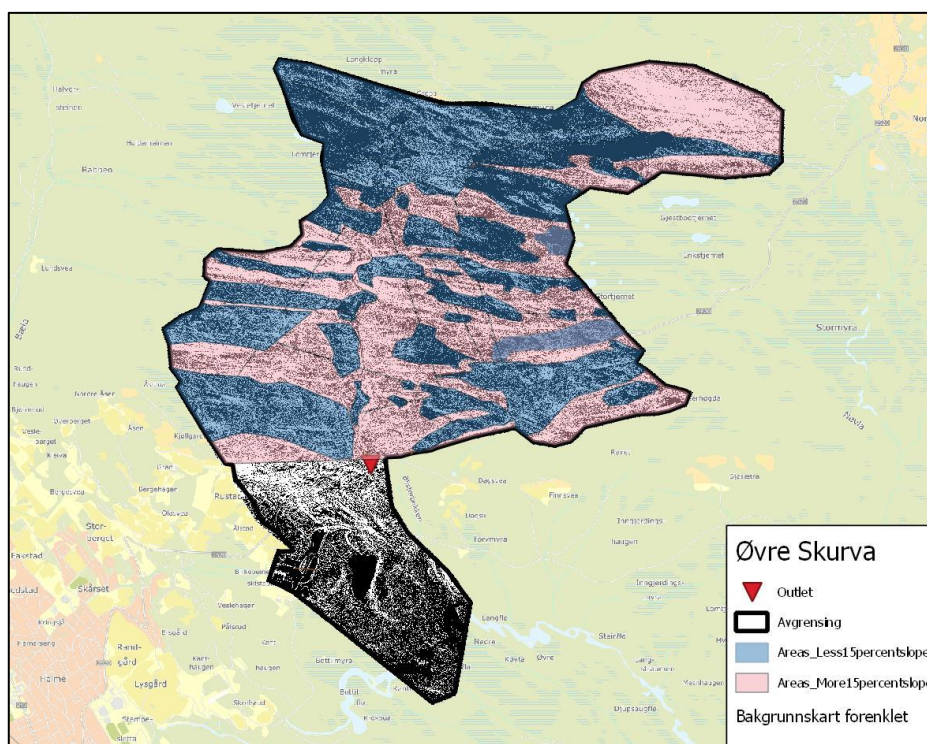
som ved å bruke en mye lavere konstant verdi for hele området (opprinnelig modell). Derfor er skog den mest kritiske arealtypen for forebygging av flom i nedbørsfeltet (uten å ta hensyn til infiltrasjon).



Figur 6-6. Effekt av storskala hogst i hele nedbørsfeltet til Skurva.

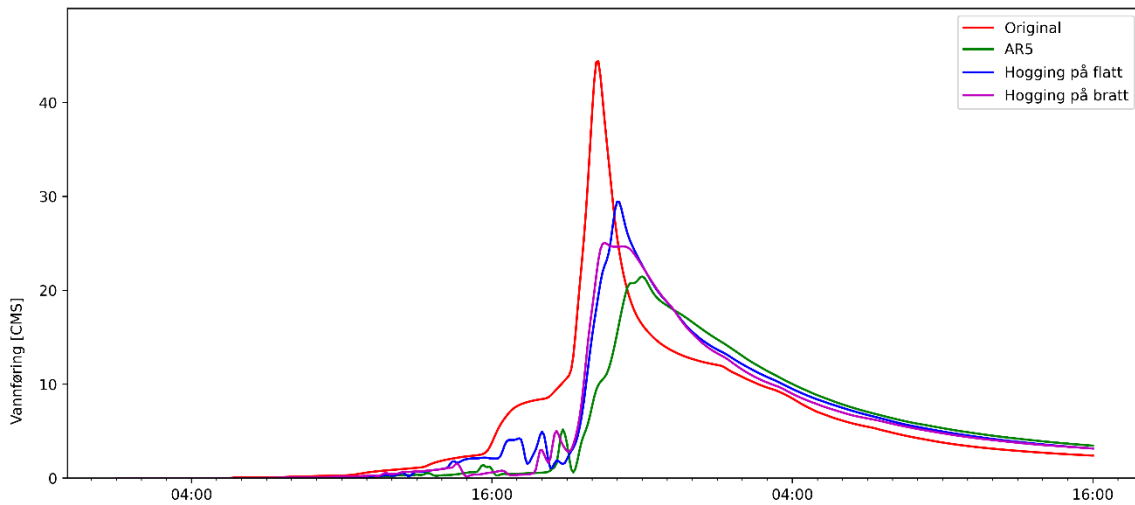
6.3.3. Lokalisert skogsdrift: Bratt mot flatt terreng

Scenarioet som er presentert i 6.3.2 er et «Worst case»-scenario mtp. hogging av skog i nedbørsfeltet. Det er urealistisk at et slikt ekstremt inngrep blir iverksatt, og man kan vanligvis forvente en mer gradvis og lokalisert hogstprosess. For å vurdere hvor i feltet hogst har størst effekt på avrenning, er to scenarioer testet, ett hvor skogsdrift pågår i bratt terreng (helning > 15 %) og et annet hvor hogst er utført i flatt terreng (helning < 15 %). Distribusjon av helning i feltet er vist i Figur 6-7.



Figur 6-7. Bratt (rosa) og flatt (blått) i øvre delen av Skurvas nedbørsfelt (skråningsterskel: 15 %).

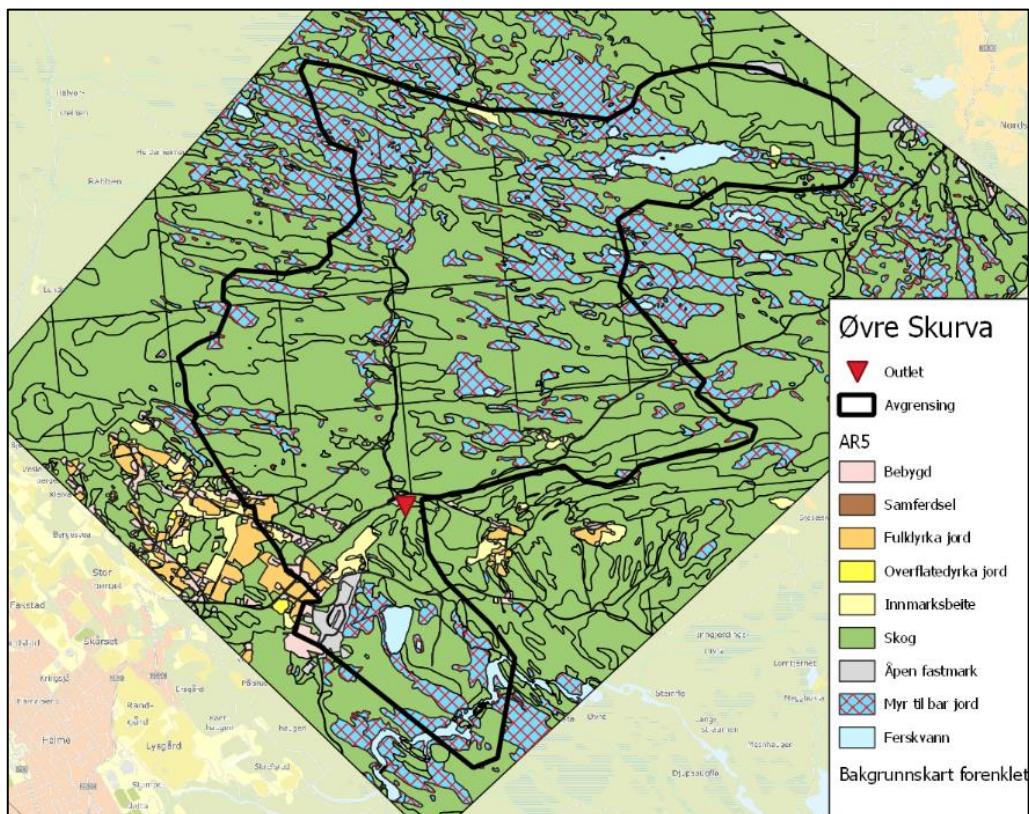
Begge to scenarioer medfører betydelig økning i vannføring på kontrolltversnitt, med rundt 16 % og 37 % økning mot AR5-scenariot for henholdsvis bratt og flatt terreng (Figur 6-8). Hogst på flatt terreng gir en mer spiss flomtopp sammenlignet med hogst i bratt terreng. Dette er sannsynligvis knyttet til tap av en noe lengre fordrøyning i flatt områder med tett skog.



Figur 6-8. Effekt av lokalisert hogst på enten flatt eller bratt terreng i nedbørfeltet til Skurva.

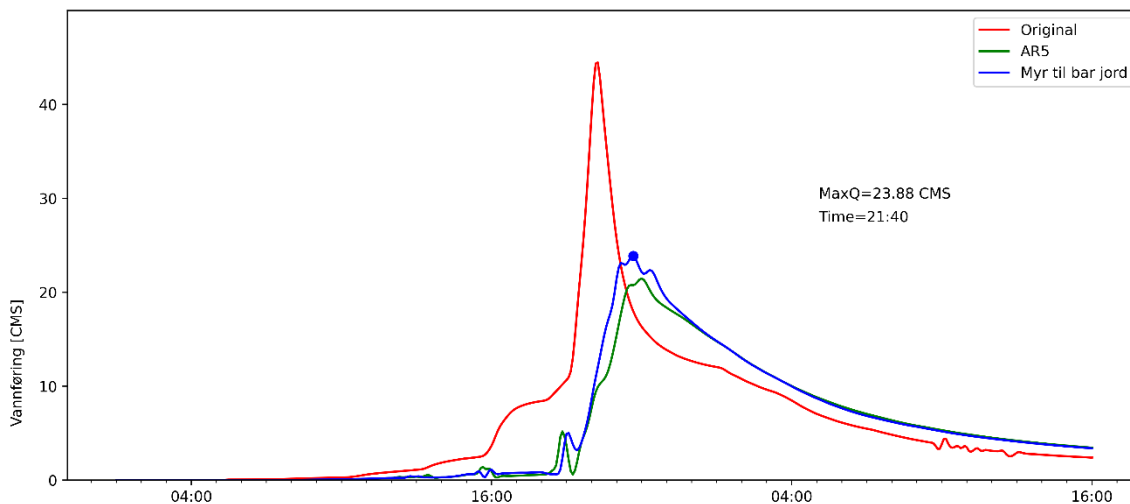
6.3.4. Endring av andel harde flater: Myr til bar jord

Da myr har betydelig flomdemningskapasitet og er nest vanligste arealtype i feltet, er det vurdert konsekvenser av endring fra myr til (semi-)harde flater som bar jord. Denne endringen kan være forårsaket av dyrking, uttak av torv eller klimaendringer.



Figur 6-9. Påvirkede myrområder i scenarioet.

Økning av flomtoppen for konvertering av myr til bar jord er kun 14 % sammenlignet mot AR5-scenarioet (Figur 6-10). Modellen inkluderer uansett ikke prosesser som infiltrasjon, som er særlig viktig i myrer, og resultatet er dermed beheftet med en del usikkerhet.

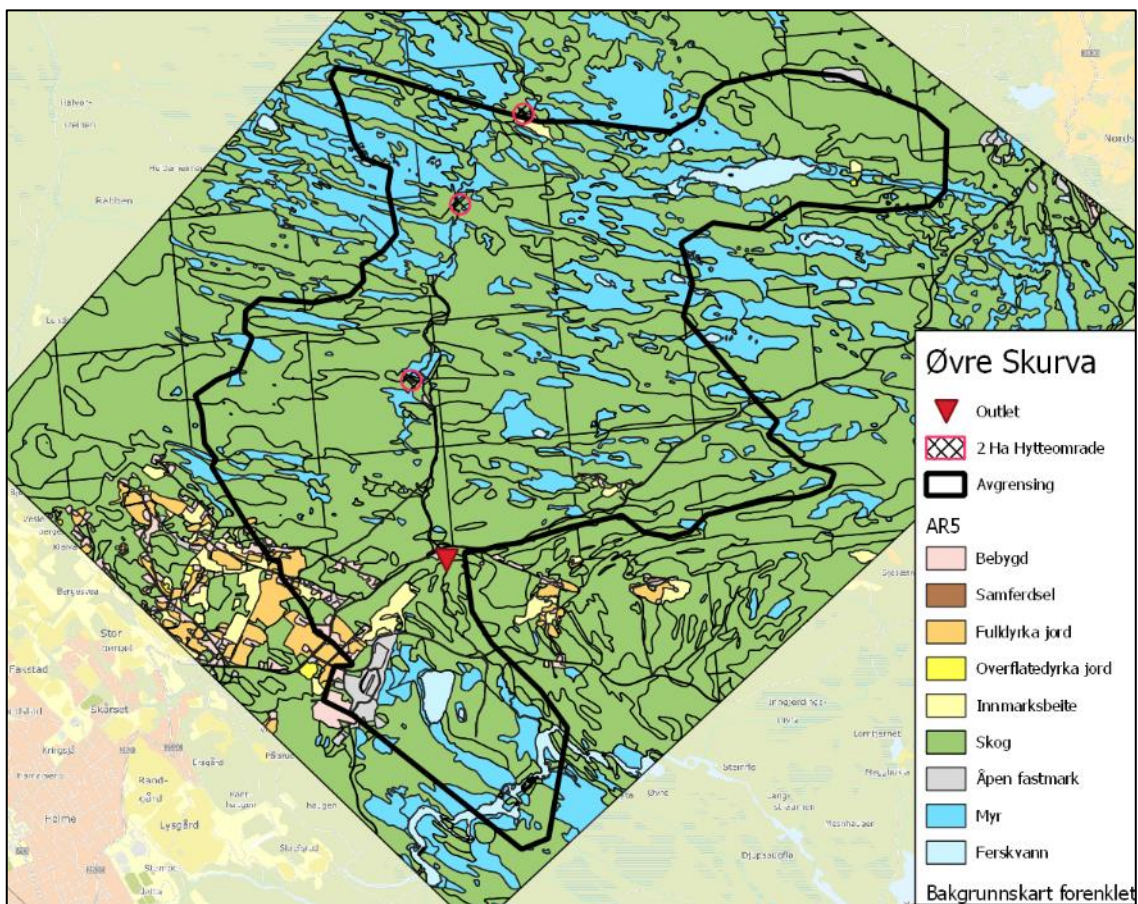


Figur 6-10. Endring i vannføring ved erstatning av myr til bar jord (harde flater) i hele nedbørsfelt.

6.3.5. Nye hyttefelt

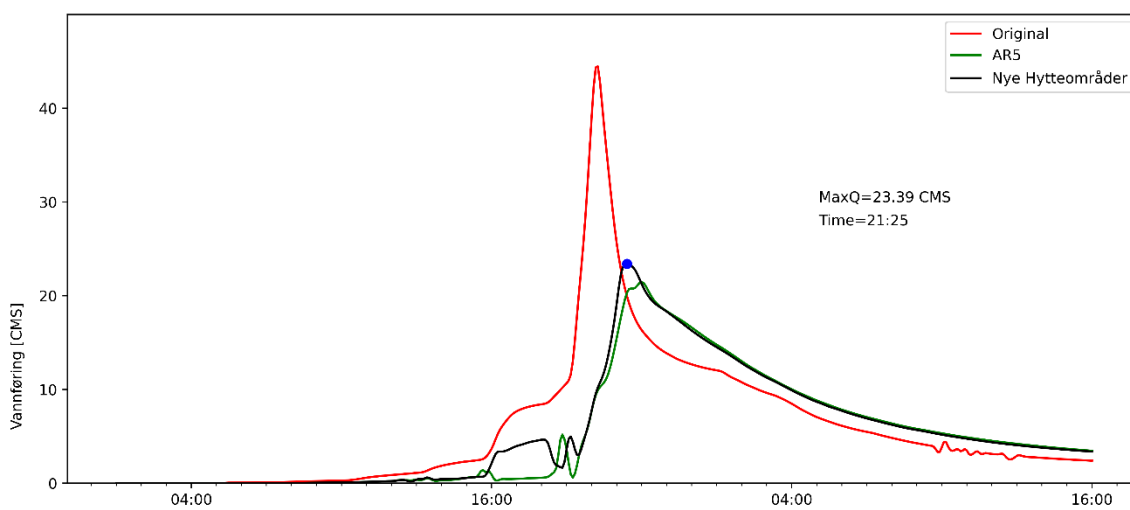
Et typisk inngrep i et uberørt nedbørsfelt som Skurva er å utvikle noen deler av feltet til hyttebebyggelse eller andre friluftrelaterte virksomheter som skisentre. Utbygging av et naturlig felt øker andelen av tette flater og har potensiale for å øke vannstand og vannføring under en flomsituasjon.

