

Til: Vågå kommune
 Fra: Tonje Grini
 Dato: 2023-04-24

► Simulering av flomnivå i Ottaelva ved Lalm

I forbindelse med forprosjektet for Lalm vassverk for Vågå kommune, er det utført simuleringer av flomnivå ved ulike vannføringer i Ottaelva ved Lalm. Hensikten er å finne aktuelle plasseringer av vassverk og råvannsbrønner og behovet for eventuell flomsikring. Simuleringen er utført med 1D vannlinjeberegning i HEC-RAS, som er et program utviklet av US Army Corps of Engineers for hydraulisk modellering av vassdrag (US Army Corps of Engineers).

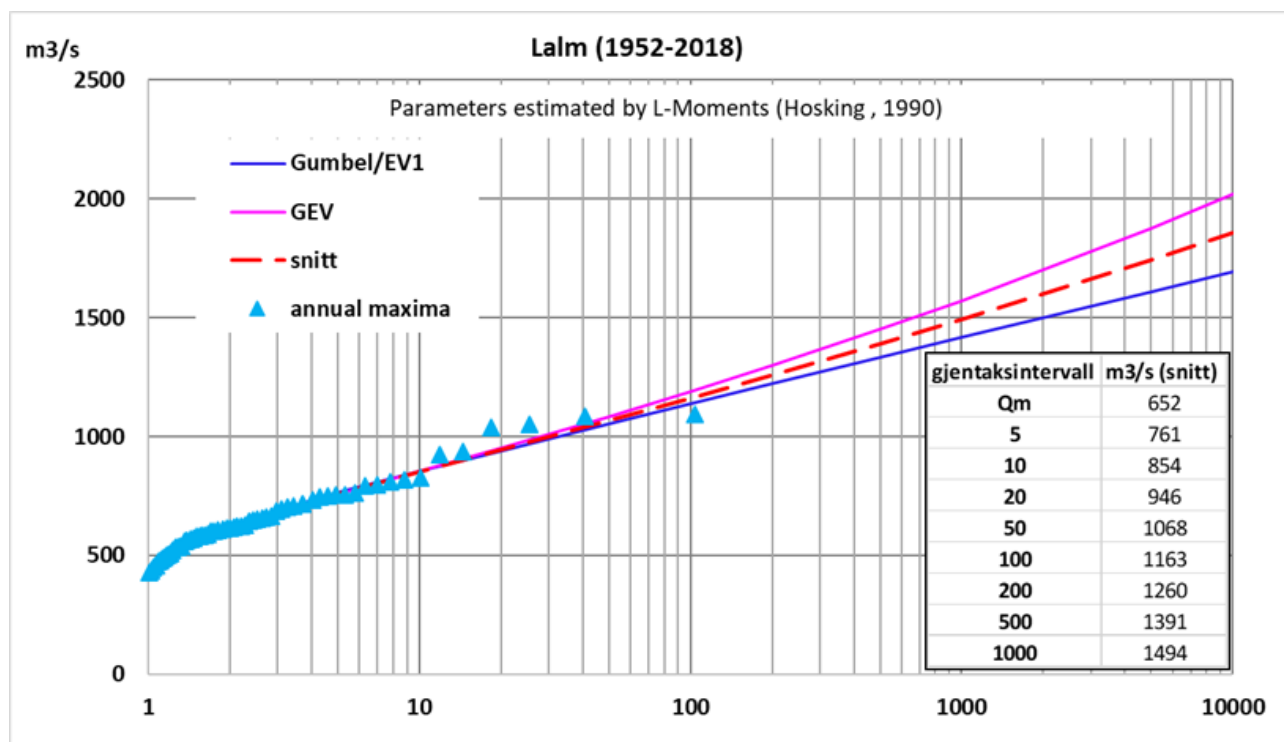
Dimensjonerende flom for nytt vassverk er antatt å være 1000-årsflom, mens for råvannsbrønner er 200 og 500-årsflommer også interessante. Notatet beskriver oppbygging av modellen i HEC-RAS og oppsummerer resultatene av vannlinjeberegningen for disse flommene. Det er også beregnet vannstand med 20 % klimapåslag på 1000-årsflommen.

1 Grunnlag

Utgangspunktet for flomberegningene er data for vannføring og vannstand fra målestasjonen på Lalm. Den ligger ca. 500 meter nedstrøms dagens vassverk (se figur 1). Eidsiva har beregnet vannføringen og vannstanden for flommer med gitte gjentaksintervall ved målestasjonen (se Figur 2 og tabell 1). Tabell 2 viser tre historiske flommer med beregnede og målte vannstander og vannføringer.



Figur 1: Oversiktskart med Lalm vassverk med råvannsbrønner og målestasjonen i Lalm.



Figur 2: Analyser for målestasjonen Lalm (Eidsiva).

Hydrateam, som drifter målestasjonen i Lalm, har bistått med informasjon spesielt vedrørende høstflommen i 2018, som tilsvarte ca. 100-årsflom. NVE har også målinger av vannstander og vannføringer fra langt tilbake i tid, og data for vannføringer/vårflommer i juni 1918 og 1995 er tatt med for å kalibrere modellen og se hvordan vannstandsforskjellen mellom målestasjonen og vassverket forandrer seg med vannføring. Bilder og beretninger fra flomhendelsen i 2018 er benyttet for å kalibrere vannlinjeberegningene mot observasjoner.

Vannstandene i tabell 1 og 2 er hentet fra vannføringskurven til målestasjon 2.25.0 (Sildre.nve.no) og regnet om til NN2000, der omregning fra NN54-høyder tilsvarer en koteendring på +12 cm. I epost fra Hydrateam (Geir Gautun, 2023-03-37) opplyses det om denne vannføringskurven ikke er oppdatert med nyeste målinger, og at den sannsynligvis «overestimerer» vannstander med ca. 15-20 cm (usikkert) for flommer i størrelsesorden 1500-1800 m³/s (se vedlegg 1).

Tabell 1: Beregnede vannføringer og vannstander for flommer ved ulike gjentakintervall (oppgitt av Eidsiva). Vannstandene er gitt i NN2000.

Gjentaksintervall (Eidsiva/NVE)	Vannføring [m ³ /s]	Vannstand [moh]
200 år	1260	359,65
500 år	1391	360,04
1000 år	1494	360,32
1000 år + 20 %	1793	361,12

Tabell 2: Estimert vannføring og målt vannstand ved historiske flommer/vannstander. Vannstander er gitt i NN2000.

