



Notat

OPPDRAAG	Seljordsvatn - Hydraulisk modellering og bunnkartlegging	DOKUMENTKODE	10266306-01-RIVass-NOT-001_rev02
EMNE	Hydraulisk modellering av utløp Seljordsvatn	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	Skagerak Kraft AS/ Midt-Telemark kommune	OPPDRAAGSLEDER	Sigurd Sørås
KONTAKTPERSON	Lars Ole Thunold	UTARBEIDET AV	Sigurd Sørås og Kristine L. Walløe
KOPI	Hans Kortner Ryen	ANSVARLIG ENHET	10105071 Hydrologi Oslo

SAMMENDRAG

Dette notatet beskriver en undersøkelse av hvordan utløpet fra Seljordsvatn til Bøelva fungerer, og hvilken rolle luken ved utløpet spiller for vannstanden i innsjøen. Målet har vært å finne ut hvor mye vann som kan passere utløpet ved ulike stillinger på luken, og hvordan dette påvirker vannstanden i Seljordsvatn både ved normal vannføring og ved flom.

Arbeidet bygger på nye målinger av bunn og bredder, drone- og flybilder, eldre tegninger og målestasjoner for vannstand og vannføring. Disse dataene er satt sammen til en digital terrengmodell som er brukt i en datamodell (HEC RAS) for å simulere hvordan vannet strømmer ved forskjellig vannføring og ulike lukestillinger. Alle høyder i beregninger er i NN2000.

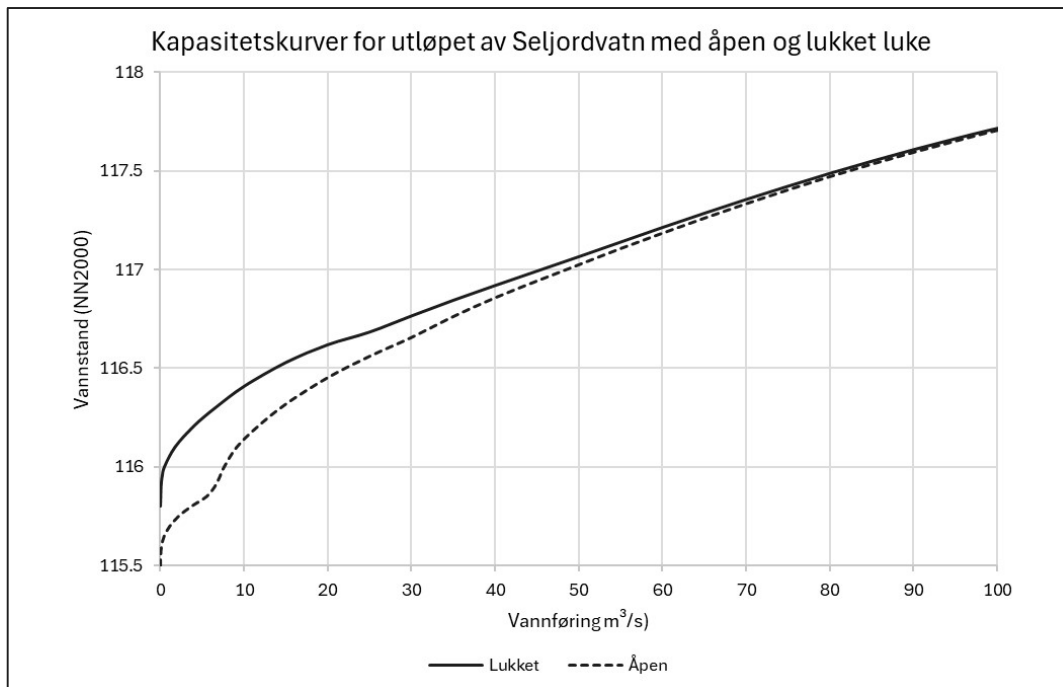
Hovedfunn:

- Når vannføringen er lav, har det stor betydning hvor åpnet luken er. Åpning av luken gir mulighet for å tappe mer vann fra Seljordsvatn enn det naturlig terskel gjør.
- Når vannføringen i Bøelva er $30 \text{ m}^3/\text{s}$ vil vannstanden i Seljordsvatn være ca. 10 cm høyere dersom luken er lukket sammenlignet med om den var åpen (vist i kapasitetskurve på neste side).
- Når vannføringen i Bøelva er $10 \text{ m}^3/\text{s}$ vil vannstanden i Seljordsvatn være ca. 20 cm høyere dersom luken er lukket sammenlignet med om den var åpen (vist i kapasitetskurve på neste side).
- Når vannføringen blir større, reduseres lukens betydning. Ved rundt $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (omtrent middelflom) og høyere er vannstanden i Seljordsvatn helt lik uavhengig av om luken er åpen eller stengt. Årsaken er at elveløpet lenger ned i Bøelva er smalere, og dermed blir det dette området, ikke luka, som begrenser hvor mye vann som kan passere ved store flommer.

