

Tiltak i vassdrag

Flomsenkning av Mandalselva ved Øyslebø



Foto: Google maps Frode Mikal Nilssen

Revisjonshistorikk

Rev	Dato	Beskrivelse av endringen	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
01	15.09.2023	Mindre justeringer og tilføyinger	NOLORE	NOEYTH	NOEYTH
02	17.10.2023	Mindre justeringer og presiseringer	NOLORE	NOEYTH	NOEYTH
03	24.11.2023	Mindre justeringer og presiseringer	NOLRE	NOEYTH	NOEYTH

Sammendrag

Lindesnes kommune vurderer å gjennomføre tiltak i og langs Mandalselva for å begrense flompotensialet på Øyslebø. Øyslebø fungerer i dag som et større basseng når det blir flom. Det foreligger beregninger for å utvide elveløpet over normalvannstand slik at dette punktet i mindre grad fungerer som en propp. Konsekvensen ved flom blir da at vannstanden i bassenger på Øyslebø blir lavere, og mer vann kommer tidligere videre nedover i elva.

Kommunen ønsker å utføre er en helhetlig vurdering av konsekvensene av eventuelle flomdempende tiltak på Øyslebø og nedstrøms. NVEs utredning «Planbeskrivelse 1996 Tiltak i vassdrag Flomsenkning i Mandalselva» ser på tiltak for å redusere vannlinjen. Det foreligger beregninger av hvor mye det må åpnes langs elveløpet for at vannstanden skal bli inntil 1 m lavere, etter observerte flommer på henholdsvis 470 og 740 m³/s noe som tilsvarer QM til Q20-årsflom ekskl. klimapåslag iht. oppdaterte flomberegninger, (Holmqvist. E, 2018) . I denne utredningen sees det på hvor mye det må åpnes langs elveløpet for å oppnå en akseptabel reduksjon av vannstanden ved 200-årsflom inkl. klimapåslag. I forlengelsen av dette sees det på om konsekvensen nedstrøms blir uønsket stor, slik at tiltak også må iverksettes der.

Det er også sett på lokale tiltak ved Øyslebø for å sikre utsatte arealer etter utførte tiltak ved kritisk tverrsnitt i Jøtulfossen.

Det er sett på flere ulike tiltak, men ikke alle er tatt med i denne utredningen.

I denne utredningen er det kun lagt vekt på tiltaket som er beskrevet i NVEs vurdering fra 1996, (NVE, 1996). Dog er tiltakene i denne utredningen utvidet noe mer enn i NVEs rapport. Detaljgraden av tiltak 1 og 2 er grovt vurdert/skissert og det er ikke gjort et forsøk på å optimalisere tiltakene for nøyaktige mengder som må sprenges bort. Det legges til at nøyaktig utforming av tiltaket bør gjøres i en detaljfase da dette kan ha kostnadsbesparende effekt.

Av andre tiltak som ble vurdert er det gjort en vurdering av en mulig løsning med flomtunnel/kraftproduksjon fra Nomevatnet med utløp i Trysfjorden. Utbygginga baseres på at vannstanden i Nomevatnet senkes 1-2 meter slik at det strømmer vann inn fra Mandalselva uten fysiske tiltak i elva. Strømningstverrsnittet ved brua over elva mellom Nomevatnet og Mandalselva må utvides. I tillegg må det kanaliseres noe i elva innover mot Nomevatnet.

Man kan da avlaste Mandalsvassdraget ved flom og kunne overføre opptil 400 m³/s til Trysfjorden. Det installeres en turbin i kraftverket. Minstevannføring i Mandalselva er antatt til 30 m³/s.

Utbyggingsprisen er høy, og det er uklart om noen aktør er villig til å bygge ut kraftverket.

Denne løsningen er unnlatt å se videre på hovedsakelig på grunn av store kostnader knyttet til et slikt tiltak, samt på grunn av tilsiget til Nomevatnet og utfordringene knyttet til at Mandalselva er et nasjonalt laksevassdrag.

Tiltak (T1) vil berøre en strekning på ca. 650 meter og er basert på NVEs vurdering fra 1996, (NVE, 1996). Dog er utstrekningen av terrenngrepet utvidet etter diverse tester, kontra det NVE uttaler i sin beskrivelse. Elveløpet utvides ved utsprenging på den østre elvekanten. Elveløpet er planlagt med en minimumsbredde på ca. 30 meter, og den nødvendige utvidelsen vil variere fra 0- 20 meter. Resultater fra vannlinjenivå ved 200-årsflom inkl. klimapåslag (profiler 35-21) etter tiltak (T1) viser en senkning av vannlinjen på 0,45- 1,16 meter. Sammenligning av resultater før og etter tiltak (T1) gjennom kritisk tverrsnitt ved Jøtul fossen viser en relativ økning av kulminasjonsvannføring på ca. 0,35% nedstrøms Jøtul fossen.

Tiltak (T2) vil berøre en strekning på ca. 970 meter og er basert på NVEs vurdering fra 1996, (NVE, 1996). Videre er tiltak (T2) er en ytterligere utvidelse av de tiltakene som ble presentert i tiltak (T1). Elveløpet utvides ved utsprenging på den østre elvekanten med ytterligere 10 meter. Elveløpet er planlagt med en min. bredde på ca. 40 meter, og den nødvendige utvidelsen vil variere fra 0-30 meter. Resultater fra vannlinjenivå ved 200-årsflom inkl. klimapåslag (profiler 35-21) etter tiltak (T2) viser en senkning av vannlinjen på 0,70- 2,19 meter.

For tiltak T2 er det kjørt en numerisk analyse der resultater (vannføringskurver og vannvolumer) fra kjøring med en 2D-modell, både før og etter tiltak. Disse er brukt sammen med tidsserier av vannføring fra målestasjonen ved Kjølmo for å vurdere en rimelig øvre grense av endringene i kulminasjonsverdiene etter tiltak T2. Kun den delen av dataene derfra med timesverdier er brukt, sammen med annen data som sammen dekker flommer med kulminasjonsverdier for hele spekteret fra middelflom til en 200-års flom med klimapåslag og er en mer detaljert analyse av relativ endring i kulminasjonsverdier enn vist i Figur 15 og Figur 21.

Vannføringskurvene og volumhøydekurvene før og etter tiltak er brukt for å rute tidsserien igjennom vassdragsdelen ved Øyslebø. På denne forenklete måten kan påvirkningen for mange forskjellige flommer (lange tidsserier) undersøkes på en relativt rask måte sammenliknet med 2D-modellkjøring der man stort sett er begrenset til modellering av enkelte flommer.

En sammenlikning med de flomforløpene som er modellert med en 2D-modell tyder på at rutingen gir litt konservative resultater (en høyere relativ påvirkning av tiltaket enn det som oppnås med 2D-modellering). Ruting-analysen resulterer i en ganske jevn økning av kulminasjonsvannføring nedstrøms Jøtul fossen som følge av tiltaket i underkant av 1,5%. Dvs. at for de fleste flommer etter utført tiltak så vil kulminasjonsvannføringen være i underkant av 1,5% høyere sammenliknet med før som følge av tiltak T2.

Denne analysen er ikke kjørt for tiltak T1. For tiltak T1 kan en forvente en enda mindre påvirkning enn for tiltak T2.

Videre er det sett på lavvannsføringer som følge av senkningstiltaket, påvirkningen av lavvannsføringen varierer fra 25-60 cm. Videre er påvirkningen avgrenset fra et område fra Øyslebøfossen og ned til Jøtul fossen.

Det forventes lokal blakking av vannet under anleggsarbeidet. Den fine fraksjonen av de delene av steinmassene som fjernes under vann vil følge strømmen et stykke ned i vassdraget før avlagring.

Tiltaket vil i noen grad påvirke vegetasjonen, ved de bratteste partiene vil man også finne bart fjell. Under arbeidet vil fisk og bunndyr påvirkes.

Det er registrert en luftlinje lags østre breddekant. Tiltakene vil berøre traseen til luftspennet og dette må flyttes før tiltakene kan gjennomføres.

Området ligger innenfor marin grense og tiltakene vil kunne påvirke hastigheten i vassdraget. En vurdering/ kartlegging av områder med kvikk leire bør derfor gjennomføres før tiltakene gjennomføres.

Sweco Norge AS	967032271
Prosjekt	Flomutredning Øyslebø
Prosjektnummer	10235860
Kunde	Lindesnes kommune
Opprettet av	Lorentz Reinertsen
Dato	2023-11-24
Dokumentreferanse	\\Nokrsfs003\oppdrag\32713\10235860_Flomutredning_Øyslebø\000\06 Dokumenter\03 Rapporter og Notater\Revisjon_03\Flomutredning Øyslebø_rev03_noeyth.docx

Innholdsfortegnelse

1	Innledning og mål	7
1.1	Bakgrunn	7
1.2	Målsetting	7
1.3	Avgrensning av prosjektet	8
2	Metode og verktøy	8
2.1	Hydrauliske beregninger	8
2.2	Databehandling I GIS-programvare (Arc MAP 10.8)	8
3	Datagrunnlag	9
4	Beskrivelse av planområdet	10
5	Flomberegninger	11
5.1	Nedbørfelt	11
5.2	Beregnete kulminasjonsverdier	12
5.3	Justering av kulminasjonsverdier i forhold til ventende klimaendringer	14
5.4	Kalibreringsdata	15
6	Modelloppbygging	16
6.1	Elvemodell	16
6.1.1	Elvemodell 2D	16
6.1.2	Øvre og nedre grensebetingelser	17
6.2	Særskilte konstruksjoner	17
6.2.1	Skjævesland bru	17
6.2.2	Skaue bru	18
6.2.3	Øyfid bru	18
6.2.4	Skapte bru	19
7	Resultater vannlinjer og flomsone	20
7.1	Kalibrering av modellen	20
7.2	Oppdaterte vannlinjeberegninger og flomsone for Øyslebø	24
7.3	Følsomhetsanalyse	25
8	Tiltak og flomsikring	26
8.1	Tiltak (T1) - Utvidelse av flomareal	26
8.1.1	Forutsetninger og beskrivelse av tiltak	26
8.1.2	Resultater for tiltak T1	28
8.1.3	Påvirkning av tiltak oppstrøms ved lavvannsføring	32
8.2	Tiltak (T2) – Ytterligere utvidelse av flomareal	34
8.2.1	Forutsetninger og beskrivelse av tiltak	34
8.2.2	Resultater for tiltak T2	36
8.2.3	Usikkerheter og følsomhetsanalyse for tiltak T2	40
8.2.4	Påvirkning av tiltak oppstrøms ved normalvannføring	41
8.3	Lokale tiltak ved Øyslebø	43
8.3.1	Lokale tiltak i Øyslebø, ved tiltak (T1)	43
8.3.2	Lokale tiltak i Øyslebø ved tiltak (T2)	45
8.4	Masseoverslag av tiltak	47
9	Virkinger	48

9.1	Hydrauliske og hydrologiske forhold	48
9.2	Vannkvalitet.....	48
9.3	Flora og fauna	48
9.4	Infrastruktur	49
9.5	Grunnforhold og stabilitet.....	49
Vedlegg.....		51
	Alternativt tiltak: Nomevatn Kraftverk - kombinert flomtiltak og kraftverksutbygging ..	51

1 Innledning og mål

1.1 Bakgrunn

Lindesnes kommune vurderer å gjennomføre tiltak i og langs Mandalselva for å begrense flompotensialet på Øyslebø. Øyslebø fungerer i dag som et større basseng når det blir flom. Det foreligger beregninger for å utvide elveløpet over normalvannstand slik at dette punktet i mindre grad fungerer som en propp. Konsekvensen ved flom blir da at vannstanden i bassenger på Øyslebø blir lavere, og mer vann kommer tidligere videre nedover i elva.

Mandalselva er kartlagt av NVE i 2018 «Rapport 15/2018 Flomberegning for Mandalselva». Dokumentasjonen på Mandalselva i forhold til flomsonekartlegging er fra 2019 «Rapport 23/2019 Flomsonekart Delprosjekt Øyslebø». Sweco Norge AS, engasjert av Lindesnes kommune og har utført flomanalyse for å få et oppdatert kunnskapsgrunnlag for flomforholdene i Mandalselva generelt, samt for områdene ved Øyslebø.

Oppdatering av NVEs elvemodell har vært nødvendig da tidligere utarbeidet modell har hatt store usikkerheter. Videre er det etter utarbeidelse av modell utført mer nøyaktig dybdekartlegging og laserscanning av land, samt at det nå anbefales å bruke et klimapåslag på 20% for flomvannføringer i Mandalselva ved Øyslebø.

1.2 Målsetting

Kommunen ønsker å utføre en helhetlig vurdering av konsekvensene av eventuelle flomdempende tiltak på Øyslebø og nedstrøms. NVEs utredning «Planbeskrivelse 1996 Tiltak i vassdrag Flomsenkning i Mandalselva» ser på tiltak for å redusere vannlinjen. Det foreligger beregninger av hvor mye det må åpnes langs elveløpet for at vannstanden skal bli inntil 1 m lavere, etter observerte flommer på henholdsvis 470 og 740 m³/s noe som tilsvarer QM til Q20-årsflom ekskl. klimapåslag iht. oppdaterte flomberegninger, (Holmqvist, E, 2018) . I denne utredningen sees det på hvor mye det må åpnes langs elveløpet for å oppnå en akseptabel reduksjon av vannstanden ved 200-årsflom inkl. klimapåslag. I forlengelsen av dette sees det på om konsekvensen nedstrøms blir uønsket stor, slik at tiltak også må iverksettes der.

Det er også sett på lokale tiltak ved Øyslebø for å sikre utsatte arealer etter utførte tiltak ved kritisk tverrsnitt i Jøtulfossen.

1.3 Avgrensning av prosjektet

Det er flom som følge av naturlig høy vannføring som beregnes, under forutsetning av at elvens geometri ikke endres og er uten massetransport (blokkering av lysåpninger). Vassdragsrelaterte faremoment som erosjon, skred og farer relatert til is (for eksempel isoppstuvning) er ikke tatt hensyn til i beregningene.

2 Metode og verktøy

Flomberegning er en statistisk analyse av hvor store og hyppige flommer som kan forventes i gjeldende vassdrag. NVEs retningslinjer brukt i formvurderingen er «Sikkerhet mot flom: utredning av flomfare i reguleringsplan og byggesak» (2022), «Veileder for flomberegninger» (2022), «Klimaendringer og fremtidige flommer i Norge» (2016), samt Norsk Klimaservicesenters «Klimaprofil for Agder».

2.1 Hydrauliske beregninger

Estimerte vannføringer og terrengdata blir benyttet i en hydraulisk modell utarbeidet i HEC-RAS 6.3.1, som beregner flomvannstander og hastigheter for hver vannføring. HEC-RAS er en anerkjent programvare som har spesielle funksjoner for å beregne effekt av blant annet bruer og kulverter. I dette prosjektet har vi benyttet en 2D-modell.

2.2 Databehandling I GIS-programvare (Arc MAP 10.8)

GIS-programvaren Arc GIS/Arc MAP 10.8 er benyttet for databehandling. Dataverktøyet gjør at de geografiske dataene kan arbeides med i form av kart og tabeller. Med programvaren Arc GIS kan det lages høykvalitets-kart som kombinerer data fra ulike kilder, herunder terrengmodell og flomsonekart.


Flomsonekart

Flomsonekart viser arealer som oversvømmes ved ulike flomstørrelser (gjentaksintervall). Grunnlaget for flomsonekartene er flomberegninger, vannlinjeberegninger og beregninger av ekstremvannstander i sjøen. Resultatene fra vannlinjeberegningene i HEC-RAS er digitalisert i Arc MAP i form av digital flomsone med flater (polygon) som viser eventuelle oversvømmelser.

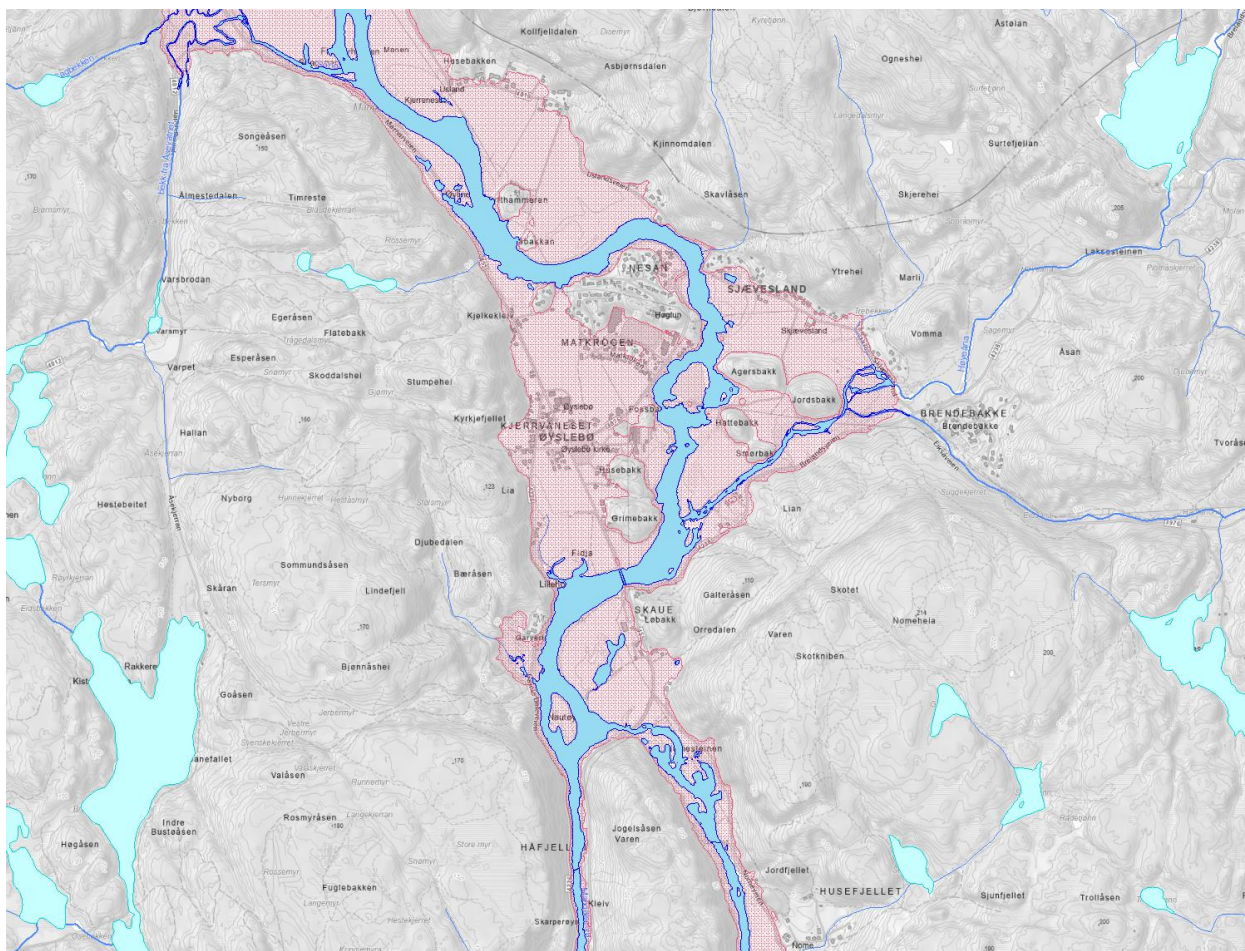
3 Datagrunnlag

Grunnlagsdata benyttet i flomfarevurderingen er vist i tabellen under:

Tabell 1. Grunnlagsdata som er benyttet i flomfarevurderingen.

