

Hydraulisk modellering av Etna

Grunnlag for restaurering av avsnørte flomløp og meandere



Revisjonshistorikk

Rev:	Dato:	Beskrivelse av endringen	Utarbeidet av	Kontrollert av
01	25.10.2022	Første versjon	Nadeem Ahmad Lars Skeie Kristine L. Bjørnås	Nadeem Ahmad Lars Skeie Kristine L. Bjørnås

Sweco Norge AS

Prosjekt:

Prosjektnummer:

Kunde:

Dato:

Opprettet av:

Dokumentreferanse

Organisasjonsnr. 967032271

Etna - hydraulisk modellering for restaurering

10230612

Dokkadeltaet Nasjonale

Våtmarkssenter AS

21.10.2022

Kristine Lund Bjørnås

\\notrdfs001\opppdrag\32513\10230612_etna_flytting_flomvoll\000\10 dokumenter\02 rapporter\10230612-hyd-01-rapport-etna-restaurering.docx

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	7
2	Befaring og innmålinger	8
2.1	Vannføringsmåling	8
2.2	Vannlinjer	9
2.2.1	Innsamlet data	9
2.2.2	Estimering av samtidig vannføring som målte vannlinjer	9
2.2.3	Resultater	10
2.2.4	Vannlinje til kalibrering av modell	11
2.3	Batymetri/bunntopografi	12
2.3.1	Innsamlet data	13
2.3.2	Bearbeiding av data	14
2.3.3	Resultater	14
2.4	Flommerke for delområde-1	16
2.5	Flommerker for delområde-2	16
2.6	Dronebilder	17
3	Flomberegninger	20
3.1	Metode	20
3.2	Klimapåslag	20
3.3	Klassifisering av flomberegningen	20
3.4	Oppsummering	20
4	Metode for vannlinjeberegning	21
4.1	Hydraulisk modell	21
4.2	Terrengmodell	21
4.3	Gridstørrelse og bruddlinjer	21
4.4	Grensebetingelser og vannføring	22
5	Kalibrering av hydraulisk modell	23
5.1	Kalibreringsdata	23
5.2	Hydrauliske beregninger	23
5.3	Verifikasjon av hydraulisk modell	27
5.4	Begrensninger	28
5.5	Usikkerhet	28
5.6	Oppsummering	28
6	Vannlinjeberegning - dagens situasjon	29
6.1	Delområde-1	29
6.1.1	Flomsone for middelflom	29
6.1.2	Flomsone for 200-årsflom	29
6.2	Delområde-2	30
6.2.1	Flomsone for middelflom	30
6.2.2	Flomsone for 200-årsflom	31
6.2.3	Vurdering av terskel ved motorcrossbanen	31
7	Vannlinjeberegning - med tiltak	33
7.1	Beskrivelse av restaureringstiltak	33
7.1.1	Delområde-1	34
7.1.2	Delområde-2	37

7.2	Resultater for delområde-1	42
7.2.1	Flomsone for middelflom	42
7.2.2	Flomsone for 5-årsflom	43
7.3	Resultater for delområde-2	43
7.3.1	Flomsone for middelflom	43
7.3.2	Flomsone for 5-årsflom	44
8	Konklusjon	45
9	Videre anbefalinger	46
10	Referanser	47
11	Vedlegg	48

Sammendrag

Elva Etna er sterkt påvirket av menneskelig aktivitet, blant annet kanalisering og forbygninger over lengre strekninger. Dokkadeltaet Nasjonale Våtmarkssenter (DNV) har laget en tiltaksplan for å bedre miljøtilstanden i Etnavassdraget, inkl. kantsoner og gamle elveelementer. Tiltakene omfatter blant annet flytting og åpning av flomvoller for å forbedre vanntilførselen til gamle meandere og flomløp.

Sweco hydrologi har undersøkt om flytting og åpning av flomvoller vil ha ønsket effekt. Flytting og åpning av flomverk forventes å ha effekt på flomsituasjonen, så det har også vært nødvendig å vurdere konsekvensen av tiltakene på flomsituasjonen.

Det er gjort innmålinger og hydraulisk modellering av elva fra Lunde bru til Høljerast (delområde-1, Etnedal kommune) og fra samløp med Leppa til samløp med Dokka (delområde-2, Nordre Land kommune), og kjørt simuleringer med 200-årsflom, 5-årsflom og middelflom i vassdraget. Tiltakene som beskrevet i tiltaksplanen er lagt inn i en terrengmodell og kjørt med 5-årsflom og middelflom for begge delområdene. For sammenligning av flomsituasjonen ved en 5-årsflom med og uten tiltak er det også gjort kjøring for dagens situasjon på de to delområdene (Tabell 0).

Tabell 0. Oppsummering av modellkjøringene.

#	Strekning	Vannføring	m ³ /s	Terreng
1	Delområde-1	Middelflom (Q _M)	160	Dagens sitasjon
2	Delområde-1	200-årsflom (Q ₂₀₀)	380	Dagens situasjon
3	Delområde-2	Middelflom (Q _M)	195	Dagens sitasjon
4	Delområde-2	200-årsflom (Q ₂₀₀)	465	Dagens situasjon
5	Delområde-1	Middelflom (Q _M)	160	Med restaureringstiltak
6	Delområde-1	5-årsflom (Q ₅)	200	Med restaureringstiltak
7	Delområde-2	Middelflom (Q _M)	195	Med restaureringstiltak
8	Delområde-2	5-årsflom (Q ₅)	245	Med restaureringstiltak

Gjenåpning av meandere og flomløp gjennom flytting eller fjerning av flomvoller vurderes å ha minimal betydning for flomsituasjonen ved en 200-årsflom i Etna. Eksisterende flomvoller vil i liten grad kunne beskytte bebyggelse og veger mot en 200-årsflom da de i stor grad vil bli oversvømt. Det vil derfor ikke utgjøre en forskjell om enkelte av flomvollene er gjenåpnet.

Det er marginale forskjeller mellom flomsituasjonen ved middelflom før og etter restaureringstiltak. Simuleringer viser at det vil bli oversvømming av store deler av flomsletta allerede ved middelflom i vassdraget med terrenget som tilsvarer dagens situasjon. Det vurderes derfor at moderate åpninger i flomvollene ikke vil forverre flomsituasjonen i Etna sammenlignet med dagens situasjon.

Interessant nok vil de fleste flomløpene og meanderne være aktivert *uten tiltak* selv ved middelflom. Dette viser at middelflom og femårsflom ikke er hensiktsmessige vannføringer å undersøke gjennomførbarheten på eller dimensjonere tiltakene etter.

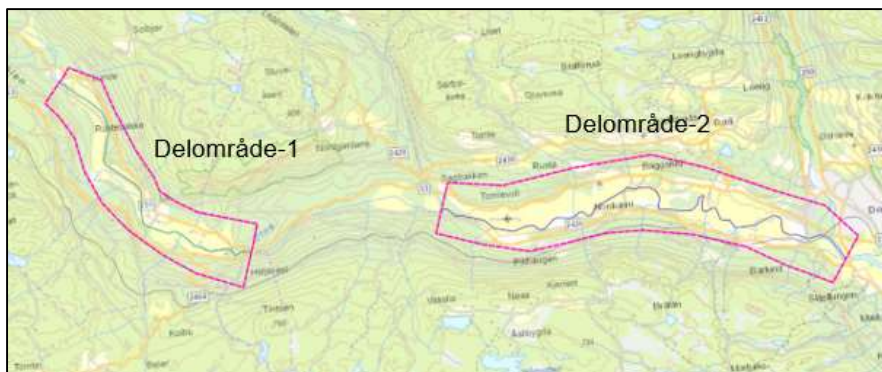
1 Innledning

Etna som går gjennom Etnedal og Nordre Land kommuner er sterkt påvirket av menneskelig aktivitet. Gjennom tidene har elva blitt kanalisert og forbygd over lengre strekninger for å forbedre forholdene for fløting, redusere flompåvirkninger i landbruket og for å vinne jordbruksland. Dette har resultert i en kanalisert elv med lite kontakt mellom elveløp og flomslette, og lite rom for den naturlige elvedynamikken som vassdragsnaturen er tilpasset. Elvemeandere og flomløp har dermed over tid blitt helt eller delvis avsnørt fra elveløpet, og vassdragets miljøkvalitet har blitt redusert.

Dokkadeltaet Nasjonale Våtmarkssenter (DNV) har på oppdrag fra Miljødirektoratet laget en tiltaksplan for Etnavassdraget (Elvigen, 2018). I planen foreslås en rekke tiltak for å bedre miljøtilstanden i elva på strekningen mellom Lundebro og samløpet med Dokka. Enkelte av tiltakene går ut på å flytte, fjerne eller helt eller delvis åpne opp eksisterende flomvoller for å reetablere gjennomstrømming i gamle meandere og flomløp.

Sweco hydrologi har undersøkt om flytting og åpning av flomvoller vil føre til vanngjennomstrømming i gamle meandere og flomløp. Det er derfor modellert to strekninger av Etna for dagens situasjon og for en situasjon med restaureringstiltak. De to strekningene er 1) Lundebrofossen til Høljerast og 2) samløpet med Leppa til samløpet med Dokka. De refereres heretter til som respektive delområde-1 og delområde-2 (Figur 1-1).

Hydraulisk modellering er utført for middelflom, 5-årsflom og 200-årsflom. Middelflom og 5-årsflom gir oversikt over flomsituasjonen i området under normale flomforhold, mens 200-årsflom representerer hydrauliske forhold under en storflom. Byggverk i TEK17s Sikkerhetsklasse F2 – byggverk for personopphold – skal beskyttes mot flom med gjentakintervall på 200 år (<https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/7-2/>). Det er derfor forutsatt at restaureringstiltak ikke får øke risikoen for skade på eksisterende byggverk ved 200-årsflom.



Figur 1-1. Oversikt over modellområdene delområde-1 og delområde-2.

Elveløpet i delområde-1 har gjennomgått omfattende endringer som følge av kanalisering, forbygning og senkning. Elveløpet i øverste del av delområde-2, fra samløp med Leppa til Øyom har også blitt vesentlig endret, men i noe mindre grad enn delområde-1. Nedre del av delområde-2, fra Øyom til samløp med Dokka, er mindre endret og har beholdt sin meanderende karakter med kroksjøer og dammer.

Historiske tiltak på de to delområdene og hydromorfologiske endringer som følge av dem er allerede utførlig beskrevet i rapporten Hydromorfologisk utredning av restaureringstiltak i Etnavassdraget (Zinke, 2021). De omtales derfor ikke videre i denne rapporten.

2 Befaring og innmålinger

Befaring og innmåling av de to delområdene ble utført i uke 24, 2022. Deltagende var Lars Skeie, Kristine Lund Bjørnås og Markus Først. Lea Hoch og Geir Høitomt (begge fra DNV) var med på befaringen mandag 13. juni.

Det ble utført innmålinger med RTK-GPS, ADCP og drone. I tillegg ble det tatt georefererte bilder og feltnotater i Field Maps.

Historisk vannstand, basert på bilder og vitnebeskrivelser fra to ulike flommer ble innmålt med RTK-GPS. Noen punkter av terreng (på land) og av bunntopografi i sidebekker, flomløp og dammer i ble tatt med RTK-GPS for å kontrollere høyder i terrengmodellen. Posisjonen til brusøyler og landkar for de største bruene ble også innhentet. Vannstand ble målt i elvekanten for hver 20- 500 m langs hele elvestrekningen i delområde 1 og 2 parallelt med innmåling av bunntopografi med ADCP.

2.1 Vannføringsmåling

Det ble gjort en vannføringsmåling i Etna ved gangbruen ved Dokka/**motorsenteret**. Formålet med målingen var å sammenligne målt vannføring ved målestasjon 12.70.0 Etna, samt å vurdere skaleringsfaktor for å estimere vannføringer fra målestasjonen til ulike steder i Etna. Det ble benyttet ADCP (Sontek M9) festet på en båt (trimaran) som ble trukket med tau langs bruene, på tvers av elva, se Figur 2-1. Programvaren for å samle inn data er Sontek RiverSurveyor.



Figur 2-1. Bilde fra gangbrua og trimaranen som ble benyttet for å trekke ADCP over elva.

Måling fra gangbrua viste seg å være utfordrende da det var stålwire som var spent opp på skrått fra land, som gjorde det krevende å dra måleutstyret i en rett linje (som er ønskelig for gode målinger). I tillegg var det veldig rolige strømningsforhold som gjorde at båten ikke lå i strømmen hele tiden, men bevegde seg fram- og bakover.

Det ble gjort åtte målinger og gjort et utvalg av de beste målingene. Gjennomsnittlig vannføring målt var 13,0 m³/s. Kvaliteten på vannføringsmålingen anses som dårlig og har stor usikkerhet. Datarapport av målingene er vist i Vedlegg 9.

Ved målestasjon 12.70.0 Etna kl. 21:00 16.06.2022 ble det målt en vannføring på 7,6 m³/s. Forholdstallet mellom målt vannføring ved gangbru og ved målestasjonen til Etna er 1,7. Ved arealskalering mellom gangbru og målestasjonen til Etna er forholdstallet 1,63. Det betyr at en skalering basert på forholdstall for målte verdier vil gi ca. 5 % høyere vannføringsverdier enn hvis skalering er basert på areal.

Siden det er lite avvik mellom forholdstallene og vannføringsmålingen var usikker, så er det valgt å benytte arealskalering av vannføringer videre.

2.2 Vannlinjer

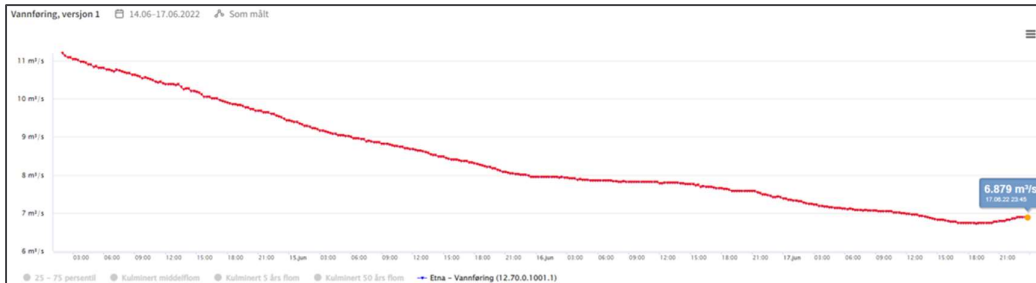
Det ble målt opp vannlinje hver dag for samme strekninger hvor det ble gjort oppmåling av bunnivå i elva. Formålet med å måle opp vannlinje er for å konvertere målte vanndybde gjort med ADCP til en stedlig høyde i høydesystem NN2000. Vannlinjene ble også benyttet til å kontrollere/kalibrere den hydrauliske modellen. Det er derfor gjort en vurdering av samtidig vannføring i elva som oppmålingene av vannlinje ble gjennomført.

2.2.1 Innsamlet data

Det ble gjort innmåling av vannlinje med RTK-GPS langs delområde-1 og delområde-2.

2.2.2 Estimering av samtidig vannføring som målte vannlinjer

Det ble ikke gjort vannføringsmåling i elva samtidig som vannlinjene og bunndybde ble målt, så det er gjort en arealskalering av målt vannføring ved målestasjon 12.70.0 Etna som ligger oppstrøms. Målt vannføring ved målestasjon 12.70.0 Etna for oppmålingsperioden er vist i Figur 2-2 og varierer mellom 11 og 7 m³/s.



Figur 2-2. Målt vannføring ved målestasjon 12.70.0 Etna for oppmålingsperioden 14.–17.06.2022.

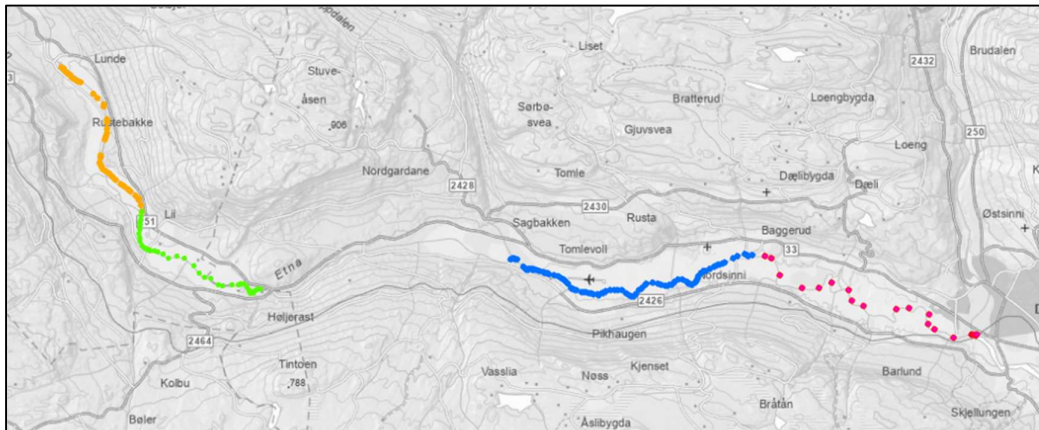
For å estimere vannføring samtidig som vannlinjene ble det først beregnet en gjennomsnittlig vannføring i perioden vannlinjene ble oppmålt, som videre ble arealskalert til stedet det ble sluttet å måle samme dag. Estimerte vannføringer per dag og vannlinje er vist i Tabell 2-1.

Tabell 2-1. Gjennomsnittlige vannføringer målt ved målestasjon 12.70.0 Etna i perioden for oppmåling av vannlinje og justerte vannføringer per oppmålingsdag basert på arealskalering. Areal ved målestasjon 12.70.0 Etna er 569 km².

Dato	Vannføring (gjennomsnitt) målt ved 12.70.0 Etna (m³/s)	Klokkeslett målt vannlinje og batymetri	Sluttsted for målt strekning	Areal (km²)	Skalerings- faktor	Vannføring arealskalert (m³/s)
14.06.2022	9,9	9:00-15:00	Langøye	731	1,28	12,7
15.06.2022	8,6	8:30-16:00	Bru Høljerast	760	1,34	11,5
16.06.2022	8,5	9:30-19:30	Øyom bru	908	1,60	13,6
17.06.2022	7,0	9:30-14:00	Gangbru ved motorsport	927	1,63	11,4

2.2.3 Resultater

Vannlinjene som ble målt opp er vist for både delområde-1 og delområde-2 i Figur 2-3. Vannlinjene er delt opp med forskjellige farger per dag det ble målt.



Figur 2-3. Målte vannlinjer sortert per dag oppmålt. Oransje 14.06.2022 (12,7 m³/s), grønn 15.06.2022 (11,5 m³/s), blå 16.06.2022 (13,6 m³/s) og rosa 17.06.2022 (11,4 m³/s).

2.2.4 Vannlinje til kalibrering av modell

For kalibrering/kontroll av modell for lav vannføring ble valgt ut en strekning mellom Bakken og Øyom, se Figur 2-4. Vannlinjene ble målt inn 16.06.2022 og estimert samtidig vannføring er 13,6 m³/s.