Historiske flommer/vannføringer	Vannføring [m ³ /s]	Vannstand [moh]
01.06.1918	212	355,44
03.06.1995 (NVE)	724	357,83
Høst 2018 (Hydrateam)	1190	359,30

NVE har beregnet middelflom på Lalm til å være på ca. 667 m³/s. De har også gjort beregninger av vannstand ved flommer med ulike gjentaksintervaller ved Lalm målestasjon. Eidsiva oppgir at NVEs verdier er noe lavere. f.eks. tilsvarer en Q1000 en vannføring på 1380 m³/s. Det er i en tidligere vurdering av de kommunale vassverkene i Vågå kommune (Norconsult AS, 2008) angitt vannstander beregnet av NVE for mindre flommer som kan oppstå ved Lalm vassverk (tabell 3). Dette er under forutsetningen av at vannstanden er omtrent lik ved målestasjonen og vassverket. Disse er ikke benyttet i kalibrering av modellen, da tilsvarende vannføringer ikke er kjent. De kan imidlertid gi en pekepinn på hvilke vannstander man kan forvente fra simuleringen dersom vannstandene er tilnærmet lik ved de to punktene.

Tabell 3: Vannstander beregnet av NVE for ulike flommer ved Lalm vassverk. Vannstander er gitt i NN2000.

Gjentaksintervall	Vannstand [moh]
50 år	358,92
100 år	359,22
200 år	359,52

Ottaelva er regulert ved Eidefossen kraftverk. Denne er lokalisert ca. 2,2 km nedstrøms målestasjonen på Lalm. Utfra flyfoto av elveløpet mellom målestasjonen og kraftverket er det vurdert slik at regulering ved kraftverket ikke påvirker flomnivået ved Lalm.

2 Problemstilling

Hydrateam har antydnet at det er ca. 20 cm høyere vannstand ved Lalm vassverk enn ved målestasjonen. Vannlinjeberegningene skal forsøke å avdekke den faktiske forskjellen i vannstand mellom målestasjonen og Lalm vassverk ved ulike flommer, samt beregne vannstand ved Lalm vassverk for flommer som har betydning for plassering av nytt vassverk og evt. brønner for grunnvannsuttak.

3 Oppbygging av modell

3.1 Prinsipp

Vannlinjeberegningene i HEC-RAS viser hvor høyt vannstanden stiger for en gitt vannføring. Som grunnlag for beregningene trengs det informasjon om;

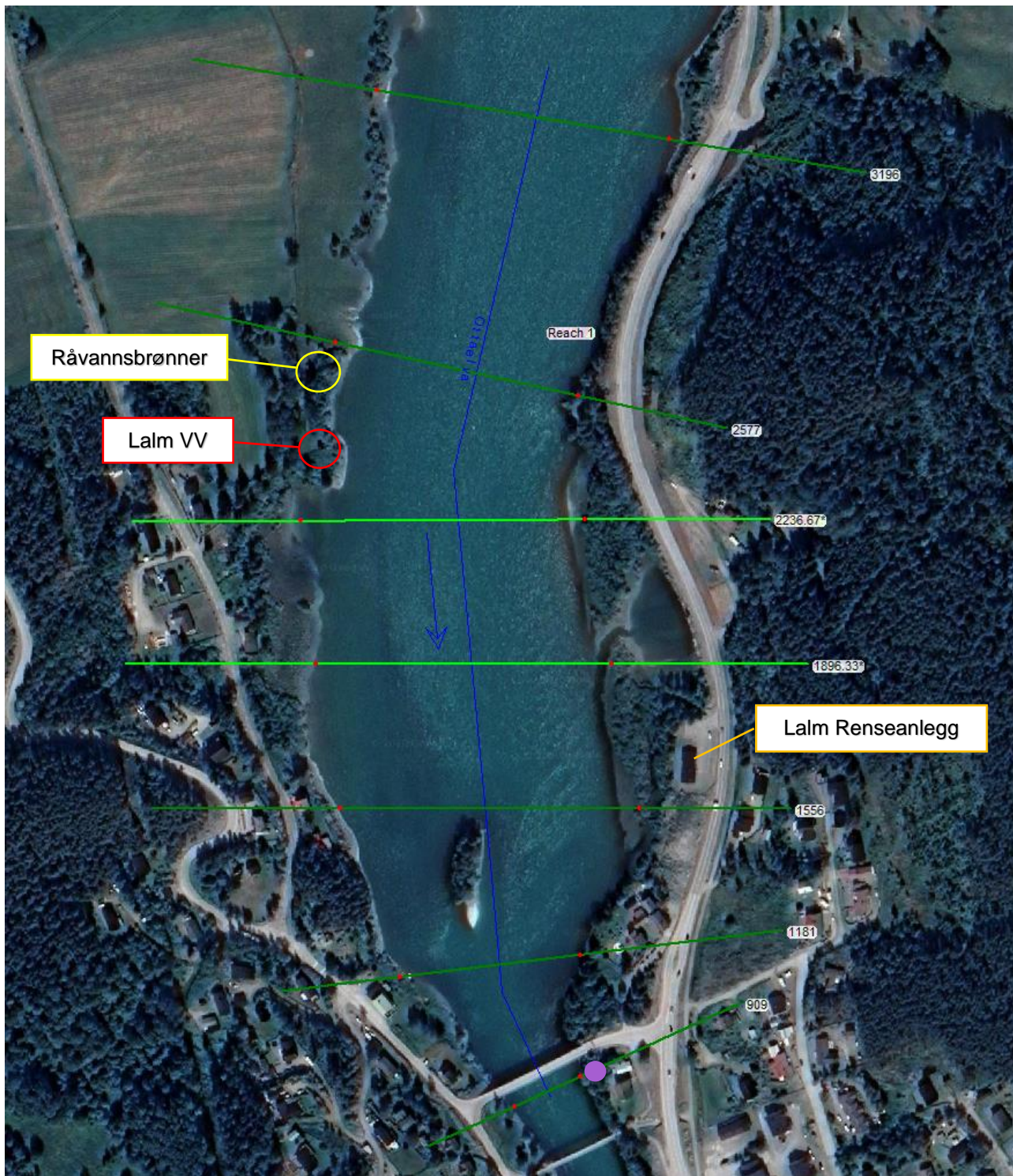
- Elvas geometri, fra målte tverrprofil, laserdata e.l.
- Vannføring (m³/s)
- Elvas ruhet, som anslås skjønsmessig utfra tabeller
- Grensebetingelser i oppstrøms og nedstrøms ende av beregningsstrekningen. I oppstrøms ende brukes vanligvis vannføringen (tilstrømmende vann) som grensebetingelse. I nedstrøms ende brukes vannstanden.