Datatype	Form	Kilde/ kommentar																																				
Terrengdata	Laserscan	<p>Høydedata, prosjekter innenfor kartutsnittet er Mandal-Marnadal-Vennesla 2017 (land) Data i NN200 og UTM sone 32.</p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p><input checked="" type="checkbox"/> NDH Mandal-Marnadal-Vennesla 5pkt 2017 </p> <table border="0"> <tr><td>Prosjektnr</td><td>LACH0009</td></tr> <tr><td>Oppdragsgiver</td><td>Kartverket</td></tr> <tr><td>Dekningsnummer</td><td>42235</td></tr> <tr><td>Laserstandard</td><td>10</td></tr> <tr><td>Flyfirma</td><td>Terratec AS</td></tr> <tr><td>Leverandør</td><td>Terratec AS</td></tr> <tr><td>Type</td><td>Lidar</td></tr> <tr><td>Prioritet</td><td>1</td></tr> <tr><td>Koordinatsystem</td><td>EUREF89 UTM32</td></tr> <tr><td>Høydesystem</td><td>NN2000</td></tr> <tr><td>Objektkatalog</td><td>FKB-Laser 3.0</td></tr> <tr><td>Bestilt punkttetthet</td><td>5</td></tr> <tr><td>Årstall</td><td>2017</td></tr> <tr><td>Dato</td><td>20.9.2022</td></tr> <tr><td>Prosjektrapport</td><td>PDF</td></tr> <tr><td>Oppløsning</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>Dato opprettet</td><td>19.9.2022</td></tr> <tr><td>Dato endret</td><td>13.10.2022</td></tr> </table> </div>	Prosjektnr	LACH0009	Oppdragsgiver	Kartverket	Dekningsnummer	42235	Laserstandard	10	Flyfirma	Terratec AS	Leverandør	Terratec AS	Type	Lidar	Prioritet	1	Koordinatsystem	EUREF89 UTM32	Høydesystem	NN2000	Objektkatalog	FKB-Laser 3.0	Bestilt punkttetthet	5	Årstall	2017	Dato	20.9.2022	Prosjektrapport	PDF	Oppløsning	0.25	Dato opprettet	19.9.2022	Dato endret	13.10.2022
Prosjektnr	LACH0009																																					
Oppdragsgiver	Kartverket																																					
Dekningsnummer	42235																																					
Laserstandard	10																																					
Flyfirma	Terratec AS																																					
Leverandør	Terratec AS																																					
Type	Lidar																																					
Prioritet	1																																					
Koordinatsystem	EUREF89 UTM32																																					
Høydesystem	NN2000																																					
Objektkatalog	FKB-Laser 3.0																																					
Bestilt punkttetthet	5																																					
Årstall	2017																																					
Dato	20.9.2022																																					
Prosjektrapport	PDF																																					
Oppløsning	0.25																																					
Dato opprettet	19.9.2022																																					
Dato endret	13.10.2022																																					
Terrengdata	Innmåling	Field Group, Elvebunn. Data i NN2000 og UTM sone 32																																				
Terrengdata	Innmåling	NVE, Tverrprofil Mandalselva. Data i NN2000 og UTM sone 32																																				
Flomfarekart	WMS	NVE																																				
Hydrologiske data	PDF/ database	NVE (15/2018 og 20/2019) og HYDRA II (2023)																																				
Hec-Ras, tidligere modell		NVE																																				
Flomfarekart	WMS	NVE																																				

4 Beskrivelse av planområdet



Figur 1. Oversiktskart over Øyslebø med beregnet flombredelse ved 200-årsflom inkl. klimapåslag.

Øyslebø ligger ved Mandalselva, omtrent 16 km nord for Mandal sentrum. Kart som viser områdeavgrensningen, er vist i Figur 3 under. Totalt er den kartlagte elvestrekningen på ca. 4,5 km. Strekningen starter ved Heddeland rett nord for Øyslebø og ender like nedstrøms Jøtulfossen. Vannstanden som beregnes er knyttet til flom i hovedelva Mandalselva og nedre del Høyåna.

De senere årene har alle flommer i Mandalselva over 500 m³/s vært i månedene september til desember. Før vassdraget ble regulert forekom slike vannføringer også om våren (april – mai). Flommene fra 1896 - 2017 er basert på observasjoner ved målestasjonen 22.4 Kjølemo. I denne perioden er flommen 2. oktober 2017 den desidert største, med et døgnmiddel 936 m³/s, og en kulminasjonsvannføring på ca. 1050 m³/s.

Det var imidlertid enda større flommer i Mandalselva 3. oktober 1892 og 17. – 18. september 1864. Maksimal vannstand under disse flommene er markert flere steder i områdene omkring Øyslebø.

5 Flomberegninger

NVE gjennomførte en flomfrekvensanalyse i 2018 (NVE, 2018), med etterfølgende flomsonekartlegging i 2019. De beregnede flomvannføringerne er i hovedsak basert på vannføringsdata fra målestasjonen 22.4.0 Kjølemo.

Sweco velger å bruke data og vurderinger fra (NVE 2018), da disse også tar hensyn til fremtidig klimapåslag.

I dette kapittel har Sweco gjennomført en kort oppsummering av kulminasjonsvannføringen som er benyttet i modellen.

5.1 Nedbørfelt

Mandalselvas nedbørfelt er vist i Figur 2. Vassdraget ligger i Agder ved Øyslebø. Mandalselva sitt utspring i fjellene mellom Ose i Setesdal og Øvre Sirdal, og renner gjennom Agder fylke og ut i havet ved Mandal. Det samlede nedbørfeltet ved utløpet i fjorden er på 1817 km², og ved Øyslebø er den ca. 1747 km².



Figur 2. Mandalselva nedbørfelt (A= 1747 km²) like nedstrøms Øyslebø.

Feltkarakteristikk for nedbørfeltet (022.A6) (NEVINA analyse):

Nedbørfeltet er ca. 1747 km² og består av skog (46,9 %), snaufjell (33,3 %), dyrket mark (1,3 %), sjø (8,3 %, hvorav ca. 0,39 % effektiv sjø) og myr (6,2 %). Den urbane delen av nedbørfeltet utgjør ca. 0,0 %. Vassdraget har en mildere elvegradient på 0,0072 % og en feltlengde på 99,1 km. Middelavrenningen er på 46,9 l/s*km².

5.2 Beregnede kulminasjonsverdier

For Mandalselva ved Kjølamo er beregnede forholdstall på 1,07 for vårflokker og 1,15 for høstflokker. Forholdstallet for høstflokker harmonerer godt med observasjonene ved Kjølamo i oktober 2017. Det er derfor valgt å benytte dette forholdstallet videre. Resulterende kulminasjonsvannføringer er gitt i Tabell 2. Alle vannføringer fra 5-årsflom og oppover er avrundet til nærmeste 10 m³/s.

Det betyr at vannføringen i Mandalselva ved Kjølamo øker fra 527 m³/s ved middelflom til ca. 1000 m³/s ved 50-års flom og drøyt 1300 m³/s ved 500-årsflom.

Tabell 2. Kulminasjonsvannføringer i Mandalselva. For Høyeåna er det vannføring ved kulminasjon i hovedvassdraget som er gitt. Maksimal vannføring i Høyeåna vil være større.

	Areal	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
	km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Mandalselva ved Øyslebø	1635	475	590	680	770	890	980	1070	1200	1290
Høyeåna	101	48	60	70	80	90	100	110	120	130
Mandalselva nedstrøms innsnevring	1746	524	650	750	850	980	1080	1180	1320	1420
Kjølamo	1757	527	660	760	860	990	1090	1190	1330	1430
Mandalselva ved utløp	1817	555	690	800	900	1040	1150	1260	1400	1510

Hvis en benytter faktorene fra følsomhetsanalysen av frekvensfordelingen til Kjølamo Tabell 3, gir det følgende utfallsrom Tabell 4. Alle verdier er her avrundet til nærmeste 100 m³/s. Det vil si at med et konfidensintervall på 90 %, er for eksempel 200-årsflommen ved Kjølamo mellom 1100 og 1400 m³/s. Eller sagt på en annen måte, det er 5 % sannsynlighet for at 200-årsflommen er større enn 1400 m³/s eller mindre enn 1100 m³/s.

Tabell 3. Flomfrekvensfaktorer for vannføringsstasjoner i/ nær Mandalsvassdraget. For Kjølomo er det utført analyser for både den 122 år lange observerte tidsserien, men også en serie som er utvidet med to store flommer på 1800-tallet. For denne analysen er også største og minste beregnede faktorer fra en følsomhetsanalyse oppgitt. Valgte faktorer er i fet skrift.

	Ant.år	Ford.f.	Q5/ QM	Q10/ QM	Q20/ QM	Q50/ QM	Q100/ QM	Q200/ QM	Q500/ QM	Q1000/ QM
18.10 Gjerstad	37	GEV	1,19	1,39	1,59	1,89	2,14			
20.2 Austenå	94	Gen Log	1,22	1,38	1,54	1,77	1,94	2,13	2,41	2,63
20.3 Flaksvatn	118	GEV	1,27	1,53	1,8	2,18	2,49	2,82	3,29	3,68
22.4 Kjølomo	122	GEV	1,23	1,41	1,57	1,78	1,93	2,07	2,26	2,39
22.4 Kjølomo	122 +	GEV	1,24	1,44	1,63	1,88	2,07	2,26	2,52	2,71
	hist		1,2-1,3	1,4-1,5	1,5-1,8	1,7-2,1	1,9-2,4	2,0-2,7	2,2-3,1	2,3-3,5
22.23 Laudal	36	GEV	1,21	1,45	1,71	2,11	2,46			
22.16 Myglevatn	66	Gen Log	1,15	1,27	1,38	1,54	1,66	1,80	1,99	2,15
22.22 Søgne	44	GEV	1,22	1,41	1,59	1,82	2,00			
24.8 Møska	38	GEV	1,19	1,41	1,64	2,01	2,31			
24.9 Tingvatn	95	Gen Log	1,16	1,32	1,48	1,72	1,93	2,17	2,55	2,88
Regionale verdier:										
K1-1997			1,24	1,45	1,62	1,93	2,16	2,42	2,72	2,97
K2-1997			1,24	1,44	1,59	1,87	2,05	2,27	2,49	2,69

Tabell 4. Beregnede flomvannføringer for Mandalselva ved Kjølomo. Maksimum- og minimumsverdiene fra følsomhetsanalysen er avrundet til nærmeste 100 m³/s.

	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Kjølomo, min	527	600	700	800	900	1000	1100	1200	1200
Kjølomo	527	660	760	860	990	1090	1190	1330	1430
Kjølomo, maks	527	700	800	900	1100	1300	1400	1700	1900

Vannføringen 2. oktober 2017, som kulminerte med ca. 1050 m³/s ved Kjølomo, kan ut fra dette karakteriseres som 50- til 100-årsflom. Hvis en imidlertid tar hensyn til den statistiske usikkerheten, vil den karakteriseres som en flom med gjentaksintervall som kan variere fra ca. 50 til 200 år.

Tilsvarende kan flommene i 1864 og 1892, som kulminerte med ca. 1200 og 1300 m³/s, karakteriseres som omkring en 200- og 500-årsflom.

For Høyeåna og lokalfeltet til Mandalselva er det vannføringen ved flom i hovedvassdraget som er beregnet. Ved flomberegning spesielt for Høyeåna burde det sannsynligvis benyttes en høyere faktor enn

1,15 mellom kulminasjons- og døgnmiddelvanntføring. I Søgneelva var det forholdstall på 1,16 og 1,36 ved høstflommene i henholdsvis 2017 og 1987.

5.3 Justering av kulminasjonsverdier i forhold til ventende klimaendringer

Ifølge Norsk Klimaservicesenters klimaprofil for Agder (april 2017, med oppdatering juli 2021), (Klimaservicesenter, 2017) er anbefalt klimapåslag på flomvannføring frem mot 2100 for Mandalselva på 20 %.

Tabell 5. Kulminasjonsvannføringer med 20 % klimapåslag i Mandalselva. For Høyeåna er det vannføring ved kulminasjon i hovedvassdraget som er gitt. Maksimal vannføring i Høyeåna vil være større.

	Areal	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
	km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Mandalselva ved Øyslebø	1635	570	710	820	920	1070	1180	1280	1440	1550
Høyeåna	101	60	70	80	100	110	120	130	140	160
Mandalselva nedstrøms innsnevring	1746	630	780	900	1020	1180	1300	1420	1580	1700
Kjølemo	1757	630	790	910	1030	1190	1310	1430	1600	1720
Mandalselva ved utløp	1817	670	830	960	1080	1250	1380	1510	1680	1810

Når en tar hensyn til ventede endringer i flomvannføringer som følge av klimaendringer, kan flommen i 2017 karakteriseres som omkring en 20-årsflom, flommen i 1864 som en 50-årsflom og flommen i 1892 som en 100-årsflom.

5.4 Kalibreringsdata

Det er gjort forskjellige forsøk på å kalibrere modellen mot observerte data. For kalibrering av modellen er det benyttet data fra flommene i 2017, ref. Tabell 6. Dataene fra 2017 antas å være av god kvalitet med sikker stadfesting, men det poengteres at det ofte foreligger unøyaktigheter knyttet til slike observasjoner.

Tabell 6. Beregnede og observerte vannstander for flommen i 2017 som NVEs modell for Øyslebø er kalibrert mot.

Profil nummer	Vannstand NN2000 Flom 02.10.2017 Vannføring ca. 1042 Observert	Vannstand NN2000 Flom 02.10.2017 Vannføring ca. 1042 NVE	Differanse NVE
35	27,39	27,44	-0,05
31,1	26,73	26,64	0,09
30,9	26,66	26,27	0,39
30	26,93	26,22	0,71
25	26,05	26,23	-0,18
24,5	26,05	26,13	-0,08
21	26,07	26,17	-0,10

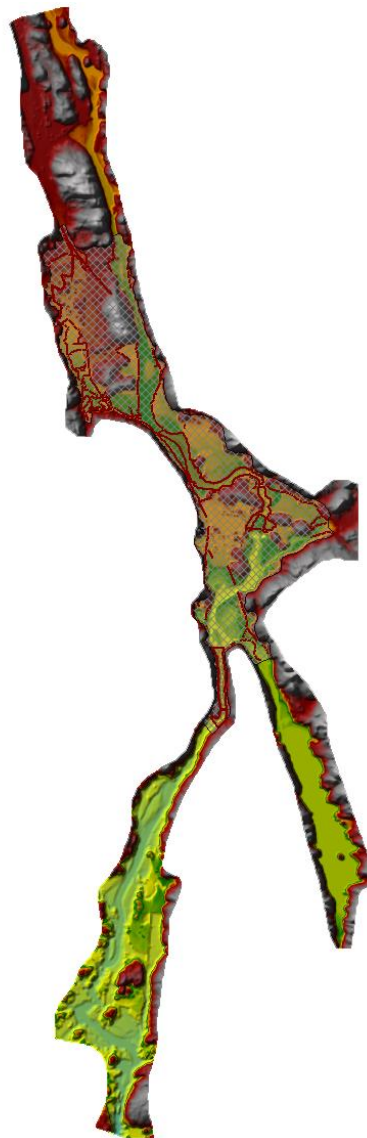
6 Modelloppbygging

Det er etablert en 2D elvemodell av Mandalselva. Modellen starter ved Heddeland i nord og ca. 800 meter oppstrøms Holmesland.

6.1 Elvemodell

6.1.1 Elvemodell 2D

2D modellen består av celler/mesh på (12*12 meter) i gjennomsnitt, men mindre celler ved viktige deler av vassdraget som bruene og kritiske tverrsnitt. Selve terrengmodellen er basert på dybde data med oppløsning 0,5*0,5 meter for elveløpet fra Øyslebøfossen og like oppstrøms Jøtulfossen. Oppstrøms Øyslebøfossen er terrenget justert etter tverrprofiler fra NVE, ortofoto, samt laser med oppløsning 0,5*0,5 meter er benyttet på landside.



Figur 3. 2D modell av Mandalselva ved Øyslebø.

6.1.2 Øvre og nedre grensebetingelser

Nedre grensebetingelse er satt til 0,0016 helning (basert på gjennomsnittlig elvefall nedstrøms modell). Det er benyttet en gitt vannføring som grensebetingelse (konstant eller hydrogram) for Mandalselva, Høyåna og Nomevatnet.

6.2 Særskilte konstruksjoner

Konstruksjoner i modellen er lagt inn basert på bilder/ortofoto, tegninger og NVE-modell.

6.2.1 Skjævesland bru

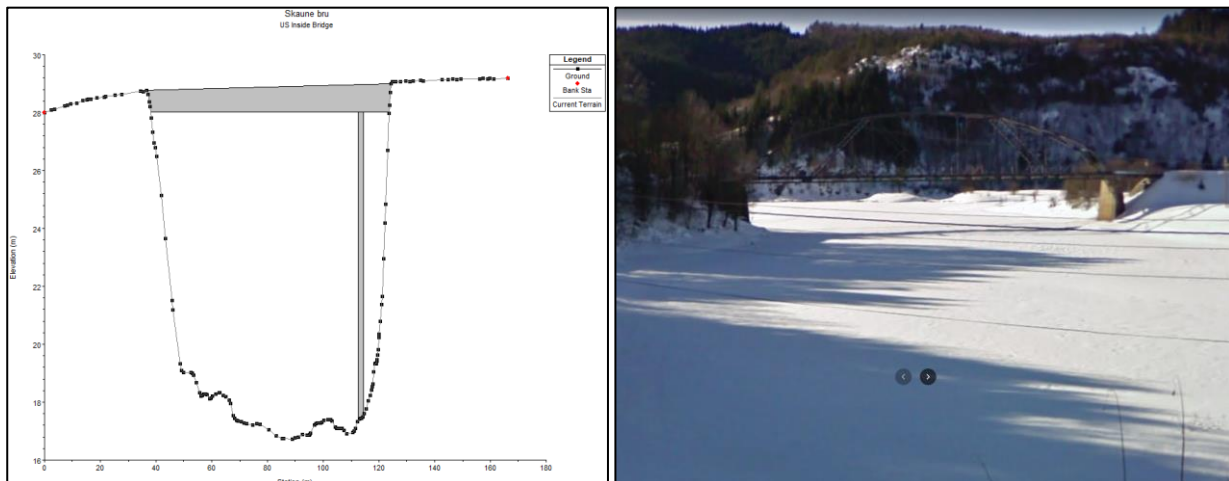
Tegninger viser at bruene har en lengde på ca. 58.3 m, bredde på ca. 3 m, topp bru ca. kote 30,7 (NN2000) og underkant bru ca. kote 29,7 (NN2000).