Figur 2-4. Vannlinjemålinger benyttet for kalibrering av modell ved 13,6 m³/s, for en kort strekning mellom Bakken og Øyom.

2.3 Batymetri/bunntopografi

Det ble målt inn vanndybder ved bruk av ADCP (Sontek M9) som er festet på en fjernstyrt båt eller kajakk, se Figur 2-5. Programvaren for å samle inn data er Sontek HydroSurveyor. Formålet med innmålingene var å få bedre kunnskap om batymetrien/bunntopografien til elva for videre bruk i den hydrauliske modellen.



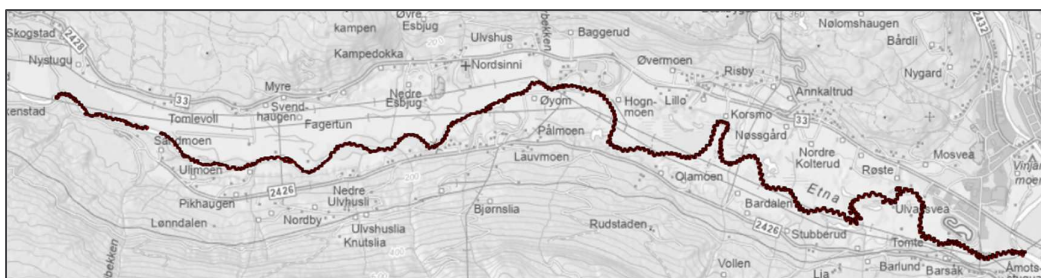
Figur 2-5. Kajakk som ble benyttet til å feste ADCP for bunnkartlegging/måling av vanndybder.

2.3.1 Innsamlet data

Figur 2-6 og Figur 2-7 viser områder hvor det ble målt vanndybder i elva for delområde-1 og delområde-2.



Figur 2-6. Punkter hvor det ble målt dybder i elva med ADCP for delområde-1.



Figur 2-7. Punkter hvor det ble målt dybder i elva med ADCP for delområde-2.

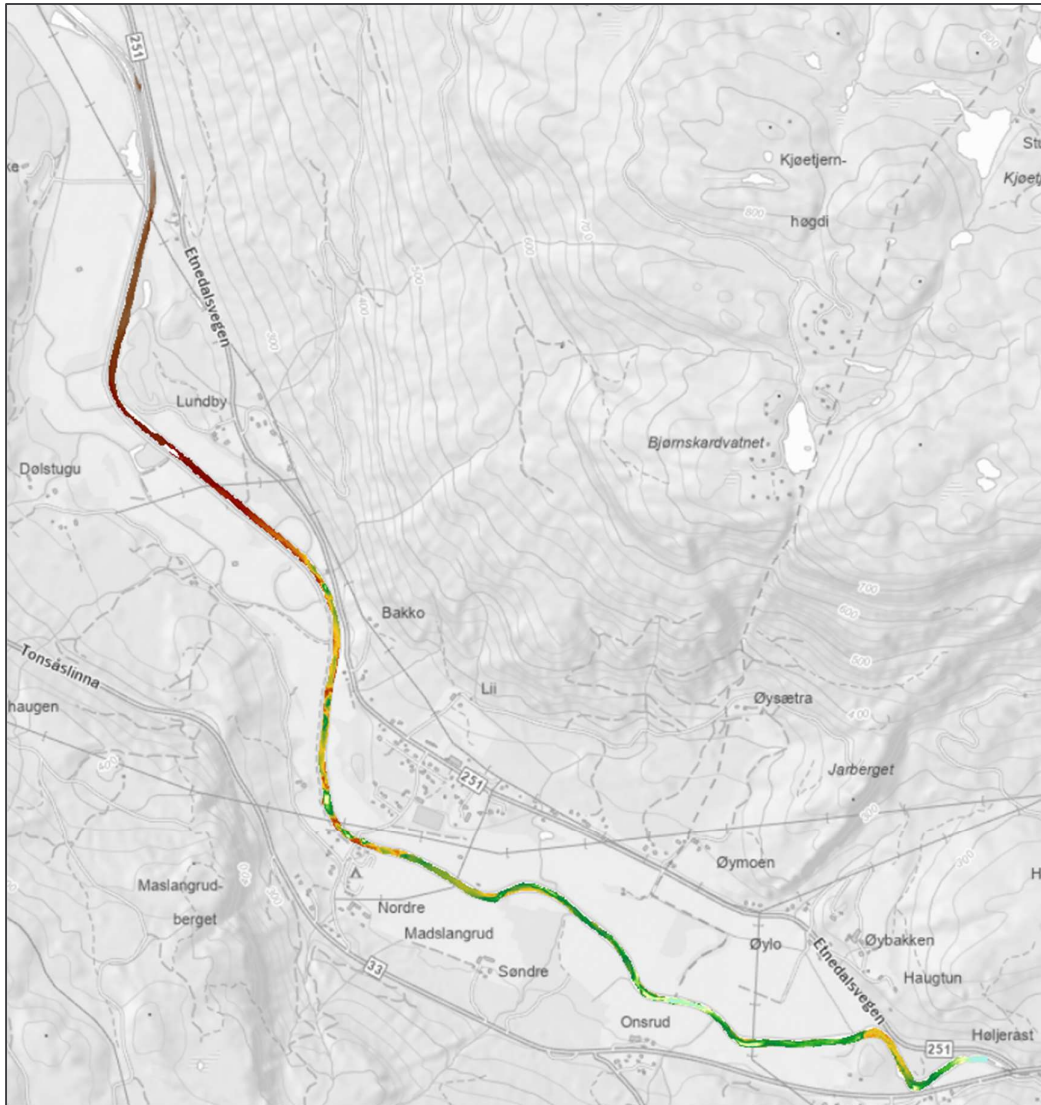
2.3.2 Bearbeiding av data

Innmålte punkter gir vanndybde fra vannoverflaten. For å få en terrengmodell eller batymetrimodell må dybdene refereres til en vannoverflate. Vannoverflate ble generert som en høydemodell basert på oppmålte vannlinjer for samme strekninger som det ble gjort bunnmålinger med ADCP. Videre har målte vanndybder blitt koblet mot høyde fra vannoverflatemodellen på samme punkt og det har blitt beregnet en stedlig høyde for bunnivå i elva i høydesystem NN2000.

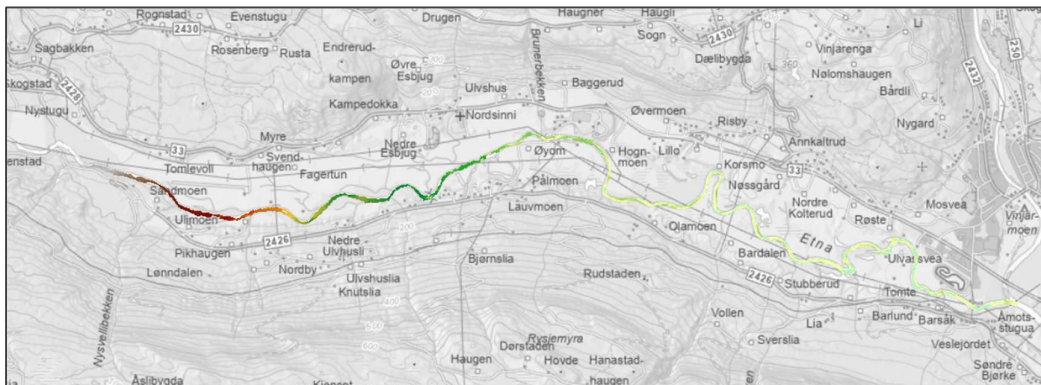
Videre ble det interpolert en overflate ved hjelp av triangulering for å lage en terrengmodell som viser batymetri/bunntopografi. Terrengmodellen for batymetri ble videre benyttet sammen med terrengmodell fra Høydedata for å lage en sømløs terrengmodell av elva og sideterreng.

2.3.3 Resultater

I Figur 2-8 og Figur 2-9 er de oppmålte og bearbeidede batymetriene/bunntopografiene for delområde-1 og delområde-2 vist. Disse ble videre benyttet sammen med terrengdata fra høydedata for å genere en terrengmodell til den hydrauliske modelleringen.



Figur 2-8. Oppmålt batymetri for delområde-1 bearbeidet.



Figur 2-9. Oppmålt batymetri for delområde-2 bearbeidet.

2.4 Flommerke for delområde-1

Etna familiecamping ligger like ved Etna, omtrent midt i delområde-1. Bestyreren på campingen beskrev en storflom i 2013 hvor vannet gikk opp til trappen i Figur 2-10, tilsvarende 233,6 moh. (oppmålt med RTK-GPS).

Den beskrevne flomsituasjonen var etter alt å dømme storflommen 22. mai 2013 hvor vannføringen på målestasjon Etna var oppe i 225 m³/s (NVE Sildre). Ved å skalere flommen ved bruk av nedbørfeltareal fra Etna målestasjon til Etna familiecamping er det beregnet en vannføring på ca. 286 m³/s.

På grunn av usikkerheter rundt det ene punktet og påvirkning fra en flomstor sidebekk ved campingen under 2013-flommen ble ikke dette flommerket brukt til kalibrering av den hydrauliske modellen.

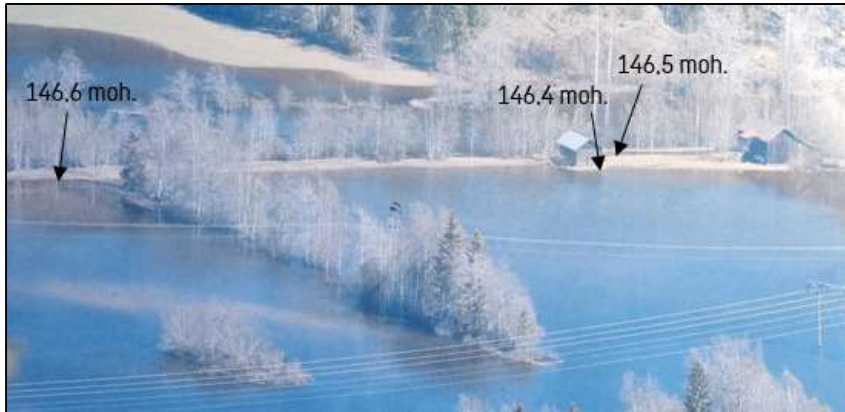


Figur 2-10. Innmålt høyde i trapp tilsvarer vannstand ved Etna familiecamping under flommen 22. mai 2013.

2.5 Flommerker for delområde-2

Den 9. mai 2018 var store deler av Øyom i delområde-2 oversvømt av det som ble betegnet som en «stor årsflom». Geir Høitomt (DNV) tok bilder over området på formiddagen rundt kl. 10:30. To løer og en skogsstripe ble brukt som kjennemerker for å måle inn terrenghøyde omtrent der vannet stod (Figur 2-11). Vannet stod opp til 146,4–146,6 moh. på formiddagen den 9. mai 2018.

Til sammenligning ble det den dagen målt over 120 m³/s i vannføring på målestasjonen Etna som ligger oppstrøms studieområdet (NVE Sildre). Ved å skalere flommen ved bruk av nedbørfeltareal fra Etna målestasjon til Øyom bru er det beregnet en vannføring på ca. 195 m³/s. Denne flomverdien, innmålte flommerker og de øvrige fotografiene av vannlinje ble brukt til kalibrering av den hydrauliske modellen (kapittel 5).



Figur 2-11. Innmålte terrenghøyder tilsvarer omtrent vannstand under flommen på Øyom 9. mai 2018. Løene og skogsstripa ble brukt for å finne igjen omtrent hvor vannet stod. Foto: Geir Høitomt.

2.6 Dronebilder

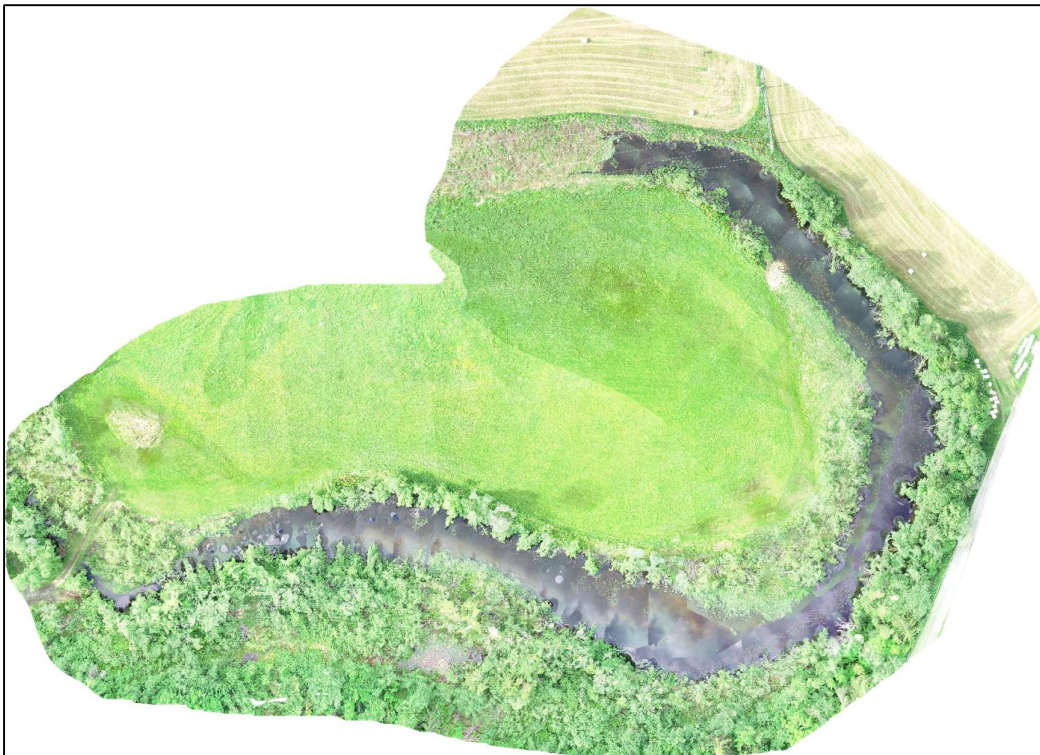
Det ble tatt noen ortofoto ved bruk av drone. Formålet med ortofotoene var å supplere terrengdata og bedre oversikt over områdene hvor det er tenkt tiltak med flytting av flomvoller. Figur 2-12 viser Etna ved Groin, Lundbyhagen og Røstenge, Figur 2-13 viser ortofoto nedstrøms samløp Etna og Leppa og Figur 2-14 viser en av kroksjøene vest for Øyom.



Figur 2-12. Ortofoto av Etna ved Groin, Lundbyhagen og Røstenge i delområde-1.



Figur 2-13. Ortofoto nedstrøms samløp Etna og Leppa i delområde-2.



Figur 2-14. Ortofoto av kroksjø vest for Øyom.

3 Flomberegninger

3.1 Metode

Det er beregnet middelflom, 5-årsflom og 200-årsflom for delområde-1 og delområde-2. NVE har tidligere utført flomberegning for Etna ved samløpet med Dokka (Petterson, 2017). Denne flomberegningen blir lagt til grunn for delområde-2. Beregnede flomstørrelser i delområde-1 er nedskalert fra flomberegning for Etna ved samløpet med Dokka basert på forholdet mellom nedbørfeltareal. Sweco har kontrollert klimapåslag.

3.2 Klimapåslag

Klimaendringer kan påvirke fremtidens flomverdier (NVE, 2016). Derfor anbefales klimapåslag på beregnede kulminasjonsflomverdier for å ta hensyn til forventede økninger i flomstørrelsene. I Norsk klimaservicesenters klimaprofil for Etnavassdraget (2021) anbefales et klimapåslag på flomverdier på 0 %. Derfor er ingen klimafaktor benyttet til flomverdi brukt til vannlinjeberegninger.

3.3 Klassifisering av flomberegningen

Veileder for flomberegninger (Glad, et al., 2022) anbefaler at det hydrologiske datagrunnlagets kvalitet vurderes for å si noe om usikkerhetene i flomberegningene.

Datagrunnlaget i NVEs flomberegning (Petterson, 2017) baserer seg på vurdering av vannføringsserie fra målestasjon i regionen/nærliggende felt med representative feltegenskaper med lang måleserie. Flomberegningene vurderes til å være i klasse 2, «Brukbar hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i eller nært vassdraget».

3.4 Oppsummering

Tabell 3-1 viser hydrologiske beregninger for middel, 5-årsflom og 200-årsflom ved Etna. NVE beregnet middelflom på 195 m³/s, 5-årsflom på 245 m³/s, og 200-årsflom på 465 m³/s for delområdet-2 som Etna til samløp Dokka (Petterson, 2017).

Sweco har beregnet skalert middelflom på 160 m³/s, 5-årsflom på 200 m³/s, og 200-årsflom på 380 m³/s for delområde-1 som vannføring fra Lunde bru til Høljerast.

Tabell 3-1. Kulminasjon flomverdier for delområde-1 og delområde-2

Felt	Areal	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₁₀₀₀
	Km ²	m ³ /s							
Etna til samløp Dokka	929	195	245	290	330	385	425	465	560
Skalerte verdier									
Delområde-1	760	160	200	237	270	315	348	380	458
Delområde-2	929	195	245	290	330	385	425	465	560

4 Metode for vannlinjeberegning

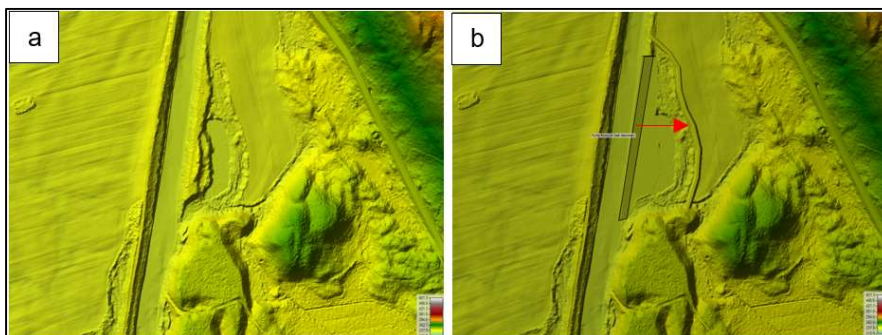
4.1 Hydraulisk modell

For å gjøre de hydrauliske beregningene ble HEC-RAS-2D 5.0.7 benyttet (U.S Army Corps of Engineers, 2022). Det ble gjort 2D-beregning i HEC-RAS som benytter «Full-momentum equations». Beregningen håndterer både over- og underkritisk strømming over tørt og vått terreng. Inngangsdata til HEC-RAS-2D er terrengmodell, ruhet (Manningskoeffisient) og grensebetingelser.

4.2 Terrengmodell

Terrengmodellen er basert på bunnoppmåling av elveløpet fra Sweco (2022) og laserdata for området utenfor elveløpet. Laserdata referer til høydemåling prosjekt/datasett: NDH Valdres 5pkt (2017) og Gjøvik 5pkt (2013) med oppløsning 0,25 m (www.hoydedata.no) i koordinatsystem Euref89 UTM32. Alle høyder er angitt i NN2000.