Beregningene kan gjøres i en, to eller tre romlige dimensjoner (1D, 2D eller 3D). Ved en-dimensjonal beregning deles elva opp i tverrsnitt som går over hele bredden av elva, samt noe til sidene for elva for å inkludere elvesletter som oversvømmes ved flom. Med denne metoden kan elvas geometri defineres manuelt, f.eks. utfra innmålinger. For vannlinjeberegningene i Ottaelva ved Lalm er en-dimensjonal beregning benyttet ettersom vi ikke har terrengdata som inkluderer elvebunnen, men har innmåling av dybde ved ett tverrsnitt. Selv om 2D og 3D beregninger gir mer detaljerte vannlinjeberegninger, anses 1D beregning som tilstrekkelig der elva følger et definert bekkeløp, slik tilfellet er her.

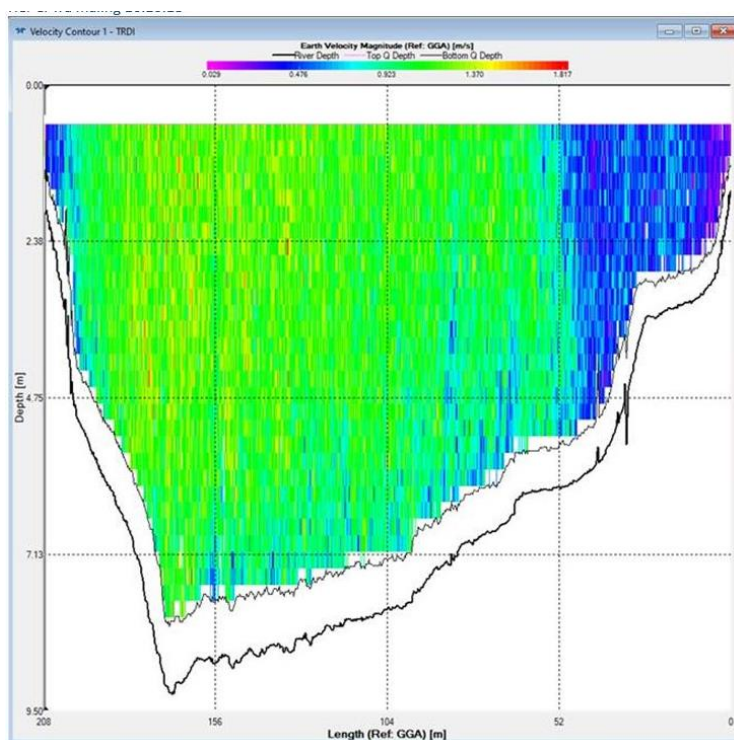
3.2 Elvas geometri

Figur 2 viser modellert elvestrekning med 7 tverrsnitt som programmet utfører beregninger ved. Elva renner mot sør (nedover i figuren), først forbi råvannbrønnene (gul sirkel) og Lalm vassverk (rød sirkel), deretter forbi målestasjonen på Lalm (lilla prikk). Ved profil 2577 ble det gjort innmåling av elvas dybde under flommen i oktober 2018 (figur 3). Største dybde som ble målt var ca. 9,5 meter. Kote på vannstand ble ikke innmålt, men ved tilpassing av geometri i tverrsnittet er det antatt en differanse på +20 cm i forhold til vannstanden ved målestasjonen.

Elvas geometri i øvrige tverrsnitt er antatt utfra det kjente tverrsnittet, terrenget langs elva og flyfoto for flere år som viser hvor det er dyp og grunner. Dybde av elva ved vannstand ca. kote 354 (median) varierer i den ferdige modellen mellom ca. 1,5 og 4 meter over hele strekningen.



Figur 3: Oppbygging av modellen i HEC-RAS baserer seg på å definere et elveløp og elvesletter, samt tverrsnitt for beregninger. Lysegrønne tverrsnittlinjer er interpolerte tverrsnitt, mens mørkegrønne er manuelt innlagt. Lilla prikk viser plassering av målestasjonen på Lalm, mens rød sirkel viser plassering av Lalm vassverk.



Figur 4: Innmålte dybder ved profil 2577, utført av Hydrateam under høstflommen i 2018. Kotehøyde på vannflaten er ikke gitt, og er derfor estimert utfra vannstand ved Lalm målestasjon, med et påslag på 20 cm.

3.3 Vannføring

Vannføringene som simuleres angis som de øvre grensebetingelsene. Det er benyttet vannføringer som er vist i tabell 1 og 2. Vannføringene i tabell 1 er de som er interessante i forhold til å vurdere flomsikker plassering av vassverk og råvannsbrønner. Vannføringene i tabell 2 er benyttet for å kalibrere modellen.

3.4 Elvas ruhet

Beregningene baserer seg på Mannings formel, og det er valgt et Mannings tall på 33 for elveløp og 20 for elvesletter. Dette på bakgrunn av at elveløpet er relativt rett på strekningen uten mange hindringer, men at sideområder har en del vegetasjon og andre hindringer. Det er antatt samme Mannings tall for alle tverrsnitt. Grensene mellom elveløp og elveslette er gitt av de røde prikkene på tverrsnittene i figur 2.

3.5 Grensebetingelser

Oppstrøms grensebetingelse ved profil 3196 er vannføring, jfr. 3.3. Nedre grensebetingelse er ved målestasjonen på Lalm (profil 909) og er definert som de kjente vannstandene for vannføringene som skal simuleres, som vist i tabell 1 og 2.

4 Simulering av flomhendelser

4.1 Kalibrering

Kalibrering av modellen dreier seg i hovedsak om å tilpasse modellparametre slik at beregningene viser fornuftige vannstander. De nedre grensebetingelsene bidrar til kalibrering mot vannstander ved målestasjonen. Elveprofilen oppstrøms målestasjonen er justert slik at simulert vannstand ved 1190 m³/s stemmer overens med observerte vannstander under flommen i 2018.