Plassering av nye bygninger er avhengig av myndighetsgodkjente reguleringsplaner. Da øvre del av Skurva for tiden ikke har noen slike planer, er testscenario utviklet med utgangspunkt i eksisterende bygninger inni feltet. Vi fant to eksisterende gårder og én jaktforening inni interesseområdet. Scenarioet omfatter en utvidelse av disse enhetene til hyttefelter med en størrelse på 2 ha (Figur 6-11).



Figur 6-11. Plassering av tre nye hyttefelt i nedbørfeltet til Skurva ved eksisterende bygninger.

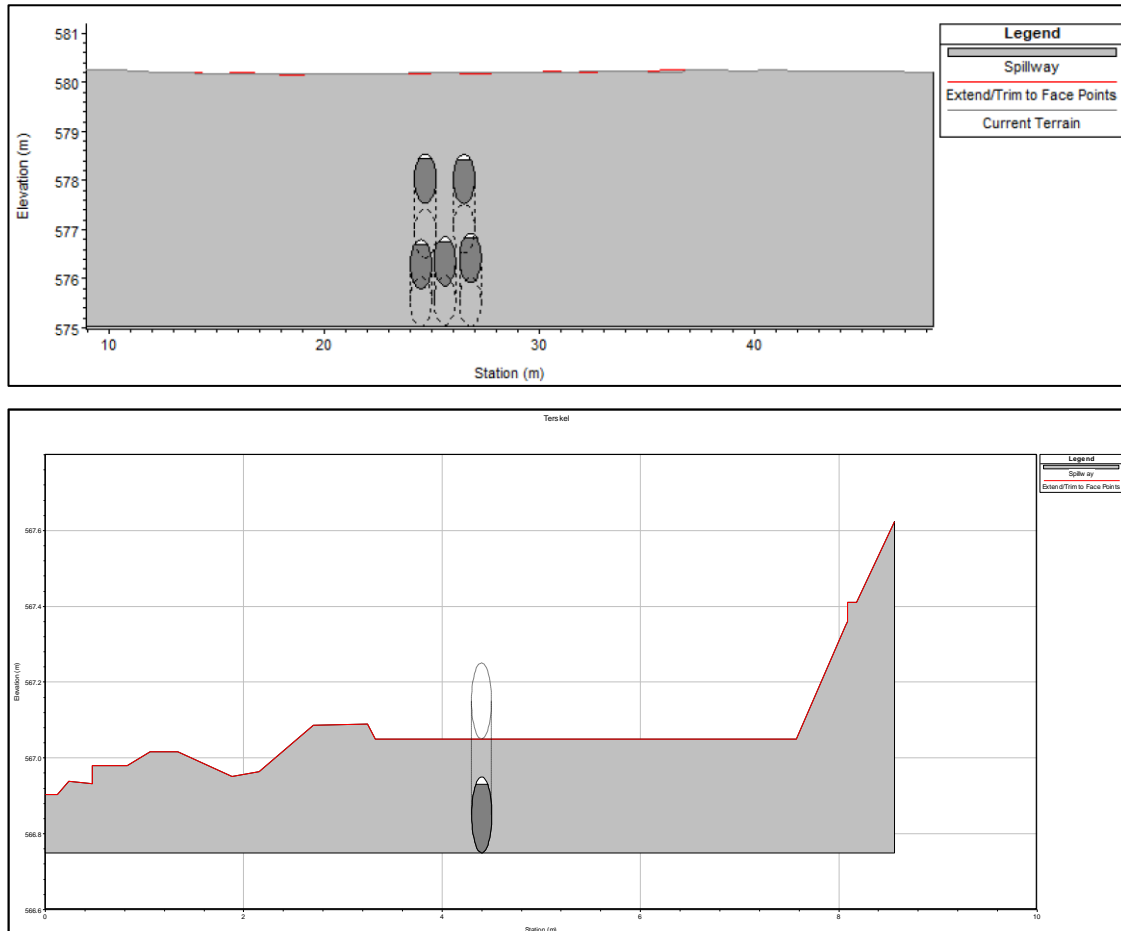
Resultater av simuleringen viser en økning på ca. 9 % på flomtoppen sammenlignet mot AR5-scenarioet. Selv om økning i vannføringen er mindre enn på scenarier med endringer i naturlig arealtype, er de testede utbyggingstiltakene relative konservative (3 x 2 ha hyttefelt). Vi kan dermed ikke utelukke at en mer intensiv utbygging kan ha en større påvirkning på feltets avrenningsforhold.



Figur 6-12. Effekt av utbyggingstiltak (3 x 2 ha hyttefelt) på vannføring oppstrøms terskel.

6.3.6. Blokkering av kritiske vassdragskonstruksjoner

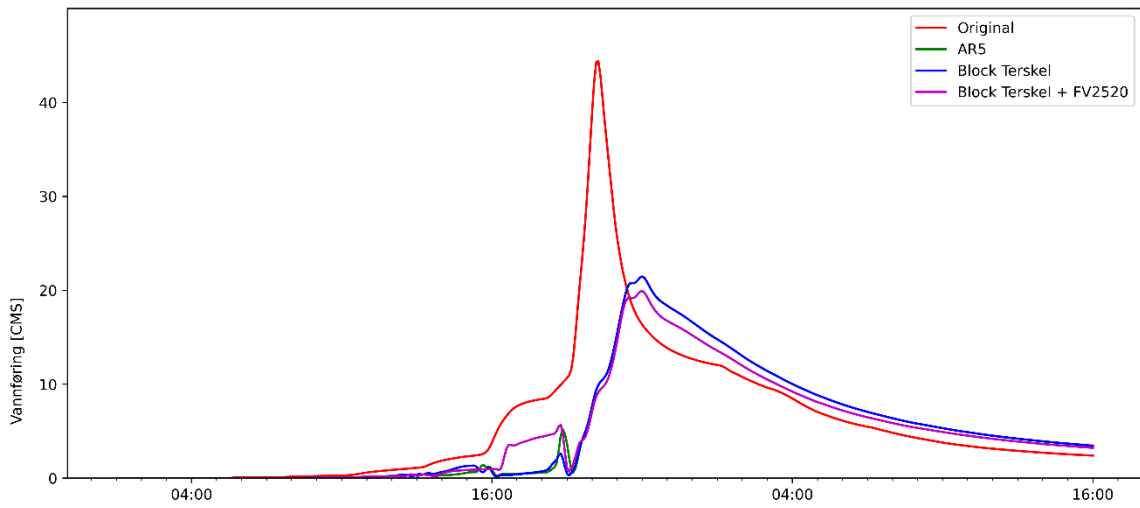
Øvre del av Skurva føres gjennom stikkerenner i to punkter, ved krysning av FV2520 og ved terskelen som skiller vannløpet til Abbotjern fra det til Mesna. Det er relevant å vurdere om en eventuell oppstuvning rundt disse konstruksjonene kan ha en større påvirkning på generell vannføring i feltet. Da HEC-RAS ikke tillater full oppstuvning på krysnings-konstruksjoner i vassdraget, kjørte vi to simuleringer med 90% blokkering (Figur 6-13).



Figur 6-13. 90 % blokkering av stikkerenner ved krysning under Skurvbrua (øvre figur) og ved terskelen (nederste figur).

Figur 6-14 viser en ubetydelig endring i vannføring oppstrøms terskelen på begge to blokkeringsscenarioene sammenlignet mot AR5-scenarioet. Stikkerennene (tappeledning) gjennom terskelen har diameter 150 mm og vannet renner mest som overløp i den opprinnelige modellen. Dermed er det forventet at det ikke blir noen påvirkning på grunn av oppstuvningen.

Selv om de fem kulvertene under FV2520 hver har en diameter på 1000 mm, vil en 90 % blokkering av dem gi en mindre reduksjon av vannføring i kontrollsnittet enn nevnte inngrep i arealbruk. En mer detaljert analyse av modellens 2D-flomkart viser at nesten alt vannet i elven renner over FV2520 hvis stikkerennene er blokkert. Vannet renner så tilbake inn i elveløpet nedstrøms vegen, uten at alternative flomveier opptrer.



Figur 6-14. Vannføring i kontrolltversnitt oppstrøms terskel ved 90% blokkering av stikkerenner ved terskel (blått) og ved begge to terskel og kryssning under FV2520 (magenta).

7. OPPSUMMERING AV MODELLERING

Nedbør-avløpsmodellering av Skurvas nedbørsfelt ga følgende resultater:

- Nedbørfeltgrensene kan variere etter hvilke stikkrenner/kulverter som er overbelastet. I en maksimalt uheldig ekstrem situasjon kan nesten hele Skurvas felt føre vann utenom Abbortjern. Fokus bør derfor være på å sørge for at mest mulig flomvann går til Abbortjernet, der flomtoppen vil dempes betydelig.
- Det går antagelig veldig lite vann over terskelen nedstrøms Skurvbrua ved flom. Mesteparten av vannet går trolig også tilbake til hovedvassdraget lengre nedstrøms.
- Abbortjernets fordrøyningskapasitet er ikke utredet da dette allerede er vurdert av COWI. Ved behov for ekstra kapasitet kan det også vurderes overføring mot myrene i Mesnavassdraget.
- For arealbruksberegningene ble endring i skogsarealer (intensiv skogsdrift) det mest utslagsgivende for vannføringen.

Følgende kan vurderes undersøkt for å øke kunnskapsgrunnlaget om Skurvas nedbørsfelt:

- Kartlegging/befaring (samt innmåling) av resterende kritiske punkter for å vurdere hvor vannet vil gå når kapasiteten overskrides.
- Kartlegging av områder som er potensielle kilder for erosjon.

8. OVERVÅKNING I NEDBØRFELTET

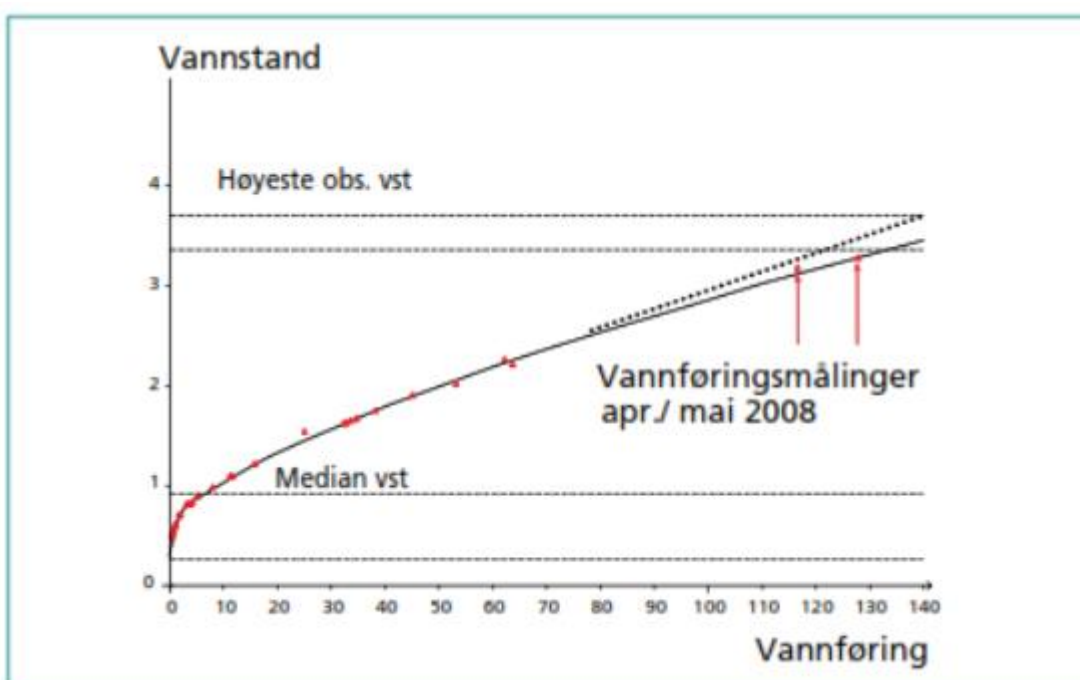
8.1. Vannføringskurver for kritiske punkter

En vannføringskurve (enten målt eller teoretisk) kan gi viktig informasjon som f.eks. hva som er kritisk vannføring for forskjellige punkter, og dermed gi et bedre grunnlag for risikovurderinger og beredskap. Teoretisk beregning av vannføringskurve krever et minimum av inngangsdata. Dette krever innmåling av nødvendige parametere under befaring, se kapittel 4.1.

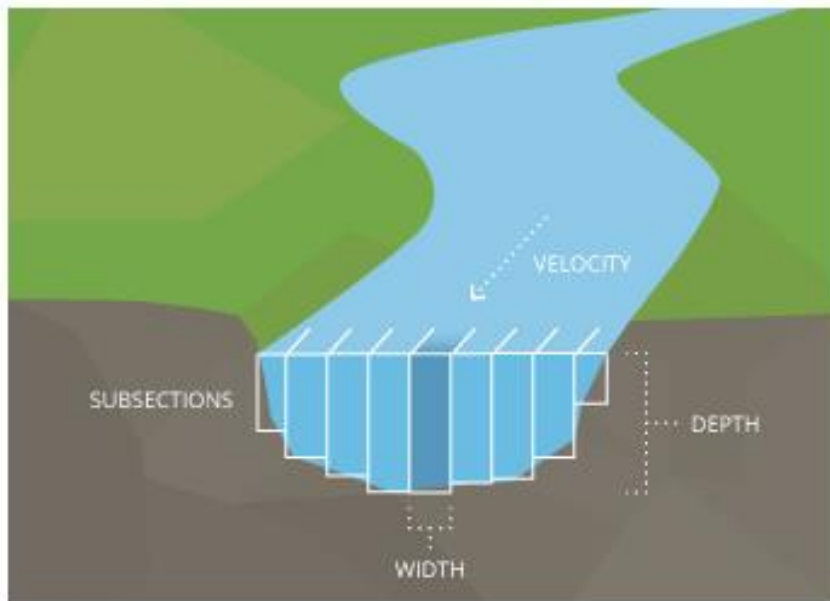
Teoretiske beregninger av vannføringskurver kan suppleres med fysiske målinger. Dette vil gi mulighet til å korrigere den teoretiske kurven, og samtidig gi informasjon om vannføringsforhold.

8.2. Vannføringsmålinger

Vannføring måles indirekte gjennom registrering av vannstand, som deretter regnes om til vannføring (Fergus m.fl., 2010). Det må etableres en sammenheng mellom vannstand og vannføring for det spesifikke målestedet, en vannføringskurve. Eksempel er vist i Figur 8-1. Vannføringskurve etableres ved at det måles vannføring med tilhørende vannstand for situasjoner med ulike vannføringer. Når vannføringskurven er etablert, vil dataserie for vannføring kunne beregnes fra vannstandsdataserie fra en vannstandslogger. Prinsipp for vannføringsmåling er vist i Figur 8-1.



Figur 8-1. Eksempel på vannføringskurve ved målestasjon 20.2 Austenå i Tovdalsvassdraget. Kurven gir sammenheng mellom målt vannstand og vannføring (Fergus m.fl., 2010).



Figur 8-2. Skisse som viser prinsipp for vannføringsmåling (Kilde: www.Fondriest.com).