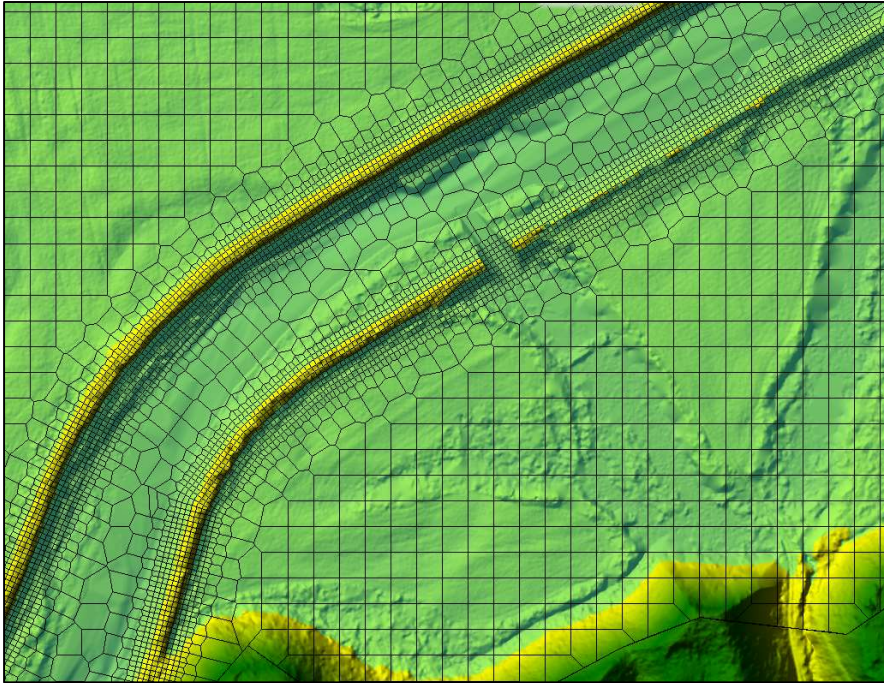
Formålet med oppdraget er å modellere to strekninger av Etna for dagens situasjon og for restaureringstiltak. «Dagens situasjon» referer til dagens terreng hvor det ikke er noen modifikasjon i terreng. Terreng «med tiltak» referer til modifisert terreng for dagens situasjon, der blant annet flytting av flomvoller og gjenåpning av gamle meandere er inkorporert (Figur 4-1). Terrengendringer i scenario med tiltak er beskrevet i kapittel 7.1.



Figur 4-1. Eksempel på terrengmodell. (a) Dagens situasjon, (b) Terreng med tiltak, her: å flytte flomvoll bak dammen.

4.3 Gridstørrelse og bruddlinjer

Figur 4-2 viser gridstørrelse for modellområdet («Flow area») i HERCRAS-2D. Normal gridstørrelse er på 8 m. Beregningsnettet er modifisert ved å legge til såkalte bruddlinjer slik at celledisider på 2 m innrettes langs disse. Bruddlinjene gjør at viktige terrengdetaljer som kan påvirke avrenningsmønsteret blir tatt hensyn til.



Figur 4-2. Utsnitt av beregningsnett brukt i HECRAS-2D.

4.4 Grensebetingelser og vannføring

Vannføring er brukt som grensebetingelse på oppstrøms ende av de to delområdene i modellen. For delområde-2 er vannføring i Dokka også benyttet som en grensebetingelse. Tabell 4-1 viser benyttede flomverdier ved de ulike flomscenarioene på de to delområdene. Det er antatt normalstrømning i elveløpet som nedstrøms grensebetingelse.

Tabell 4-1. Flomverdier benyttet i modellkjøringene. Flomverdier ved Dokka til sammenligning.

Flomverdi (m ³ /s)	Delområde-1	Delområde-2	Dokka*
Q _M	160	195	130
Q ₅	200	245	185
Q ₂₀₀	380	465	480

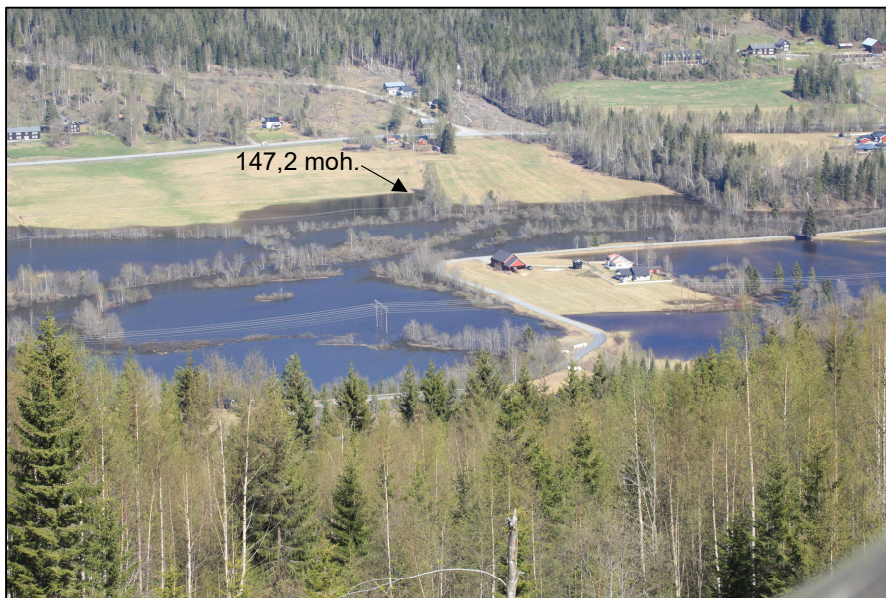
*Flomverdi fra NVE (2017).

5 Kalibrering av hydraulisk modell

5.1 Kalibreringsdata

Ved hydraulisk modellering må man kalibrere modellen med observerte verdier for vannstand ved en tilhørende vannføring. Man kalibrerer så modellen ved å endre friksjonstallet (Mannings ruhetsverdi) slik at man oppnår observert vannstand og antar at det gir et riktig friksjonstall for modellen.

Friksjonstall er kalibrert ut fra observert vannlinje og skalert vannføring fra den 9. mai 2018 (se kapittel 2.5). Ved å skalere flommen ved bruk av nedbørfeltareal fra Etna målestasjon til Øyom bru er det beregnet en vannføring på ca. 195 m³/s. Vannstanden ved venstre side av elva ble observert til det som tilsvarer 147,2 moh. i terrengmodellen fra laserdata (Figur 5-1).



Figur 5-1. Innmålte terrenghøyder tilsvarer omtrent vannstand under flommen på Øyom 9. mai 2018.

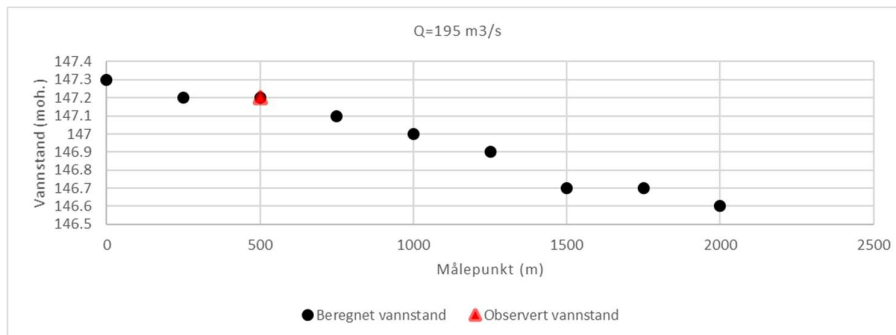
5.2 Hydrauliske beregninger

For kalibrering av hydraulisk modell er HECRAS-2D modellen for delområde-2 benyttet. Flere iterasjoner med ulike gridstørrelser og tidsskritt ble kjørt for å oppnå stabile resultater. Modellen er kalibrert ved å endre ruheten slik at det blir tilstrekkelig samsvar mellom beregnet vannstand og observert vannstand ved Øyom ved vannføring 195 m³/s.

Tabell 5-1 og Figur 5-2 viser observert og beregnet vannstand. Resultatene viser at det med Manningstall n lik 0,03 i elveløpet og 0,065 utenfor elva gir god overensstemmelse mellom beregninger og observasjon.

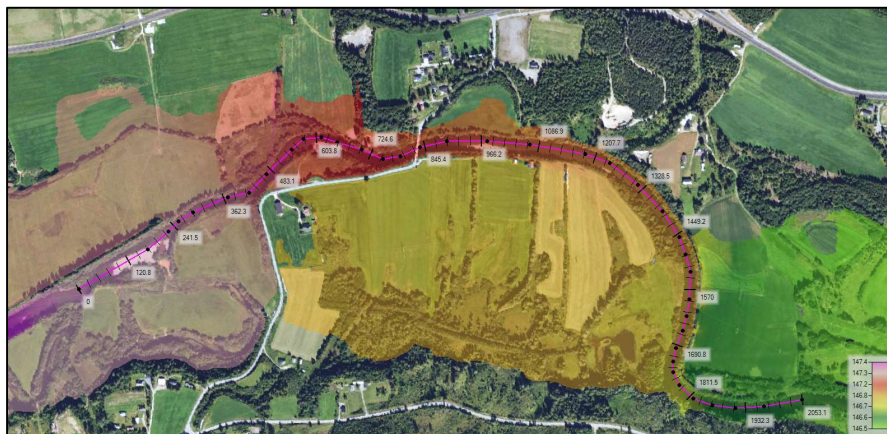
Tabell 5-1. Sammenligning av observert og beregnede vannstander ved vannføring $Q = 195 \text{ m}^3/\text{s}$. Alle høyder er i NN2000. Se Figur 5-3 for plassering målepunkter.

Målepunkt (m)	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Beregnet vannstand	147.3	147.2	147.2	147.1	147	146.9	146.7	146.7	146.6
Observert vannstand	147.2								
Avvik (m)	0								



Figur 5-2. Sammenligning av beregnet og observert vannstand ved vannføring $Q = 195 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figur 5-3 viser beregnet vannlinje med vannstand og plassering av målepunkter til kalibrering.



Figur 5-3. Beregnet vannlinje med målepunkter for $Q = 195 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figur 5-4 og Figur 5-5 viser sammenligning mellom observert og beregnet vannlinje. Resultater av vannlinje viser en god overensstemmelse mellom observasjonene og beregnet vannlinje.



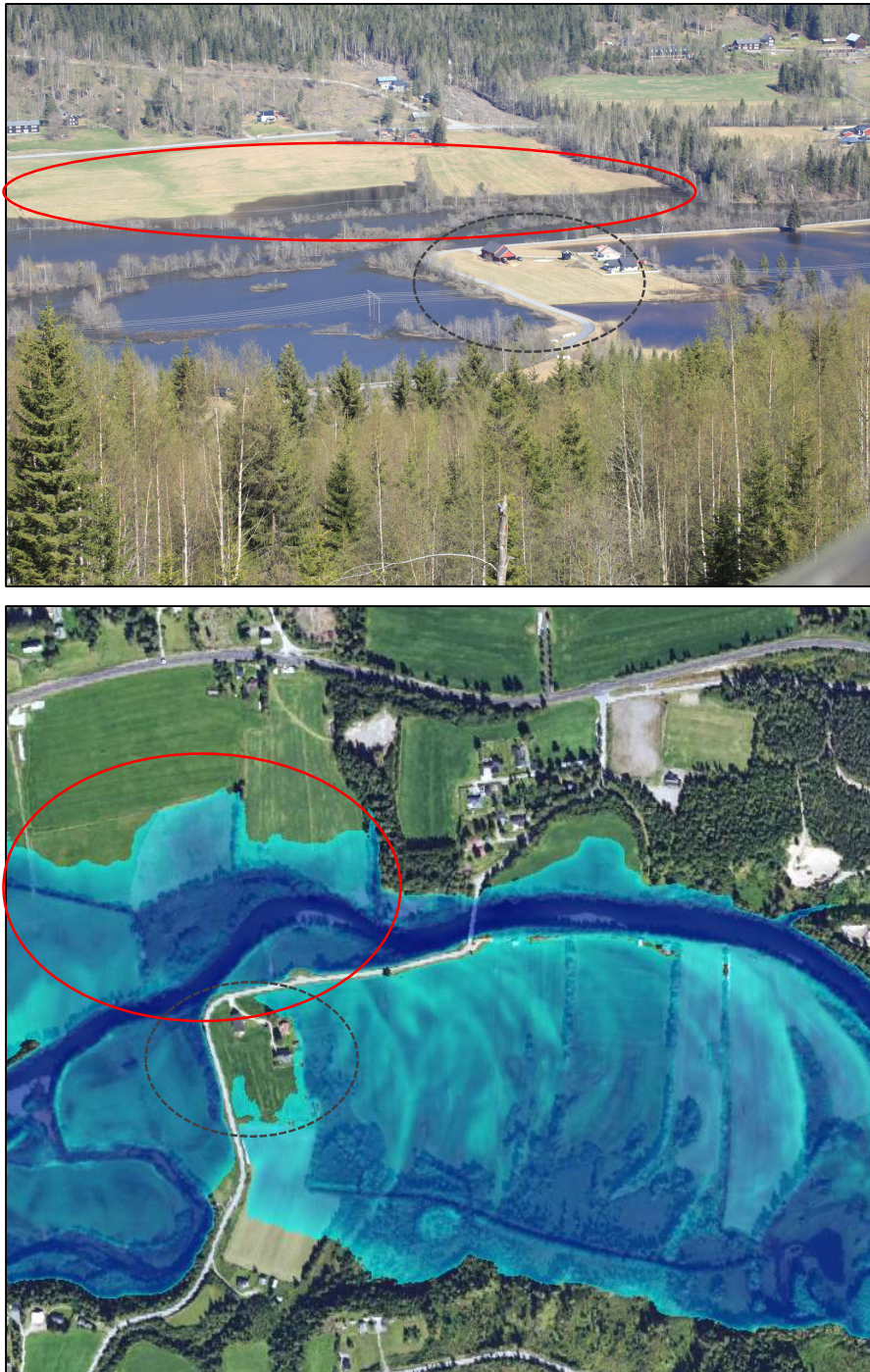
Figur 5-4. Observert vannlinje på venstre side av elva.



Figur 5-5. Sammenligning av observert og beregnet vannlinje for venstre side av elva ved vannføring $Q = 195 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figur 5-6 viser en sammenligning mellom observert og beregnet vannlinje ved Øyom (høyre side av elva). Vannlinjeresultater viser godt samsvar mellom observasjonene og vannlinjeberegningene.

Maksimal observert vannstand ved Øyom er ca. 146,6 m og beregnet vannstand er 146,7 m. Avvik mellom observert og beregnet vannstand er ca. 0,1 m. Det oversvømte området på høyre og venstre siden av elva ser ellers ganske likt ut. Det bekrefter nøyaktigheten til modellen og ruhetsverdien som brukes i modellen.



Figur 5-6. Sammenligning av observert og beregnet vannlinje ved venstre side av elva ved vannføring $Q = 195 \text{ m}^3/\text{s}$.

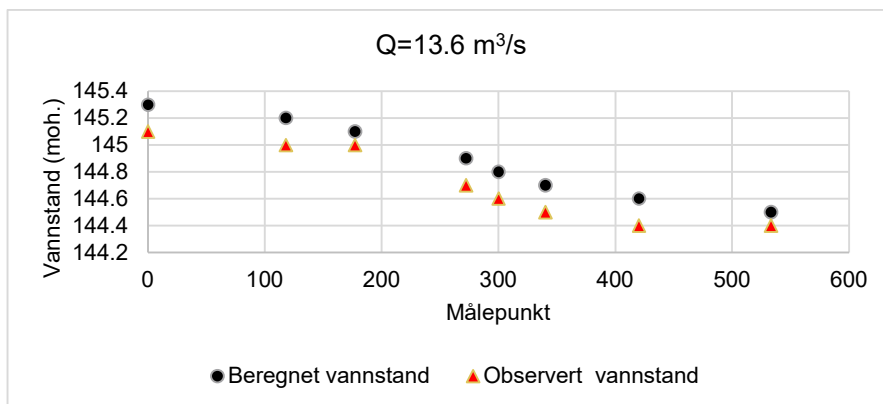
5.3 Verifikasjon av hydraulisk modell

Den hydrauliske modellen ble verifisert med vannlinje og vannføring ble målt av Sweco (2022). Vannlinje ble målt inn med RTK-GPS (kapittel 2.2), Målt vannlinje ved strekningen ca. 150 m oppstrøms Øyom ble benyttet til å verifisere den hydrauliske modellen. Vannføringen ble beregnet til 13,6 m³/s basert på skalering fra samtidige vannføringsverdier på målestasjon Etna. Vannføringsmålingen ved gangbruen ved Dokka/motorsenteret (kapittel 2.1) var sammenlignbar med den skalerte verdien, ikke vurdert å være pålitelig nok til verifikasjon av den hydrauliske modellen.

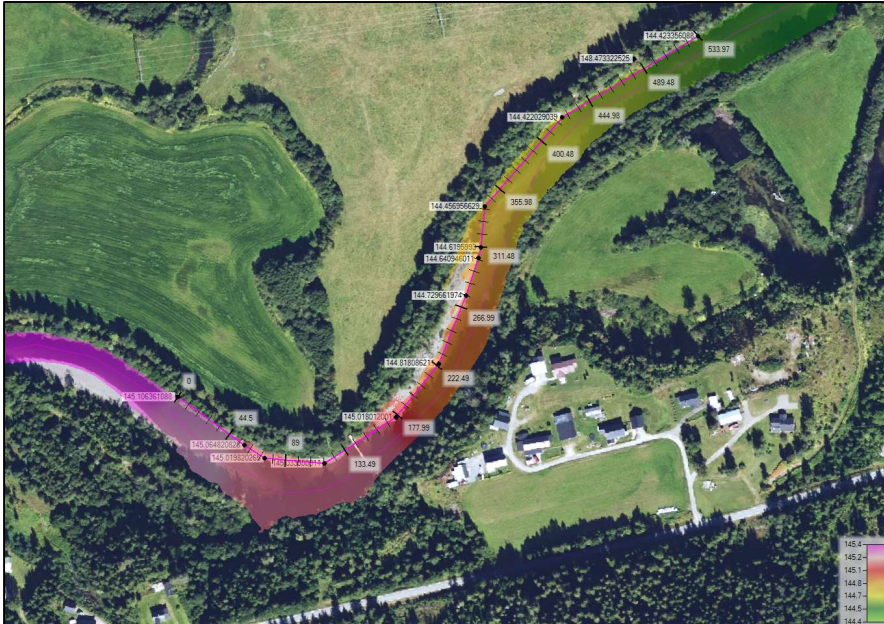
Tabell 5-2 og Figur 5-7 viser observerte og beregnede vannstander. Resultatene viser at det med Manningstall n lik 0,03 i elveløpet og 0,065 utenfor elva er et avvik på 0,1-0,2 m mellom observasjon og beregninger. Hovedårsaken til avviket kan være at skalert flomverdi benyttet i beregningen er for høy. Avviket vurderes likevel som akseptabelt. Høyere flomverdier er mest interessant for restaureringstiltakene, så at modellen er noe unøyaktig for lav vannføring er uproblematisk.