Kapasitetskurver

Beregningene er oppsummert i kapasitetskurver som viser sammenhengen mellom vannstanden i Seljordsvatn og vannføringen i Bøelva nedstrøms den naturlige terskelen og luken. Det er utviklet flere kapasitetskurver ved ulike lukestillinger. Forskjellen på kapasiteten ut av Seljordsvatn med åpen og lukket vannstand er vist på neste side. Denne figuren viser at luken har en merkbar effekt (titalls cm) på vannstanden i Seljordsvatn opp til omtrent $30 \text{ m}^3/\text{s}$. Etter det vil luken begynne å ha mindre og mindre påvirkning på vannstanden i Seljordsvatn.

02	31.10.2025	Oppdatert etter tilbakemeldinger fra oppdragsgiver	Sigurd Sørås	Kristine L. Walløe	Sigurd Sørås
01	28.10.2025	Oppdatert etter tilbakemeldinger fra NVE. Modell kalibrert også for vannføringer $>50 \text{ m}^3/\text{s}$.	Kristine L. Walløe	Sigurd Sørås	Sigurd Sørås
00	27.08.2025		Sigurd Sørås	Kristine L. Walløe	Sigurd Sørås
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV



Usikkerheter og forbehold:

- Det er størst usikkerhet i de grunne områdene nær terskelen og rundt kanalen ved luka, fordi det var vanskelig å måle helt nøyaktig der ved feltarbeidet.
- For de aller laveste lukestillingene finnes få observerte data, noe som gir større usikkerhet for beregningene i disse tilfellene.
- Modellresultatene er likevel troverdige fordi de er kalibrert mot observerte vannstander og vannføringer fra målestasjoner.

Praktisk betydning:

- Luken er et effektivt verktøy for regulering av vannstanden ved lav vannføring.
- Ved store flommer er det elvegeometrien (flaskehalser) lengre ned i vassdraget som er avgjørende for vannstanden i Seljordvatn