Vannføringsmålinger kan utføres med ulike typer måleinstrumenter. Eksempel på vannføringsmåling med dopplermåler er vist i Figur 8-3.



Figur 8-3. Vannføringsmåling med Flow Tracker (dopplermåler) (Kilde: www.ott.com).

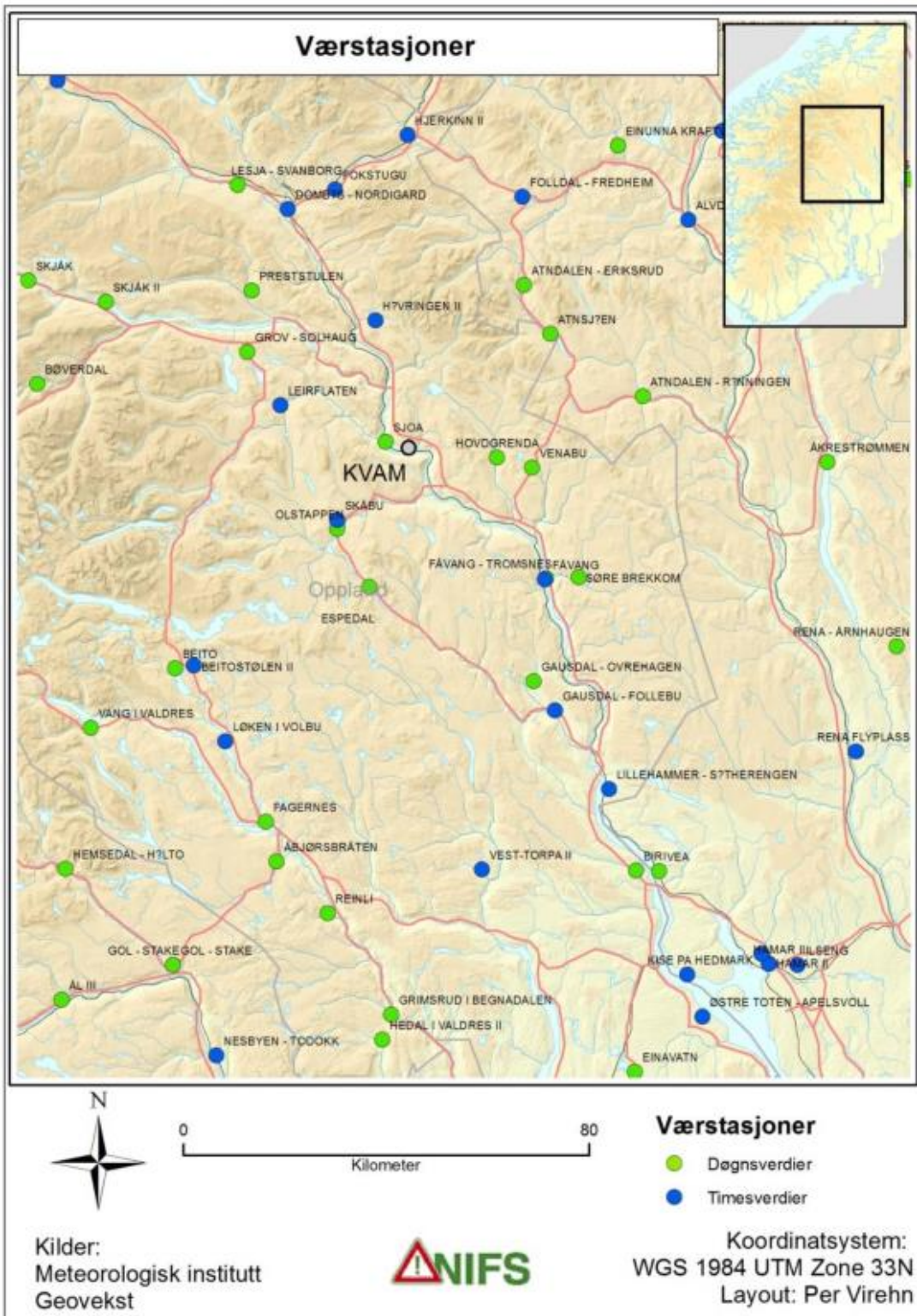
8.3. Eksisterende stasjonsnett

Det er ingen målestasjoner for vannføring i små nedbørfelt i Gudbrandsdalen. De nærmeste målestasjonene er 2.592 Fokstua (12 km²) øst for Dombås i Dovre kommune, og 2.329 Fura

(45 km²) i Løten kommune mellom Hamar og Elverum (Olsen m.fl., 2015). 2.592 Fokstua ligger helt nord i Gudbrandsdalen. Flommene i 2011 og 2013 ga utslag her, mens flommen i 2014 ga lite utslag. 2.329 Fura ligger sør i Gudbrandsdalen. Det var bare flommen i 2013 som ga utslag på denne målestasjonen (Olsen m.fl., 2015). Kartutsnitt som viser målestasjoner i Gudbrandsdalen, er vist i Figur 8-4. Kartutsnittet er kontrollert mot gjeldende kart (www.xgeo.no, 20.1.21) Det er heller ikke målestasjoner for nedbør i nedbørfeltet til Skurva, eller de nærmeste nabovassdragene. Oversikt over målestasjoner for nedbør er vist i Figur 8-5



Figur 8-4. Målestasjoner for vannføring i Gudbrandsdalen (Olsen m.fl. 2015).



Figur 8-5. Kart over nedbørstasjoner i Gudbrandsdalen (Kilde: Olsen m.fl. 2015).

8.4. Mulige steder for etablering av nye målestasjoner

Ettersom det er få målestasjoner for vannføring i nærheten av Skurva og Lillehammer, vil etablering av nye målestasjoner gi økt kunnskap om hydrologiske forhold i feltet.

Mulige målesteder:

- Skurva ved Nordsetervegen: En målestasjon her vil representere et naturlig felt, og kan brukes som referansestasjon for vassdrag med lignende feltegenskaper.
- Før innløp i Abbortjern: En målestasjon her vil gi informasjon om vannmengden som faktisk kommer inn til Abbortjern. Stasjonen vil representere et naturlig felt, og kan brukes som referansestasjon for vassdrag med lignende feltegenskaper.
- Utløp av Abbortjern (kulvert under skistadion): Vil gi informasjon om vannføring som renner ned mot Lillehammer sentrum.

Ved etablering av målestasjon, må egnet lokalitet vurderes avhengig av type måleutstyr.

8.5. Ulike alternativer for overvåkning/måleutstyr

Automatisk overvåkning av kritiske punkter kan gi nyttig informasjon både før, under og etter flom.

Dersom vannføringskurven er kjent, kan vannføring finnes ved å lese av vannstanden via et vannstandsbrett (se Figur 10-6.), og deretter finne tilhørende vannføring i vannføringskurven. Kontroll av vannstand fra vannstandsbrett må gjøres manuelt. Denne metoden egner seg for å lese av enkeltmålinger, men er upraktisk og tidkrevende dersom en ønsker å etablere en lengre dataserie.

For å registrere vannstand over lengre tidsperioder, benyttes vannstandsloggere til å registrere vannstand som deretter kan regnes om til vannføring.

Det finnes mange ulike typer dataloggere for vannstandsmålinger. Et eksempel på en enkel datalogger med sensor som måler vannstand, er loggeren FL 16 Flow fra Global Water. Data lastes ned manuelt med for eksempel PDA eller PC tilpasset feltbruk. Det finnes også loggere som kan fjernoverføre data, for eksempel Eco Log fra OTT. Data kan overføres fra enheter som drives av batteri. Det finnes også dataloggere som driftes av solcellepanel.



Figur 8-6. Kumstasjon. Prinsippskisse til venstre (www.fondriest.com) og bilde av NVEs stasjon Fossen til høyre (www.nve.no/hydrologi).



Figur 8-7. Eksempel på vannstandsloggere, FL 16 Flow logger fra Global Water (venstre) og Eco Log fra OTT (høyre).

Dersom det sammen med vannføringsmåler, også etableres en nedbørmåler, vil dette bidra til et bedre datagrunnlag nedbørsforhold i feltet. Et eksempel på kombinert målestasjon for vannføring og nedbør er vist i Figur 8-8. I denne stasjonen beregnes vannføringen automatisk av en datalogger på bakgrunn av målt vannhøyde og vannføringskurven for måleprofilen. Data for vannføring, lufttemperatur og vanntemperatur overføres daglig via telefon og modem (NIBIO, 2020).



Figur 8-8. Vannføringsmåler i v-overløp i Kolstadbekken i Ringsaker. Stasjonen måler også temperatur og nedbør (Kilde: NIBIO, 2020).

Ved innløp av stikkrenner og kulverter, vil målesensorer gi nyttig informasjon om vannstand i forhold til kapasitet. Figur 8-9 viser stikkrenne langs E6 nord for Hundorptunnelen der det er montert målesensorer som måler vannstanden på utsiden og innsiden av fangristen foran kulverten. Dersom det måles høyere vannstand på utsiden enn på innsiden av fangristen, tyder det på at kulvertinnløpet er i ferd med å tettes. Systemet er under utprøving i et samarbeid mellom Statens vegvesen og Pipelife Norge AS (www.at.no).



Figur 8-9. Stikkrenne nord for E6 Hundorptunnelen som har fått montert målesensor for vannstand ved fangristen (Kilde: www.at.no, 20.1.21).

Valg av type måleutstyr vil avhenge av hva som ønskes målt, og hva resultatene skal brukes til. Noe utstyr er plasskrevende, som for eksempel en kumstasjon (Figur 8-6), og en del utstyr er kostbart i innkjøp. Det må vurderes om det er tilstrekkelig med enkelt utstyr, som krever mer ressurser å drifte, eller om det kan investeres i mer kostbart utstyr som er automatisert.

En kombinasjon av ulike loggere kan være en mulighet. Noen kan være permanente, mens andre er mulige å flytte rundt.

Dersom den målte vannføringsserien skal benyttes som grunnlag for planlegging, eller dimensjonering av for eksempel infrastruktur, er det også viktig å etablere en målestasjon og starte vannføringsmålinger så raskt som mulig for å få en dataserie av tilstrekkelig lengde og kvalitet. Dersom data skal benyttes i en detaljfase, er det for eksempel viktig å starte målinger alt i planfasen.

Før etablering av målestasjoner kan det være en fordel å kartlegge slike faktorer. Det er også verdt å undersøke mulighet for at stasjon kan etableres som en del av NVEs målestasjonsnett.

8.6. Praktisk bruk

Vannføringskurver for kritiske punkter kan f.eks. vise for hvilken vannstand kapasiteten i stikkrenne, kulvert e.l. er nådd, og når det er fare for at vann vil renne forbi. Dette kan brukes til å etablere grenseverdier for å iverksette beredskap med tanke på flom. Kombinert med loggere som kontinuerlig logger vannstand, kan det etableres et varslingsystem, som kan sende alarm/varsel til beredskapsansvarlig når vannstanden i et kritisk punkt når grenseverdien. Dette gjør det mulig å sende ut mannskap for å iverksette tiltak ved aktuelt punkt.

Vannføringskurvene kan også brukes for å finne sammenheng mellom vannføring ulike steder i vassdraget.

9. EROSJON, SEDIMENTTRANSPORT OG FLOM

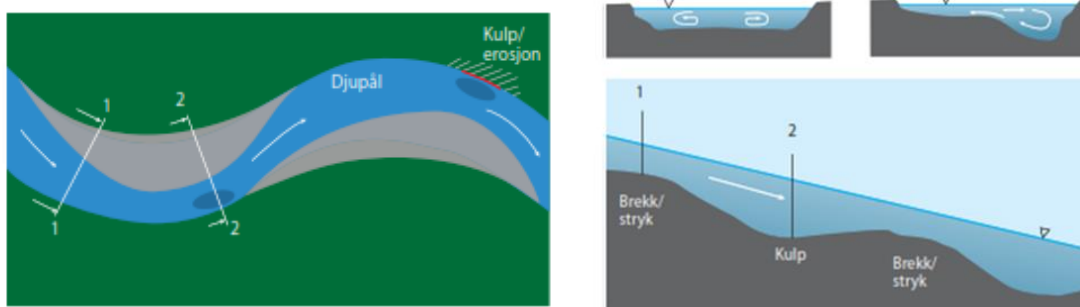
Erosjon, sedimenttransport og sedimentasjon er naturlige, og mer, eller mindre, kontinuerlige prosesser i alle vassdrag. Disse prosessene former elveløpet, og tilfører og former bunn – og sidematerialet i elva (Fergus m.fl., 2010).

9.1. Erosjonsprosesser

Erosjon i en elv innebærer at partikler rives løs, og forflyttes med vannet fra et sted til et annet. Der elva renner gjennom løsmasser, vil den grave, eller erodere, både i bunnen og i kantene. Massene som rives løs og transporteres videre, avsettes og kan eroderes og rives løs igjen. Erosjon oppstår når det fjernes mer masser enn det som tilføres (Fergus m.fl., 2010).

Erosjon i en elv foregår ofte i en kombinasjon av flere prosesser (Fergus m.fl., 2010):

- **Sideerosjon og bunnerosjon:** Elvestrømmens hastighet er størst i yttersvinger. Dette gir størst erosjon i yttersvinger, og fører til sedimentasjon i innersvinger der hastigheten på vannet er litt lavere. Erosjon i yttersving kombinert med sedimentasjon i innersving, vil over tid gi en sideveis forflytning av elveløpet i nedstrøms retning, såkalt meandering. I tillegg til sideerosjon, eroderes elva også i bunnen. Elvas lengdeprofil, og bunnmaterialets motstandsdyktighet mot erosjon, er viktige kontrollerende faktorer for utvikling av bunnerosjon. Elva eroderer seg ned til det er etablert et likevektsprofil, eller det dannes et stabilt dekkjikt.
- **Massebevegelse i sideskråninger:** Erosjon i elvebunn og yttersvinger, vil ofte føre til undergraving av sideskråninger langs elveløpet. Dette kan føre til at løsmasser i sideskråningene raser ned i elveløpet og transporteres nedover i vassdraget hvor det kan føre til elveløpsforflytninger.
- **Elveløpserosjon:** Når løsmateriale akkumuleres i elveløpet, endres likevekten, og vannmassene presser mer mot sidene og forårsaker erosjonsskader. Opprettholdelse av likevekten avhenger av hastighet på elvestrømmen, elveløpets gradient og kornstørrelsen på materialet. Under ekstremt store flommer kan elveløpet gå ut over breddene.



Figur 9-1. Meandersving med kulper, brekk og stryk, sideveis erosjon og innersvingbanker (Kilde: Fergus m.fl., 2010).

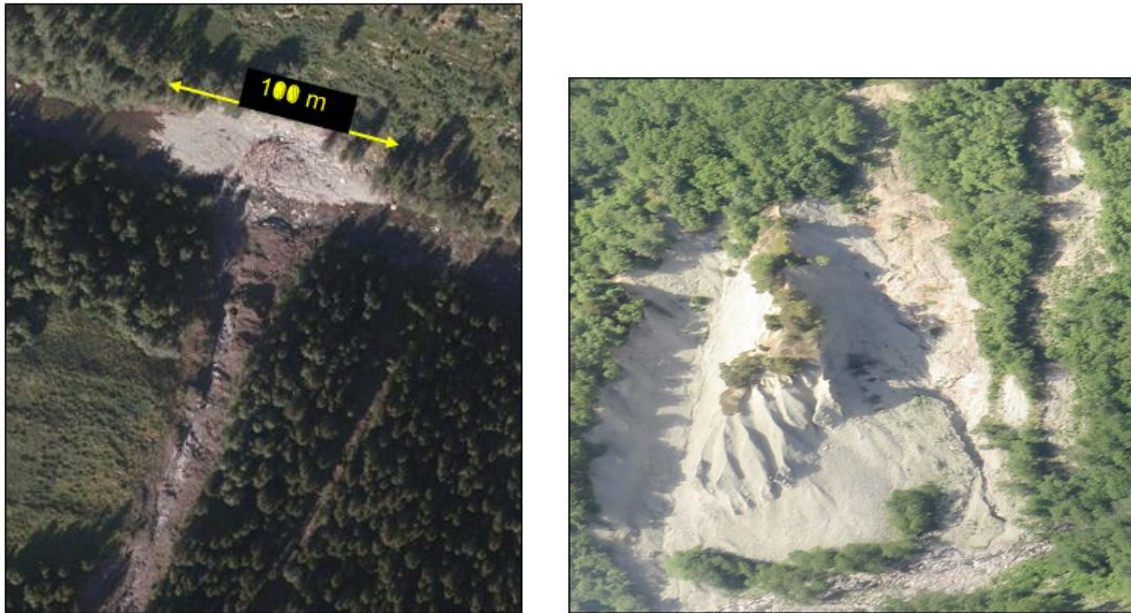


Figur 9-2. Illustrasjon av en elv som undergraver sideskråninger. Sedimenter raser ned i elveløpet og transporteres videre med vannet (Kilde: Bogen m. fl., 2016).