Tabell 5-2. Sammenligning av målte og beregnede vannstander ved vannføring $Q = 13,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Alle høyder er i NN2000. Se Figur 5-8 for plassering av målepunkter.

Målepunkt (m)	0	118	177	272	300	340	420	533
Beregnet vannstand	145.3	145.2	145.1	144.9	144.8	144.7	144.6	144.5
observert vannstand	145.1	145.0	145.0	144.7	144.6	144.5	144.4	144.4
Avvik (m)	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1



Figur 5-7. Sammenligning av beregnet og observert vannstand ved vannføring $Q = 13,6 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 5-8. Beregnet vannlinje med vannstand og målepunkter i elva for vannføring $Q = 13,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.4 Begrensninger

Massetransport under flomsituasjoner samt påvirkning av is er ikke tatt med i beregningene. Dette fører til noen unøyaktigheter i beregnet vannstand ved lave vannføringer.

5.5 Usikkerhet

Kvaliteten på vannlinjeberegningene er avhengig av en godt kalibrert hydraulisk modell. Det vil si at det samles inn samhørende verdier av vannføring og vannstand som modellen kan kalibreres etter. Også i denne sammenhengen er det vanskelig å samle inn data for vannføringer og tilsvarende vannlinje.

Verdier for flommer er arealskalert, og derfor er de noe usikre (kapittel 2.2). I dette tilfellet er modellen også kalibrert ut fra observerte vannstander fra fotografier da det ikke er registrert pålitelige vannstander i hovedløpet i forbindelse med flomvannføringer.

5.6 Oppsummering

Avslutningsvis er nøyaktighet av beregnet vannstand og vannlinje i godt samsvar med observasjon. Dette bekrefter at kalibrert HECRAS-2D-modell med Manningstall $n = 0,03$ gir gode resultater og kan brukes til vannlinjeberegning for middelflom, 5-årsflom og 200-årsflom. Erfaringsmessig er $n=0,03$ et rimelig tall for store elver.

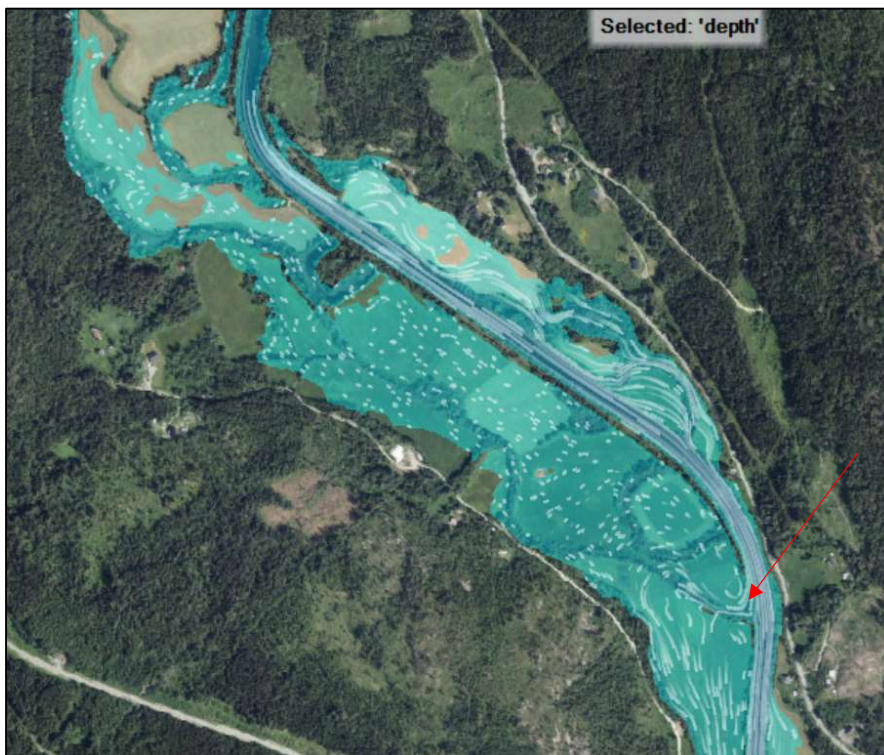
6 Vannlinjeberegning - dagens situasjon

Vannlinjeberegninger for dagens situasjon, altså nåværende terreng, er utført for middelflom (Q_M) og for 200-årsflom (Q_{200}).

6.1 Delområde-1

6.1.1 Flomsone for middelflom

Ved middelflom blir det vanngjennomstrøming i alle meanderne på høyre side av elva, fra Dølstogo til Bekkelund (Figur 6-1). Dette skyldes at vannet finner vegen inn bak flomvollen gjennom åpningen ved utløpet av bekken ved Langøye. Det vil også være vanntilførsel i de øvrige meanderne og flomdammene som er tenkt restaurert på delområde-1. Flomsonekart for hele delområde-1 ved middelflom er vist i Vedlegg 1.



Tegnforklaring?

Høyre side?

Figur 6-1. Meanderne på høyre siden av elva vil ha vanntilførsel ved en middelflom på grunn av den eksisterende åpningen i flomvollen ved bekken ved Langøye.

6.1.2 Flomsone for 200-årsflom

Ved 200-årsflom vil store deler av sideterrenget og jordbruksland på flomsletta ligge under vann ved dagens situasjon (Vedlegg 2). Alle meanderne og de gamle elveløpene som er tenkt å bli åpnet, vil være under vann og følgelig aktivert. Vannstanden i elva vil flere steder vil være høyere enn flomvollene, noe som gjør at vannet går over vollene og oversvømmer flomsletta (Figur 6-2). For flomsituasjonen ved en 200-årsflom vil det med andre ord ikke spille særlig stor rolle om enkelte av flomvollene delvis åpnes eller flyttes i begrensede områder. Kraftig oversvømming vil uansett være tilfelle.

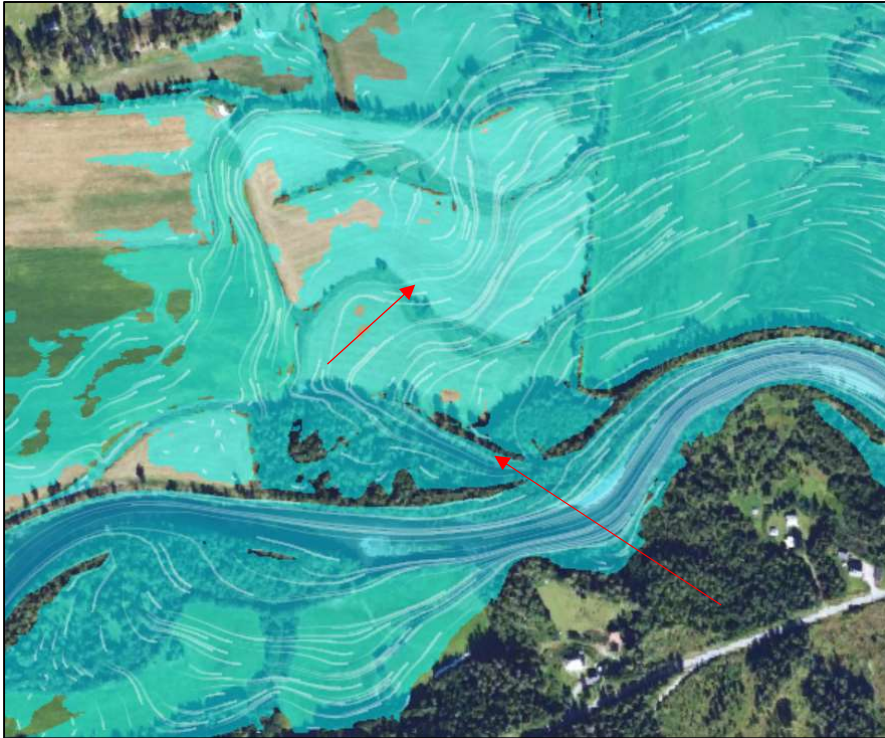


Figur 6-2. Ved en 200-årsflom vil vannstanden i elva flere steder være høyere enn flomvollene, noe som gjør at vannet går over vollene og oversvømmer flomsletta.

6.2 Delområde-2

6.2.1 Flomsone for middelflom

Relativt store deler av flomsletta i delområde-2 vil oversvømmes selv ved en moderat flom som middelflom (Vedlegg 3). Dette er allerede kjent at f.eks. bebyggelsen på Øyom er flomutsatt. På elvas venstreside (nord for elva) skyldes oversvømmingen til dels at vannet finner vegen inn i flomløpet sør for Persmoen (Figur 6-3). Dette viser at dagens flomvoll er ugunstig utformet, og at en flytting av flomvollen ved Persmoen (noe som foreslås i DNVs tiltaksplan) vil være hensiktsmessig.



Figur 6-3. Vannet vil kunne gå inn i utløpet av flomløp sør for Persmoen og dermed oversvømme jordbruksland nedstrøms.

6.2.2 Flomsone for 200-årsflom

Ved 200-årsflom er så godt som hele flomsletta oversvømt, inkludert flomvollene (Vedlegg 4).

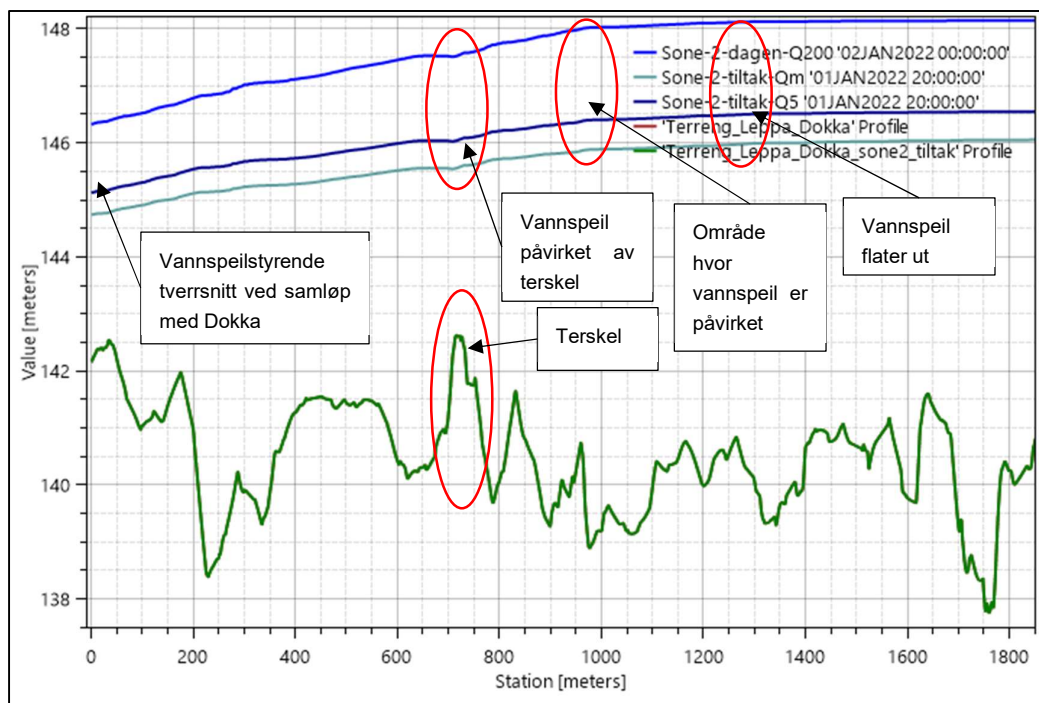
6.2.3 Vurdering av terskel ved motorsenteret

Det er gjort en vurdering av påvirkningen av vannspeilet og vannstand i elva som følge av terskelen ved motorsenteret ved å se på beregnede vannføringer: middelflom, 5-årsflom og 200-årsflom. Beregnet vannlinjer fra Etnas samløp med Dokka til sør for Røste er vist i Figur 6-4 og plassering av hvor vannspeilet er hentet fra er vist i Figur 6-5.

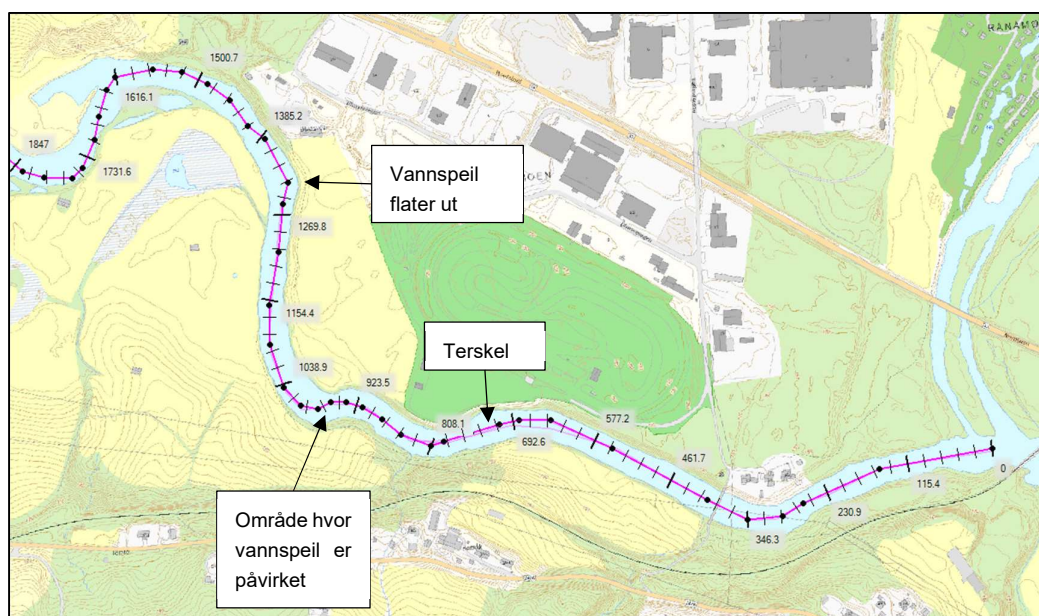
Vannspeilet har en gradient/stigning fra samløp Etna og Dokka og flater noe ut ca. 60 m nedstrøms terskelen. Over terskelen (ca. stasjonsnummer 720) øker vannstanden med ca. 5–10 cm og videre oppstrøms stiger vannspeilet. Oppstrøms terskelen er vannspeilet påvirket, og gradienten blir noe slakere fra stasjonsnummer ca. 990 til ca. 1300. Fra ca. 1300 og oppstrøms er vannspeilet flatt og har lav gradient.

Det er basert på ovenstående vurderinger antatt at terskelen vil påvirke vannspeilet og vannstanden i Etna ved flom til en viss grad (5–10 cm). Samtidig er det forventet at elvas løp og området hvor elva svinger vil ha en innsnevring som i seg selv påvirker vannspeilet opp mot stasjonsnummer 1300. Det er dermed ikke sikkert at en eventuell fjerning av terskelen vil gi særlig mye lavere flomvannstand oppstrøms.

Det er ikke gjort beregninger hvor terskelen er fjernet, noe som i større grad ville kunne si noe om påvirkningen av terskelen kontra påvirkning fra sideterreng og sving.



Figur 6-4: Beregnet vannlinje ved middelflom, 5-årsflom og 200-årsflom ned- og oppstrøms terskelen ved motocrossbanen.



Figur 6-5: Oversiktsbilde som viser hvor lengdeprofil av vannspeilet er vist for og tilhørende stasjonsnummer.

7 Vannlinjeberegning - med tiltak

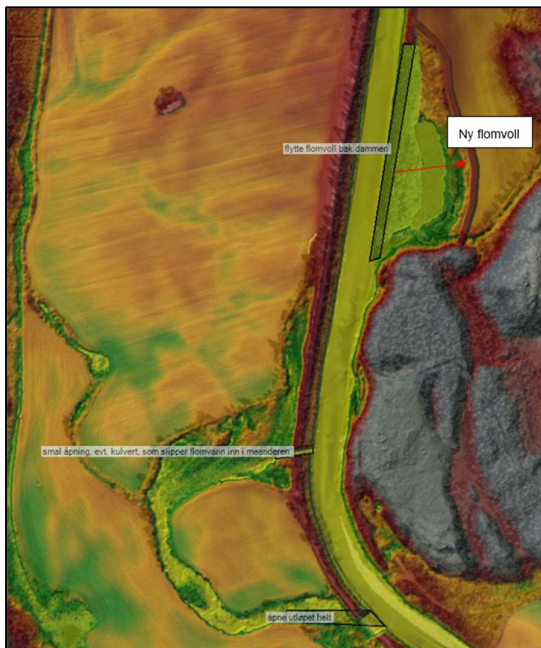
I det følgende presenteres resultater fra vannlinjeberegninger gjort for delområde-1 og delområde-2. Vannlinjeberegning er utført for middelflom og for 5-årsflom.

7.1 Beskrivelse av restaureringstiltak

Det ble gjort totalt justeringer på terrenget for dagens situasjon på i underkant av tjue lokaliteter for å beskrive terreng med tiltak. På lokaliteter hvor flere mulige grader av tiltak ble foreslått i tiltaksplanen, f.eks. fra smal åpning av flomvoll til fullstendig åpning av flomvoll, ble det mest drastiske tiltaket valgt (i eksempelet: fullstendig åpning). Dette ble gjort for å vise flomsituasjonen i en «ekstrem-restaurering»-situasjon. I realiteten vil det være mer fornuftig å prosjektere smalere åpninger i vollene med utgangspunkt i flomsonekartene som beskrives i dette kapittelet, samt basert på beregnet vannstand ved ulik vannføring. Det vil f.eks. ikke være nødvendig å grave en 3-4 meter dyp åpning i flomvollen for å komme på nivå med elvebunnen dersom det bare er ønskelig at flomvollen skal oversvømmes ved høy vannføring.

Tiltakene ble tegnet inn med ved hjelp av HEC RAS sitt innebygde redigerings- og kartvisningsverktøy RasMapper. Mer spesifikt ble åpninger i flomvoller lagt inn som «grøfter» og flyttede flomvoller tegnet inn som «voller» i eksisterende terreng, se eksempel i Figur 7-1.

Det ble representert åpninger i flomvollene i form av åpne grøfter også der kulvert gjennom flomvollen var foreslått i tiltaksplanen. Denne forenklingen kan gjøre at gjennomstrømmingen i meanderne og flomløpene er overdrevet i forhold til hvordan det vil bli i virkeligheten med begrensede åpninger i flomvollene. Dette vil gjøre at beregnet flomsituasjon blir «worst case», men også at beregnet restaureringseffekt form av f.eks. vandekt areal i avsnørte meandere og flomløp blir «best case».



Figur 7-1. Eksempel på inntegning av tiltak i RasMapper, her tiltak ved dam ved Lundbyhaugen og tiltak på inn og utløp av meanderen mellom Røstenge og Dølstogo.