Flommen i oktober 2018 er godt dokumentert med bilder av og vitneutsagn om hvor høyt vannet stod på noen punkter ved Lalm. Det er særlig bilder fra aviser (Norrdalen og GD) og observasjoner gjort av Hydrateam som var ute og målte dybder under flommen som er benyttet for å sammenlikne simulert og faktisk vannstand. Det tas forbehold om at tidspunkt for når bilder er tatt av media kan avvike fra kulminasjon, dvs. høyeste vannstand under flommen. Vannstanden som oppsto ved Lalm renseanlegg er særlig interessant, da dette ligger nærmere Lalm vassverk enn målestasjonen (se figur 2). Flyfoto viser at det er tilsynelatende lite endringer i dybde og hydrauliske forhold mellom disse to punktene som tilsier at vannstanden ikke skal fravike betydelig. Hvor høyt vannet står ved renseanlegget gir derfor en god indikasjon på hvor høyt vannet står ved Lalm vassverk. Tilsvarende observasjoner er ikke kjent fra andre flommer.

4.2 Verifisering

Verifisering av beregningene av vannstander for dimensjonerende flommer (200, 500 og 1000 år) er vanskelig uten mer dokumentasjon av slike flommer ved Lalm. Det samme gjelder forskjellen mellom vannstanden ved målestasjonen og vassverket ved dimensjonerende flommer.

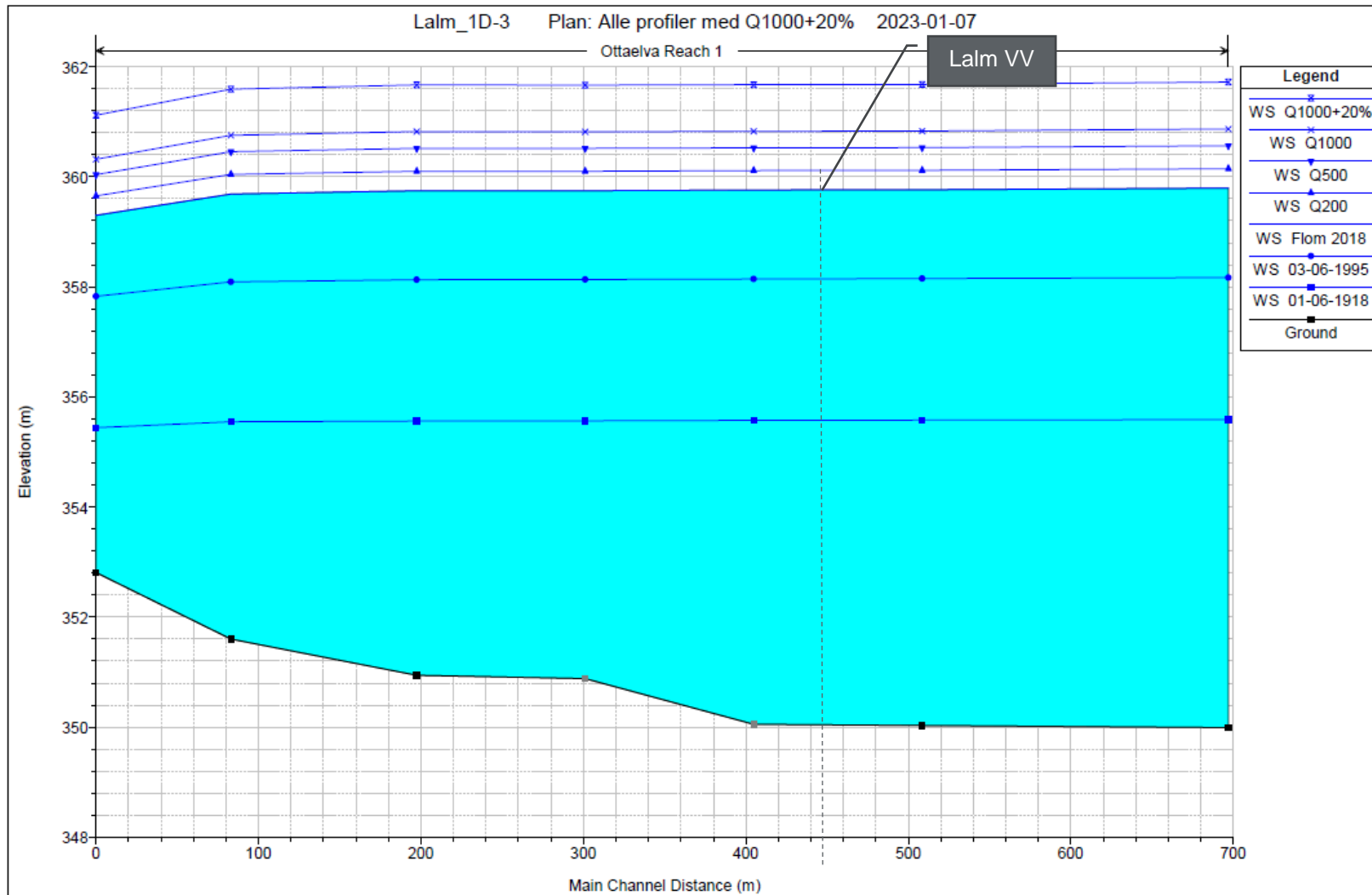
4.3 Beregning av vannlinje for dimensjonerende flom

Det er gjort steady flow beregninger, som vil si at strømmingen i ethvert punkt i elva er antatt å være uavhengig av tid. Dette er en forenkling av virkeligheten, men er antatt å være nøyaktig nok for å beregne vannstander i dette tilfellet.

