Faktorer som innvirker på flomvannstanden i Istreelva

Truls Erik Bønsnes, Jim Bogen, Demissew Kebede Ejigu, Margrethe C Elster, Agnés Moquet Stenback

1
2017

OPPDRAGSRAPPORT A

Oppdragsrapport A nr 1-2017
Faktorer som innvirker på flomvannstanden i Istreelva

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Truls Erik Bønsnes, Jim Bogen, Demissew Kebede Ejigu, Margrethe C Elster, Agnés Moquet Stenback

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 20
Forsidefoto: Flom ved Rund-dansen 2. september 2015
ISBN

Sammendrag: Høy vannføring fører til oversvømmelser i Istreelva og Marumsbekken. Økningen i flommenes hyppighet skyldes mer nedbør, men sedimentasjon i elveløpene og en steinterskel har påvirket flomforholdene. Det er utført beregninger ved hjelp av modellen HEC-Ras som viser hvordan forskjellige tiltak vil redusere flomvannstanden. En utvidelse av elveløpet på 2 m på den nederste strekningen gir lokalt opp mot 0,5 m flomsenkning ved 10 m3/s og midlere tidevannstand. Fjerning av terskelen gir senkning oppstrøms på ca 0,31 m ved 5 m3/s.

Emneord: Sedimentasjon, flom, vannlinjer, modell, tiltak

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

mars 2017

Innhold

Forord **2**

Sammendrag **3**

1 Innledning **5**

2 Viktige årsaker til høy vannstand **8**

2.1 Vannføringsmålinger og tidligere flommer 8
2.2 Tidevannets innvirkning 13
2.3 Landhevning og havnivåendringer 19

3 Prøvetaking og vannstandobservasjoner **21**

3.1 Sedimentprøvetaking 21
3.2 Vannstandsobservasjoner 25

4 Måleresultater og beregninger **26**

4.1 Vannlinjemålinger under flomepisode i Istreelva 2. september 201526
4.2 Feltobservasjoner etter flommen 2. september 2015 36
4.3 Sammenligning av vannstander i 2007 og 2015 41
4.4 Kartanalyser 46
4.5 Resultater vannstandsobservasjoner 50
4.6 Analyseresultater 55
4.6.1 Mineralanalyser 55
4.6.2 Suspensjonstransport og kornfordeling 60
4.6.3 Minerogent og organisk innhold i sedimentprøver 61

5 Sedimenttransportens innvirkning **65**

6 Hydraulisk modellering **68**

6.1 Modelloppsett 68
6.2 Resultater 71
6.2.1 Kapasitetsvurderinger av bruer. 83

7 Oppsummering **87**

8 Tiltak for å senke vannstanden **89**

9 Referanser **90**

10 Tillegg **91**

Forord

Denne rapporten omhandler resultater fra et oppdrag fra Larvik kommune til NVE. Prosjektet er organisert ved NVE som et oppdragsprosjekt for Seksjon for sediment og erosjon (HS) i Hydrologisk avdeling i NVE med Truls E. Bønsnes som prosjektleder og Jim Bogen som faglig ansvarlig. Resultatene fra prosjektarbeidet ble lagt fram på et møte i Larvik 2. mars 2017. Seksjonen HS er ansvarlig for prosjektrapporteringen, men oppmålinger, modellberegninger og instrumentering er utført i samarbeid med andre seksjoner ved Hydrologisk avdeling. En spesiell takk til NVE Region Sør v/ senioringeniør Martin Nørman Jespersen for oppmåling av vannlinjer i Istreelva under flommen 2. september 2015.

Oslo, mars 2017

Morten Johnsrud
avdelingsdirektør

Jim Bogen
seksjonssjef

+

Sammendrag

Høy vannføring i Istreelva og Marumsbekken fører tidvis til lokale oversvømmelser i de nedre deler av vassdragene, særlig fra Hemskilen til Rund-dansen og langs Haslebekken.

Økningen i flommenes hyppighet og størrelse skyldes mer nedbør, men undersøkelsene som er dokumentert i denne rapporten viste at sedimentasjon i elveløpene har redusert kapasiteten og forsterket oversvømmelsene. Oppstrøms rv 303 er det påvist at en steinterskel også påvirker flomforholdene. Sedimententene som tilføres vassdraget kommer fra naturlig erosjon, jordbruk, steinbrudd og urbanisering (Marumsbekken).

Ved hjelp av det hydrauliske modellverktøyet HEC-Ras er det utført beregninger som viser hvordan forskjellige tiltak vil redusere flomvannstanden.

Beregningene viste at en utvidelse av elveløpet på 2 m (fra ca 8 m i dag til 10 m) på den nederste 400 meter lange strekningen av Istreelva nedstrøms rv 303 gir opp mot 0,5 m flomsenkning (ved rv 303) ved mellomstore vannføringer (10 m^3/s) og midlere tidevannstand (-0,03m). For å oppnå samme effekt ved de aller største flommene må kanalen utvides mer.

Ved lave vannføringer (mindre enn 2 m^3/s) er det lite fall på strekningen og kapasiteten er vurdert til å være bra. Målinger viser imidlertid at selv lave vannføringer vil påvirke vannstandsforskjellene i dette området når det er lave tidevannsnivåer.

En utvidelse av elveløpet nedstrøms brua ved rv 303 vil imidlertid gi liten effekt for områdene høyere opp i vassdraget (oppstrøms steinterskelen).

For å senke flommene i dette området må den påviste steinterskelen i Istreelva ca 50 m oppstrøms rv 303 fjernes. Modellberegninger viser at dette gir en flomsenkning på inntil 0,31 m i området rett oppstrøms terskelen ved vannføringer på rundt 5 m^3/s. Beregninger er foretatt med eksisterende bredde på elva. En økning av bredden vil øke flomsenkningseffekten.

Vannstandsmålinger viser at rensking av elveløpet oppstrøms rv 303 til Rund-dansen i 2015 har gitt en flomsenkning på ca 0,5 m målt ved Rund-dansen ved vannføring på 6 m^3/s. Ytterligere senkning kan oppnås ved å fjerne steinterskelen. Dette vil også redusere sedimentasjonen i elveløpet. Hvis ikke steinterskelen fjernes vil tilførsel av nytt materiale lettere sedimenter på ny.

Målinger av vannstand under flom viser at brua i Marumsbekken har lav kapasitet under slike forhold. Det er under de største flommene (fra ca 15 m^3/s og oppover) at dette begynner å gjøre seg gjeldene og vil berøre de nedre delene av Marumsbekken.

Senkningseffekten er imidlertid svært påvirket av tidevannet. Ved høyt tidevann er vannstandforskjellene mellom de nedre deler av vassdraget og havnivået mindre, også ved høye vannføringer.

Under flommen 2/9 – 2015 ble et areal på ca 30 Ha dyrket mark (totalt areal ca 43 Ha) berørt av flommen i området fra Rund-dansen til Hemskilen. For å kunne bedømme virkningen av forskjellige tiltak ble det utarbeidet karter over arealer som oversvømmes under forskjellige vannføringer og tidevannstander.

Noe av sedimentene kommer fra steinbruddene. Sedimentavsetningen i Hemskilen er en langtidsvirkning av sedimenttransporten i vassdraget, hvor tidligere utslipp fra steinindustrien også har påvirket. Mineralsammensetningen på sedimentene kan bidra til å bestemme opphav. Datablad oppgir at Larvikitt (Emerald Pearl) har 80-85% feltspat.

Suspensjonstransport: Steinbruddene i Istreelva utgjør 3% av nedbørfeltets areal. Ut i fra betraktninger og sammenligninger med Tveidalsbruddene som utgjør 39% av det lokale nedbørfeltet, anslås andelen sedimenter som kommer fra steinbruddene i Istreelva til å bidra med mellom 8%-27% av den totale suspensjonstransporten (målinger fra 2007-2008). Tiltak etter 2007 i form av sedimentasjonsbasseng kan ha redusert dette. En stor del av dette materialet er finfordelt (leirfraksjon d< 2 mikron) og føres ut i de ytre deler.

Bunntransport: Materialet inneholder ikke tilsvarende høye verdier av feltspat. Målinger indikerer en viss økning nedstrøms tilløpselver fra bruddene. Det er målt en økning på 4-5% etter tilførsel fra Klåstad og tilsvarende ved Stålåker / Håkestad

I et område av Hemskilen hvor bunnlaget ble sedimentert før 1961 har topplaget opptil 7% mer feltspat enn i dypere lag og er sannsynligvis påvirket av steinbrudd virksomheten i nyere tid.

Det er mulig å overvåke løpende hvor mye suspenderte sedimenter som tilføres fra steinbruddene. De har i dag pålagte målinger av suspensjons-konsentrasjonen og kornfordeling av partikler i prosessvannet, både i sedimentasjonsbassengene og avløpet fra disse. Mengden materiale som tilføres vassdragene kan beregnes hvis avløpsvolumet er kjent.

1 Innledning

Høy vannføring i Istreelva og Marumsbekken fører tidvis til lokale oversvømmelser i de nedre deler av vassdragene, særlig fra Hemskilen til Rund-dansen og langs Haslebekken. Det er først og fremst området med dyrket mark som berøres, men det rammer også lokale veger og til dels boligområder. Det har vært hevdet at flommene har tiltatt i den senere tid. En sammenlikning med andre vassdrag viser samme forløp. Dette er drøftet i rapporten. Dette kan skyldes klimatiske endringer, men også at forhold i elveløpene er blitt endret over tid. Stor tilførsel av sedimenter til Hemskilen og stedvis langs elveløpene kan ha ført til redusert vannføringskapasitet i vassdraget. Utviklingen ved Kjerringvadåsen i perioden 1956 til 2015 er vist i fig 1.1. Elveløpet er gradvis blitt smalere og i 2011 bærer det preg av tett vegetasjon. Etter renskningen i 2014 er det igjen blitt bredere. En liknende utvikling har foregått i Hemskilen hvor elveløpet også har blitt gjenfylt, se fig 1.2

Nå har både landbruket og steinindustrien en viss innvirkning på avrenningen og sedimenttilførselen til vassdraget og videre ut i Hemskilen. En økning av urbaniserte områder kan også medføre at flomtoppene blir spissere pga raskere drenering på tette flater. Dette kan forsterke den naturlige elveløps erosjonen som igjen kan bidra til sedimenttilførselen.

Tidevannet har også innvirkning. Det berørte området ligger i sin helhet lavere enn ca 2 -2,5 m (NN1954) avhengig av flomvannføringen i vassdraget. Tidevannkomponenten er derfor også svært avgjørende for hvor store arealer som berøres av oversvømmelser. En kombinasjon av høy vannføring og høyt tidevann har en forsterkende effekt, slik at et større areal settes under vann. Terskler og blokkeringer i elveløpet virker også oppstuvende på vannstrømmen.

Undersøkelsesprogrammet har hatt som mål å finne årsakene til den høye vannstand i Syrristelva / Istreelva og de nedre deler av Marumsbekken i flomsituasjoner og klarlegge virkningen av oppstuvende elementer eller blokkeringer som mulige kontrollerende profiler på strekningene mellom Rund-dansen og Hemskilen. Undersøke virkningen av flom og tidevann og kombinasjonen av disse, samt hvordan vannstanden påvirkes av sedimentasjon i elveløpet. Det utført modellberegninger og utarbeidet kart som viser virkningen av tiltak ved å angi hvor store arealer som får redusert flommene. Det er også inkludert en undersøkelse av hvilke sedimentkilder som bidrar mest til sedimenttilførselen i vassdraget.

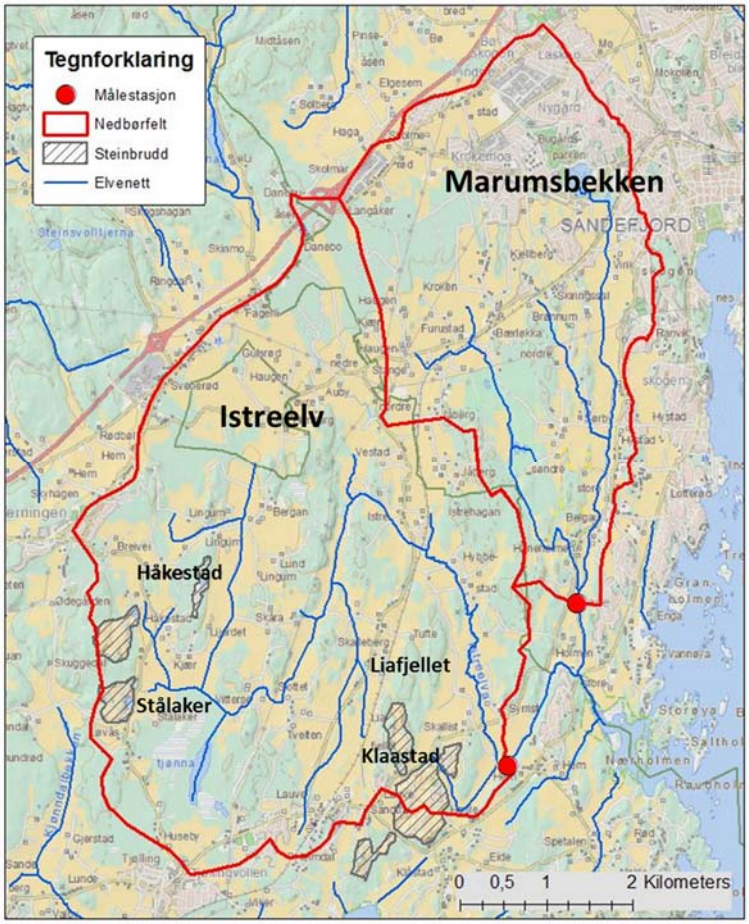
Området ligger i Tjølling ligger utenfor Raet og er karakterisert av til dels tykke marine sedimentavsetninger. Terrenget preges også av et kollelandskap med bart fjell eller tynt morenedekke.

Det er hovedsakelig to nedbørfelt som drenerer til Hemskilen, Istreelva og Marumsbekken. Samlet feltareal ved Hemskilen er på 43,14 km^2, hvor de henholdsvis utgjør 64% og 36% av det totale arealet, se fig 1.3.

Fig 1.1 Utviklingen i Istreelva ved Kjerringvadåsen i perioden 1956 til 2015. I perioden 1961 til 2011 er elveløpet blitt smalere og bærer preg av tett vegetasjon. Elveløpet ble rensket på denne strekningen høsten 2014.

Fig 1.2 I perioden fra 1961 og fram til 2015 er elveløpet nedenfor brua ved rv 303 blitt mye smalere. Indre del av Hemskilen bærer også preg av større grad av gjenfylling i 2015 enn i 1961.

I Tjølling er det store områder med dyrket mark, men også en del skogdekkede områder der det ikke er bart fjell. Det er også en del annen aktivitet i området som steinindustri og en viss andel urbaniserte områder. I Istreelva utgjør steinindustrien ca 3 % av arealet, mens de urbaniserte områdene som bebyggelse og annen bymessig aktivitet utgjør opp mot 29% av arealene i Marumsbekken.



Marumsbekken
41% dyrket mark
30% skog
29% annet
(bebyggelse)

Istreelv
49% dyrket mark
43% skog
5% annet
3% steinbrudd

Fig 1.3 Beliggenheten av Marumsbekken og Istrelva med urbane områder rundt Sandefjord i nord. Skog og landbruksområdene utgjør de største arealene, mens steinindustrien ligger i Håkestad, Stålåker og Klåstad området.

2 Viktige årsaker til høy vannstand

2.1 Vannføringsmålinger og tidligere flommer

Høy vannføring i Istreelva og Marumsbekken fører tidvis til lokale oversvømmelser i de nedre deler av vassdragene, særlig fra Hemskilen til Runddansen og langs Haslebekken. Det er først og fremst området med dyrket mark som berøres, men det rammer også lokale veger og til dels boligområder. Det berørte området ligger i sin helhet lavere enn ca 2 -2,5 m (NN1954) avhengig av flomvannføringen i vassdraget. Tidevannkomponenten er derfor også svært avgjørende for hvor store arealer som berøres av oversvømmelser. En kombinasjon av høy vannføring og høyt tidevann har en forsterkende effekt, slik at et større areal settes under vann.

Målestasjonen for vannføring i Istreelva ble opprettet og satt i drift 29. mars 2007, se fig. 2.1. En fortsatt drift av målestasjonen ble begrunnet i et ønske om å opprettholde målenettet for små og mellomstore kystnære nedbørfelt på vestsiden av Oslofjorden. Den nærmeste målestasjonen er Holmfoss i Numedalslågen som dekker et felt på hele 2502 km^2 og har derfor ikke optimal representativitet når det gjelder lokaltilsiget i Larvik og Sandefjord området. Arealet til målestasjonen som dekker Istreelva er på 25, 6 km^2. Den nærmeste aktive stasjonen med mindre felt (7,03 km^2) og lokal representativitet og med en relativ lang måleperiode, er Gryta i Maridalen i Oslo som ble startet i 1967, se fig. 2.2. I Østfold er det en del målestasjoner med små felt, men de fleste av disse har relativt korte driftsperioder og varierende datakvalitet. Sundbyfoss i Hof har en måleperiode fra 1976 til dd, men med et noe større feltareal (74,7 km^2). Hvis man ser bort i fra vannføringen som ble målt under ekstremværet «Frida» i august 2012 som først og fremst rammet de sørlige delene av Buskerud, var vannføringen som ble målt under flommen 2/9 den største siden 1976.

For å kunne gjøre en viss rekonstruksjon av tidligere flommer i Istreelva er det derfor blitt foretatt en sammenligning av målinger fra Holmfoss og Gryta/ Maridalen. Selv om målestasjonen i Holmfoss dekker et stort område, er det også i perioder en tydelig respons på høyt tilsig i de nedre delene av vassdraget, se fig. 2.2. Det er særlig flomsituasjoner som sammenfaller med høyt tidevann som er av interesse.

Høsten 2015 ble det målt en vannføring på ca 23,8 m^3/s i Istreelva som er den høyeste siden målingene startet i 2007. Vannføringen 16/10 -1987 ved Gryta i Maridalen i Oslo står fremdeles som høyeste observerte vannføring ved denne målestasjonen siden den ble opprettet i 1967, men hendelsene i september 2015 er også blant de høyeste her. Den rekonstruerte (brudd under maks flom) vannføringen i Numedalslågen ved Holmfoss på nesten 900 m^3/s 16/10 – 1987 gir en pekepinn på tilsigsforholdene på Østlandet under denne hendelsen. Denne overgås bare av storflommen i 2007 og de to flomepisodene i september 2015 siden målingene startet i 1970.

Kart som viser nedbørfordelingen over de sørlige deler av Sør-Norge er under tre situasjoner er vist i fig. 2.3. Nedbørintensiteten den 16/10 -1987 rammer særlig i Agder og til dels Telemark, mens i 2015 (2/9) er det spesielt Vestfold som får mye nedbør, mer enn i 1987. Ved Tjølling målestasjon ble det registrert 64,4 mm nedbør 2. september og ved Melsom målestasjon ble det registret 102,4 mm nedbør på 24 timer fra 1.-2. september. I 1987 ble det registret henholdsvis for Tjølling og Melsom 15.-16. oktober 45,6 mm og 65,1 mm som også er svært mye, men lavere enn i 2015.

Det siste kartet viser nedbørforholdene den 27. februar 1990, som er samme dag som det var rekordhøyt tidevanns nivå i Larvik området (126 cm i Helgeroa). Vannføringen ved Gryta og

Holmfoss var ikke spesielt høy denne dagen. Lavtrykk på Vestlandet og Norskehavet få dager i forveien er årsaken til den høye vannstanden på Østlandet. Denne stormflo episoden er fremdeles blant de høyeste siden 1914 (141 cm i Oslo, se fig. 2.6b).

Mye tyder derfor på at vannføringen som ble målt i Istreelva 2. september 2015 er blant de høyeste som har vært på svært lang tid. Vannføringen 16/10 1987 har sannsynligvis også vært svært høy. Denne hendelsen inntraff også i kombinasjon med svært høyt tidevannsnivå (117,7 cm), mens tidevannstanden 2/9-2015 var på 10 cm. I oktober 1987 så forsterket trolig også tilsigsforholdene flomsituasjonen ved Hemskilen og Runddansen en god del utover tidevannets innvirkning på 117,7 cm. Vannstanden i store deler av det flomutsatte området har sannsynligvis vært mye høyere under stormflo episoden i 1987 enn i 2015, selv om vannføringen sannsynligvis var noe lavere. Selv om vannføringer over 5 m^3/s inntreffer relativt ofte og tidevannstand på 0,81 m har et gjentaksintervall på 1 år er varigheten på disse hendelsene av relativt kort varighet, se fig 2.4.

Tabell 2.1 **Døgnmiddelvannføring for Istreelv (15.174), Noen Flomhendelser i Larvik og Sandefjord området med kulminasjonsvannføring i Istreelva og Holmfoss. Holmfoss reflekterer også tilsigsforholdene over et stort område på Østlandet. Den samtidige tidevannsnivået i Helgeroa er gitt i siste kolonne**

Dato	Vannføring m^3/s		Tidevann cm
	Istreelv (15.174)	Holmfoss, Numedalslågen	Helgeroa
18/10 1987	-	875	117
30/10-2000	-	312	120
3/7-2007	8,5	1043 (kulminasjon 6/7)	0
7/9-2011	18,2	250	17
24/11-2014	19,1	278	10
2/9 -2015	23,8	894 (kulminasjon 4/9)	10
17/9-2015	15,0	948 (kulminasjon 18/9)	35

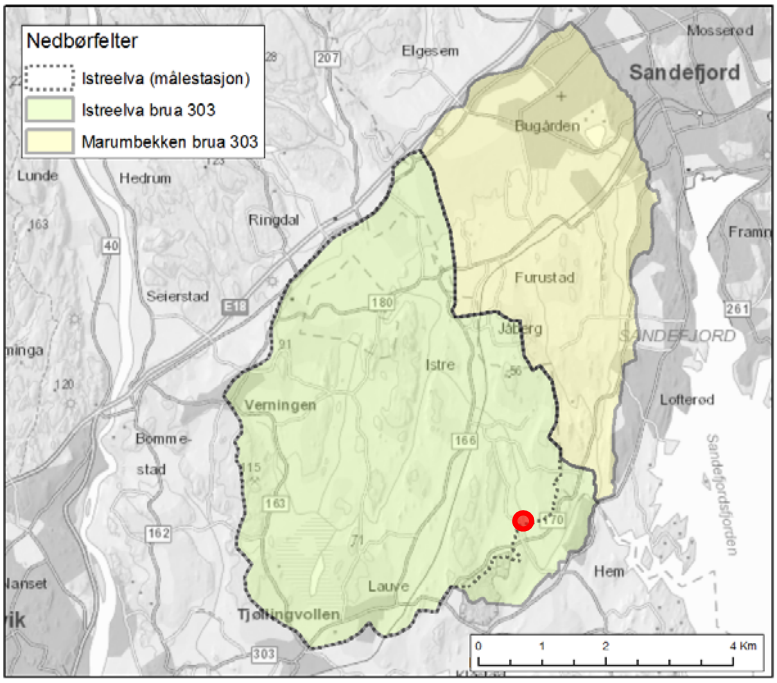


Fig 2.1 **Lokaliseringen til målestasjonen for vannføring i Istreelva som ble opprettet og satt i drift 29. mars 2007. Feltarealet oppstrøms målestasjonen er på 25,8 km^2. Samlet feltareal ved Hemskilen for Marumsbekken og Istreelva er på 43,14 km^2, hvor de henholdsvis utgjør 36% og 64% av det totale arealet. Gitt det samme spesifikke tilsiget og lik responstid vil vannføringen være ca 67% høyere ved utløpet i Hemskilen i forhold til det som blir målt ved målestasjonen.**

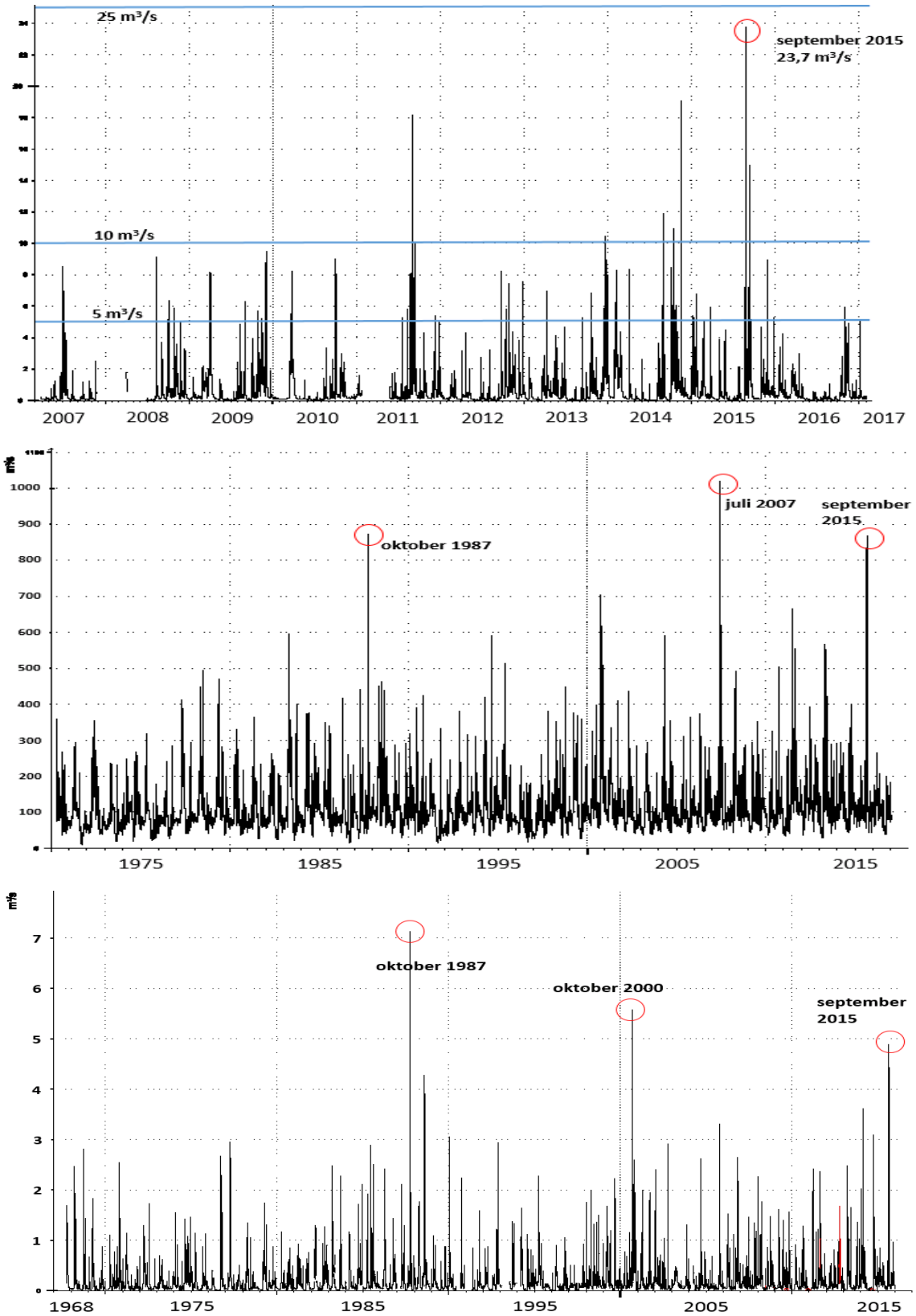


Fig 2.2 Vannføring (timesmiddel) for Istreelv (15.174), Holmfoss, Numedalslågen (15.61) (døgnmiddel) og Gryta, Maridalen (6.10) (timesmiddel). Alle med forskjellig måleperiode. Flomepisoden som inntraff 2/ 9 -2015 er enten høyest eller blant de tre høyeste ved alle stasjonene. Maksimumsvannføringen 16 oktober 1987 er fremdeles den høyeste som er målt ved målestasjon Gryta (6.10) i Oslo, Maridalen

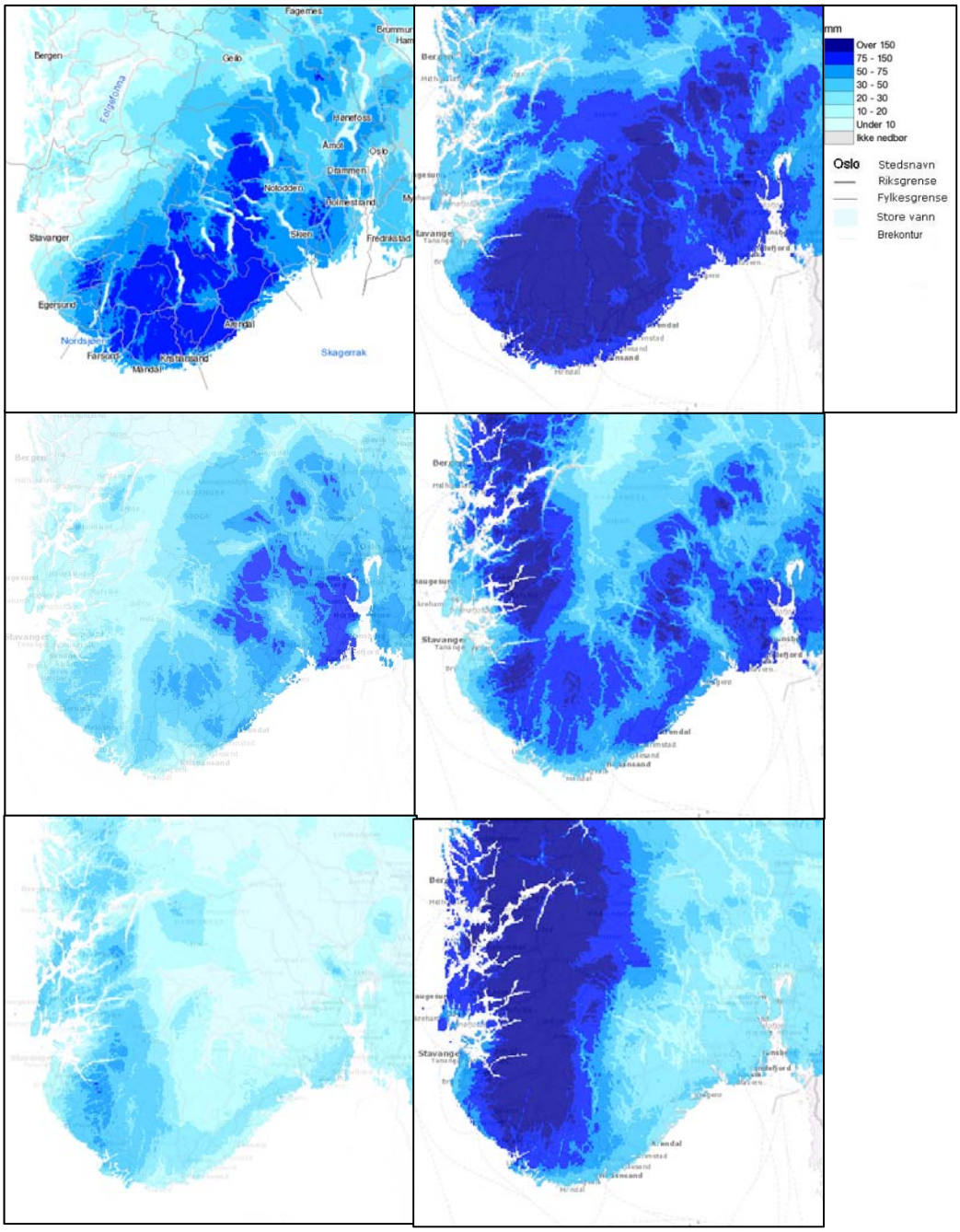


Fig 2.3 Døgnmiddelnedbør (venstre panel) og -7 døgn nedbørssum (høyre panel) For A: 16/10 1987, B: 2/9 2015 og C: 27/2 1990. (senorge.no). Oktober 1987: Svært mye nedbør i sørlige sør Norge kombinert med stormflo svært høyt tidevann i indre Oslofjord (høyest siden 1914 i Oslo). Begynnelsen av september 2015: Svært mye nedbør spesielt i Vestfold og indre strøk av Buskerud og Telemark. Siste uken i februar 1990 hadde ikke spesielt mye nedbør på Østlandet i motsetning til Vestlandet som fikk svært mye. Lavt luftrykk og værets virkning førte til svært høye tidevannsnivåer lang kysten av Vestfold, den høyeste siden 1981 i Helgeroa. Sannsynligvis blant de høyeste siden 1914.

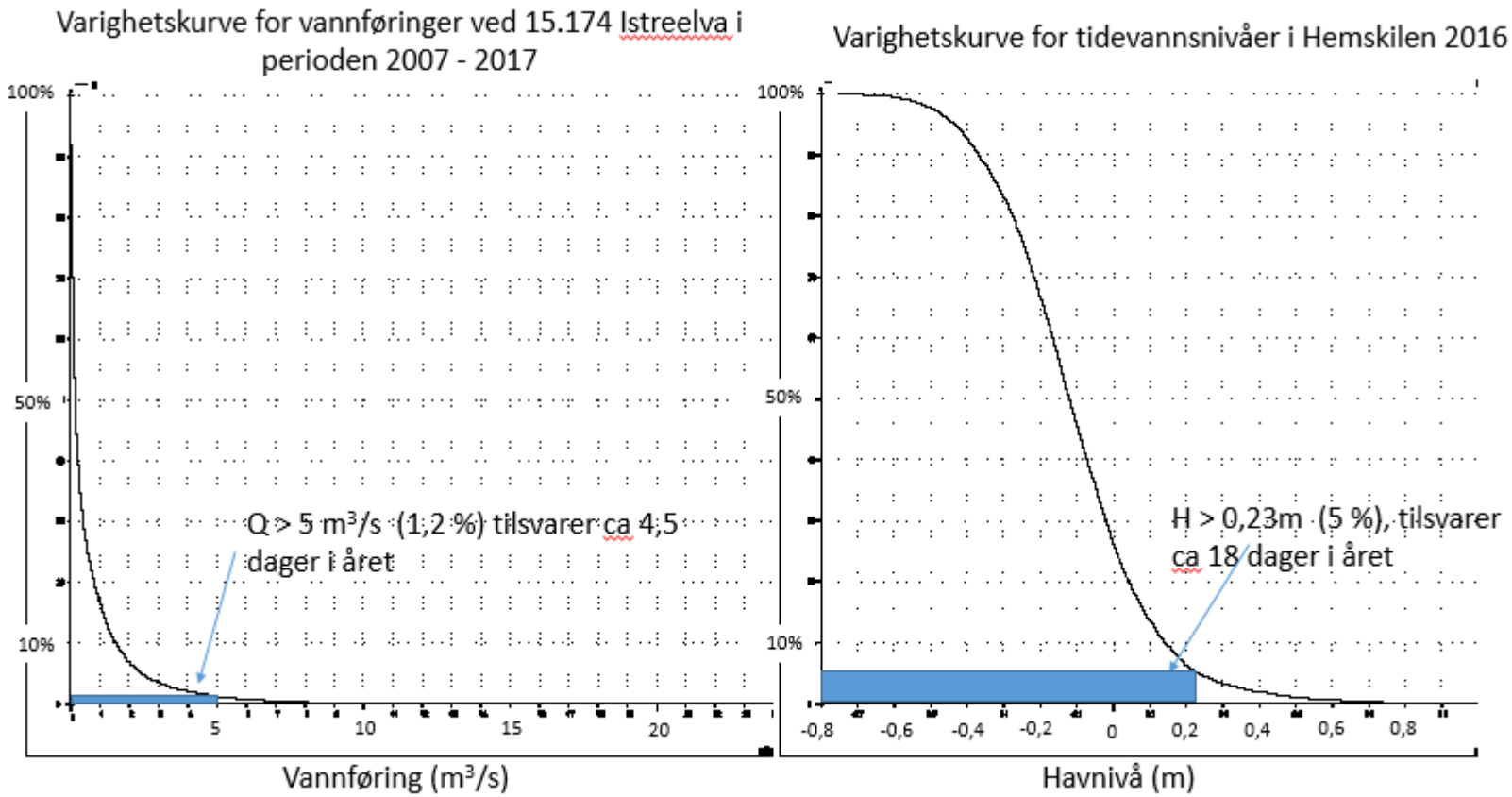


Fig 2.4 Varighetskurver for henholdsvis vannføring i Istreelva (stnr 15.174) og tidevannsnivåer i Hemskilen. Vannføringer høyere enn 5 m3/s har inntruffet ved 1,2 % av tiden som tilsvarer ca 4,5 døgn i året i måleperioden fra 2007 til 2017. Tidevannstander (NN1954) høyere enn 0,23 m har inntruffet 5% av tiden i 2016, som tilsvarer ca 18 dager i året.

2.2 Tidevannets innvirkning

De naturlige tidevannsvariasjonene i ytre Oslofjord ved Helgeroa følger en sinuskurve med en amplitude på 60 cm mellom høyeste og laveste astronomiske tidevann på henholdsvis 21 cm og -39 cm over normalnull (NN1954). Dette tilsvarer henholdsvis 80 og 20 cm over sjøkartnull ved Helgeroa målestasjon. Middelvannstanden er på -9 cm, se fig. 2.5.

Endringer i luftrykk og vind kan påvirke og endre vannstanden og føre til stormflo. Ekstra høy vannstand oppstår når en stormflo faller sammen med høyt astronomisk tidevann. Årlige maksimum, minimum og midlere vannstander for Helgeroa fra 1981 og fram til 2015 er vist i fig. 2.6a og tabell 2.2 (kun maksimum i perioden 1981-1987).

I oktober 1987 inntraff en episode med svært høy vannstand på Østlandet. Vannstanden i Oslofjorden steg som følge av springflo og kraftig vind, og den overgås bare av høyeste vannstand som ble målt i 1914 (Wikipedia 2008). Dette førte til svært store materielle skader flere steder langs kysten. Vannstanden i Oslo 16. oktober 1987 ble målt til 170 cm over normalnull (255 cm over sjøkartnull i Oslo), se fig. 2.6b. Dette er 29 cm høyere enn stormflo episoden i februar 1990. Tidevannsregistreringer fra Helgeroa viser at den høyeste vannstanden i 1987 var på 117,7 cm. Vannstanden 27/2 1990 er dermed den høyeste registrert episoden i Helgeroa siden målingene der startet i 1965, med 126 cm. Vannlinjer i Hemskilen/ Runddansen ved vannstander på henholdsvis 117,7 cm og 126 cm er vist på kart i fig. 2.8 og fig. 2.9. Nivåene som er vist på kartene er vannlinjer som bestemmes av tidevannet alene. Tilsigsforholdene vil også ha en sterk innvirkning på vannstanden i området. Tilsigsforholdene i oktober 1987 økte trolig vannstanden i deler av området en god del, mens tilsigsforholdene i februar 1990 hadde mindre betydning. Fig. 2.9 viser også tidevannsnivåer på henholdsvis 81 cm og 100 cm (1 og 5 års gjentagsintervall).

Stormflo episoden i 1987 sammenfaller med svært mye nedbør, særlig i Agder, men også lenger nord på Østlandet, se nedbørfordeling fra senorge.no 16/10 i fig. 2.3. Vannføringen 16/10 -1987 ved Gryta i Maridalen i Oslo står fremdeles som høyeste observerte vannføring ved denne målestasjonen siden den ble opprettet i 1967. Målestasjonen i Istreelva ble ikke opprettet før i 2007, men den rekonstruerte vannføringen i Numedalslågen ved Holmfoss på nesten 900 m^3/s gir en pekepinn på tilsigsforholdene på Østlandet under denne hendelsen (Dette overgås bare av storflommen i 2007 og de to flomepisodene i september 2015 siden målingene startet i 1970). Tilsigsforholdene forsterket trolig også flomsituasjonen ved Hemskilen og Runddansen en god del utover tidevannets innvirkning på 117,7 cm.