Figur 4. Tegning av lysåpning under bruene. Foto: Kristin Jona

6.2.2 Skaue bru

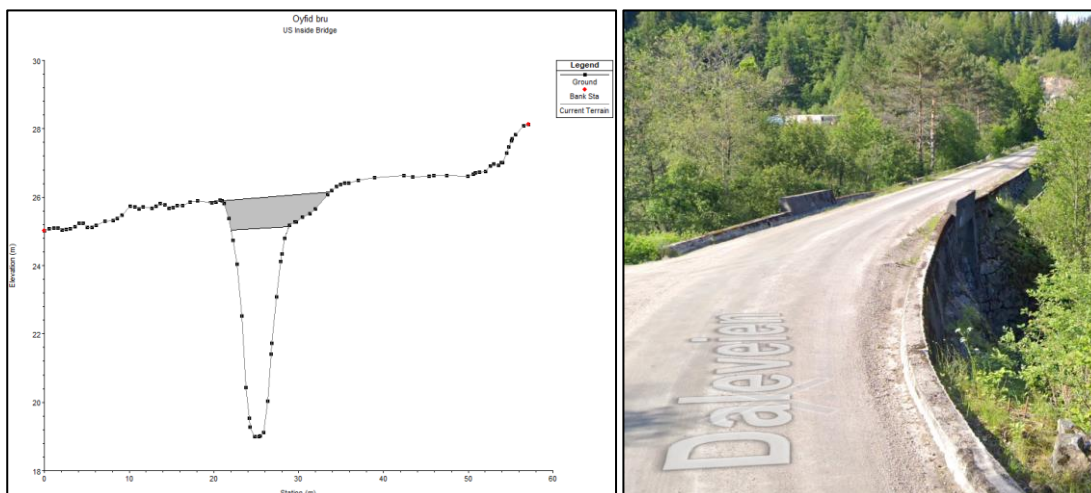
Tegninger viser at bruene har en lengde på ca. 84,4 m, bredde på ca. 8 m, topp bru ca. kote 29,0 (NN2000) og underkant bru ca. kote 28,0 (NN2000).



Figur 5. Tegning av lysåpning under bruene. Kilde Google maps

6.2.3 Øyfid bru

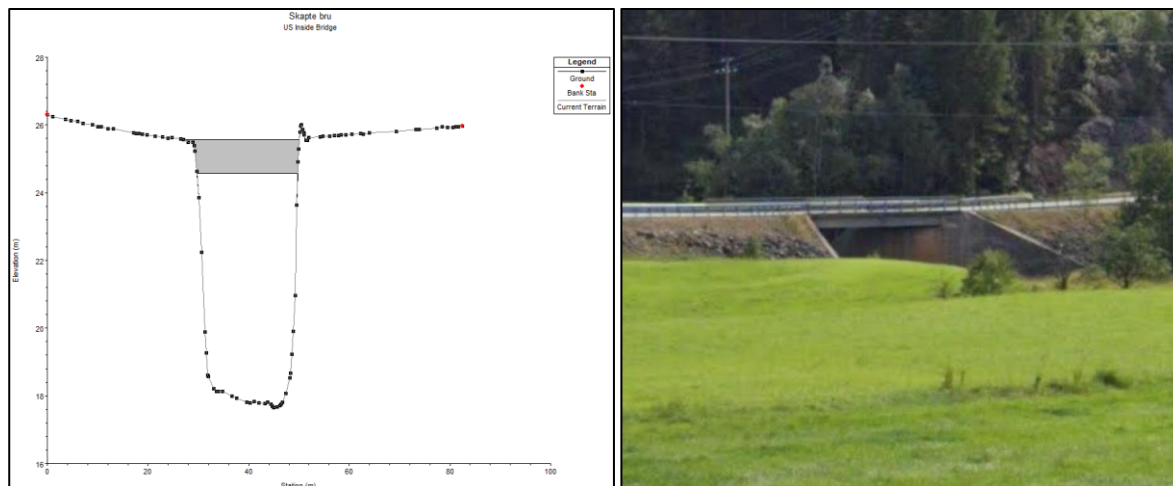
Tegninger viser at bruene har en lengde på ca. 5 m, bredde på ca. 3 m, topp bru ca. kote 26,0 (NN2000) og underkant bru ca. kote 25,0 (NN2000).



Figur 6. Tegning av lysåpning under bruene. Kilde Google maps

6.2.4 Skapte bru

Tegninger viser at bruene har en lengde på ca. 20,7 m, bredde på ca. 8 m, topp bru ca. kote 26.6 (NN2000) og underkant bru ca. kote 24.6 (NN2000).



Figur 7. Tegning av lysåpning under bruene. Kilde Google maps

7 Resultater vannlinjer og flomsone

7.1 Kalibrering av modellen

Observasjoner fra flommen 2017 i Tabell 6 er benyttet til kalibrering av 2D-modellen.

Hovedutfordringene har ligget i å beskrive og beregne de hydrauliske forhold som er gjeldende over tersklene ved Øyslebøfossen og Jøtulfossen ved ulike flomvannføringer. Selv med innmålinger ved begge fossene er detaljene ved tersklene usikre, da det ikke finnes nøyaktige data på disse. Dette har resultert i en del testing for å oppnå akseptable resultater.

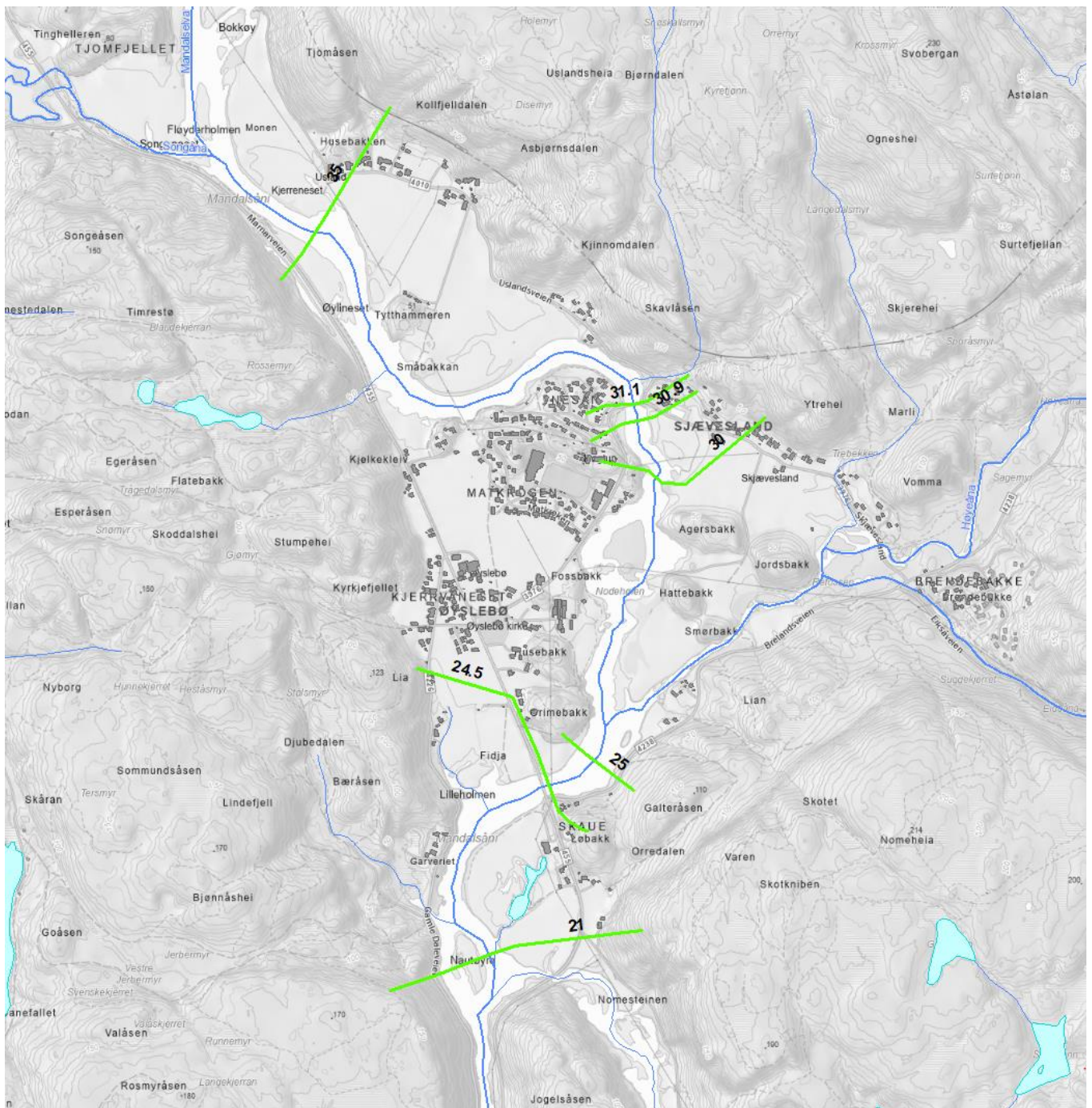
Analysene og beregningene indikerer at 2D-modellen gir en god hydraulisk beskrivelse av de gjeldende hydrauliske forhold ved og over tersklene.

Det er observert en noe større differanse mot observerte og simulerte vanddybder ved Profil 30. Det kan være ulike årsaker til dette. Terskelnivåer som ikke er fanget opp under innmålinger, eventuelt måling av flomvannstand ved et urepresentativt sted, eller feil i selve målingen. Imidlertid var det også mulig å få en god samlet kalibrering av resterende tverrprofiler.

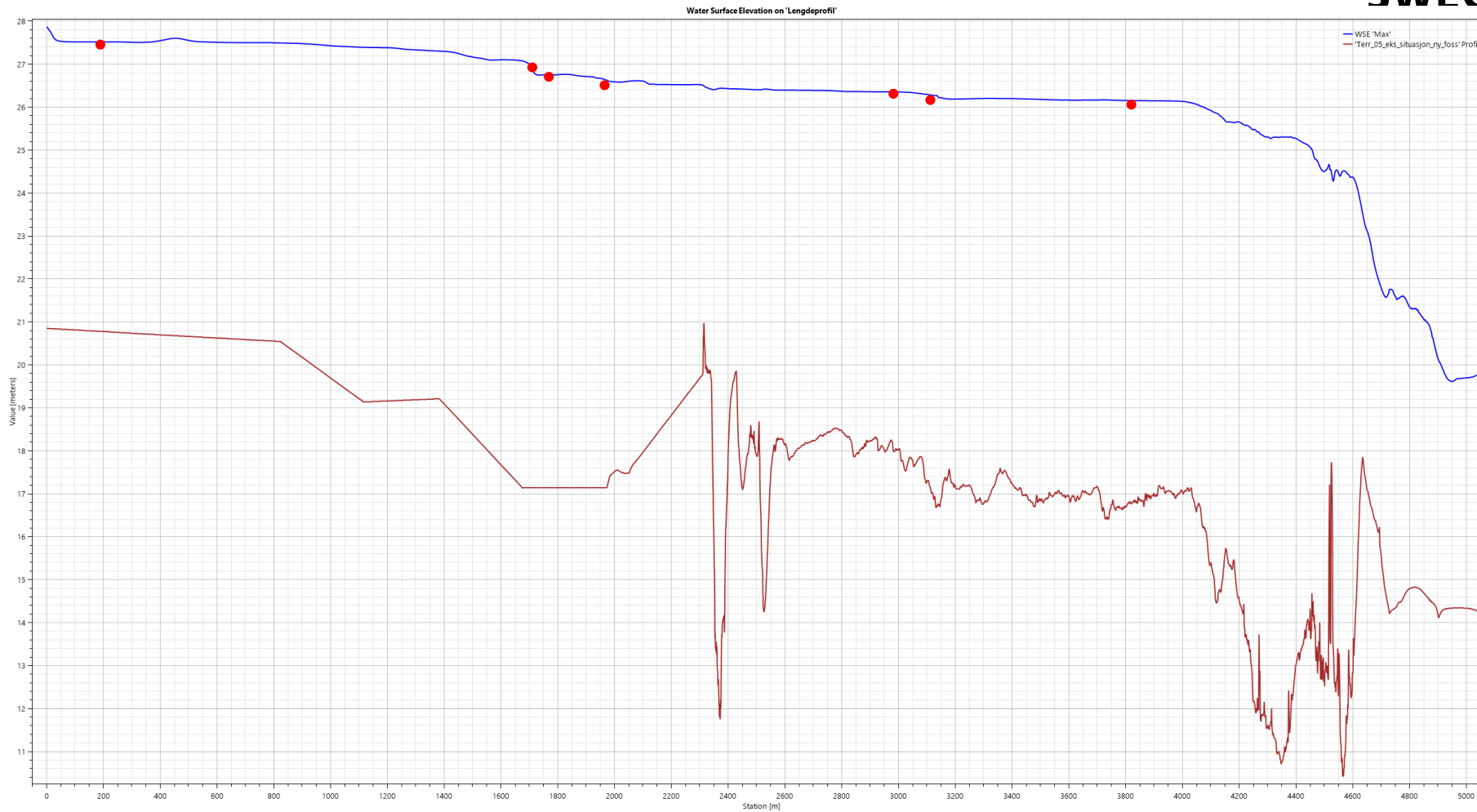
Det er hovedsakelig benyttet samme manningsverdier for elveløpet, men det er gjort noen justeringer ved tersklene, samt ved innsnevringer i vassdraget.

Oversikt over tverrprofiler i nærhet til observerte vannstander fra 2017 flommen er vist i Figur 8.

Tverrprofilene er de samme profilene NVE benytter i sin flomsonekartlegging for Øyslebø, (NVE, 2019),



Figur 8. Oversikt over tverrprofiler i nærhet til observerte vannstander fra 2017 flommen. Tverrprofilene er illustrert som grønne linjer (35-21).



Figur 9. Kalibrering av 2D modell mot 2017 flomhendelsen (røde sirkler). Profil 35 første fra venstre og til profil 21.

Tabell 7. Kalibrerte mannings n-verdier for 2D modell.

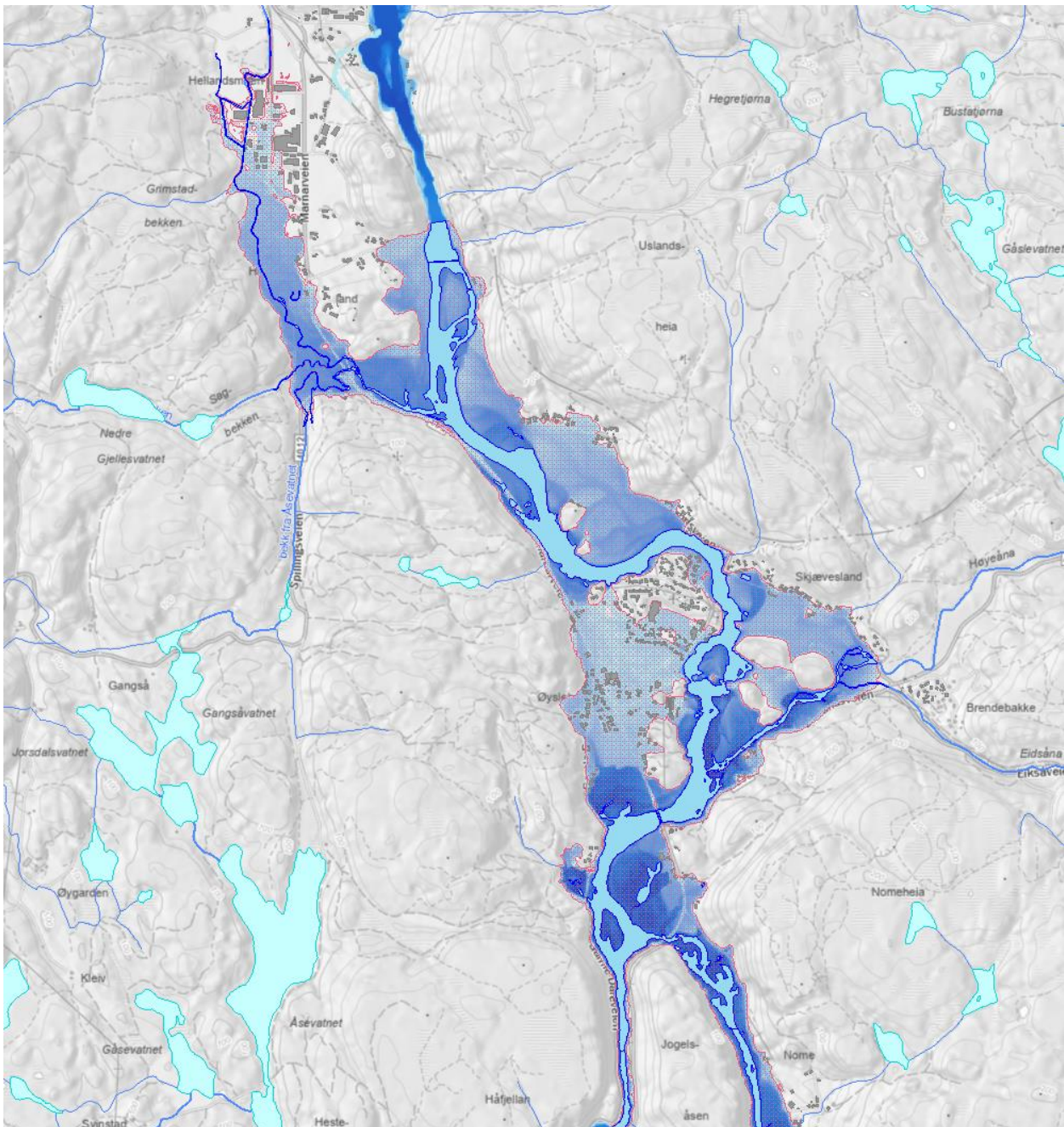
Arealtype	Mannings n
Permeable flater	0.042
Bygning	100
Veg	0.015
ElvBekk	0.03-0.039
Terskler	0.054-0.058

Tabell 8. Resultater vannlinjenivå ved profiler 35-21 basert på kalibrering 2D modell mot 2017 hendelsen. Tilsvarende NVE vannlinjer fra 2019 er også oppgitt.