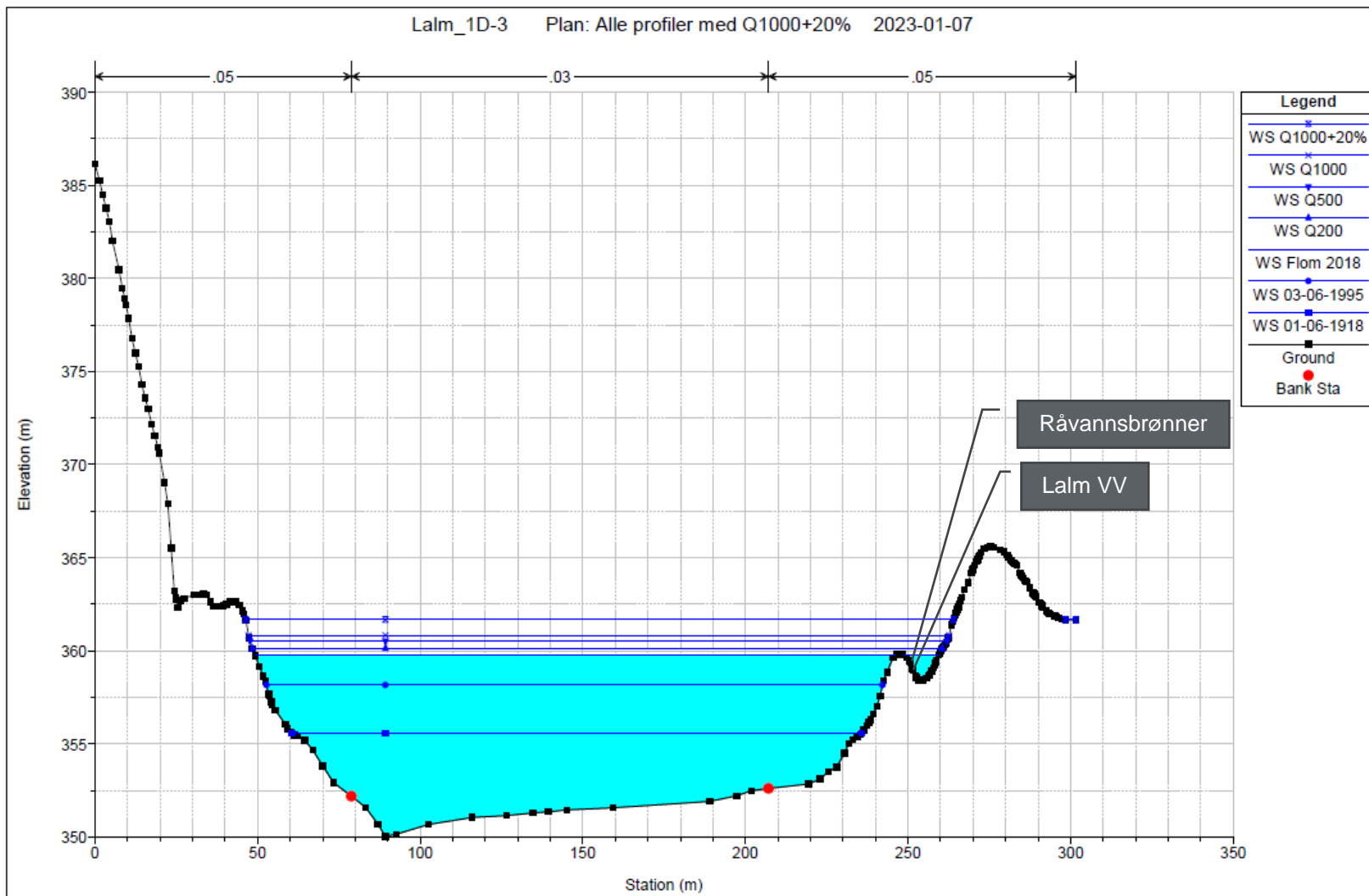
5 Resultat av simuleringene

Figur 4 viser et lengdeprofil gjennom de 7 tverrprofilene med simulerte flomnivåer der nivå for høstflommen 2018 er skravert. Forskjell i vannstand fra målestasjonen (profil 909 helt til venstre i grafen) til dagens vassverk (profil 2577) varierer fra 14 cm ved 212 m³/s til 51 cm ved 1000-årsflom (1494 m³/s). Ved vannføring på 724 m³/s er høydedifferansen 32 cm. Simuleringene samsvarer dermed delvis med antydningen om at det er 20cm høydeforskjell mellom målestasjonen og Lalm vassverk.

Figur 5 viser et tverrsnitt av profil 2577, som tilsvarer cirka plassering av de eksisterende råvannsbrønnene tilknyttet Lalm vassverk. Vannstanden som er uthevet med skravur tilsvarer høstflommen 2018 (kote 359,76) Kotehøyde for brønnene er antatt å være på ca. 358,42, mens terrenget rundt er på ca. 359,72 (Norconsult AS, 2008). Disse står derfor utsatt plassert ved ca. 100-årsflom. Selve vassverket er plassert ca. 70 meter sør for profil 2577, på ca. kote 359. Lengdeprofilen viser at vannstanden er den samme i disse profilene, og at vassverket dermed også står utsatt til ved eventuell flom. Det er angitt cirka plassering av råvannsbrønner og vassverk i forhold til vannstander i figuren.



Figur 5: Lengdeprofil med simulerte vannstander ved de 7 tverrsnittene for ulike flommer.



Figur 6: Tverrprofil med vannstander ved 2577 som tilsvarende virke plassering av råvannsbrønnene ved Lalm vassverk.

Oppdragsgiver: **Vågå kommune**

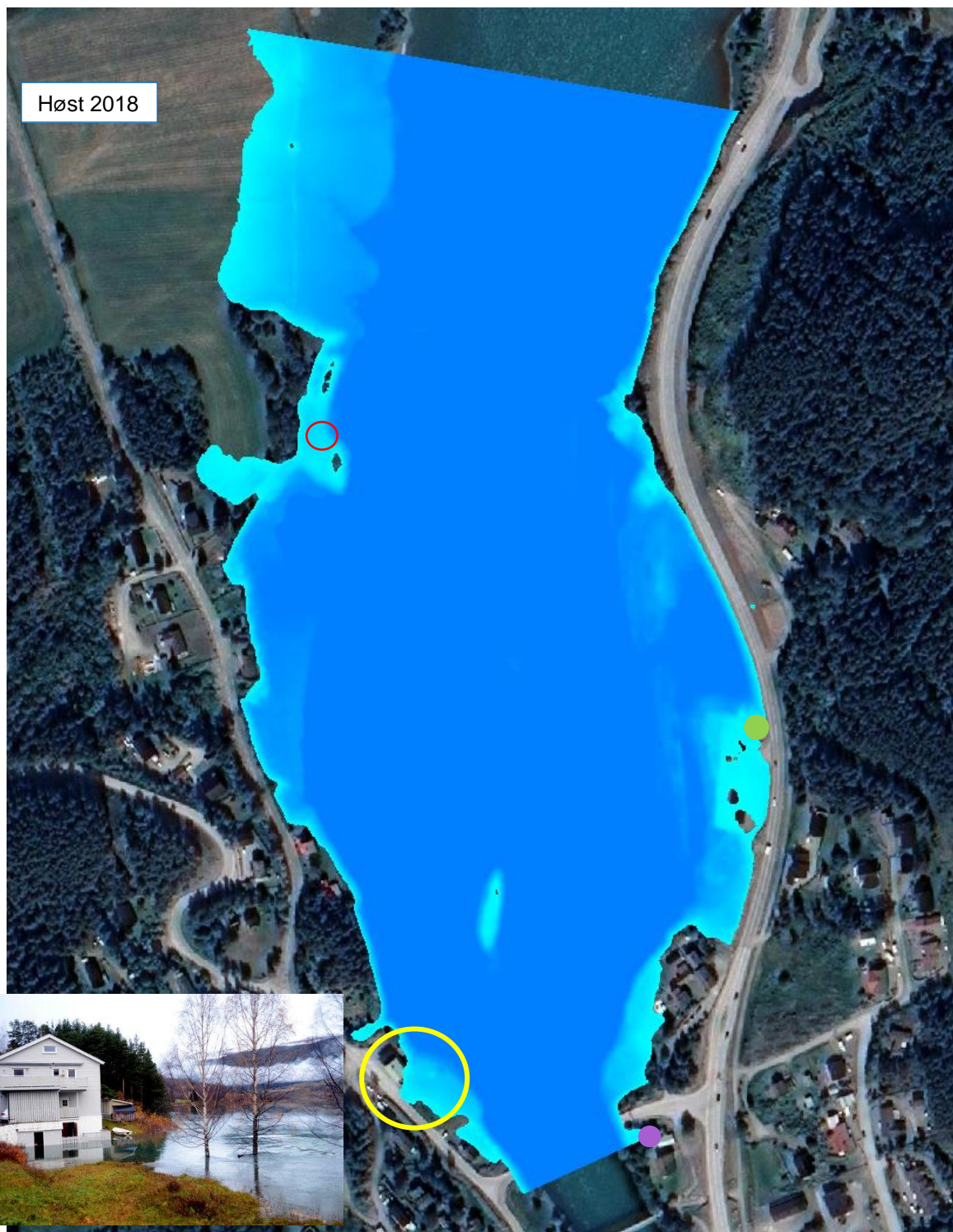
Oppdragsnr.: **5198189** Dokumentnr.: **1**