Innholdsfortegnelse

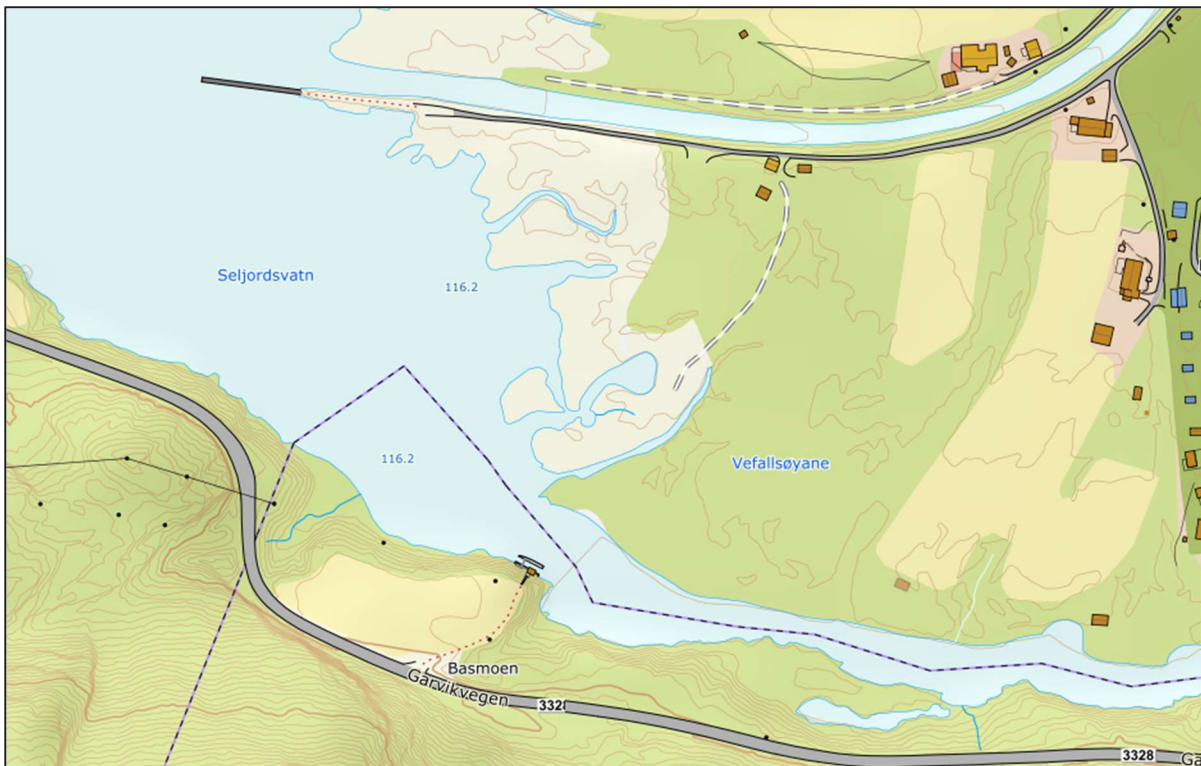
1	Innledning.....	4
2	Grunnlag.....	5
2.1	Oppsummering av konvertering til NN2000.....	5
2.2	Innmålinger av bunnforhold.....	6
2.2.1	Eldre dybdekart.....	6
2.2.2	Dybdekartlegging.....	6
2.2.3	Landmålinger.....	7
2.2.4	Flyfoto.....	7
2.3	Tegninger.....	8
2.4	Dronebilder og film.....	10
2.5	Målte vannføringer og vannstander.....	12
2.5.1	Konvertering av vannføringskurve Hagadrag.....	14
3	Oppsett og kalibrering av hydraulisk modell.....	15
3.1	Modelloppsett.....	15
3.1.1	Ferdigstilling av terrengmodell.....	15
3.1.2	Beregningsceller og grensebetingelser.....	17
3.1.3	Ruhet og andre beregningskoeffisienter.....	18
3.2	Kalibrering.....	18
4	Resultater.....	19
4.1	Kapasitetskurver for 0-30 m ³ /s.....	19
4.1.1	Sammenstilte kapasitetskurver.....	23
4.2	Kapasitetskurver for høyere vannføringer.....	23
4.3	Usikkerheter.....	26
5	Konklusjon.....	26
6	Referanser.....	27
7	Vedlegg.....	28
	Vedlegg 1 – Egne innmålinger Skagerak Kraft AS.....	28
	Vedlegg 2 – Tegninger.....	29
	Vedlegg 3 – Beregnede kapasitetskurver.....	30
	Vedlegg 4 – Routing av to perioder med åpen og lukket luke.....	31
	Vedlegg 5 – Metadata bunnkartlegging Seljordvatn.....	35



1 Innledning

I forbindelse med vilkårsrevisjonen for Seljordvatn i Midt-Telemark kommune, Telemark, har NVE (NVE, 2025) bedt om ytterligere undersøkelser av innsjøens utløp til Bøelva. Formålet med undersøkelsene er å vurdere kapasiteten i utløpet basert på bunnkartlegging, ved bruk av hydraulisk modellering.

Utløpet i dag består av en liten lukekonstruksjon (klappeluke) som ligger på høyre elvebredd. Denne styrer vannføringen gjennom djupålen. Når luken senkes blir det mulig å tappe mer vann fra innsjøen enn det den naturlige terskelen legger til rette for. Resterende vann vil, når vannstanden øker, slippes over den naturlige overgangen mellom innsjøen og elva, eller over terskelen til lukekonstruksjonen.



Figur 1-1 Kart som viser utløpet av Seljordvatn (Hentet fra norgeskart.no). Lukekonstruksjon vises på høyre (sørlige) bredde av utløpsoset. Vann strømmer fra vest mot øst ut i Bøelva



Figur 1-2 Utløp Seljordvatn, sett motstrøms. Lukekonstruksjon til venstre og naturlig terskel til høyre. (Bilde: Skagerak Kraft AS)

Skagerak Kraft og Midt-Telemark kommune har engasjert Multiconsult til å gjennomføre kartleggingen og den hydrauliske modelleringen. Dette notatet oppsummerer arbeidet som er utført.

2 Grunnlag

For å kunne gjennomføre oppdraget har det blitt lagt stor vekt på å hente inn tilgjengelig grunnlagsdata for å kunne lage en så god hydraulisk modell som mulig. Den hydrauliske modellen vil være svært avhengig av gode data både knyttet til bunnforhold (terrengmodell), og høyder på utløpskonstruksjonen. I tillegg er det viktig å finne gode observerte vannføringer og vannstander til kalibrering av modellen. De følgende underkapitlene oppsummerer arbeidsflyten og datainnhenting som er gjennomført.