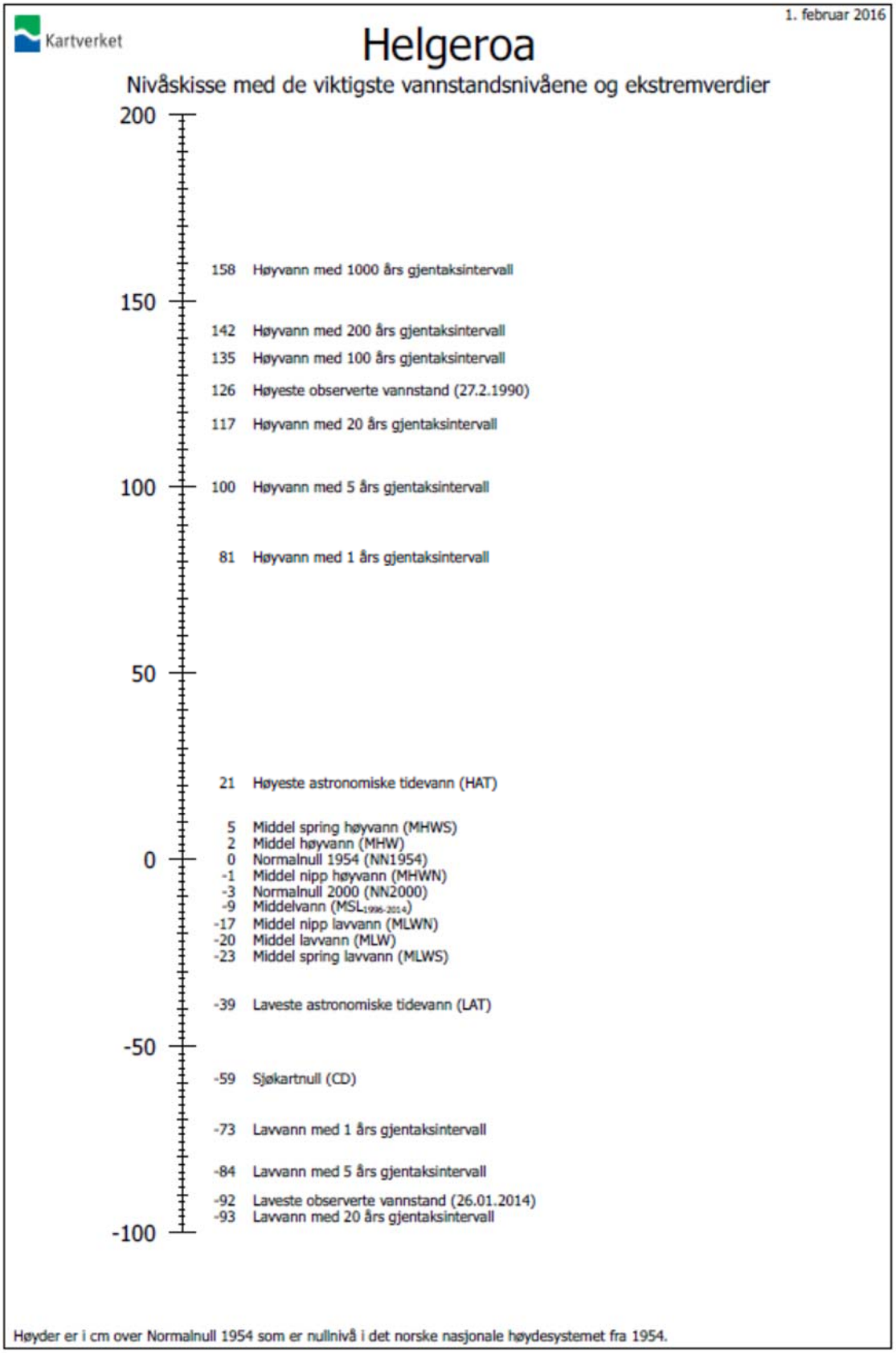


Fig 2.5 Nivåsskisse med de viktigste vannstandsnivåene ved Helgeroa. Måleperiode 1987 – dd (Statens kartverk 2016).

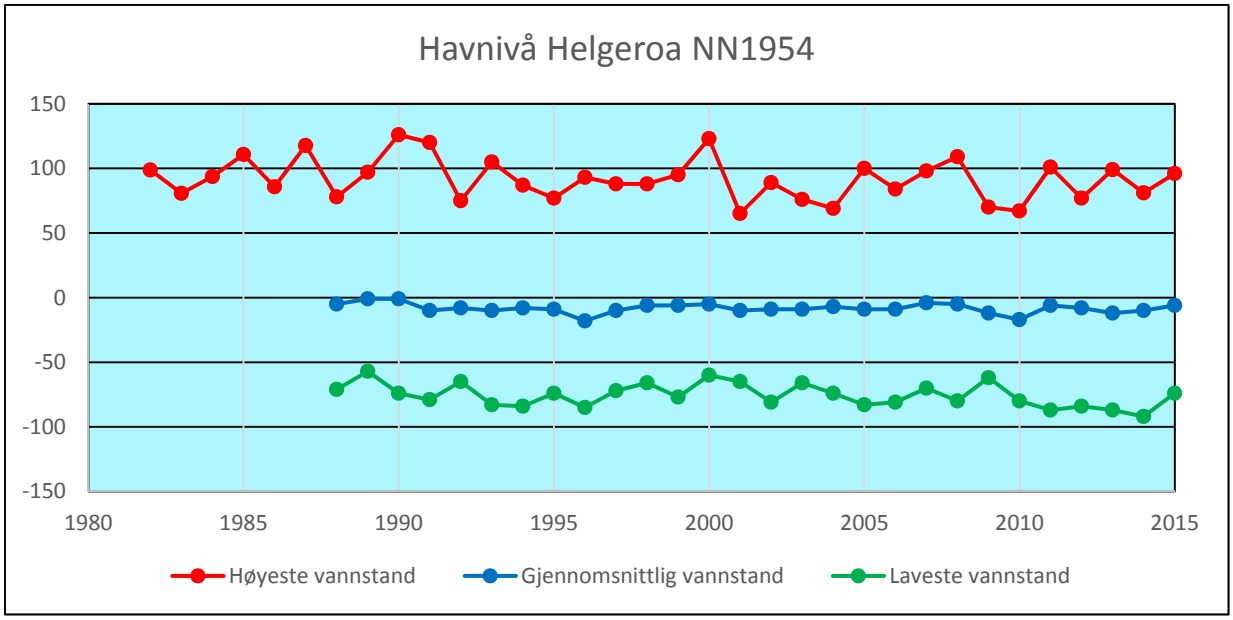


Fig 2.6a. **Høyeste, laveste og midlere vannstand ved Helgeroa i perioden 1981-2015 (normalnull 1954), kilde: Kartverket.**

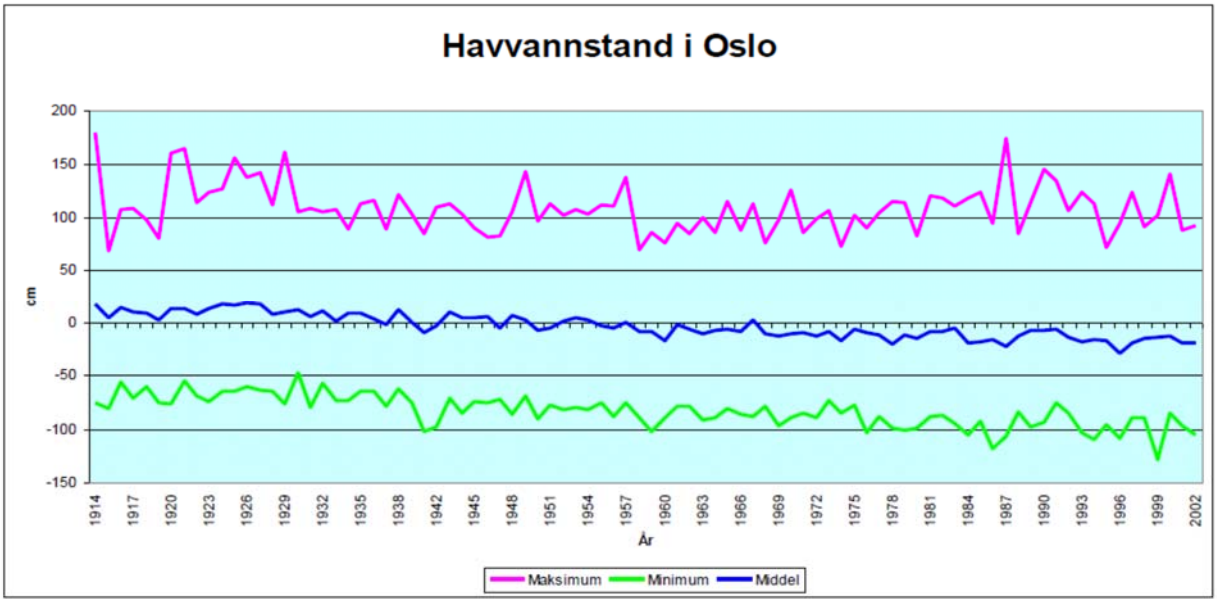


Fig 2.6b **Høyeste, laveste og midlere vannstand i Oslo i perioden 1914 - 2002 (normalnull 1954). Målingene viser at stormflonivåene i Oslofjorden 16/10- 1987 var de høyeste siden 1914. Middelvannstanden reflekterer landhevningen, kilde: Kartverket.**

Tabell 2.2 **Høyeste, laveste og midlere vannstand ved Helgeroa i perioden 1987-2015 (normalnull 1954). Korreksjonsfaktor til Sandefjord/ Hemskilen er +1,02 cm.**

År	Høyeste	Midlere	Laveste
1981	73,7		
1982	98,7		
1983	80,7		
1984	93,7		
1985	110,7		
1986	85,7		
1987	117,7		
1988	78	-5	-71
1989	97	-1	-57
1990	126	-1	-74
1991	120	-10	-79
1992	75	-8	-65
1993	105	-10	-83
1994	87	-8	-84
1995	77	-9	-74
1996	93	-18	-85
1997	88	-10	-72
1998	88	-6	-66
1999	95	-6	-77
2000	123	-5	-60
2001	65	-10	-65
2002	89	-9	-81
2003	76	-9	-66
2004	69	-7	-74
2005	100	-9	-83
2006	84	-9	-81
2007	98	-4	-70
2008	109	-5	-80
2009	70	-12	-62
2010	67	-17	-80
2011	101	-6	-87
2012	77	-8	-84
2013	99	-12	-87
2014	81	-10	-92
2015	96	-6	-74

Fig 2.7 Stormflo på brygga i Sandefjord ved det gamle Thor Dahl-bygget i oktober 1987, (Sandefjords blad 2010, Foto: Olaf Akselsen).

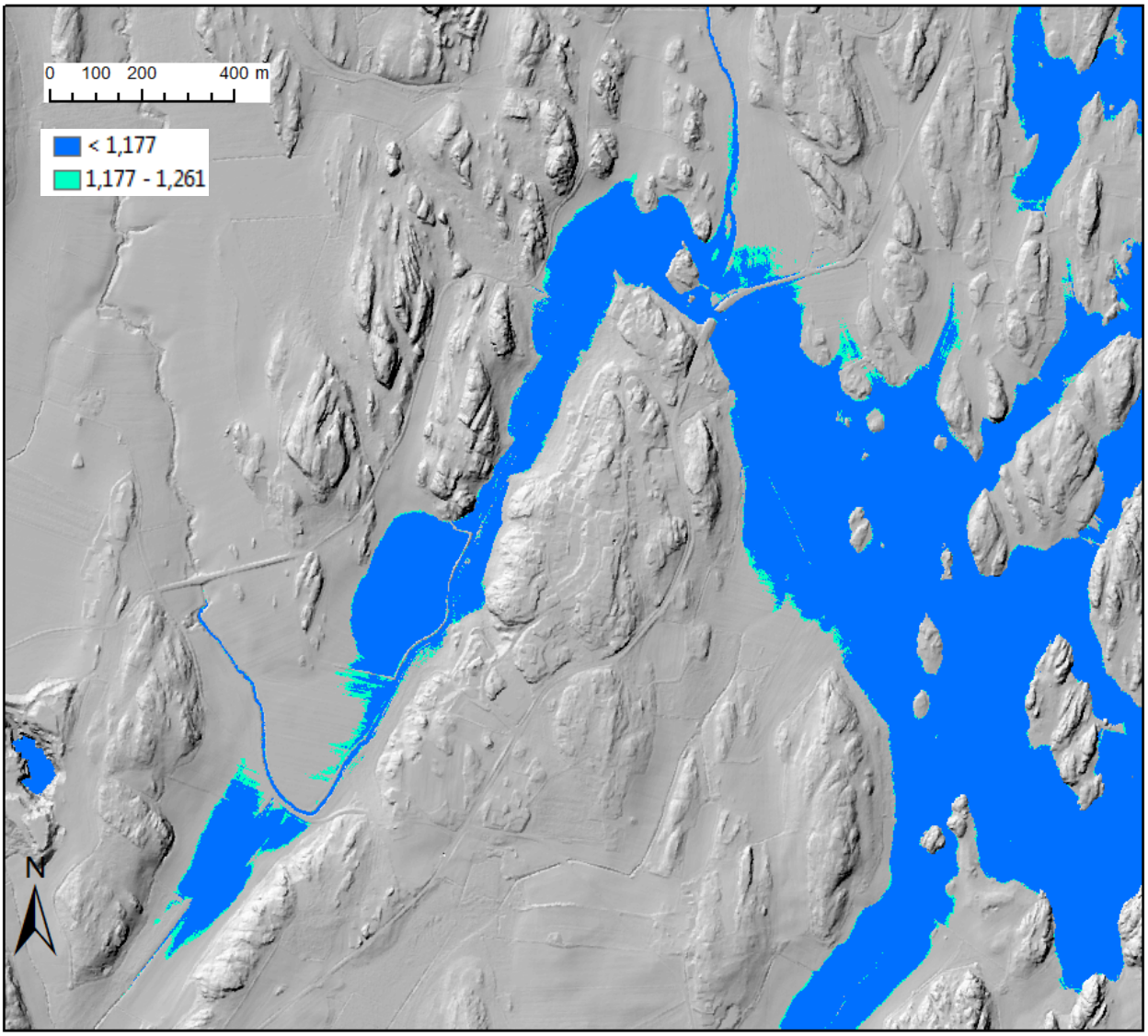


Fig 2.8 Vannlinjer med oversvømte arealer i Hemskilen og Runddansen ved tidevannsnivåer på henholdsvis 117,7 cm og 126 cm. Dette tilsvarer tidevannsnivåer i Helgeroa 16/10 -1987 og nivået fra 27/2 -1990. Tilsigsforholdenes innvirkning gjenspeiles ikke på dette kartet. Det er ikke korrigert for landhevning (ca 1 cm s 1987). Ifølge statistikken i fig. 2.4 har disse tidevannsnivåene gjentaksintervall på henholdsvis 20 år og ca 50 -60 år.

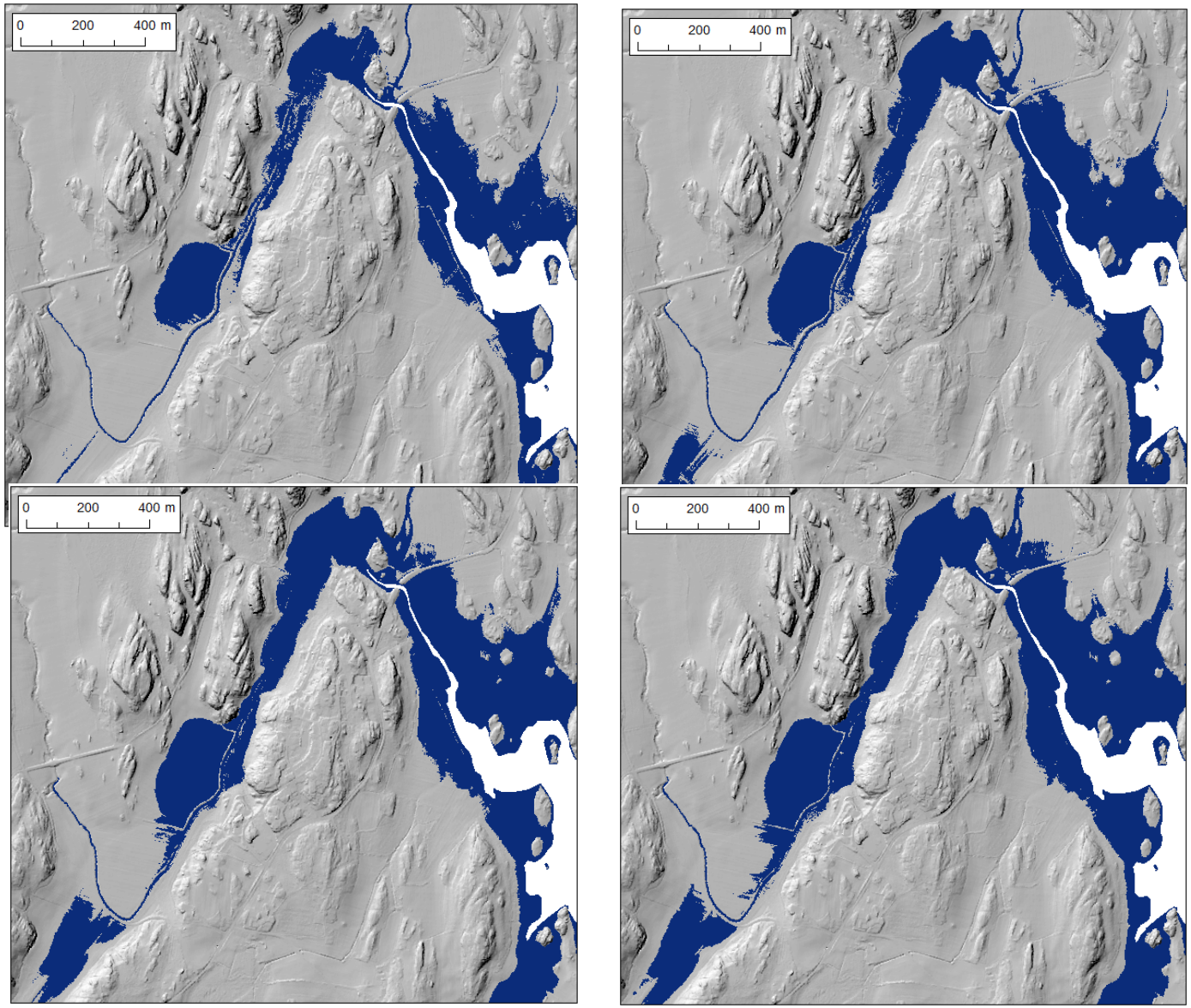


Fig 2.9 Vannlinjer med oversvømte arealer i Hemskilen og Runddansen ved tidevannsnivåer på:

A: 81 cm, 1 års gjentaksintervall

B: 100 cm, 5 års gjentaksintervall

C: 117 cm, 20 års gjentaksintervall

D: 126 cm, 50-60 års gjentaksintervall

2.3 Landhevning og havnivåendringer

Landhevingen skyldes at tung is presset landet ned under siste istid. Etter at isen smeltet, har vi fått en gradvis heving av landet som fremdeles pågår. I de første ca 2000 årene av isavsmeltingen var landhevningen i Skandinavia på hele 8 cm i året. Etter at all isen smeltet avtok den til ca 2,5 cm i året og har siden avtatt eksponentielt.

Verdiene i tabellen er hentet fra kartverkets nye landhevningsmodell. Beregningene for 2030 og 2100 er gjort med utgangspunkt i år 2000. Tabellen viser landhevning lokalt, og er også utvidet bakover i tid. Som det går fram av tabellen ville da midlere havnivå ha vært henholdsvis ca 1,85 m og 3,7 m høyere relativt sett i området ved Hemskilen for 500 og 1000 år tilbake. Det er imidlertid antatt at vannstanden i området var ca 3,6 m høyere i år 800 enn i dag, men det er en viss usikkerhet knyttet til dette pga tidevannets innvirkning, se fig. 2.10 (Sørensen et al 2006).

Tabell 2.3. Verdiene i tabellen er hentet fra kartverkets nye landhevningsmodell. Beregningene for 2030 og 2100 er gjort med utgangspunkt i år 2000. Tabellen viser landhevning lokalt og er også utvidet bakover i tid

År	**Landheving**		
	Sandefjord	**Hemskilen**	**Oslo**
Årlig	**3,8 mm**	**3,7 mm**	**5,1 mm**
1000	-380 cm	-370 cm	-510 cm
1500	-190 cm	-185 cm	-255 cm
2030	11 cm	11 cm	15 cm
2100	38 cm	37 cm	51 cm

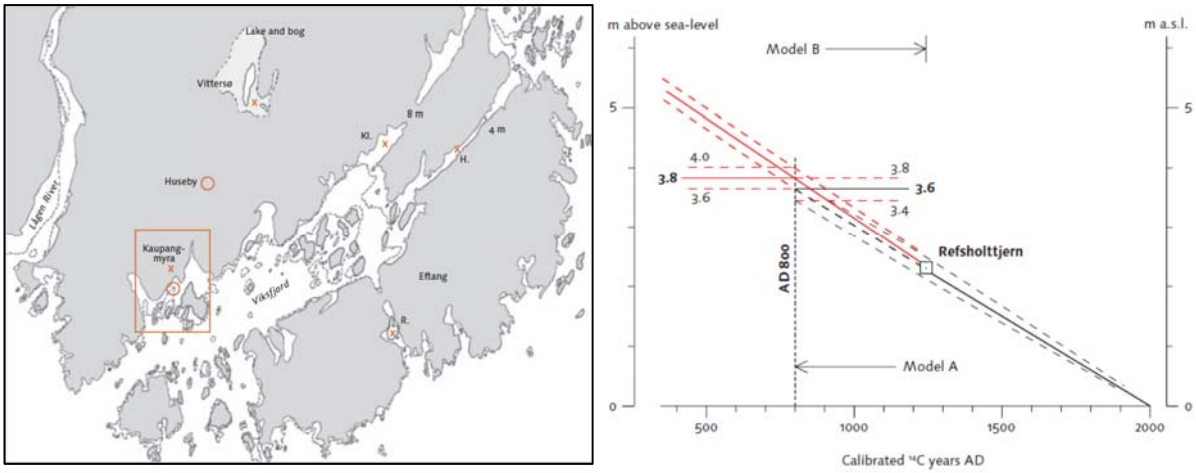


Fig 2.10A: Kartet viser kystområdene mellom Larvik og Sandefjord 500 år e.kr. Havnivået var da ca 5 m høyere enn i dag. De arkeologisk interessante områdene Kaupang og Huseby er markert. Andre radiokarbon-daterte lokaliteter: R. Refsholttjern; Kl. Lokalisering av Klåstad viking skipsvrak; H. Holkekilmyra. Kart, Rolf Sørensen (fra Kaupang Vol1, Skre 2006).

B: Detaljert havnivåkurve for siste 1500 år. Kurven viser usikkerheten med alternative nivåer for perioden omkring AD 800. Illustrasjon: Jørgen Sparre (fra Kaupang Vol1, Skre 2006).

Det er uvisst hvordan forholdet mellom havnivåstigning og landhevning vil utvikle seg i framtiden. Forslag til framskrivninger av fremtidig havnivå er gitt i rapporten «Sea Level Change of Norway – Past and Present Observations and Projections to 2100», bestilt av Miljødirektoratet (2015). Hvordan havnivåendringen blir, avhenger av hvor stort utslipp av klimagasser det vil bli i fremover. Ulike utslippsscenarier for klimagasser er beskrevet av den femte hovedrapporten til FNs klimapanel (IPCC), og tre av disse er vurdert her.

RCP2.6 innebærer drastiske utslippskutt allerede fra 2020

RCP4.5 innebærer små endringer av utslipp fram til 2050 og deretter utslippskutt

RCP8.5 innebærer at utslippene av klimagasser fortsetter å øke i dagens tempo

Tabell 2.4 og fig. 2.11 presenterer framskrivninger for framtidig havnivå for årene fram til 2100 sammenlignet med perioden 1995-2005. Tallene gjelder for Sandefjord kommune (Kartverket 2016). Tabellen viser framskrivningenes middelverdier samt øvre og nedre grense for det sannsynlige intervallet for havnivåendringene. Disse framskrivningene tar hensyn til landhevningen for Sandefjord som er gitt i tabell 2.3.1 Dette vil i så fall føre til at havet etter hvert vil stige raskere enn landet.

Tabell 2.4 **Tabellen presenterer framskrivninger for framtidig havnivå for årene fram til 2100 for Sandefjord. Disse framskrivningene tar hensyn til landhevningen som er gitt i tabell 2.3.**

	2040-2060	2081-2100	2100
Lavt utslipp (RCP2.6)	4 cm (-11 – 18 cm)	4 cm (-20 – 28 cm)	5 cm (-24 – 32 cm)
Redusert utslipp (RCP4.5)	5 cm (-9 – 18 cm)	12 cm (-13 – 36 cm)	13 cm (-16 – 41 cm)
Høyt utslipp (RCP8.5)	8 cm (-6 – 22 cm)	29 cm (0 – 58 cm)	35 cm (1 – 68 cm)

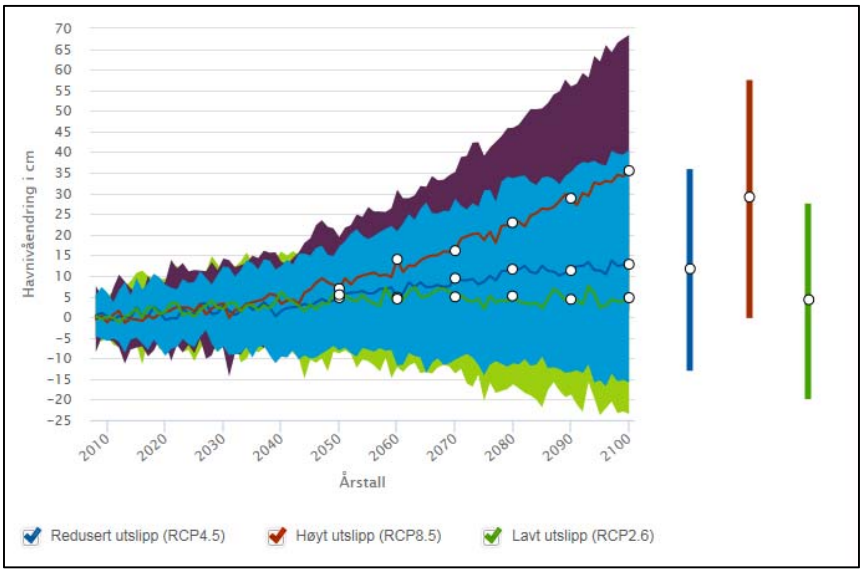


Fig 2.11 **Diagrammet viser havnivåendringer, framskrivingenes middelverdier samt nedre og øvre grense for det sannsynlige intervallet. Feilfeltet til høyre viser et gjennomsnitt for perioden 2081-2100 sammenlignet med 1986-2005, med tilhørende sannsynlig intervall (fra sehavnivå.no, kartverket).**

3 Prøvetaking og vannstandobservasjoner

3.1 Sedimentprøvetaking

Det er tatt prøver av bunnsedimentene ved 10 lokaliteter i Istreelva, Marumsbekken og Hemskilen i perioden september 2015 til april 2016. Prøvene i 2015 er tatt noen dager etter flommen 2. september 2015, se kart i fig. 3.1ab, fig. 3.2 og tabell 3.1. De resterende prøvene er tatt i perioden mars/ april 2016. Prøvelokalitetene er valgt i forhold til hva som påvirkes av steinbrudd aktivitet og referanselokaliteter som ikke påvirkes. Kjerneprøver i Hemskilen ble tatt med 2 m lange rør i januar 2017. Rørene var utrustet med sandfanger for å sikre at prøvene ikke glir ut av rørene. Prøvetakingsrørene ble presset ned til fra 1,5m til 2m under bunn nivå og ble utsatt for en viss sammentrykning under prøvetakingsprosessen, se analysehorisonter i tabell 3.2.

I perioden 2008 til 2009 ble det tatt prøver av suspensjonsmaterialet i samme området og i andre deler av Larvikområdet med steinbruddaktivitet. Mineralanalyseresultatene fra disse undersøkelsene vil bli sammenlignet med resultater fra prøvetakingen i 2015-2016.

Det vil bli utført forskjellig type analyser av sedimentprøvene:

- Bestemmelse av organisk og minerogent innhold
- XRD- identifisering og kvantifisering av mineraler
- Kornfordelingsanalyse

Tabell 3.1. Prøvelokaliteter og analysetype

Sedimentprøver 2015 - 2017							
Nr	**Lokalitet**	**Dato**	**Mineral**	**Kornf.**	**Uorg%**	**Org%**	**Status**
1	Haslebekken	**11/9-2015**	**X**	**X**	**X**	**X**	
2	Istreelv v/pump	**11/9-2015**	**X**	**X**	**X**	**X**	
3	Hemskil 1	**11/9-2015**	**X**	**X**	**X**	**X**	
4	Hemskil 2	**8/4-2016**	**X**		**X**	**X**	
5	Hemskil 3	**8/4-2016**	**X**		**X**	**X**	
6	Marumsbk	**8/4-2016**	**X**		**X**	**X**	**Ref**
7	Istreelv (Syrristv)	**17/3-2016**	**X**		**X**	**X**	
8	Haslebk v/Klåstad	**8/4-2016**	**X**		**X**	**X**	
9	Stålåker ndf	**8/4-2016**	**X**		**X**	**X**	
10	Stålåker ovf	**8/4-2016**	**X**		**X**	**X**	**Ref**
11	Hemskil B topp	**24/1-2017**	**X**	**X**	**X**	**X**	
12	Hemskil B bunn	**24/1-2017**	**X**	**X**	**X**	**X**	
13	Hemskil C topp	**24/1-2017**	**X**	**X**	**X**	**X**	
14	Hemskil C bunn	**24/1-2017**	**X**	**X**	**X**	**X**	
15	Hemskil D topp	**24/1-2017**	**X**	**X**	**X**	**X**	
16	Hemskil D bunn	**24/1-2017**	**X**	**X**	**X**	**X**	

Tabell 3.1b. Analysehorisonter for kjerneprøver i Hemskilen

Nr	Lokalitet	Dato	Analyse horisont, nivå under bunn
11	Hemskil B topp	**24/1-2017**	**-5 cm - -15 cm**
12	Hemskil B bunn	**24/1-2017**	**-40 cm -50 cm**
13	Hemskil C topp	**24/1-2017**	**-5cm - -15 cm**
14	Hemskil C bunn	**24/1-2017**	**-66 cm -76 cm**
15	Hemskil D topp	**24/1-2017**	**-5cm - -15 cm**
16	Hemskil D bunn	**24/1-2017**	**-58 cm -68 cm**

Mineralanalyser (XRD) av sedimentprøver fra 2015 og 2016 er utført i ved Norges geologiske undersøkelse (NGU) i Trondheim. Tilsvarende undersøkelser av suspendert materiale i 2008-2009 er utført ved Geologisk institutt ved Universitetet i Oslo.

Bestemmelse av organisk innhold er utført ved gløding av sedimentprøvene. Konsentrasjons- og kornfordelingsanalyser (Laser coulter LS 1320) er utført ved Hydrologisk avdelings sediment laboratorium.

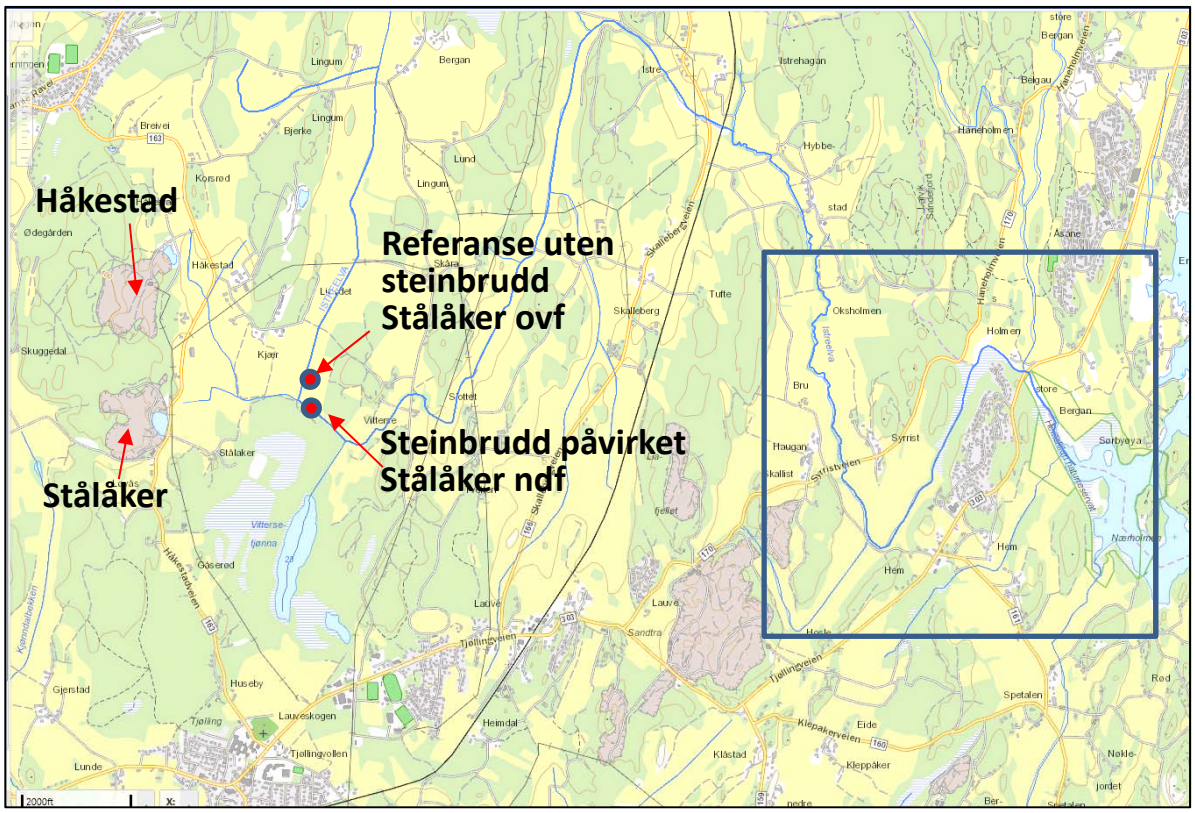


Fig 3.1a Prøvelokaliteter for mieralanalyser, minerogent og orgaisk innhold, se lokaliteter i ramme fig. 3.1b.

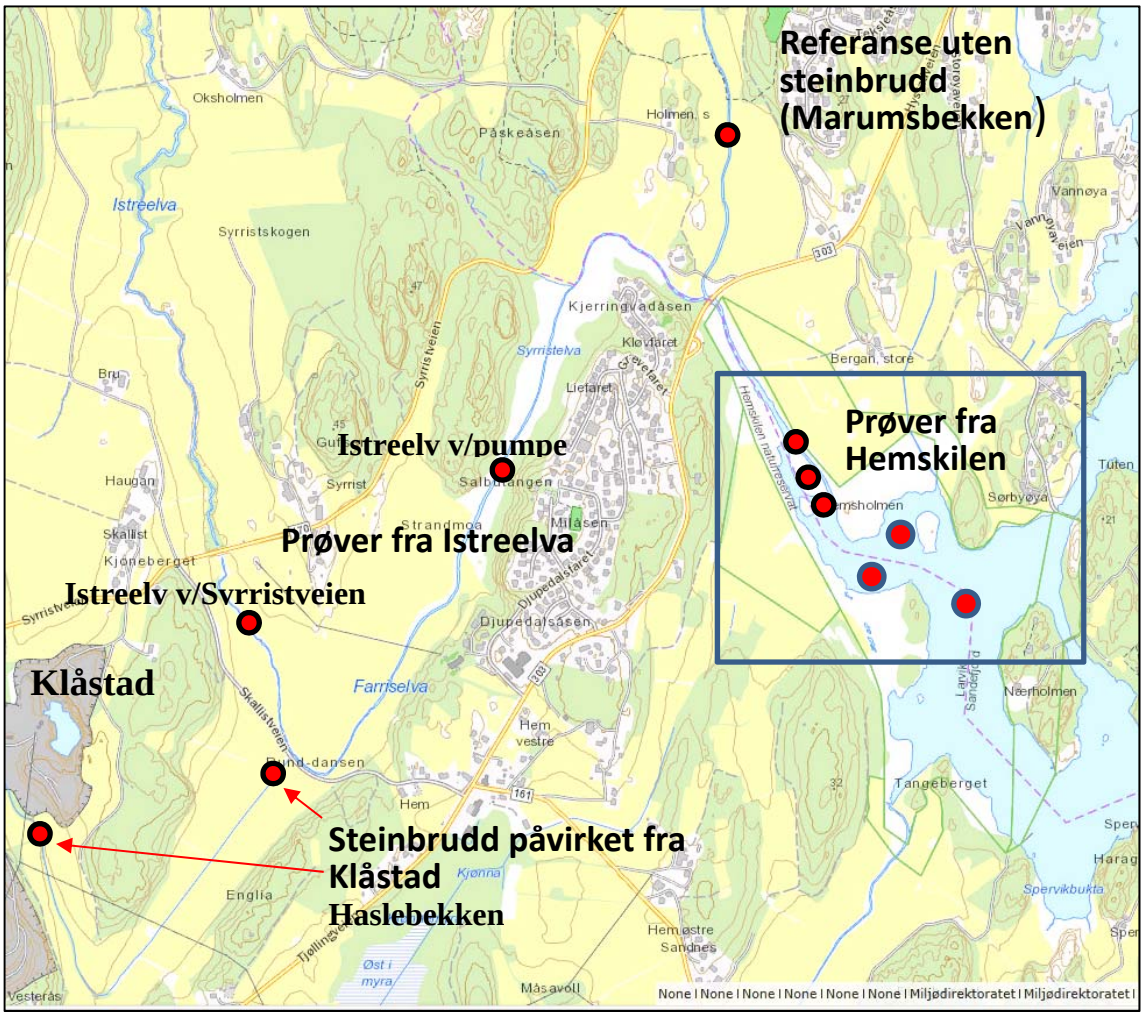


Fig 3.1b Prøvelokaliteter for mieralanalyser, kornfordeling, minerogent og orgaisk innhold, se lokaliteter i ramme fig. 3.2.