7.1.1 Delområde-1

Foreslåtte tiltak i Elvigen (2018) ble «oversatt» til endringer i terreng med tiltak (

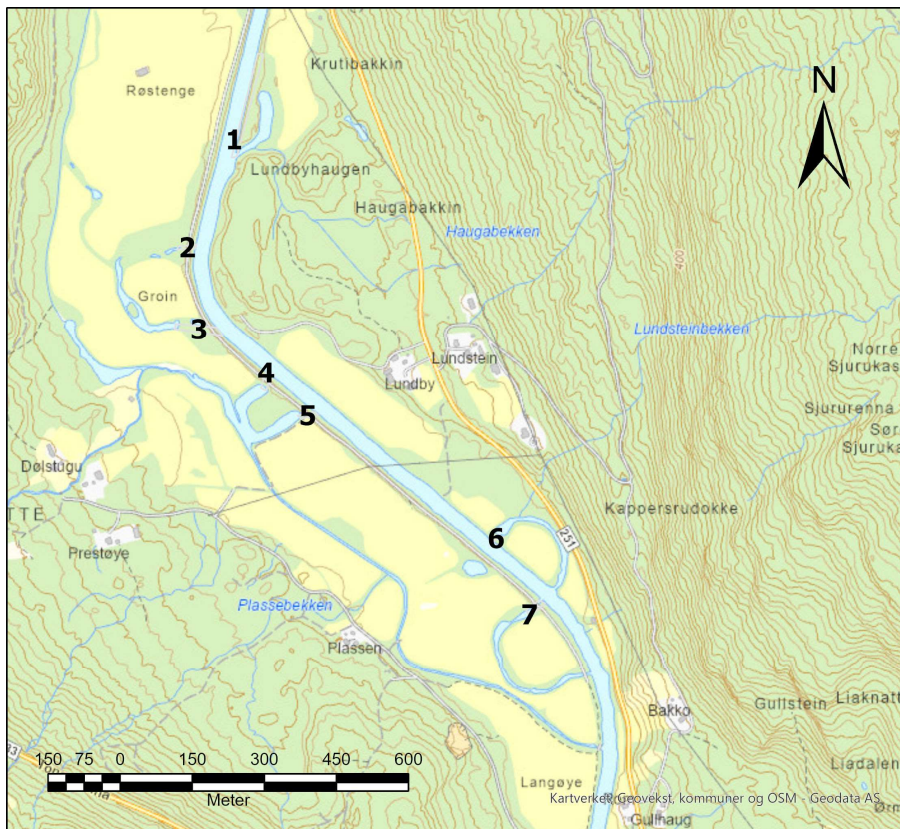
Tabell 7-1). Nummereringen i

Tabell 7-1 viser til lokaliteter i Figur 7-2.

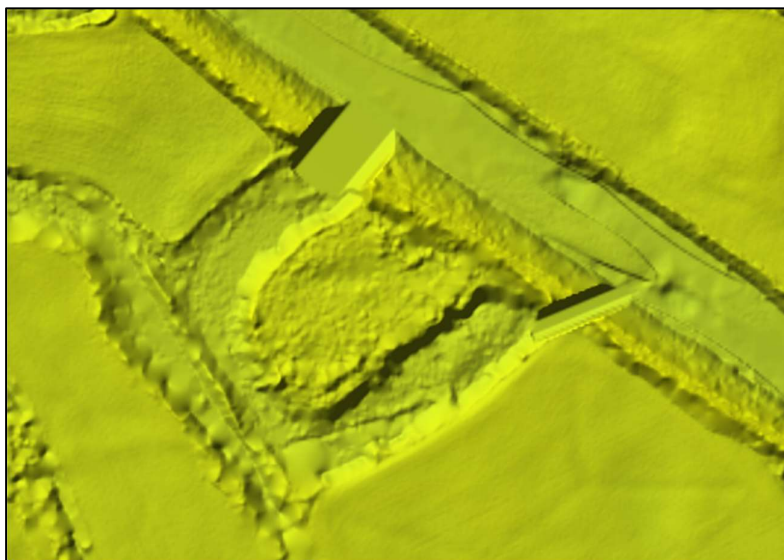
Tabell 7-1. Beskrivelse av tiltak på delområde-1 basert på DNVs tiltaksplan for Etna.

	Lokalitet	DNV tiltaksplan	Swecos modell med tiltak	Figur
1	dam ved Lundbyhagen	Fjerne eller flytte flomvoll	Flytte flomvoll ved dam vekk fra elva	Figur 7-1
2	meander mellom Røstenge og Dølstogo	Smal åpning, bredere kulvert i flomvollen eller åpne flomvoll helt ved innløpet	Åpne flomvoll ved innløpet	Figur 7-1
3	meander mellom Røstenge og Dølstogo	Åpne flomvoll helt ved utløpet	Åpne flomvoll helt ved utløpet	Figur 7-1
4	meander ved Dølstogo	Delvis åpne innløp vha. spalteformet innløp eller bred kulvert	Åpne flomvoll helt ved innløpet*	Figur 7-3
5	meander ved Dølstogo	Delvis åpne utløp fra meander ved Dølstogo vha. bred kulvert som hensyntar fiskevandring.	Åpne flomvoll helt ved utløpet*	Figur 7-3
6	meander nr. 1 ved Bekkelund (østsiden av elva)	Åpne flomvoll, legge inn kulvert eller spalteformet åpning i kombinasjon med tiltak for å lede vannet inn.	Åpne flomvoll helt ved innløpet	Figur 7-4
7	meander nr. 2 ved Bekkelund (vestsiden av elva)	Åpne flomvoll, legge inn kulvert eller spalteformet åpning i kombinasjon med tiltak for å lede vannet inn mot åpning. Åpning av utløp.	Åpne flomvoll ved innløpet og ved utløpet.	Figur 7-4

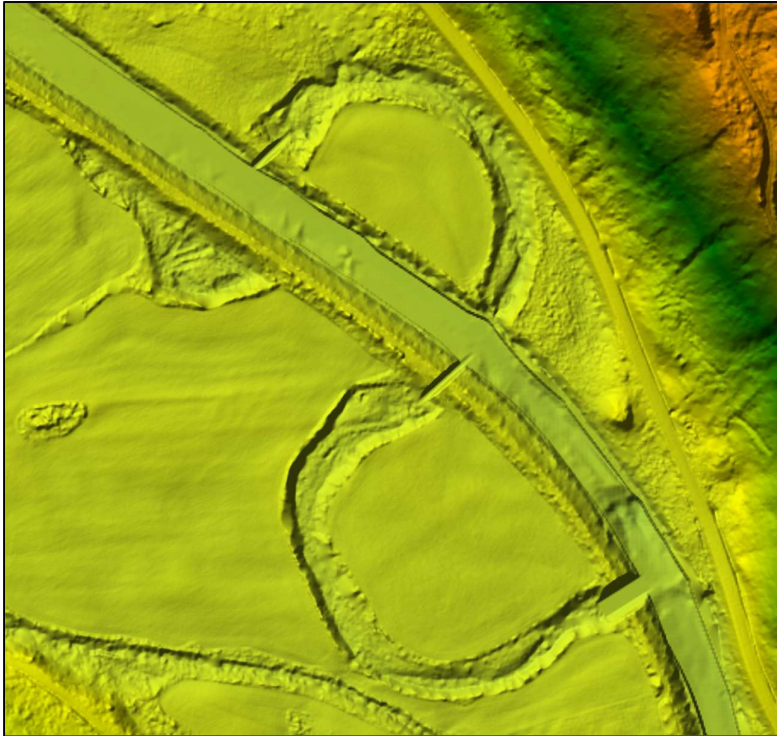
*Åpningene til meanderen ble ved uhell tegnet overdrevent store i Swecos modell med tiltak i forhold til hva som ble foreslått i tiltaksplanen.



Figur 7-2. Geografisk plassering av tiltakene på delområde-1.



Figur 7-3. Åpninger på inn- og utløp av meander ved Dølstogo i RasMapper terreng med tiltak.



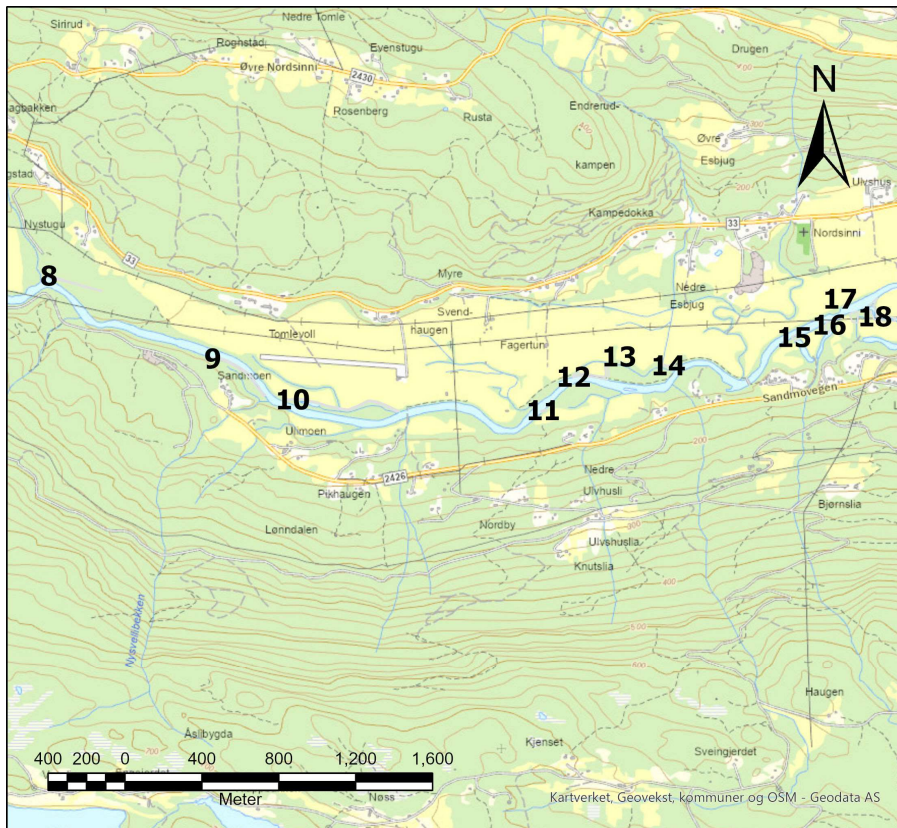
Figur 7-4. Åpninger på inn- og utløp av meandere ved Bekklund i RasMapper.

7.1.2 Delområde-2

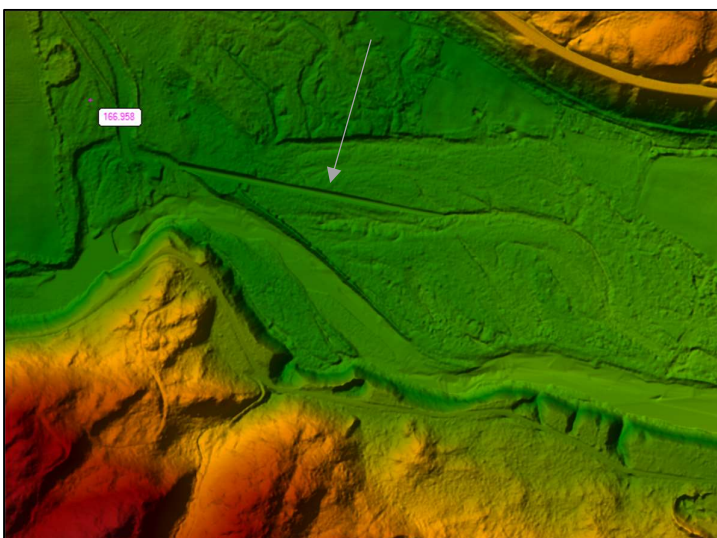
Tabell 7-2 beskriver hvordan tiltak fra Elvigen (2018) ble «oversatt» til endringer i terreng med tiltak for delområde-2. Nummereringen i Tabell 7-2 svarer til nummereringen i Figur 7-5.

Tabell 7-2. Beskrivelse av tiltak i delområde-2 basert på DNVs tiltaksplan for Etna.

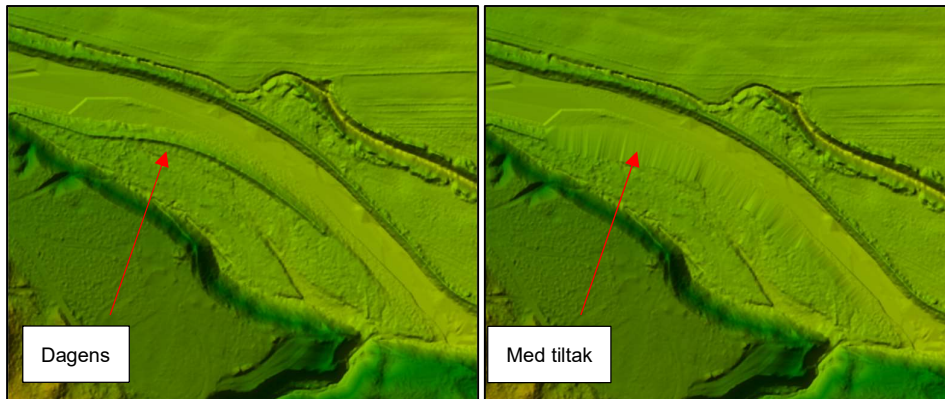
	Lokalitet	DNV tiltaksplan	Swecos modell med tiltak	Figur
8	samløp med Leppa	Åpne flomløp ved samløp	Åpne flomløp ved å lage grøft fra Leppa der flomløp er fylt igjen	Figur 7-6
9	sør for elva ved Sandmoen	Fjerne flomvoll	Fjerne flomvoll ved å flate ut terrenget	Figur 7-7
10	Nord for elva ved Tomlevoll	flytte flomvoll til grensen mellom skog og dyrkamark	Flytte flomvoll til grensen mellom skog og dyrkamark	Figur 7-8
11	Bjørnmoen	Reetablere flomløp ved åpne flomvollen fra kanalens innløp og nordøstover/nedstrøms	Smal åpning i flomvollen	Figur 7-9
12	flomløp sør for Persmoen	Åpne innløp til flomløp ved å legge kulvert i flomvollen	Smal åpning i flomvollen	Figur 7-10
13	flomløp sør for Persmoen	Flytte siste del av flomvoll vekk fra elva (skisse i tiltaksplanen)	Flyttet som beskrevet	Figur 7-10
14	flomløp sør for Persmoen	Flytte første del av flomvoll vekk fra elva (skisse i tiltaksplanen)	Flyttet som beskrevet	Figur 7-10
15	meander #1 ved Øyom	Innløp: spalteformet åpning, kulvert eller full åpning av flomvoll	Åpne flomvoll helt ved innløpet	Figur 7-11
16	meander #1 ved Øyom	Utløp: spalteformet åpning, kulvert eller full åpning av flomvoll	Åpne flomvoll helt ved utløpet	Figur 7-11
17	Meander #2 ved Øyom	Innløp: spalteformet åpning, kulvert eller full åpning av flomvoll	Åpne flomvoll helt ved innløpet	Figur 7-11
18	meander #2 ved Øyom	Utløp: spalteformet åpning, kulvert eller full åpning av flomvoll	Åpne flomvoll helt ved utløpet	Figur 7-11



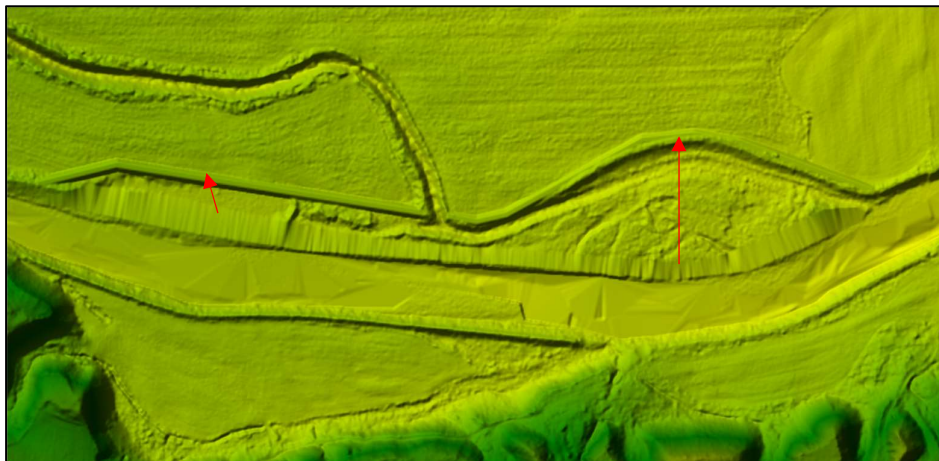
Figur 7-5. Geografisk plassering av tiltakene på delområde-2.



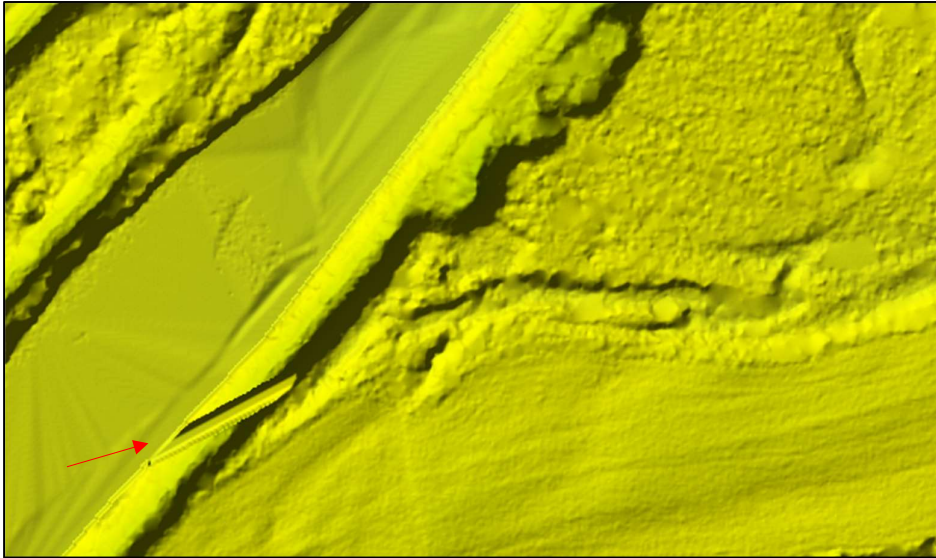
Figur 7-6. Åpning av flomløp ved samløp med Leppa.



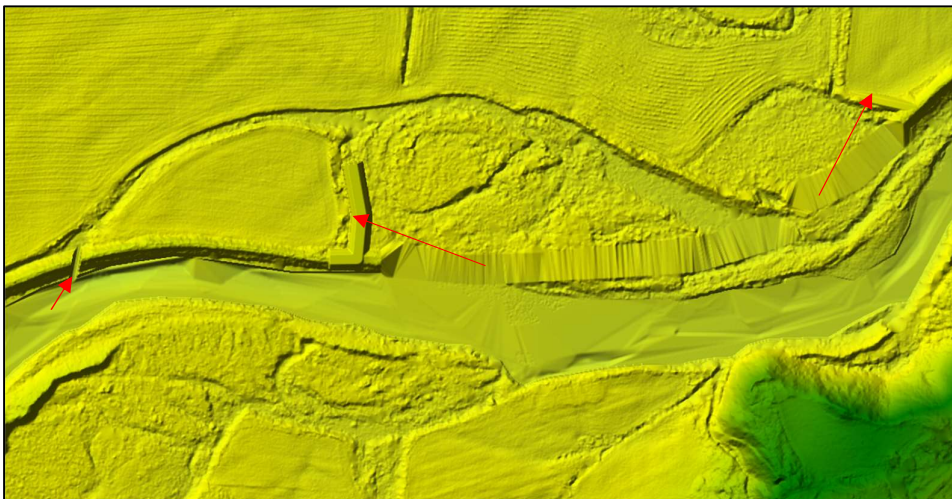
Figur 7-7. Terreng med fjernet flomvoll sør for elva ved Sandmoen (høyre) sammenlignet med dagens terreng med flomvoll (venstre).