2.1 Oppsummering av konvertering til NN2000

Tabellen under oppsummerer hvilke høyder som er lagt til grunn ved konvertering fra lokale og eldre høydesystem til NN2000. Alle høyder rapportert i beregninger i denne rapporten er i NN2000. Beskrivelse av innhenting av grunnlag er gitt i påfølgende underkapitler.

Tabell 2-1. Konverteringsfaktorer benyttet for å få alle datasettene i samme høydesystem

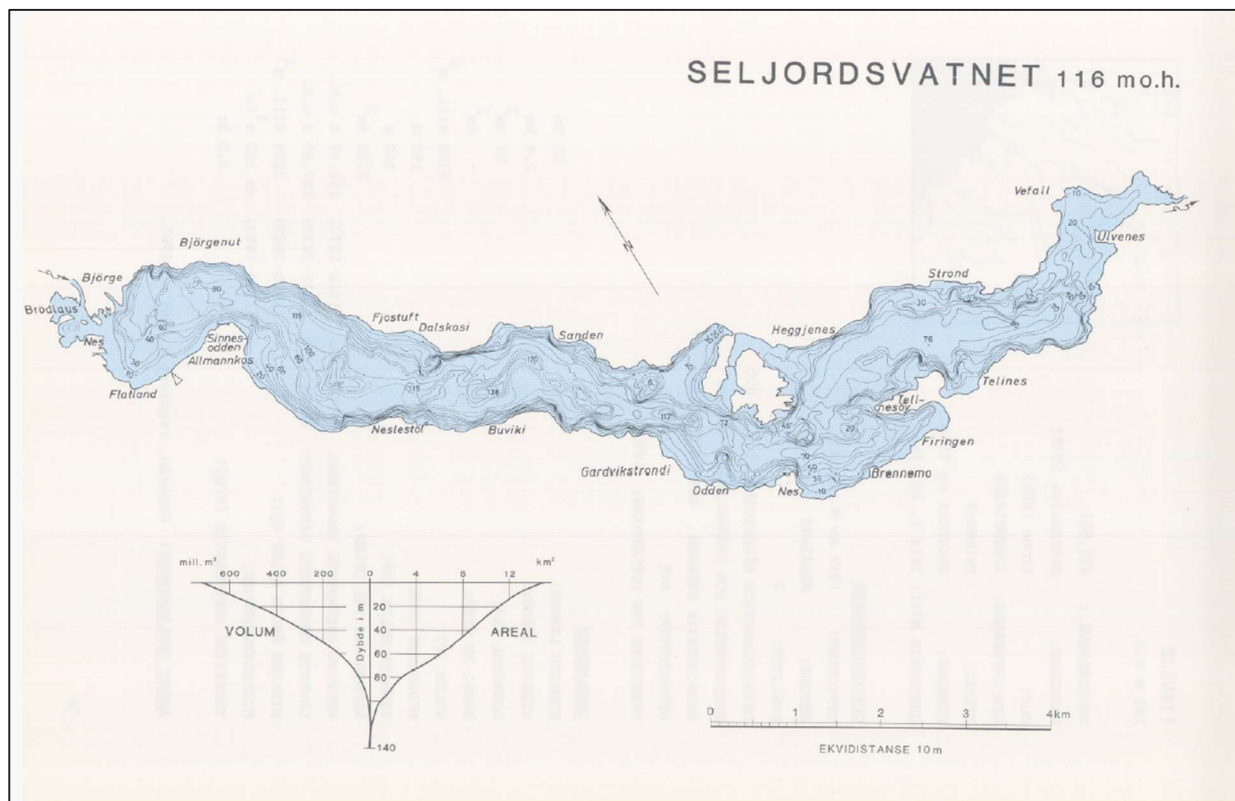
Høyder	Justering til NN2000
Tidsserie 16.123 Seljordvatn vannstand (NN1954)	+0,026 m
Tidsserie for topp luke (lokale høyder)	-0,027 m
Vannføringskurve 16.51 Hagadrag (lokal høyde)	+113,21 m
Tegning av luke datert 12.11.1980 (NVE-høyde, 0,164 under NGO)	+0,19 m (0,164+0,026)



2.2 Innmålinger av bunnforhold

2.2.1 Eldre dybdekart

Seljordsvatnet ble i 1968 opploddet av Vassdragsdirektoratet med hjelp av ekkograf (NVE, 1984). Bunnkartene har i senere tid blitt digitalisert, men er dessverre ikke i god nok oppløsning for å danne grunnlag til å bygge en detaljert hydraulisk modell av utløpet til innsjøen. Dybdekartet ble derfor ikke brukt.