Profil nummer	Vannstand	Vannstand	Vannstand	Differanse NVE	Differanse Sweco
	NN2000 Flom 02.10.2017 Vannføring ca. 1050 Observert	NN2000 Flom 02.10.2017 Vannføring ca. 1050 NVE	NN2000 Flom 02.10.2017 Vannføring ca. 1050 Sweco		
35	27,39	27,44	27,39	-0,05	0,00
31,1	26,73	26,64	26,74	0,09	-0,01
30,9	26,66	26,27	26,65	0,39	0,01
30	26,93	26,22	26,65	0,71	0,28
25	26,05	26,23	26,15	-0,18	-0,10
24,5	26,05	26,13	26,14	-0,08	-0,09
21	26,07	26,1	25,98	-0,10	0,0

7.2 Oppdaterte vannlinjeberegninger og flomsone for Øyslebø

De oppdaterte modellene viser lavere dimensjonerende flomvannlinjer sammenlignet med NVE's analyse i 2019. Swecos modell baserer seg på langt mer nøyaktige bunnmålinger samt at det nå benyttes en 2D-modell. I sum medfører dette en forbedring av kvaliteten på modellen, og dermed redusert usikkerhet.



Figur 10. 200-års flomsonekart med dybder, inklusive klimapåslag, ved Øyslebø. NVEs beregnede 200-årsflomsonekart er lagt over (rødt polygon).

7.3 Følsomhetsanalyse

Flomfrekvensanalyser, grunnlagsdata, dybde- og terrengmodeller, samt vannlinjeberegninger har alle usikkerheter og vil sammen påvirke usikkerheten i sluttresultatet, blant annet utbredelsen av flomsoneer i kartet. For å ta hensyn til usikkerheten er det vanlig å legge på en sikkerhetsmargin på de beregnede høydene. I NVEs flomsonekartlegging fra 2019, (NVE, 2019) anbefalte de å legge på en sikkerhetsmargin på 50 cm.

Det er utført en følsomhetsanalyse for kalibrert modell ved å øke vannføringen og ruheten med 25%. Ved utvalgte tverrsnitt resulterte dette i snitt til en økning av vannlinjen for Q200 inkl. klima på ca. 0,63 m.

På grunn av usikkerhetene særlig knyttet til fossterskelene ved Øyslebøfossen og anbefales det å benytte de flomhøydene for 200-årsflom inkl. klimapåslag fra NVE sine beregninger med en sikkerhetsmargin på minimum 50 cm ved f.eks. fastsetting av byggesikker høyde.

Tabell 9. Resultater vannlinjenivå (Q200 inkl. klimapåslag) ved profiler 35-21 for eks. situasjon ved 25% økning av ruhet og vannføring.

Profil nummer	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Eks. situasjon	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Eks. situasjon 25% økt ruhet	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Eks. situasjon 25% økt vannføring	Differanse 25% økt ruhet	Differanse 25% økt vannføring	Snitt
35	28,71	28,75	29,73	0,04	1,02	0,53
31,1	28,22	28,24	29,35	0,02	1,13	0,575
30,9	27,99	28,04	29,15	0,05	1,16	0,605
30	27,95	27,99	29,15	0,04	1,20	0,62
25	27,75	27,79	29,03	0,04	1,55	0,795
24,5	27,74	27,77	29,02	0,03	1,28	0,655
21	27,56	27,61	28,85	0,05	1,29	0,67

8 Tiltak og flomsikring

Det er sett på flere ulike tiltak, men ikke alle er tatt med i denne utredningen. I denne utredningen er det kun lagt vekt på tiltaket som er beskrevet i NVEs vurdering fra 1996, (NVE, 1996). Dog er tiltakene i denne utredningen utvidet noe mer enn i NVEs rapport. De er beregnet i to ulike størrelsesordener, T1 og T2. Detaljgraden av tiltak 1 og 2 er grovt vurdert/skissert og det er ikke gjort et forsøk på å optimalisere tiltakene for nøyaktige mengder som må sprenges bort. Det legges til at nøyaktig utforming av tiltaket bør gjøres i en detaljfase da dette kan ha kostnadsbesparende effekt.

Av andre tiltak som ble vurdert er det gjort en vurdering av en mulig løsning med flomtunnel/kraftproduksjon fra Nomevatnet med utløp i Trysfjorden. Utbygginga baseres på at vannstanden i Nomevatnet senkes 1-2 meter slik at det strømmer vann inn fra Mandalselva uten fysiske tiltak i elva. Strømningstverrsnittet ved brua over elva mellom Nomevatnet og Mandalselva må utvides. I tillegg må det kanaliseres noe i elva innover mot Nomevatnet.

Man kan da avlaste Mandalsvassdraget ved flom og kunne overføre opptil 400 m³/s til Trysfjorden. Det installeres en turbin i kraftverket. Minstevannføring i Mandalselva er antatt til 30 m³/s. Resultatene er oppsummert i tabellen:

Kraftverk	Slukeevne	Effekt	GWh	Mill NOK	NOK/kWh
Nomevatn	50 m ³ /s	9,6 MW	51,6	477	9,2

Utbyggingsprisen er høy, og tiltaket trenger antagelig noe tilskudd for å bli lønnsomt.

Denne løsningen er unnlatt å se videre på hovedsakelig på grunn av store kostnader knyttet til et slikt tiltak, samt på grunn av tilsiget til Nomevatnet og utfordringene knyttet til at Mandalselva er et nasjonalt laksevassdrag. Utredning med resultater er vist i vedlegg - *Alternativt tiltak: Nomevatn Kraftverk - kombinert flomtiltak og kraftverksutbygging.*

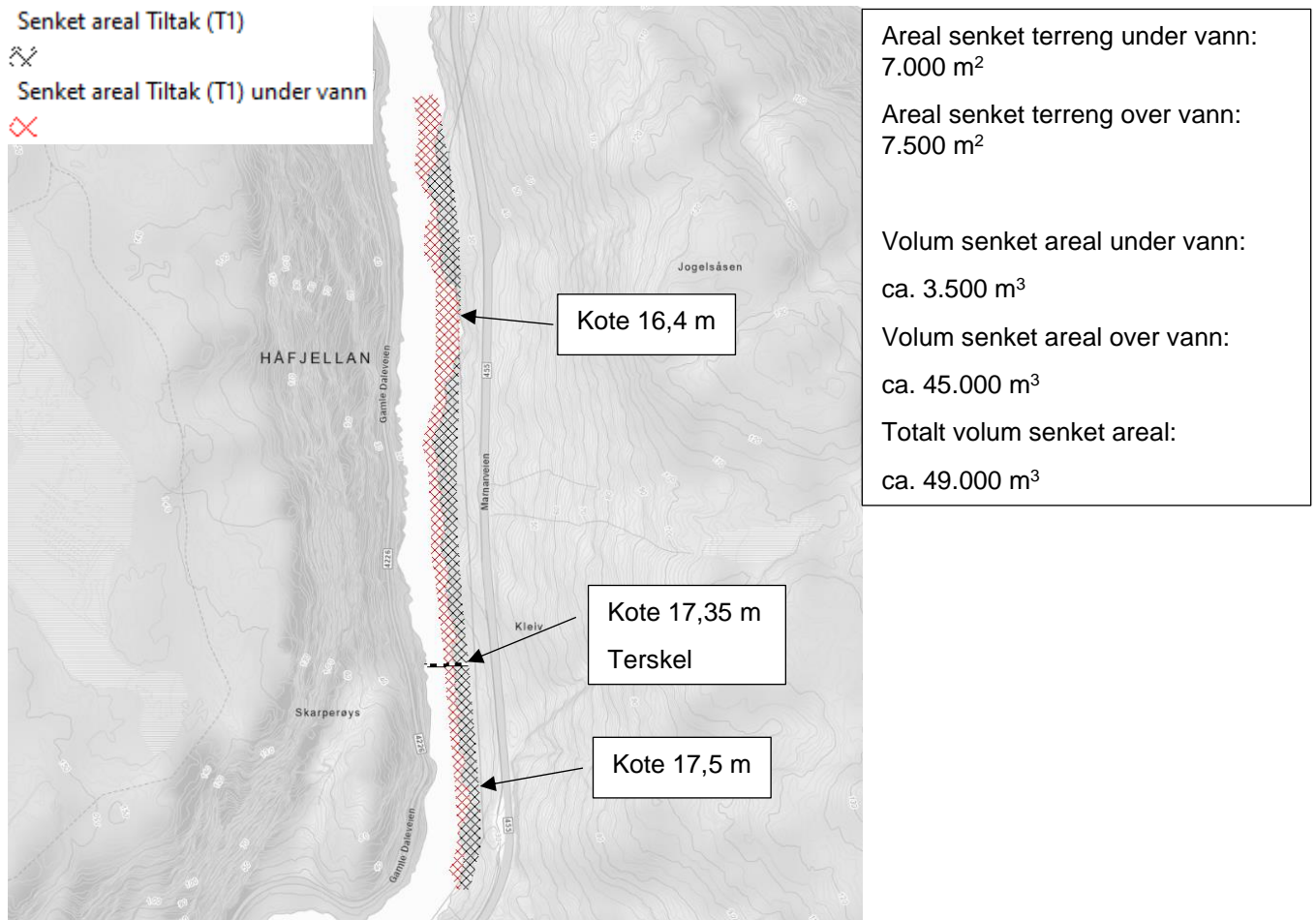
8.1 Tiltak (T1) - Utvidelse av flomareal

8.1.1 Forutsetninger og beskrivelse av tiltak

Tiltaket vil berøre en strekning på ca. 650 meter og er basert på NVEs vurdering fra 1996, (NVE, 1996). Dog er utstrekningen av terrenginngrepet utvidet etter diverse tester, kontra det NVE uttaler i sin beskrivelse.

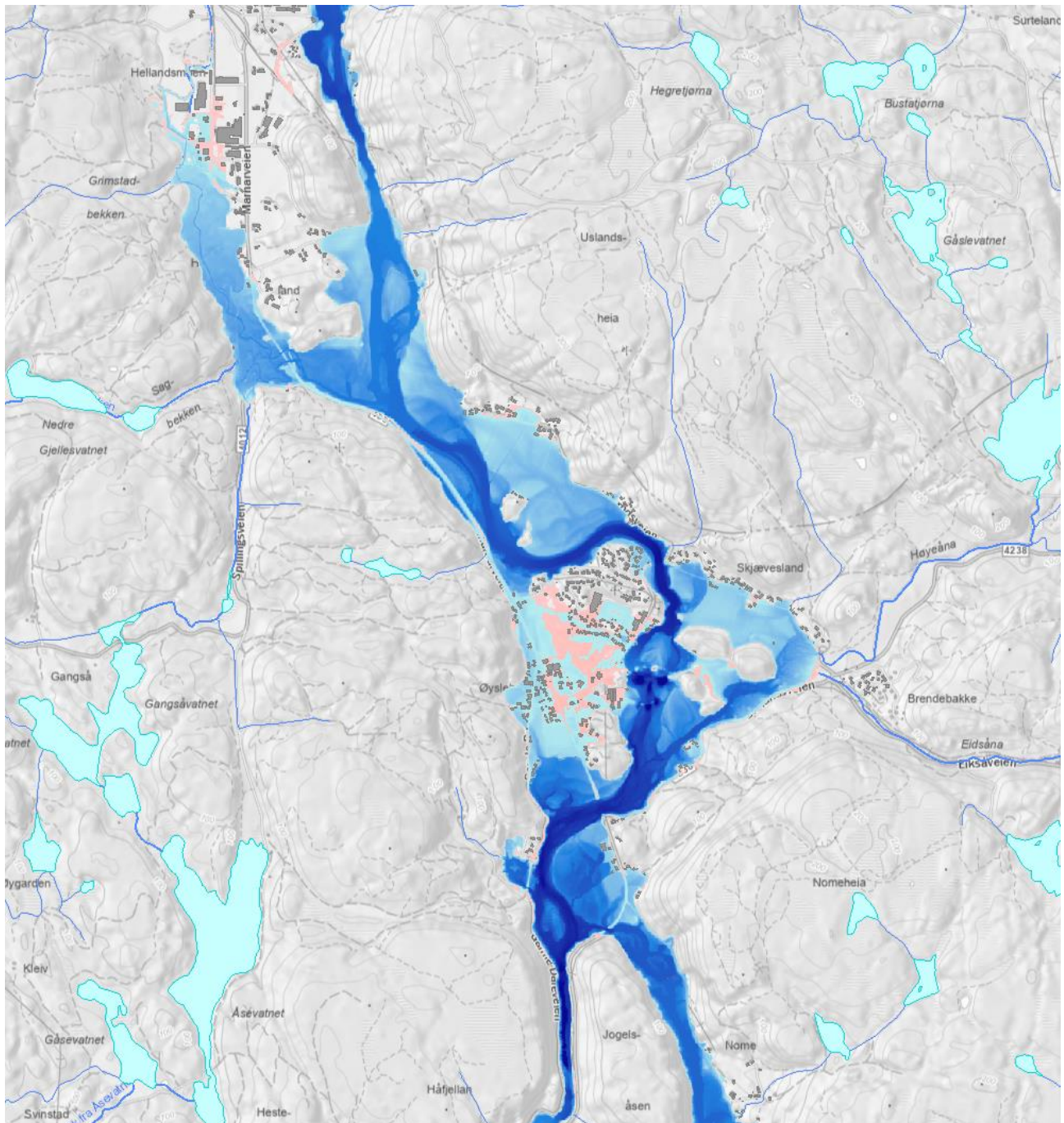
Elveløpet utvides ved utsprenging på den østre elvekanten. Elveløpet er planlagt med en minimumsbredde på ca. 30 meter, og den nødvendige utvidelsen vil variere fra 0- 20 meter. Det sprengte profilet bores med helning 10:1 og med en høyde fra 0 til ca. 15 meter over normal sommervannstand. Oppstrøms foss vil bunnen på den delen som sprenges ut ligge på kote 16,4 meter. Ved fossekam sprenges utvidelsen med bunn kote 17,35. Videre fra fossekam (ca. 200 meter nedstrøms) sprenges det med fall mot kote 17,5 meter.

Etter tiltaket vil vannet dekke den delen av bunnen som blir berørt av arbeidet oppstrøms fossekammen, nedstrøms vil berørt areal ikke være vanddekt annet enn ved vannføring over normalvannstand.



Figur 11. Grafisk fremstilling av tiltak som gir en senkning av vannlinjen ved 200-årsflom inkl. klimapåslag i snitt på ca. 0,7 meter. Terskel vises med stiplet linje.

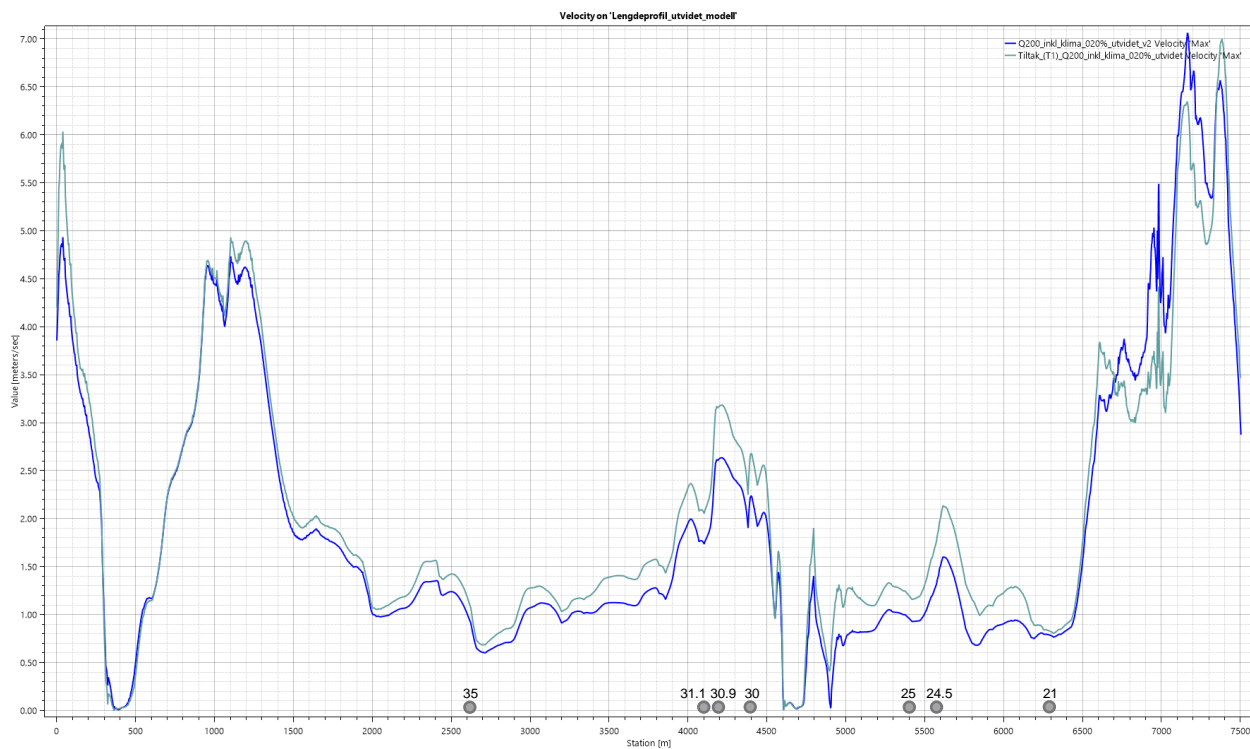
8.1.2 Resultater for tiltak T1



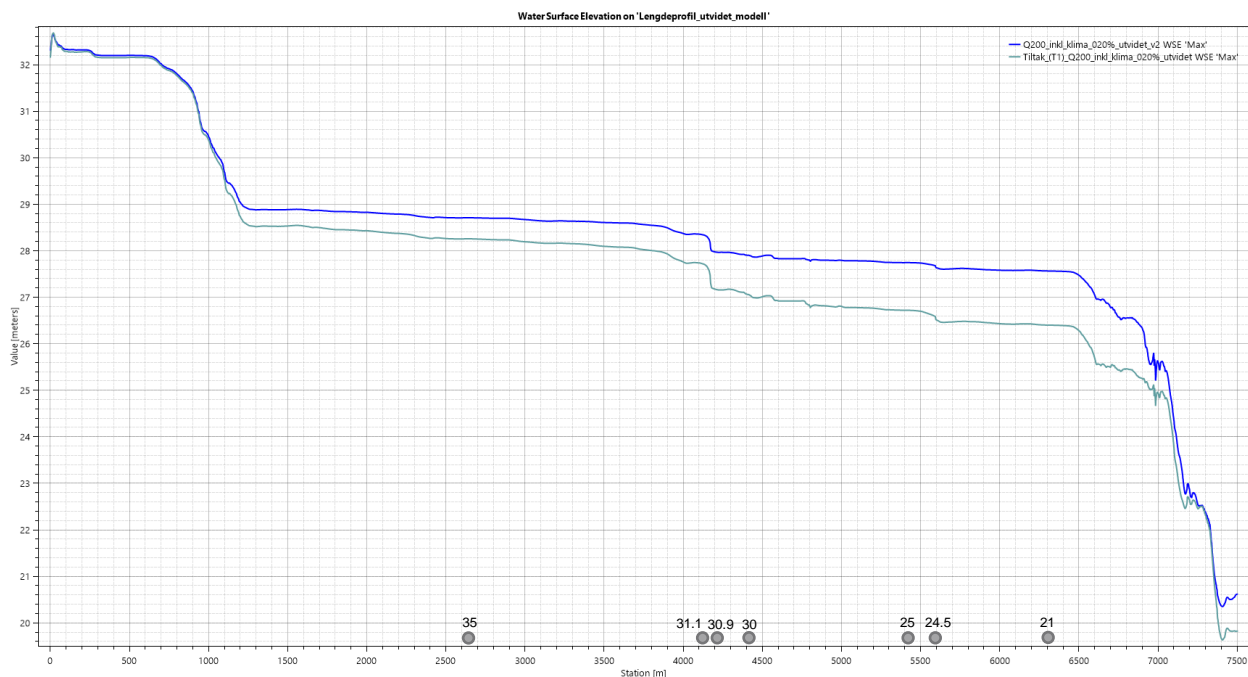
Figur 12. Flombredelse ved 200-årsflom inkl. klima for eksisterende situasjon vist i rødt – med effekt av tiltak (T1) vist i blått.