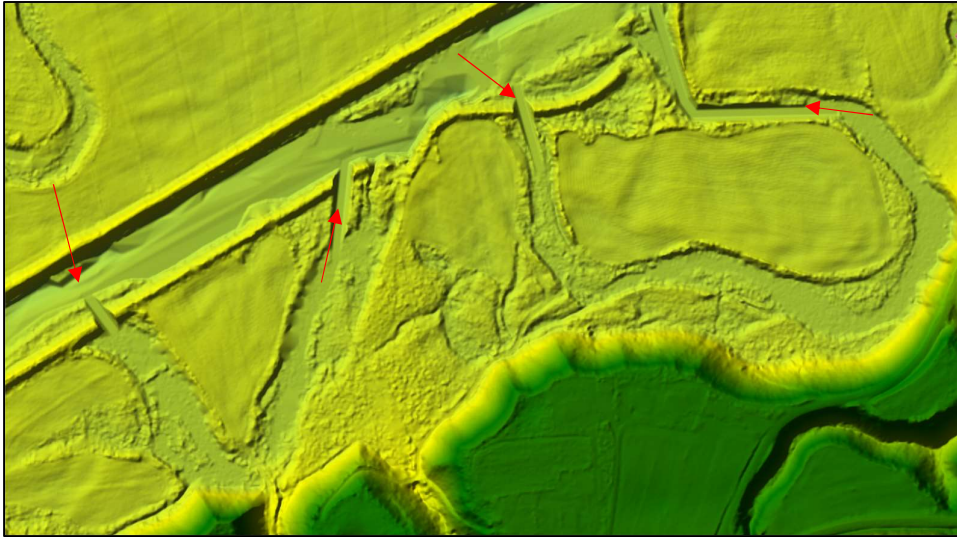
Figur 7-8. Terreng med tiltak, her flytting av flomvoll ved Tomlevoll.



Figur 7-9. Åpning av flomvoll på Bjømmoen for å reetablere flomløpet.



Figur 7-10. Tiltak ved flomløp sør for Persmoen slik de ble inkludert i terrengmodell.



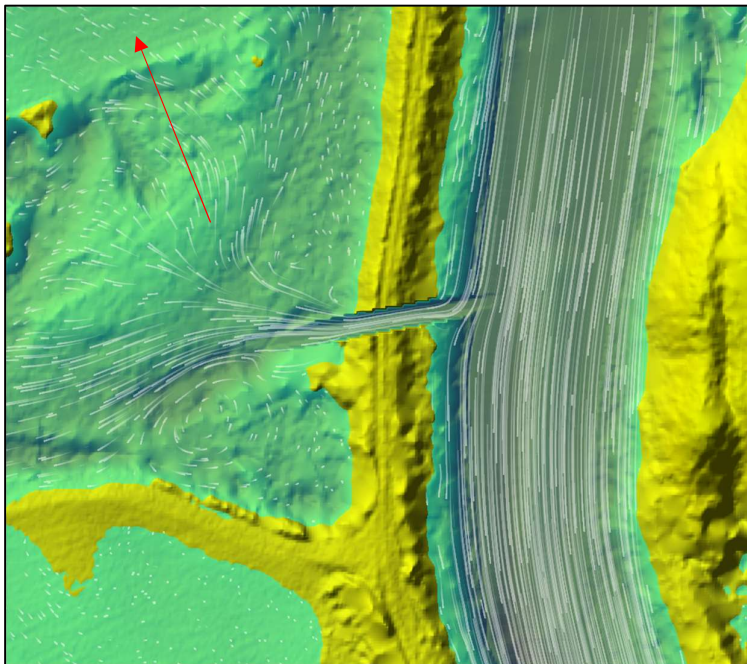
Figur 7-11. Åpninger i flomvoll lagt til for å sikre gjennomstrømning i de to meanderne ved Øyom.

7.2 Resultater for delområde-1

7.2.1 Flomsone for middelflom

Ved middelflom vil alle foreslåtte tiltak fungere. Det vil si at vann strømmer inn i flomløpene og meanderne. Flomsonekartet i Vedlegg 5 (med tiltak) kan sammenlignes med kartet i Vedlegg 1 (dagens situasjon) for å se effekten av åpning av flomvoller på flomsituasjonen under en middelflom. Flomsituasjonen er påfallende lik med og uten tiltak. Som diskutert i kapittel 6.1.1, vil vestsiden av elva mellom Røstenge og Etna familiecamping oversvømmes i dagens situasjon fordi vannet vil gå gjennom åpningen for sidebekken ved Langøye og videre nordover (i motsatt retning som i hovedløpet). De samme områdene vil oversvømmes i en situasjon med tiltak, men da fordi vannet kommer inn gjennom åpningene til de første meanderne. Strømningsretningen på vannet som har havnet på flomsletta blir da lik strømningsretningen i hovedløpet, altså mot sør-øst. Oversvømmingen på området mellom Røstenge og Bekkelund kan **trolig kontrolleres** til en viss grad ved å minske dimensjonene på åpningene i flomvollen og plassere åpningene høyere i elveskråningen i forhold til det som ble modellert i terreng med tiltak.

For eksempel er åpningen i flomvollen til innløpet av meanderen mellom Røstenge og Dølstogo for våre beregninger gitt en bunnbredde på 2 m og slak skråning opp til bunnivå for meanderen (232,0 moh.) fra elvebunnen (231,2 moh.). Med disse dimensjonene er det beregnet å gå 10 m³/s vann til meanderen ved middelvannføring, hvilket overstiger kapasiteten til meanderen. Vannet går derfor også nordover og oversvømmer dyrka mark (Figur 7-12).



Figur 7-12. Åpningen til innløpet av meanderen mellom Røstenge og Dølstogo er overdimensjonert i våre beregninger. Vannet vil gå over mot dyrka mark nord for meanderen.

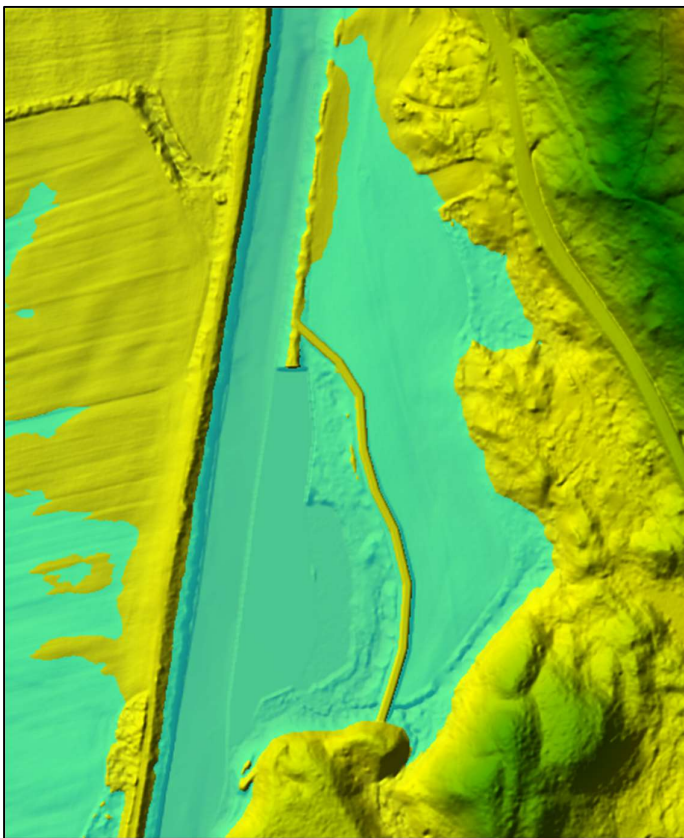
Hvis man lager store åpninger i flomvollen for å sikre vanngjennomstrømning til meandere og flomløp så vil flomvannet kunne oversvømme sideterreng/jordbruk, siden det ikke er flomvoller som stopper vannet å renne ut på sideterreng. Dersom det ikke er akseptabelt med oversvømming av disse arealene ved middelflom bør flomvollene flyttes rundt de åpnede meanderne. Flomvollene bør i så fall minst ha samme høyde som dagens flomvoller, men det

bør vurderes nærmere for hvert enkelt område. I enkelte områder vil flomvann renne over dagens flomvoller og da vil det være mindre effekt av å etablere ny/flytte flomvoll.

7.2.2 Flomsone for 5-årsflom

Situasjonen for 5-årsflom er veldig lik situasjonen for middelflom, ved at alle områder som er aktuelle for restaurering får vanntilførsel (Vedlegg 6). Det er også betydelig oversvømming av sidearealer.

For 5-årsflom vil det renne over dagens flomvoll nord for planlagt tiltak med å flytte flomvollen nord for Lundbyhagen (Figur 7-13). Det medfører at flomvannet vil bli stengt inne bak ny/flyttet flomvoll, uten mulighet for drenering tilbake til elva. Det vil medføre stående vann på jordbruksmark over lengre tid til det infiltreres i grunnen. Dette viser at flyttet flomvoll ikke bør være helt lukket, men ha en åpning i nedstrøms ende - i likhet med eksisterende flomvoll.



Figur 7-13. Flyttet flomvoll ved dam ved Lundbyhagen bør ikke være helt lukket, da dette innebærer at vann fra storflommer blir fanget inn bak vollen uten mulighet til å drenere mot elva.

7.3 Resultater for delområde-2

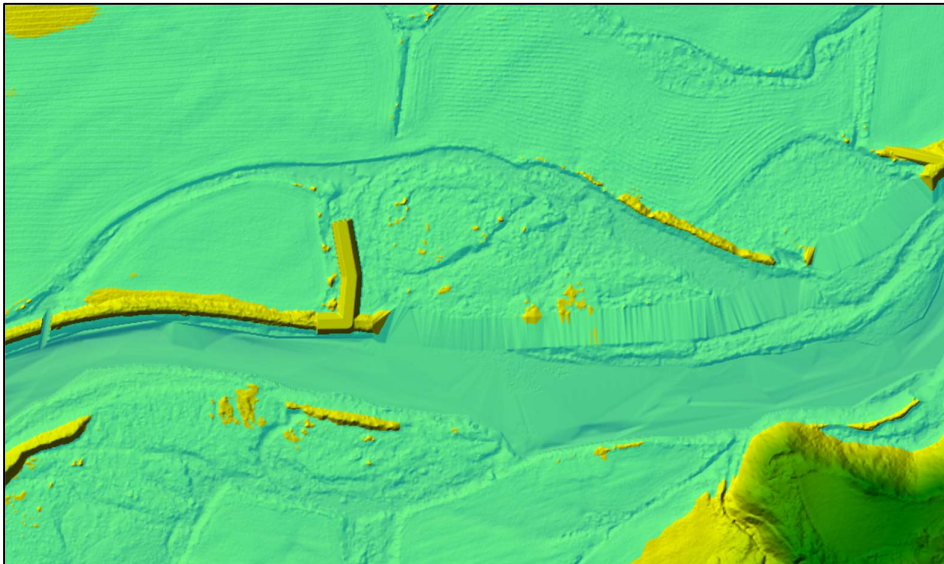
7.3.1 Flomsone for middelflom

Ved middelflom vil vannet renne til det gamle flomløpet ved samløpet med Leppa når man åpner opp en ny bekk/kanal som kobler Leppa til det gamle flomløpet bak den gamle flomvollen (Vedlegg 4).

Ved Sandmoen vil deler av sletta oversvømmes ved middelflom som følge av fjerning av flomvollen. Det bebygde området vil fortsatt være tørrlagt om flomvollen åpnes fordi bebyggelsen ligger et stykke høyere enn elva.

Ved Tomlevoll er flomvollen tenkt flyttet vekk fra elva, noe som gjør at området ved dammen og flomløpet blir oversvømt ved middelflom. Det er tiltenkt åpning i flomvollen ved bekken som ligger renner fra jordbruket. Her kan det kunne renne vann inn og utover dyrka mark.

Sør for Persmoen er det foreslått å flytte flomvollene nordover, samt åpne opp en del av dagens flomvoll for å skape gjennomstrømning i et gammelt flomløp. Ved middelflom vil det være gjennomstrømning i flomløpet, men også store oversvømmelser på nordsiden av elva (Figur 7-14). Oversvømmelsene skyldes imidlertid ikke åpningen og flyttingen av flomvollene, fordi dette området ble oversvømt også ved middelflom for dagens situasjon.



Figur 7-14. Flomløpet sør for Persmoen og store områder omkring blir oversvømt ved middelflom.

7.3.2 Flomsone for 5-årsflom

Ved 5-årsflom vil flomsituasjonen ved tiltakene og omkringliggende områder være lik som for middelflom (Vedlegg 5).

Det vil være de samme utfordringene som diskutert for middelflom, men det vil være mer vann som renner på avveie og vannstanden vil bli høyere fra Øyom og oppstrøms.

8 Konklusjon

Ved en 200-årsflom i Etna så vil store deler av flomsletta være oversvømt, og vannstanden vil flere steder overstige høyden på flomvollene. De fleste av flomvollene kan med andre ord ikke gi tilstrekkelig beskyttelse mot en 200-årsflom. Moderate åpninger av flomvollene som restaureringstiltak vil i den sammenhengen ikke ha noen særlig betydning. Det vurderes derfor ikke være noen direkte negativ konsekvens ved å gjenåpne/knytte seg til de gamle elveløpene/meanderne med tanke på sikkerhet for bygg i Byggteknisk forskrift (TEK17).

Det er marginale forskjeller mellom flomsituasjonen ved middelflom med og uten restaureringstiltak. Simuleringer viser at det vil bli oversvømming av store deler av flomsletta allerede ved middelflom i vassdraget med terrenget som tilsvarer dagens situasjon. Selv med overdrevent store åpninger i flomvollene i kjøringene med tiltak blir flomsituasjonen i stor grad lik som for dagens situasjon.

Ved å gjennomføre tiltak som åpner opp mellom elva og gamle elveløp vil alle spesifiserte områdene bli vanndekt ved middelflom. Flere av tiltakene vil imidlertid også bli vanndekte ved middelflom uten åpning av flomvollene.

Ved 5-årsflom vil alle tiltakene også være aktivert, men utfordringene er noe forsterket som følge av økte vannmengder. Femårsflom er kun beregnet for terreng med tiltak, men det er rimelig å anta at det er liten forskjell mellom flomsituasjon med og uten tiltak også ved femårsflom siden flomvollene i liten grad klarer å beskytte mot oversvømmelse.

Det vurderes derfor at moderate åpninger i flomvollene for å restaurere avsnørte elve-elementer ikke vil forverre flomsituasjonen i Etna. Kjøringene er derimot mindre egnet til å si noe om effekten av åpning av flomvollene på vanngjennomstrømmingen i meandere og flomløp når de uansett blir oversvømt.

Det kan være noen utfordringer med å ha åpning i flomvoller som flyttes lenger unna elva, da det kan medføre at vann renner gjennom åpning og inn på sideterreng/jordbruksarealer. Dette gjelder spesielt i nedre del ved Bakken og Øyom.

Ved Øyom vil det være vanndekt areal på **jordbruket** nord for elva, siden vannet vil renne over flomvollen ved stuve/forplante seg bakover/oppstrøms på nordsiden av flomvollen.

9 Videre anbefalinger

For videre planlegging av de ulike tiltakene anbefales det å ta utgangspunkt i den kalibrerte HEC RAS-modellen som ble benyttet i denne rapporten. Som hjelp til bruk av HEC RAS-prosjektet er det angitt forklaring på terrengene og resultatfilene i Vedlegg 11.

I HEC RAS er det for eksempel **mulig** å prøve seg fram med ulike løsninger på åpningene, f.eks. ved å variere bunnbredde og høyde på åpningen i forhold til elvebunn for å oppnå ønsket vanntilførsel til de ulike meanderne og flomløpene ved en gitt vannføring. Det er også mulig å legge til kulverter gjennom flomvollen i HEC RAS dersom det er ønskelig å teste det spesifikt. Det anbefales imidlertid å først undersøke kapasiteten til meanderen eller flomløpet, f.eks. ved hjelp av Mannings formel for åpen kanalstrøm, for så å dimensjonere åpningen i flomvollen slik at kapasiteten ikke overskrides.

Det bør for dimensjonering av åpninger gjøres en vurdering av ved hvilken vannføring i elva det er ønskelig at tiltakene skal gi vanngjennomstrømming. Dette vil påvirke kotehøyde på åpningen i flomvollen. Vedlegg 10 viser beregnet vannstand ved tiltakene ved middel-, 5-års- og 200-årsflom. Våre kjøring viste at vannføring ved femårsflom og ved middelflom vil være mindre relevant, men vannlinjene kan likevel gi en indikasjon på hvilket nivå åpningen bør være på.