Figur 2-1 Dybdekart av Seljordsvatnet, målinger utført i 1968 (NVE, 1984)

2.2.2 Dybdekartlegging

Den 10.04.2025 og den 11.04.2025 ble det gjennomført feltarbeid for å kartlegge bunn- og terreng på breddene langs både Bøelva og i selve magasinet (Styvehavn AS, 2025). Vannstand og vannføring i Seljordvatn i denne perioden var svært lav, men det ble likevel valgt å gjennomføre kartleggingen for å sørge for at prosjektet holdt planlagt fremdrift. På grunn av disse utfordrende måleforholdene (for grunt for båten og utstyr) ble det dessverre ikke gjennomført detaljert bunnkartlegging i de grunneste områdene rundt terskelen og luken, og heller ikke i områder helt ned mot målestasjon Hagadrag.

Data (punktsky) fra feltarbeidet ble slått sammen med offentlig tilgjengelig høydedata hentet fra hoydedata.no (Field Group AS, 2023) for å utvikle en komplett terrengmodell i punktskyformat. Bearbeiding av punktsky og generering av terrengmodell ble gjennomført med programvaren ArcGIS Pro. Det ble derfra laget en rasterfil (grid) med høyder som senere ble importert til HEC-RAS.



Figur 2-2 Utsnitt av innmålt batymetri

2.2.3 Landmålinger

Skagerak Kraft AS har i en rekke år gjennomført forskjellige innmålinger i og rundt utløpet til Seljordsvatnet. Den 4. april 2018 ble det gjennomført en del innmålinger av både terskelen og bunnforholdene, da det var svært lav vannstand den aktuelle datoen. Aktuelle innmålinger er vist i vedlegg 1, og har vært svært viktig for å utvikle terrengmodellen i områdene der det ikke var tilstrekkelig informasjon fra bunnkartleggingen beskrevet i tidligere underkapittel. Landmålingene ble benyttet til å kvantifisere forskjell mellom lokale høyder fra tegninger og NN2000, samt nevnt bearbeiding av terrengmodell i områder som var vanskelig å kartlegge.