9.2. Sedimentkilder

Det er flere ulike kilder til sedimenter som transporteres med vassdrag (www.nve.no/hydrologi/erosjon-og-sedimenttransport, 20.1.21):

- **Breerosjon:** Breens bevegelser produserer store mengder sedimenter av morene og finmateriale som fraktes med breelvene. Materialet tilføres vassdraget ved at det smelter ut av isen når det er flom i de subglasiale elveløpene. Det kan også eroderes materiale fra omkringliggende morene.
- **Erosjon i skogsområder i lavlandet:** Erosjon i morene og breavsetninger langs elveløpet er en dominerende prosess. Erosjonsintensiteten og sedimenttransporten er ofte moderat i slike områder.
- **Avrenning fra jordbruksområder:** I noen områder kan dette være en vesentlig kilde til sedimenttransporten i vassdragene. Mange jordbruksområder ligger på løsmasseavsetninger som kan eroderes ved flom.
- **Ravineerosjon:** Overflateavrenningen har stor innvirkning på ravinenes utvikling og forårsaker tilbakeskridende erosjon og bunnsenkning. Utrasinger i bratte sidevegger bidrar etter hvert til at ravineområdene øker. Tilgroing med vegetasjon kan begrense omfanget av ravineerosjon.
- **Løsmasseskred og flomskred:** Utløses av høyt porevanntrykk i jordsmonnet og kan føre store materialmengder frem til elveløpet på kort tid. Dette kan føre til oppdemninger som kan bryte og medføre uttappingsflommer som forårsaker skader.
- **Lagring:** Materiale som er transportert under tidligere flommer, kan sedimenteres i elveløpet og elveslettene. Dette materialet kan utgjøre en sedimentkilde under en påfølgende flomsituasjon.



Figur 9-3. Eksempel på flomskred fra Vinstra, utløst av flommen i 2011 (venstre) og Ravine i Hjellåi. (høyre) (Kilde: Bogen m.fl., 2016).

9.3. Sedimenttransport

Sedimenttransport i en elv foregår uavhengig av erosjon (Fergus m.fl., 2010), og omfatter uorganiske og organiske sedimenter som transporteres med elvas vannmasser. Sediment er uorganiske og organiske partikler i ulike materialer og størrelsesfraksjoner. Uorganisk materiale deles inn etter partikkelstørrelse i leire, silt, sand, grus og stein (Fergus m.fl., 2010).



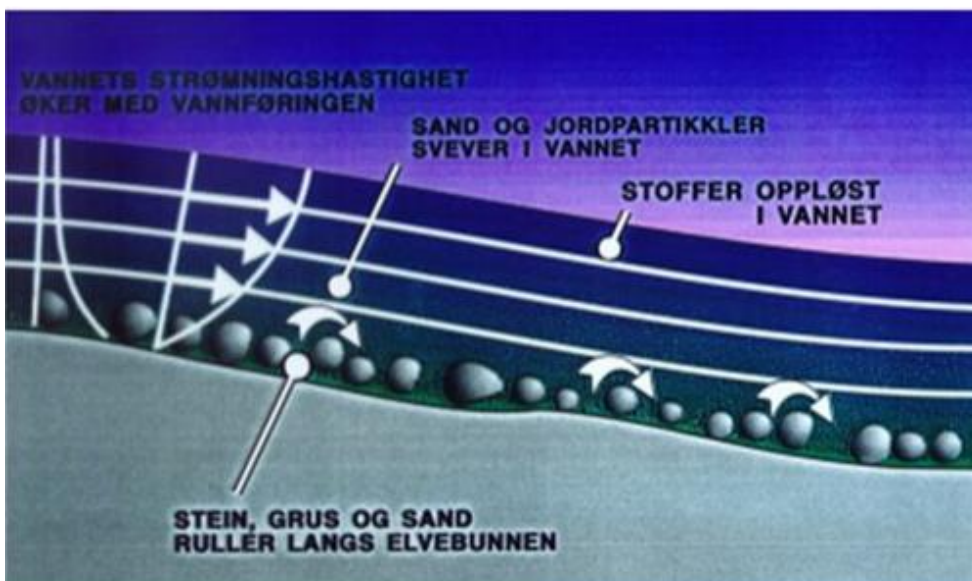
Figur 9-4 Ulike typer sedimenter (Kilde: www.fondriest.com).

Sedimenttransport kan deles inn i tre grupper avhengig av transportprosess:

- **Bunntransport:** Sand, grus eller stein som ruller i kontakt med elvebunnen. Bunntransporten har betydning for elveløpets stabilitet og utforming.
- **Suspensjonstransport:** Finfordelte partikler av finsand, silt og leire som holdes svevende av turbulente strømninger forårsaket av bevegelsen i vannet. Suspendert materiale har påvirkning på vannkvalitet, og har betydning for biologiske forhold i vassdraget.
- **Oppløst materiale:** Lett oppløselige kjemiske stoffer som fraktes med vannmassene.



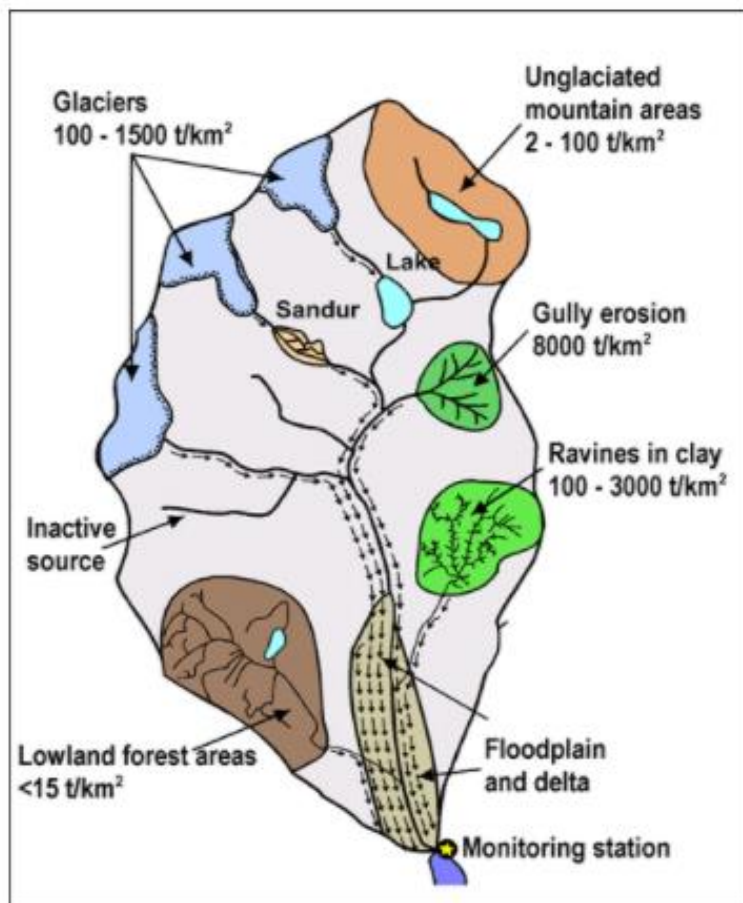
Figur 9-5. Sedimenttransport i Gudbrandsdalslågen under flommen i 1995 (Kilde: Moquet-Stenbak, 2016).



Figur 9-6. Illustrasjon av de ulike prosessene for sedimenttransport i en elv (Kilde: Figur av Jim Bogen/www.nve.no).

9.4. Sedimentbudsjett

Sedimenttilførselen til et vassdrag kan få bidrag fra flere, ulike sedimentkilder. Ved å knytte erosjonsintensiteten (spesifikk sedimenttransport), $t/km^2 \cdot \text{år}$, i de ulike kildene til arealer med enhetlige erosjonsprosesser, er det mulig å overføre måledata fra et felt til et annet (www.nve.no/hydrologi/erosjon-og-sedimenttransport, 20.1.21).



Figur 9-7. Sedimentkilder i et nedbørfelt (Kilde: Figur av Jim Bogen/www.nve.no).

Sedimentbudsjettet for et vassdrag gir en oversikt over volumet av sedimenttilførselen fra de ulike sedimentkildene/kildeområdene, pluss, eller minus, lagringen i nedbørfeltet. Sedimentbudsjettet, eller sedimentbalanselikningen for et nedbørfelt, er analogt med vannbalanselikningen for et nedbørfelt.

Likningen for sedimentbudsjett kan skrives slik (Bogen m.fl., 2016):

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n \pm \Delta M$$

Der sedimenttransporten G på en målestasjon, kan skrives som en sum av bidragene fra de forskjellige kildene: $G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$ pluss eller minus lagringen ΔM .

Utarbeidelse av et sedimentbudsjett for et vassdrag, kan lettere gi oversikt over de mest dominerende sedimentkildene i et vassdrag, og hva som er konsekvensene av å gjøre ulike inngrep.

Målinger av sedimenttransportens volum er viktig for å kunne bygge fangdammer som fungerer, men også for å ha et godt faglig grunnlag for å sikre det biologiske mangfoldet. Det er ikke bare sedimentvolumene som er av betydning, men også substratets kornfordeling. Sandfraksjonene innvirker i stor grad på fiskehabitatet. De kan fylle opp hulrommene mellom steinene og redusere fiskens skjulmuligheter slik at leveområdene blir mindre. De kan og så påvirke gyteområdene. Det kan være vanskelig å bestemme helt nøyaktig de forskjellige leddene, men sedimentbudsjettet gir likevel et bedre kunnskapsgrunnlag i forvaltningen av vassdraget (Bogen m.fl., 2016).

9.5. Morfologisk modell

I tillegg til kunnskap om volum av massetransport i et vassdrag, er kunnskap om sammenheng mellom flom, sedimenttransport under flom og erosjon/masseavsetning viktig mtp. tiltaksplanlegging. Denne sammenhengen kan simuleres med en morfologisk modell. Dette er gjort i studier utført av Lund (2020), som tok utgangspunkt i flomhendelsen i Storelva i Utvik (Vestland) i juli 2017.

Det er stor variasjon i elvers egenskaper når det gjelder strømningshastighet, lengde, bredde, helning, kurvatur, og avlagring av sedimenter. Erosjon og sedimentasjon vil påvirke kapasitet, vannhastighet og utforming. Over et langt tidsperspektiv (århundrer) vil disse prosessene endre og forflytte elveløpet fullstendig. I elver med mye tilgjengelige sedimenter, kan flomhendelser forårsaket av intens nedbør føre til at disse endringene skjer i løpet av få timer (Lund, 2020).

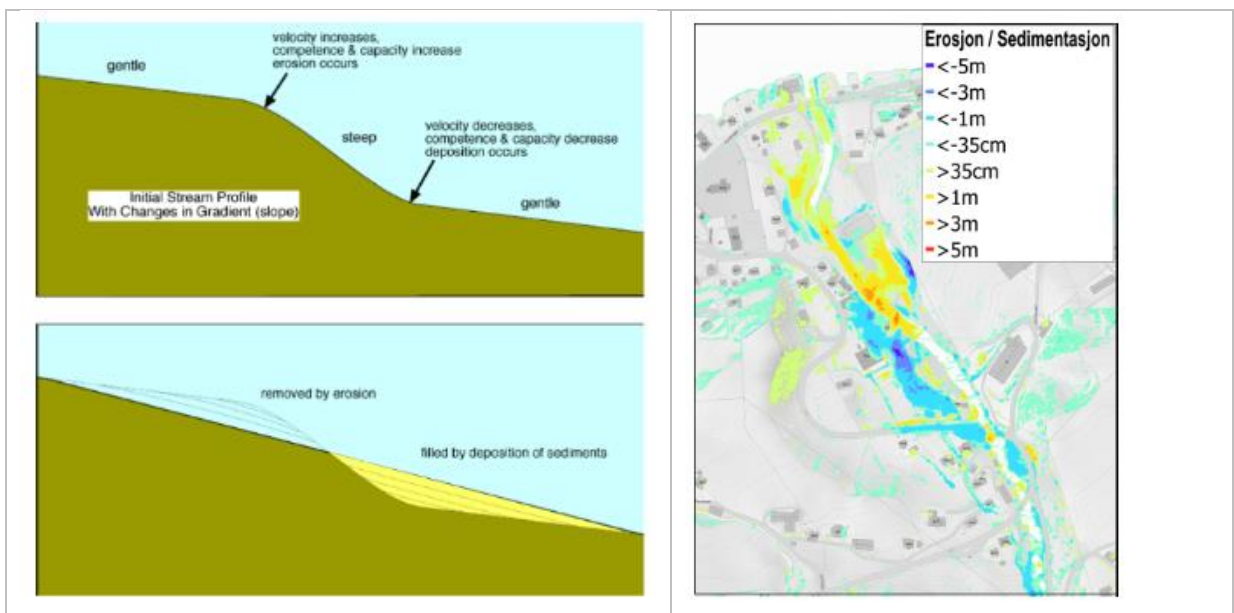
Det var dette som skjedde i Utvik, da en kombinasjon av høy vannføring og sedimentavsetning i hovedkanalen, førte til at elva tok nytt løp. Sediment fra bratte områder med høy vannhastighet ble erodert, og så avsatt i områder med slakere helning og lavere vannhastighet (Lund, 2020). Bilde fra Storelva etter flommen er vist i Figur 9-8. En tilsvarende hendelse skjedde da elva Moksa tok nytt løp gjennom Tretten under flommen i 1995 (Figur 9-9).



Figur 9-8. Storelva tok nytt løp gjennom Utvik sentrum under flommen i juli 2017, og førte til avsetning av store mengder sedimenter og drivgods (Foto: H. Vågenes (Lund, 2020)).



Figur 9-9. Moksa tok nytt løp gjennom Tretten under flommen i 1995 (Kilde: Moquet-Stenback, 2016)



Figur 9-10. Illustrasjon som viser effekt av helning på erosjon og sedimentasjon (venstre) og områder for erosjon og sedimentasjon forårsaket av flommen i Utvik i juli 2017 (Kilde: Lund, 2020).

Med klimaendringene forventes økt nedbørintensitet som følge av økte temperaturer (Lawrence, 2016). Flommer grunnet snøsmelting vil bli mindre ettersom snømengdene forventes å bli redusert. Flommer vil inntreffe oftere som følge av store nedbørhendelser på høsten og sommeren, men også om vinteren (Norsk Klimaservicesenter, 2017). Hyppigere flomhendelser gir økt fare for erosjon i vassdragene. Studier utført av Lund (2020) viser at 50 % økning i nedbør gir dobling i mengde sedimenttransport. En annen forventet effekt av klimaendringene er perioder med mer tørke mellom de fuktige periodene. Tørkeperioder kan ødelegge vegetasjonen slik at områder kan bli mer utsatt for ravineerosjon, noe som vil forsterke sedimenttilførselen (Bogen m.fl., 2016).