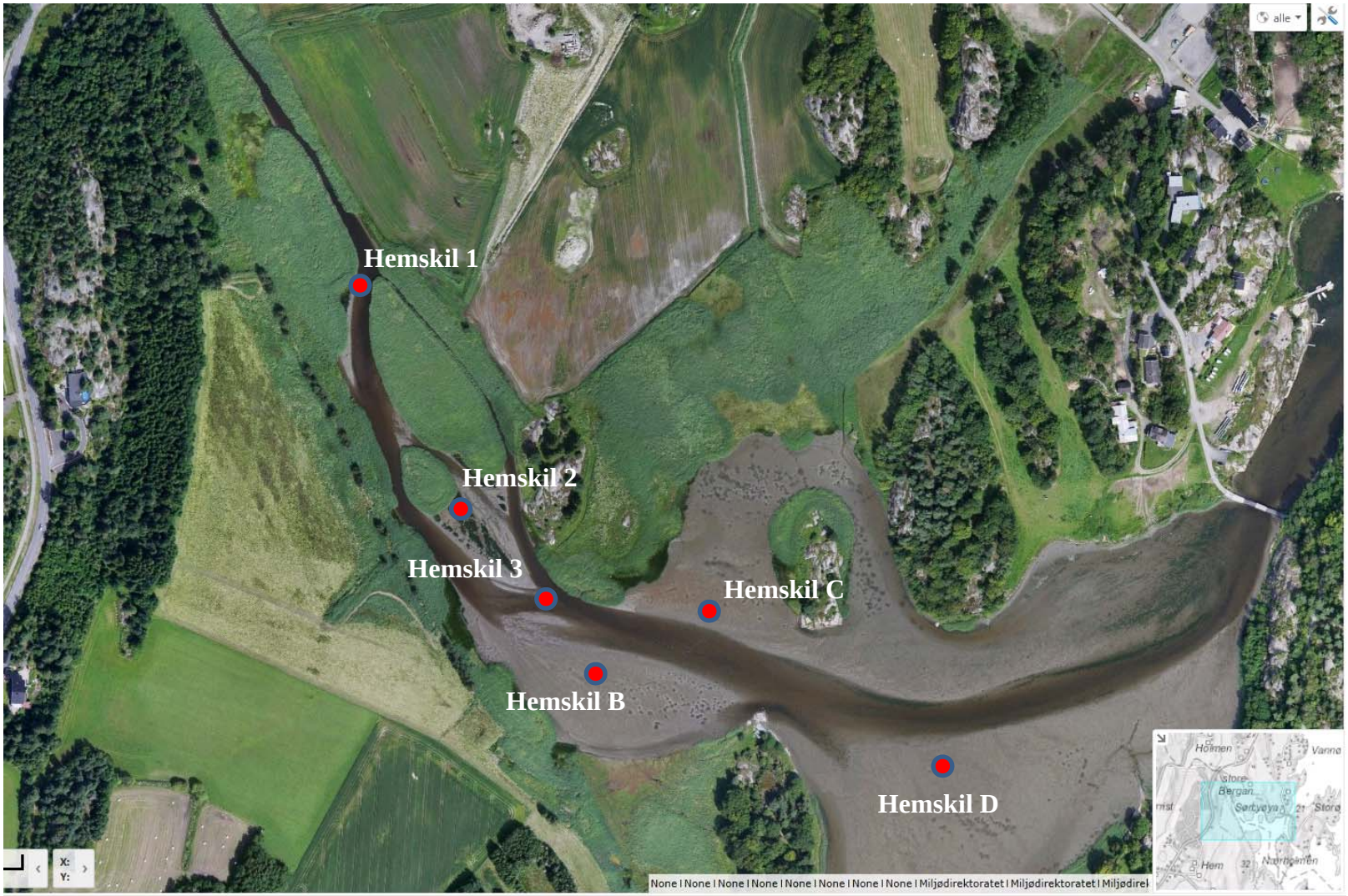


Fig 3.2 Prøvelokaliteter for mieralanalyser, kornfordeling, minerogent og orgaisk innhold. Prøver ved lokalitetene «B», «C» og «D» er kjerneprøver med analyser fra topplaget og dypere lag i avsetningene.

3.2 Vannstandsobservasjoner

For å kunne registrere vannstander i de flomutsatte områdene er det opprettet to nye målestasjoner for vannstand i tillegg til målestasjonen for vannføring (15.174.0) som har vært i drift siden 2007.

De nye målepunktene er opprettet ved Rund-dansen (15.174.2) og på nedstrøms side av riksveg 303 (15.174.3). Statens kartverk måler tidevannsnivåene i Helgeroa, som kan korrigeres til det aktuelle området i Sandefjordsfjorden. Alle målingene har samme høydereferanse, NN 1954.

Målestasjonene vil dokumentere den kombinerte effekten av hvordan vannføring og tidevann påvirker vannstandsforholdene i flom og lavvanns situasjoner i de flomutsatte nedre delene av Istreelva og Marumsbekken.

I mars 2016 ble det montert automatisk utstyr (trykksensor og logger) for kontinuerlige vannstandsregisteringer både ved Rund-dansen og rv 303, se fig. 3.3.

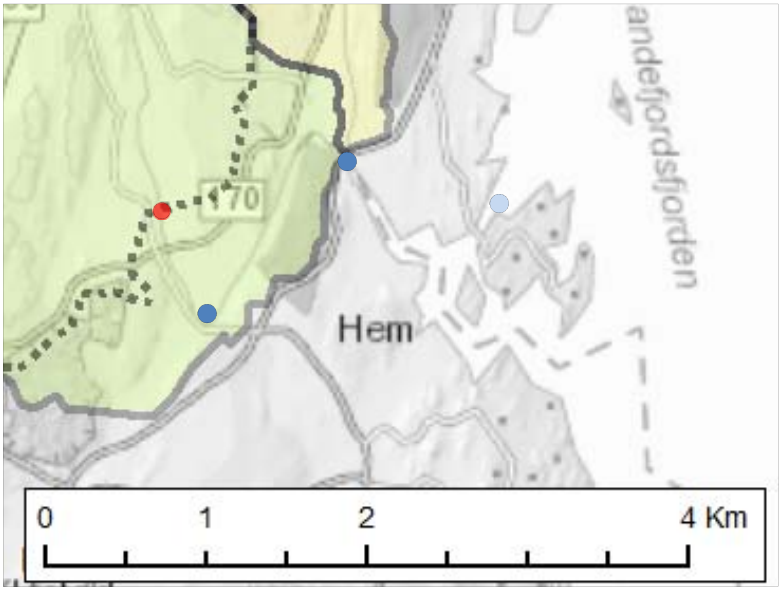


Fig 3.3 Lokaliseringen til målestasjonen for vannføring i Istreelva (rød) og nye vannstands stasjoner, Rund-dansen og rv 303 (blå). Tidevannsnivåene er målt i Helgeroa, men korrigert til farvannene ved Sandefjordsfjorden (lys blå). Foto viser trykksensorplassering nedstrøms rv 303.

4 Måleresultater og beregninger

4.1 Vannlinjemålinger under flomepisode i Istreelva 2. september 2015

Svært mye nedbør i perioden 1.-3. september førte til den høyeste vannføringen i Istrelva siden vannføringsmålingene startet i mars 2007 og sannsynligvis blant de høyeste siden 1987 hvis ikke den høyeste. Vannføringen ved målestasjonen oppstrøms Rund-dansen og Syrristveien kulminerte på 23,8 m^3/s kl 07:00 normaltid (08:00 sommertid), se fig. 4.4. (estimert flomfrekvens ca 20 år gjentaksintervall, men kort måleserie gir usikre beregninger). Under denne flomhendelsen ble det foretatt målinger av vannlinjene i nedre del av vassdraget. Dette arbeidet ble utført av NVE, Region Sør. Målingene ble utført med GPS baserte instrumenter som fastsetter høydenivåene svært nøyaktig. Som følge av disse målingene ble det mulig å bestemme gradienten/ fallet på elveløpet fra kulvert ved Syrristveien til Hemskilen, se kart i fig. 4.2a og diagram i fig. 4.3. Målingene ble utført da vannføringene var på det høyeste 2. september. Flere av høydemålingene og bildematerialet som foreligger fra denne flomhendelsen er registrert på ca samme tidspunkt (07:00-08:30 normaltid).

Fig 4.1 Fra Rund-dansen 2. september. Vannstand 2,04 m (NN1954). Dette tilsvarer ca 70 cm over laveste punkt på veien. Lite bilde viser en situasjon fra 5/5 – 2015 kl 14:31 med en vannføring på 0,1 m^3/s. Høydeforskjell mellom lavest punkt på vegbane og vannspeil antas å være på ca 140 cm (lavt tidevann ca -20 cm). Laveste punkt på vegbane er anslått til å være 1,35 moh, basert på digital terrengmodell (DTM) for området.

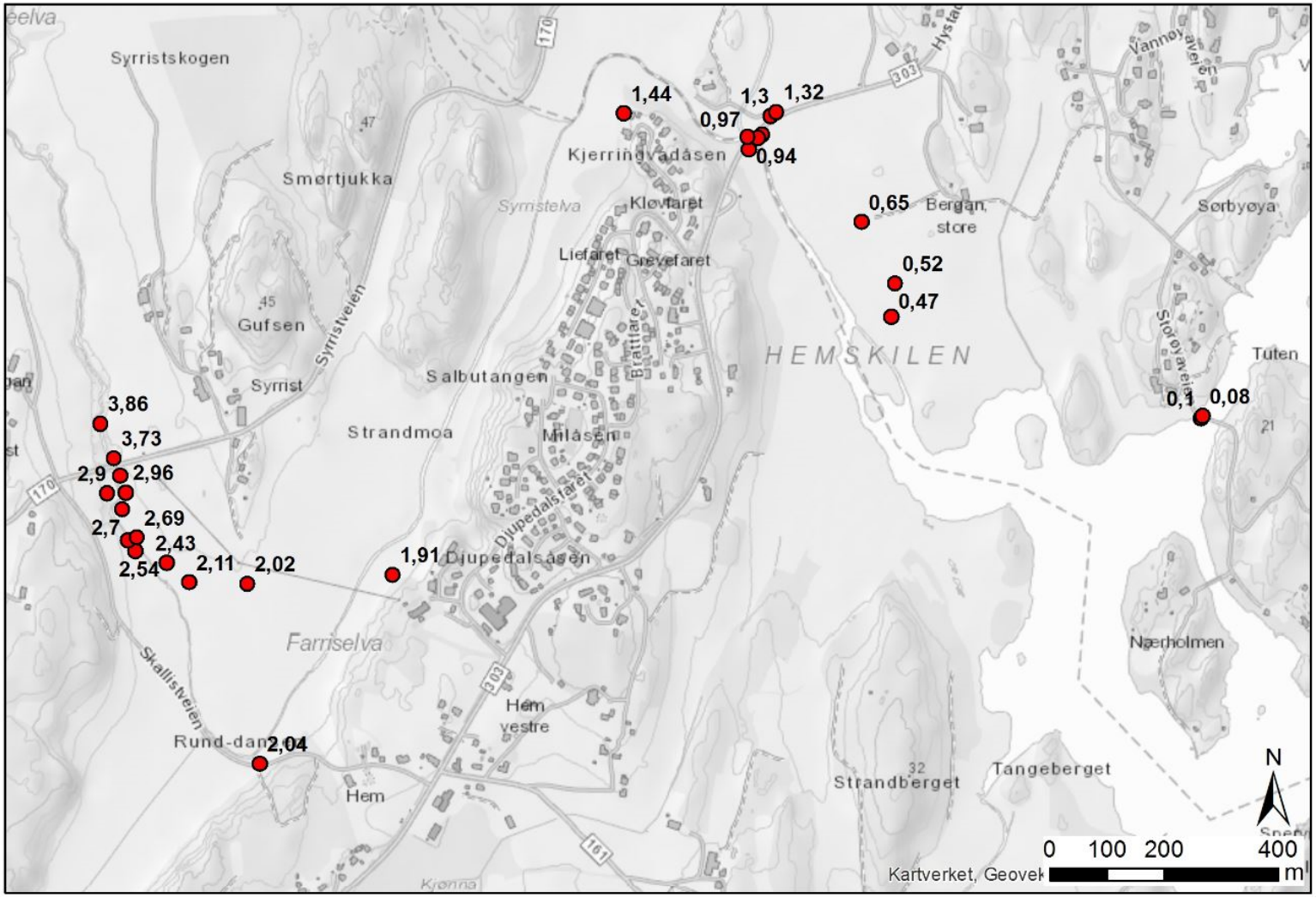


Fig 4.2a Lokaliteter for målte vannstander (m) i Istreelva og Hemskilen (NVE, GPS, NN1954) fra flomhendelsen 2. september 2015.

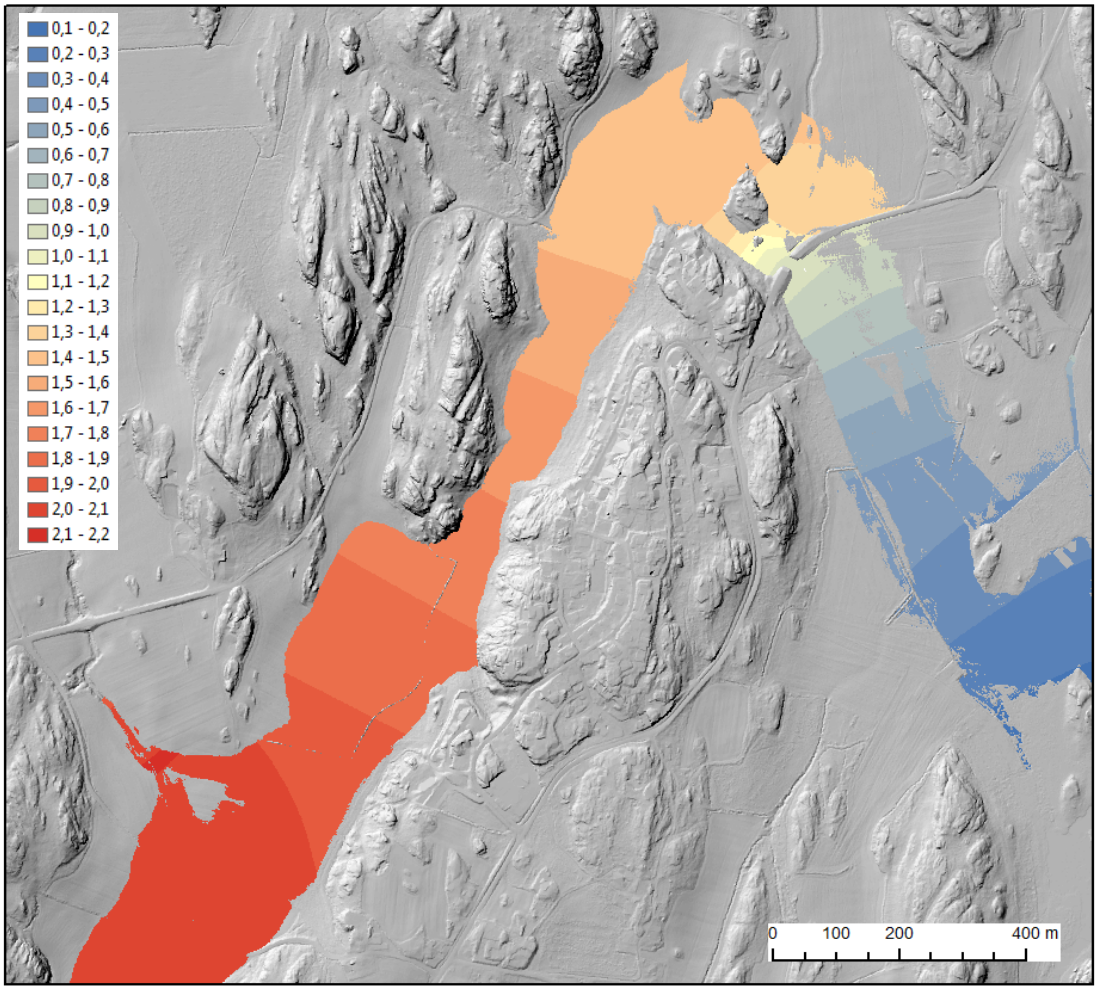


Fig 4.2b. **Kart som viser rekonstruksjon av vannlinjer under flommen 2/9 basert på punktmålinger av vannstand fra kart i fig 4.2a.**

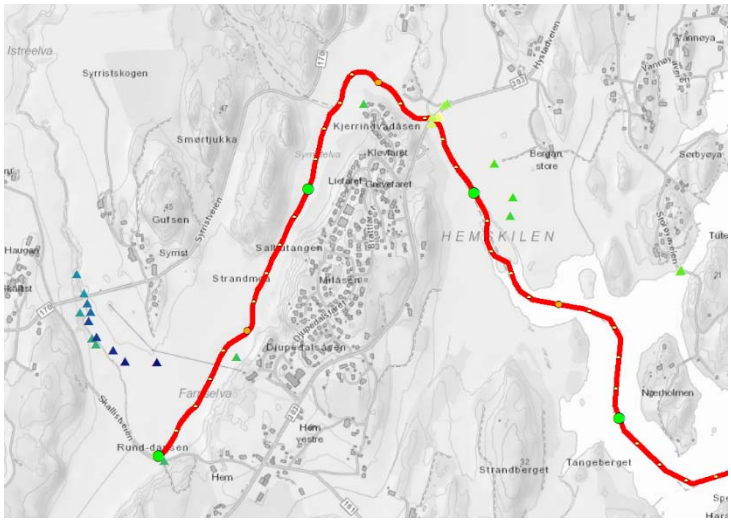


Fig 4.2c **Avstand hver 100 m fra Runddansen til Hemskilen gjennom elvestrengen i Istreelva Målte vannstander (GPS) fra flomhendelsen 2. september 2015 (trekanter).**

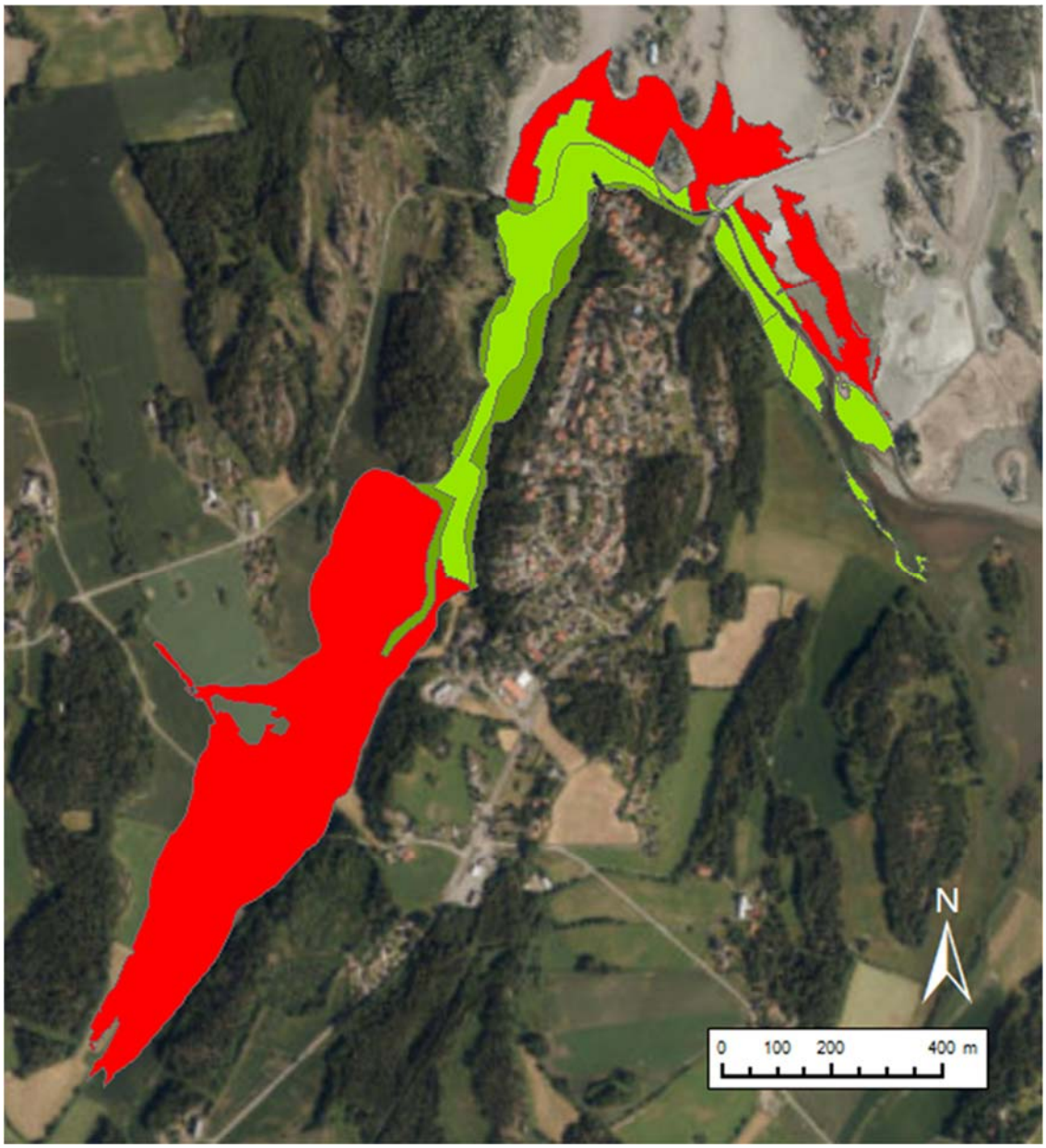


Fig 4.2d **Kart som viser landskapstype som ble berørt av flommen 2/9-2015. Arealer er vist i tabell 4.1. Rød: Jordbruksområde, Mørk grønn Skog, Lys grønn: Myr og åpent område. Flomberørte områder langs Haslebekken og videre opp langs Istreelva er ikke inkludert.**

Tabell 4.1 ***Arealet (km² og Ha) av områder som ble berørt av flommen 2/9-2015. Flomberørte områder langs Haslebekken og videre opp langs Istrelva er ikke inkludert og kommer i tillegg.***

	Km²	Ha
Dyrket mark	0,30	30,0
Skog	0,10	9,7
Myr + åpent område	0,03	3,1
Totalt	0,43	43,0

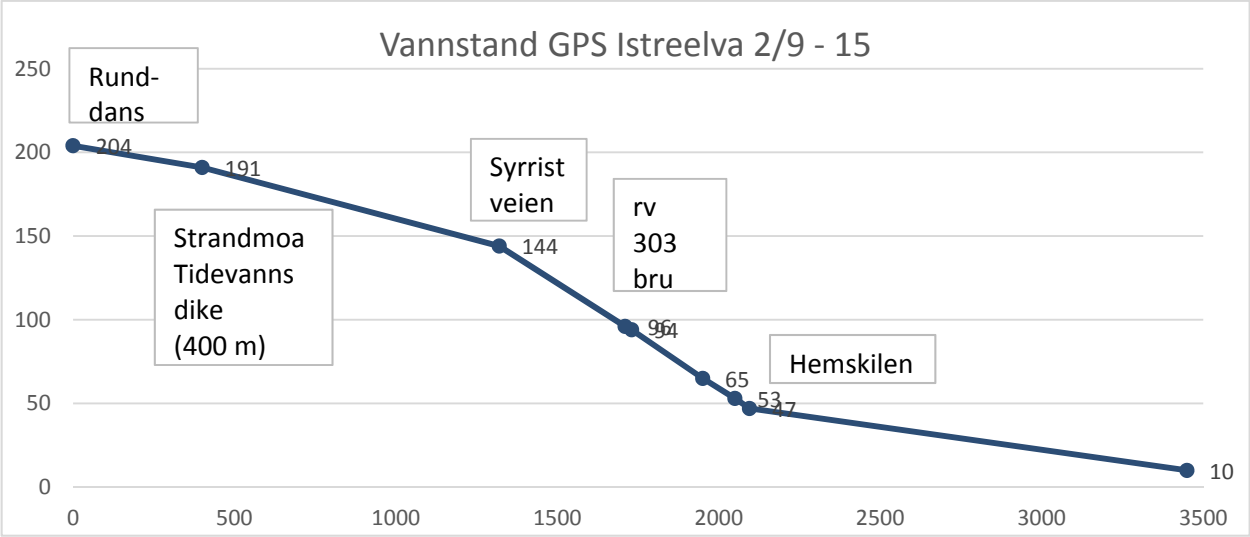


Fig 4.3a. **Målte vannstander (GPS) fra flomhendelsen 2. september 2015. Plottet som gradient fra Runddansen (0m) til bro ved utløp Hemskilen (3450 m). Høyder er over 0 nivå NN1954 (cm). Basert på kart i fig. 4.2. Registret vannføring 2/9 – 2015 var den høyeste siden målingene startet i mars 2007. Høydenivå ved utløpet av Hemskilen 10 cm reflekterer tidevannsnivået på det aktuelle tidspunktet.**

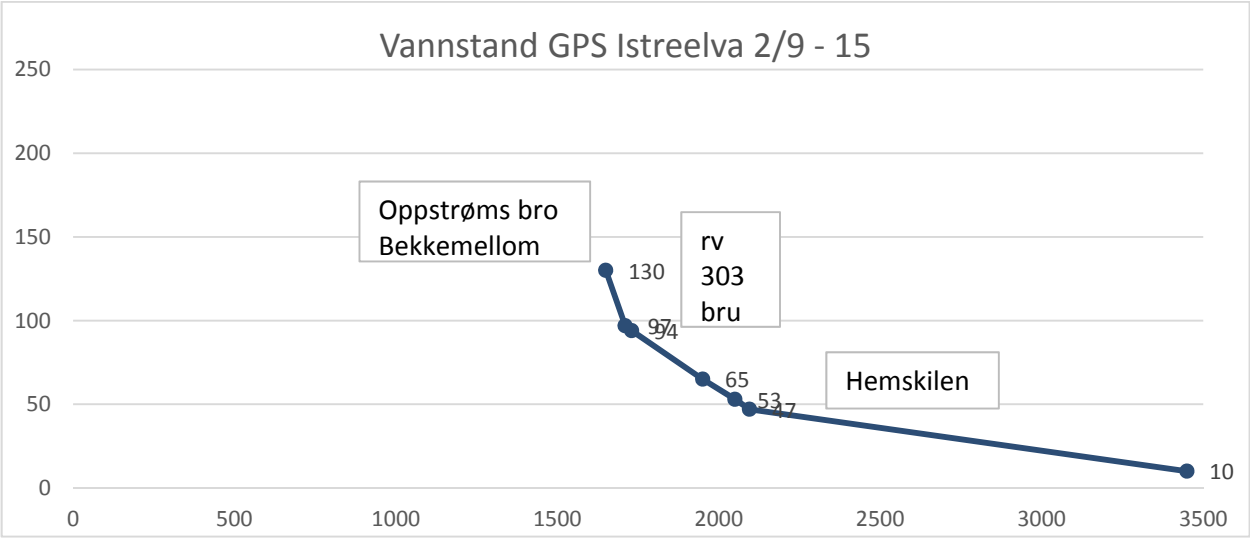


Fig 4.3b. **Målte vannstander (GPS) fra flomhendelsen 2. september 2015. Plottet som gradient fra oppstrøms «bro ved Bekkemellom (1610)» i Marumsbekken til bro ved utløp Hemskilen (3450 m). Høyder er over 0 nivå NN1954 (cm). Basert på kart i fig. 4.2.**

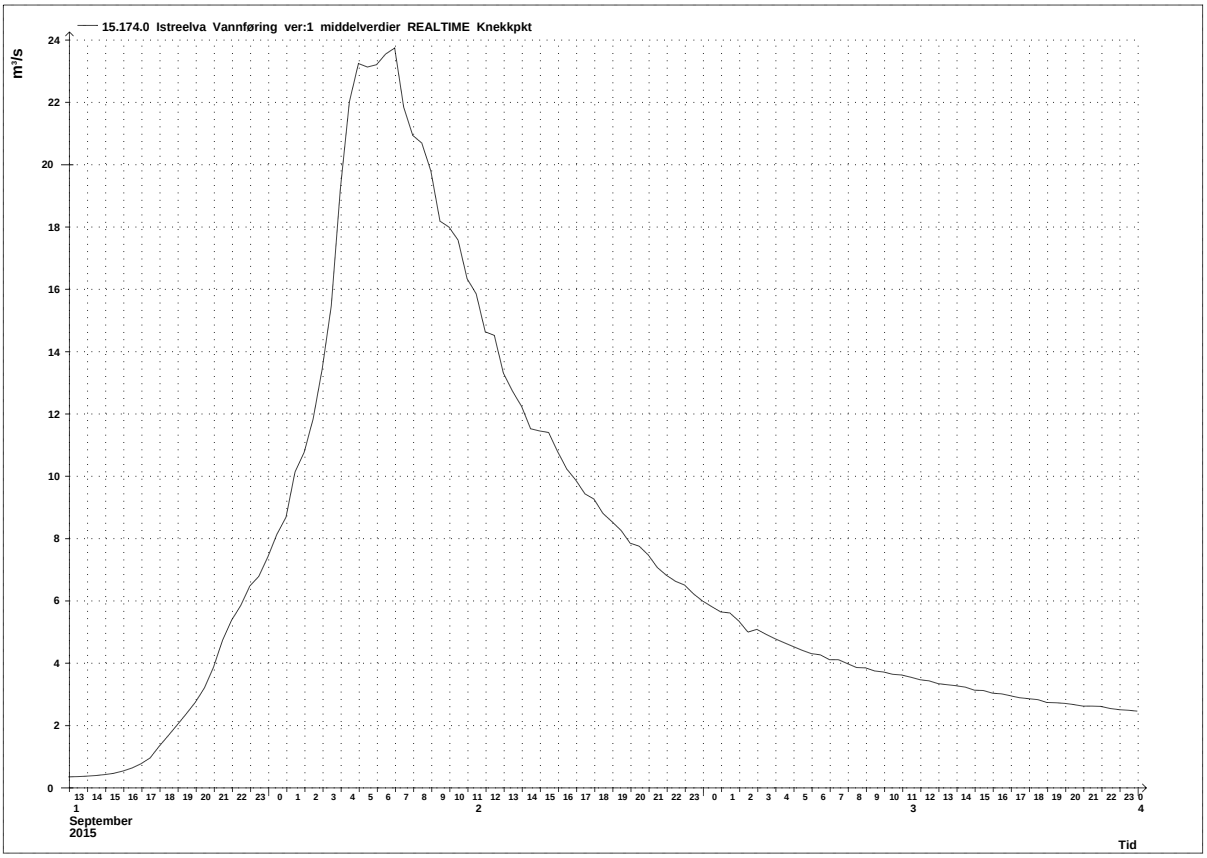


Fig 4.4 Hydrogram som viser forløpet av flommen 2. september 2015. Kulminasjonvannføringen var på ca 23,8 m³/s kl 07:00 normaltid.

Målte vannstander (GPS) fra flomhendelsen 2. september 2015 plottet som gradient fra Runddansen (0 m) til broa ved utløpet av Hemskilen (3450 m) er vist i fig. 4.3a og fra nedre del av Marumsbekken i fig. 4.3b. Høyder er over 0 nivå NN1954 (cm). Dataene er basert på innmåling av vannlinjer som ble foretatt 2. september, se kart i fig. 4.2. Kart som viser landskapstype som ble berørt er vist i fig 4.2d. Arealer er vist i tabell 4.1. Se for øvrig lengdeakse langs elveløpet som vist i fig. 4.2c. Høydenivå ved utløpet av Hemskilen 10 cm reflekterer tidevannsnivået på det aktuelle tidspunktet. Tidevannsnivå på 10 cm tilsier 19 cm høyere enn middelvann (MSL), se fig. 2.4, som er 116 cm lavere stormflonivåene fra februar 1990 (126 cm).

Knekkpunkter i diagrammet reflekterer bestemmende profiler (terskler/knekkpunkter) i vassdraget. Knekkpunktene i diagrammet viser ikke nødvendigvis dette nøyaktig, men et bestemmende profil kan være oppstrøms eller nedstrøms disse punktene.

Målinger fra området ved Syristveien/ Kjerringvadåsen (nedre sving, se kart) og broa ved Rv 303 viser en høydeforskjell på ca 50 cm, over en strekning på 300 til 350 m. Det er også en høydeforskjell mellom deltaet i Hemskilen og nedstrøms broa ved rv 303 på ca 50 cm. Ved utløpet av Hemskilen ble vannstanden målt til ca 10 cm. Vannstanden faller også med ca 50 cm på strekningen Strandmoa (tidevannsdike ca 400 m, se kart fig. 4.2c) til Syristveien/ Kjerringvadåsen (nedre sving). Den største gradienten ble lokalisert mellom området oppstrøms lokal bro ved samløpet Istreelva og Marumsbekken og Rv

303. Det ble målt en vannstandsforskjell på 35 cm fra området oppstrøms broa i Marumsbekken og vannstanden ved rv 303 som er over en strekning på 50 m, se fig. 4.3b

Målt vannstand (GPS) i Hemskilen kl 09:05 var på 10 cm, men målinger i Helgeroa på dette tidspunktet var på 15 cm, dvs avvik på ca 5 cm. I følge frekvensdiagrammet er dette er ca 20-25 cm høyere enn middelvann (MSL), se fig. 2.4. En situasjon med høyere tidevann ville sannsynligvis forsterket oppstuvningen i vassdraget. For å gjøre beregninger av dette må det enten opprettes vannstandsmålere i området som registrerer situasjonen når den oppstår, eller det kan gjøres hydrauliske modelleringer av forskjellige scenarier. Figur 4.5 – 4.11 viser vannstanden forskjellige steder i vassdraget under flommen 2. september. Noen bildemontasjer er sammenlignet med andre hendelser i vassdraget (fig. 4.7 – fig. 4.9).

Det ble også tatt en vannprøve i Istreelva nedstrøms rv 303 som er analysert mhp suspensjonskonsentrasjon. Denne viser en konsentrasjon på ca 80 mg/l. Dette gir anslagsvis en suspensjonstransport på mellom 150 og 200 tonn i løpet av flomepisoden i Hemskilen. Dette er et noe usikkert estimat, siden det kun dreier seg om en vannprøve og vannføring fra målestasjonen ca 2,5 km oppstrøms.

Det ble gjennomført befaringer i dette området noen dager etter flommen for å kartlegge synlige konsekvenser av flomepisoden. Det var særlig pålagring av flomsedimenter (flomavsetninger) på elvesletten langs vassdraget som var målet for denne befaringen. Lokalisering av strekninger med bestemmende profiler (knekkpunkter på kurven) for oppstuvningen under denne flommen og flomsituasjoner generelt var også en viktig målsetning.

Fig 4.5 Vannstand 25/8 2015 var 46 cm over ca laveste punkt på veibane (kl 18:15).Vannføring Istreelva kl 18:00, 6,1 m^3/s.

Fig 4.6 Vannstand 2/9 2015 var 70 cm over ca laveste punkt på vegbane (kl 09:00). Vannføring Istreelva kl 08:00, 23,8 m^3/s. Nøyaktig måling (GPS) av vannstand ca kl 0900 2/9-2015 var 2.04 m (fig. 4.1 og fig. 4.5a) som er ca 43 cm høyere enn observasjoen fra 25/8 (fig. 4.5).

Fig 4.7 Vannstand bro Rv 303 25/8 kl 18:00. Vannføring Istreelva kl 18:00, 6,1 m^3/s. Tidevann 12 cm.

Fig 4.8 Vannstand bro Rv 303 2/9 kl 08:00. Vannføring Istreelva kl 08:00, 23,8 m^3/s. Klaring opp til brudekke var ca 89 cm. Tidevann 10 cm.

Fig 4.9 Vannstand bro Rv 303 11/9 kl 12:00. Vannføring Istreelva kl 12:00, 0,2 m^3/s. Tidevann (minus) -36 cm.

Fig 4.10 Istreelva mot Hemskilen fra bro Rv 303 2/9 kl 09:00. Vannføring Istreelva kl 08:00, 23,8 m^3/s.

Fig 4.11 Istreelva venstre bredd, nedstrøms bro Rv 303 2/9 kl 09:00. Vannføring Istreelva kl 08:00, 23,8 m^3/s.

4.2 Feltobservasjoner etter flommen 2. september 2015

Det ble ikke funnet synlige spor etter flomsediment avsetninger langs elveløpet eller på den omkringliggende elvesletten i etterkant av flommen 2/9 2015, se bilder i fig. 4.12 Stedvis ble det observert blokkeringselementer i elveløpet som virker oppstuvende og hindrer vannstrømmen, noe som kan forsterkes i flomsituasjoner. Observasjonene er gjort på lav vannføring og svært lavt tidevannsnivå 11/ 9 -2015. Vannføringen i Istreelva kl 12:00, var på 0,2 m^3/s og hadde vært synkende uten store hendelser siden flommen 2/9. Tidevannstanden var lav, -36 cm (minus) (NN1954), som er 3 cm høyere enn laveste astronomiske lavvann (se fig. 2.4).

Fig 4.12 **Ingen spor etter flomsedimenter noe sted langs elveløpet etter flommen 2/9-2015, (foto 11/9-2015).**

Det ble påvist fire lokaliteter hvor avsetninger/ blokkeringselementer i elveløpet sannsynligvis virker oppstuvende på vannstrømmen, se fig. 4.13.

1. Lokalitet 1: Avstand ca 800 m, se fig. 4.13. Forekomster av trestammer og diverse materiale som stuver opp vannføringen, se bilde i fig. 4.14. Arbeidet med rensking av denne delstrekningen og videre opp til Rund-dansen ble imidlertid utført senere på høsten 2015.

2. Lokalitet 2: Avstand ca 1630 m, se fig. 4.13. om lag 75 m oppstrøms broa (rv303). Steinterskel i elveløpet som hindrer vannstrømmen, (se fig. 4.15a) og virker sannsynligvis oppstuvende i situasjoner med høy vannføring. Terskelen hindrer senkning av elveløpet oppstrøms og kan virke som erosjonsbasis for elveløpet oppstrøms. Det er synlige spor på vegetasjon etter sterk strøm over elvebanke under flommen, se fig. 4.15b. Disse faktorene er trolig en del av årsaken til vannstandsforskjeller på denne strekningen. Steinterskelen kan ha kommet til under tidligere arbeid med rv 303. Opprensking bør vurderes/ anbefales, se fig. 4.15a og 4.15b.

3. Lokalitet 3: Avstand ca 1720, under bro rv 303. Forekomster av steinblokker under rv 303. Disse forekomstene framstår som et hinder for vannstrømmen og har sannsynligvis ikke noen stabiliserende funksjon for brokonstruksjonen, se fig. 4.16ab. Opprensking bør vurderes i samråd med vegvesenet. Opprensking anbefales.

4. Lokalitet 4: Marumsbekken, lokal privat bro. Steinblokker som trolig har falt ut fra støttemur under broa og langs elva lokalt, se fig. 4.17. Disse hindrer vannstrømmen og virker sannsynligvis oppstuvende. Observasjoner og målinger fra flommen 2/9-2015 påviser lokale oversvømmelser fra Marumsbekken i og oppstrøms dette området, med vannstandsforskjeller på 0,35 m mellom bro ved rv 303 og områdene oppstrøms lokal privat bro, se kart og diagram i fig. i 4.2 og fig. 4.3b. Opprensking anbefales.