Tabell 10. Resultater vannlinjenivå ved 200-årsflom inkl. klimapåslag (profiler 35-21) for eks. situasjon og etter tiltak (T1).

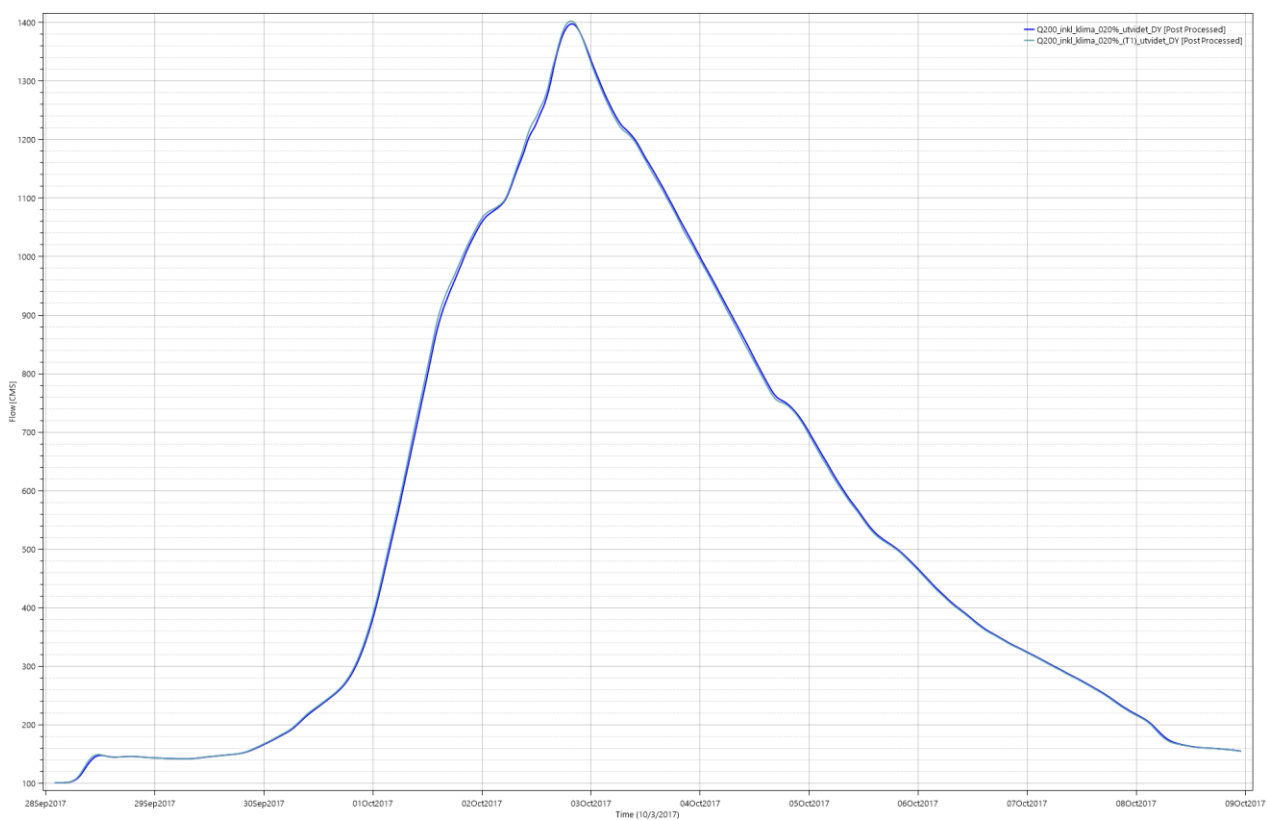
Profil nummer	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Eks. situasjon	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Tiltak (T1)	Differanse
35	28,71	28,26	-0,45
31,1	28,22	27,45	-0,77
30,9	27,99	27,12	-0,87
30	27,95	27,10	-0,85
25	27,75	26,73	-1,02
24,5	27,74	26,70	-1,04
21	27,56	26,40	-1,16



Figur 13. Sammenligning av resultater (Vannhastighet) før og etter tiltak (T1) ved Heddeland og nedstrøms Jøtulfossen. Blå linje viser vannhastighet ved eks. situasjon og lys grønn linje viser etter tiltak (T1). Plassering av omtalte NVE tversnitt er vist med grå punkter.



Figur 14. Sammenligning av resultater (Vannstand) før og etter tiltak (T1) ved Heddeland og nedstrøms Jøtulfossen. Blå linje viser vannstand ved eks. situasjon og lys grønn linje viser etter tiltak (T1). Plassering av NVE tverrsnitt er vist med grå punkter.



Figur 15. Sammenligning av resultater (Vannføring over tid) før og etter tiltak (T1) gjennom kritisk tverrsnitt ved Jøtulfossen. Blå linje viser vannføring ved eks. situasjon og lys grønn linje viser etter tiltak (T1). Relativ endring av kulminasjonsvannføring nedstrøms Jøtulfossen er beregnet til ca. 0,35%. Usikkerheter og følsomhetsanalyse for tiltak T1

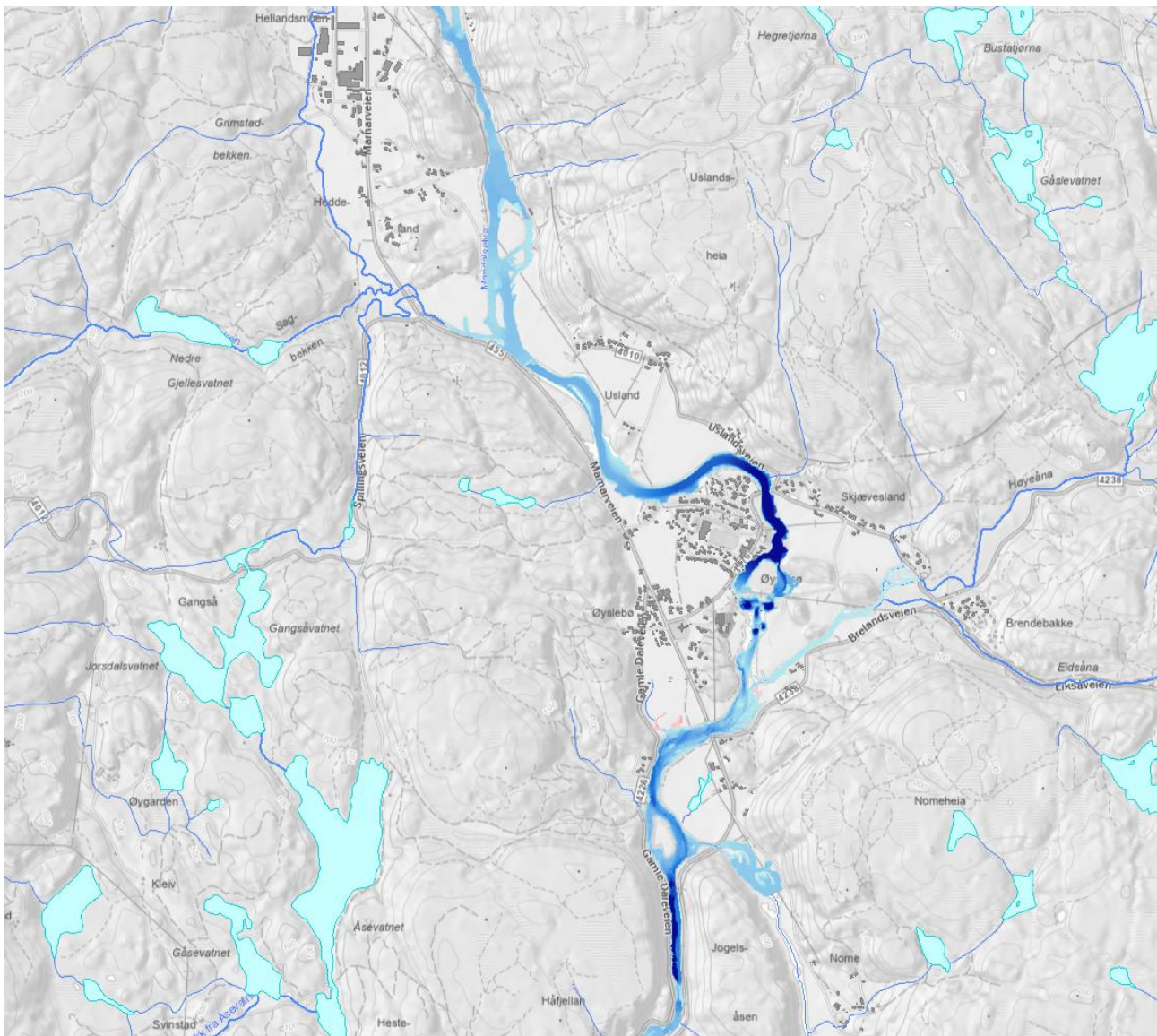
Følsomheten for endringer i modellruhet er undersøkt med separate modellkjøringer. Resultater fra følsomhetsanalysen vises i tabell nedenfor (Tabell 11).

Tabell 11. Resultater vannlinjenivå (Q200 inkl. klimapåslag) ved profiler 35-21 for tiltak (T1) ved 25% økning av ruhet og vannføring.

Profil nummer	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Tiltak (T1)	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Tiltak (T1) 25% økt ruhet	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Tiltak (T1) 25% økt vannføring	Differanse 25% økt ruhet	Differanse 25% økt vannføring	Snitt
35	28,26	28,30	29,14	0,04	0,88	0,46
31,1	27,45	27,50	28,48	0,05	1,03	0,54
30,9	27,12	27,19	28,19	0,07	1,07	0,57
30	27,10	27,17	28,16	0,07	1,06	0,565
25	26,73	26,77	27,92	0,04	1,19	0,615
24,5	26,70	26,75	27,90	0,05	1,20	0,625
21	26,40	26,46	27,65	0,06	1,25	0,655

8.1.3 Påvirkning av tiltak oppstrøms ved lavvannsføring

Da Mandalselva er et nasjonalt laksevassdrag er lavvannsføring en viktig parameter. At laksens habitat og gyteområder ikke påvirkes merkelig er avgjørende for gjennomførbarheten av tiltaket. Det er gjort simuleringer av lavvannsføring i Mandalselva på henholdsvis 20 m³/s for eksisterende situasjon og med planlagt tiltak for å undersøke tiltakets påvirkning ved lave vannføringer. Det er registrert lavere vannføringer inn mot 10 m³/s, men det er svært unike tilfeller og det er uklart om fisken kan bevege seg i disse områdene, spesielt over tersklene under slike vannføringer.



Figur 16. Lavvannsføring for eksisterende situasjon vist i rødt – med effekt av tiltak (T1) vist i blått.

Tabell 12. Resultater vannlinjenivå ved profiler 35-21 for eks. situasjon og etter tiltak (T1).

Profil nummer	Vannstand NN2000 Lavvannsføring Q200 inkl. klimapåslag Eks. situasjon	Vannstand NN2000 Lavvannsføring Q200 inkl. klimapåslag Tiltak (T1)	Differanse
35	21,67	21,67	0
31,1	21,44	21,44	0
30,9	21,44	21,44	0
30	21,44	21,44	0
25	18,64	18,38	0,26
24,5	18,62	18,30	0,32
21	18,59	18,22	0,37

*Som følge av manglende datagrunnlag/ innmålinger ved kritiske punkt (tersklene) vil det knyttes usikkerhet til nøyaktigheten av vannstandsresultater ved lave vannføringer.

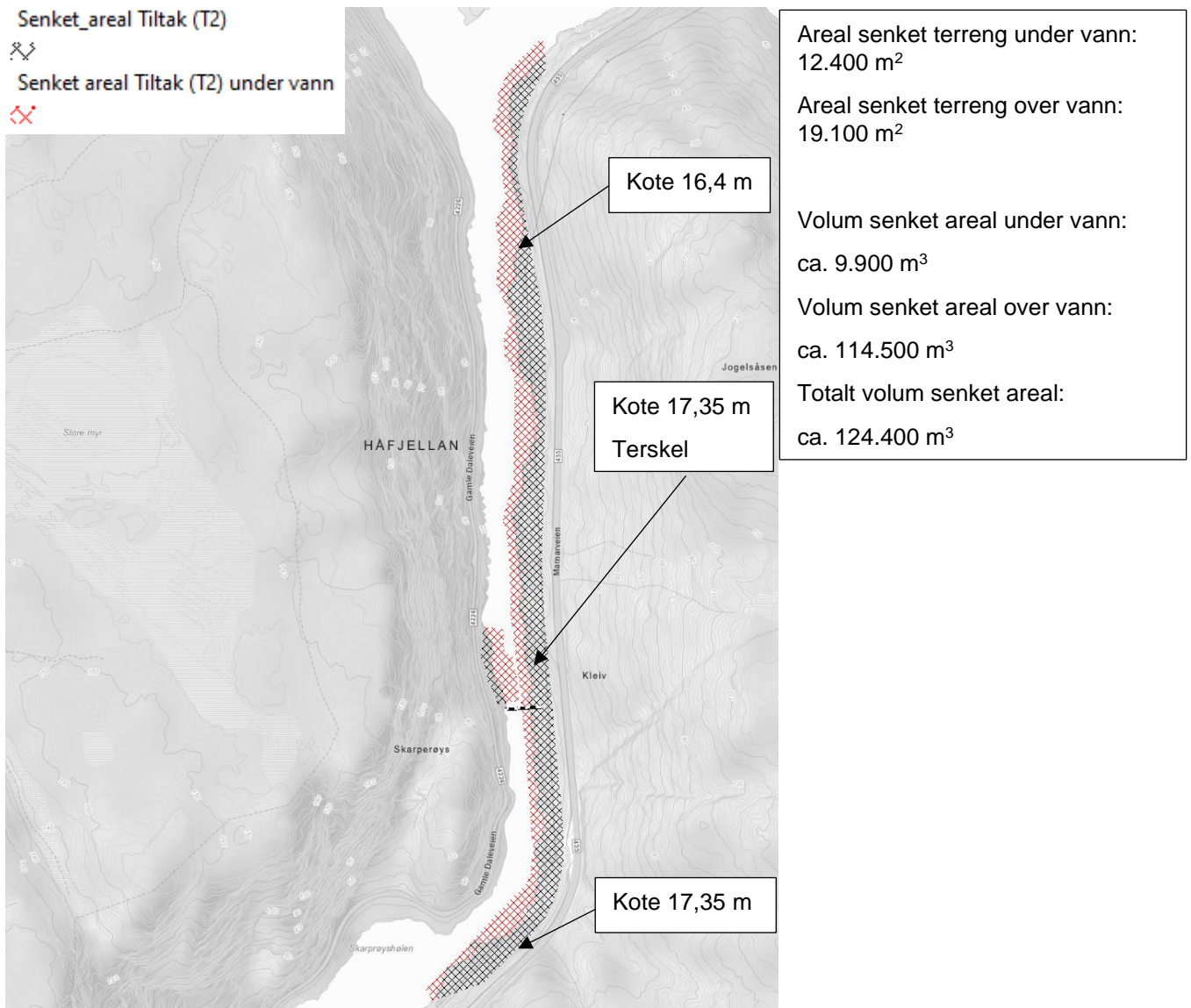
8.2 Tiltak (T2) – Ytterligere utvidelse av flomareal

8.2.1 Forutsetninger og beskrivelse av tiltak

Tiltaket vil berøre en strekning på ca. 970 meter og er basert på NVEs vurdering fra 1996, (NVE, 1996). Videre er tiltak (T2) er en ytterligere utvidelse av de tiltakene som ble presentert i tiltak (T1).

Elveløpet utvides ved utsprenging på den østre elvekanten med ytterligere 10 meter. Elveløpet er planlagt med en min. bredde på ca. 40 meter, og den nødvendige utvidelsen vil variere fra 0-30 meter. Det sprengte profilet bores med helning 10:1 og med en høyde fra 0 til ca. 15 meter over normal sommervannstand. Oppstrøms foss vil bunnen på den delen som sprenges ut ligge på kote 16,4 meter. Ved fossekam sprenges utvidelsen med bunn kote 17,35. Videre fra fossekam (ca. 330 meter nedstrøms) sprenges det med fall mot kote 17,35 meter.

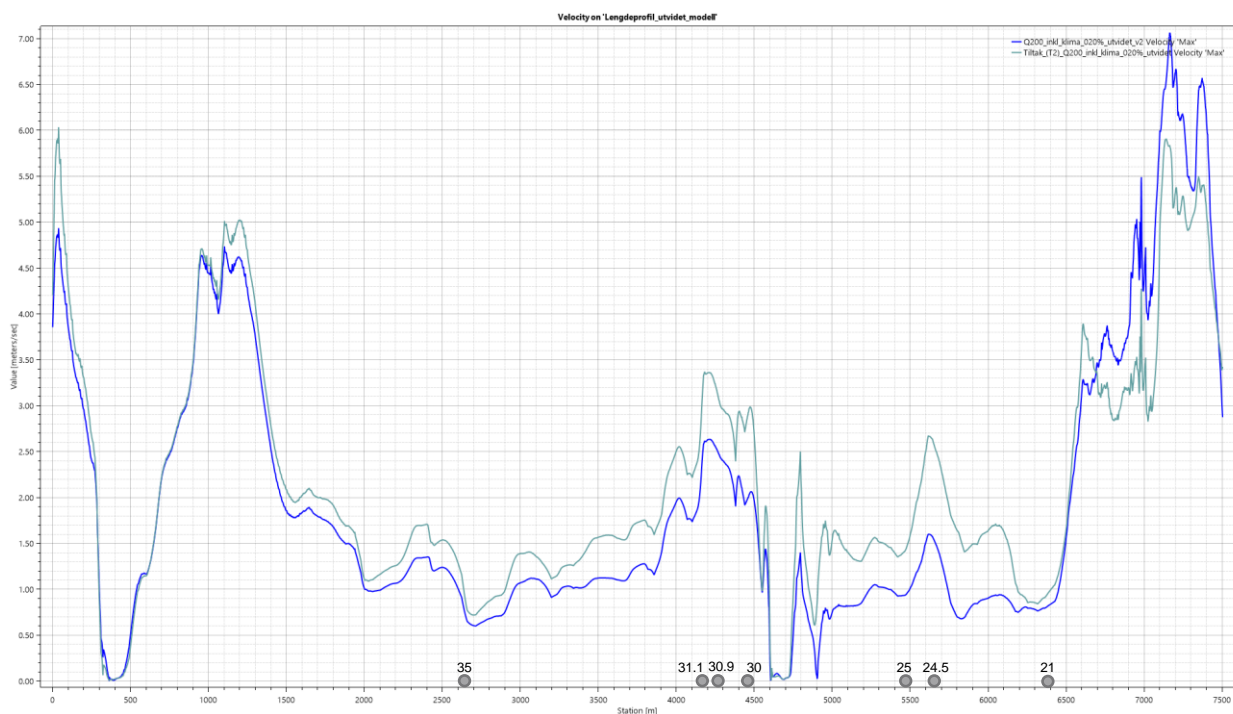
Etter tiltaket vil vannet vil dekke den delen av bunnen som blir berørt av arbeidet oppstrøms fossekammen. Nedstrøms vil berørt areal ikke være vanddekt annet enn ved vannføring over normalvannstand.