Tabell 4 og 5 viser simulerte vannstander for de ulike flommene ved vassverket og råvannsbrønner

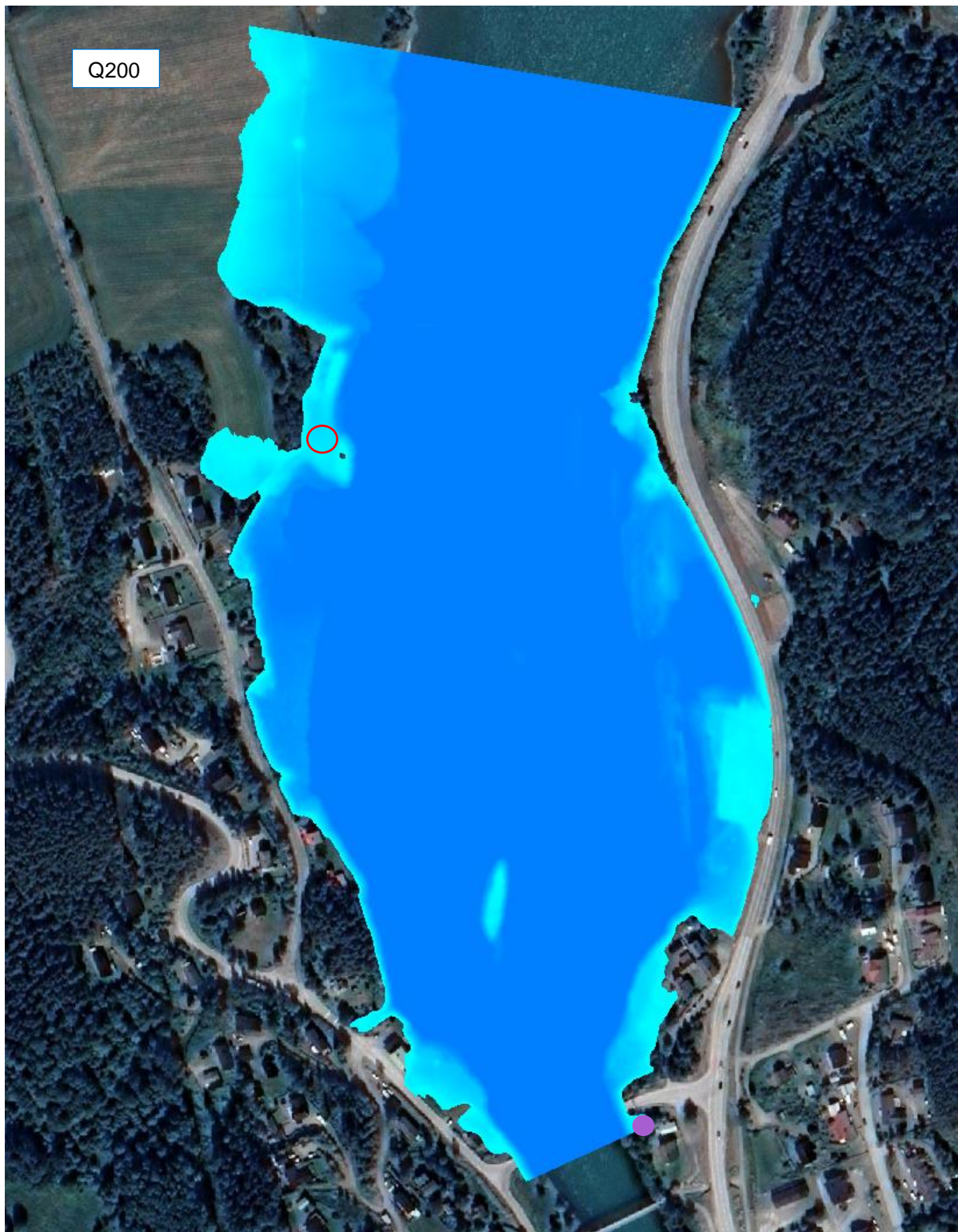
Tabell 4: Simulerte vannføringer og vannstander ved Lalm vassverk. Vannstander er gitt i NN2000.