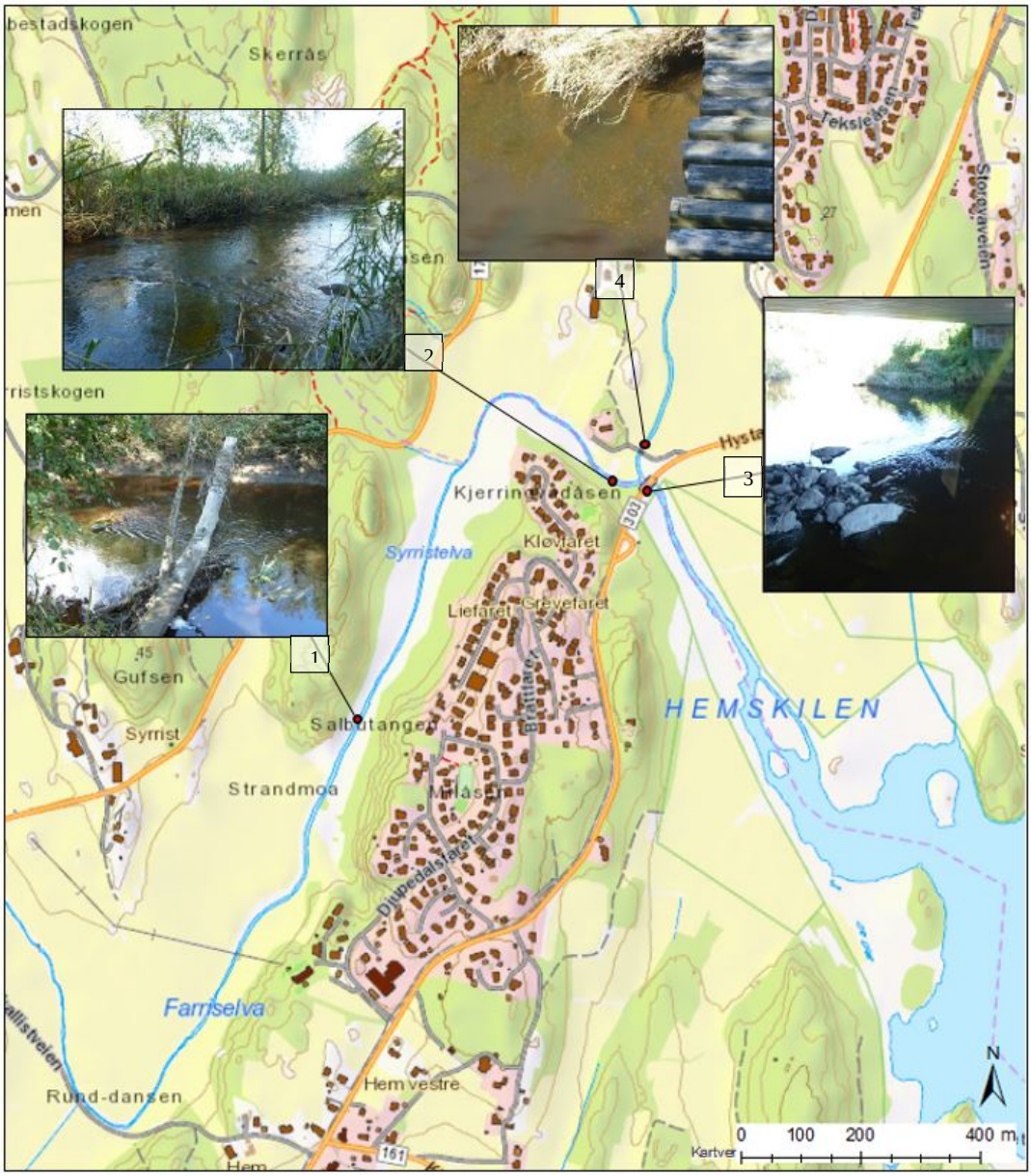


Fig 4.13 Oversiktskart som viser områder hvor avsetninger i elveløpet sannsynligvis virker oppstuvende på vannstrømmen.

Fig 4.14 Forekomster av trestammer og diverse materiale som stuver opp vannføringen (lokalitet 1).

Fig 4.15a Steinterskel som hindrer vannstrømmen, (lokalitet 2).

Fig 4.15b **Spor av sterk strøm over elvebanke. Steinterskel i elveløpet som hindrer vannstrømmen, (lokalitet 2).**

Fig 4.16a **Forekomster av steinblokker under rv 303. Disse forekomstene framstår som et hinder for vannstrømmen og har sannsynligvis ikke noen stabiliserende funksjon for brokonstruksjonen (lokalitet 3).**

Fig 4.16b Forekomster av steinblokker under rv 303. Disse forekomstene framstår som et hinder for vannstrømmen og har sannsynligvis ikke noen stabiliserende funksjon for brokonstruksjonen (lokalitet 3). Store forekomster også under vannspeilet.

Fig 4.17 Forekomster av steinblokker under lokal bru over Marumsbekken. Hindrer vannstrømmen og virker sannsynligvis oppstuvende (kommer ikke godt fram på bildet), (lokalitet 4).

4.3 Sammenligning av vannstander i 2007 og 2015

Syrristelva og Haslebekken senkingslag har i løpet av 2014 og 2015 gjennomført en opprensking av elveløpet på det meste av strekningen mellom rv 303 og Rund-dansen (ca 900-1500 m i fig. 4.2c). Halve strekningen mellom rv 303 og Rund-dansen ble rensket i 2014. Den resterende strekningen opp til Rund-dansen ble rensket høsten 2015 (ca 0 – 900 m i fig. 4.2c).

Sporadiske observasjoner og fotodokumentasjon av vannstanden under flomepisoder i 2007 og i 2015 før og etter de siste opprenskingene viser at disse tiltakene har hatt en viss effekt. De manuelle observasjonene er basert på måling av vannstanden ved det laveste punktet på veibanen i Rund-dansen. Høydegrunnlaget er bestemt utfra laserkartet (DTM) som er vist i fig. 4.18.

25/8-2015: Vannføringen under flomepisoden 25/8 hadde et maksimum på ca 7,2 m^3/s. Observert vannstand ved Rund-dansen og ved rv 303 ca 3 timer senere, er vist i fig. 4.20a og fig. 4.21. Vannføringen hadde da sunket til ca 6,1 m^3/s. Tidevannsnivået på dette tidspunktet var på ca 12 cm. Senere innmålinger av vannstandsnivåer ved hjelp av GPS gjør det mulig å anslå vannstanden ved Rund-dansen og rv 303 på foto tidspunktene i fig. 4.20 og fig 4.21.

Vannstanden ved broen (rv 303) estimert fra målinger GPS (2/9) og kjente merker på broen er ca 40 cm. Vannstanden ved Rund-dansen var: Ca 135 cm (høyde veg) pluss målt dyp på 46 cm ved laveste punkt, som gir total høyde på ca 181 cm.

4/12-2015: Vannstanden ved broen (rv 303) estimert fra målinger GPS (2/9) og kjente merker på broen blir ca 44 cm, se fig. 4.20b. Vannstanden ved Rund-dansen var: Ca 135 cm (høyde veg) pluss målt dyp ved laveste punkt 15 cm som gir total høyde på ca 150 cm, se foto i fig. 4.22. Vannføringen var ca 8,9 m^3/s og tidevannsnivået ca 12 cm på samme tidspunkt.

2/9-2015: Vannstanden ved broen (rv 303) basert på målinger med GPS (2/9), var 94 cm og vannstanden ved Rund-dansen 204 cm. Vannføringen var ca 23,8 m^3/s og tidevannsnivået ca 10 cm på samme tidspunkt.

4/7-2007: Vannføringen under flomepisoden 4/7 hadde et maksimum dagen før, på ca 8,5 m^3/s. Vannføringen på fototidspunktet var ca 7,5 m^3/s. Det er ikke målt vannstand ved Rund-dansen eller ved rv 303 under denne hendelsen, men ut fra fotografiet ser det ut til at vannstanden ved Rund-dansen ligger noe høyere enn under hendelsen 25/8-2015 (anslagsvis 15 cm) ved noe høyere vannføring (1,0-1,5 m^3/s), se fig. 4.24.

Den siste opprenskingen av elveløpet opp til Rund-dansen, ble utført noen uker før flomhendelsen 4. desember 2015. Maksimums vannføringen 4. desember var ca 8,9 m^3/s, som er ca 2,8 m^3/s høyere enn vannføringen på fototidspunktet 25. august 2015, og ca 1,4 m^3/s høyere enn på fototidspunktet 4. juli 2007. Vannstanden ved Rund-dansen 4. desember var likevel henholdsvis ca 30 cm og ca 45 cm lavere enn ved de to andre hendelsene. Tilsiget og avløpsvolumet varierer noe i disse episodene, men opprenskingen har hatt en effekt på opp mot en halv meter ved flomepisoder av denne størrelsesorden. Forskjellene ved rv 303 (ikke foto fra 2007) var bare noen få cm, se fig. 4.20ab. Bildemontasjene i fig. 4.20 til fig. 4.24 viser høydeforskjellen på vannlinjene under

flommen 2. september sammenlignet med de andre hendelsene. Tidevannsnivået var svært likt under alle tre episodene, samt under episoden 4. juli 2007.

Sammenligning av den målte gradienten fra Hemskilen til Rund-dansen ved episodene 25/8 og 4/12, som hadde sammenlignbare vannføringsforhold, gir en estimert senkning på mellom 30 og 45 cm (muligens mer, pga at vannføringen 4/12 var noe større enn 25/8-2015 og 4/7 -2007), se fig. 4.19. Det er arbeidet høsten 2015 som sannsynligvis har gitt størst effekt. Mindre vegetasjon langs elveløpet i desember enn i juli og august kan også ha hatt en innvirkning på avrenningsforholdene. En del av den resterende oppstuvningen skyldes sannsynligvis blokkeringselementer i elveløpet oppstrøms og ved rv303. Lav kapasitet i løpet ved lokal bru innvirker i Marumsbekken ved høye vannføringer.

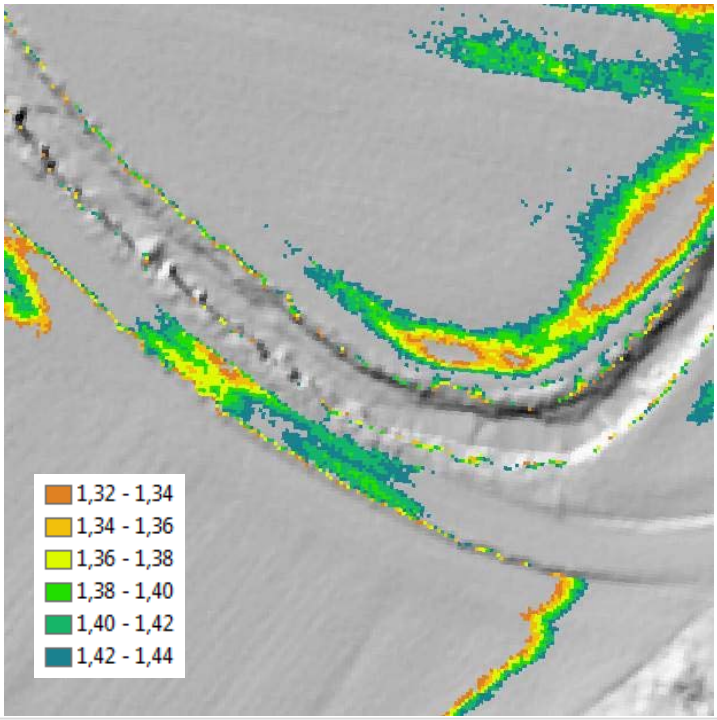


Fig 4.18 Høydedetaljer ved laveste punkt på vegen ved Rund-dansen, enhet meter (NN1954).

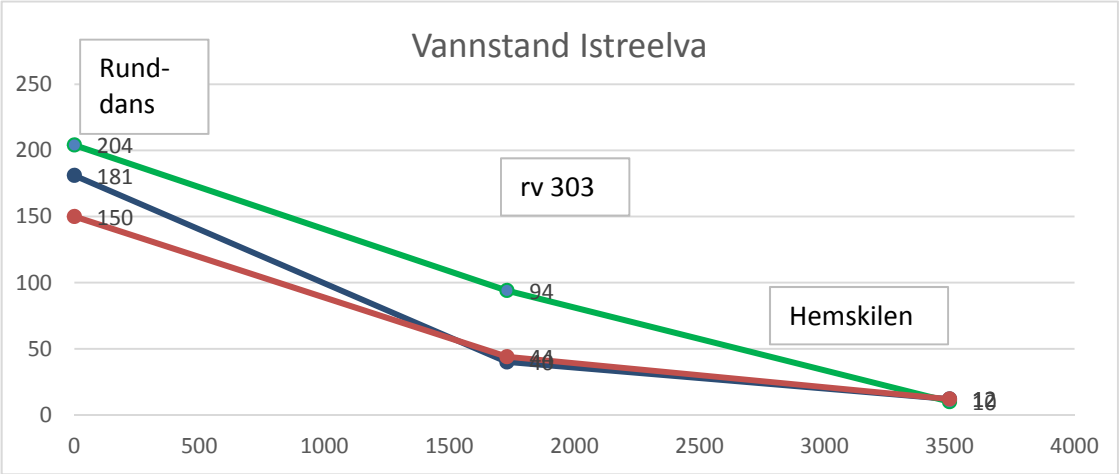


Fig 4.19 **Total gradient (cm) mellom Rund-dansen, rv 303 og utløpet ved tre episoder i 2015, blå 25/8, grønn flom 2/9 og rød 4/12 (etter utvidelse av elveløp opp til Rund-dansen).**

Fig 4.20 Vannstand rv303: A: 25/8-2015, B: 4/12-2015 og C 2/9-2015.

A: vst (NN1954) ca 40 cm (vannf, 6,1 m^3/s), havnivå 12 cm.

B: vst (NN1954) ca 44 cm (vannf, 8,9 m^3/s), havnivå 12 cm.

C: vst (NN1954) gps 94 cm (vannf, 23,8 m^3/s) havnivå 10 cm.

Fig 4.21 Rund-dansen 25/8 -2015, vst ca 181 cm, vannføring 6,1 m^3/s (NN1954).

Fig 4.22 Rund-dansen 4/12-2015, vst ca 150 cm, vannføring 8,9 m^3/s (NN1954).

Fig 4.23 **Runddansen 2/9-2015, vst GPS 204 cm, vannføring 23,7 m^3/s (NN1954).**

Fig 4.24 **Runddansen 4/7-2007, vannstand ikke målt, men var noe høyere enn 25/8 -2015. vannføring 7,5 m^3/s (NN1954).**

4.4 Kartanalyser

Kartutsnittet i fig. 4.25 viser punkter med målt vannstand (GPS) under flommen 2. september oppstrøms og nedstrøms broene ved Hemskilen. Det var et fall fra området oppstrøms lokal bro og ned til rv 303 på 30 -35 cm. Likeledes et fall på ca 45 cm fra odden ved Kjerringvadåsen til rv 303.

De målte vannstandene er overført til digital terrengmodell (DTM) for området i fig. 4.26. Kartet viser en rekonstruksjon av vannlinjene og flomsonene i området. Legg merke til at sadelpunktet merket med blå pil har en laveste terrenghøyde på ca 80 cm. Dette betyr at vannstrømmen også kan gå over dette punktet i en slik situasjon.

De røde feltene på kartet i fig. 4.27 representerer høyder i intervallet 1,2 – 1,3 m og de grå feltene områder høyere enn 1,3 m. Dreneringsveiene er via de smaleste passasjene merket med sorte piler. I disse punktene ble det også påvist blokkeringselementer/ steiner i elveløpet som sannsynligvis hindrer vannstrømmen (fig. 4.17). Lignende steinblokker ble også observert i løpet under rv 303 (fig.4.16ab).

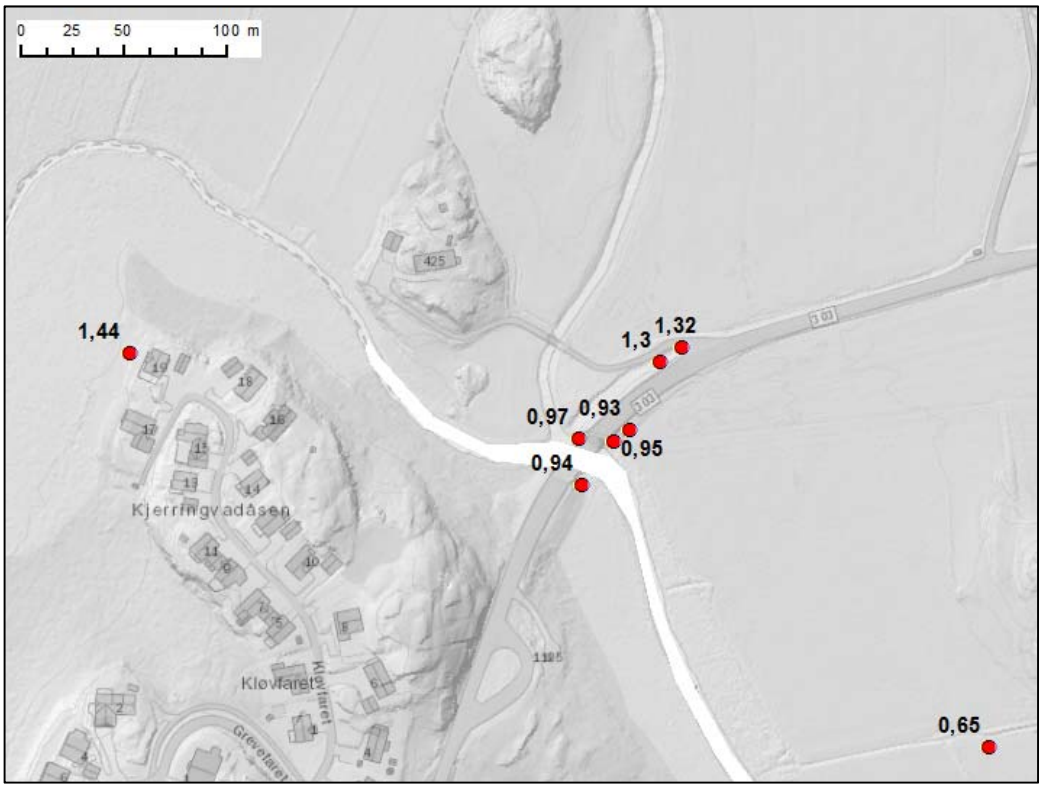


Fig 4.25 **Kartutsnittet viser punkter med målt vannstand (GPS) under flommen 2. september oppstrøms og nedstrøms broene ved Hemskilen. Det var et fall fra området oppstrøms lokal bro og ned til rv 303 på 30 -35 cm. Likeledes et fall på ca 45 cm fra odden ved Kjerringvadåsen til rv 303.**

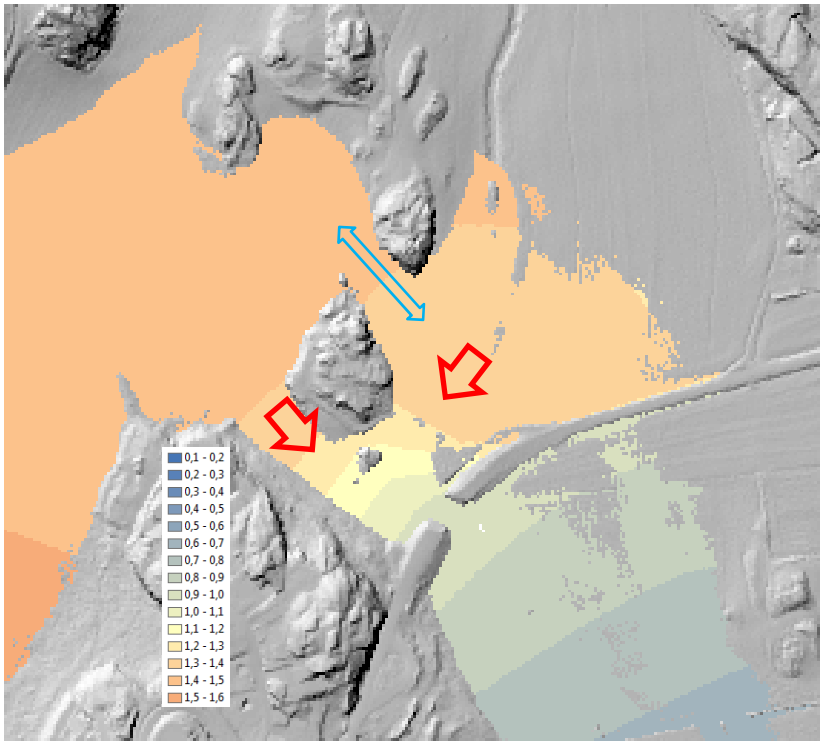


Fig 4.26 Målte vannstander i Hemskilen 2/9 – 2015 overført til digital terrengmodell (DTM). Kartet viser en rekonstruksjon av vannlinjene og flomsonene i området basert på målingene vist i fig. 4.28. Legg merke til at sadelpunktet merket med blå pil har en laveste terrenghøyde på ca 80 cm. Dette betyr at vann-strømmen også kan gå over dette punktet i en slik situasjon. Røde piler viser til passasjer der vannstanden faller mest.

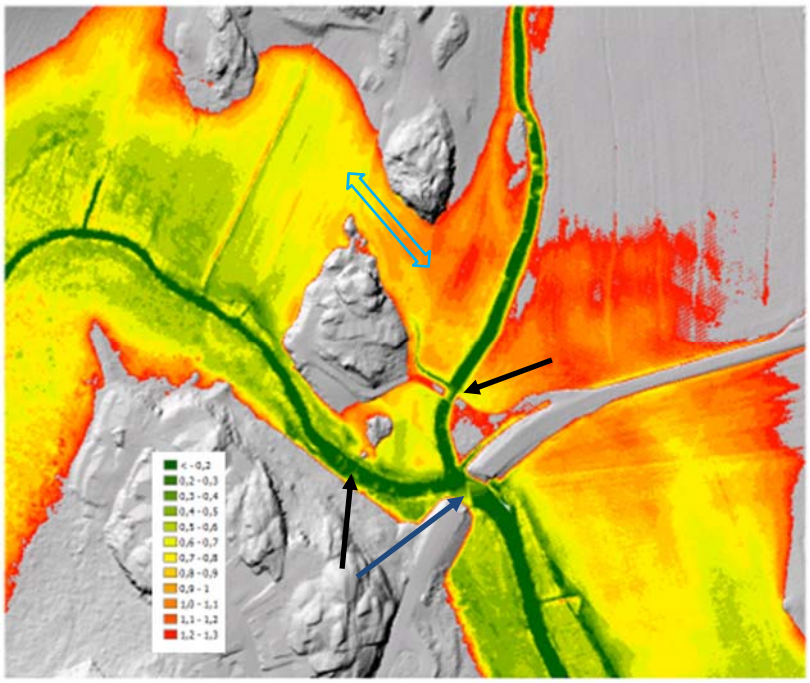


Fig 4.27 Detaljert digital terrengmodell (DTM) over området ved rv 303 i Hemskilen. Mørke røde felter viser områder i høyde-intervallet mellom 1,2 -1,3 m. Den eneste åpne drenerings-veien er via de smaleste passasjene merket med sorte piler. I disse punktene og i kanalen under rv 303 ble det også påvist blokker-ingselementer/ steiner i elveløpet som sannsynligvis hindrer vannstrømmen. I sadel-punktet merket med toveis pil kan vannstrømmen passere begge veier når vannstanden er høyere enn ca 80 cm.

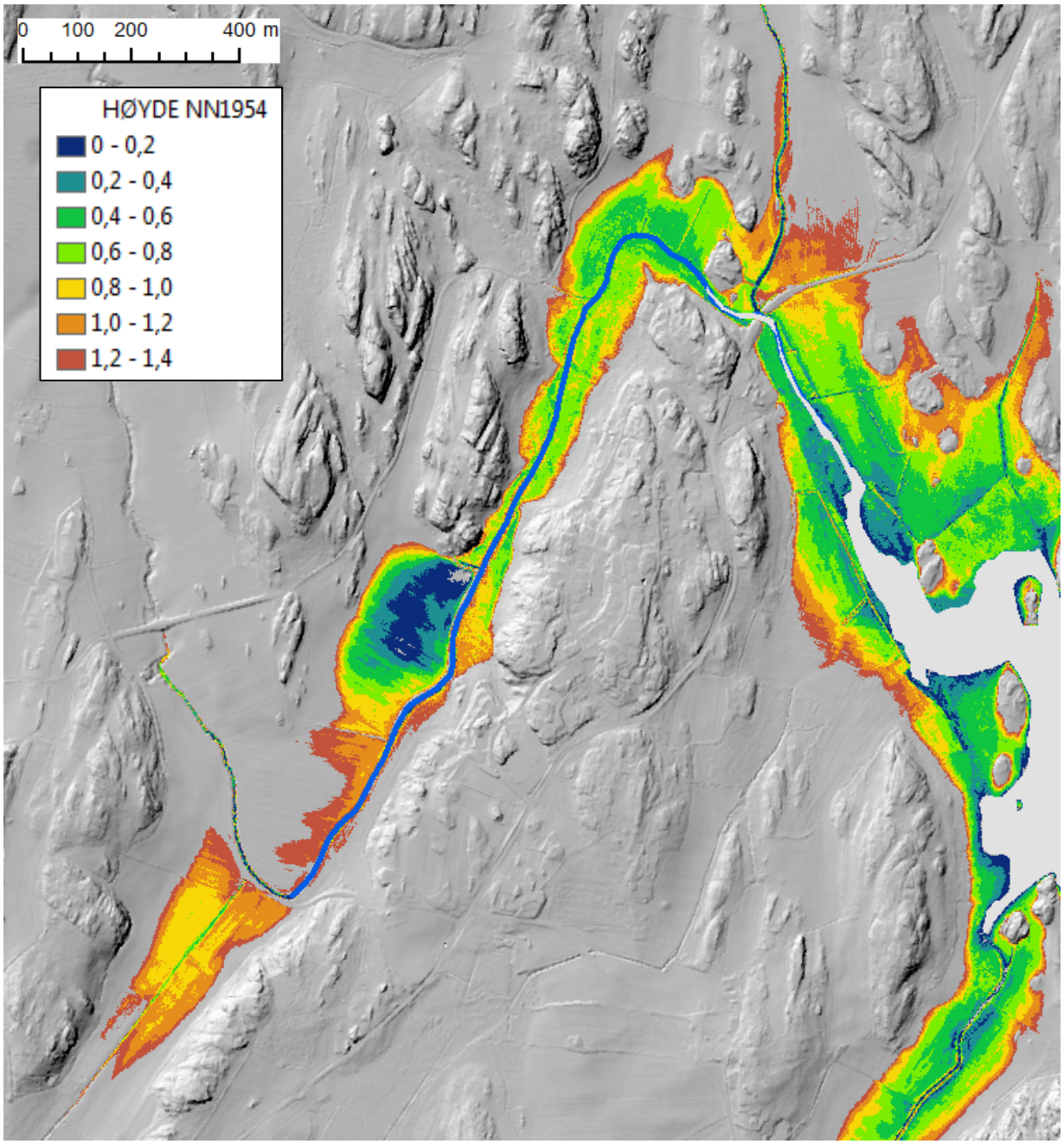


Fig 4.28 **Høydedetaljer nedre del av Istreelva og Marumbekken, enhet meter (NN1954). I henhold til nivådiagram for tidevann i fig. 2.4 vil arealer med høyde opp til og med 0,8 m (blå og grønne felt) være vanndekket med 1 års gjentaksintervall. Videre vil arealer opp til og med 1,0 m (gule felt) være vann dekket med 5 års gjentaksintervall. I kombinasjon med høyt tilsig vil vannstanden stedvis bli enda høyere.**

Flybildet i fig. 4.29 viser vannstanden i Haslebekken to dager etter en stor flomepisode. Under flommen som kulminerte 7. september 2011 ble trolig store områder tilsvarende som under flommen 2 september 2015 satt under vann. På bildet i fig 4.29 går det fram at de laveste arealene omkring Haslebekken med høyde på 0,8 – 1,0 m fremdeles er dekket med vann, selv om lavere liggende elvesletter lenger ned i vassdraget er tørrlagt (bortsett fra arealet bak tidevannsdiket). En medvirkende årsak til dette kan være nedsatt kapasitet i kulverten som drenerer ut i Istreelva.

Fig 4.29 **En del av elvesletten omkring Haslebekken er fremdeles oversvømmet ca 2 døgn etter flom kulminasjonen (pil). En medvirkende årsak kan være dårlig drenering ut av området. Lavereliggende elvesletter nedstrøms er tørrlagt, se høydedetaljer i fig. 4.28.**

4.5 Resultater vannstandsobservasjoner

Vannstander fra målestasjonene i Rund-dansen (15.174.2) og Hemskilen/ rv 303 (15.174.3) i perioden 17/3-2016 og fram til 29/5-2016 er presentert i fig. 4.30ab. Vannstandsmålingene er presentert sammen med vannføring og tidevann i samme periode. Den høyeste vannføringen i den utvalgte perioden var på ca 3,0 m^3/s. Målestasjonen for tidevann ligger i Helgeroa, men er korrigert (faktor 1,02) for å representere farvannet ved Hemskilen / Sandefjordsfjorden. Det kan også tidvis være noen unøyaktigheter mhp korreksjon av tidevannsverdiene pga avstand fra Helgeroa. Dette kan i korte perioder innvirke slik at tidevannet ligger inntil ca 2 cm høyere enn vannstanden ved Hemskilen/ rv 303.

Detaljer for perioden 4. april til 23. april 2016 er vist i fig. 4.30a. Diagrammet viser hvordan vannstanden ved Rund-dansen og Hemskilen/ rv 303 påvirkes av tidevannet. Når tidevannet står høyere enn -0,3 m kombinert med svært lav vannføring, (som i perioden 14 april -29 mai) er vannstanden den samme fra utløpet og inn til Rund-dansen. Når vannstanden i havet synker lavere inntreffer forskjellig minimums vannstandsnivå ved Rund-dansen, rv 303 og havnivået, henholdsvis -0,3 m, -0,42 m og –0,54 m. Dette kan indikere at en bestemmende terskel på delstrekningen mellom målepunktene hindrer vannstanden i synke like lavt som på strekningen nedstrøms.

Tverrprofilmålinger på den grunneste strekningen rett oppstrøms rv 303 (P13) viser at en svært liten del av tverrsnitts arealet ligger lavere enn -0,25 m. (absolutt min - 0,56 NN1954), se fig 5.3. Dette er en av årsakene til at vannstanden ikke kan synke vesentlig lavere på strekningen videre opp til Rund-dansen. Tilsvarende vil det grunne området i Hemskilen være bestemmende for minimumsvannstanden i den nedre delen av vassdraget. Målinger viser at vannstanden ved rv 303 ikke synker lavere enn ca -0.45 m selv om havnivået går lavere. Målt tverrprofil (P01) ved innløp Hemskilen har laveste nivå på -0,72 m (NN1954). Det kan imidlertid være andre kontrollpunkter i området som ikke er lokalisert.

Fig 4.30a og 4.30b viser hvordan vannføringen påvirker vannstanden i vassdraget. Ved en vannføring på 3,0 m^3/s stiger vannstanden ved Rund-dansen til 0,74 m, mens vannstanden ved rv 303 ble målt til 0,02 m. Samtidig var tidevannstanden på ca -0,20 m. Dette kan indikere en bestemmende terkel eller lav dreneringskapasitet på delstrekningene eller en kombinasjon av dette.

Springflo kombinert med lav vannføring i vassdraget ble observert i perioden 24/12 til 27/12 2006. Vannstanden ved Rund-dansen og rv 303 bro faller nesten sammen med vannstanden i havet, men en liten vannførings økning hever vannstanden noe ved Runddansen en kort periode, se fig 4.31a Vannstanden synker raskt når vannføringen i elva er lav, kapasiteten for å drenere tidevannet er stor nok.

Hva betyr høyere vannføring for vannstanden ved Rund-dansen og rv 303? Eksempel fra en situasjon med ca 6 m^3/s, er vist i fig 4.31 a. Vannstanden ved Runddansen stiger til 1,45 m og ved rv 303 til 0,23 m, mens havnivået varierer mellom -0,10 m og -0,35 m.

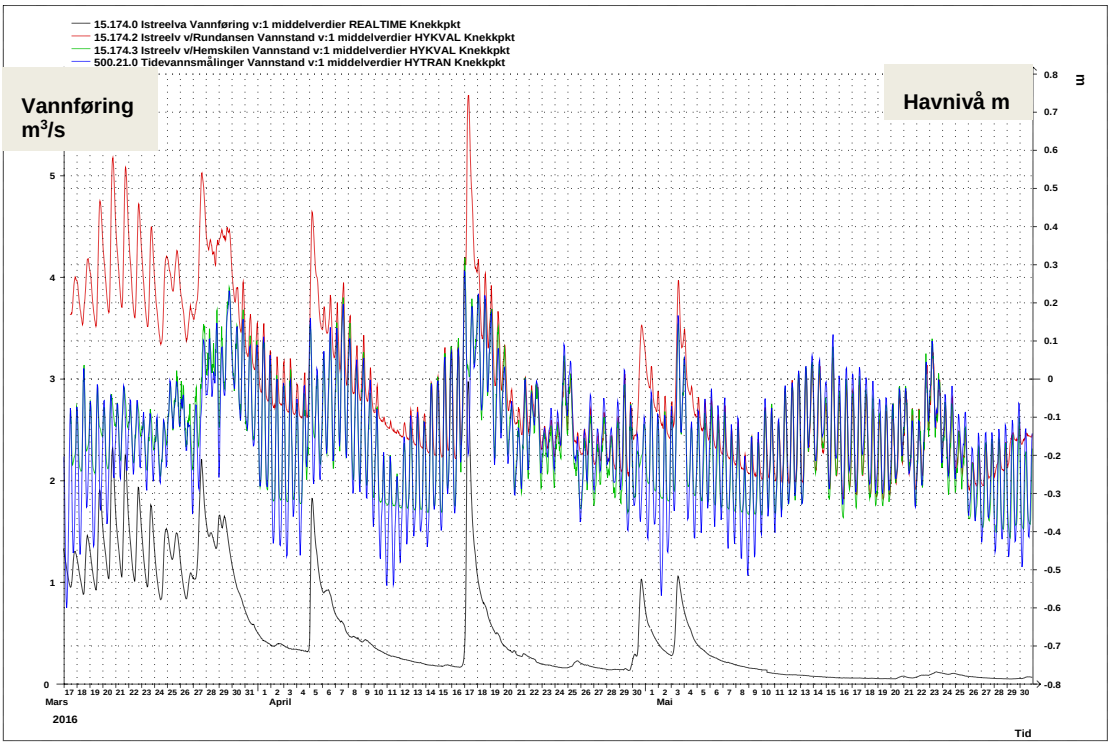


Fig 4.30a Figuren viser vannføring plottet sammen med vannstand ved Rund-dansen, rv 303 (Hemskilen) og havnivået korrigert til Sandefjordsfjorden i perioden 17. mars til 30 mai 2016.

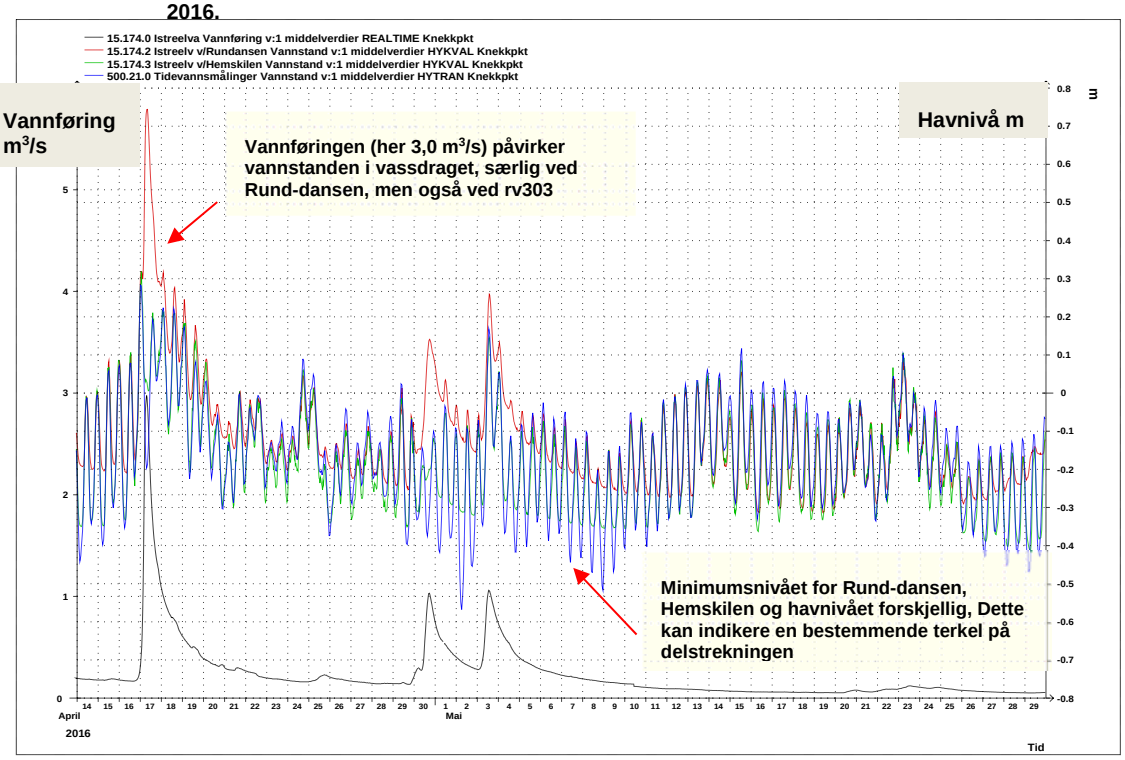


Fig 4.30b Detaljer fra fig. 4.30 for perioden 4. april til 29.april 2016. Diagrammet viser hvordan vannstanden ved Rund-dansen og Hemskilen/ rv 303 påvirkes av tidevannet. Når tidevannet står høyere enn -0.3 m kombinert med svært lav vannføring, (som i perioden 14. april -25 mai) er vannstanden den samme fra utløpet og inn til Rund-dansen. I perioder med svært lite tilsig (mindre enn 0,1 m³/s i denne perioden) er minimumsnivået for Rund-dansen, Hemskilen og havnivået forskjellig, henholdsvis ca -0,3 m, -0,42 m og -0,54 m. Dette kan indikere en bestemmende terkel på delstrekningene. Figuren viser også hvordan en økning i vannføringen til 3,0 m³/s påvirker vannstanden i vassdraget, særlig ved Rund-dansen, men også ved Hemskilen/ rv 303. Dette kan indikere en bestemmende terkel og eller lav dreneringskapasitet delstrekninene.

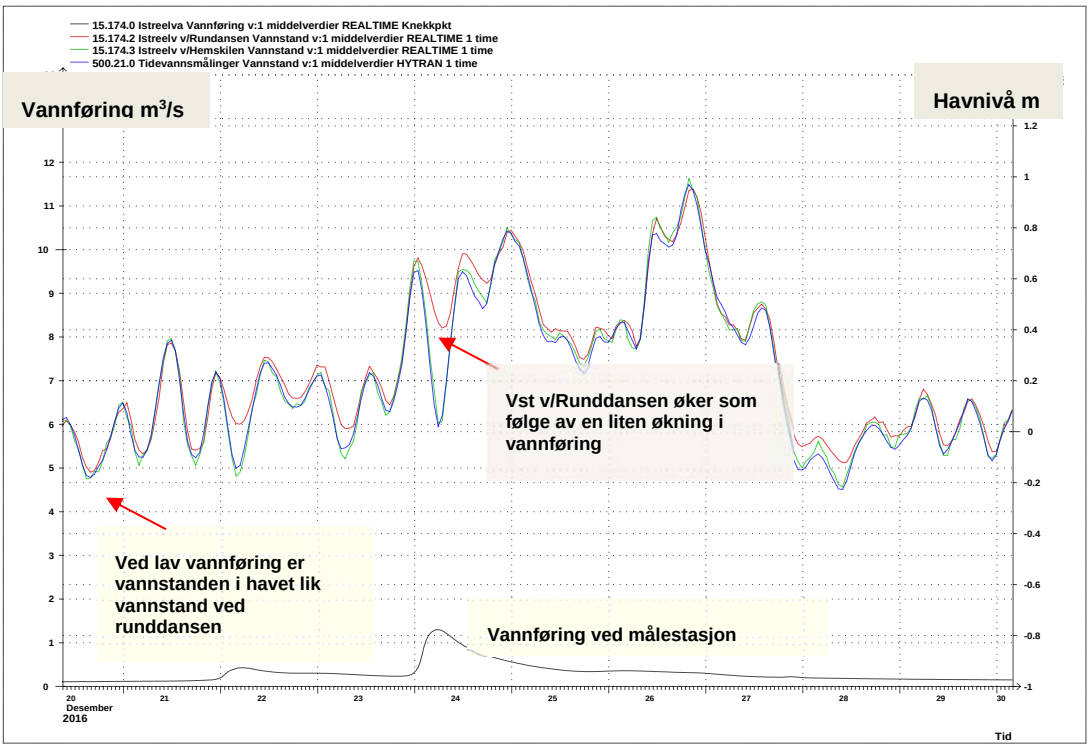


Fig 4.31a Tidevannet dreneres raskt ut når vannføringen i elva er lav Vannstanden ved Rund-dansen og rv 303 bro faller nesten sammen med vannstanden i havet, men en liten vannførings økning hever vannstanden ved Runddansen. Kapasiteten for å drenere tidevannet er stor nok.