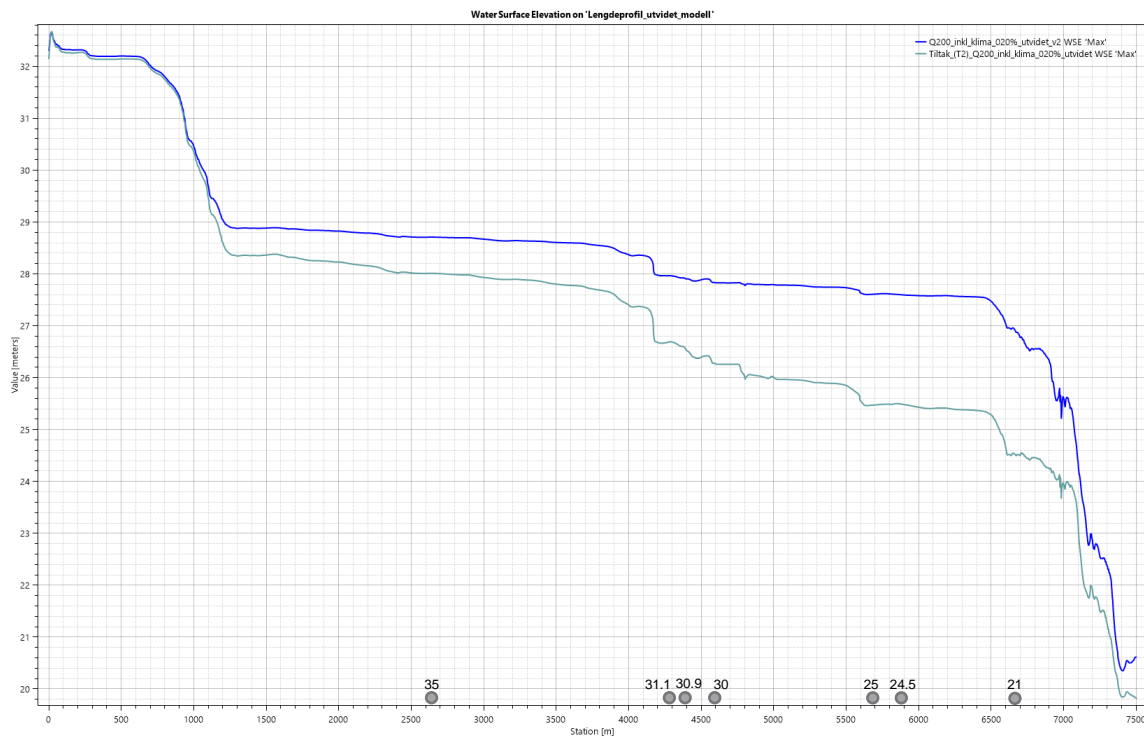
Figur 17. Grafisk fremstilling av tiltak som gir en senkning av vannlinjen ved 200-årsflom inkl. klimapåslag i snitt på ca. 1,2 meter. Terskel vises med stiptet linje.

Tabell 13. Resultater vannlinjenivå ved profiler 35-21 eksempelsituasjon og etter tiltak (T2).

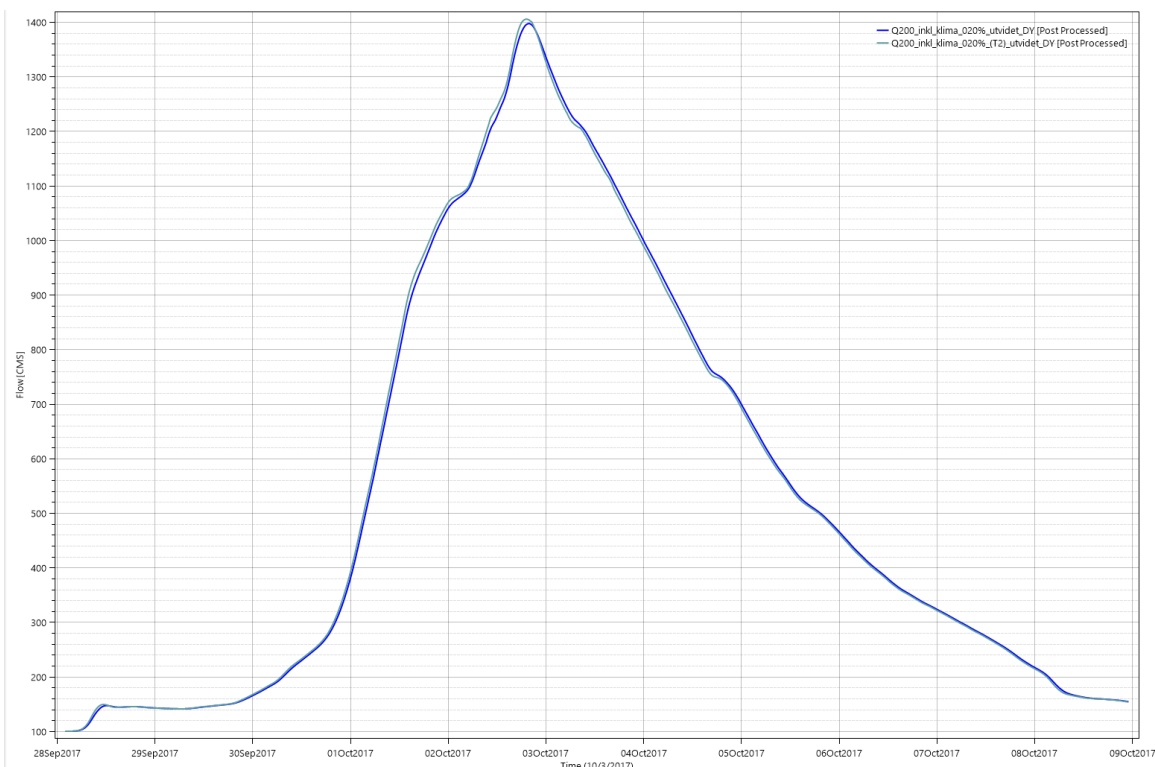
Profil nummer	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Eks. situasjon	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Tiltak (T2)	Differanse
35	28,71	28,01	-0.70
31,1	28,22	27,03	-1.19
30,9	27,99	26,61	-1.38
30	27,95	26,54	-1.41
25	27,75	25,86	-1.89
24,5	27,74	25,81	-1.93
21	27,56	25,37	-2.19



Figur 19. Sammenligning av resultater (Vannhastighet) før og etter tiltak (T2) ved Heddeland og nedstrøms Jøtulfossen. Blå linje viser vannhastighet ved eksempelsituasjon og lys grønn linje viser etter tiltak (T2).



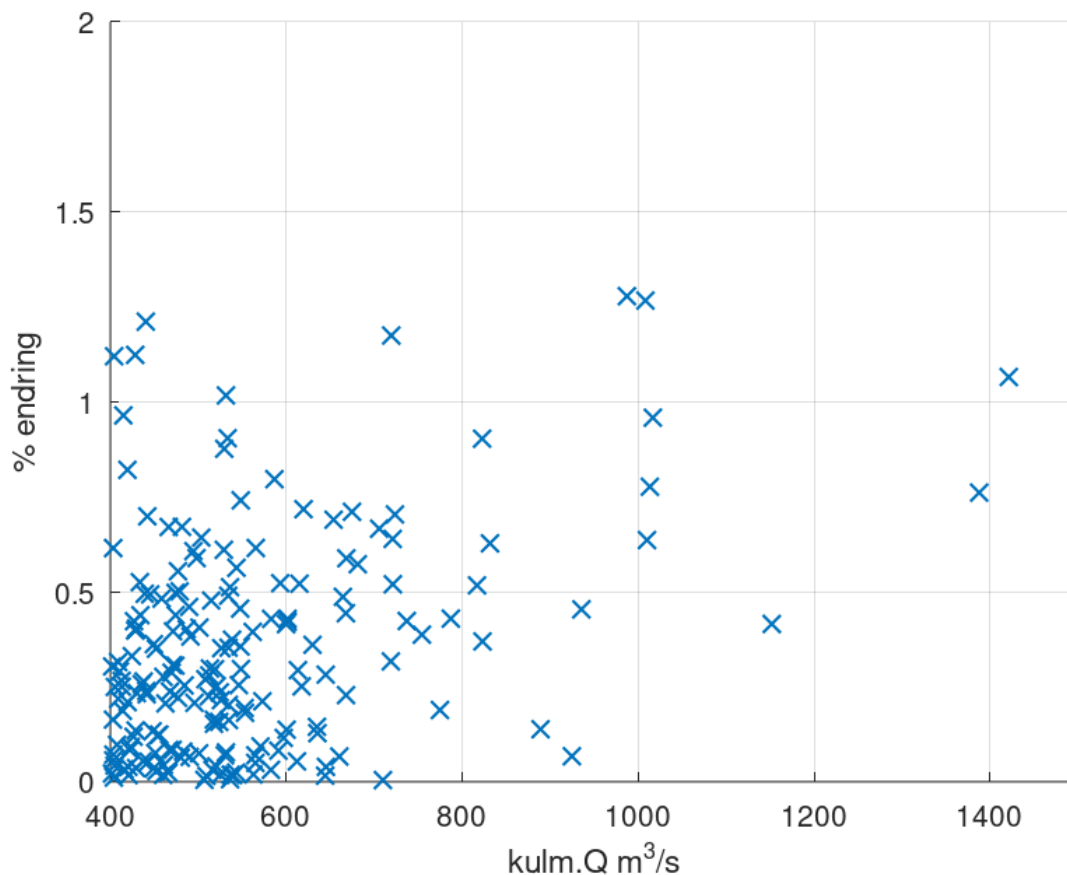
Figur 20. Sammenligning av resultater (Vannstand) før og etter tiltak (T2) ved Heddeland og nedstrøms Jøtulfossen. Blå linje viser vannstand ved eks. situasjon og lys grønn linje viser etter tiltak (T2).



Figur 21. Sammenligning av resultater (Vannføring over tid) før og etter tiltak (T2) gjennom kritisk tverrsnitt ved Jøtulfossen. Blå linje viser vannføring ved eks. situasjon og lys grønn linje viser etter tiltak (T2). Relativ endring av kulminasjonsvannføring nedstrøms Jøtulfossen er beregnet til ca. 0,64%.

For tiltak T2 er det kjørt en numerisk analyse der det er brukt resultater (vannføringskurver og vannvolumer) fra kjøring med en 2D-modell, både før og etter tiltak. Disse er brukt sammen med tidsserier av vannføring fra målestasjonen ved Kjølemo for å vurdere en rimelig øvre grense av endringene i kulminasjonsverdiene etter tiltak T2. Kun den delen av dataene derfra med timesverdier er brukt, sammen med annen data som sammen dekker flommer med kulminasjonsverdier for hele spekteret fra middelflom til en 200-års flom med klimapåslag og er en mer detaljert analyse av relativ endring i kulminasjonsverdier enn vist i Figur 15 og Figur 21. Vannføringskurvene og volumhøydekurvene før og etter tiltak er brukt for å rute tidsserien igjennom vassdragsdelen ved Øyslebø. På denne forenklete måten kan påvirkningen for mange forskjellige flommer (lange tidsserier) undersøkes på en relativt rask måte sammenliknet med 2D-modellkjøring der man stort sett er begrenset til modellering av enkelte flommer. En sammenlikning med de flomforløpene som er modellert med en 2D-modell tyder på at rutingen gir litt konservative resultater (en høyere relativ påvirkning av tiltaket enn det som oppnås med 2D-modellering). Ruting-analysen resulterer i en ganske jevn økning av kulminasjonsvannføring nedstrøms Jøulfossen som følge av tiltaket i underkant av 1,5%. Dvs. at for de fleste flommer etter utført tiltak så vil kulminasjonsvannføringen være i underkant av 1,5% høyere sammenliknet med før som følge av tiltak T2.

Denne analysen er ikke kjørt for tiltak T1. For tiltak T1 kan en forvente en enda mindre påvirkning enn for tiltak T2.



Figur 22. Relativ endring i kulminasjonsvannføring som funksjon av kulminasjonsvannføring som følge av tiltak T2. For de fleste flommer vil tiltak T2 medføre at kulminasjonsvannføringen øker i underkant av 1.5% nedstrøms Jøulfossen som følge av tiltaket. T2. Beregnet med ruting (blå kryss).

8.2.3 Usikkerheter og følsomhetsanalyse for tiltak T2

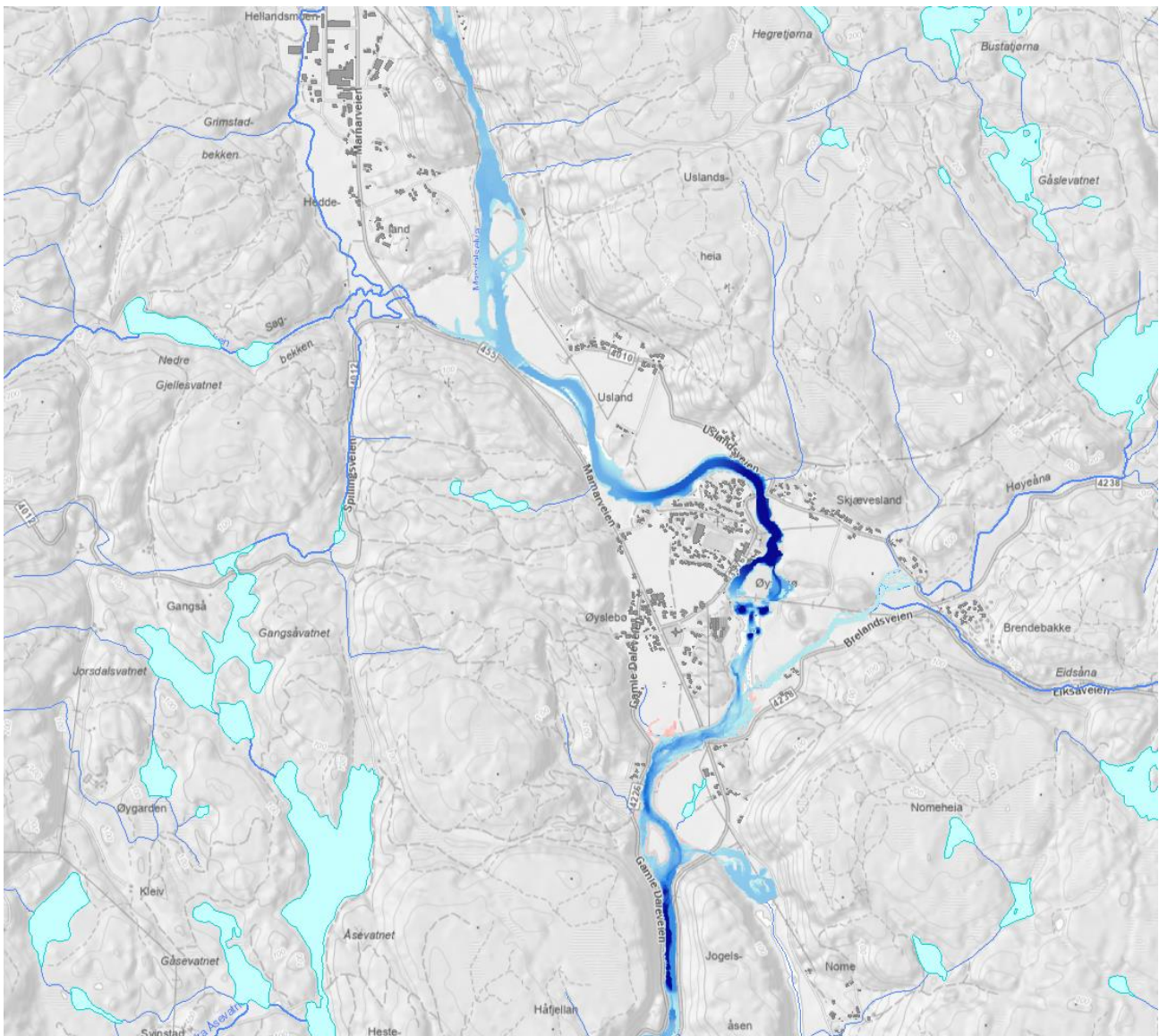
Følsomheten for endringer i modellruhet er undersøkt med separate modellkjøringer. Resultater fra følsomhetsanalysen vises i tabell nedenfor (Tabell 14).

Tabell 14. Resultater vannlinjenivå (Q200 inkl. klimapåslag) ved profiler 35-21 for tiltak (T2) ved 25% økning av ruhet og vannføring.

Profil nummer	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Tiltak (T2)	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Tiltak (T2) 25% økt ruhet	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Tiltak (T2) 25% økt vannføring	Differanse 25% økt ruhet	Differanse 25% økt vannføring	Snitt
35	28,01	28,04	28,81	0.03	0.80	0.415
31,1	27,03	27,10	27,90	0.07	0.87	0.47
30,9	26,61	26,64	27,44	0.03	0.83	0.43
30	26,54	26,54	27,42	0.08	0.88	0.48
25	25,86	25,93	27,00	0.07	1.14	0.605
24,5	25,81	25,86	26,97	0.05	1.16	0.605
21	25,37	25,44	26,56	0.07	1.19	0.63

8.2.4 Påvirkning av tiltak oppstrøms ved normalvannføring

Da Mandalselva er et nasjonalt laksevasdrag er lavvannsføring en viktig parameter. At laksens habitat og gyteområder ikke påvirkes merkelig er avgjørende for gjennomførbarheten av tiltaket. Det er gjort simuleringer av lavvannsføring i Mandalselva på henholdsvis 20 m³/s for eksisterende situasjon og med planlagt tiltak for å undersøke tiltakets påvirkning ved lave vannføringer. Det er registrert lavere vannføringer inn mot 10 m³/s, men det er svært unike tilfeller og det er uklart om fisken kan bevege seg i disse områdene, spesielt over tersklene under slike vannføringer.



Figur 23. Lavvannsføring for eksisterende situasjon vist i rødt – med effekt av tiltak (T2) vist i blått.