Sedimenttransport er en potensfunksjon av vannhastighet. De fleste formler bruker en potens på 3-5. Det betyr at aller meste sediment bare transporteres under flommer. Under vanlige forhold er det lite sedimenttransport. Denne potensfunksjonen utgjør også at sedimenttransport er følsomt for endringer i klima (Lund, 2020). Eksponentielt mer sediment som avsettes i flate deler av elveløpet medfører dobbelt fare. Her kan vannmengde ikke lengre følge originale elveløpet og flomutbredelse og skadepotensial blir mye større (Lund, 2020).

Kunnskap om sedimenttransport og den morfologiske effekten på flomforhold er viktig for å begrense skader fra framtidige flomhendelser.

9.6. Tiltak for å håndtere masser

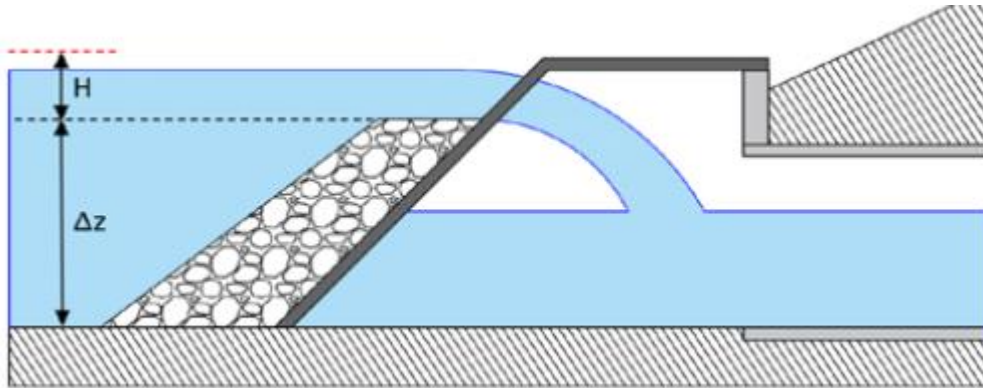
Dersom det er kjente områder, eller det er enkelt å lokalisere sedimentkildene, kan erosjonssikring av disse områdene bidra til redusert massetransport. Dette kan også være aktuelt med erosjonssikring av areal/flater med for eksempel vegetasjon. Bevaring av kantsone langs vassdrag bidrar også til erosjonssikring.

I en del vassdrag ligger imidlertid sedimentkildene langt oppe i nedbørfeltet, og det kan være vanskelig med adkomst, kildeområdene er for omfattende å sikre eller verneinteresser kan sette begrensninger. I slike vassdrag må andre tiltak vurderes.

Et massebasseng kan samle opp masser som transporteres med elva, og hindre at masser blokkerer kritiske punkter som kulverter og stikkrenner. Et massebasseng vil også kunne samle opp masser fra et eventuelt flomskred lenger opp i vassdraget

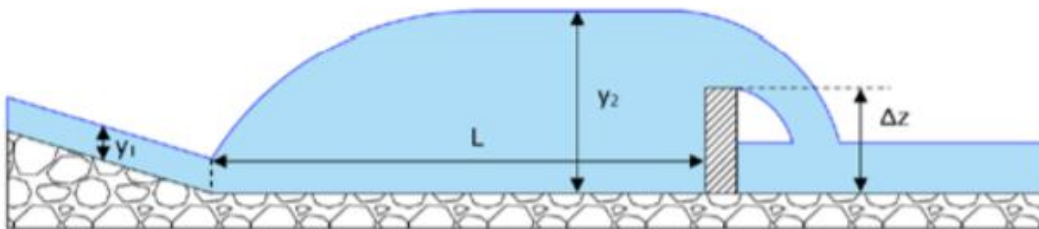
Det er behov for jevnlig inspeksjon og rensing av sedimentasjonsbassenget for at funksjonen skal opprettholdes. Det må derfor legges til rette for maskinell tilkomst, fortrinnsvis fra områder som ligger trygt under flom (SVV, 2020).

For å hindre at masser kommer inn i kulverter og stikkrenner, kan det etableres inntaksrist ved innløpet (Figur 9-11). Inntaksristen må renskes jevnlig for å opprettholde kapasiteten.



Figur 9-11. Illustrasjon av innløpsrist foran kulvert (SVV, 2020).

Det kan også være aktuelt med tiltak som gir vannstandssprang for å redusere vannhastigheten, for eksempel terskler (Figur 9-12). En terskel vil føre til at vannhastigheten avtar og det avlagres masser oppstrøms terskelen.



Figur 9-12. Illustrasjon av terskel for bremsing av vannhastighet (SVV, 2020).

Vassdragets lengdeprofil kan gi nyttig informasjon om bratte og slake partier, slik at områder som er kilder til sedimenter kan identifiseres, og det kan vurderes hvor tiltak bør plasseres. Det er også viktig å registrere kritiske punkter på disse områdene. Kapasitet i kritiske punkter er viktig, ettersom for liten kapasitet vil føre til at vannet bremses, og sedimenter vil samles opp og føre til blokkering. Informasjonen må verifiseres med kartlegging i felt. Registrerte skader etter flom hendelser kan brukes til sammenligning.



Figur 9-13. Erosjonsskader i Skurva etter flomhendelsen i juli 2014. Foto: Steinar Myrabø. (Olsen m.fl. (2015))

10. ARBEID MED VASSDRAGSBEREDSKAP I LILLEHAMMER

10.1. Prosjekt vassdrag

Lillehammer kommune har flere bynære vassdrag. Disse er:

- Bæla
- Lundebecken
- Skurva
- Mesnaelva
- Maihaugbekken
- Åretta/Askjellrubekken
- Øyresbekken

Noen av vassdragene er vist i kart i Figur 10-1.

Store nedbørhendelser (varighet 2-3 døgn) i 2011, 2013 og 2014 førte til flom i de bynære vassdragene. Dette forårsaket betydelige skader på infrastruktur, boliger og institusjoner. Etter den siste hendelsen, i 2014, startet Lillehammer kommune derfor «Prosjekt Vassdrag» for å kunne jobbe helhetlig med fokus på vassdrag og nedbørfelt. Gjennom dette prosjektet er det jobbet med utarbeidelse av tiltaksplaner for bynære vassdrag.



Figur 10-1. Bynære vassdrag i Lillehammer (Kilde: www.glokart.no).

10.2. Arbeid med tiltaksplaner

Gjennomarbeidet med tiltaksplaner har det blitt utredet aktuelle tiltak, vurdert kostnader og sett på prioritering av hvilke tiltak som kan og bør gjennomføres. Tiltaksplaner er utarbeidet uavhengig av privatrettslig forhold. Grunneiere/huseiere og myndigheter har medvirket som høringsparter.

Ferdige tiltaksplaner går videre til politisk behandling der det kostnadsrammer, prioritering av tiltak og ansvar avklares.

Erfaringer fra arbeidet med tiltaksplaner har vist at arbeidet er tidkrevende, og gjennomføring av tiltak er ressurskrevende og økonomisk utfordrende. Ved utarbeidelse av en tiltaksplan er det flere interesser å ta hensyn til:

- Grønnstruktur
- Naturmiljø
- Friluftsliv
- Kulturminner
- Fysisk påvirkning av vassdrag og vannmiljø

En annen problemstilling er behovet for å se overvannsproblematikk i sammenheng med vassdrag. Ved separasjon av overvann og avløpsvann kan det være aktuelt å lede overvann ut i vassdrag. Da må det samtidig være fokus på hvor stort påslipp av overvann et vassdrag tåler, og om vassdraget tåler potensielt forurenset overflatevann.

Kommunen har erfart at det kan være utfordrende å motivere utbyggere og konsulenter til å tenke nytt i arbeid med å håndtere flom fra overvann og vassdrag, og følge de nye statlige planretningslinjene for klima – og energiplanlegging og klimatilpasning.




Det er også en utfordring knyttet til usikkerhet i datagrunnlag. Det er behov for måling av vannføring for kvalitetssjekk/kalibrering av beregninger for å få et bedre grunnlag for dimensjonering av tiltak.

10.3. Beredskap

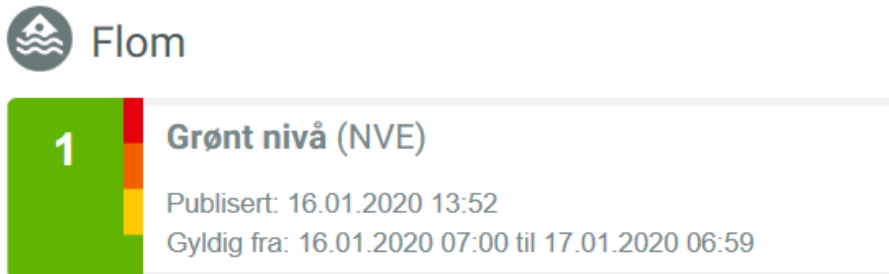
Det er utarbeidet beredskapsplan for flom i mindre vassdrag i Lillehammer kommune. Utgangspunktet for beredskapsplanen har vært arbeidet med kartlegging av kritiske punkt i vassdragene og erfaring fra flomhendelsene i 2011, 2013 og 2014.

Beredskapsgruppa består av medarbeidere fra flere etater: Veg og trafikk, Vann og avløp, Park og idrett, Plan og miljø.

Beredskapsgruppa møtes ved inngang til hver helg for å vurdere situasjonen med tanke på flomberedskap gjennom helga. Gruppa har en beredskapsansvarlig som følger med på varsler fra www.varsom.no og andre informasjonskanaler (værvarsler, værradar, www.seNorge.no). Aktsomhetsnivåer fra www.varsom.no er vist i Figur 10-2. Eksempel på flomvarsel for Lillehammer er vist i Figur 10-3. Ved gult nivå følger beredskapsorganisasjonen nøye med på værforholdene, og forbereder forebyggende tiltak. Ved oransje og rødt nivå settes krisestab.

<p>Aktsomhetsnivå rødt (4)</p> 	<p>Ekstrem situasjon som forekommer svært sjelden, krever tett oppfølging og kan medføre store skader.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Svært mange skredhendelser; flere kan få store konsekvenser. • Omfattende oversvømmelser, erosjonsskader og flomskader på bebyggelse og infrastruktur. Gjentakintervallet er mer enn 50 år.
<p>Aktsomhetsnivå oransje (3)</p> 	<p>Alvorlig situasjon som forekommer sjelden, krever beredskapsmessige forberedelser og kan medføre alvorlige skader.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mange skredhendelser; noen kan få store konsekvenser. • Omfattende oversvømmelser, erosjonsskader og flomskader på utsatte steder. Gjentakintervallet er mer enn 5 år.
<p>Aktsomhetsnivå gult (2)</p> 	<p>Utfordrende situasjon som krever oppfølging og kan medføre skader lokalt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Noen skredhendelser; enkelte store hendelser kan forekomme. • Lokale oversvømmelser og/eller erosjonsskader pga. raskt økende vannføring i bekker/småelver, isgang, is i bekke-/elveløp, tele etc. • Spesielt stor vannføring/vannstand i forhold til hva som er normalt for årstiden. • Vannføring tett oppunder oransje nivå.
<p>Aktsomhetsnivå grønt (1)</p> 	<p>Generelt trygge forhold på regionalt nivå med unntakelse når det foreligger et varsel om kraftige regnbyger som indikerer fare for overvann i tettbygde områder, lokale oversvømmelser, bekke- og elveløpsendringer, jord- og flomskred der regnbygene treffer.</p>

Figur 10-2. Aktsomhetsnivåer for flom – og jordskredvarsling (Kilde: www.varsom.no).



Figur 10-3. Eksempel på varslet aktsomhetsnivå for flom for Lillehammer. (Kilde: www.varsom.no).

Det er utarbeidet et beredskapskart der kritiske punkt i hvert vassdrag er merket av, se Figur 10-4. I en beredskapssituasjon er ansvar for oppfølging av de ulike punktene fordelt mellom de ulike fagenhetene i beredskapsgruppa. I tillegg har Statens vegvesen, Bane Nor og Eidsiva (vassdragsregulant) ansvar for ulike punkter. Eksempel på fordeling av ansvar er vist i Figur 10-5.



Figur 10-4. Utsnitt av beredskapskart for Lillehammer som viser vassdraget Skurva. (Kilde: Lillehammer kommune).

Skurva:

Sted	Problempunkt	Tiltak	Ansvar
30 Nordsetervegen v/ Skurvabrua	Kulverter kan være utsatt for gjentetting. Ved stor flom kan det være risiko for at vannmasser fra Gropmarka tar veg langs veggrøft inn i nedbørfelt for Skurva gjennom byen. SVV har ansvaret.	- Tilsyn - SVV varsles - Maskin må vurderes	SVV Ledelse beredskap
31 Skryftgangen	Murterskel. Masseavlagring mulig. Ved stor flom kan det være risiko for at vannmasser fra Gropmarka tar veg inn i nedbørfelt for Skurva gjennom byen. Eidsiva har ansvar.	- Eidsiva varsles - Tilsyn - Evt. varsling av grunneier Erik Andreas Skaarseth	Eidsiva Ledelse beredskap

Figur 10-5. Utsnitt av beredskapsplan med fordeling av ansvar under beredskap for kritiske punkter i Skurva. (Kilde: Lillehammer kommune).

Erfaringer fra arbeidet med beredskapsplaner, har vist at arbeidet er krevende med tanke på tid og ressurser. Det er relativt hyppige gule varsler, og kommunen ser behov for lokale varslingssystemer for å bedre kunne vurdere prognoser for nedbør og flom. Det er også sannsynlig at «gult nivå» vil inntreffe oftere i fremtiden som følge av forventede klimaendringer, noe som underbygger behovet for bedre datagrunnlag.

10.4. Forslag til tiltak

Det er behov for bedre kunnskap om vannføringsforhold i vassdragene som følge av store nedbørmengder. Det anbefales at det etableres vannføringsstasjoner i de bynære vassdragene i Lillehammer. Med vannføringsdata fra et lokalt stasjonsnett, vil det være mulig å sammenligne/finne samsvar mellom observert nedbør og vannføring. Dette vil gi bedre grunnlag for å vurdere hvor sikkert et flomvarsel er, og et mer nøyaktig grunnlag for å finne grenseverdier for å iverksette beredskap.



Figur 10-6. Eksempel på målestasjon for vannføring. (Kilde: www.hydrateam.no).

11. FORSLAG TIL ARBEIDSMÅTE SOM KAN FØLGE ALLE STADIER FRA PLANLEGGING TIL DRIFT

Med utgangspunkt i erfaringer fra vassdragsberedskap/forvaltning i Lillehammer kommune, er det utarbeidet forslag til arbeidsmåte som kan danne utgangspunkt for tilsvarende arbeid i andre kommuner:

11.1. Skaffe oversikt over eksisterende planer og styringsdokumenter

For å kunne utarbeide gode planer for forvaltning av vassdrag/nedbørfelt med ulike brukerinteresser, er det viktig å skaffe oversikt over eksisterende situasjon og utfordringer.

Arealplaner etter plan- og bygningsloven legger ofte premisser for tiltak som påvirker vassdragets egenskaper. De som er nederst i vassdraget møter utfordringene først, ettersom disse kan være forårsaket av tiltak oppstrøms i vassdraget/nedbørfeltet.

For eksempel kan tiltak øverst i nedbørfeltet (endring i arealdekke, terreng o.l.) føre til økt avrenning til vassdraget, og dermed påvirke dimensjoneringskrav for anlegg nedstrøms. For eksempel krysning mellom vei/jernbane og vassdrag. Det bør derfor settes krav i arealplaner om at tiltak som påvirker avrenningen til/innad i et vassdrag, må dokumentere virkningen for hele vassdraget nedstrøms tiltaket.