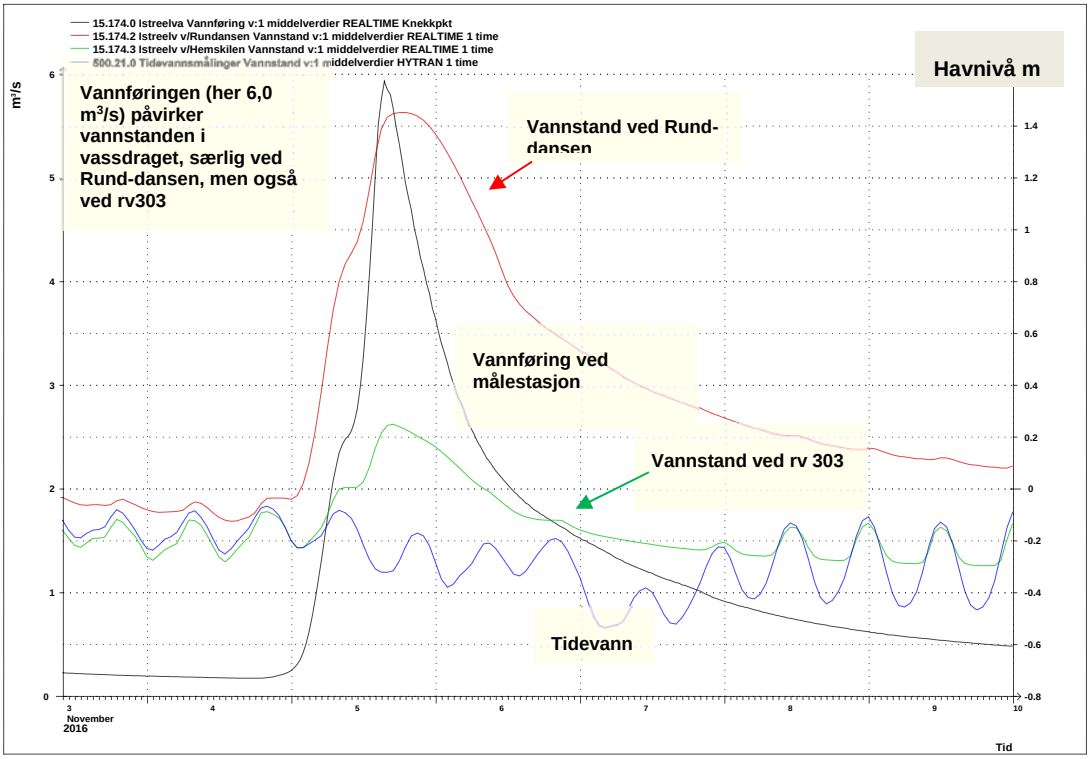
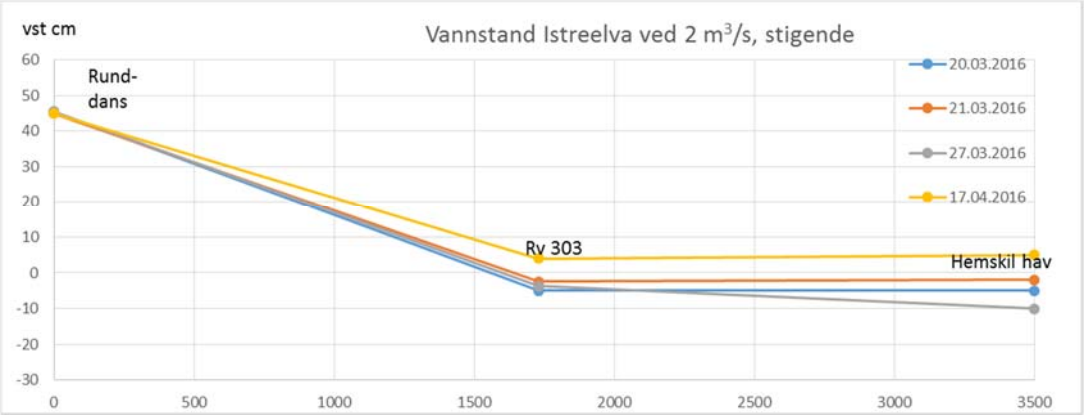


Fig 4.31b Hva betyr høyer vannføring for vannstanden ved Rund-dansen og rv 303? Eksempel fra en situasjon med ca 6 m³/s. Vannstanden ved Runddansen stiger til 1,45 m og ved rv 303 til 0,23 m, mens havnivået varierer mellom -0,10 m og -0,35 m.

Figur 4.32a viser vannstandsforholdene ved Rund-dansen og rv 303 på seks tidspunkt med en vannføring på 2 m^3/s i Istreelva fra perioden 17/3-17/4 - 2016. Under slike vannføringsforhold påvirkes vannstanden ved Rund-dansen i større grad av vannføringen i vassdraget, mens tidevannet har større påvirkning ved rv 303. På et nivå vil også tidevannet også påvirke vannstanden ytterligere ved Rund-dansen. Akkurat når dette nivået inntreffer er ennå ikke målt, men en situasjon med høyt tidevann (0,78 m) kombinert med en vannføring på 2 m^3/s er vist i fig 4.32b. Vannstandsforskjellene mellom havnivået og rv 303 er liten (2 cm), mens forskjellen mellom vannstanden ved Rund-dansen og havnivået er på 16 cm. Dette er betydelig mindre enn den målte differansen ved lavt havnivå og samme vannføring. Forskjellen på 16 cm indikerer like fullt at det er en liten oppstuvning på strekningen også ved høyt tidevannsnivå.



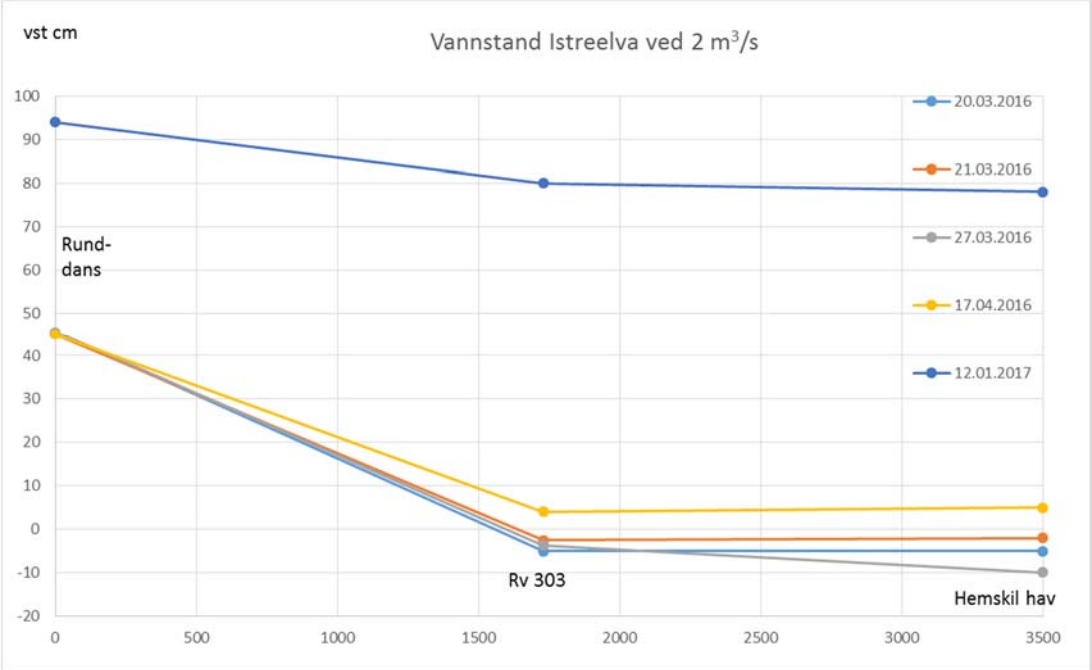


Fig 4.32 **Total gradient på vannstanden (cm) mellom Rund-dansen, rv 303 og utløpet ved 6 situasjoner med vannføring på 2 m^3/s. Vannstanden ved Rund-dansen bestemmes av vannføringen (eksempel 2 m^3/s) ved lavt tidevann. Høyere vannføringer påvirker forskjellene mer, også mellom rv 303 og havnivået, se fig 4.33. Ved springflo drives vannstanden i vassdraget enda høyere, men med mindre vannstandsforskjeller.**

Figur 4.33 viser vannstandsforskjellene mellom havnivået, rv 303 og Rund-dansen ved to episoder med vannføring på 6 m^3/s. Årsaken til at vannstanden var 14 cm lavere ved Rund-dansen 28/2 – 2017 (131 cm) enn 5/11 -2016 (145 cm) selv om havnivået var nesten 60 cm høyere skyldes blokkeringer i elveløpet som ble fjernet i mellomtiden (beverdam).

Manuelle målinger ved Rund-dansen i august 2015 viste imidlertid en vannstand på ca 180 cm ved en tilsvarende vannføring. I løpet av høsten 2015 ble den øverste delen av Istreelva gravd ut og rensket. Sammenlignet med senere målinger viser dette en senkningseffekt fra renskingen på mellom 40 og 50 cm.

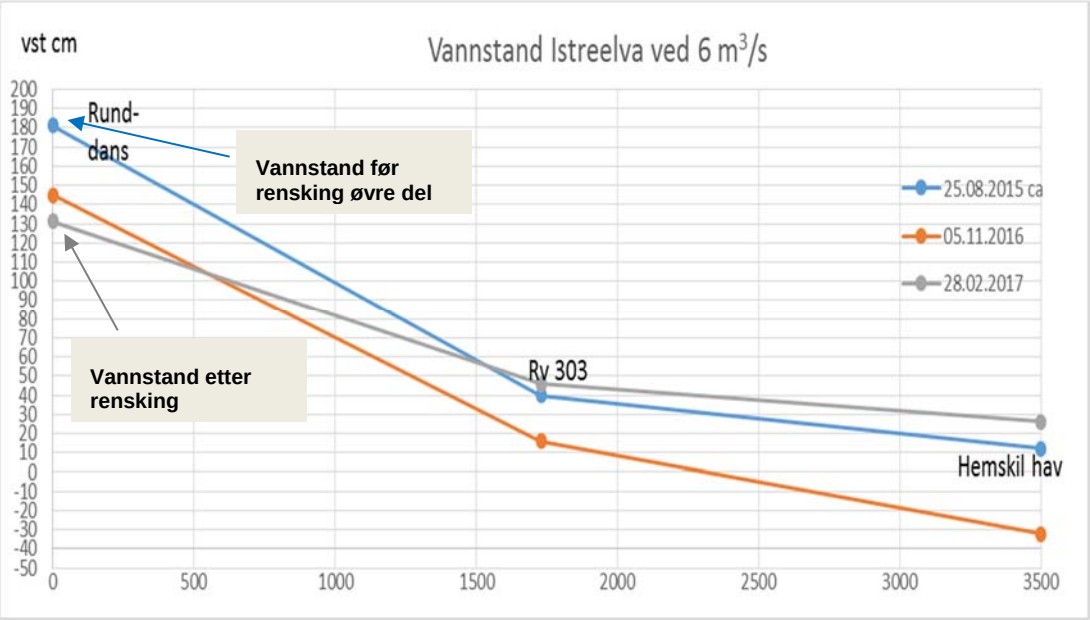


Fig 4.33 **Total gradient på vannstanden (cm) mellom Rund-dansen, rv 303 og utløpet ved 3 situasjoner med vannføring på 6 m^3/s. Vannstanden ved Rund-dansen bestemmes av vannføringen (eksempel 6 m^3/s) ved lavt tidevann. Høyere vannføringer påvirker forskjellene mer, også mellom rv 303 og havnivået se fig 4.32 for sammenligning. Høyere tidevann reduserer imidlertid vannstandforskjellene mellom rv 303 og havnivået.**

Vannstandsforskjeller ved Rund-dansen 5/11 -2016 (145 cm) og 28/2 – 2017 (131 cm) skyldes blokkeringer i elveløpet som ble fjernet i mellomtiden.

Manuelle målinger ved Rund-dansen i august 2015 viste vannstand på ca 180 cm ved en tilsvarende vannføring. I løpet av høsten 2015 ble den øverste delen av Istreelva gravd ut og rensket. Sammenlignet med senere målinger viser dette en senkningseffekt fra renskingen på mellom 40 og 50 cm.

4.6 Analyseresultater

4.6.1 Mineralanalyser

I forbindelse med programmet: ”Samlet plan for utslipp til vann fra steinindustrien” i 2009, ble det det blant annet foretatt mineralanalyser av suspensjonsmaterialet i fire vassdrag i Larvik og Sandefjordsområdet. To av målestasjonene var lokalisert i referanse-felt uten steinbrudd, Marumsbekken og Moland v/Hallevannet og to felt med steinbrudd, Istrelva og Tveidalbekken. Oversikt over berggrunnsgeologien i området er vist i fig. 4.34.

For å få en bedre kjennskap til hvilke kilder (f.eks. jordbruk, skogbruk, steinbrudd eller naturlige kilder) som bidrar til partikkeltransporten i vassdragene er det tatt prøver som er analysert på mineralsammensetningen av suspensjonsmaterialet. Det ble tatt store vannprøver på inntil 40 liter pr. prøve for å få tilstrekkelig materiale til analysene. Dette er prøver fra enkeltepisoder og reflekterer ikke variasjon over tid.

Analysene fra 2015 og 2016 er basert på henholdsvis 3 og 7 prøver av bunnmaterialet ved 10 lokaliteter i Istreelv, Marumsbekken og Hemskilen. Prøvene i 2015 ble tatt noen dager i etterkant av en flomhendelse i september 2015. De resterende prøvene er tatt i perioden mars - april i 2016. Resultatene er presentert i fig. 4.35 og tabell 4.1.

Det ble funnet forekomster av følgende mineraler i prøvene:

- Smektitt (leirmineral)
- Illitt (leirmineral)
- Kloritt (mineral beslektet med leirmineraler)
- Kvarts (trolig fra løsmasser dannet under siste istid, forekommer i svært liten grad i larvikitt).
- Plagioklas (feltspat i lokalt berggrunnmateriale/larvikitt og løsmasser)
- Kalifeltspat (K-spat i berggrunnmateriale/larvikitt og løsmasser)
- Amfibol (i lokalt berggrunnsmateriale)

Resultatene fra 2008-2009 viser forhøyede verdier av plagioklas i Tveidalen og Istreelva sammenlignet med Marumsbekken og Moland. Relativt høye verdier av plagioklas i Moland i forhold til Marumsbekken kan ha sammenheng med tynt løsmassedekke utenom selve dalbunnen og relativt høyt bidrag fra berggrunnen (forvitring).

Løsmassedekket i Tveidalen er mektigere enn i Moland. Dette gjelder særlig forekomster av marin leire i de lavereliggende områdene i Tveidalen. Innsalg av illitt/smektitt (leirmineraler) i prøvematerialet fra Tveidalsbekken bekrefter dette. Illitt forekommer også i Marumsbekken og Istreelva. I Istreelva er det også innslag av smektitt. Marumsbekken og Istreelva ligger i områder med marine avsetninger. Illitt forekommer i svært liten grad ved Moland.

Resultatene viser høye verdier av kvarts i Istreelva, Marumsbekken og Moland. Kvarts forekommer i svært liten grad i larvikitt som er den lokale berggrunnen i området. Det er derfor sannsynlig at kvarts stammer fra løsmassene i området. Stedvis tykke

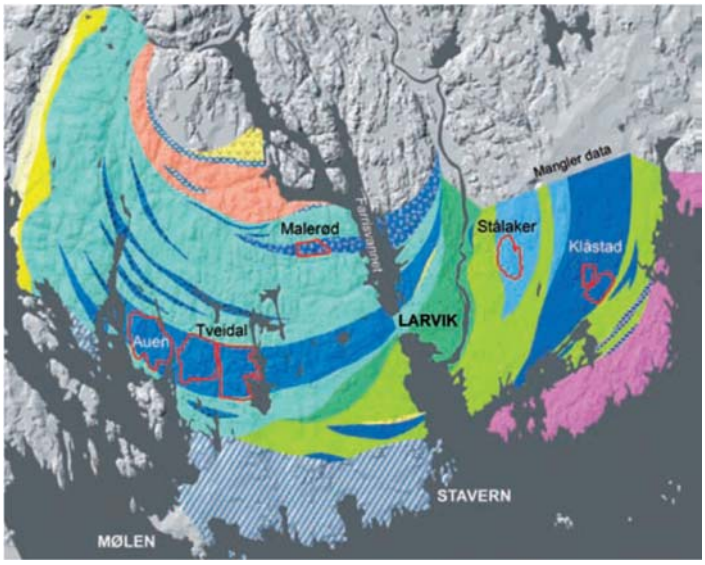
moreneavsetninger forekommer flere steder ved Moland, særlig i dalbunnen nær elveløpet. I Tjølling inneholder Raet løsmasser med mye kvarts i tillegg til evt bunnmorene som også kan være representert. Også marin leire inneholder kvarts.

Det er uvisst hvorvidt forskjellig prøvetakingstidspunkt, august/ september 2008 og januar 2009 kan ha hatt innvirkning på resultatene.

Resultatene fra mineralanalysene av bunnsedimentene (2015-2016) framstår som relativt like. Sammensetningen av materialet i Hemskilen er svært likt det som ble funnet i Istreelva (m/div lokaliteteter) og i Marumsbekken (ref).

Ingen lokaliteter framstår med forhøyede analyse verdier, men forekomsten av plagioklas og alkalifeltspat er marginalt høyere i Haslebekken tett oppunder steinbruddet v/Klåstad i forhold til de andre lokalitetene. Resultater fra Marumsbekken (referanse) viser høyere andeler av plagioklas og alkalifeltspat enn ved alle andre lokaliteter med unntak av Haslebekken v/ Klåstad. Høyeste relative innhold av amfibol ble målt ved Stålåker ovf, som også er et referansefelt uten steinbrudd.

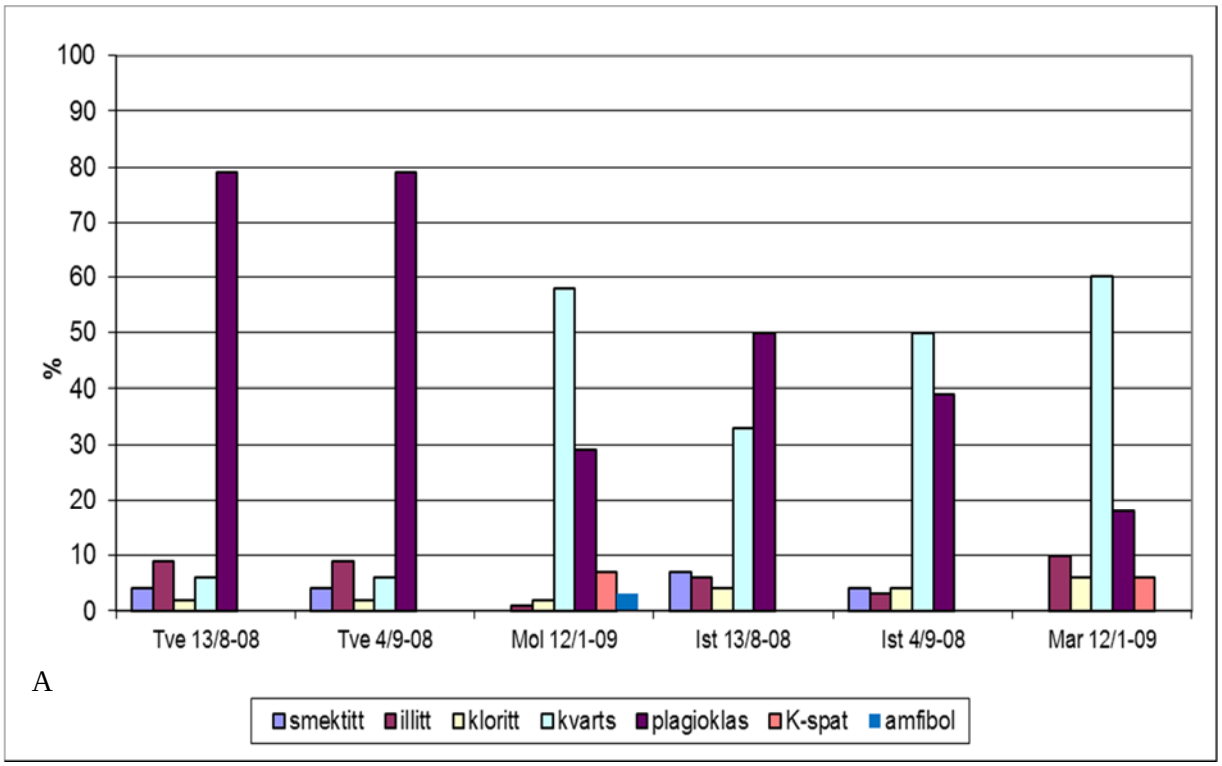
Måleresultatene fra 2015-2016 viser ikke tilsvarende forhøyede verdier med plagioklas som resultatene fra Tveidalsbekken og til dels Istreelva i 2008. Disse analysene ble imidlertid utført på finfordelt suspendert materiale fra enkeltepisoder. I Tveidalen er steinbruddaktiviteten også mer omfattende enn i de andre områdene. Det suspenderte materiale vil følge vannstrømmen og spres over et større område enn bunntransportert materiale.



Larvikitt/ Syenitt/ Monzonitt

Tveidalen: Blue Pearl
Malerød: Blue Pearl TF
Klåstad: Emerald Pearl
Stålåker: Marina Pearl
Håkestad: Silver Pearl (nord for Stålåker)
Krukåsen: Emerald Blue Pearl (øst for Stålåker)
Bergan: Emerald Black (øst for Klåstad)

Fig 4.34 Illustrasjon av berggrunnsgeologien i området, med forskjellige typer av larvikitt. Steinbruddene er markert med røde polygoner. (illustrasjon, NGU).



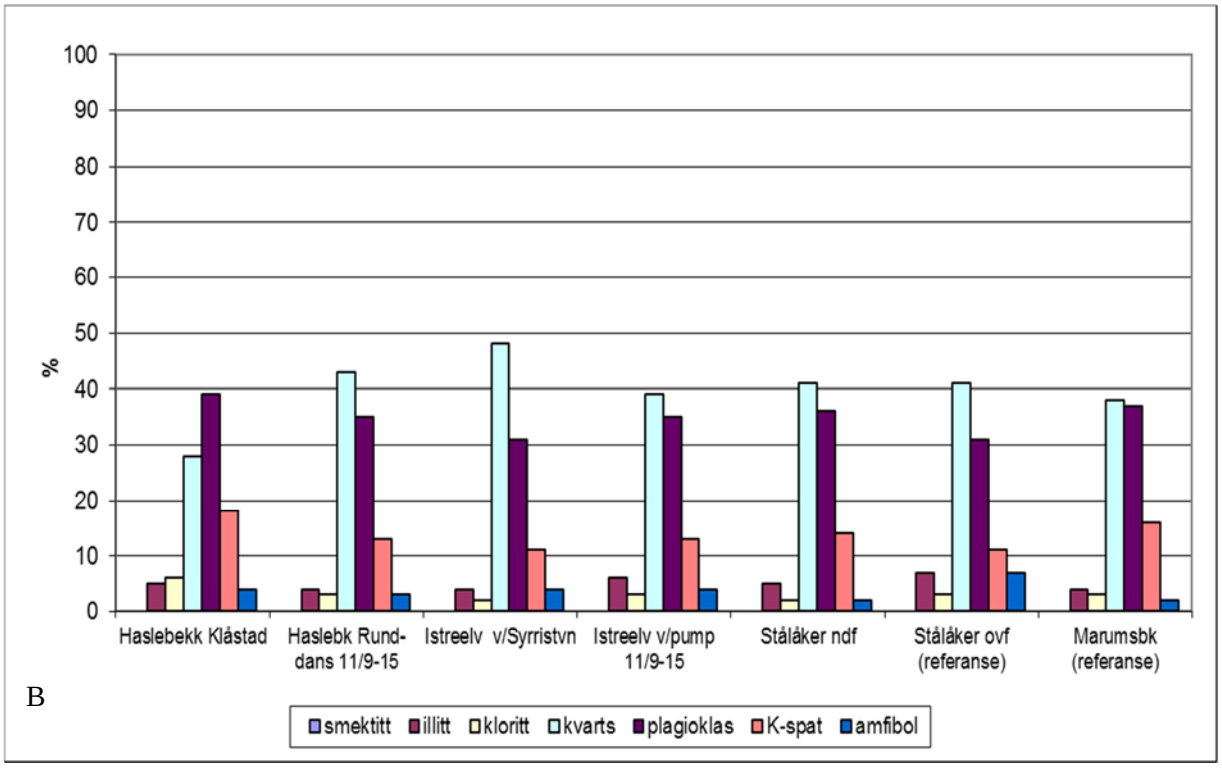
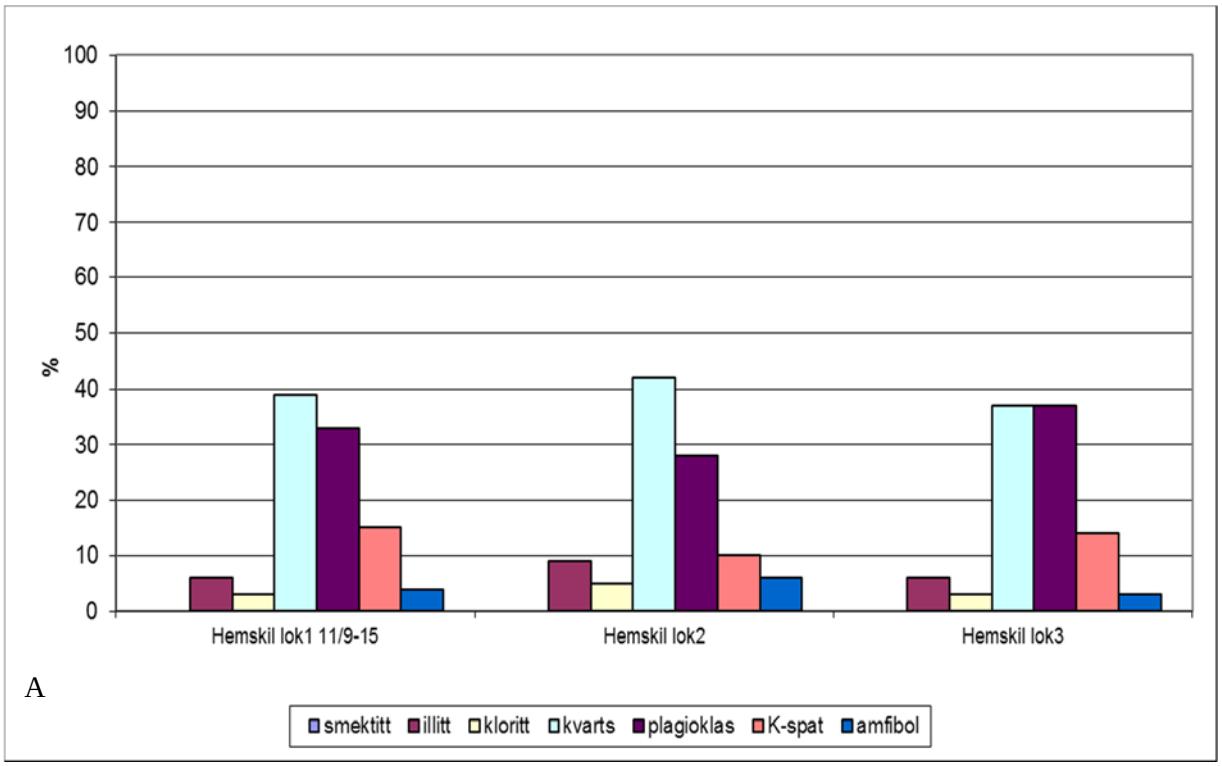


Fig 4.35a Resultater fra mineralanalyse av suspensjonsprøver i Tveidalsbekken, Istreelv, Marumsbekken og Moland 2008-2009 (A) og nye resultater fra 2015 og 2016 i Hemskilen Istreelv og Marumsbekken (B).



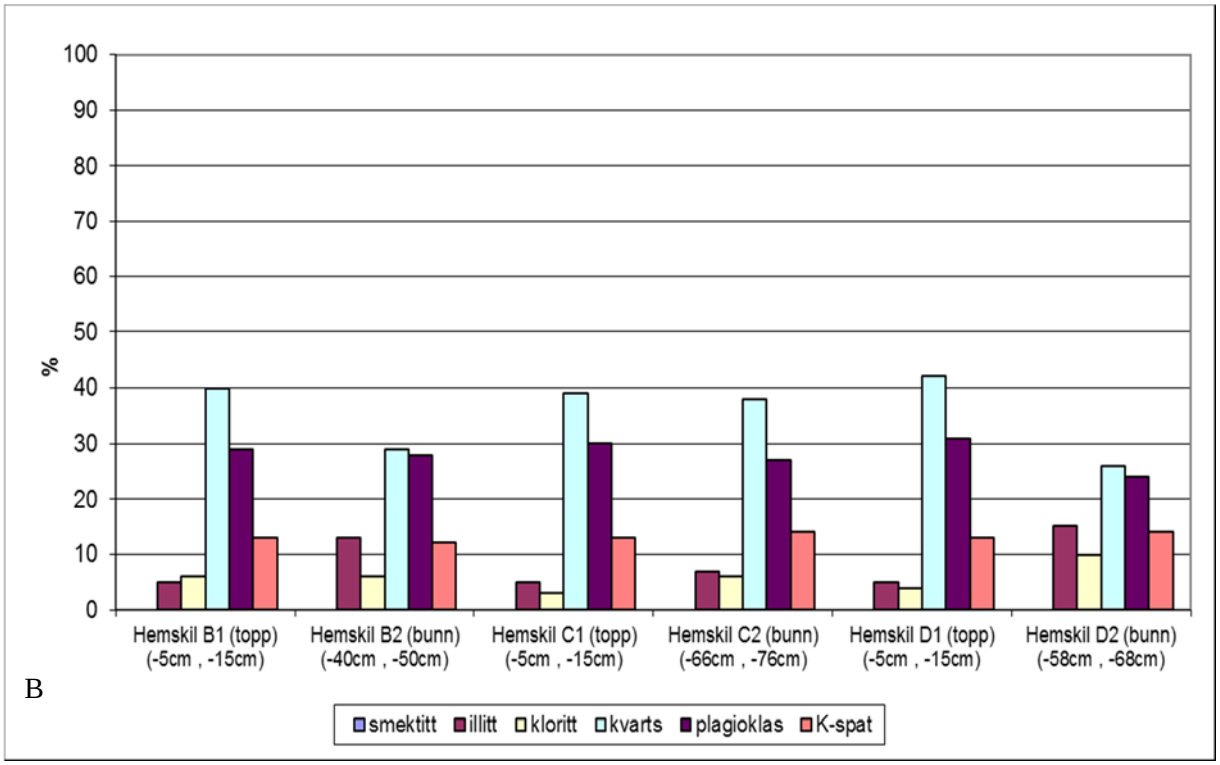


Fig 4.35b Resultater fra mineralanalyse av bunnprøver innløp Hemskilen (A) og mineralanalyse av kjerneprøver i Hemskilen (B).

Prøver ved lokalitetene «B», «C» og «D» er kjerneprøver med analyser fra topplaget og dypere lag i avsetningene.

Tabell 4.1 **Resultater fra mineralanalyse i Haslebekken, Istreelva, og Hemskilen (2008-2009 / 2015-2017). Analysene fra 2008 og 2009 er basert på suspensjonsmateriale, mens analysene fra 2015 - 2017 er analyse av bunnsedimenter. Farget felt er mineraler som forekommer i den lokale berggrunnen/ Larvikitt**

%	Tveidal 13/8-08	Tveidal 4/9-08	Moland 12/1-09	Istreelva 13/8-08	Istreelva 4/9-08	Marums 12/1-09
Smektitt	4	4	-	7	4	-
Illitt	9	9	1	6	3	10
Kloritt	2	2	2	4	4	6
Kvarts	6	6	58	33	50	60
Plagioklas	79	79	29	50	39	18
Alkalifeltspat	-	-	7	-	-	6
Amfibol	-	-	3	-	-	-
%	**Stålåker ndf**	**Stålåker ovf**	**Haslebk Klåstad**	**Haslebk 11/9-15**	**Istreelv Syrristvn**	**Istreelv pump**
Smektitt	0	0	0	-	0	-
Illitt	5	7	5	4	4	6
Kloritt	2	3	6	2	2	3
Kvarts	41	41	28	43	48	39
Plagioklas	36	31	39	35	31	35
Alkalifeltspat	14	11	18	13	11	13
Amfibol	2	7	4	3	4	4
%	**Marums-bekken**	**Hemskil 11/9-15**	**Hemskil lok2**	**Hemskil lok 3**	**Hemskil B topp**	**Hemskil B bunn**
Smektitt			0	0	0	0
Illitt	6	6	9	6	5	13
Kloritt	3	3	5	3	6	6
Kvarts	39	39	42	37	40	29
Plagioklas	37	33	28	37	29	28
Alkalifeltspat	15	15	10	14	13	12
Amfibol	4	4	6	3	6	9
%	**Hemskil C topp**	**Hemskil C bunn**	**Hemskil D topp**	**Hemskil D bunn**		
Smektitt	0	0	0	0		
Illitt	5	7	5	15		
Kloritt	3	6	4	10		
Kvarts	39	38	42	26		
Plagioklas	30	27	31	24		
Alkalifeltspat	13	14	13	14		
Amfibol	7	6	4	8		

4.6.2 Suspensjonstransport og kornfordeling

I perioden 2007 -2008 ble det målt suspensjonstransport i Istreelva og Marumbekken. Målingene ble basert på daglige vannprøver med automatprøvetakere på målestasjoner begge steder, se fig. 4.36. Det ble også tatt månedlige analyser av kornfordelingen på suspensjonsmaterialet, se fig. 4.37 og tabell 4.3.

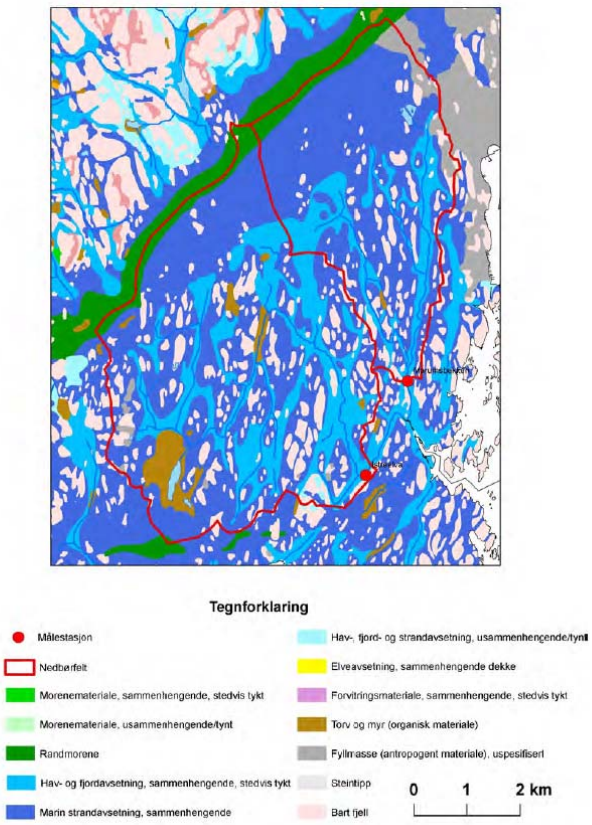


Fig 4.36 **Lokalisering av målestasjoner i måleperioden 2007-2008. Kartet viser også løsmassedekket i feltene, hvor det går fram at marine avsetninger er dominerende.**

Målingene dekker perioden mars 2007 til desember 2008 med unntak av enkelte perioder med driftsstans, særlig i kuldeperioder. Resultatene fra målingene er gitt i tabell 4.2. det er også gitt et estimat av transporten under flommen 2. september 2015, men dette er basert på en manuell prøve som ble tatt da flommen var på det høyeste. Tabell 4.3 viser prosentvis uorganisk og organisk innhold fra suspensjonsprøvene (2007 og 2008 og flomprøven i 2015) og fra bunnprøvene i 2015. Bunnprøvene i 2015 er tatt kort tid etter flommen i september.

Tabell 4.2 **Uorganisk og organisk suspensjonstransport i Istreelva og Marumsbekken i 2007 2008. Totalt i Hemskilen er summen av begge feltene. Flom 2015 er basert på en prøve ved rv 303, 2. september 2015.**

Suspensjonstransport uorg/ org (tonn)						
år	**Istreelv**		**Marumsbekken**		**Totalt Hemskilen**	
2007	1087	159	754	127	1841	286
2008	1897	197	1329	53	3226	250
Flom 2015 (1 døgn)					220	33

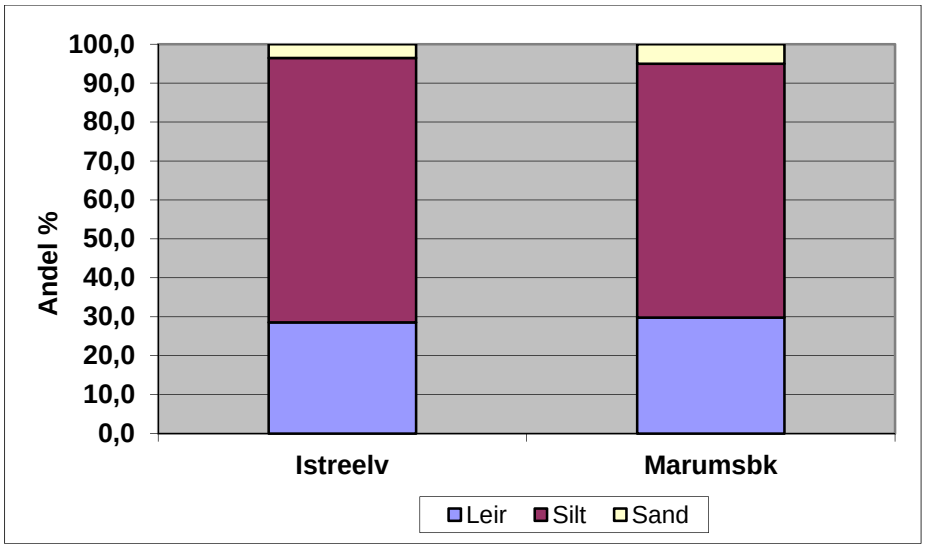


Fig 4.37 Midlere kornfordeling (leir, silt og sand) av suspensjonsmaterialet i Istreelva og Marumsbekken for perioden 2007-2008.