Tabell 15. Resultater vannlinjenivå ved profiler 35-21 for eks. situasjon og etter tiltak (T2).

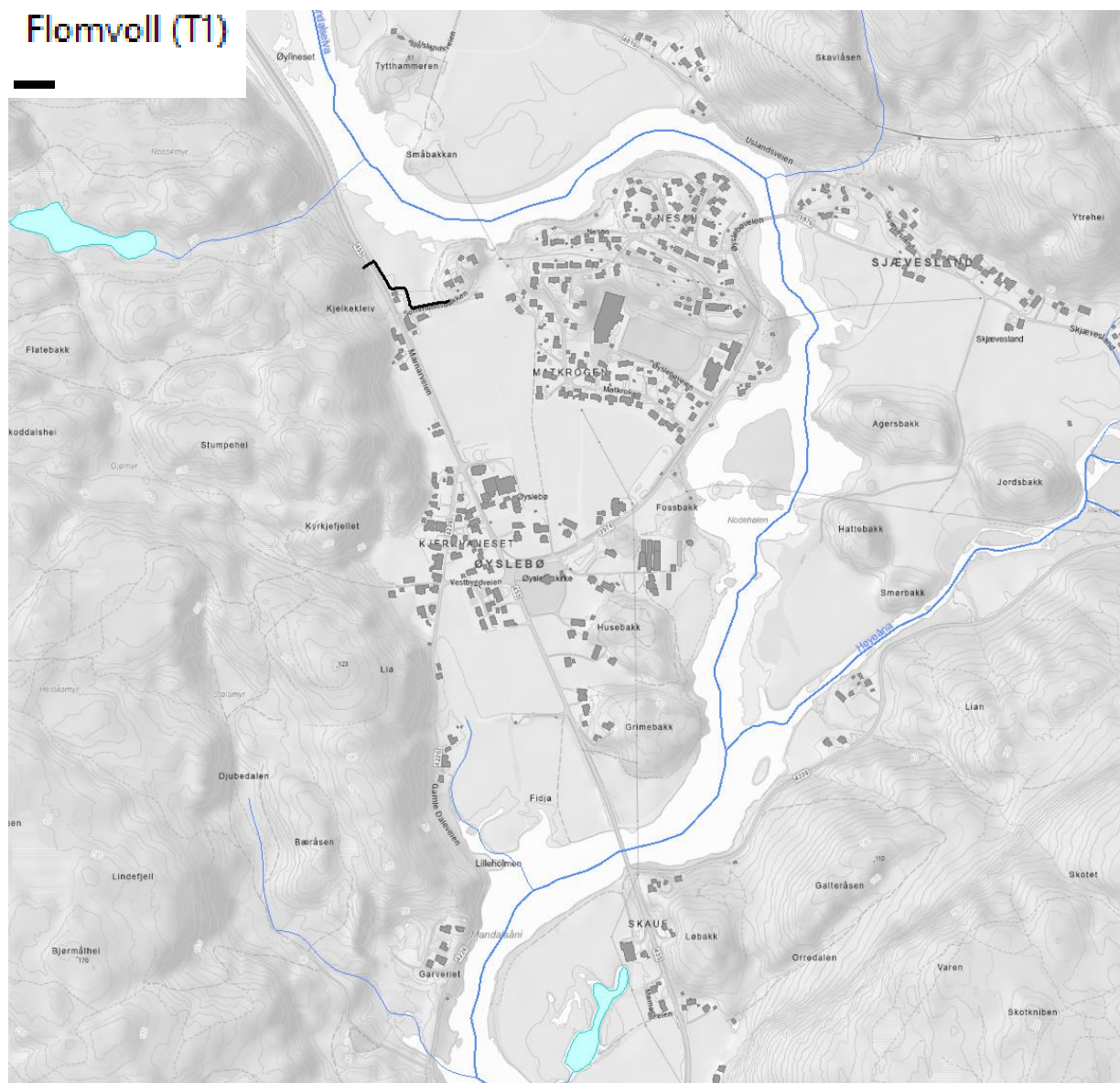
Profil nummer	Vannstand NN2000 Lavvannsføring Q200 inkl. klimapåslag Eks. situasjon	Vannstand NN2000 Lavvannsføring Q200 inkl. klimapåslag Tiltak (T2)	Differanse
35	21,67	21,67	0
31,1	21,44	21,44	0
30,9	21,44	21,44	0
30	21,44	21,44	0
25	18,64	18,28	-0,36
24,5	18,62	18,13	-0,49
21	18,59	17,99	-0,60

*Som følge av manglende datagrunnlag/ innmålinger ved kritiske punkt (tersklene) vil det knyttes usikkerhet til nøyaktigheten av vannstandsresultater ved lave vannføringer.

8.3 Lokale tiltak ved Øyslebø

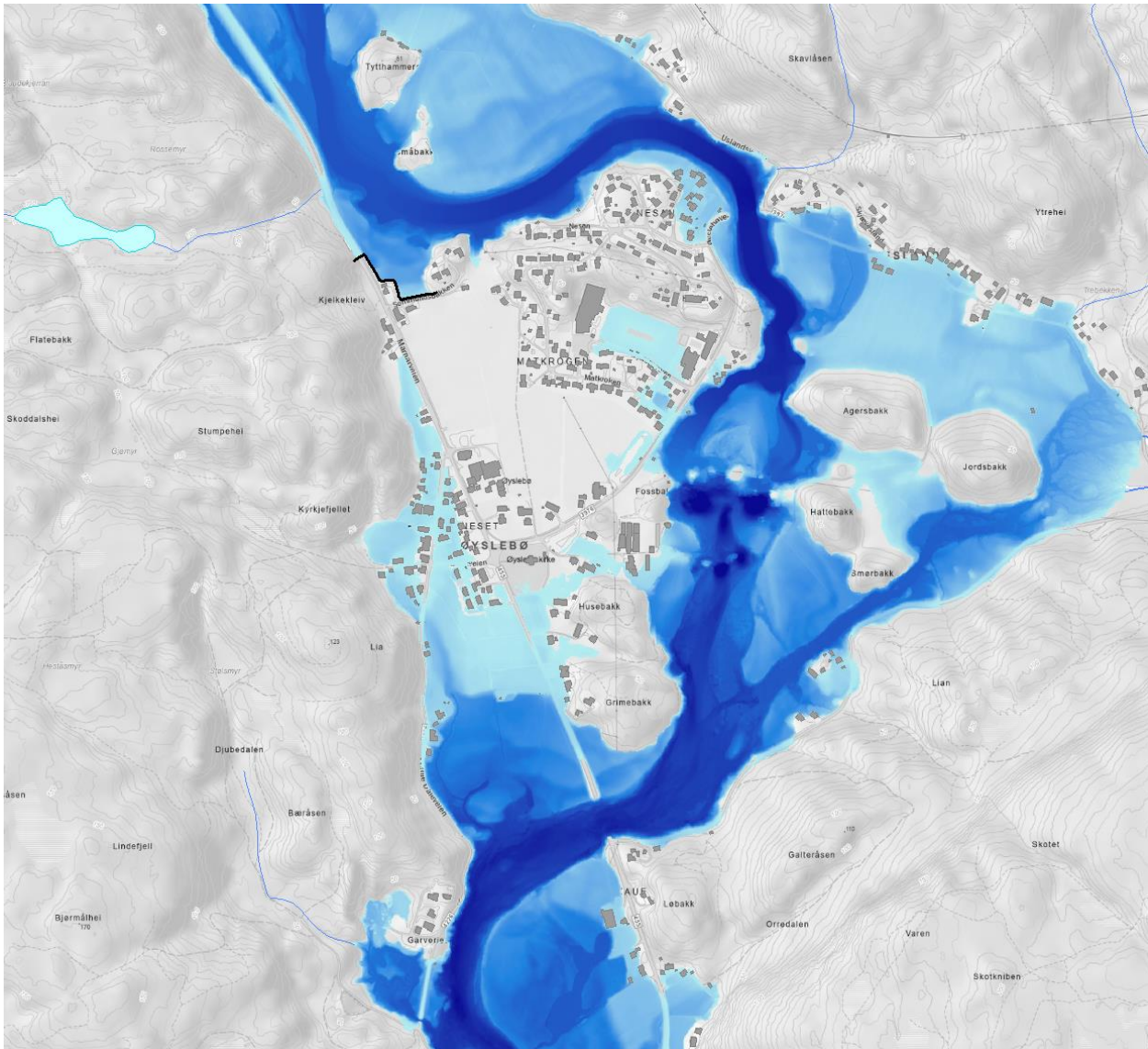
Det er sett på lokale tiltak (flomvoller) ved Øyslebø for å dempe flomutbredelsen som ikke reduseres nok som følge av tiltak (T1) og (T2). Tiltakene er grove og det er ikke sett på nøyaktig høyde/bredde, plassering og type flomvoll. Tiltakene er plassert iht. størst skadepotensiale der flere hus berøres, sikring av enkelthus og bygninger utenfor Øyslebø er ikke sett på i denne utredningen.

8.3.1 Lokale tiltak i Øyslebø, ved tiltak (T1)



Figur 24. Plassering av flomvoll ved tiltak (T1).

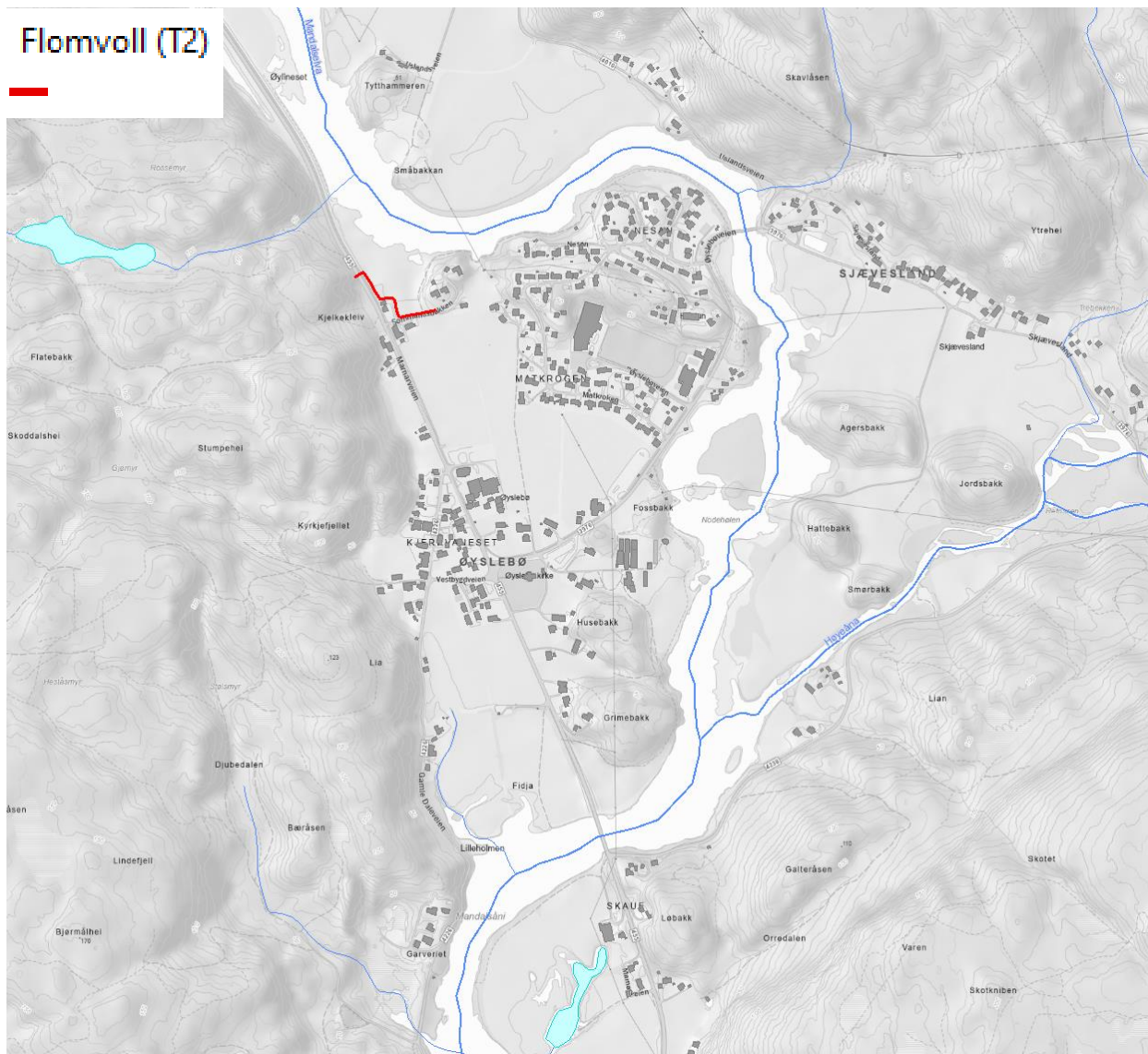
Plasseringen er lengst nord på Øyslebø (sort linje) og er ca. 229 meter. Effekten av tiltaket er vist i Figur 25.



Figur 25. Effekt av lokale tiltak (flomvoll) ved Øyslebø, etter tiltak (T1). Flomvoll illustrert med sort linje.

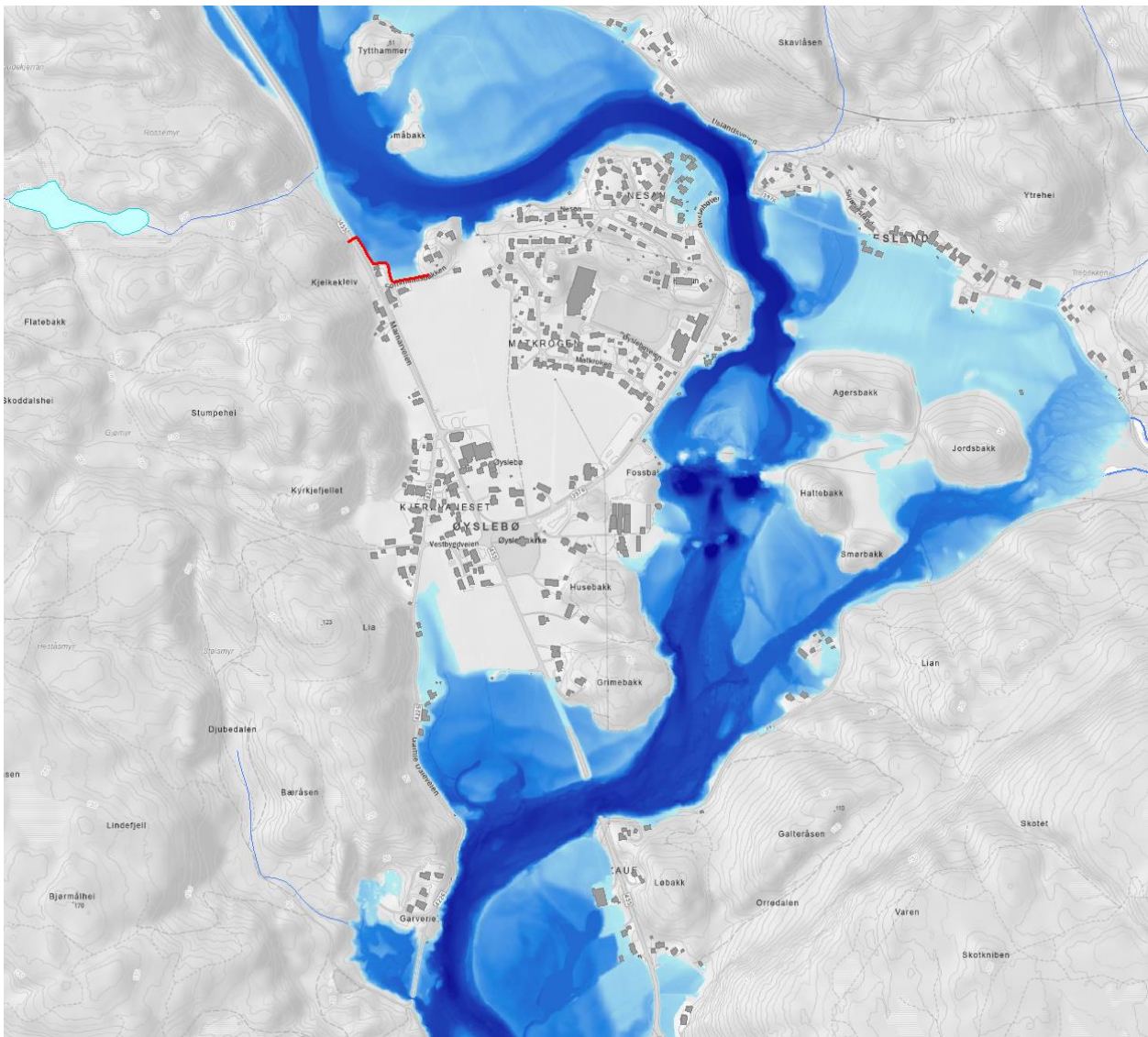
Områdene ved Fv.302 som oversvømmes er utfordrende å etablere flomvoll ved, da det er lite tilgjengelig areal. Det er også uheldig å måtte bygge opp fylling ut mot Mandalselva, da dette vil redusere mulig flomareal. Et alternativ for dette området kan være mobilt flomvern, eventuelt hevning av vei.

8.3.2 Lokale tiltak i Øyslebø ved tiltak (T2)



Figur 26. Plassering av flomvoll ved tiltak (T2).

Plasseringen er lengst nord på Øyslebø (sort linje) og er ca. 229 meter. Effekten av tiltaket er vist i Figur 27.



Figur 27. Effekt av lokale tiltak (flomvoll) ved Øyslebø, etter tiltak (T2). Flomvoll er illustrert med rød linje.

8.4 Masseoverslag av tiltak

Det er utarbeidet et masseoverslag på tiltak (T1) og (T2). Overslagene er grove og det poengteres at mer detaljerte vurderinger må gjøres i en detaljfase av prosjektet.

Overslag knyttet til de lokale tiltakene (flomvoller) ved Øyslebø er ikke gjennomført. De lokale tiltakene er grove løsninger som ikke er like detaljerte som tiltak (T1) og (T2). Endelig utforming (høyde/bredde) og plassering av flomvoll vil ha betydning for masseberegninger.

Masseoverslag Tiltak (T1)

Berg

- Boring og sprenging 49 000 m³
- Opplasting og transport 72 520 m³

Masseoverslag Tiltak (T2)

Berg

- Boring og sprenging 124 400 m³
- Opplasting og transport 184 200 m³

9 Virkninger

9.1 Hydrauliske og hydrologiske forhold

Vannlinjeberegningene betraktes som gode, da det foreligger data på observerte flommer, bunnmålinger og gode data på vannføringer. Resultatene for de to presenterte tiltakene gir en positiv effekt på vannlinjen under dimensjonerende flom. Det er gjort grove vurderinger av flomforløpet som følge av senkningstiltaket og analysene viser marginale endringer nedstrøms.