Alle arealplaner utarbeidet og vedtatt etter plan- og bygningslovens regelverk kan ha betydning for arealbruk i eller langs et vassdrag. Det kan være:

- Kommuneplanens arealdel
 - Kan ha bestemmelser om bruk av areal og tiltak langs og i vassdrag
- Kommunedelplan (tematisk)
 - Kan ha bestemmelser knyttet til planlegging, sikkerhet, drift og vedlikehold
- Områderegeringsplan
 - Kan ha bestemmelser som setter krav til dokumentasjon (utarbeiding av VA-rammeplan) for tiltak som berører vassdrag og nærliggende arealer
- Detaljreguleringsplan
 - Vil (som regel) ha en VA-rammeplan som del av kunnskapsgrunnlaget/dokumentasjon for å vise virkning av ulike tiltak som skal opparbeides i som konsekvens av plangjennomføring (opparbeiding).

Der det finnes planer som ikke er iverksatt (utbygd), kan det vurderes om planen bør endres på bakgrunn av nyervervet kunnskap om vassdraget. Ved omregulering kan det legges inn nye krav til arealbruk i og langs vassdrag, herunder sette krav til gjennomføring av tiltak.

11.2. Skaffe oversikt over regelverk

Det finnes en rekke lover, forskrifter, direktiv, retningslinjer og veiledere som skal følges i arbeid med planer for vannressurser og vassdrag. Før planarbeidet starter, er det viktig å skaffe oversikt over relevant regelverk og andre føringer.

Under listes et utvalg av relevante regelverk:

- EUs vanddirektiv
- Vannressursloven (Lov om vassdrag og grunnvann)
- Forskrift om rammer for vannforvaltningen (vannforskriften)
- Naturmangfoldloven (Lov om forvaltning av naturens mangfold)
- Forurensingsloven (Lov om vern mot forurensing og om avfall)
- Plan- og bygningsloven (Lov om planlegging og byggesaksbehandling)
 - Byggteknisk forskrift (TEK17)
 - Byggesaksforskriften (SAK10)
- Forskrift om konsekvensutredninger
- Plan – og bygningsloven med teknisk forskrift (Tek 17)
- NOU 2010:10, «Tilpassing til eit klima i endring» med undertittel «Samfunnet si sårbarheit og behov for tilpassing til konsekvensar av klimaendringane».
- Stortingsmelding 33 «Klimatilpassing i Norge» fra 2012-13 (Meld.St.33), krav til overvannshåndtering i byene.
- NOU 2013:10 «Naturens goder – om verdier av økosystemtjenester» fokus på urbane økosystemer.
- NOU 2015:16 «Overvann i byer og tettsteder» (Klima- og miljødepartementet, 2015).
- Veiledere, retningslinjer og håndbøker fra NVE, Statens vegvesen og DSB og andre



Figur 11-1. Eksempel på retningslinjer og veiledere for planlegging og utbygging langs vassdrag.

11.3. Skaffe oversikt over praktiske utfordringer

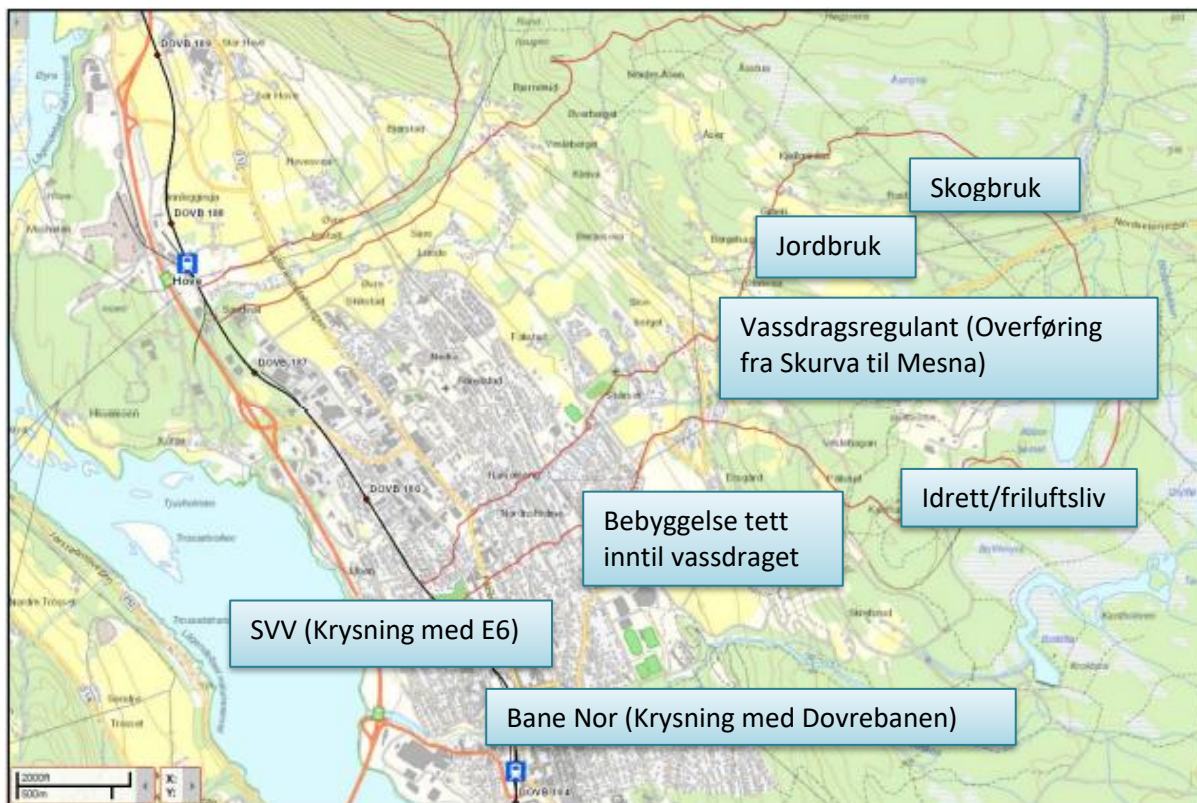
I de følgende punktene er det foreslått en fremgangsmåte for å skaffe oversikt over brukerinteresser og praktiske utfordringer i nedbørfeltet og langs vassdraget:

1. Brukerinteressegruppe for vassdraget

Det kan være mange interessenter i et nedbørfelt/vassdrag. For å kunne få til bedre samhandling mellom disse, kan det etableres en gruppe for interessenter i vassdraget. En slik gruppe kan være høringspart ved utarbeidelse av beredskapsplaner, kan involveres i beredskap, og ha ansvar for tilsyn med kritiske punkter. En brukerinteressegruppe kan også dele verdifull informasjon om forhold i vassdraget. Kunnskap om ulike problemstillinger i vassdraget kan gi bedre gjensidig forståelse for partenes interesser og utfordringer. Eksempel på aktuelle medlemmer i en brukerinteressegruppe er vist i det følgende, og illustrert med eksempel fra Skurva i Figur 11-2.

Mulige interessenter og eksempler på interesser:

- Grunneiere
 - Jordbruk
 - Skogbruk
 - Annen næringsvirksomhet
 - Utbygging
- Brukere
 - Innbyggere/beboere langs vassdraget
 - Friluftsliv/idrett/fiske
 - Turistvirksomhet/reiseliv/hytter
- Interesseorganisasjoner
 - Naturvern/miljøhensyn
- Andre aktører
 - Bane NOR
 - SVV
 - Vassdragsregulant
 - Kommune
 - NVE (forvaltning)



Figur 11-2. Brukerinteresser i nedbørfelt/vassdrag. Eksempel fra Skurva. Bakgrunnskart hentet fra Olsen m.fl. (2015).

2. Aktsomhetskart og flomsonekart

Med tilgjengelig informasjon og kunnskap kan det utarbeides aktsomhetskart for flom. Et slikt kart viser naturlige avrenningslinjer i terrenget og områder som kan være flomutsatt. Kartet er basert på en analyse av terrenget. Faregraden er ikke tallfestet, og kartene gir ikke informasjon om sannsynlighet eller gjentaksintervall for en flomhendelse. Aktsomhetskart kan brukes som verktøy for å definere områder hvor det er behov for en mer nøyaktig vurdering eller flomkartlegging.

Flomsonekart er faresonekart for flom. Et flomsonekart blir utarbeidet på grunnlag av historiske flomdata og hydrauliske analyser.

Flomsonekart kan brukes som grunnlag for fastsetting av hensynssone for flom i kommuneplanens arealdel.

Kommunedelplan for arealbruk

- Aktsemdskart der områder med potensiell flaumfare vert identifisert.

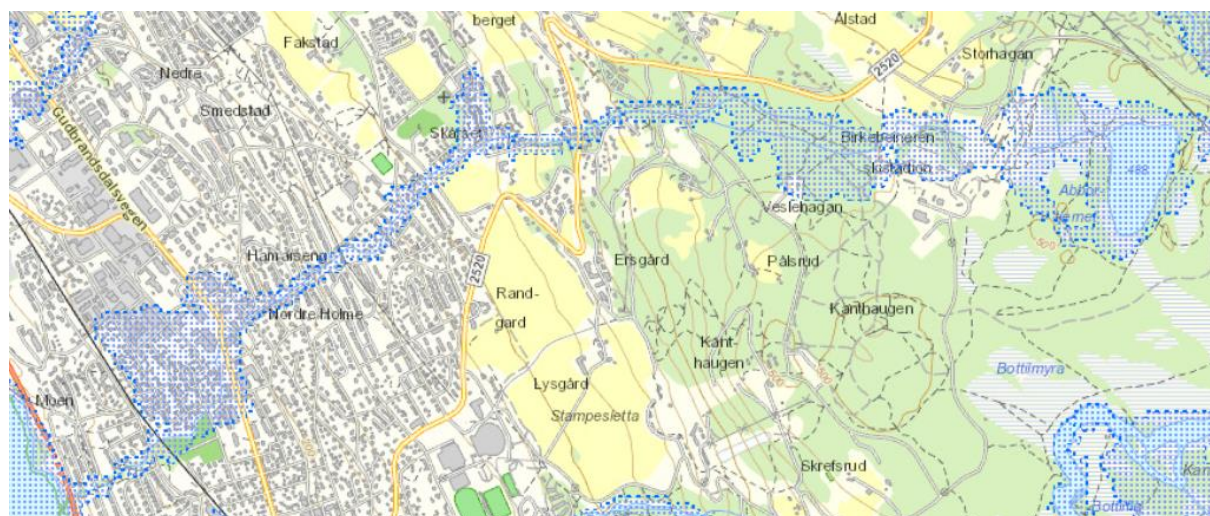
Områdereguleringsplan og detaljreguleringsplan

- Faresonekart der fareområdet er identifisert og faregraden vert talfesta etter tryggleiksklassane i TEK17.

Byggesak

- Dokumentasjon av god nok tryggleik i høve tryggleiksklassane i TEK17

Figur 11-3. Anbefaling fra NVEs retningslinjer for arbeid med flom – og skredfare i arealplaner (NVE, 2011).



Figur 11-4. Aktsomhetskart for flom for Skurva. (Kilde: NVE Atlas)

3. Risikovurdering og prioritering av tiltak

Når kritiske punkter, flomsoneer og flomveier er kartlagt, kan det gjøres risikovurdering for å bestemme hvor det er nødvendig med tiltak.

Nødvendige tiltak settes opp i en tiltaksplan og knyttes til aktør/enhet og budsjett for gjennomføring.

4. Kartlegge kritiske punkter i vassdrag

Et kritisk punkt i et vassdrag kan f.eks. være tekniske inngrep eller naturgitte forhold som kan føre til oppstuvning og oversvømmelse/flom.

Eksempel på teknisk inngrep: utfylling, bruer, kulverter, stikkrenner, bekkelukking, andre inngrep som innsnevrer vassdraget og reduserer kapasiteten.

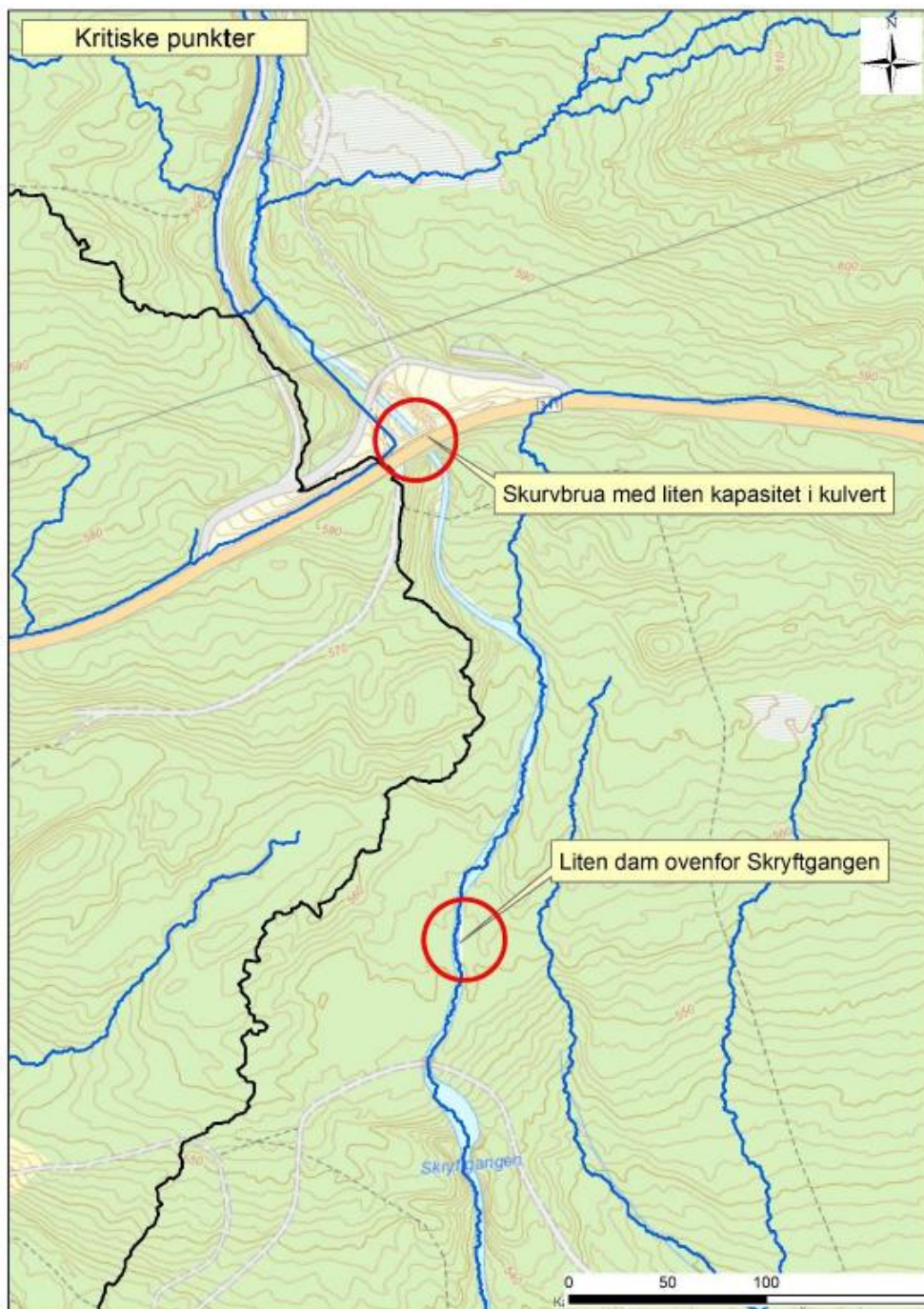
Eksempel på naturgitte forhold: innsnevring i elve-/bekkeløp, erosjonsutsatte punkt og strekninger, grunne partier pga. sedimentering, vegetasjon i og nært bekkeløp, isproblemer.

Kartlegging av kritiske punkter i vassdrag kan gi bidra til å få iverksatt nødvendige tiltak og redusere risikoen for skader.

NVE har en støtteordning der kommuner kan søke tilskudd til kartlegging av kritiske punkter i bekker og bratte vassdrag. Informasjon om støtteordningen finnes på NVEs nettsider.

Oversikt over kritiske punkter gir grunnlagsdata til arbeid med tiltaksplaner og beredskap/tilsyn i og langs vassdrag.