Gjentaksintervall / historiske flommer og vannføringer	Simulert vannføring [m ³ /s]	Simulert vannstand ved Lalm vassverk/råvannsbrønner [m.o.h]
200 år	1260	360,11
500 år	1391	360,53
1000 år	1494	360,83
1000 år + 20 %	1793	361,68
03.06.1995	724	358,15
01.06.1918	212	355,58
Høst 2018	1190	359,76

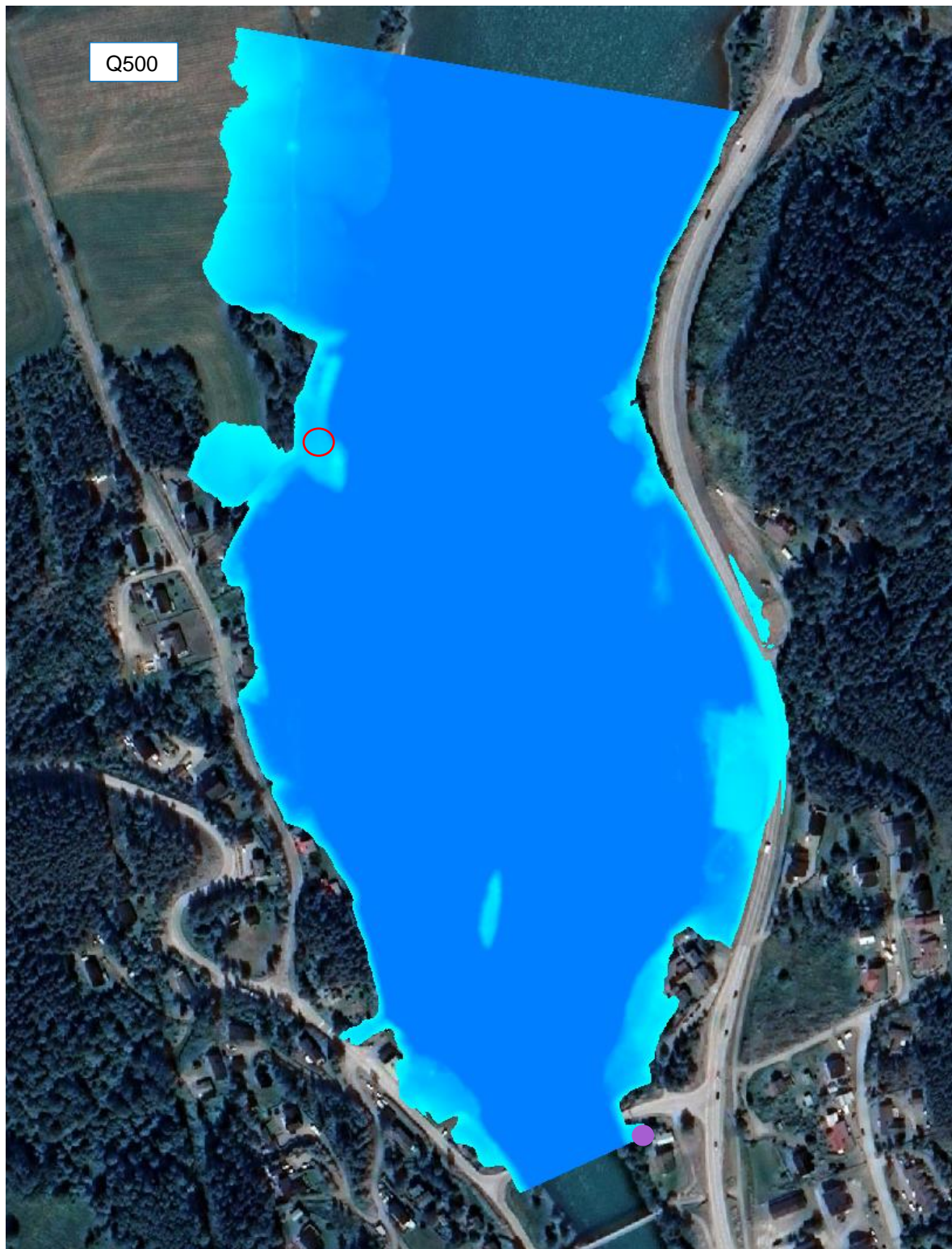
Figur 6-9 viser elveløpets utbredelse ved noen av flommene. Figur 7 viser markerte observasjoner som er brukt i kalibrering av modellen. Den grønne prikken antyder hvor Hydrateam satte ut båt da de målte dybder og vannhastighet under høstflommen i 2018. Det må derfor ha stått vann opp til dette punktet. Det ble også antydnet at renseanlegget i det lyseblå feltet rett sør for prikken hadde vann opp på husveggen. Hvor høyt opp på husveggen vannet stod er usikkert, og en innmåling av dette kunne gitt bedre kalibrering av modellen. Ved den gule sirkelen ble det tatt bilder under høstflommen i 2018. Disse viser at vannet stod ca. 60-70 cm opp på husveggen. Dette stemmer bra med simuleringen.



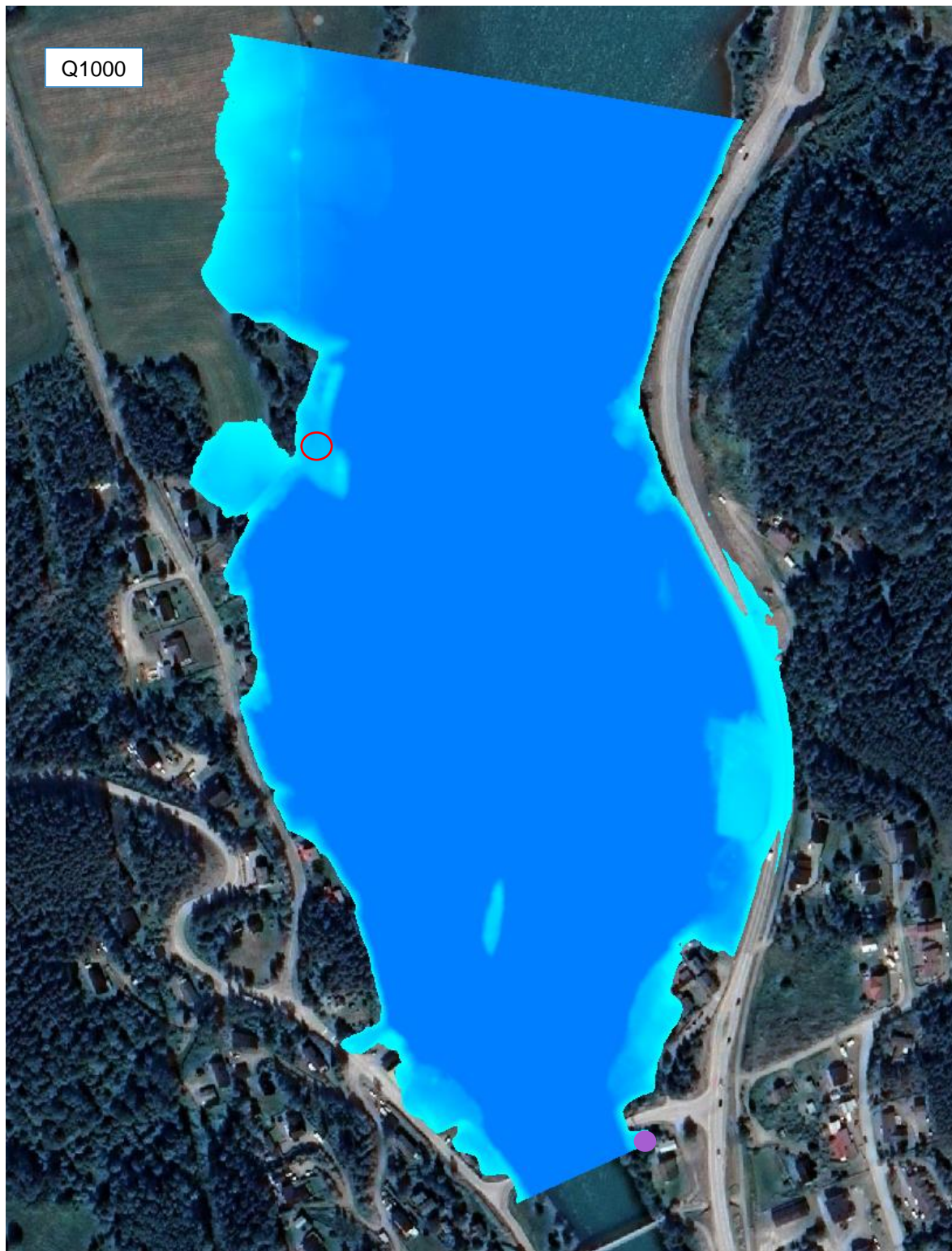
Figur 7: Beregnet flomsone for høstflommen i 2018 ($1190 \text{ m}^3/\text{s}$). Et bilde fra området innenfor gul sirkel er innfelt (foto: Helene Hovden, Norddalen). Dette viser at vannet stod inntil husveggen slik simuleringen også viser. Lilla prikk tilsvarer plassering av målestasjonen på Lalm, mens rød sirkel viser Lalm vassverk. Ved grønn prikk ble det satt ut båt under flommen