Tabell 16. Resultater vannlinjenivå ved profiler 35-21 for eks. situasjon og etter tiltak (T1) og (T2).

Profil nummer	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Eks. situasjon	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Tiltak (T1)	Vannstand NN2000 Flom Q200 inkl. klimapåslag Tiltak (T2)	Differanse T1	Differanse T2
35	28,71	28,26	28,01	-0,45	-0.70
31,1	28,22	27,45	27,03	-0,77	-1.19
30,9	27,99	27,12	26,61	-0,87	-1.38
30	27,95	27,10	26,54	-0,85	-1.41
25	27,75	26,73	25,86	-1,02	-1.89
24,5	27,74	26,70	25,81	-1,04	-1.93
21	27,56	26,40	25,37	-1,16	-2.19

Videre er det sett på lavvannsføringer som følge av senkningstiltaket. Påvirkningen av lavvannsføringen vil variere fra 25-60 cm. Videre er påvirkningen avgrenset fra et område fra Øyslebøfossen og ned til Jøtulfossen.

9.2 Vannkvalitet

Det forventes lokal blakking av vannet under anleggsarbeidet. Den fine fraksjonen av de delene av steinmassene som fjernes under vann vil følge strømmen et stykke ned i vassdraget før avlagring.

9.3 Flora og fauna

Tiltaket vil i noen grad påvirke vegetasjonen, og ved de bratteste partiene vil man også finne bart fjell. Under arbeidet vil fisk og bunndyr påvirkes.

9.4 Infrastruktur

Det er registrert en luftlinje langs østre breddekant. Tiltakene vil berøre traséen til luftspennet, og dette må flyttes før tiltakene kan gjennomføres.

9.5 Grunnforhold og stabilitet

Området ligger innenfor marin grense og tiltakene vil kunne påvirke hastigheten i vassdraget. En vurdering/ kartlegging av områder med kvikkleire bør derfor gjennomføres før tiltakene settes i kraft.

Referanser

- Holmqvist, E, E. K., 2018. *Flomberegning for Mandalselva*, Oslo: NVE.
- Klimaservicesenter, N., 2017. *Klimaprofil Agder*, Oslo: Norsk Klimaservicesenter.
- NVE, 1996. *Tiltak i vassdrag Flomsikring av Mandalselva ved Øyslebø*, Oslo: NVE.
- NVE, 2016. *Klimaendring og framtidige flommer i Norge*, Oslo: NVE.
- NVE, 2019. *Flomsonekart Delprosjekt Øyslebø*, Oslo: NVE.
- NVE, 2022. *Sikkerhet mot flom Utredning av flomfare i reguleringsplan og byggesak*, Oslo: NVE.
- NVE, 2022. *Veileder for flomberegninger*, Oslo: NVE.

Vedlegg

Alternativt tiltak: Nomevatn Kraftverk - kombinert flomtiltak og kraftverksutbygging

Nomevatn Kraftverk kombinert flomtiltak og kraftverksutbygging

Notatet omhandler et mulig Nomevatn kraftverk med inntak i Nomevatn og utløp i Trysfjorden. Bakgrunnen for å bygge kraftverket vil være for å avlaste Mandalsvassdraget ved flom og kunne overføre opptil 400 m³/s til Trysfjorden. Det installeres en turbin i kraftverket. Minstevannføring i Mandalselva er antatt til 30 m³/s, hvis denne blir høyere vil beregnet årlig produksjon bli lavere. Resultatene er oppsummert i tabellen:

Kraftverk	Slukeevne	Effekt	GWh	Mill NOK	NOK/kWh
Nomevatn	50 m ³ /s	9,6 MW	51,6	477	9,2

Utbyggingsprisen er høy, og det er uklart om noen aktør er villig til å bygge ut kraftverket.

Beskrivelse av oppdraget

Oppdraget har bestått i å vurdere utbygging av et Nomevatn kraftverk som går mellom Nomevatn og Trysfjorden. Tunellen skal kunne brukes til å overføre 400 m³/s vann fra Mandalselva til Trysfjorden.

Grunnlag

Utredningen baserer seg på kart fra NVE atlas, avrenningstall fra AEVK, NVEs kostnadsgrunnlag (prisnivå 01.01.15) med prisstigning 31% for bygg, 40 % for maskin og 60 % for elektro. Rigg og drift for bygg er satt til 30% av grunnlagsprisene. Kostnadspåslagene ellers inkluderer 15% diverse og uforutsett, 8% planlegging og administrasjon.

Det er forutsatt tilknytning til eksisterende 22 kV nett i området. Kostnadene inkluderer transformator til 22 kV og koblingsanlegg i henhold til kostnadsgrunnlaget.

Renter i byggetid er ikke inkludert i kostnadene.

Hydrologi

Hydrologien er basert på vannføringsdata for vannmerket 22.4 Kjølamo for perioden fra 1970 og fram til nå.

Produksjonsberegningene er gjort basert på forutsetningene om at det skal slippes 30 m³/s minstevannføring i elva. I tillegg er det lagt til grunn at kraftverket trenger 10 m³/s i vannføring for å kjøre. Kraftverket har en forutsatt slukeevne på 50 m³/s. Med de forutsetningene er produksjonen beregnet til 52 GWh, mens potensialet om alt vannet i elva hadde blitt benyttet er på 135 GWh. Dette innebærer at ca. 62 % av vannet fortsatt renner i elva som minstevannføring eller vannføring som er større enn kraftverkets slukeevne.

Beskrivelse av utbygginga

Generelt

Utbygginga baseres på at vannstanden i Nomevatnet senkes 1-2 meter slik at det strømmer vann inn fra Mandalselva uten fysiske tiltak i elva. Strømningstverrsnittet ved brua over elva mellom Nomevatnet og Mandalselva må utvides. I tillegg må det kanaliseres noe i elva innover mot Nomevatnet.



Figur 28. Marnarveien krysser elva mellom Nomevatnet og Mandalselva.

Videre forutsettes det at det alltid skal være minst 30 m³/s med vann i Mandalselva. Turbinen trenger omtrent 10 m³/s for å kjøre og det er derfor forutsatt at kraftverket kan starte om vannføringa i elva er over 40 m³/s. Dette er lagt til grunn i produksjonsberegningene.

Begrunnelsen for å bygge kraftverket er flomavledning, men om kraftverket skal være med på å finansiere tiltaket så må det være noe produksjon i kraftverket utover flomperiodene.

Vannvei

I utgangspunktet benyttes tunell rør som løsning. Denne blir dimensjonert for å få overført 400 m³/s for å redusere flom ved Øyslebø og i Mandal sentrum. Denne er derfor foreløpig dimensjonert til 80 m² og er felles fram til rett ved kraftstasjonen hvor det plasseres en betongpropp med innstøpt konus som overgang til rør i tunell. Parallelt med konusen blir det en tappelupe for flomvann med en egen utløpstunell ut i Trysfjorden.

Tabell 17. Oversikt vannvei Nomevatn kraftverk

Seksjon	Type	Lengde	Tverrsnitt/Diameter
1	Tunell	6000 m	80 m ²
2	Rør i tunell	75 m	3,8 m

I tillegg kommer en egen utløpstunnel for flomvannet som tappes gjennom en tappeluke.

Kraftstasjon

Kraftstasjonen er tenkt plassert i dagen. Det blir installert en vertikalt installert kaplanturbin med slukevne på 50 m³/s, tilsvarende 9,6 MW. Kraftstasjonsbygget blir liggende ved siden av Trysfjorden.

Flomtapping

Det installeres en flomluke rett oppstrøms kraftstasjonen og flomvannet tappes via en egen utløpstunell rett ut i Trysfjorden.

Forslag til videre arbeid

Befaring

Befaring for å se nærmere på damsted, inntak, rørtrase og kraftstasjon.

Ingeniørgeologi

For å kartlegge forholdene for tunell er det bra å kartlegge geologien.

Optimalisering og detaljering

Basert på undersøkelsene og samtaler med blant annet drift i AE gjøres videre optimalisering og detaljering av utbygging. Dette kan beskrives i en første versjon av en designbasis for utbygginga.

Konsesjonssøknad

Det må utarbeides og sendes inn konsesjonssøknad for utbygginga. Antagelig må det søkes etter vassdragsreguleringsloven i tillegg til vannressursloven.

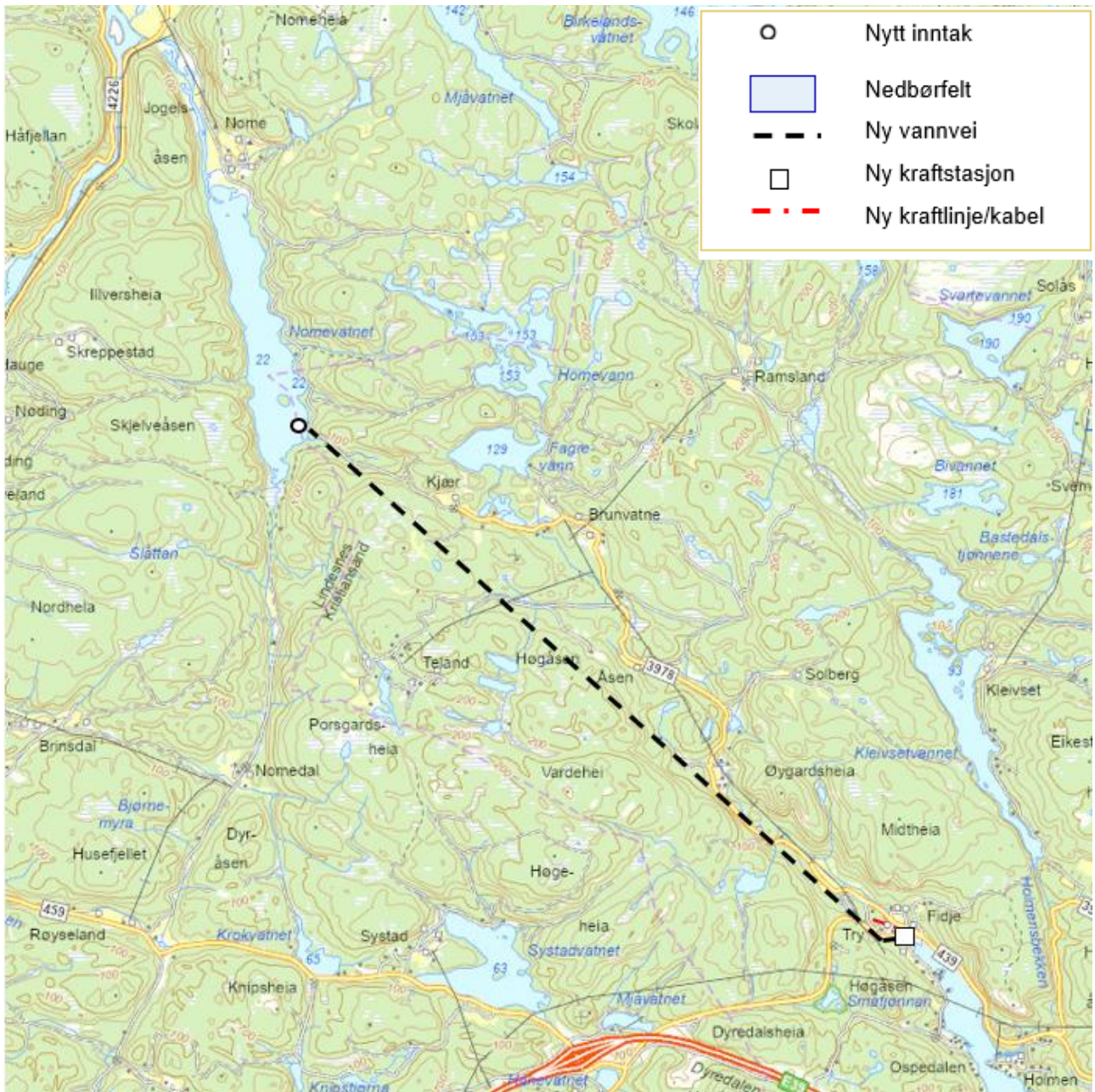
Formelle tillatelser

I tillegg til konsesjonssøknad vil det være nødvendig med:

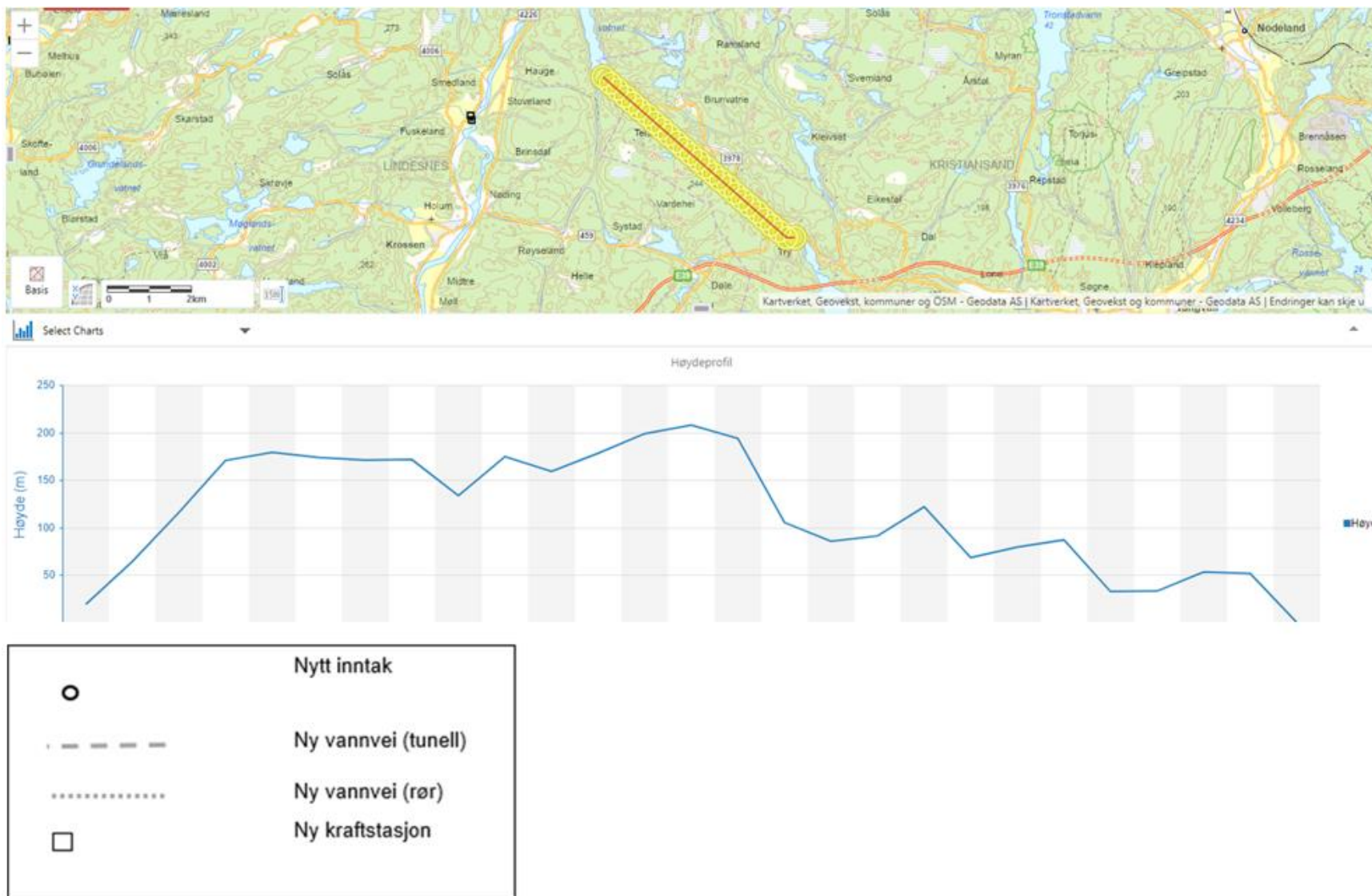
- Søknad om unntak fra kommuneplanen, LNF-område
- Detaljplan for landskap og miljø, NVE
- Teknisk plan, NVE
- Søknad om utslippstillatelse for tunelldrif
- Kontrollplan til NVE

Tabell 18. Kostnader og prosjektoversikt Nomevatn kraftverk.

Prosjekt:	Try kraftverk			
Vassdrag:	Mandalselva			
Kommune / fylke:	Lindesnes og Kristiansand / Agder			
Kort beskrivelse av prosjektet:				
Try kraftverk vil utnytte deler av tilsiget til Mandalselva i fallet mellom Nomevatnet og Trysfjorden. Vannveien vil bestå av 6000 m konvensjonell tunell med tverrsnitt på 80 m ² og 100 meter rør i tunell. Tunellen drives fra Trysfjorden og fra Nomevatnet. Kraftstasjonen vil ligge i dagen nede ved Trysfjorden. Det vil installeres 1 vertikalt oppstilt kaplanturbin.				
Produksjon:	Tilløp (hele Mandalselva)		Kraftverket	
	GWh		GWh	
	135		52	
Kostnader	Dam og inntak	17	m ill NOK	
	Vannvei	230	m ill NOK	
	Stasjonsbygg	28	m ill NOK	
	Maskin	61	m ill NOK	
	Elektro	50	m ill NOK	
	Pristigning	0	m ill NOK	
	Uforutsett	93	m ill NOK	
	Administrasjon/planlegging	35	m ill NOK	
	Sum utbyggingskostnader	479	m ill NOK	
Utbyggingspris:		9,3	NOK/kWh	
Nedbørfelt/Avløp	Areal	spes. avrenning	Avrenning	Årsavrenning
	km ²	l/s/km ²	m ³ /s	m ill m ³
	1748	47	82,2	2593
Magasin	Areal	HRV	LRV	Volum
	km ²	m.o.h.	m.o.h.	m ill m ³
	0,6	22	20	1
Stasjonsdata:	Fallhøyde	Energiekvivalent	Slukeevne	Effekt
	m	kWh/m ³	m ³ /s	MW
	21	0,05	50	9,6
Fysiske miljøkonsekvenser	Restvannføring	Reguleringshøyde	Vegbygging	Kraftlinjebygging
	%	m	km	km
	62	2	0,0	0,3
Grunnlag (kart, VM, m.m.)				
NVE-atlas, NVE kostnadsgrunnlag, Nevina, vannmerket 22.4 Kjølømo.				
Kommentarer				
Kraftverket er et tiltak for å redusere flom i Mandalselva. Ved stor flom vil hele trykket fra Nomevatnet gå med til å få flom vannføring (400 m ³ /s) ut i Trysfjorden. Ved mindre flom mer kan kraftverket kjøres samtidig som det slippes vann i Trysfjorden. Det er lagt til grunn 30 m ³ /s minstevannføring i Mandalselva. I tillegg trenger kraftverket anslagsvis 10 m ³ /s vannføring for å kjøre og det er derfor forutsatt startet når vannføringen i elva er over 40 m ³ /s. Installasjonen er lagt under 10 MW som er grensa for grunnrenteskatt.				



Figur 29. Kartskisse Nomevatn kraftverk.



Figur 30. Lengdeprofil.