Eksempel på kartlagte kritiske punkt langs Skurva er vist i Figur 11-5:



Figur 11-5. Eksempel på kartlagte kritiske punkt langs Skurva (rød sirkel). Kilde: COWI (2017).



Figur 11-6. Kritiske punkt må følges opp, for eksempel med tanke på drivgods. Her et eksempel på stor kvisthaug rett ved elva oppstrøms Skurvbrua. (Foto: Asplan Viak, 2019).

Kommunens og andres kunnskap og erfaringer knyttet til de kritiske punktene i tiltakstabellen bør systematisk registreres og inngå i en FDV-plan for vassdraget. Dette vil være nyttig med tanke på prioritering av tiltak. Eksempel på registrering av tiltak ved kritisk punkt er vist i Figur 11-7.

±

Kart-nummer	Punkt-nummer	Forslag til tiltak ved kritisk avrenningspunkt							Kommentar
		Halde vassveg open	Halde overvass-system open	Sjekke kapasitet	Vurdere bygging av flaum-vern	Varsle aktuelle eigarar av bygg	Unngå utbygging	Restriksjonar på utbygging	
1	A4			X				X	
	35	X		X					
	F1							X	Gjeld heile flaumsona
2	A10								
	A12							X	
	A13							X	
	A14						X		
	A15							X	
	A16						X		
	A18							X	
	A19							X	
	A20							X	

Figur 11-7. Eksempel på tiltak ved avrenningspunkt (Kilde: Asplan Viak, 2017).

5. Kartlegge dreneringslinjer og flomveier

Dreneringslinjer lages i GIS, basert på en terrengmodell. Den fysiske tolkningen av disse kalles «sekundære flomveier». Disse linjene viser hvor vann kan renne dersom for eksempel stikkrenner og kulverter i et vassdrag (primær flomvei) får redusert kapasitet, eller går tett.

Eksempel på kartlagte flomveier i nedbørfeltet til Skurva er vist i Figur 11-8.



Figur 11-8. Kartlegging av flomveier langs Skurva. Blå linjer viser alternativ for åpne stikkrenner, røde linjer alternativ for lukkede stikkrenner. (Kilde: www.glokart.no).

Kartlegging av dreneringslinjer/sekundære flomveier kan også bidra til å få oversikt over infrastruktur og bygninger som ligger utsatt til for oversvømmelse.

Oversikt over dreneringslinjer/sekundære flomveier kan brukes som grunnlag for utarbeiding av VA-rammeplaner i tilknytning til plan- og bygningsloven.

Det bør vurderes om det er sekundære flomveier som kan forsterkes/oppgraderes til å fungere som sikre flomveier. Dette kan for eksempel være veier der grøfter/veibane kan forsterkes slik at vann ikke fører til utvasking, erosjon eller massetransport. Et eksempel på bruk av vei som flomvei er vist i Figur 11-10, hentet fra Oslo kommunes veileder for utforming av overvannshåndtering på vei.



Figur 11-9. Eksempel på vei som fungerte som sekundær flomvei under flomhendelsen i 2014. Dårlig grøft langs veien førte til store erosjonsskader (Kilde: Olsen m.fl., 2015).

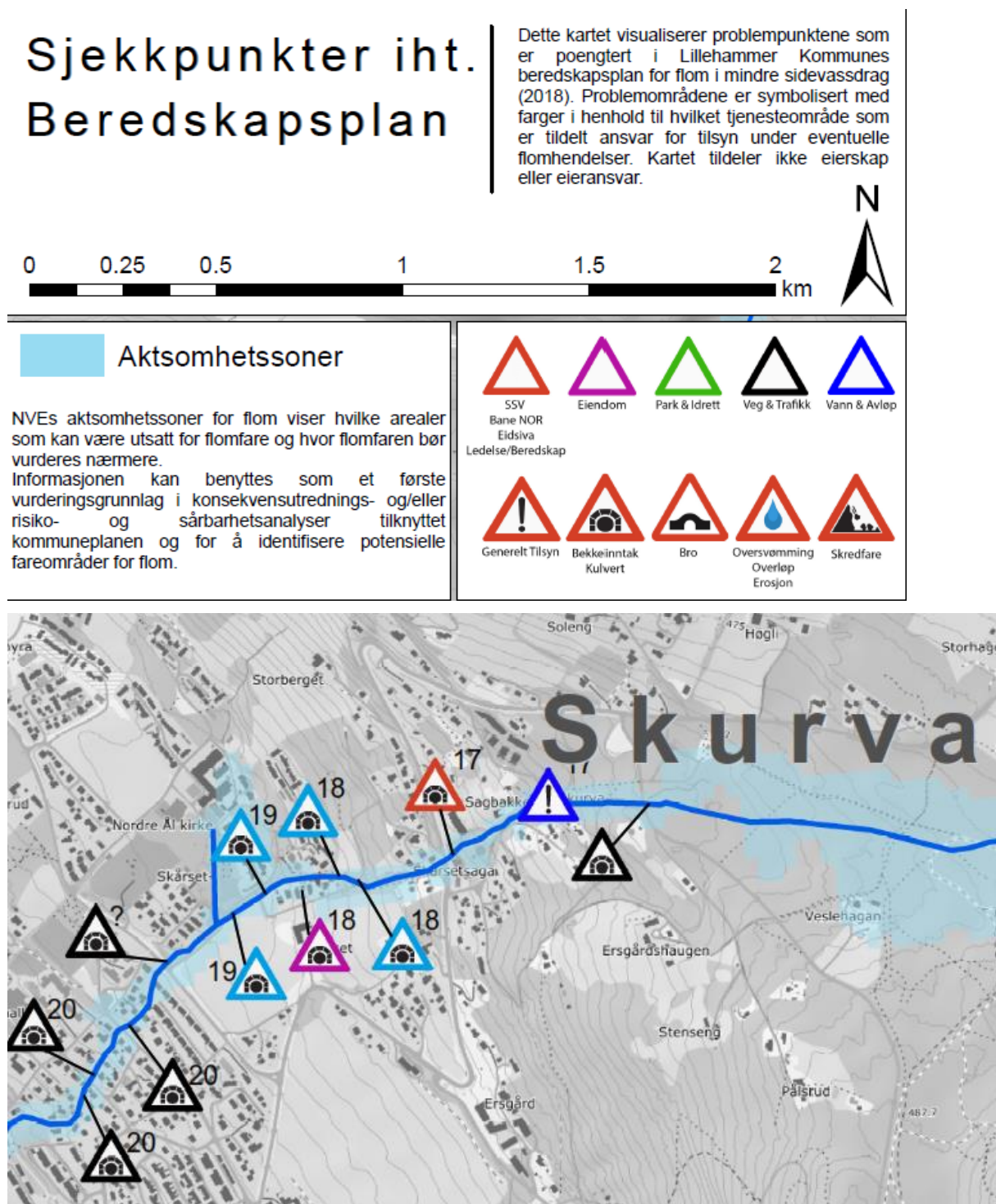


Figur 11-10. Eksempel på bruk av vei som flomvei (Kilde: Oslo kommune, 2016).

11.4. Beredskapsplan/arbeid

Basert på kartlegging av praktiske utfordringer i vassdraget kan det utarbeides en beredskapsplan.

Det bør etableres en egen gruppe med ansvar for beredskap i vassdrag som inngår som en del av kommunens beredskapsorganisasjon. Beredskapsplanen må tilpasses lokale forhold og forutsetninger/utfordringer. En brukerinteressegruppe for vassdraget kan medvirke som høringspart sammen med kommunens fagenheter i arbeidet med beredskapsplanen. Eksempel på symboler for sjekkpunkt i beredskapsplan og fordeling av ansvarsområde under beredskap er vist i Figur 11-11.



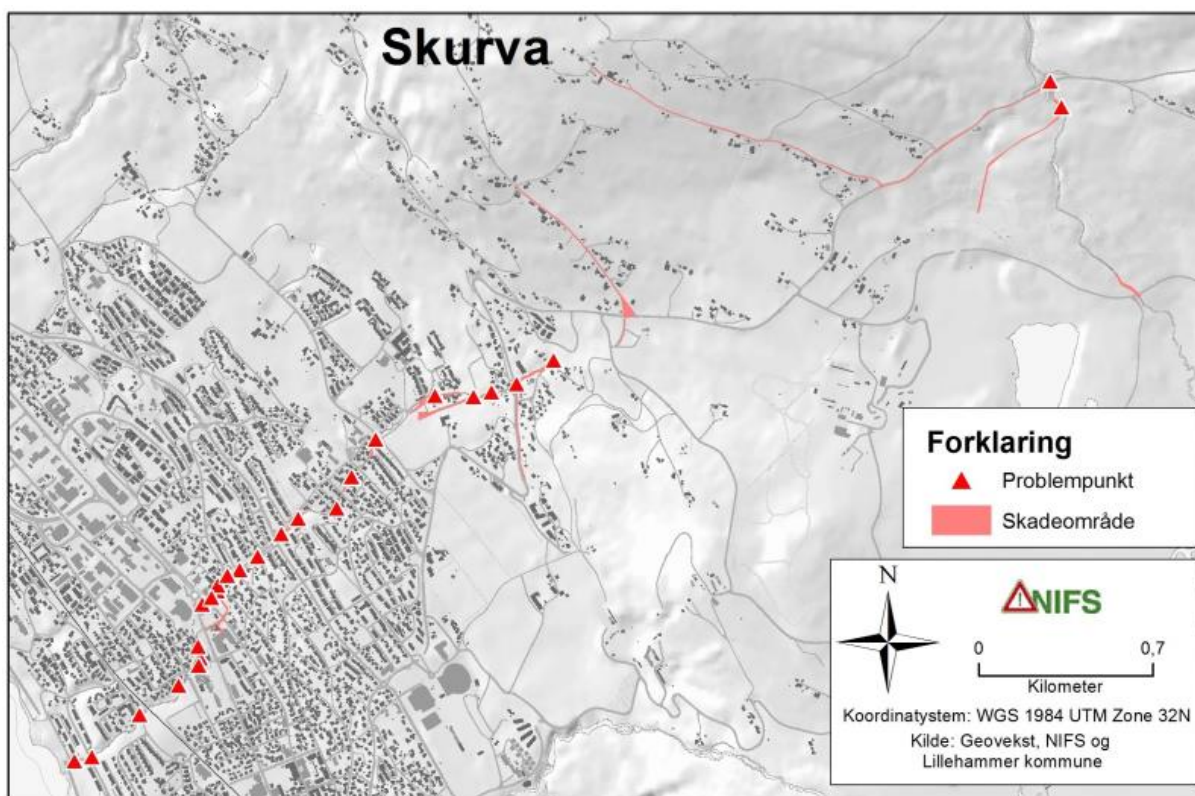
11.5. Erfaringsbank

For å sikre god erfaringsoverføring, og hindre at viktig kunnskap om vassdraget forsvinner, vil det være hensiktsmessig å etablere et system for å samle kunnskap og erfaring fra beredskapsarbeidet i en erfaringsbank.

En erfaringsbank kan for eksempel inneholde:

- Informasjon om de ulike vassdragene (data for nedbørfelt, flomforhold osv.)
- Oversikt over brukerinteresser i vassdraget
- Informasjon/kartlegging av skader etter hendelser i vassdraget, oversikt over problemområder. Dokumentere på kart og med bilder.
- Kunnskap fra lokalkjente
- Jevnlig evaluering av eksisterende beredskapsarbeid, hva fungerer, hva fungerer ikke så bra
- Oversikt over ressursbruk
- Effekt av arbeidet, har beredskapsarbeidet bidratt til å redusere skader
- Hva mangler/bør tilføres i beredskapsarbeidet

Eksempel på kartlegging av skadepunkter etter flomhendelse i Skurva i 2014 er vist i Figur 11-12.



Figur 11-12. Kartlegging av skadepunkter langs Skurva etter flomhendelse i 2014. (Kilde: Olsen, m.fl., 2015).

KILDER

- **Ahlstrøm, A., m.fl. (2014)**. AR5 klassifikasjonssystem: Klassifikasjon av arealressurser (No. 06/2014). Skog + Landskap.
- **Asplan Viak (2017)**: «Kartlegging av overvatn og flaum i Fjell kommune». Rapport, 2017.
- **Berg (2017)**: Gunnar Berg. «Sikringstiltak mot flomskader i Skurva». COWI AS, Oppdrag A084893. Rev. 07.09.2017.
- **Bogen, m.fl. (2016)**: Jim Bogen, Truls E. Bønsnes, Agnès Moquet-Stenback, Mengzhen Xu, Margrethe C. Elster. «Gudbrandsdalslågen. Sedimentkilder og sedimenttransport.» Rapport nr. 89-2016. Norges vassdrags – og energidirektorat.
- **Fergus m. fl. (2010)**: Tharan Fergus, Knut Aune Hoseth, Einar Sæterbø. «Vassdrags håndboka». Håndbok i vassdragsteknikk. Tapir akademisk forlag. 2010.
- **FHWA-NHI (2001)**. Urban drainage manual (No. HEC-22), Hydraulic engineering circular.
- **Gabriel og Fiil (2016)**: Søren Gabriel og Louise Fiil. «Utforming av overvannshåndtering på vei». Oslo kommune. Blågrønne løsninger. Januar 2016.
- **Ivarsson (2020)**: Jens Thoms Ivarsson. «Gøteborg – verdens beste by når det regner.» Foredrag på kurset Bærekraft i vannbransjen – Overvann. NTNU Kursdagene 2020.
- **Norsk Klimaservicesenter (2017)**: Klimaprofil Oppland. Et kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning. Norsk Klimaservicesenter. Juli 2017.
- **Kommunal – og moderniseringsdepartementet, 2018**: «Statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning».
- **Lawrence (2016)**: Deborah Lawrence. «Klimaendring og framtidige flommer i Norge». Rapport nr. 123-2015. Norges vassdrags – og energidirektorat.
- **Lund (2020)**: Lars Fredrik Kirkebø Lund. «Sediment Transport and Floods in a Changing Climate. A Numerical Study of the Relationship Between Rainfall Intensity and Sediment Transport in Rivers with a Morphodynamic Model». M.Sc. Thesis in Applied and Computational mathematics, Department of Mathematics, University of Bergen. Juni 2020.
- **Moquet-Stenback (2016)**: Agnès Moquet-Stenback. Erosion and sediment transport in rivers. Foredrag på Studentdagen 2016.
- **NIBIO, 2020**: Jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA). Feltrapporter fra programmet i 2017. NIBIO-rapport. Vol. 6. Nr. 126. 2020. Norsk institutt for bioøkonomi.
- **Olsen, m.fl. (2015)**: Maria H. Olsen, Agathe A. Hopland, Steinar Myrabø, Per Viréhn, Per Alve Glad. «Flom – og skredhendelser i Gudbrandsdalen.» Rapport nr. 123-2015. Norges vassdrags – og energidirektorat.
- **Oslo kommune (2016)**: «Blågrønne overvannsløsninger». Idebank. Januar 2016.
- **SVV (2020)**: «Håndbok V240: Vannhåndtering. Flomberegninger og hydraulisk dimensjonering». Statens vegvesen/Vegdirektoratet, 2020.
- **Vasseljen (2016)**: Sigrid Vasseljen (red). «Overvann som ressurs». Asplan Viak. 2016