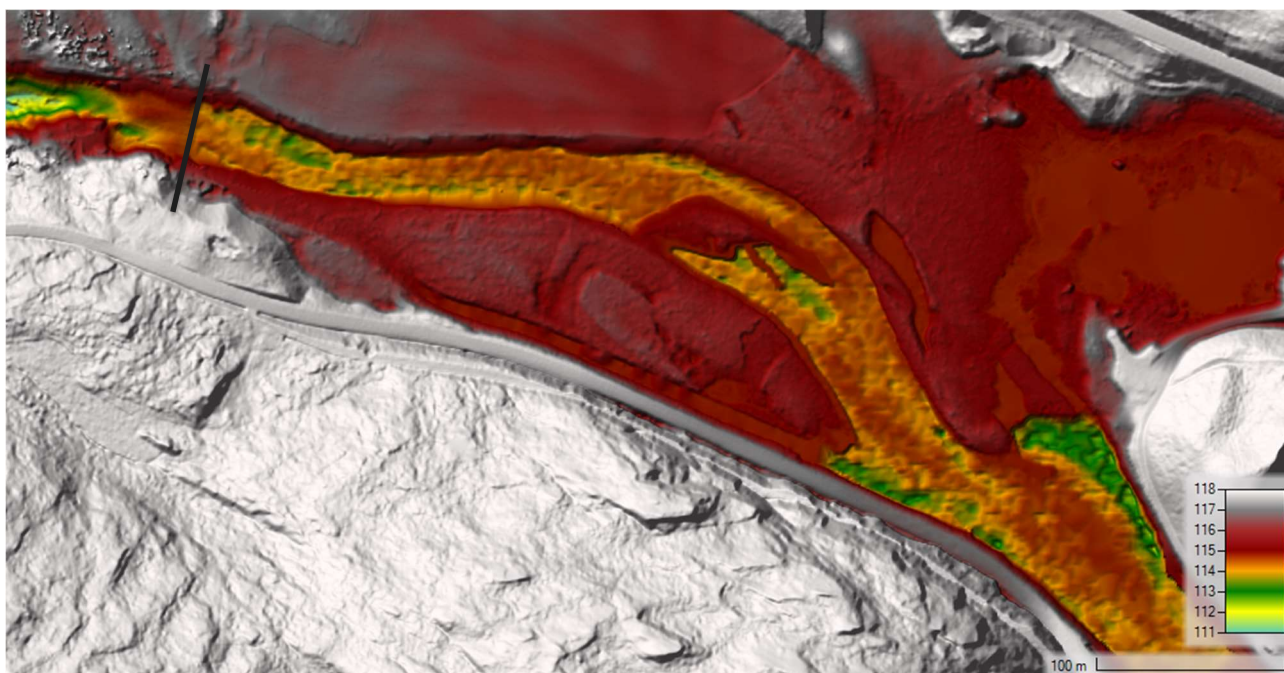
2.2.4 Flyfoto

Området som er dekket av de batymetriske innmålingene strekker seg ca. 500 meter oppstrøms lukekonstruksjonen og 600 meter nedstrøms luka. Målestasjonen ved Hagadrag ligger ytterligere 500 meter lengre nedstrøms i vassdraget. Mangelen på batymetriske data i disse 500 meterne er uproblematisk om man kun skal se på lavere vannføringer, da det i disse tilfellene er geometrien nærmere utløpet som er bestemmende, men når vannføringen øker er det behov for å justere elvebunnen også på de siste 500 meterne, da det ved høy vannføring er underkritisk strømming på hele strekningen.

For å justere elvebunnen er det valgt å benytte en metode beskrevet av Håkon Sundt (Sundt, 2022), som konverterer flyfoto om til vanddybder ved å se på fargene i bildet. Vi har valgt et flyfoto fra Google Earth (se Figur 2-3) som er tatt ved lavest mulig vannføring på $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Områder med skygge fra trær er utelatt, og en lineær funksjon mellom dybde og blå og rød farge er etablert basert på punkter innenfor den batymetriske kartleggingen. Deretter er den samme funksjonen brukt på området som manglet batymetrisk kartlegging. Dette gir høydemodellen i Figur 2-4. Vi vurderer at den genererte terrengmodellen er relativt usikker, men at det er det beste estimatet vi har uten å skulle gjøre ny batymetrisk kartlegging. Vi vurderer også at det er tilstrekkelig kvalitet for modellen, da nøyaktig batymetri typisk har mindre betydning jo høyere vannføringene er.



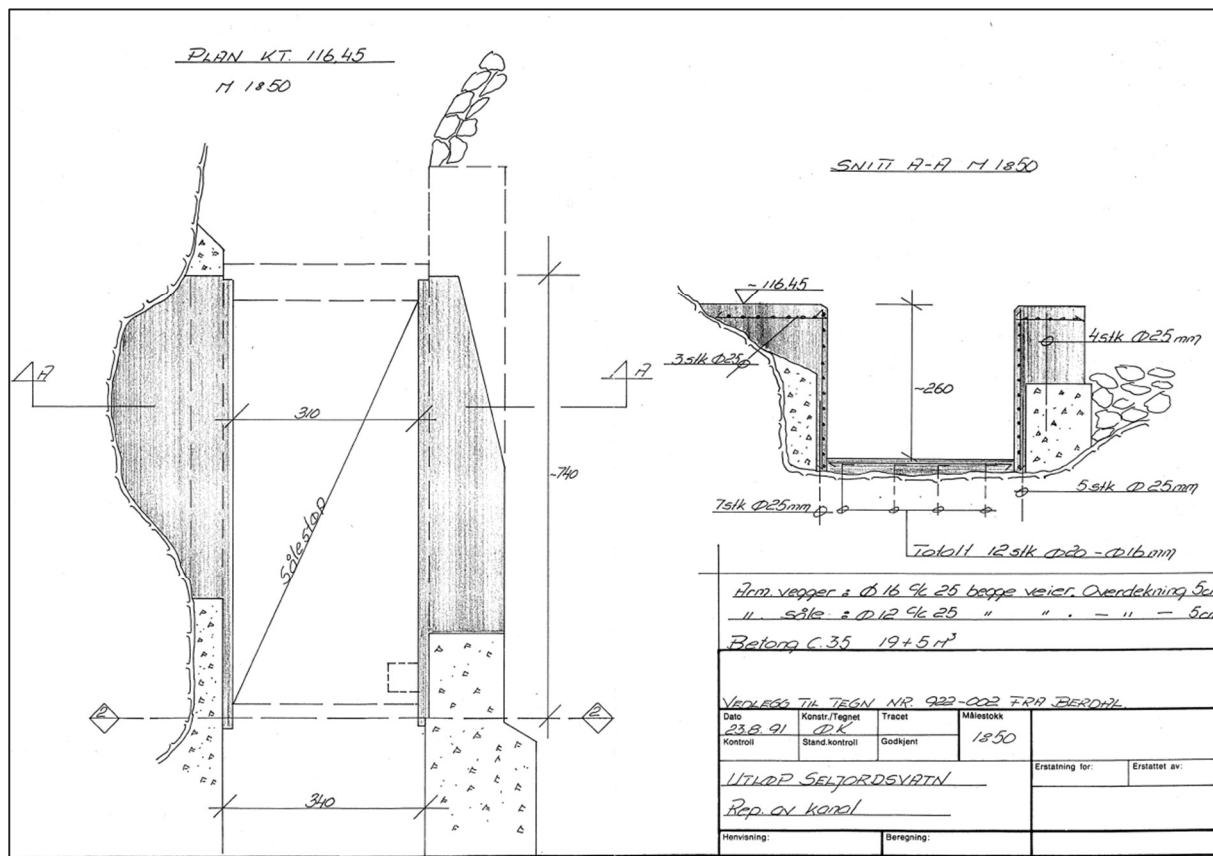
Figur 2-3. Flyfoto fra Google Earth (13. august 2022).