Tabell 4.3 Fordelingen av leir, silt og sand i bunnprøver fra Haslebekken til Hemskilen.

ID	periode	%leir	%silt	%sand
Marumsbk	2007-2008	29,8	65,2	5,0
Istreelv	2007-2008	28,6	67,9	3,6

Kornfordelingen av suspensjonsmaterialet i Istreelva og Marumsbekken fra måleperioden 2007-2008 viser at leirinnholdet er i underkant av 30%, silt utgjør 65% - 68 % og sand fra 2% -5 %. Den gjennomsnittlige kornfordelingen var relativt lik ved begge målestedene.

4.6.3 Minerogent og organisk innhold i sedimentprøver

Fordelingen mellom minerogent og organisk innhold i sedimenprøver fra Istreelva, Marumbekken og Hemskilen er vist i tabell 4.4 og fig. 4.38. Bestemmelse av uorganisk innhold er basert på glødetap i sedimentprøvene.

Prosentfordelingen mellom organisk og minerogent materiale i perioden 2007 til 2008 er basert på fordelingen mellom minerogen og organisk suspensjonstransport i perioden (blått felt). Det er også foretatt en beregning basert på prøvetaking under flommen i september 2015. Det er gjort tilsvarende glødetapsanalyser av sedimentprøvene (bunnsedimenter) fra 2015 og 2016 (gule / oransje felt).

Resultatene viser at suspensjonsprøvene hadde et noe høyere organisk innhold enn det som ble funnet i bunnsedimentene. Resultatene viser et noe høyere innhold i 2007 og under flommen i 2015 (13%-14%) enn i 2008 (4%-9%).

Organisk innhold i bunnsedimentene var mindre enn i det suspenderte materialet. Analysene vister at prøvene som ble tatt kort tid etter flommen i september 2015 (gult felt i tabell 4.4) har et organisk innhold på mellom 4%-6%. I prøvene som ble tatt våren 2016 er det organiske innholdet lavere, ±1%. Dette kan ha sammenheng med årstid eller flomforhold eller en kombinasjon av disse. Ellers var det var svært liten forskjell i den organiske andelen mellom de forskjellige prøvelokalitetene.

Tabell 4.4 **Uorganisk og organisk innhold av suspensjons prøver i perioden 2007 og 2008 (middelverdier og total Hemskilen). Resultater fra 2015 og 2017 er analyser av bunnsedimenter. Bestemmelse av uorganisk innhold er basert på glødetap. Resultatene vist i gule felt er fra prøver tatt kort tid etter flommen i 2. september 2015.**

År	andel uorg / org	
Istreelv 2007	0,87	0,13
Marumsbk 2007	0,86	0,14
Tot Hemskil 2007	0,87	0,13
Istreelv 2008	0,91	0,09
Marumsbk 2008	0,96	0,04
Tot Hemskil 2008	0,93	0,07
Tot Hemskil (Flom 2015 døgn)	0,87	0,13
Stålåker ovf	0,988	0,012
Stålåker ndf	0,993	0,007
Istre ndf Syrristvn	0,992	0,008
Haslebk Klåstad	0,993	0,007
Haslebk (sep 2015)	0,96	0,04
Istre v pump (sep 2015)	0,94	0,06
Marumsbk	0,997	0,003
Hemskil 1 (sep 2015)	0,95	0,05
Hemskil 2	0.984	0.016
Hemskil 3	0,994	0.006
Hemskil B topp (2017)	0,923	0,077
Hemskil B bunn (2017)	0,957	0,043
Hemskil C topp (2017)	0,945	0,055
Hemskil C bunn (2017)	0,927	0,073
Hemskil D topp (2017)	0,925	0,075
Hemskil D bunn (2017)	0,983	0,017

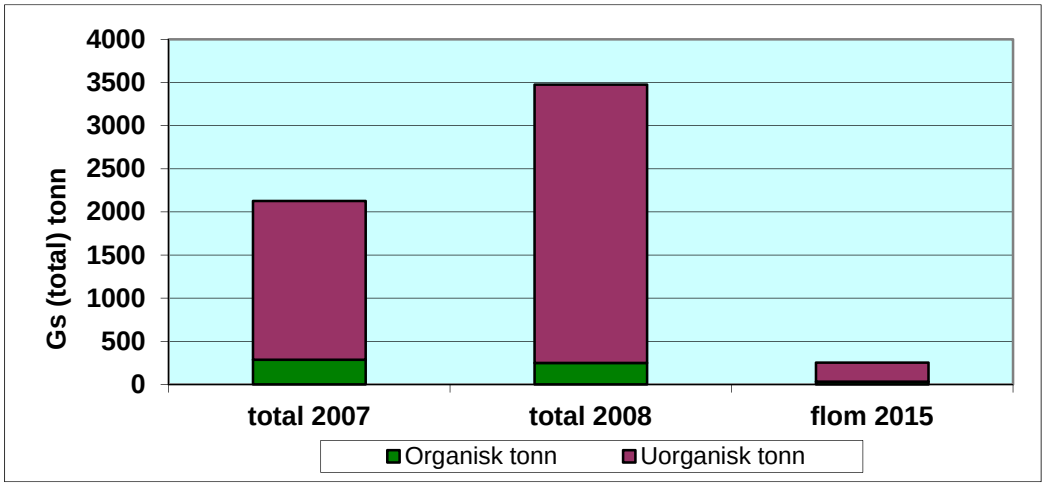


Fig 4.38 **Uorganisk og organisk suspensjonstransport i Istreelva og Marumsbekken i 2007 2008. Total er summen av begge feltene og er et mål på tilførsel til Hemskilen. Flom 2015 er basert på en prøve ved rv 303, 2. september 2015.**

Kornfordelingen av bunnprøvene (2015) fra henholdsvis Haslebekkken v/Rund-dansen, Istreelva (v/ pumpe) og Hemskilen (lok 1) er vist i tabell 4.5 fig. 4.39 og 4.40. Andelen silt er økende nedover i vassdraget, fra ca 18 % i Haslebekken til ca 59 % ved innløpet til Hemskilen. Andelen sand avtar tilsvarende ned mot Hemskilen. Finfordelt materiale (d< 0.002 mm, leir) øker fra ca 4% i Haslebekken til mellom 10% til 20% i Hemskilen. Sedimentprøvene fra 2017 viser at de dypere lagene i sediment avsetningen i Hemskilen har en større andel finfordelt materiale (C-bunn) sammenlignet med overflaten. Topplaget ser også ut til å være mer påvirket av sandtilførsel, da innholdet varierer mellom ca 40%-50%.

Tabell 4.5 Fordelingen av leir, silt og sand i bunnprøver fra Haslebekken til Hemskilen. Mz: midlere kornstørrelse.

ID	Dato	%leir	%silt	%sand	Mz (mm)
Haslebk Rund	11.09.2015	4,1	18,2	77,7	0,295
Istreelv	11.09.2015	7,0	43,6	49,4	0,066
Hemskilen (1)	11.09.2015	8,5	59,3	32,2	0,047
Hemskil B-topp	24.01.2017	10,9	47,3	41,8	0,068
Hemskil C-topp	24.01.2017	9,9	38,3	51,7	0,086
Hemskil C-bun	24.01.2017	18,8	66,5	14,7	0,026
Hemskil D-topp	24.01.2017	10,5	43,1	46,4	0,092

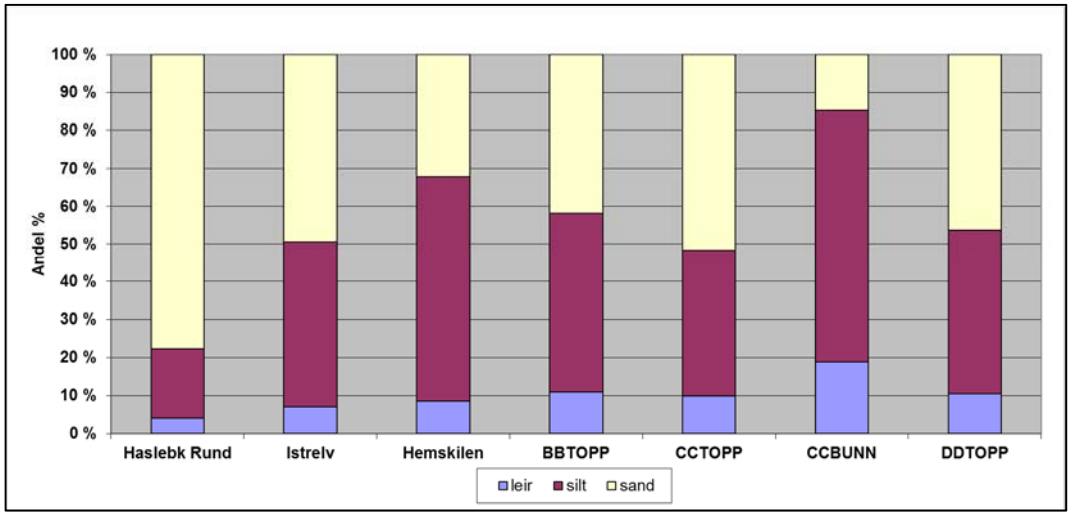


Fig 4.39 Kornfordeling (leir, silt og sand) av bunnsedimenter (2015). Haslebekken kommer fra Klåstadbruddet. Prøven fra Istreelva er tatt mellom Rund-dansen og rv 303 brua. Prøven fra Hemskilen er tatt på venstre bredd ca 400 nedenfor brua. Kjerneprøvene (B,C,D) ble tatt i Hemskilen i januar 2017 og viser topplaget sammenlignet med dypere nivåer.

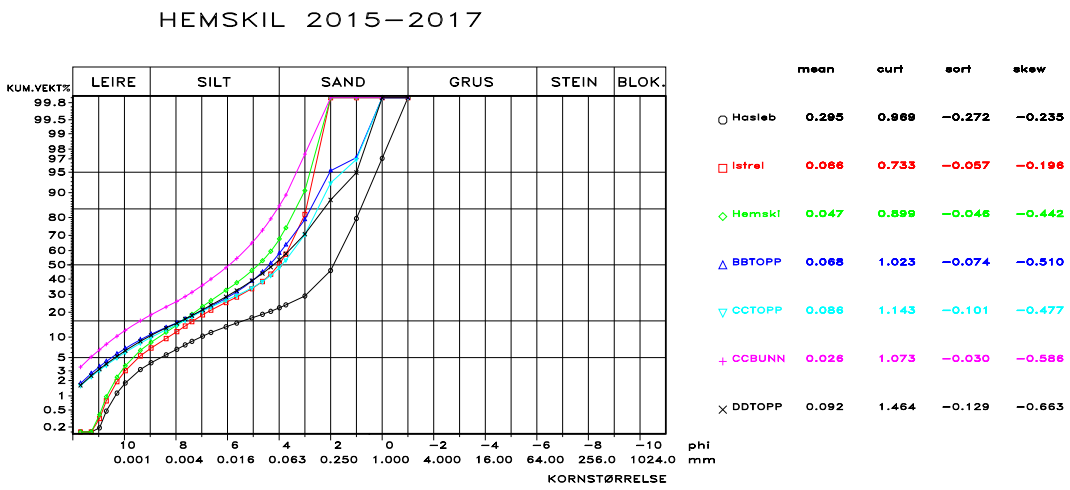


Fig 4.40 Kornfordeling bunnsedimenter (2015) i Haslebekken, Istreelva og Hemskilen.

5 Sedimenttransportens innvirkning

Sedimententene som tilføres vassdraget kommer fra naturlig erosjon, jordbruk, steinbrudd og urbanisering (Marumsbekken). Hvor stor andel kommer fra steinbruddene?

Sedimentavsetningen i Hemskilen er en langtidsvirkning av sedimenttransporten i vassdraget, hvor tidligere utslipp fra steinindustrien også har påvirket. Mineralsammensetningen på sedimentene kan bidra til å bestemme opphav. Datablad oppgir at Larvikitt (Emerald Pearl) har 80-85% feltspat.

Suspensjonstransport: Steinbruddene i Istreelva utgjør 3% av nedbørfeltets areal. Ut i fra betraktninger og sammenligninger med Tveidalsbruddene som utgjør 39% av det lokale nedbørfeltet, anslås andelen sedimenter som kommer fra steinbruddene i Istreelva til å bidra med mellom 8%-27% av den totale suspensjonstransporten (målinger fra 2007-2008). Tiltak etter 2007 i form av sedimentasjonsbasseng kan ha redusert dette, se fig 5.1. En stor del av dette materialet er finfordelt (leirfraksjon d< 2 mikron) og føres ut i de ytre deler. En stor del av dette materialet er finfordelt (leirfraksjon d< 2 mikron) og føres ut i de ytre deler.

Fig 5.1 Sedimentene kommer fra saging og fra materiale som er spredt i området fra tidligere drift og kan føres ut i vassdraget under sterke regnskyll. Anlegg av fangdammer reduserer omfanget av transporten ut av bruddene. Bildene viser Steinbruddet ved Klåstad i 2007 og 2011 etter anlegg av fangdam.

Kjerneprøver av sedimentene i Hemskilen ble tatt ved tre lokaliteter, (se fig 5.2). I følge flybilder av området fra 1961, er de ytre områdene allerede oppfylt med sedimenter på den tiden, se fig 5.2. Prøvene ble tatt både i områder som allerede var oppfylt i 1961 (D) og områder hvor sedimentene i større grad har blitt avsatt etter 1961.

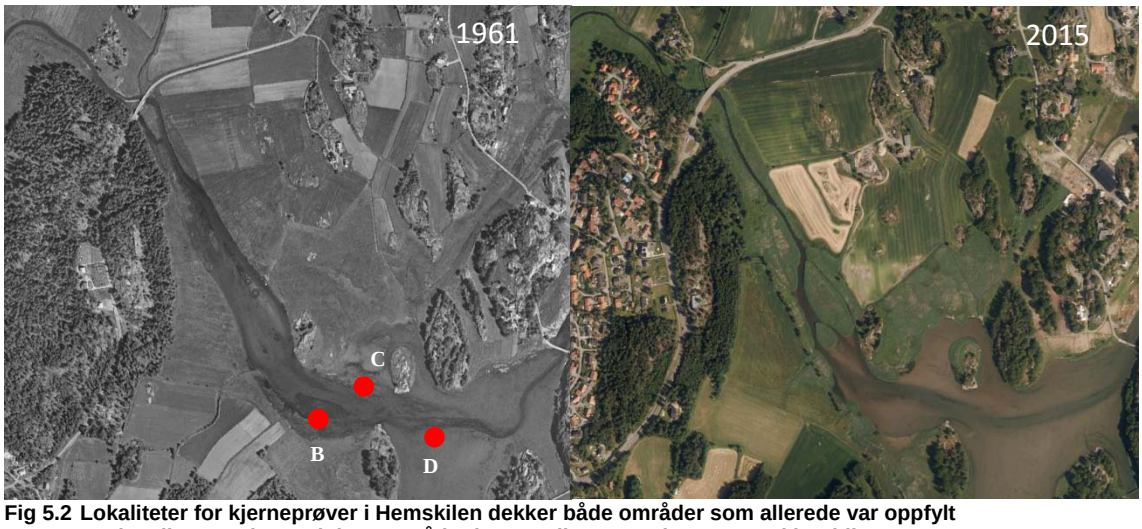


Fig 5.2 Lokaliteter for kjerneprøver i Hemskilen dekker både områder som allerede var oppfylt med sedimenter i 1961 (D) og områder hvor sedimentene i større grad har blitt avsatt etter 1961 (B. C).

I et område av Hemskilen (D) hvor bunnlaget ble sedimentert før 1961 har topplaget opptil 7% mer feltspat enn i dypere lag og er sannsynligvis påvirket av steinbrudd virksomheten i nyere tid. I områder hvor sedimentene i større grad har blitt avsatt etter 1961 (B. C) er ikke forskjellen like stor (maks 3%) og feltspat innholdet er høyere mot dypere nivåer i kjernene. Dette viser at tilførsel av feltspat tilførselen har økt noe i perioden etter 1961.

Overvåkingstiltak: Steinbruddene har i dag pålagte målinger av suspensjons-konsentrasjonen og kornfordeling av partikler i prosessvannet, både i sedimentasjonsbassengene og avløpet fra disse. Mengden materiale som tilføres vassdragene kan beregnes hvis avløpsvolumet er kjent.

Bunntransport: Materialet inneholder ikke tilsvarende høye verdier av feltspat. Målinger indikerer en viss økning nedstrøms tilløpselver fra bruddene. Det er målt en økning på 4-5% etter tilførsel fra Klåstad og tilsvarende ved Stålåker / Håkestad, se tabell 4.1 og fig 4.35ab.

Hvordan kan sedimenttransporten påvirke vannstanden i elveløpet? Bunntransporten vandrer i elveløpene og kan heve elvebunnen. Elveløpet oppstrøms for stein terskelen i Istreelva (50 m oppstrøms rv 303) ble utvidet og senket i 2014 og 2015. Men sedimenter akkumuleres på ny bak terskelen slik at bunnen bygger seg gradvis opp igjen hvis den ikke fjernes, se fig 5.3. Sedimentasjon vil også finne sted bak andre hindringer som kan oppstå i elveløpet, trær, kabler ol.

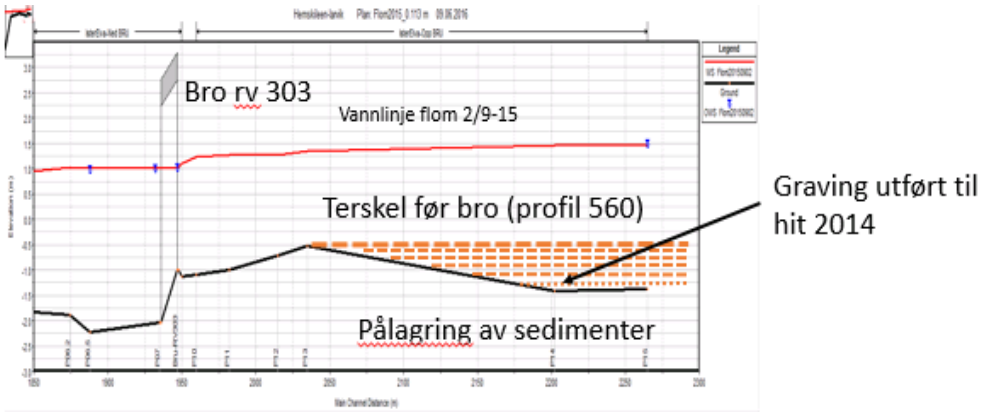


Fig 5.3 Sedimenter akkumuleres på ny bak terskelen og bygger seg gradvis opp igjen hvis den ikke fjernes

6 Hydraulisk modellering

6.1 Modelloppsett

Alle beregningene er utført med modellen HEC-RAS 5.0.1. Modellen er utviklet av US Army Corps of Engineers (HEC-RAS, apr 2016) og er basert på en endimensjonal hydraulisk strømningsanalyse (Chow, 1988). Modellen kan beregne underkritisk og overkritisk strømning, eller en kombinasjon av disse. Modellen trenger informasjon om bl. a. terrengdata (tverrprofiler), vannføringsdata og kalibreringsdata for å bestemme hydraulisk ruhet fra sammenhørende vannføring/ vannstand.

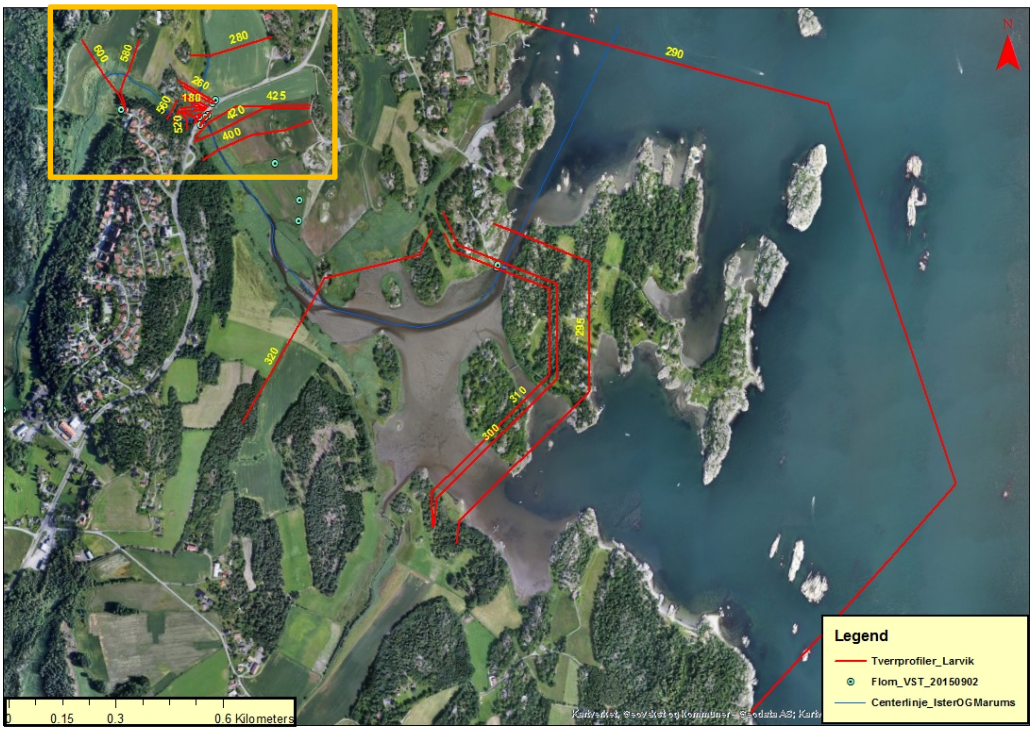
Modellen er satt opp i nedre del av Istreelva for å modellere vannlinjer ved forskjellige vannføringer og tidevannsnivåer. Figur 6.1 viser avgrensning av analyseområdet og plassering av de benyttede tverrprofilene. Alle høydereferanser i modellsimuleringene er i NN2000 (som er + 6 cm i forhold til NN1954). Terrengdata i form av tverrprofiler er målt opp langs vassdraget i april 2016. Disse er kombinert med terrengdata fra Statens kartverk i det aktuelle området.

Modellen er kalibret (balansert) i forhold til målte vannstander og vannføring som inntraff under flommen 2. september 2015, målte vannstander ved rv 303 og justerte havnivåer fra Helgeroa. Simulering av flomepisode 2. september 2015 er vist i fig. 6.2. Flomfrekvensen for denne episoden er anslått til å ha ca 20 års gjentaksintervall, (stnr 15.174.1, opprettet i 2007).

Den kalibrerte modellen er benyttet til å beregne høyden på vannspeilet ved forskjellige vannføringer og tidevannstander i analyseområdet. Tidevannsnivået representerer nedstrøms grensebetingelse i modellen. Vannføringene er målt ved måle stasjonen, men er spesifikt skalert til det aktuelle analyseområdet. Aktuelle vannføringer og tidevannstander som inngår i vannlinjeberegningene og kapasitetsvurderingene er gitt i tabell 6.1. Det er også gjort tester der modell geometrien på kritiske strekninger er endret for å simulere kapasitetsendringer ved løpsutvidelse og fjerning av terskel i elveløpet, dvs effekten av potensielle flomsenkingstiltak. I disse testene inngår også fjerning av installasjoner/ strukturer, dvs begge broene i analyseområdet, rv 303 og lokal bro i Marumsbekken, se fig 6.1c.

Tabell 6.1 Oversikt over vannføring (Q) og tidevannstander (H) som er benyttet i vannlinjeberegningene i analyseområdet. H indeks relateres til gjentagsintervall på tidevannsnivået. Det er også gjort tester der geometrien er endret for å simulere utvidelse av elveløpet og bunnsenking (terskel fjernes) og fjerning av strukturer (broer)

	Tidevann 0,113 m obs vst 2/9-15	**Tidevann -0,03 (H_0)**	**Tidevann 0,87 m (H_1)**	**Tidevann 1,06 m (H_5)**	**Tidevann 1,23 m (H_{20})**	**Tidevann 1,32 m (H_{maks}) ca 50 år**
Vf 5 m^3/s		Q5	Q5	Q5	Q5	Q5
Vf 10 $m^3/$		Q10	Q10	Q10	Q10	Q10
Vf 15 $m^3/$		Q15	Q15	Q15	Q15	Q15
Vf 20 $m^3/$		Q20	Q20	Q20	Q20	Q20
Vf 25 $m^3/$		Q25	Q25	Q25	Q25	Q25
Vf 30 $m^3/$		Q30	Q30	Q30	Q30	Q30
Vf 23,7 m^3/s	Q(flom)					Q(flom)



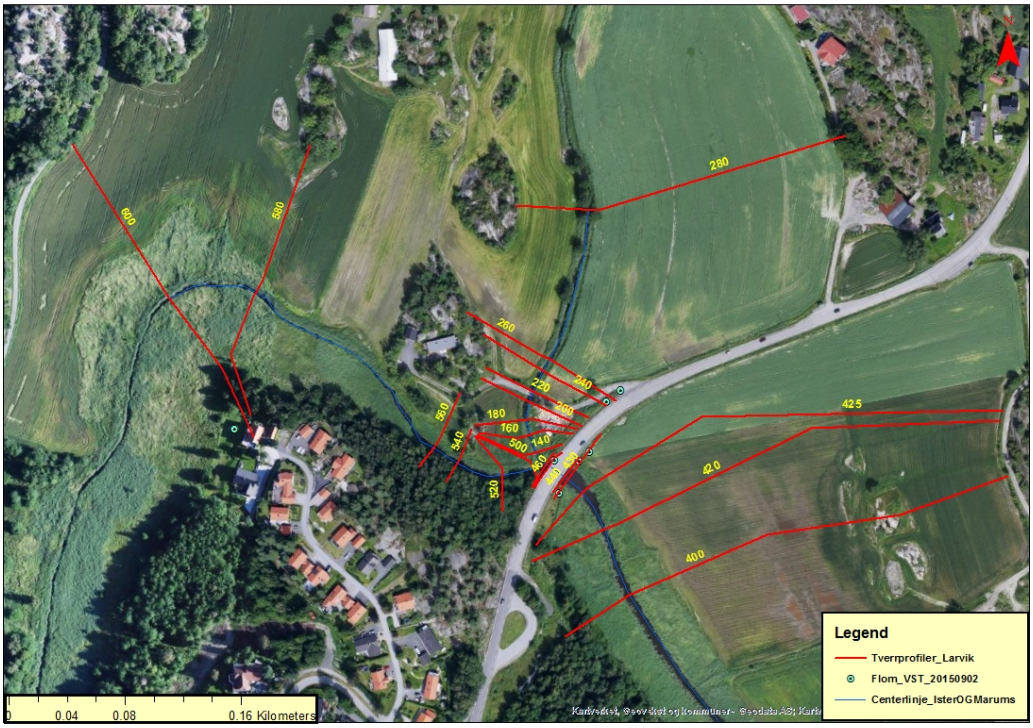


Fig 6.1ab **Analyseområdet i Hemskilen med plassering av tverrprofiler. Utsnitt i figur b.**

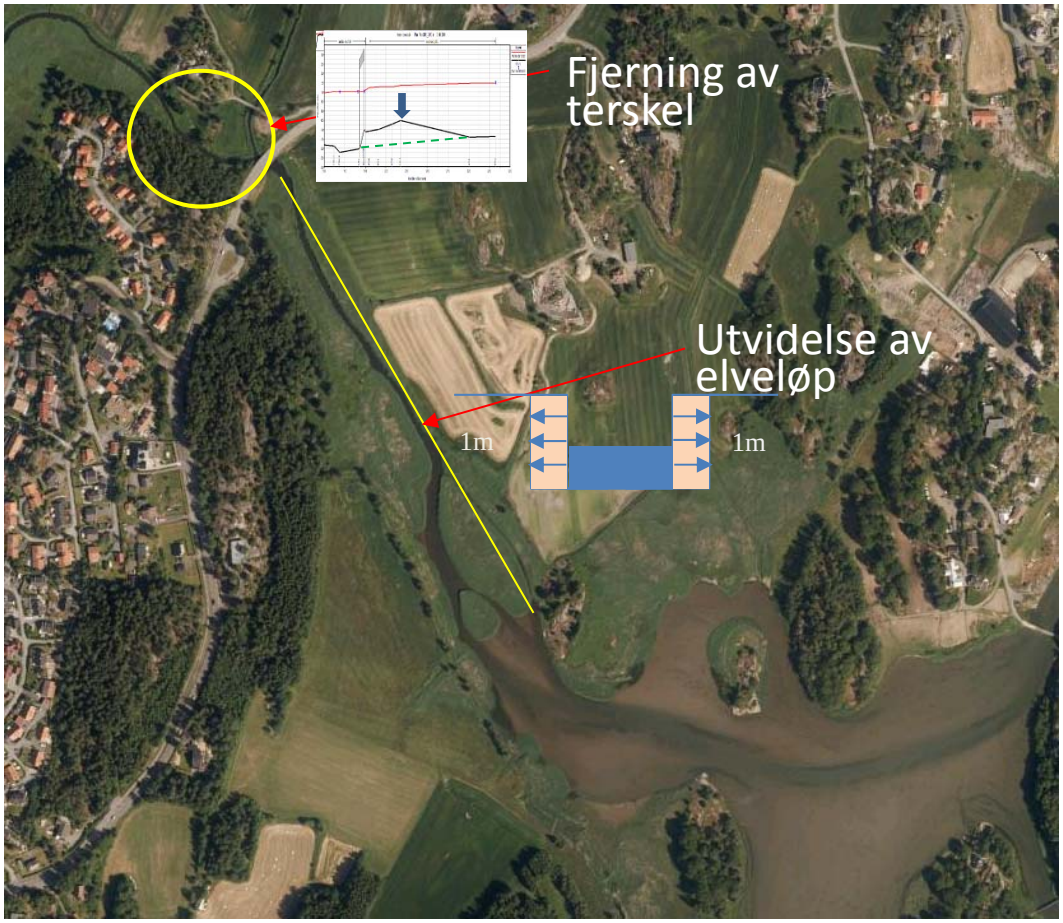


Fig 6.1c **Beregningene viser hva en fjerning av steinterskel og utvidelse av elveløpet på angitt strekning med 1 m på hver side vil bety for flomsenkingen. Det er også gjort tester der broene over Istreelva og Marumsbekken er «fjernet».**

Det er utført følgende (stasjonære grensebetingelser) modelltester:

- **Flommen 2/9-15 med observert tidevann (0,11m) + kombinasjoner av at terskel og broer fjernes.**
- **Flommen 2/9 -15 med høyt tidevann (1,32m) + kombinasjoner av at terskel og broer fjernes (effekt av flomsenkingstiltak).**
- **Forskjellige vannføring og tidevannkombinasjoner (ref tabell 6.1) uten strukturendringer (eksisterende forhold).**
- **Forskjellige vannføring og tidevannkombinasjoner med fjerning av terskel løpsutvidelse med 2 m på strekningen rv 303 til Hemskilen, se fig 6.1c (effekt av flomsenkingstiltak).**

Ikke stasjonær modellsimulering (endring av grensebetingelser, dvs vannf og tidev.):

- **Beregning av effekten av utvidet elveløp på vannstanden ved rv 303 under en flomepisode 5-7 november 2016. (effekt av flomsenkingstiltak).**

6.2 Resultater

Figur 6.2 viser målte vannstander fra flommen 2/9 -2015 (med blå symboler) som er grunnlaget for kalibreringen av modellen som er vist med heltrukken rød linje.

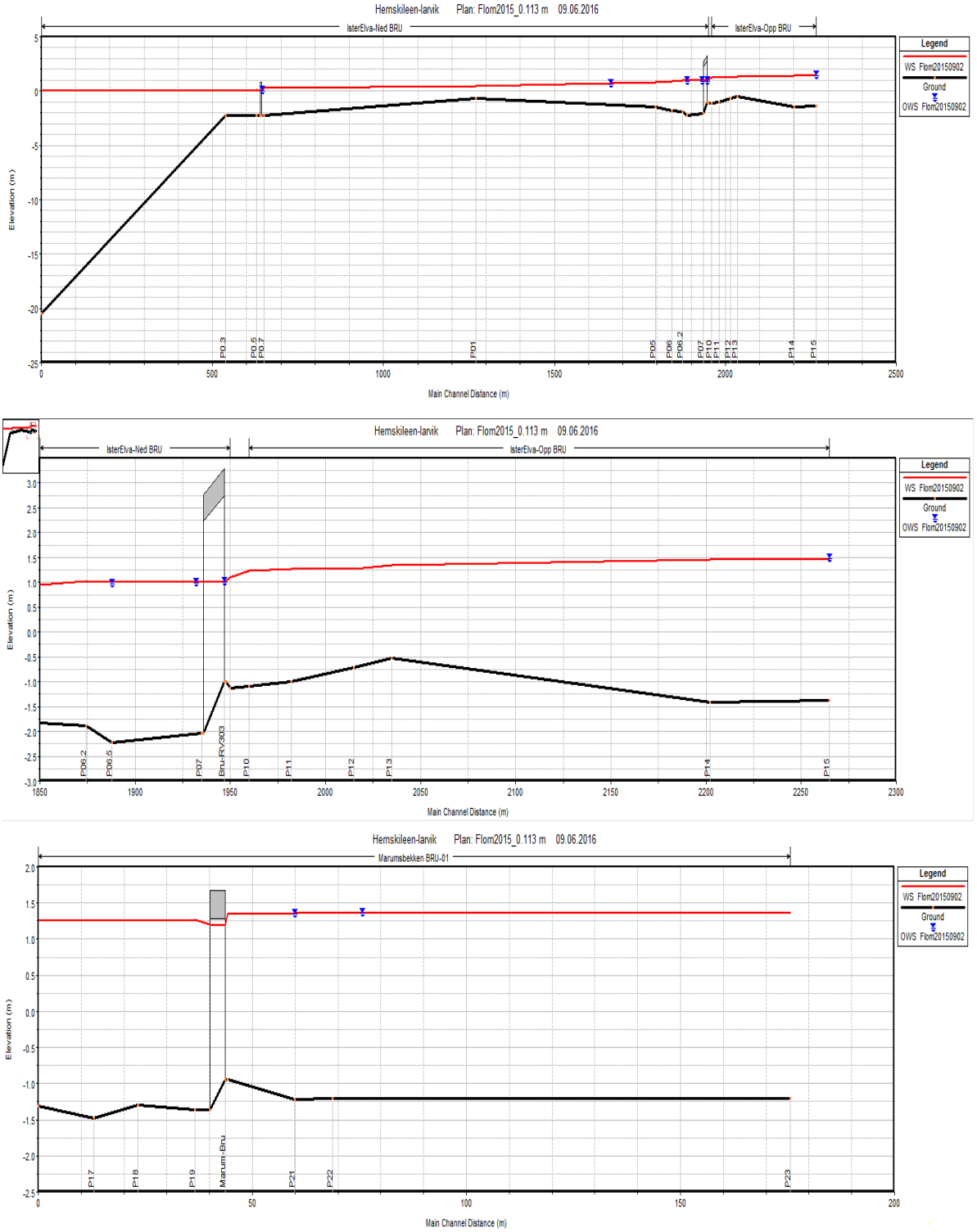


Fig 6.2 Målte vannstander (blå symboler) fra 2/9 – 2015 og kalibrerte vannlinjer i analyseområdet. A: Hele modell strekningen. B: Istreelv fra innløp Hemskil til P15. C: Marumsbk.

Tabell 6.2 Kalibrerte vannstander ved alle tverrprofiler (River Name / River station) i analyseområdet.

River	Reach	River Name	River Sta	Profile	Q Total	W.S. Elev	E.G. Elev	Vel Chnl	Froude # Chl
					(m3/s)	(m)	(m)	(m/s)	
Marumsbekken	BRU-01	P23	280	Flom20150902	13.9	1.38	1.39	0.51	0.18
Marumsbekken	BRU-01	P22	260	Flom20150902	13.9	1.36	1.37	0.43	0.12
Marumsbekken	BRU-01	P21	240	Flom20150902	13.9	1.36	1.37	0.47	0.13
Marumsbekken	BRU-01	P20	220	Flom20150902	13.9	1.35	1.36	0.69	0.19
Marumsbekken	BRU-01		210		Bridge				
Marumsbekken	BRU-01	P19	200	Flom20150902	13.9	1.26	1.28	0.73	0.18
Marumsbekken	BRU-01	P18	180	Flom20150902	13.9	1.25	1.28	0.77	0.19
Marumsbekken	BRU-01	P17	160	Flom20150902	13.9	1.25	1.27	0.73	0.17
Marumsbekken	BRU-01	P16	140	Flom20150902	13.9	1.25	1.27	0.72	0.15
IsterElva-Opp	BRU	P15	600	Flom20150902	24.94	1.47	1.48	0.38	0.09
IsterElva-Opp	BRU	P14	580	Flom20150902	24.94	1.46	1.47	0.40	0.09
IsterElva-Opp	BRU	P13	560	Flom20150902	24.94	1.34	1.39	1.14	0.31
IsterElva-Opp	BRU	P12	540	Flom20150902	24.94	1.28	1.35	1.28	0.35
IsterElva-Opp	BRU	P11	520	Flom20150902	24.94	1.26	1.29	0.89	0.23
IsterElva-Opp	BRU	P10	500	Flom20150902	24.94	1.24	1.27	0.89	0.23
IsterElva-Ned	BRU	P09	480	Flom20150902	38.84	1.10	1.25	1.80	0.44
IsterElva-Ned	BRU	P08	460	Flom20150902	38.84	1.02	1.24	2.09	0.58
IsterElva-Ned	BRU		450		Bridge				
IsterElva-Ned	BRU	P07	440	Flom20150902	38.84	1.01	1.06	0.99	0.20
IsterElva-Ned	BRU	P06.5	430	Flom20150902	38.84	1.01	1.05	0.91	0.18
IsterElva-Ned	BRU	P06.2	425	Flom20150902	38.84	1.02	1.04	0.80	0.17
IsterElva-Ned	BRU	P06	420	Flom20150902	38.84	0.94	1.03	1.52	0.37
IsterElva-Ned	BRU	P05	400	Flom20150902	38.84	0.85	0.97	1.82	0.43
IsterElva-Ned	BRU	P01	320	Flom20150902	38.84	0.45	0.47	0.58	0.24
IsterElva-Ned	BRU	P0.7	310	Flom20150902	38.84	0.25	0.27	0.63	0.17
IsterElva-Ned	BRU		305		Bridge				
IsterElva-Ned	BRU	P0.5	300	Flom20150902	38.84	0.13	0.16	0.70	0.20
IsterElva-Ned	BRU	P0.3	295	Flom20150902	38.84	0.06	0.11	1.06	0.32
IsterElva-Ned	BRU	P00	290	Flom20150902	38.84	0.11	0.11	0.00	0.00

De målte vannstandsforskjellene under flommen 2/9 -2015 mellom havnivået og henholdsvis rv 303 og øverste tverrprofil (P15) var på ca 0,86 m og ca 1,36 m. Tidevannsnivået var relativt lavt 0,113 m (NN2000), men tidevannsendringen i den perioden flommen pågikk gjør det vanskelig å benytte eksakte verdier.