Databaser, kartverktøy og nettsider:

www.nve.no: NVE Atlas, NEVINA, Sikringshåndboka

www.nibio.no: Kilden, kartlag for erosjonsfare, januar 2021

www.glokart.no: kartlag for samfunnsikkerhet, Lillehammer kommune, januar 2020

www.hoydedata.no: laserdata lastet januar 2020

VEDLEGG

Vedlegg 1: Sammenstilling av resultater fra tidligere utredninger

Vedlegg 1 - Feltparametere og kilder

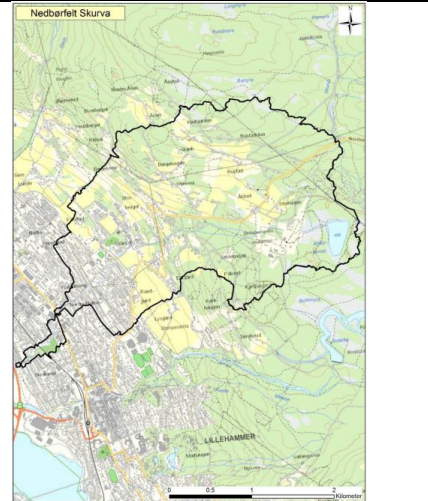
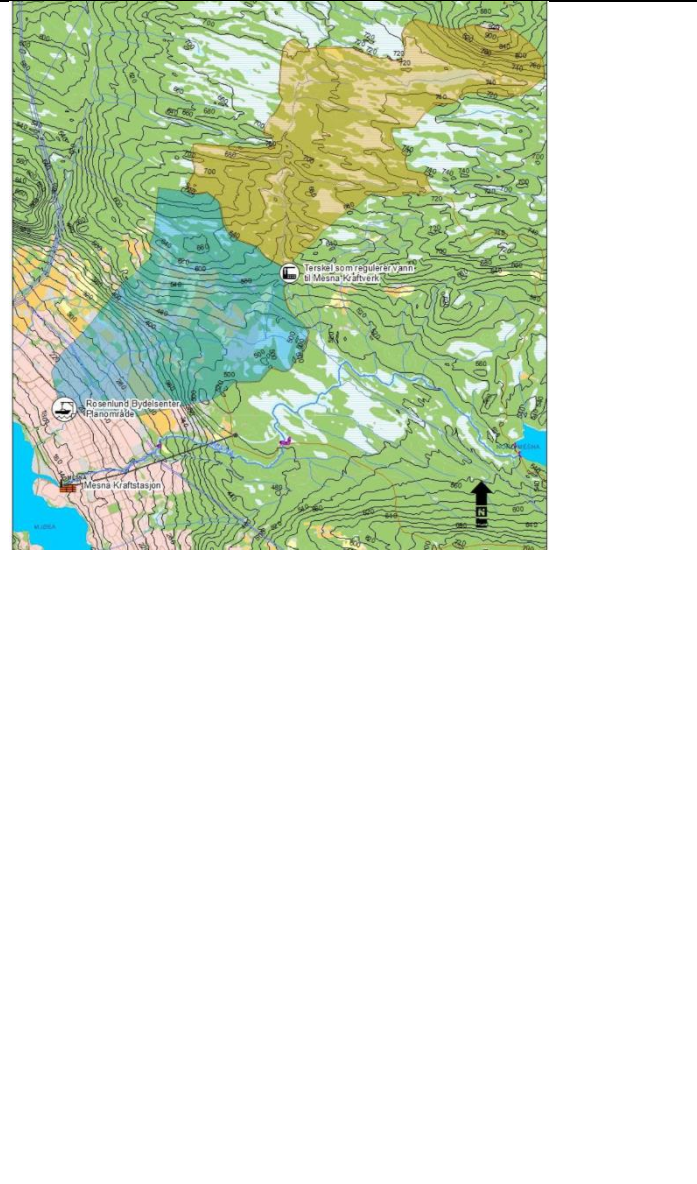
Rapport

1 (Multiconsult)

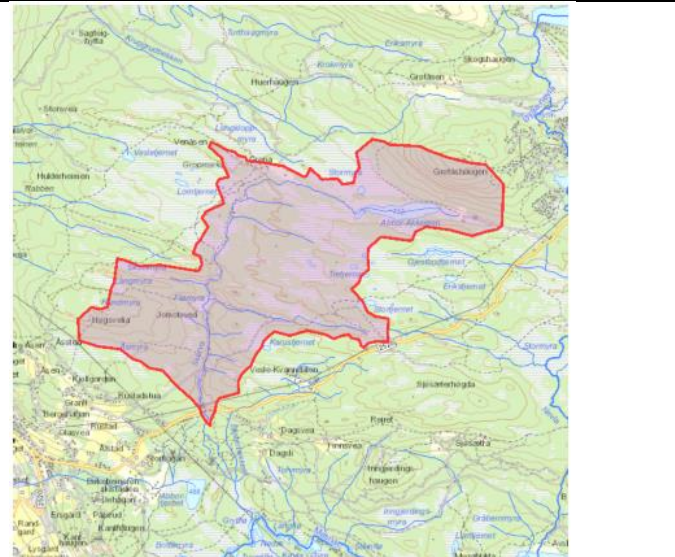
3 (Cowi)

4 (Asplan Viak)

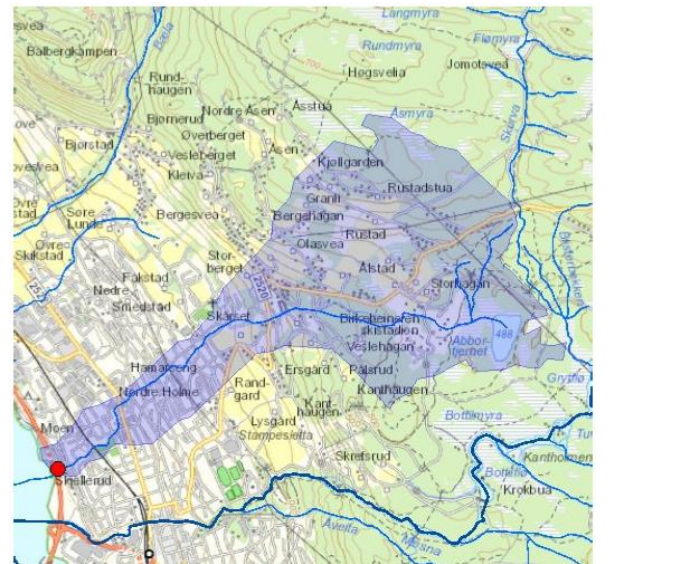
Nedbørfelt




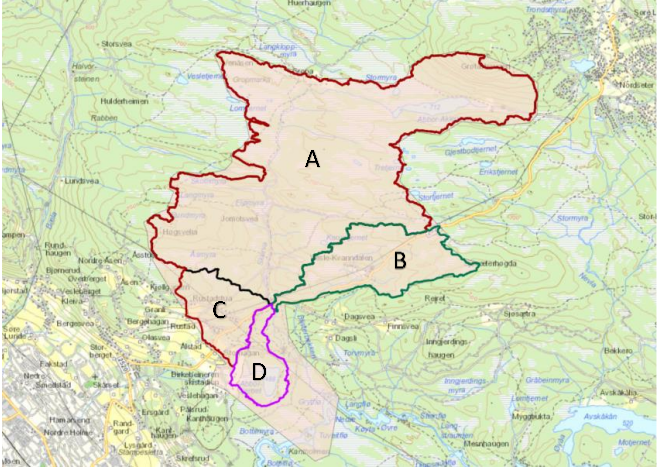
Nedstrøms overføringsterskel



Opstrøms overføringsterskel


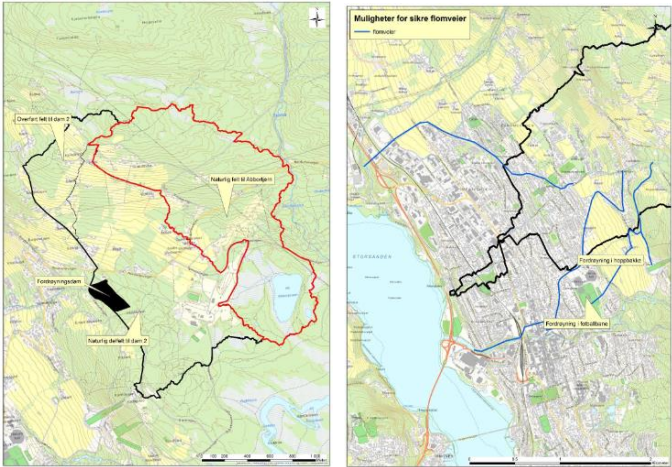
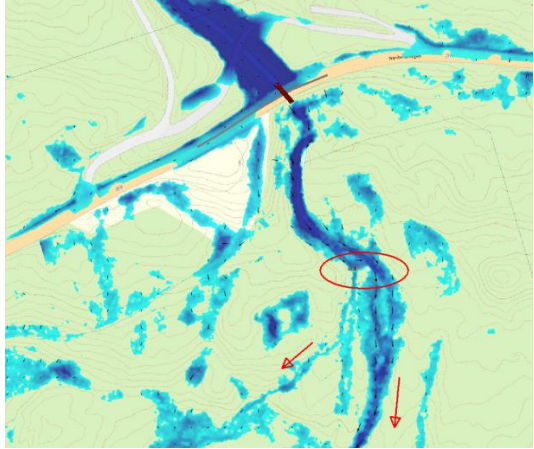


Nedstrøms overføringsterskel

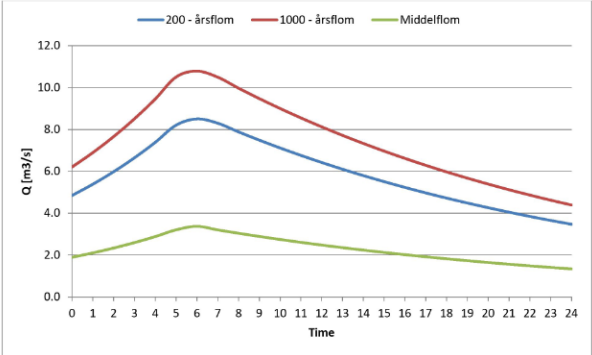
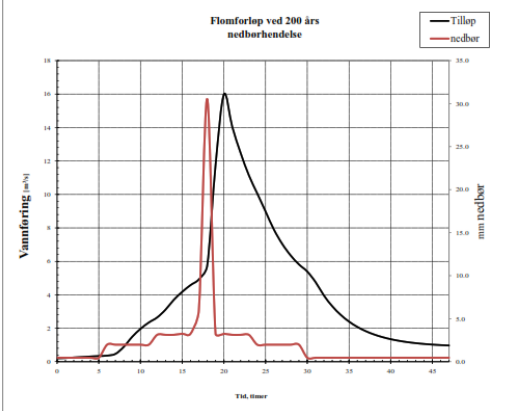
Lokalfelt til Abbortjern			 <p>(Felt C+D)</p>
Beregningsmetode	GIS-analyse (terrengmodell fra laserdata)	GIS-analyse (terrengmodell fra laserdata)	GIS-analyse (terrengmodell fra laserdata)
Areal (km ²)			
Øvre del (Regulert del av nedbørfelt)	9,5		14,2
Nedre del (Uregulert del av nedbørfelt)	8,4	6,9	5,7
Lokalfelt Abbortjern	-	1,89	1,81 (felt C og D).
Totalt nedbørfelt	17,9		
Beregningsmetode	GIS-analyse	GIS-analyse (terrengmodell fra laserdata)	NEVINA
Forutsetninger	Nedbørfelt for nedre del til prosjektområdet på Rosenlund. Nedbørfeltet er justert i henhold til tegninger (Gemini VA-kart) av overvannssystemet. Det er estimert at 30 % av den totale vannføringen renner ned Skurbekken (nedstrøms terskel) ved 200-årsflom (basert på vurdering og befaring ved terskel).	Nedbørfelt for nedre del til utløp i Lågen. Nedbørfeltet inkluderer ikke Skurva oppstrøms Nordsetervegen.	Nedbørfelt for nedre del til utløp i Lågen.

Feltparametere (nedre del)			
Spesifikk avrenning (l/s/km ²)	23		15,2
Middelavrenning (m ³ /s)	0,42		
Høydefordeling (min-mid-max) (moh.)	Totalt felt til Rosenlund: 200-640-923		Øvre del: 599 – 702 – 920 Nedre del: 90 – 493 - 667
Effektiv sjøprosent (%)	0,2		Ikke beregnet
Snaufjellprosent (%)	15,8		0
Urbanprosent (%)	6		14,2
Myrprosent (%)	14		4,2
Skogprosent (%)	64		51
Breprosent (%)	0		0

Beregningsmetode og verktøy, inngangsdata

Rapport	1	3	4
År	2012	2017	2020
Formål	Sikring mot flom og erosjonsfare i Skurva ved boligområdet Rosenlund.	Utredning av ulike flomdempende tiltak	Undersøke hvor vannet i Skurva renner nedstrøms overføringsterskel til Mesna.
Geografisk område			
Hva er beregnet	Vannføring, vannstand og vannhastighet ved 200-årsflom. Dimensjon på erosjonssikring.	Vannføring ved 200-årsflom	Vannføring ved 200-årsflom
Flomstørrelse, 200-årsflom	Døgnmiddelverdi: 6,1 m ³ /s Kulminasjonsverdi: 8,9 m ³ /s	Kulminasjonsverdi til felt på 6,9 km ² : 16,0 m ³ /s, 2316 l/s/km ² . Inkludert klimapåslag på 20%: 19,2 m ³ /s.	Det er benyttet beregnede spesifikke flomverdier (2316 l/s/km ²) fra rapport 3 uten klimapåslag.
Henvisning i rapport	Tabell 4, s.15	Tabell 7, s. 25	-

Tiltak	Effekt	Flomrisikoreduksjon	Kostnad
Kulverter under Skurvbrua	Hindre overløp til Skurva	Usikker - stor	Liten
Utbedring dam ved Skryftgangen	Hindre overløp til Skurva	Usikker - stor	Liten
Overføring med fordrøyning til Abbottjernet	Flomdempning	Stor	Liten
Fordrøyning ved Pålsrudvegen	Flomdempning	Stor	Stor
Boring av flomtunnel under sentrum	Bortledning av flomvann	Stor	Stor
Sikre flomveger	Bortledning av flomvann	Stor-middels	Stor
LOD	Flomdempning	Ingen	Liten
Flomvoller/flommur	Sikring av bebyggelse	Ingen	Middels-stor
Erosjonssikring	Sikring av bekkeløp	Middels-stor	Middels-stor
Utbedring kulverter og stikkrenner	Hindre vann på avveie-lokal senkning	Liten-middels	Middels
Sedimentfangdammer	Redusere risiko for sedimentasjon	Liten-middels	Liten
Utbedring av bekkeløpets kapasitet	Senkning av flomvannstander	Stor	Middels-stor
Flomledning under bekkeløp	Bortledning av flomvann	Stor	Middels-stor

<p>Flomforløp (varighet)</p>	<p>1 døgn, kulminasjonsverdi etter 1/3 av tiden</p>  <p>Figur 10: Flomhydrogram</p>	<p>2 døgn, kulminasjon etter 18 timer</p> 	
<p>Beregningsmetode</p>	<p>Flomfrekvensanalyse på skalert måleserie fra vannføringsstasjon 12.212 Hangtjern.</p>	<p>Nedbør-avløpsmodell (PQ Rut) Også vurdert: Flomfrekvensanalyse Flomformler for små nedbørfelt (NIFS-formel)</p>	
<p>Modell</p>	<p>MIKE 11 (1D)</p>	<p>Hec Ras</p>	<p>Hec Ras (2D)</p>
<p>Nedbørsdata</p>		<p>Konstruert nedbørforløp basert på frekvensanalyse av data fra nedbørstasjonene 11900 Biri, 12680 Lillehammer og 13050 Gausdal (beskrevet i rapport).</p>	
<p>Vannføringsdata</p>	<p>12.212 Hangtjern (Hallingdal) 2.323 Fura (Løten) 12.171 Hølervatn (12.205 Mugna)</p>	<p>12.212 Hangtjern (Hallingdal) 2.323 Fura (Løten) 8.8 Blomsterkroken (Oslo) 8.6 Sæternbekken (Oslo)</p>	<p>Ikke benyttet</p>
<p>Flomsesong</p>	<p>Vår</p>	<p>?</p>	
<p>Mannings tall</p>	<p>32 m^{1/3}/s (bekkeløp)</p>		
<p>Ruhetsverdi</p>			<p>0,045</p>
<p>Klimapåslag (%)</p>		<p>20</p>	



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

MIDDELTHUNS GATE 29
POSTBOKS 5091 MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no