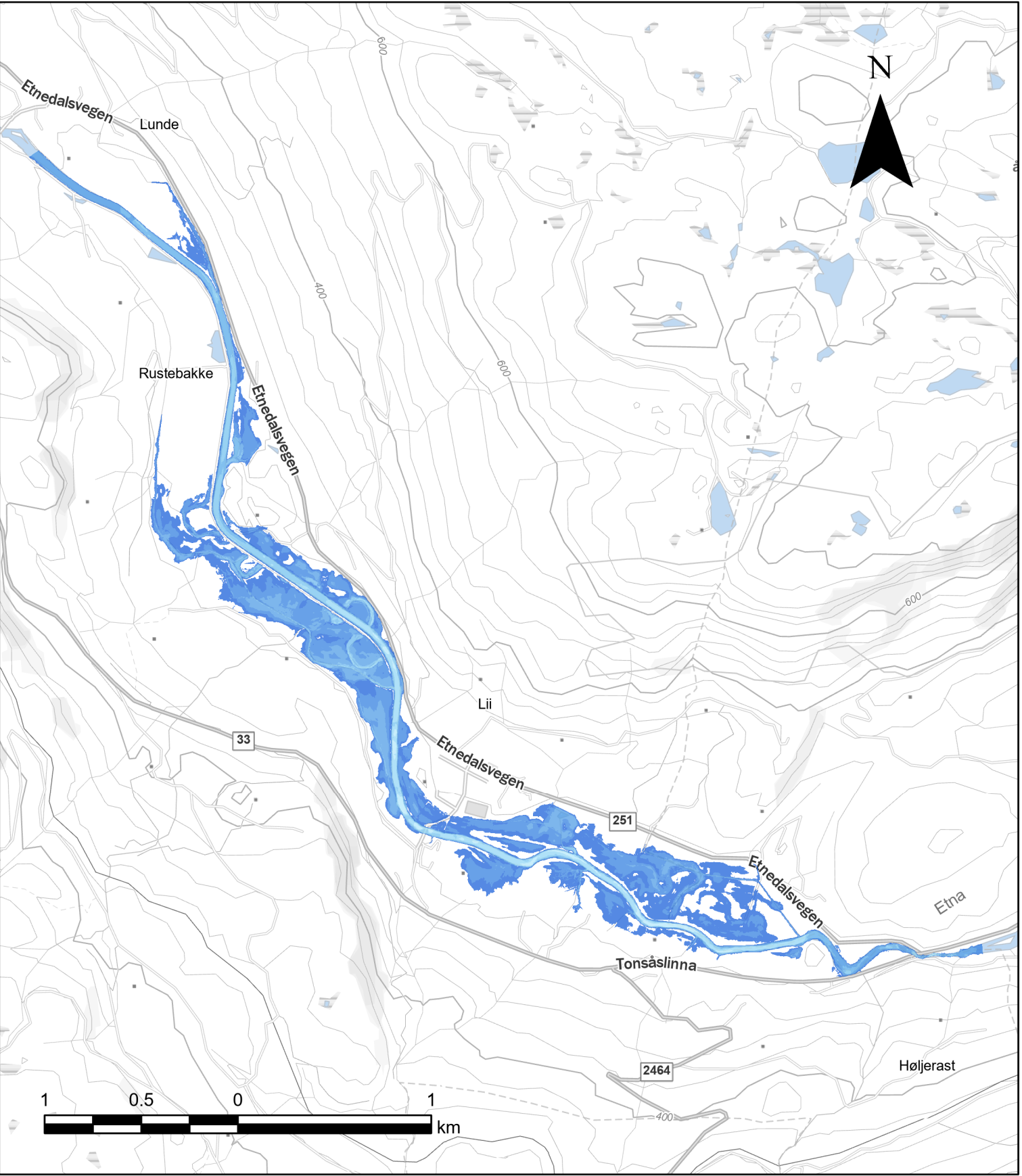
Gjort riktig kan påkobling av meandere og flomløp i kombinasjon med strategisk flytting av flomvoller **muligens** også bedre flomsituasjonen i vassdraget.

10 Referanser

- Elvigen, S. W. (2018). *Tiltaksplan for Etnavassdraget, Lundebru til samløp med Dokka*. Dokkadeltaet Våtmarksenter.
- Glad, P. A., Stenius, S., Leine, A.-L. Ø., Væringstad, T., Holmqvist, E., Dahl, M.-P. J., & Trondsen, E. (2022). *Veileder nr. 1/2022. Veileder for flomberegninger*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Hege, H., Vikhamar-Schuler, D., Førland, E. J., & Nilsen, I. B. (2021). *Klimaprofiler for fylker*. Norsk klimaservicesenter.
- NVE. (2016). *Klimaendring og framtidige flommer i Norge*.
- Pettersen, L.-E. (2017). *Flomberegning for Etna/Dokka*. NVE.
- Zinke, P. (2021). *Hydromorfologisk utredning av restaureringstiltak i Etnavassdraget*. Sciencemonastery AS.

11 Vedlegg

- Vedlegg 1. Flomsone for Q_M i delområde-1 - dagens situasjon
- Vedlegg 2. Flomsone for Q_{200} i delområde-1 - dagens situasjon
- Vedlegg 3. Flomsone for Q_M i delområde-2 - dagens situasjon
- Vedlegg 4. Flomsone for Q_{200} i delområde-2 - dagens situasjon
- Vedlegg 5. Flomsone for Q_M i delområde-1 - med tiltak
- Vedlegg 6. Flomsone for Q_5 i delområde-1 - med tiltak
- Vedlegg 7. Flomsone for Q_M i delområde-2 - med tiltak
- Vedlegg 8. Flomsone for Q_5 i delområde-2 - med tiltak
- Vedlegg 9. Datarapport for vannføringsmåling med ADCP
- Vedlegg 10. Vannlinje ved de ulike tiltakene
- Vedlegg 11. HEC RAS-prosjekt, inkl. terrengmodeller og resultatfiler



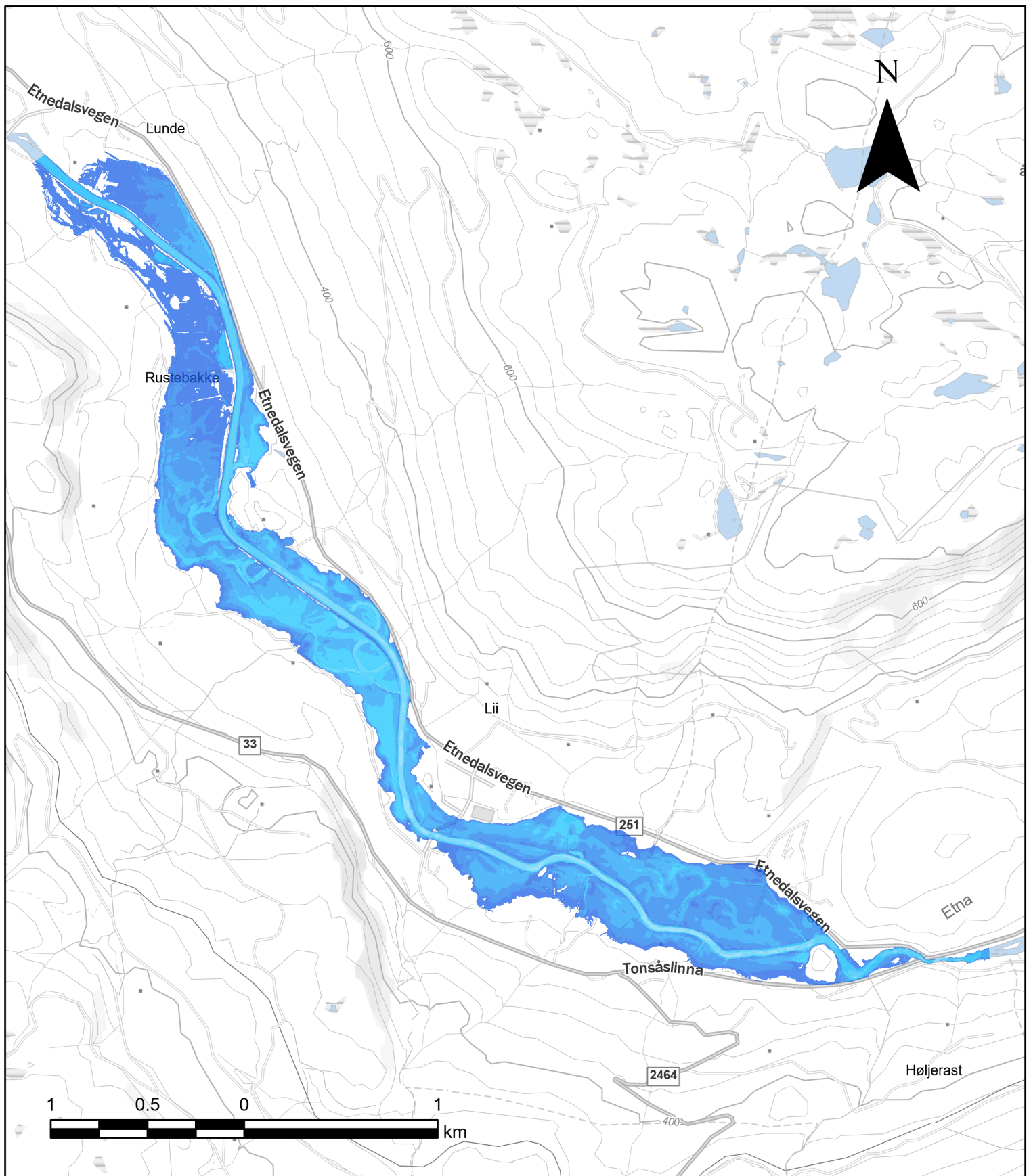
Flomsonekart for delområde-1
Dagens situasjon
Middelflom (Qm)

Prosjektnavn: Etna - hydraulisk modellering for restaurering
Prosjektnummer: 10230612
Utarbeidet av: NONAAD
Kontrollert av: NOBJOR

Delområde-1-dagen-Qm
Vanndybde (m)

- ≤0.55
- ≤1.22
- ≤2.07
- ≤3.04
- ≤4.13
- ≤5.38
- ≤7.74





Flomsonekart for delområde-1
Dagens situasjon
200-årsflom (Q200)

Prosjektnavn: Etna - hydraulisk modellering for restaurering

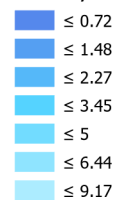
Prosjektnummer: 10230612

Utarbeidet av: NONAAD

Kontrollert av: NOBJOR

Delområde-1-dagen-Q200

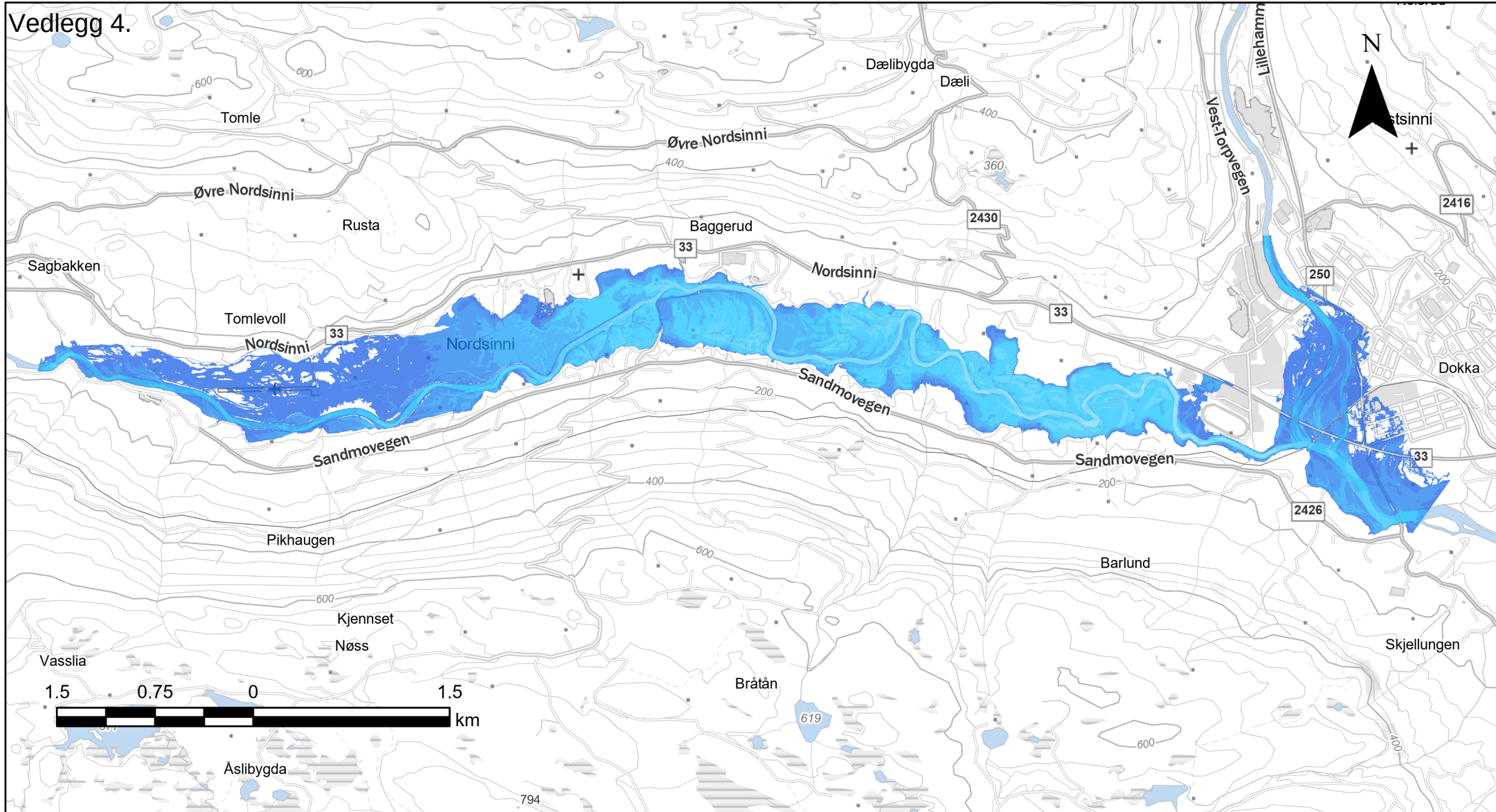
Vanndybde(m)



SWECO

[illegible]

SWECO



Flomsonekart for delområde-2

Dagens situasjon

200-årsflom (Q200)

Prosjektnavn: Etna - hydraulisk modellering for restaurering

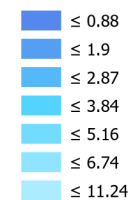
Prosjektnummer: 10230612

Utarbeidet av: NONAAD

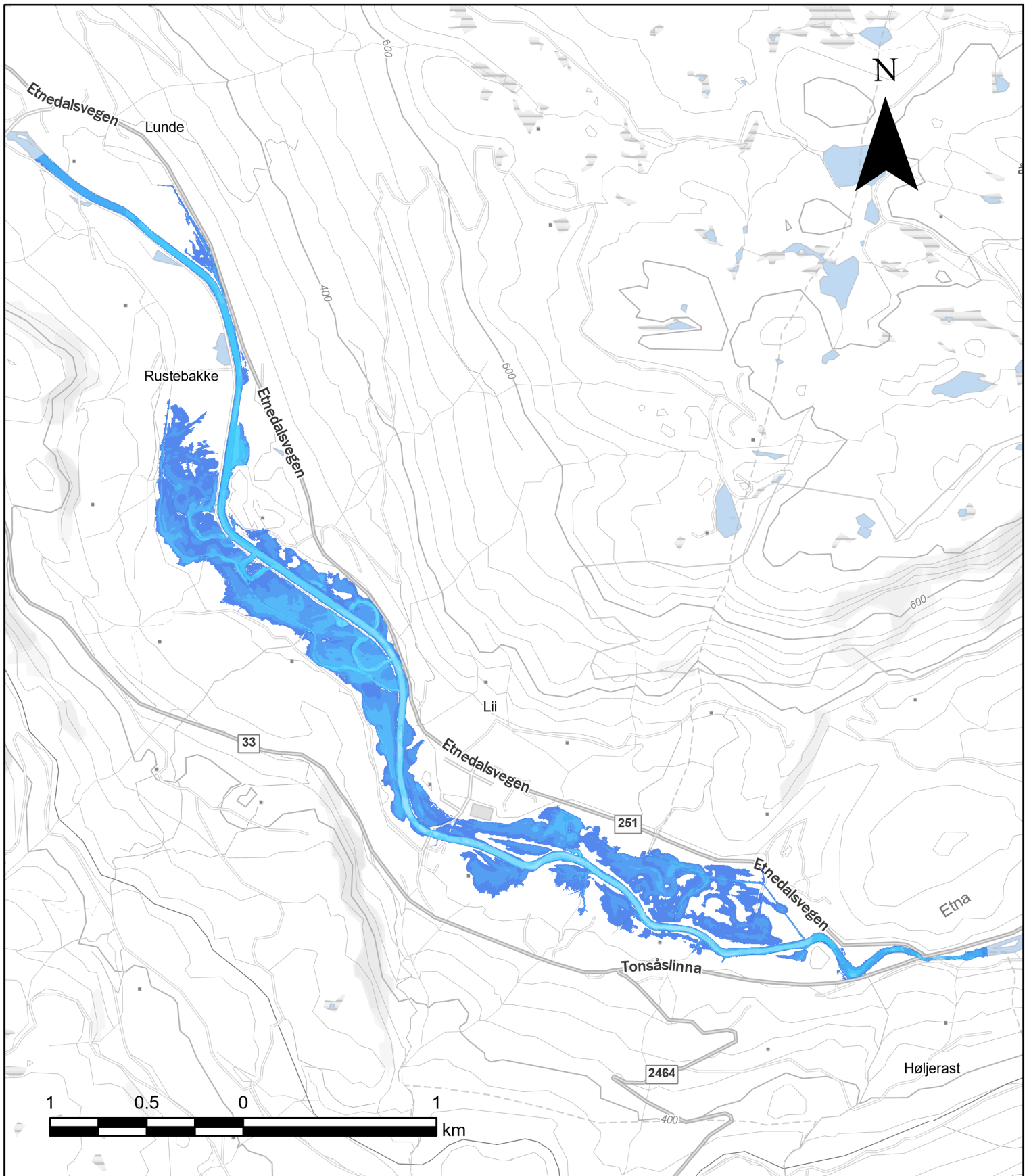
Kontrollert av: NOBJOR

Delområde-2-dagen-Q200

Value



Vedlegg 5.