Beregninger av vannlinjer med vannføring fra flommen, men med et havnivå (grensebetingelse) satt til 1,32 m (høyeste målte i Helgeroa) gir vannstandforskjeller på bare 0,02 m opp til rv 303 og 0,29 m mellom havnivået og øverste modellprofil (P15). Se tabell 6.4ab for vannstand ved utvalgte tverrprofiler.

Vannlinjesimulering ved geometriendringer (se fig. 6.3) er vist i fig. 6.4 og gjengitt tabell 6.3. Simuleringer der forskjellige kombinasjoner av bunnsenking (fjerning av stein terskel) og at broene tas ut av modellen er gjengitt i tabell 6.4ab, vannstand ved utvalgte tverrprofiler.

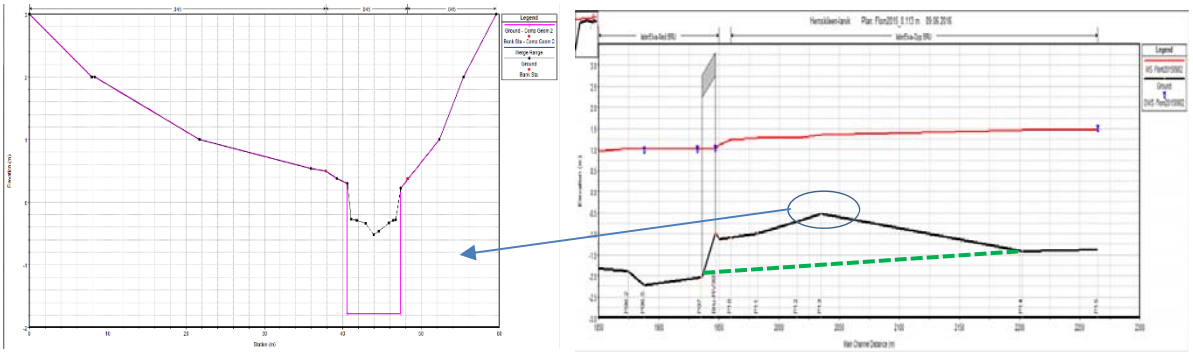


Fig 6.3 Innlagt geometriendring i form av bunnsenking/ fjerning av terskel ved profil P13 som gir økt kapasitet

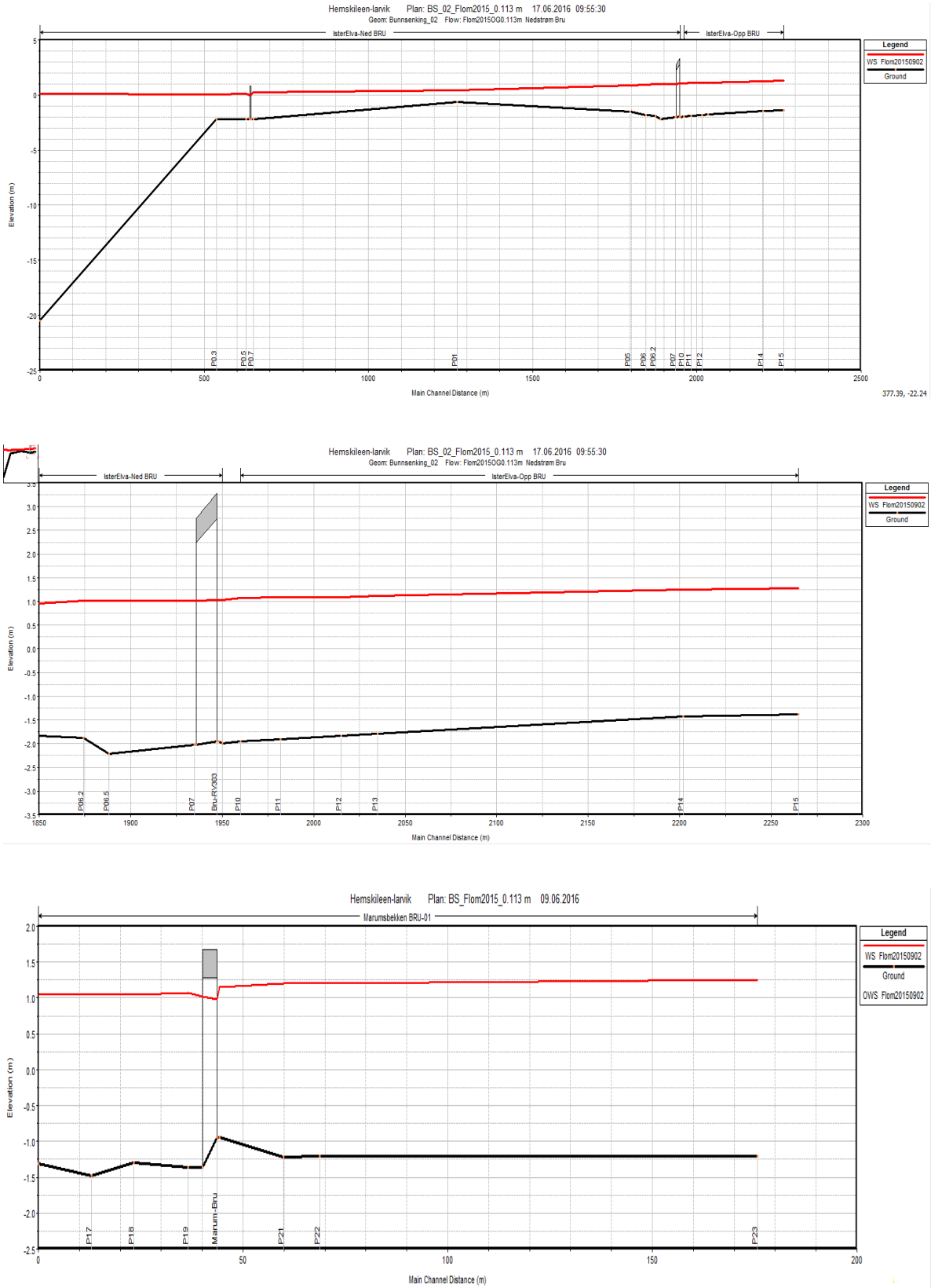


Fig 6.4 Simulerte vannlinjer med endring i løpsgeometri mellom tverrprofil P07 og P14. Vannføring som under flommen 2/9 -2015.

Tabell 6.3 **Simulering av vannstander ved alle tverrprofiler med geometriendring (bunnsenking/ fjerning av steinterskel) mellom tvp P07-P14. Begge broene er inkludert i simuleringen, men bunnsenking/ fjerning av terskel influerer også på Marumsbekken ovenfor lokal bru. Vannføring og havnivå som under flommen 2/9 -2015.**

River	Reach	River Name	River Sta	Profile	Q Total	W.S. Elev	Vel Chnl	Froude # Chl
					(m3/s)	(m)	(m/s)	
Marumsbekken	BRU-01	P23	280	Flom20150902	13.9	1.26	0.71	0.27
Marumsbekken	BRU-01	P22	260	Flom20150902	13.9	1.22	0.64	0.18
Marumsbekken	BRU-01	P21	240	Flom20150902	13.9	1.21	0.66	0.19
Marumsbekken	BRU-01	P20	220	Flom20150902	13.9	1.16	1.14	0.34
Marumsbekken	BRU-01		210		Bridge			
Marumsbekken	BRU-01	P19	200	Flom20150902	13.9	1.08	1.00	0.26
Marumsbekken	BRU-01	P18	180	Flom20150902	13.9	1.07	1.05	0.28
Marumsbekken	BRU-01	P17	160	Flom20150902	13.9	1.07	0.97	0.24
Marumsbekken	BRU-01	P16	140	Flom20150902	13.9	1.06	1.02	0.22
IsterElva-Opp	BRU	P15	600	Flom20150902	24.94	1.28	0.56	0.14
IsterElva-Opp	BRU	P14	580	Flom20150902	24.94	1.25	0.60	0.15
IsterElva-Opp	BRU	P13	560	Flom20150902	24.94	1.12	0.93	0.17
IsterElva-Opp	BRU	P12	540	Flom20150902	24.94	1.09	0.98	0.18
IsterElva-Opp	BRU	P11	520	Flom20150902	24.94	1.09	0.78	0.14
IsterElva-Opp	BRU	P10	500	Flom20150902	24.94	1.08	0.78	0.14
IsterElva-Ned	BRU	P09	480	Flom20150902	38.84	1.03	1.17	0.22
IsterElva-Ned	BRU	P08	460	Flom20150902	38.84	1.03	1.13	0.24
IsterElva-Ned	BRU		450		Bridge			
IsterElva-Ned	BRU	P07	440	Flom20150902	38.84	1.02	0.85	0.17
IsterElva-Ned	BRU	P06.5	430	Flom20150902	38.84	1.01	0.91	0.18
IsterElva-Ned	BRU	P06.2	425	Flom20150902	38.84	1.02	0.80	0.17
IsterElva-Ned	BRU	P06	420	Flom20150902	38.84	0.94	1.52	0.37
IsterElva-Ned	BRU	P05	400	Flom20150902	38.84	0.85	1.82	0.43
IsterElva-Ned	BRU	P01	320	Flom20150902	38.84	0.45	0.58	0.24
IsterElva-Ned	BRU	P0.7	310	Flom20150902	38.84	0.25	0.63	0.17
IsterElva-Ned	BRU		305		Bridge			
IsterElva-Ned	BRU	P0.5	300	Flom20150902	38.84	0.13	0.70	0.20
IsterElva-Ned	BRU	P0.3	295	Flom20150902	38.84	0.06	1.06	0.32
IsterElva-Ned	BRU	P00	290	Flom20150902	38.84	0.11	0.00	0.00

Tabell 6.4a **Simulering av vannstander (m) ved utvalgte tverrprofiler og forskjellige kombinasjoner av geometriendring og at broene tas ut av modellen. Vannføring og havnivå som under flommen 2/9 -2015.**

Q(flom) 2/9-15 23,7 m^3/s Hav 0,113 m	Eksisterende	÷Marum bru	÷Terskel	÷Terskel ÷Marum bru	÷Terskel ÷Marum bru ÷rv 303 bru
P15 Ist	1,47	1,47 (-0,00)	1,28 (-0,19)	1,28 (-0,19)	1,27 (-0,20)
P23 Mar	1,38	1,31 (-0,07)	1,26 (-0,12)	1,23 (-0,15)	1,22 (-0,16)
P21 Mar	1,36	1,28 (-0,08)	1,21 (-0,15)	1,16 (-0,20)	1,16 (-0,20)
P08 Ist+Mar	1,02	1,02 (-0,00)	1,03 (+0,01)	1,03 (+0,01)	1,03 (+0,01)
P07 Ist+Mar	1,01	1,01 (-0,00)	1,02 (+0,01)	1,02 (+0,01)	1,03 (+0,02)
P01 Ist+Mar	0,45	0,45 (-0,00)	0,45 (-0,00)	0,45 (-0,00)	0,45 (-0,00)
Hav	0,113	0,113 (-0,00)	0,113 (-0,00)	0,113 (-0,00)	0,113 (-0,00)

Tabell 6.4b **Simulering av vannstander (m) ved utvalgte tverrprofiler og forskjellige kombinasjoner av geometriendring og at broene tas ut av modellen. Vannføring som under flommen 2/9 - 2015, havnivå 1,32 m.**

Q(flom) 2/9-15 23,7 m^3/s Hav 1,32 m høy	Eksisterende	÷Marum bru	÷Terskel	÷Terskel ÷Marum bru	÷Terskel ÷Marum bru ÷rv 303 bru
P15 Ist	1,61	1,61 (-0,00)	1,48 (-0,13)	1,48 (-0,13)	1,48 (-0,13)
P23 Mar	1,60	1,51 (-0,09)	1,50 (-0,10)	1,41 (-0,19)	1,41 (-0,19)
P21 Mar	1,59	1,50 (-0,09)	1,49 (-0,10)	1,40 (-0,19)	1,39 (-0,20)
P08 Ist+Mar	1,34	1,34 (-0,00)	1,35 (+0,01)	1,35 (+0,01)	1,34 (-0,00)
P07 Ist+Mar	1,34	1,34 (-0,00)	1,34 (-0,00)	1,34 (-0,00)	1,34 (-0,00)
P01 Ist+Mar	1,33	1,33 (-0,00)	1,33 (-0,00)	1,33 (-0,00)	1,33 (-0,00)
Hav	1,32	1,32 (-0,00)	1,32 (-0,00)	1,32 (-0,00)	1,32 (-0,00)

På strekningen mellom tverrprofil P07 og P14 ligger elvebunnen på et høyere nivå enn på strekningen oppstrøms P14, se fig 6.2b. (Fra ca P14 og oppover ble elvebunnen utvidet i februar 2015). Det høyeste nivået på strekningen ligger ved tverrprofil P13 og er over 1 m høyere enn laveste nivå på bunnen oppstrøms (P14). Det er derfor sannsynlig at en terksel på denne strekningen hindrer vannstrømmen og virker oppstuvende på områdene oppstrøms.

Endring av geometrien og bunnen lineært mellom tverrprofil P14 og P07 (fjerning av terskel) øker kapasiteten på denne strekningen, se fig. 6.4b. Ved tverrprofil P13 er bunnen senket med ca 1,2 m samtidig som tverrsnittsarealet i kanalen er økt, se fig. 6.3.

Modellberegning av vannlinjer med endret geometri gir en senking av vannstanden med inntil 19 cm ved øverste tverrprofil i Istreelva (P15). Det gir også en effekt i Marumsbekken, hvor vannlinjene senkes med inntil 12 cm på strekningen oppstrøms brua. Økning av brukapasiteten lokalt i Marumsbekken vil senke vannstanden ytterligere noen få cm. I følge beregningene vil dette ha noe større effekt ved høyt tidevann (1,32m) enn ved lavere (0,113m). Økning av kapasitet ved å ta ut «rv 303 bru» fra modellberegningen gir svært liten effekt, ca 1 cm på strekningen oppstrøms broene opp til øverste tverrprofil (P15), se beregninger i tabell 6.4ab.

Terskelen ved P13 vil sannsynligvis også virke som sedimentasjonsbasis på strekningen oppstrøms ved at løpet raskere kan fylles opp til dette nivået. Økning av kapasiteten og senking av bunnen her kan derfor hindre sedimentasjon bunnheving på strekningen oppstrøms.

Simuleringer av vannlinjer med forskjellige vannføringer og havnivå på henholdsvis -0,03 m, 0,87 m og 1,32 m ved utvalgte tverrprofiler er gitt i tabell 6.5abc. Fulle tabeller og diagrammer er gitt i tillegg 1.

Vannstandsmålinger i vassdraget viser forskjellig minimumsnivå på delstrekningene når tidevannet er lavt. Målinger så langt viser at vannstanden ved Rund-dansen ikke synker lavere enn -0,3 m. Tverrprofilmålinger på den grunneste strekningen rett oppstrøms rv 303 (P13) viser at en svært liten del av tverrsnitts arealet ligger lavere enn -0,35 m (minimum: -0,50 m), se fig 6.3. Dette er en av årsakene til at vannstanden ikke kan synke vesentlig lavere på strekningen videre opp til Rund-dansen. For å senke vannstanden ytterligere må den grunneste strekningen graves ut og renskes (terskel fjernes).

Tilsvarende vil det grunne området i Hemskilen være bestemmende for minimumsvannstanden i den nedre delen av vassdraget. Målinger viser at vannstanden ved rv 303 ikke synker lavere enn -0.47 m selv om havnivået går lavere. Målt tverrprofil (P01) ved innløp Hemskilen har laveste nivå på -0,66 m.

Vannstandforskjellene mellom havnivået og områdene høyere opp vassdraget avtar ved høyere tidevann ved alle vannføringer. I situasjoner med lavere tidevann (målt og beregnet ved 0,113 m målt og beregnet ved -0,03m) er det en viss gradient mellom rv 303 (P07) og havnivået, se tabell 6.4ab. Beregningene viser at forskjellene i vannstand avtar når havnivået økes fra -0.03 m til 0,87 m og 1,32 m med tilsvarende vannføring, se tabell 6.5abc.

Tabell 6.5a **Simuleringer av vannstander (m) ved utvalgte tverrprofiler og vannføringer. Havnivå -0,03m.**

Eksisterende geometri Hav -0,03 m	Q(5), 5 m^3/s	Q(10), 10 m^3/s	Q(15), 15 m^3/s	Q(25), 25 m^3/s	Q(30), 30 m^3/s
P15 Ist	0,72	1,05	1,23	1,52	1,65
P23 Mar	0,47	0,93	1,12	1,44	1,63
P21Mar	0,40	0,83	1,05	1,43	1,62
P08 Ist + Mar	0,35	0,73	0,88	1,04	1,09
P07 Ist + Mar	0,35	0,72	0,87	1,03	1,08
P01 Ist + Mar	0,02	0,14	0,26	0,47	0,55
Hav	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03

Tabell 6.5a **Simuleringer av vannstander (m) ved utvalgte tverrprofiler og vannføringer. Havnivå 0,87m.**

Eksisterende geometri Hav 0,87 m	Q(5), 5 m^3/s	Q(10), 10 m^3/s	Q(15), 15 m^3/s	Q(25), 25 m^3/s	Q(30), 30 m^3/s
P15 Ist	0,96	1,11	1,26	1,53	1,66
P23 Mar	0,92	1,03	1,16	1,47	1,65
P21Mar	0,90	0,99	1,12	1,46	1,64
P08 Ist + Mar	0,88	0,91	0,96	1,09	1,12
P07 Ist + Mar	0,88	0,91	0,95	1,08	1,11
P01 Ist + Mar	0,87	0,88	0,88	0,90	0,92
Hav	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87

Tabell 6.5b **Simuleringer av vannstander (m) ved utvalgte tverrprofiler og vannføringer. Havnivå 1,32m.**

Eksisterende geometri Hav 1,32 m	Q(5), 5 m^3/s	Q(10), 10 m^3/s	Q(15), 15 m^3/s	Q(25), 25 m^3/s	Q(30), 30 m^3/s
P15 Ist	1,34	1,39	1,46	1,64	1,74
P23 Mar	1,33	1,38	1,44	1,64	1,78
P21Mar	1,33	1,37	1,44	1,64	1,77
P08 Ist + Mar	1,32	1,32	1,33	1,35	1,36
P07 Ist + Mar	1,32	1,32	1,33	1,34	1,35
P01 Ist + Mar	1,32	1,32	1,32	1,33	1,33
Hav	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32

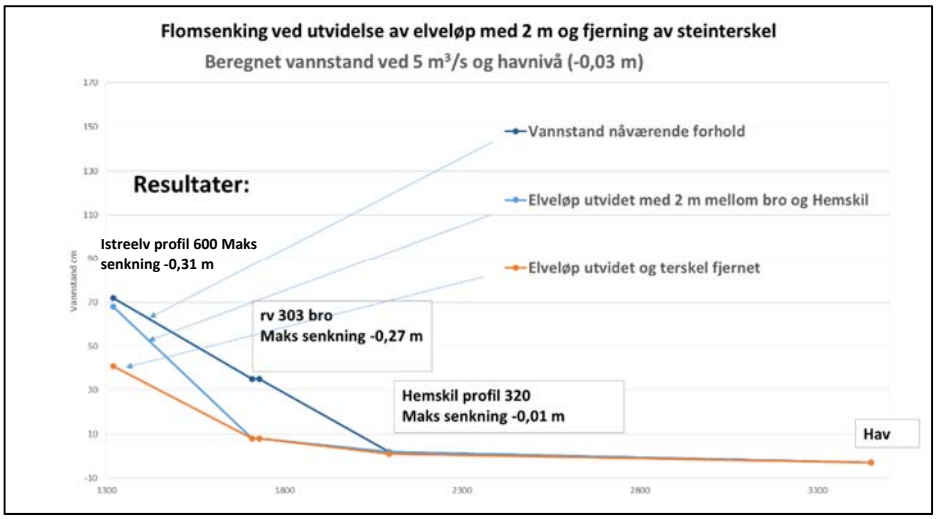
I situasjoner med lavt tidevann er store deler av Hemskilen tørrlagt (ca 0.0 m og lavere) og elva går som en kanal gjennom området (se fig. 3.2). Høy vannføring i en slik situasjon gir vannstandsforskjeller mellom utløpet av Hemskilen og områdene ved rv 303. Vannstandsmålinger og beregninger viser at vannstandforskjellen avtar ved høyere tidevann. Et flomsenkingstiltak på denne strekningen kan være å utvide kapasiteten på elveløpet mellom innløpet til Hemskilen og rv 303. Det er derfor utført beregninger av flomsenkings-effekten ved at elveløpet på strekningen utvides med 2 m. Det er også utført beregninger av den kombinerte effekten av elveløpsutvidelse og fjerning av terskel. Resultatene av disse beregningene er vist i tabell 6.6ab. Resultater for tre utvalgte vannføringer er fig 6.5 abc og som kart med berørte areal fig 6.6abc. Det er også gjort en beregning av flomsenkingseffekten av utvidet elveløp under en flomepisode 5-7 november 2016 med maksimums vannføring på ca 6 m^3/s. Disse beregningene gir ca -0,27 m flomsenking under maksimalvannføring, se fig. 6.7. På bakgrunn av alle disse testene er det simulert vannlinjer for flommen 2/9-2015 gitt utvidet elveløp og fjerning av terskel sammenlignet med observerte vannlinjer i fig 6.8.

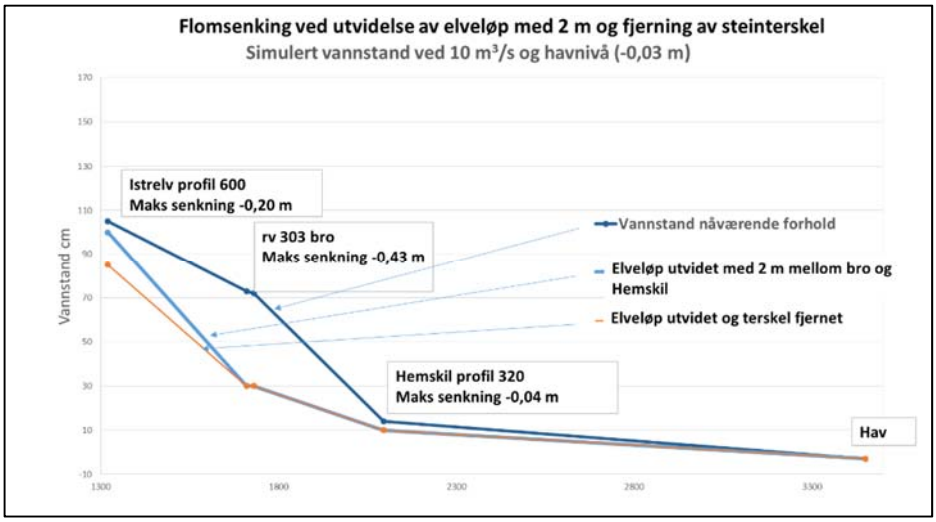
Tabell 6.6a **Simuleringer av vannstander (m) ved utvalgte tverrprofiler og vannføringer. Eksisterende profil vs effekten av flomsenking ved utvidet elveløp nedstrøms rv 303. Havnivå -0,03m.**

Eksisterende geometri vs utvidet elveløp Hav -0,03 m	Q(5), 5 m^3/s	Q(10), 10 m^3/s	Q(15), 15 m^3/s	Q(25), 25 m^3/s	Q(30), 30 m^3/s
P15 Ist	0,72 (-0,04)	1,05 (-0,05)	1,23 (-0,05)	1,52 (-0,04)	1,65 (-0,02)
P23 Mar	0,47 (-0,18)	0,93 (-0,17)	1,12 (-0,08)	1,44 (-0,08)	1,63 (-0,05)
P21Mar	0,40 (-0,21)	0,83 (-0,29)	1,05 (-0,20)	1,43 (-0,09)	1,62 (-0,05)
P08 Ist + Mar	0,35 (-0,27)	0,73 (-0,43)	0,88 (-0,37)	1,04 (-0,22)	1,09 (-0,16)
P07 Ist + Mar	0,35 (-0,27)	0,72 (-0,42)	0,87 (-0,36)	1,03 (-0,22)	1,08 (-0,16)
P01 Ist + Mar	0,02 (-0,01)	0,14 (-0,04)	0,26 (-0,04)	0,47 (-0,05)	0,55 (-0,05)
Hav	-0,03 (0,00)	-0,03 (0,00)	-0,03 (0,00)	-0,03 (0,00)	-0,03 (0,00)

Tabell 6.6b **Simuleringer av vannstander (m) ved utvalgte tverrprofiler og vannføringer. Eksisterende profil vs effekten av flomsenking ved fjerning av terskel og utvidet elveløp nedstrøms rv 303. Havnivå -0,03m.**

Eksisterende geometri vs utvidet elveløp og terskel vekk Hav -0,03 m	Q(5), 5 m^3/s	Q(10), 10 m^3/s	Q(15), 15 m^3/s	Q(25), 25 m^3/s	Q(30), 30 m^3/s
P15 Ist	0,72 (-0,31)	1,05 (-0,20)	1,23 (-0,19)	1,52 (-0,24)	1,65 (-0,23)
P23 Mar	0,47 (-0,21)	0,93 (-0,20)	1,12 (-0,12)	1,44 (-0,23)	1,63 (-0,25)
P21Mar	0,40 (-0,25)	0,83 (-0,35)	1,05 (-0,29)	1,43 (-0,27)	1,62 (-0,27)
P08 Ist + Mar	0,35 (-0,27)	0,73 (-0,43)	0,88 (-0,37)	1,04 (-0,22)	1,09 (-0,16)
P07 Ist + Mar	0,35 (-0,27)	0,72 (-0,42)	0,87 (-0,36)	1,03 (-0,22)	1,08 (-0,16)
P01 Ist + Mar	0,02 (-0,01)	0,14 (-0,04)	0,26 (-0,04)	0,47 (-0,05)	0,55 (-0,05)
Hav	-0,03 (0,00)	-0,03 (0,00)	-0,03 (0,00)	-0,03 (0,00)	-0,03 (0,00)





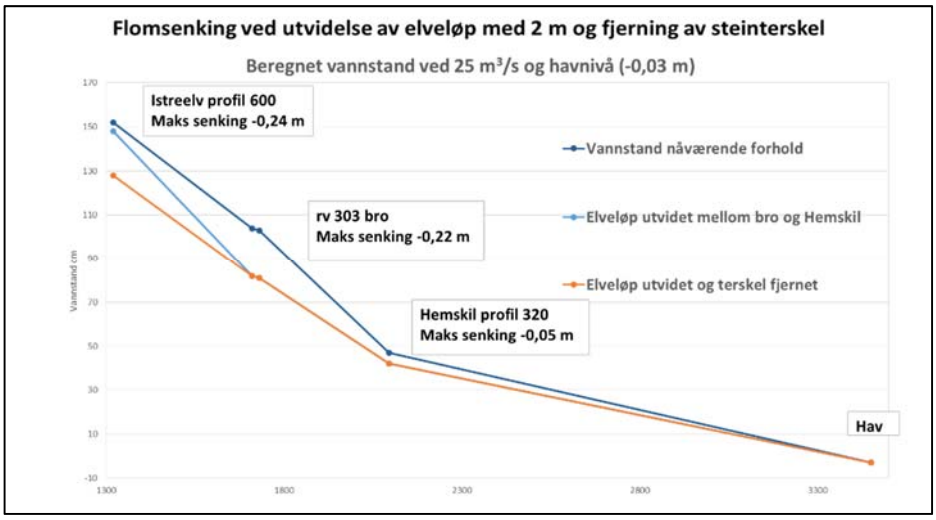


Fig 6.5abc **Effekten av flomsenking i nedre del av Istreelva ved vannføring på henholdsvis 5 m³/s, 10 m³/s og 25 m³/s. Utvidelse av elveløp nedenfor brua gir liten effekt oppstrøms for terskelen. Den kombinerte effekten av løpsutvidelse og fjerning av terskel gir størst effekt på hele strekningen.**

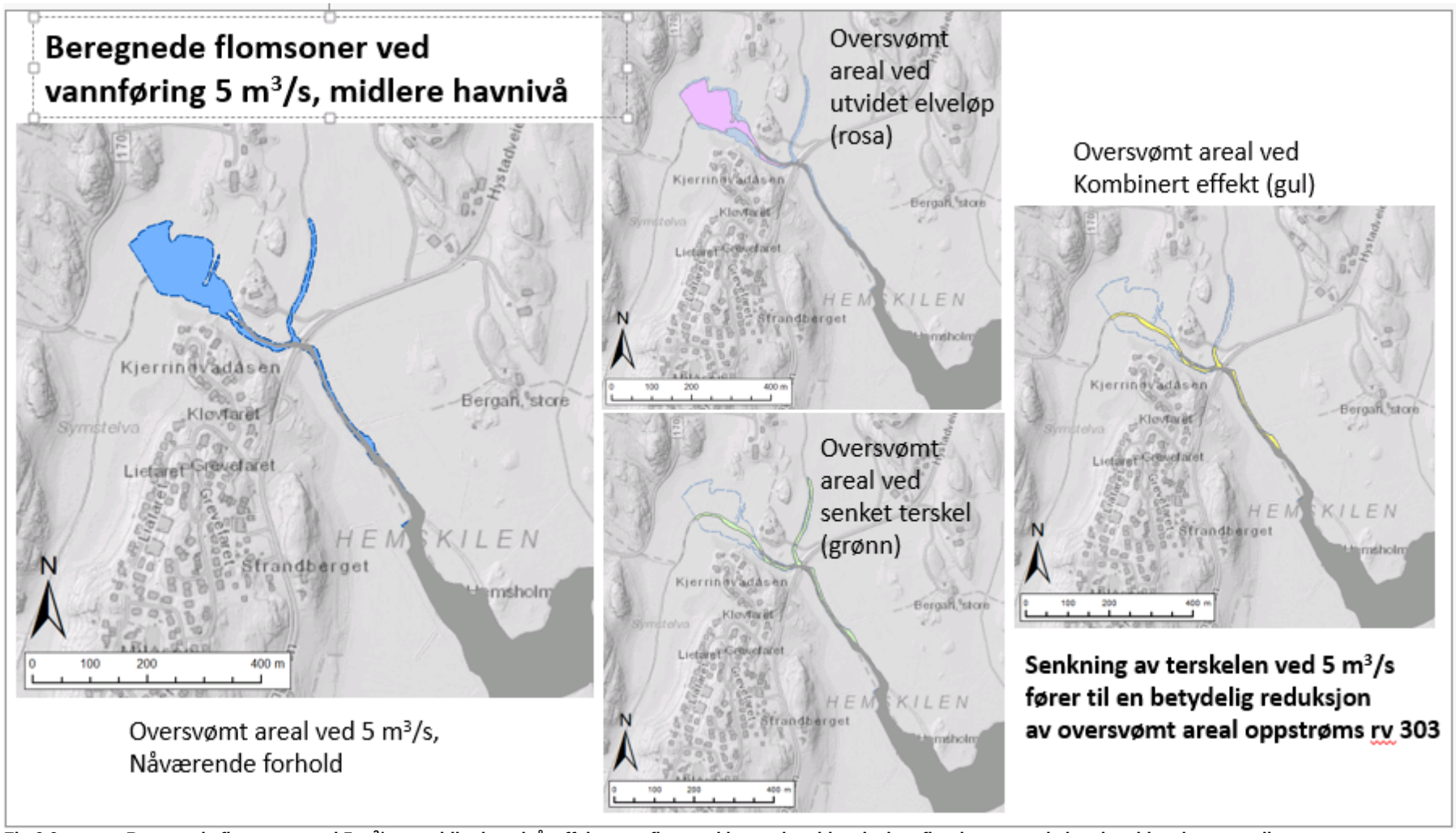


Fig 6.6a. **Beregnede flomsoner ved 5 m³/s og midler havnivå, effekten av flomsenking ved utvidet elveløp, fjerning av terskel og kombinasjonen av disse.**

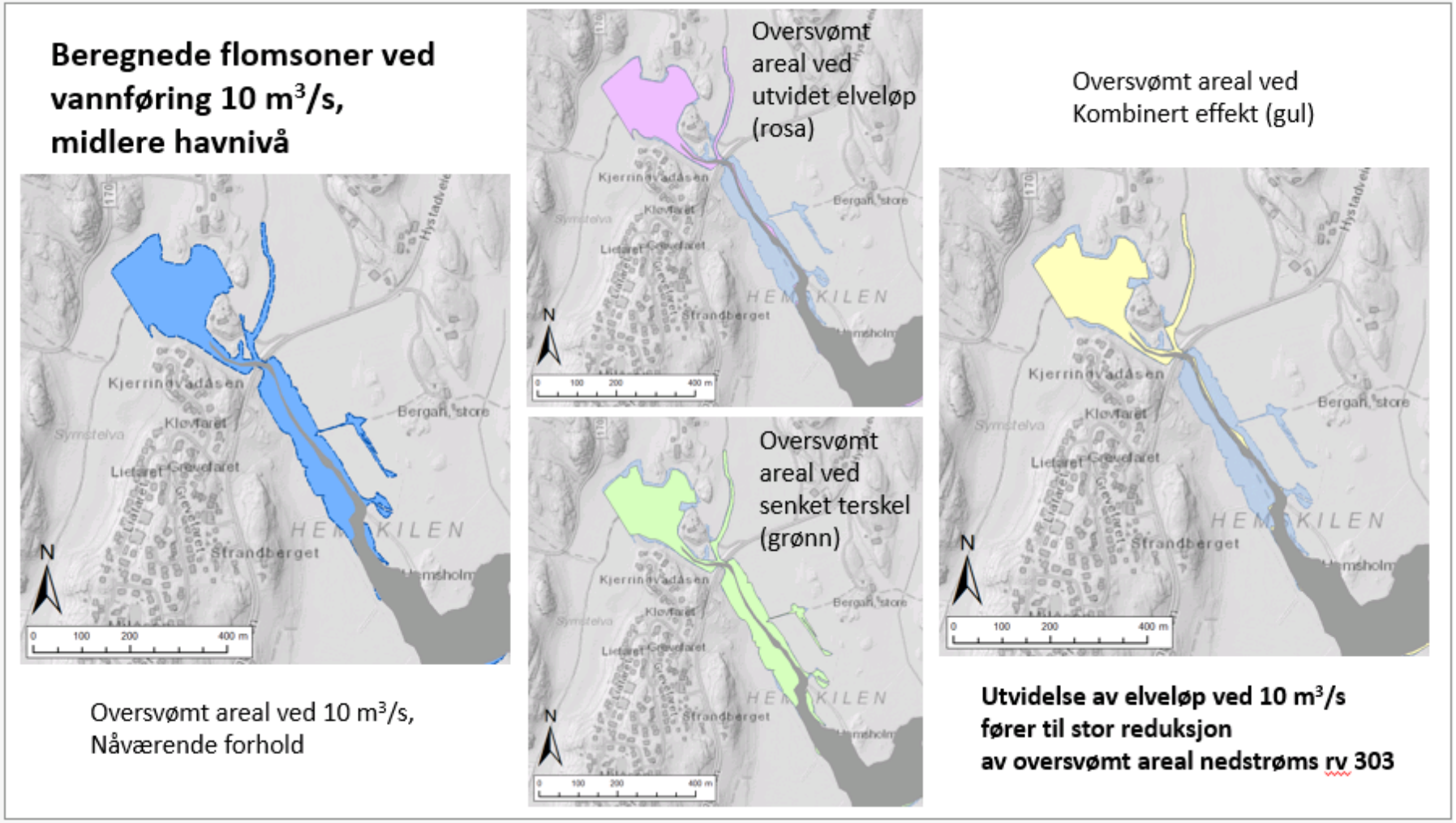


Fig 6.6b. **Beregnede flomsoner ved 10 m³/s og midler havnivå, effekten av flomsenking ved utvidet elveløp, fjerning av terskel og kombinasjonen av disse.**

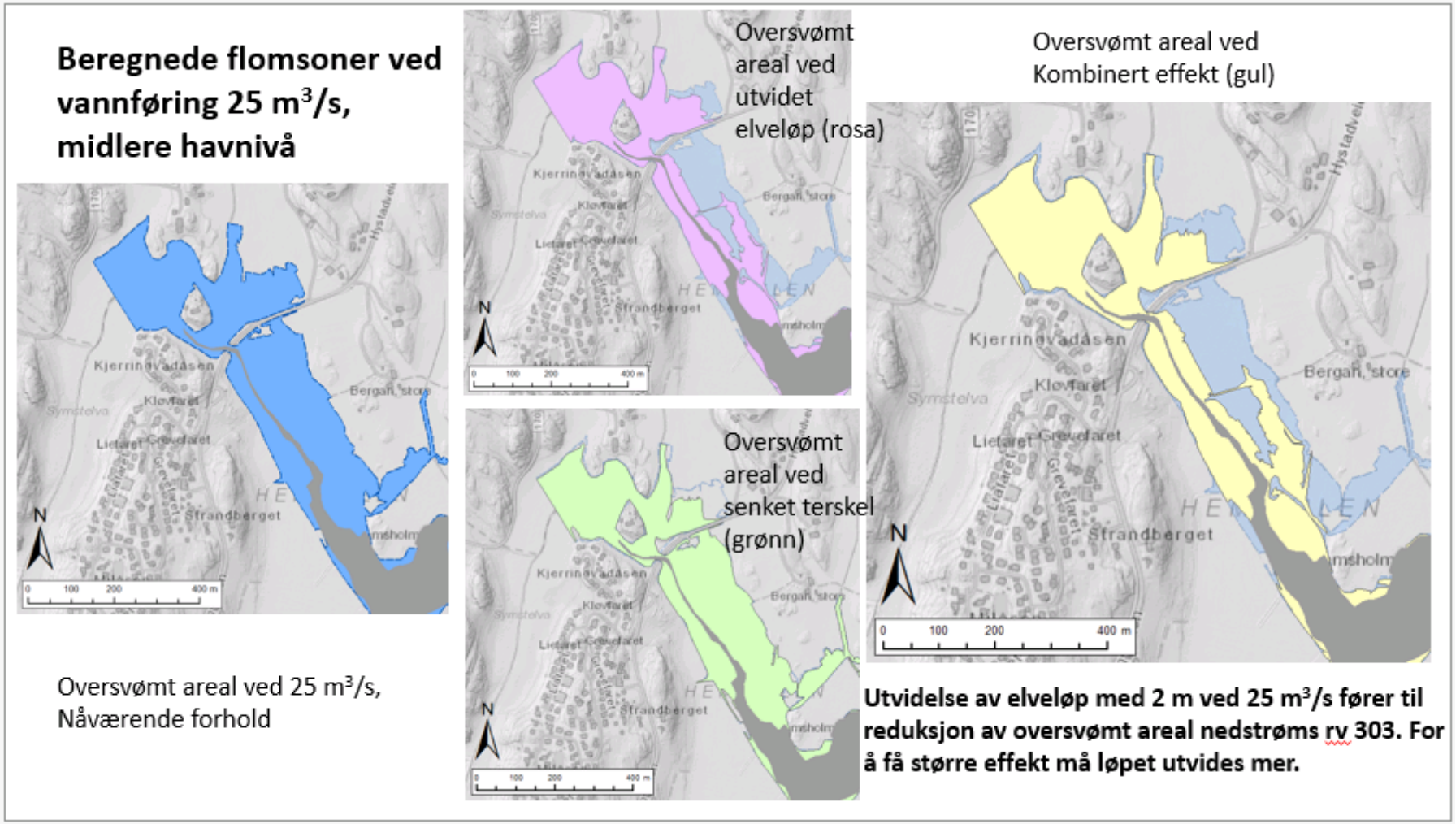


Fig 6.6c. **Beregnede flomsoner ved 25 m³/s og midler havnivå, effekten av flomsenking ved utvidet elveløp, fjerning av terskel og kombinasjonen av disse.**

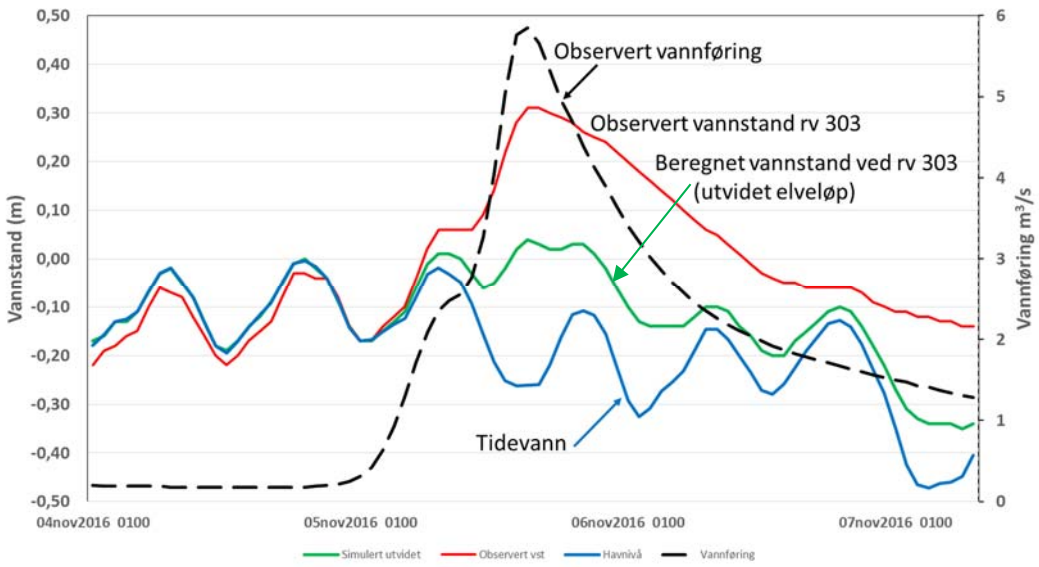


Fig 6.7. Beregning av effekten av utvidet elveløp under en flomepisode 5-7 november 2016. Senking av vannstand ved rv 303 med utvidet elveløp er vist med grønt. Maks vannføring ca 6 m³/s med tidsvarierende tidevann (blå). Resultat: ca -0,27 m flomsenking under maksimalvannføring.