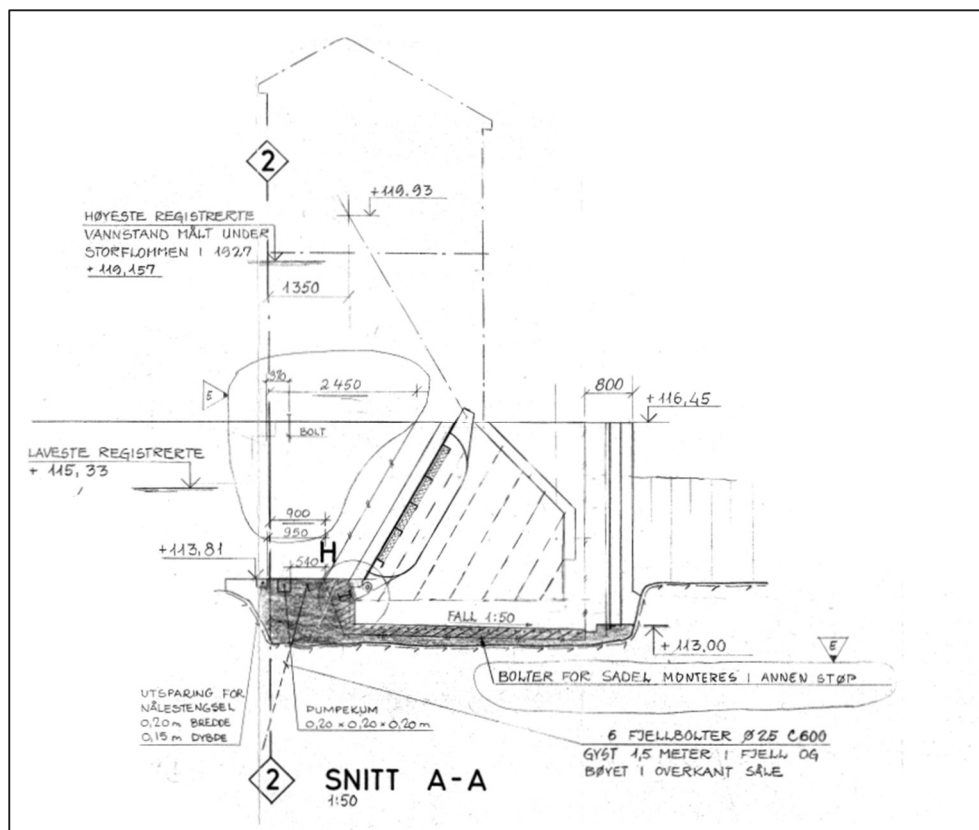
Figur 2-4. Terrengmodell for nedre del. Overgang fra målt batymetri til generert batymetri er vist med svart strek.