Flomsonekart for delområde-1 med tiltak Middelflom (Qm)

Prosjektnavn: Etna - hydraulisk modellering for restaurering

Prosjektnummer: 10230612

Utarbeidet av: NONAAD

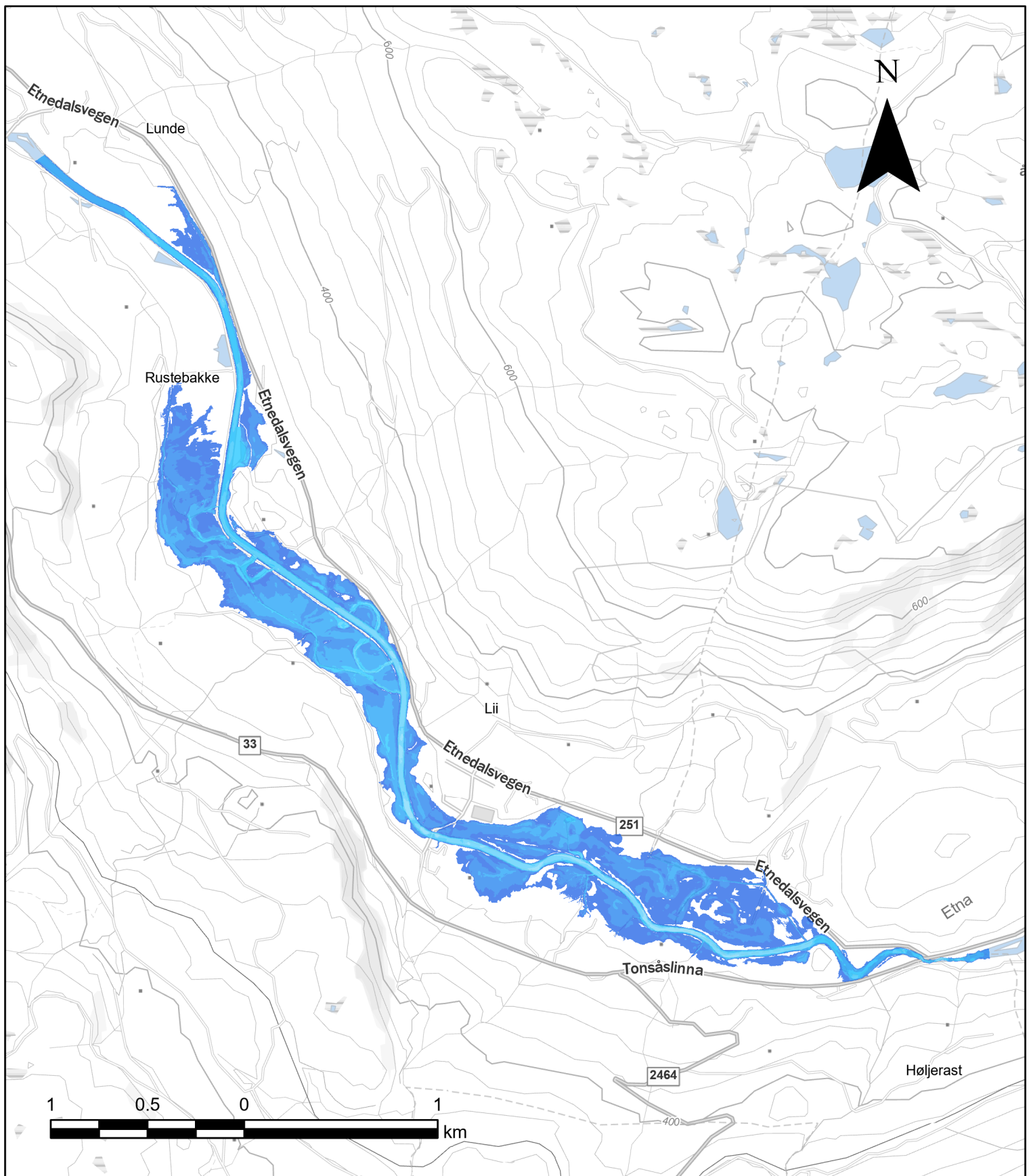
Kontrollert av: NOBJOR

Delområde-1-tiltak-Qm

Value

≤ 0.55
≤ 1.18
≤ 2.06
≤ 3.07
≤ 4.19
≤ 5.43
≤ 7.74

SWECO 



**Flomsonekart for delområde-1
med tiltak
5-årsflom (Q5)**

Prosjektnavn: Etna - hydraulisk modellering for restaurering

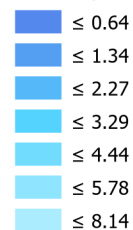
Prosjektnummer: 10230612

Utarbeidet av: NONAAD

Kontrollert av: NOBJOR

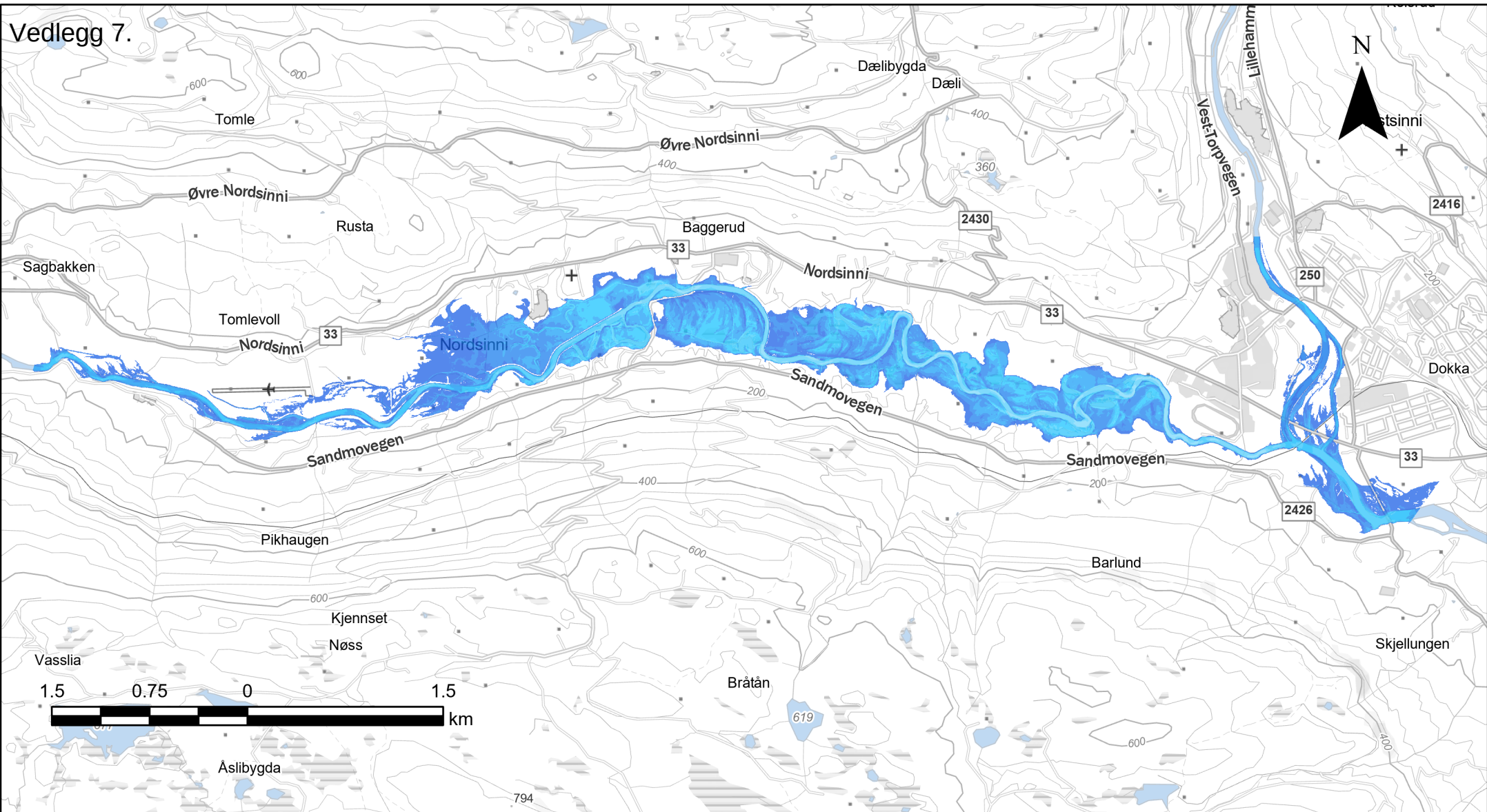
Delområde-1-tiltak-Q5

Vanndybde(m)



SWECO

Vedlegg 7.



**Flomsonekart for delområde-2
med tiltak
Middelflom (Qm)**

Prosjektnavn: Etna - hydraulisk modellering for restaurering

Prosjektnummer: 10230612

Utarbeidet av: NONAAD

Kontrollert av: NOBJOR

Delområde-2-tiltak-Qm

Value

- ≤ 0.65
- ≤ 1.26
- ≤ 1.84
- ≤ 2.52
- ≤ 3.57
- ≤ 4.9
- ≤ 9.19

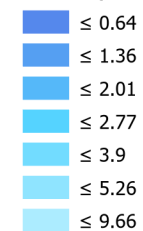


Vedlegg 8.

The map shows the Sandmovegen river system and surrounding areas. Key locations include Tomle, Øvre Nordsinni, Rusta, Sagbakken, Tomlevoll, Nordsinni, Sandmovegen, Pikhaugen, Kjennset, Nøss, Vasslia, Aslibygda, Bråtån, Dælibygda, Dæli, Barlund, Skjellungen, Dokka, and Lillehammer. The map also shows the Vest-Torpegen river and the Lillehammer area. A scale bar indicates distances up to 1.5 km. A north arrow is present in the top right corner.

Prosjektnavn: Etna - hydraulisk modellering for restaurering
Prosjektnummer: 10230612
Utarbeidet av: NONAAD
Kontrollert av: NOBJOR

Vanndybde(m)



SWECO 

Vedlegg 9.

ADCP rapport NVE

Stasj.nr

100-1000

Målt av

NOSKLA/NOBJOR

Navn

Etna

Ført av

NOSKLA

Dato

2022-06-16



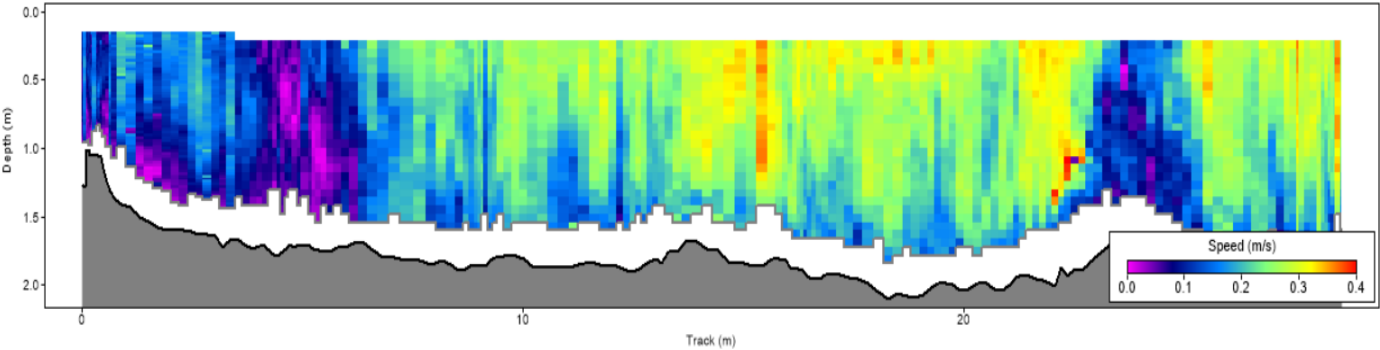
Vst	142.840	m	T (start):	21:05:16	Vst før	142.840	m	Bredde	37.02	m	Q, snitt	12.986	m³/s	ADCP Test:	Yes		
Q	12.99	m³/s	T (slutt)	21:48:37	Vst etter	Ikke målt	m	Areal	66.02	m²	Q, median	12.741	m³/s	Comp.cal.	Yes (no eval.)		
Kvalitet	Dårlig		Tot. Tid (t:m:s)	00:37:18				Snittdyp	1.78	m	100*std/mean	3.94	%	Moving Bed-test	Loop	Staj.	
								Max-dyp	2.21	m	Målt Q:	50.30	%	Antall	0	0	
								Snitthast., Q/A	0.20	m/s	Målt Q:	6.53	m³/s	Brukervalg: Gyldig (y/n)			
Instrument:	M9		Blanking:	0.160	m	Vann-temp	N/A	°C	Max vannhast.	0.39	m/s	Q, kurve		m³/s	Brukervalg: Bruk (y/n)		
Serie #:	5329		ADCP dyp	0.09	m	Instr T. (min)	16.72	°C	Extrap	P/P/0.2416		Q % kurve	0.00	%	Qrev MB (y/n/unknown)		
Firmware:	4.1		Bin size	N/A	m	Instr T. (max)	17.12	°C	Q u/Extr (+01%)	13.060	m³/s	Skalering		m³/s	Good/Warn/Error		
Software:	QRev 4.31		Ref.	GGA		Lydhastighet	QRev										

Målested	Gangbru ved motosportsenter
HMS:	
Tekst	Edges: Right edge Q is greater than 5%; MOVING-BED TEST: No moving bed test;TRANSECTS: RS Comments: Transects selected are not reciprocal transects;Compass: Calibration result > 0.2 deg; Compass: One or more transects have a change in mag field exceeding 2%;Temperature: No independent temperature reading;Edges: User modified right edge type. Edges: User modified right user discharge. [2022-07-04 16:10:12, NOSKLA]: File Saved Q = 12.84 m³/s (Uncertainty: 9.5%) [2022-07-04 16:12:32, NOSKLA]: File Saved Q = 13.00 m³/s (Uncertainty: 8.9%) [2022-07-04 16:14:00, NOSKLA]: File Saved Q = 12.99 m³/s (Uncertainty: 9.7%) [2022-07-08 09:06:00, NOSKLA]: File Saved Q = 12.99 m³/s (Uncertainty: 9.7%)

Fil	Start-bredde	Tid			Vannføring [m³/s]					Vannføring [%]			Avst. Land [m]		Q/A [m/s]	Areal [m²]	Bredde [m]	Snittdyp [m]	Ugyldige	
		Start-tid	Slutt-tid	Ant. sek.	Total	Topp	Bunn	Venstre	Høyre	% avvik	% målt	% side	V	H					Bins [%]	Ens [%]

Kvalitetsbeskrivelse

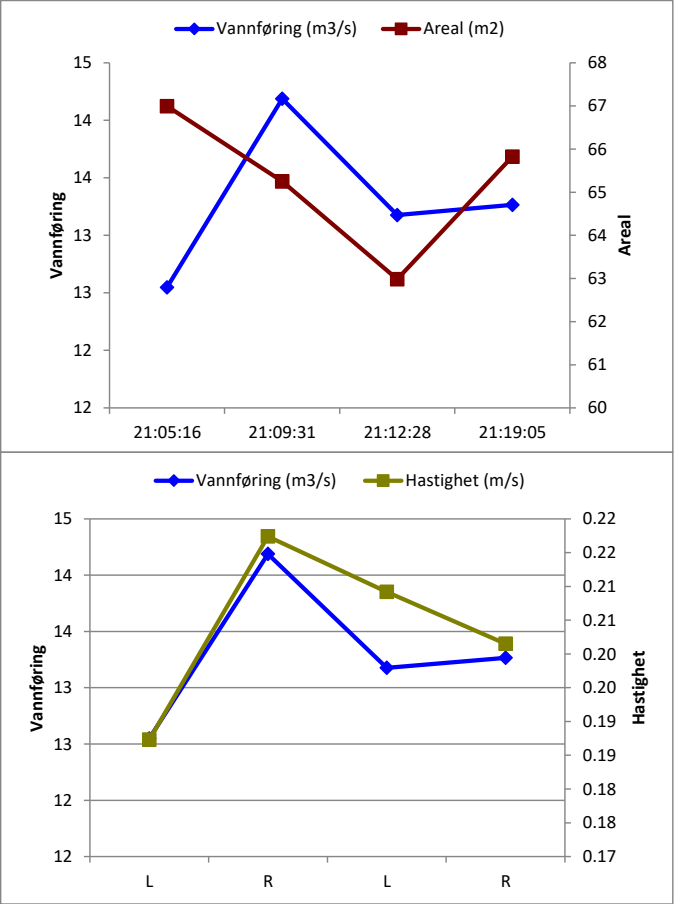
Hva	Forklaring			Karakter(*)	Denne målingen	Kommentar
Vannstand	Se arket Hjelp			3		Målt med RTK-GPS
Skalering/Tidsforskyving	Se arket Hjelp			3		Målt innenfor 20 min
Magefølelse	Subjektivt. Mye basert på feltarbeidet.			1		Veldig rolige strømningsforhold. Båt
Directional error	God: 0-2%	Middels: 2-5%	Dårlig: > 5%	2	4%	
Store sidetillegg	God: 0-2%	Middels: 2-5%	Dårlig: > 5%	1	L=0,3%, H=30%	Stor sidetillegg på høyre side pga. stor
Ekstrapolering	God: 0-25%	Middels: 25-45%	Dårlig: > 45%	3		
%Q i dårlige bins/ensembler	Se punkt 3			1		
Moving bed	3: Test utført	2: Nei, subjektivt	3: Ikke vurdert	3		Forventer ikke MB
Rotete shiptrack	Subjektivt. Viktigst ved "trege" moder som TRDI wm 12			3		
Rotete bunn	Se arket Hjelp			3		
Rotete strømming	Se arket Hjelp			2		Enkelte områder hvor båt gikk
CV (Std.avvik/middelQ)	0 - 5	5-8	> 8	1	9,7%	
Tidsbruk	> 12 min	8 - 12 min	< 8 min	3		37 min totalt. Ca. 4 min per måling.



Poeng fra skjema	1.92
Karakter(**)	Middels

Qrev 95% usikkerhet

(*) 0=ubrukelig, 1=dårlig, 2=middels, 3=god
(**) Dette er forslag til karakter. Bedøm selv om du er enig.



Vedlegg 10. Vannlinje ved de ulike tiltakene

Til hjelp for å videre prosjektere størrelse og kotehøyde for åpninger i flomvoller er det angitt høyde på vannspeil i Etnas elveløp ved ulik vannføring i tabellen under. For lokalitet 7 er ikke vannspeil i Etna veldig relevant fordi gjennomstrømning i flomløpet også avhenger av vannføring fra Leppa.

Lokalitet		Vannstand ved middelflom [moh.]		Vannstand ved 5-årsflom [moh.]	Vannstand ved 200-årsflom [moh.]
		Med tiltak	Uten tiltak	Med tiltak	Uten tiltak
1	Dam ved Lundbyhagen	234,8	234,9	235,1	236,4
2-3	Meander mellom Røstenge og Dølstogo	234,4	234,7	234,7	235,9
4-5	Meander ved Dølstogo	234,1	234,4	234,4	235,5
6-7	Meandere ved Bekkelund	233,9	234,0	234,3	235,3
9	Flomvoll sør for elva ved Sandmoen	156,8	156,8	157,0	157,8
10	Flomvoll nord for elva ved Tomlevoll	154,2	153,3	154,5	155,2
11	Flomvoll ved Bjørnmoen	149,2	149,4	149,4	150,4
12-13	Flomløp sør for Persmoen	148,9	149,1	149,1	150,0
14	Flyttet flomvoll #2 flomløp sør for Persmoen	147,9	148,3	148,1	149,3
15-16	Meander #1 ved Øyom	147,3	147,4	147,6	148,6
17-18	Meander #2 ved Øyom	147,3	147,3	147,5	148,6

Vedlegg 11. HEC RAS-prosjekt

De mest relevante filene i HEC-RAS-prosjektet er som følgende:

HEC RAS navn	Forklaring
Results	
Sone-1-dagen-Qm	Delområde-1, middelflom, dagens situasjon.
Sone-1-dagen-Q200	Delområde-1, 200-årsflom, dagens situasjon.
Sone-1-tiltak-Qm	Delområde-1, middelflom, med tiltak
Sone-1-tiltak-Q5	Delområde-1, 5-årsflom, med tiltak
Sone-2-dagen-Qm	Delområde-2, middelflom, dagens situasjon.
Sone-2-dagen-Q200	Delområde-2, 200-årsflom, dagens situasjon.
Sone-2-tiltak-Qm	Delområde-2, middelflom, med tiltak
Sone-2-tiltak-Q5	Delområde-2, 5-årsflom, med tiltak
Terrains	
Terrengdata_LundeBru_Holjerost	Delområde-1, dagens situasjon
Terreng_Leppa_Dokka	Delområde-2, dagens situasjon
Terrengdata_LundeBru_Holjerost_sone1_tiltak	Delområde-1, med tiltak
Terreng_Leppa_Dokka_sone2_tiltak	Delområde-2, med tiltak

Rasterfiler med vanndybde for hver kjøring finnes i mappen med samme navn som resultat-fila inne i HEC RAS mappestrukturen. Disse kan brukes i vanlige GIS-program.