Figur 8: Beregnet flomsone for flom med 200-års gjentaksintervall. Lilla prikk viser målestasjonen på Lalm, mens rød sirkel viser Lalm vassverk.



Figur 9: Elveløpets utstrekning ved en flom med 500-års gjentaksintervall (1391 m³/s). Lilla prikk tilsvarer plassering av målestasjonen på Lalm, mens rød sirkel viser Lalm vassverk.



Figur 10: Elveløpets utstrekning ved en flom tilsvarende flom med 1000-års gjentaksintervall ($1494 \text{ m}^3/\text{s}$). Lilla prikk tilsvarer plassering av målestasjonen på Lalm, mens rød sirkel viser Lalm vassverk.



Figur 11: Elveløpets utstrekning ved en flom tilsvarende flom med 1000-års gjentaksintervall med 20 % klimapåslag (1793 m³/s). Lilla prikk tilsvarer plassering av målestasjonen på Lalm, mens rød sirkel viser Lalm vassverk.

6 Kommentar til resultatet

Representanter i Vågå kommune som bevitnet flommen i 2018 antydte at vannet stod opp til 3 meter over de eksisterende brønntoppene under flommen. I simuleringresultatet står vannet ca. 1,3 meter over brønntoppene for vannføring tilsvarende denne flommen (forutsatt at brønntopp er på kote 358,4). Dersom vannet har stått 3 meter over brønntoppene tilsvarer dette en vannstand på ca. kote 361,4. Dette ville gitt en høydeforskjell i vannstand ift. målestasjonen på Lalm på ca. 2,1 meter ved en 100-årsflom. Med de dataene vi har tilgang på er det vanskelig å si om denne endringen er sannsynlig. Hvis dette er tilfelle, vil en 1000-årsflom medføre en betydelig høyere vannstand enn det simuleringen viser.

7 Konklusjon

Vannlinjeberegningene viser at en 1000-årsflom vil medføre en vannstand ved eksisterende Lalm vassverk på ca. 361 moh. 1000-årsflom med 20 % klimapåslag gir vannstand ved vannverket på 361,68 moh.

Vannlinjeberegningen benytter vannstanden fra vannføringskurven fra Lalm målestasjon som nedre grensebetingelse. Kurven er ekstrapolert ca. 50% utover den høyeste målte vannføringen (Vedlegg 1). Den høyeste vannføringen som er målt er 1189 m³/s i 2018, men kurven (vannstanden) er ekstrapolert til 1800 m³/s. Generelt innebærer det betydelig usikkerhet å ekstrapolere så langt. De to broene ved målestasjonen fører til ytterligere usikkerhet. Hvis vannstanden når underkanten av broene så vil kapasiteten gå ned og gi høyere vannstand enn det som følger av kurven.

For mer nøyaktige vannlinjeberegninger anbefales det å måle inn hvor høyt vannet stod ved vannverket under flommen i 2018. I tillegg bør man måle inn broene og noen tverrprofiler nedstrøms for å vurdere faren for ekstra oppstuvning.

Det anbefales å legge til et fribord på den beregnede vannstanden, som tar høyde for at vannlinjeberegningen er usikker. Ved plassering av vannverket innenfor flomsone for 1000-årsflom med 20 % klimapåslag, som er beregnet til 361,68 moh. kan det være fornuftig å benytte en byggehøyde på minimum 362 moh., som tilsvarer et usikkerhetspåslag på 32 cm.

Referanser

Norconsult AS. (2008). *Vurdering av 4 kommunale vannverk - Beskrivelse av status og behov for tiltak.*

US Army Corps of Engineers. (u.d.). *Hydrologic Engineering Center.* Hentet fra HEC-RAS:
<https://www.hec.usace.army.mil/default.aspx>

J03	2023-04-24	Inkl. 1000 år + 20 % klimapåslag	ToGri	LaJe	FrMKo
J02	2020-10-12	For bruk som vedlegg til notat	ToGri	TFo	FrMK
B01	2020-05-06	For info/kommentar	ToGri	LaJe	FrMKo
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Notat

Oppdragsgiver: **Vågå kommune**
Oppdragsnr.: **5198189** Dokumentnr.: **1**

Vedlegg 1 - Vannføringskurve for Lalm (fra Hydrateam).

Blå kurve er eksisterende kurve (brukt som grunnlag i vannlinjeberegninger). Rød kurve er ny «testkurve» som inkluderer flere målinger. Rød kurve viser ca. 15-20 cm lavere vannstand ved flommer tilsvarende 1000-årsflom med uten klimapåslag.