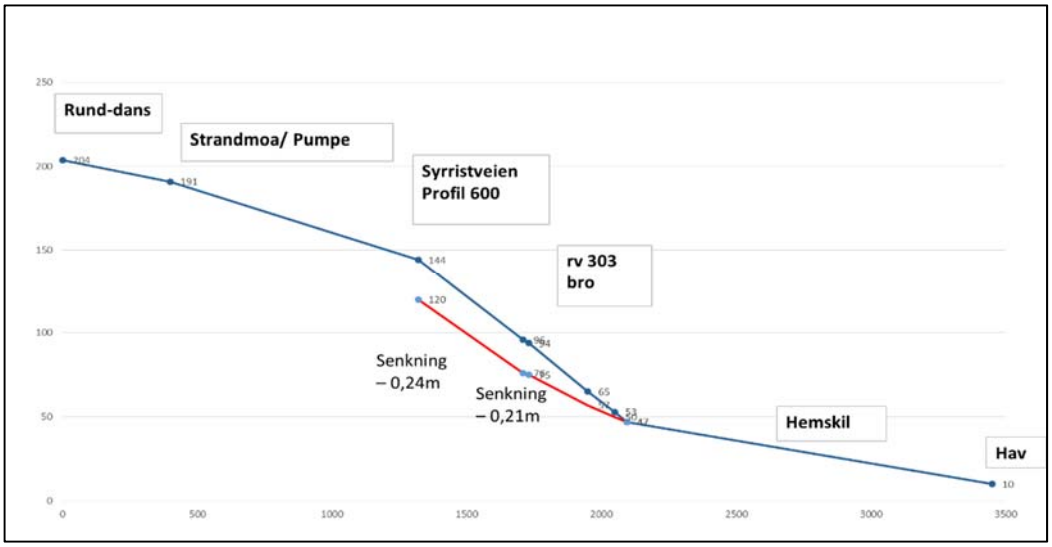


Fig 6.8. Beregnet flomsenkning ved en kombinert effekt av elveløpsutvidelse og fjerning av steinterskel under den store flommen 2/9 -2015 (rød) vannføring 23,7 m³/s, tidevann 0,1 m. Observert vannlinje (blå).

6.2.1 Kapasitetsvurderinger av bruer.

Det er også utført kapasitetsvurdelinger av bruene nederst i vassdraget, rv 303 og lokal bru over Marumsbekken.

Simulerte vannlinjer oppstrøms brua i Marumsbekken med vannføring tilsvarende flommen 2/9 2015 er vist i fig. 6.5a. Maksimums vannføringen er beregnet til ca 14 m^3/s, tidevann ved målt situasjon var på 0,113 m. Vannstanden rett ved innløpet til broen er beregnet til ca 1,2 m. Høyde nivået på lysåpningen er ca. 1,3 m.

En situasjon med tilsvarende vannføring og en tidevannssituasjon på 1,32 m gir en vannstand på nærmere 1,6 m ved innløpet til broen, som er ca 30 cm høyere enn undersiden av brudekket, se fig. 6.5b.

En situasjon med noe lavere vannføring, ca. 9 m^3/s (Q15 i Istreelva) og tidevann på 0,113 m gir en vannstand ved innløpet til broen på ca. 0,95 m, se fig. 6.5c

Økning av brukapasiteten i Marumsbekken vil ha noe større effekt ved høyt tidevann (1,32 m) enn når det er lavere (0,113 m) gitt samme vannføring, se tabell 6.4ab.

Vannstanden på denne strekningen er bestemt av vannstanden i Istreelva og vil kunne bli lavere hvis vannstanden senkes nedstrøms, se tabell 6.4ab «-terskel». Arealet på broåpningen er ca. 8 m^2, så en vannføring på 14 m^3/s er kritisk selv med lavere vannstand på strekningen nedstrøms.

Fig 6.9 Brua rv 303 over Istreelva og lokal bru over Marumsbekken (fra Digitale Medier 1881 AS).

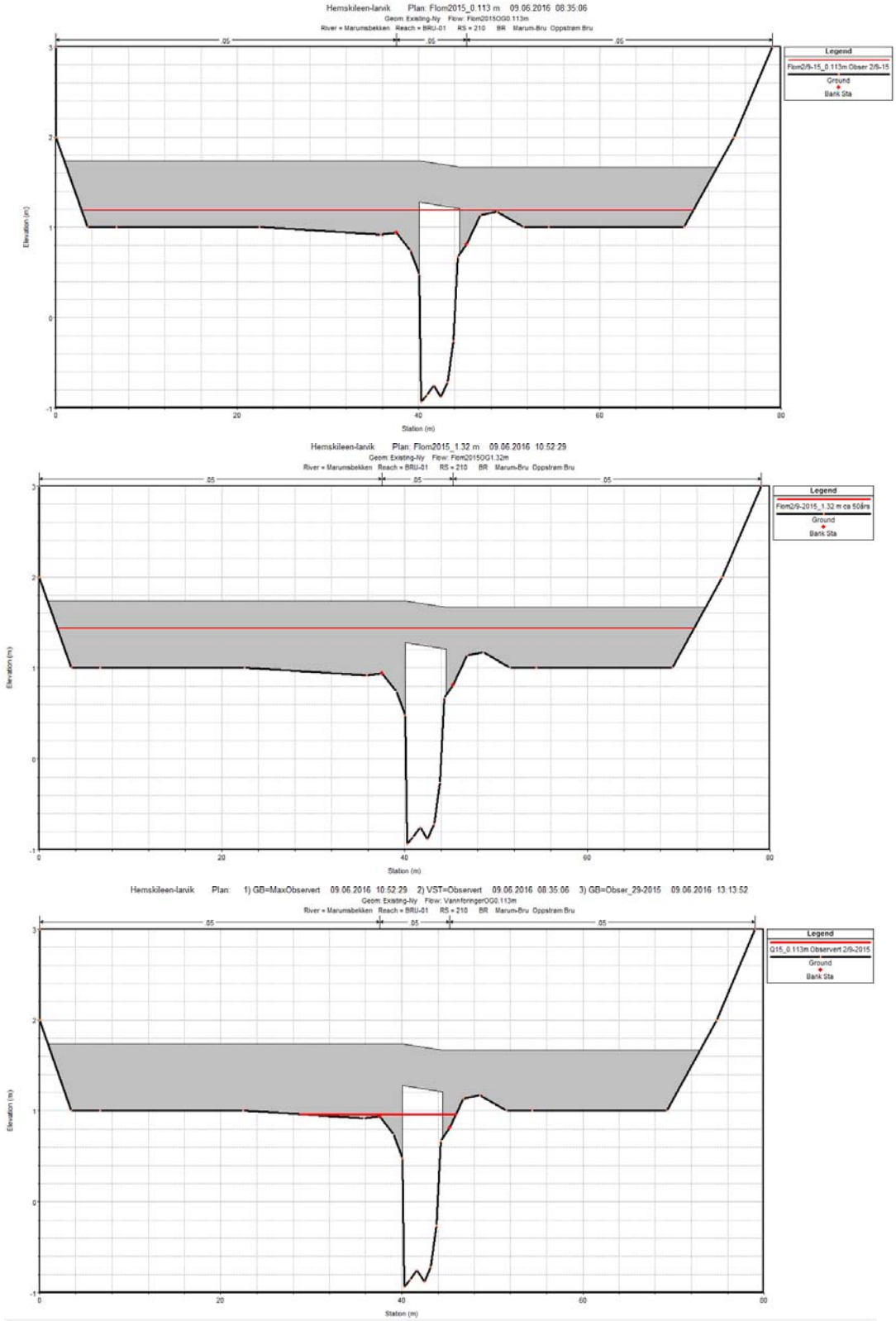


Fig 6.5 Simulerte vannlinjer oppstrøms brua i Marumsbekken. A: Flomvannføring 2/9-15 (ca 14 m^3/s), tidevann ved målt situasjon 0,113 m. B: Flomvannføring 2/9-15 (ca 14 m^3/s), tidevann satt til 1,32 m. C: Vannføring Q15 (ca 9 m^3/s), tidevann satt til 0,113 m. Høyde nivå på lysåpning er ca 1,3 m.

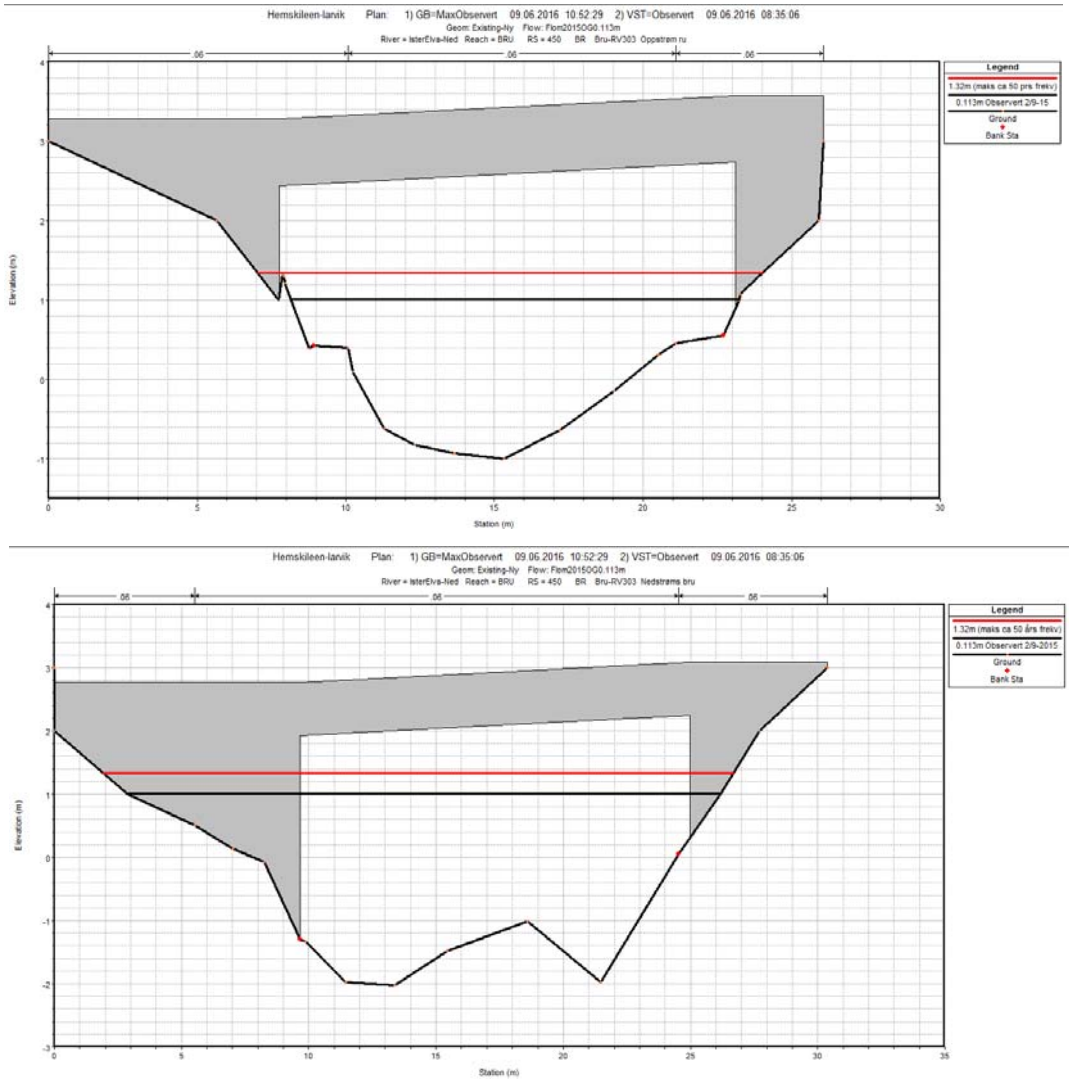


Fig 6.6 Simulerte vannlinjer oppstrøms og nedstrøms brua i ved rv 303 Svart linje: Flomvannføring 2/9-15 (målt ved målestasjon: 23,8 m^3/s/ beregnet ved rv 303: 39 m^3/s), tidevann som målt 0,113 m. Rød linje: Flomvannføring 2/9-15 (ca 39 m^3/s), tidevann satt til 1,32 m.

Simulerte vannlinjer oppstrøms og nedstrøms brua ved rv 303 med vannføring tilsvarende flommen 2/9 2015 er vist i fig 6.6a. Den spesifikke maks vannføringen her er beregnet til ca 39 m^3/s. Situasjonen med målte vannstander og tidevann på 0,113 m er vist med heltrukken svart linje. Simulering av en situasjon med samme vannføring med høyt tidevann (1,32 m) er vist med heltrukken rød linje. Observasjoner på stedet under flommen viser også at elva renner fritt forbi med en vannføring på ca 39 m^3/s og tidevannsnivå på 0,113 m, se fig. 4.11. Vannhastigheten ved broa ble beregnet til ca 1,5 m/s (tabell 6.2) under denne hendelsen, total minste lysåpning på brua er ca 41 m^2.

Laveste punkt på rv 303 er 0,3 m lavere enn laveste punkt på brudekket, se fig 6.7.

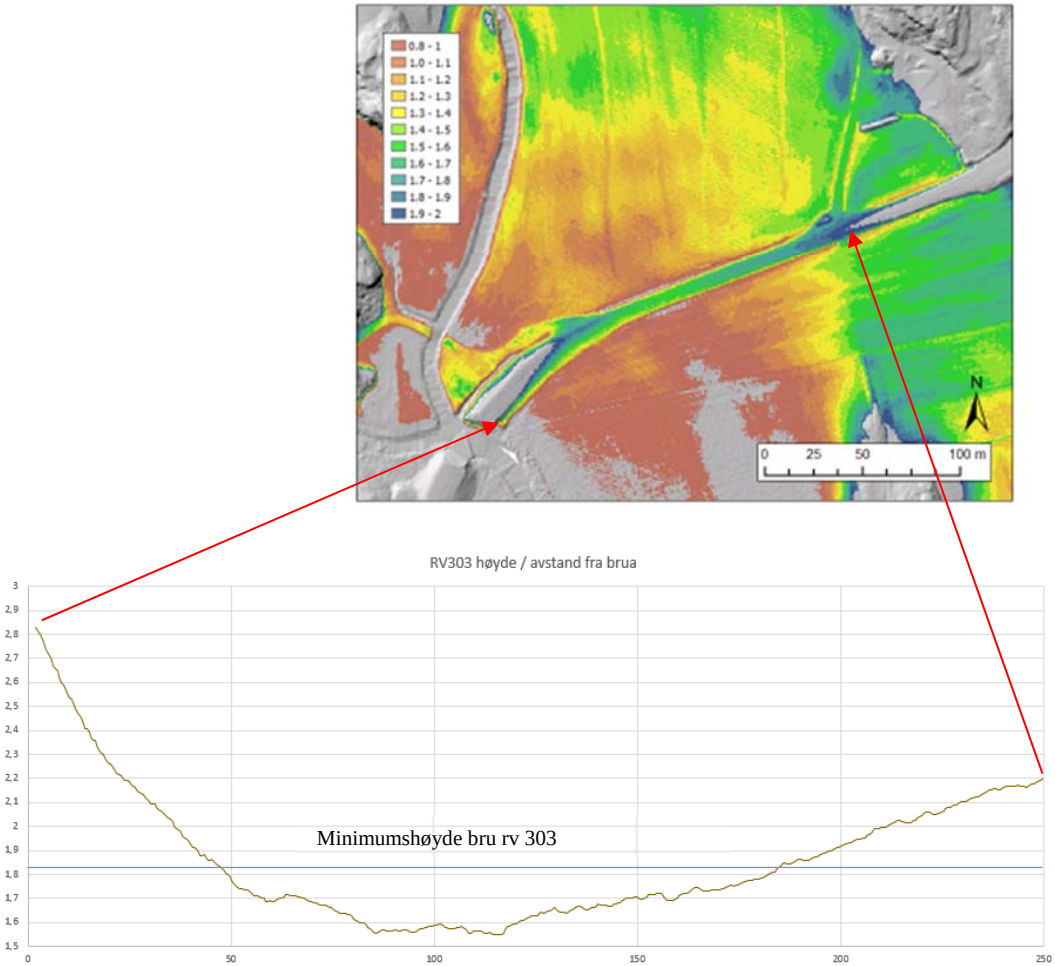


Fig 6.7 Laveste punkt på rv 303 er 0,3 m lavere enn laveste punkt på brudekket.

7 Oppsummering

Høy vannføring i Istreelva og Marumsbekken fører tidvis til lokale oversvømmelser i de nedre deler av vassdragene, særlig fra Hemskilen til Rund-dansen og langs Haslebekken.

Økningen i flommenes hyppighet og størrelse skyldes mer nedbør, men undersøkelsene som er dokumentert i denne rapporten viste at sedimentasjon i elveløpene har redusert kapasiteten og forsterket oversvømmelsene. Oppstrøms rv 303 er det påvist at en steinterskel også påvirker flomforholdene. Sedimententene som tilføres vassdraget kommer fra naturlig erosjon, jordbruk, steinbrudd og urbanisering (Marumsbekken).

Ved hjelp av det hydrauliske modellverktøyet HEC-Ras er det utført beregninger som viser hvordan forskjellige tiltak vil redusere flomvannstanden.

Beregningene viste at en utvidelse av elveløpet på 2 m (fra ca 8 m i dag til 10 m) på den nederste 400 meter lange strekningen av Istreelva nedstrøms rv 303 gir opp mot 0,5 m flomsenkning (ved rv 303) ved mellomstore vannføringer (10 m^3/s) og midlere tidevannstand (-0,03m). For å oppnå samme effekt ved de aller største flommene må kanalen utvides mer.

Ved lave vannføringer (mindre enn 2 m^3/s) er det lite fall på strekningen og kapasiteten er vurdert til å være bra. Målinger viser imidlertid at selv lave vannføringer vil påvirke vannstandsforskjellene i dette området når det er lave tidevannsnivåer.

En utvidelse av elveløpet nedstrøms brua ved rv 303 vil imidlertid gi liten effekt for områdene høyere opp i vassdraget (oppstrøms steinterskelen).

For å senke flommene i dette området må den påviste steinterskelen i Istreelva ca 50 m oppstrøms rv 303 fjernes. Modellberegninger viser at dette gir en flomsenking på inntil 0,31 m i området rett oppstrøms terskelen ved vannføringer på rundt 5 m^3/s. Beregninger er foretatt med eksisterende bredde på elva. En økning av bredden vil øke flomsenkingseffekten.

Vannstandsmålinger viser at rensking av elveløpet oppstrøms rv 303 til Rund-dansen i 2015 har gitt en flomsenkning på ca 0,5 m målt ved Rund-dansen ved vannføring på 6 m^3/s. Ytterligere senking kan oppnås ved å fjerne steinterskelen. Dette vil også redusere sedimentasjonen i elveløpet. Hvis ikke steinterskelen fjernes vil tilførsel av nytt materiale lettere sedimenter på ny.

Målinger av vannstand under flom viser at brua i Marumsbekken har lav kapasitet under slike forhold. Det er under de største flommene (fra ca 15 m^3/s og oppover) at dette begynner å gjøre seg gjeldene og vil berøre de nedre delene av Marumsbekken.

Senkningseffekten er imidlertid svært påvirket av tidevannet. Ved høyt tidevann er vannstandforskjellene mellom de nedre deler av vassdraget og havnivået mindre, også ved høye vannføringer.

Under flommen 2/9 – 2015 ble et areal på ca 30 Ha dyrket mark (totalt areal ca 43 Ha) berørt av flommen i området fra Rund-dansen til Hemskilen. For å kunne bedømme virkningen av forskjellige tiltak ble det utarbeidet karter over arealer som oversvømmes under forskjellige vannføringer og tidevannstander.

Noe av sedimentene kommer fra steinbruddene. Sedimentavsetningen i Hemskilen er en langtidsvirkning av sedimenttransporten i vassdraget, hvor tidligere utslipp fra steinindustrien også har påvirket. Mineralsammensetningen på sedimentene kan bidra til å bestemme opphav. Datablad oppgir at Larvikitt (Emerald Pearl) har 80-85% feltspat.

Suspensjonstransport: Steinbruddene i Istreelva utgjør 3% av nedbørfeltets areal. Ut i fra betraktninger og sammenligninger med Tveidalsbruddene som utgjør 39% av det lokale nedbørfeltet, anslås andelen sedimenter som kommer fra steinbruddene i Istreelva til å bidra med mellom 8%-27% av den totale suspensjonstransporten (målinger fra 2007-2008). Tiltak etter 2007 i form av sedimentasjonsbasseng kan ha redusert dette. En stor del av dette materialet er finfordelt (leirfraksjon d< 2 mikron) og føres ut i de ytre deler.

Bunntransport: Materialet inneholder ikke tilsvarende høye verdier av feltspat. Målinger indikerer en viss økning nedstrøms tilløpselver fra bruddene. Det er målt en økning på 4-5% etter tilførsel fra Klåstad og tilsvarende ved Stålåker / Håkestad

I et område av Hemskilen hvor bunnlaget ble sedimentert før 1961 har topplaget opptil 7% mer feltspat enn i dypere lag og er sannsynligvis påvirket av steinbrudd virksomheten i nyere tid.

Det er mulig å overvåke løpende hvor mye suspenderte sedimenter som tilføres fra steinbruddene. De har i dag pålagte målinger av suspensjons-konsentrasjonen og kornfordeling av partikler i prosessvannet, både i sedimentasjonsbassengene og avløpet fra disse. Mengden materiale som tilføres vassdragene kan beregnes hvis avløpsvolumet er kjent.

8 Tiltak for å senke vannstanden

- Løpsutvidelse på 2 m på strekningen fra rv 303 til Hemskilen gir ca 0,5 m flomsenkning ved mellomstor vannføring på 10 m^3/s og midlere tidevannstand (-0,03m). For å oppnå samme reduksjon ved de aller største flommene må løpet utvides mer.
    - Ved lave vannføringer (mindre enn 2 m^3/s) er kapasiteten tilstrekkelig. Målinger viser imidlertid at selv lave vannføringer vil påvirke vannstandsforskjellene i dette området når det er lave tidevannsnivåer.
    - -Senkningseffekten er imidlertid svært påvirket av tidevannet. Ved høyt tidevann er vannstandforskjellene mellom de nedre deler av vassdraget og havnivået mindre, også ved høye vannføringer.
- En løpsutvidelse nedstrøms brua ved rv 303 har liten effekt for områdene (oppstrøms rv 303). For å senke flommene i dette området må den påviste steinterskelen fjernes. Modellberegninger viser at dette gir en flomsenking på inntil 0,31 m i området rett oppstrøms terskelen ved vannføringer på rundt 5 m^3/s.
    - Beregninger er foretatt med eksisterende bredde på elva. En økning av bredden vil øke flomsenkingseffekten.
- Rensking av elveløpet oppstrøms rv 303 til Rund-dansen i 2015 har gitt en flomsenkning på ca 0,5 m målt ved Rund-dansen ved vannføring på 6 m^3/s.
- Ytterligere senking kan oppnås ved å fjerne steinterskelen. Dette vil også redusere sedimentasjonen i elveløpet.
- Rensking under brua i Marumsbekken. Den har lav kapasitet under flom. Under de største flommene (fra ca 15 m^3/s) oversvømmes jordene i de nedre delene av Marumsbekken.

- Overvåkingstiltak: Steinbruddene har i dag pålagte målinger av suspensjonskonsentrasjonen og kornfordeling av partikler i prosessvannet, både i sedimentasjonsbassengene og avløpet fra disse. Mengden materiale som tilføres vassdragene kan beregnes hvis avløpsvolumet er kjent.

9 Referanser

Chow, V. T, 1988 Open Channel Hydraulics. Mc Graw – Hill Classic textbook reissue.

Norsk klimaservicesenter 2015 Klimaprofil Vestfold. Meteorologisk institutt, uni Research, NVE

Larvik Granite AS 2015 Datablad Emerald Pearl

Roald, L. A. 2014 Store flommer i Buskerud. Foredrag/ Presentasjon 05.02.2014 ved Folkeakademiet i Nedre Eiker 2014.

Simpson, M. J. R. et. al 2015 Sea Level Change of Norway – Past and Present Observations and Projections to 2100 NCCS report no. 1/ 2015 M-405-2015

Sandefjords blad 2010, Springflo i kveld, foto av Olaf Akselsen. Sb 24/8 2010.

Sørensen, R., Henningsmoen, K.E., Høeg, H. I., Stabell, B., Bukholm, K. M. 2006 Geology, Soils,Vegetation and Sea-levels in the Kaupang Area. In: Dagfinn Skre (ed.): *Kaupang in Skiringssal Kaupang Excavation Project, Publication Series,Volume 1,* Norske Oldfunn XXII, pp. 252-273.

Us Army Corps of Engineers 2016 HEC-RAS 5.0.1 User's Manual

Wikipedia 2008 Flommen på Sør- og Østlandet 1987. Fra Wikipedia, den frie encyklopedi.

10 Tillegg

Utdrag av Technical Data, Emerald pearl (Larvik Granite 2015)

Emerald Pearl is an elegant dark green stone with silver-blue pearls. The quarry is still under development, so we have not yet reached the best qualities. At present, production is mainly commercial qualities, but the stone has a uniform structure and quality is consistens. In newer levels we see improved colour and quality. In the future, we will be able to supply a total range of Emerald Pearl from commercial to the best possible quality.

Technical Data

Petrographic information
Magmatic rock, syenite (larvikite according to origin)

Key minerals
Anorthoclase (80-85%)

Accessory minerals
Biotite, augite, olivine, nepheline, hemo-ilmenite, apatite, magnetite, hematite

Geological age
Permian (250 Ma)

Chemical analysis
N/A

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

7491 TRONDHEIM
Tlf.: 73 90 40 00
Telefaks: 73 92 16 20

XRD-analyse (identifikasjon og kvantifisering av mineraler)
Geologisk materiale
Analysekontraktnr. 2016.0044

Instrument:	BRUKER D8 Advance med Cu røntgenrør og Lynxeye XE detector.
Metoder:	NGU-SD 4.1: XRD-analyser
Oppdrag:	identifikasjon og kvantifisering av mineraler ved XRD
Prosjekt nummer:	externt oppdrag
Oppdragsgiver:	Truls Erik Bensnes (NVE)
XRD scan:	Cu Kα, 40 kV/40 mA, scan 3-75°2θ; step size = 0.02 °2θ; time/step = 1 s; soller slits 2.5 ° fixed divergence + antiscatter slits 0.6 mm; Ni-filter; knife edge; rotasjon 1/30
Prøvetype:	sediment
Antall prøver:	3
Nedre bestemmelsesgrense:	Den nedre bestemmelsesgrensen er avhengig av mineral, men er vanligvis 1-2 vekt%.
Usikkerhet:	Avhengig av prøvematerialet har Rietveld modelering en usikkerhet på minst 2-3 vekt%.
Kontrollrutiner:	Kontrollprøve kjøres rutinemessig (2θ-value/d-value) og resultatene registreres i kontrolldiagram (X-diagram). Disse kan forevises om ønskelig.
Anmerkninger:	Se kommentarer side 3. Rådata av scan kan leveres etter forespørsel.

Gjengivelse av analysedata skal skje på en slik måte at meningsinnholdet i rapporten ikke endres.

Ferdig analysert	24/02/2016	Jasmin Schönenberger
	Date	Operatør/Datatolkning

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

7491 TRONDHEIM
Tlf.: 73 90 40 00
Telefaks: 73 92 16 20

XRD-analyse (identifikasjon og kvantifisering av mineraler)
Geologisk materiale
Analysekontraktnr. 2016.0044

prøvenr.	qtz	K-fsp	plag	ill/ms	chl	amph	GOF	Rwp
1, Hastlebekken	43	13	35	4	2	3	1.39	14.72
2, Hemskilen	39	15	33	6	3	4	1.39	14.8
3, Bunnsediment ved pumpe	39	13	35	6	3	4	1.35	14.37

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

7491 TRONDHEIM
Tlf.: 73 90 40 00
Telefaks: 73 92 16 20

XRD-analyse (identifikasjon og kvantifisering av mineraler)
Geologisk materiale
Analysekontraktnr. 2016.0044

Kommentarer om XRD analyser

Mineralidentifisering skjer med automatisk eller manuelt søk etter topp-posisjoner i BRUKER programmvare Diffrac.EVA ver3.1. Både Crystallographic Open Database (COD) og PDF 4 Minerals fra ICDD (International Centre for Diffraction Data) brukes som databaser. Mineralkvantifisering gjøres med Rietveld modellering og programmvare TOPAS 5.0.

Prøve 1 (Haselbekken) inneholder mye organisk materiale som løv og små grenar. Dette ble fjernet best mulig under prøvepreparering, men det er mulig at det fremdeles er litt i prøven, selv om det ikke vises i diffraktogramm. Alle kvantifiserte resultater er oppgitt uten å ta hensyn til mulige små andeler av organisk materiale.

Forkortelser:

GOF/Rwp	GOF betyr "goodness of fit" og angir sammen med *Rwp* pålitelighet av Rietveld modelering. [*det gjelder omtrent:* GOF < 1.5: meget bra modelering; GOF < 2: pålitelig modelering]
Rwp	weighted profile factor
qtz	kvarts
K-fsp	alkali-feltspat
plag	plagioklas
ill/ms	illitt/muskovitt
chl	kloritt-gruppe
amph	amfibol

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

7491 TRONDHEIM
Tlf.: 73 90 40 00
Telefaks: 73 92 16 20

XRD-analyse (identifikasjon og kvantifisering av mineraler)
Geologisk materiale
Analysekontraktnr. 2016.0086

Instrument:	BRUKER D8 Advance med Cu røntgenrør og Lynxeye XE detector.
Metoder:	NGU-SD 4.1: XRD-analyser
Oppdrag:	identifikasjon og kvantifisering av mineraler ved XRD
Prosjekt nummer:	extern oppdrag
Oppdragsgiver:	Truls Erik Bønsnes (NVE)
XRD scan:	Cu Kα, 40 kV/40 mA, scan 3-75°2θ; step size = 0.02 °2θ; time/step = 0.6 s; soller slits 2.5 ° fixed divergence + antiscatter slits 0.6 mm; knife edge; rotasjon 1/30
Prøvetype:	sediment
Antall prøver:	7
Nedre bestemmelsesgrense:	Den nedre bestemmelsesgrensen er avhengig av mineral, men er vanligvis 1-2 vekt%.
Usikkerhet:	Avhengig av prøvematerialet har Rietveld modelering en usikkerhet på minst 2-3 vekt%.
Kontrollrutiner:	Kontrollprøve kjøres rutinemessig (2θ-value/d-value) og resultatene registreres i kontrolldiagram (X-diagram). Disse kan forevises om ønskelig.
Anmerkninger:	Se kommentarer side 3, særlig mht. organisk materiale. Rådata av scan kan leveres etter forespørsel.

Gjengivelse av analysedata skal skje på en slik måte at meningsinnholdet i rapporten ikke endres.

Ferdig analysert	13/05/2016	Jasmin Schönenberger
	Date	Operatør/Datatolkning

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

7491 TRONDHEIM
Tlf.: 73 90 40 00
Telefaks: 73 92 16 20

XRD-analyse (identifikasjon og kvantifisering av mineraler)
Geologisk materiale
Analysekontraktnr. 2016.0086

prøve ID	qtz	K-fsp	plag	ill/ms	chl	amph	GOF	Rwp
ID 4, Hemskl lok 2	42	10	28	9	5	6	2.04	6.97
ID 5, Hemskl lok 3	37	14	37	6	3	3	2.44	8.39
ID 6, Marum	38	16	37	4	3	2	2.47	8.42
ID 7, Syrristvegen	48	11	31	4	2	4	2.44	8.31
ID 8, Klåstad	28	18	39	5	6	4	2.21	7.64
ID 9, Stålåker nedstrøms	41	14	36	5	2	2	2.47	8.41
ID 10, Stålåker oppstrøms	41	11	31	7	3	7	2.08	7.07

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

7491 TRONDHEIM
Tlf.: 73 90 40 00
Telefaks: 73 92 16 20

XRD-analyse (identifikasjon og kvantifisering av mineraler)
Geologisk materiale
Analysekontraktnr. 2016.0086

Kommentarer om XRD analyser

Mineralidentifisering skjer med automatisk eller manuelt søk etter topp-posisjoner i BRUKER programmvare Diffrac.EVA ver3.1. Både Crystallographic Open Database (COD) og PDF 4 Minerals fra ICDD (International Centre for Diffraction Data) brukes som databaser. Mineralkvantifisering gjøres med Rietveld modellering og programmvare TOPAS 5.0.

Prøve 9 (Ståålåker nedstrøms) inneholder mye organisk materiale som løv og små grener. Dette ble fjernet best mulig under prøvepreparering, men det er mulig at det fremdeles er litt i prøven, selv om det ikke vises i diffraktogramm. Alle kvantifiserte resultater er oppgitt uten å ta hensyn til mulige små andeler av organisk materiale.

Forkortelser:

GOF/Rwp	GOF betyr "goodness of fit" og angir sammen med *Rwp* pålitelighet av Rietveld modellering. [*det gjelder omtrent:* GOF < 1.5: meget bra modellering; GOF < 2: pålitelig modellering]
Rwp	weighted profile factor
qtz	kvarts
K-fsp	alkali-feltspat
plag	plagioklas
ill/ms	illitt/muskovitt
chl	kloritt-gruppe
amph	amfibol

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
7491 TRONDHEIM
Tlf.: 73 90 40 00
Telefaks: 73 92 16 20

XRD-analyse (identifikasjon og kvantifisering av mineraler)
Geologisk materiale
Analysekontraktnr. 2017.0037

Instrument:	BRUKER D8 Advance med Cu røntgenrør og Lynxeye XE detector.
Metoder:	NGU-SD 4.1: XRD-analyser
Oppdrag:	identifikasjon og kvantifisering av mineraler ved XRD
Prosjekt nummer:	externt oppdrag
Oppdragsgiver:	Truls Erik Bønsnes (NVE)
XRD scan:	Cu Kα, 40 kV/40 mA, scan 3-75°2θ; step size = 0.02 °2θ; time/step = 0.6 s; soller slits 2.5 ° fixed divergence + antiscatter slits 0.6 mm; knife edge; Ni-filter, rotasjon 1/30
Prøvetype:	sediment
Antall prøver:	6
Nedre bestemmelsesgrense:	Den nedre bestemmelsesgrensen er avhengig av mineral, men er vanligvis 1-2 vekt%.
Usikkerhet:	Avhengig av prøvematerialet har Rietveld modelering en usikkerhet på minst 2-3 vekt%.
Kontrollrutiner:	Kontrollprøve kjøres rutinemessig (2θ-value/d-value) og resultatene registreres i kontrolldiagram (X-diagram). Disse kan forevises om ønskelig.
Anmerkninger:	Se kommentarer side 3 Rådata av scan kan leveres etter forespørsel.

Gjengivelse av analysedata skal skje på en slik måte at meningsinnholdet i rapporten ikke endres.

Ferdig analysert	16.02.2017	Jasmin Schönenberger
	Date	Operatør/Datatolkning

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

7491 TRONDHEIM
Tlf.: 73 90 40 00
Telefaks: 73 92 16 20

XRD-analyse (identifikasjon og kvantifisering av mineraler)
Geologisk materiale
Analysekontraktnr. 2017.0037

prøve ID	qtz	K-fsp	plag	ill/ms	chl	amph	cal	hal	GOF	Rwp
B1	40	13	29	5	6	6	1	spor	1.49	18.48
B2	29	12	28	13	6	9	1	2	1.38	16.97
C1	39	13	30	5	3	7	1	2	1.6	19.79
C2	38	14	27	7	6	6	1	1	1.52	19.18
D1	42	13	31	5	4	4	1	spor	1.63	19.87
D2	26	14	24	15	10	8	1	2	1.4	12.15

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
7491 TRONDHEIM
Tlf.: 73 90 40 00
Telefaks: 73 92 16 20

Kommentarer om XRD analyser

Mineralidentifisering skjer med automatisk eller manuelt søk etter topp-posisjoner i BRUKER programmvare Diffrac.EVA ver3.1. Både Crystallographic Open Database (COD) og PDF 4 Minerals fra ICDD (International Centre for Diffraction Data) brukes som databaser. Mineralkvantifisering gjøres med Rietveld modellering og programmvare TOPAS 5.0.

Alle kvantifiserte resultater er oppgitt uten å ta hensyn til mulige små andeler av organsik materiale.

Forkortelser:

GOF/Rwp	GOF betyr "goodness of fit" og angir sammen med *Rwp* pålitelighet av Rietveld modellering. [*det gjelder omtrent:* GOF < 1.5: meget bra modellering; GOF < 2: pålitelig modelering]
Rwp	weighted profile factor
qtz	kvarts
K-fsp	alkali-feltspat
plag	plagioklas
ill/ms	illitt/muskovitt
chl	kloritt-gruppe
amph	amfibol
cal	kalsitt
hal	halitt

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no