2.3 Tegninger

Skagerak Kraft AS har bistått med å oversende aktuelle tegninger for lukekonstruksjonen. Høydereferanse i tegningene er de gamle NVE-høydene i området, som ligger 0,164 meter lavere enn NN1954 og 0,190 meter lavere enn NN2000. Dette ser ut til å stemme med kontrollmålinger av høyder på lukekonstruksjonen. Det er derfor brukt denne konverteringsfaktoren for alle verdier hentet fra tegninger.



Figur 2-5 Tegning av utstøpt kanal inn mot luke (mottatt fra Skagerak Kraft AS). Full tegning vist i vedlegg 2



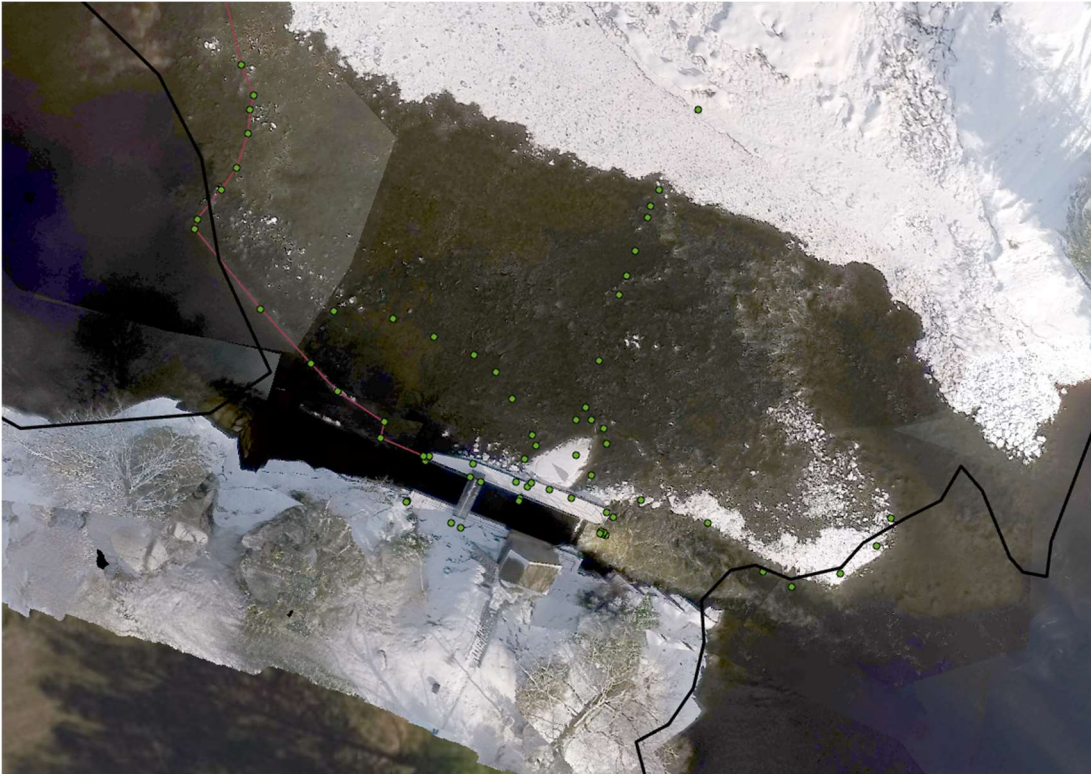
Figur 2-6 Utsnitt fra tegning som viser luke, tegning også vist i vedlegg 2. Merk: kote 116,45 er i denne tegningen topp mur. For å få NN2000 må høydene i tegningen justeres opp med 19 cm.



Figur 2-7 Luke sett motstrøms (Bilde: Skagerak Kraft AS)

2.4 Dronebilder og film

På grunn noe manglende data i områdene rundt terskelen, har det vært nødt til å gjøre noen estimer for å beskrive bunnforholdene her. For å øke kvaliteten på disse estimatene, ble derfor alt tilgjengelig grunnlag benyttet. I områdene der det var tilgjengelige høydeinnmålinger, ble disse lagt til grunn. For å estimere formen på terrenget mellom eksisterende målinger ble det i starten først forsøkt å benytte offentlig tilgjengelige flybilder. Disse flybildene hadde for dårlig oppløsning og var tatt på dager med høy vannstand. Det var derfor vanskelig å skimte terrengkonturene ved hjelp av disse. Heldigvis fantes det flere sett med dronofilmer fra området i perioder med lav vannstand. Én tatt på vinteren og én på sommeren. Disse filmene ble prosessert ved hjelp av programvaren Pix4d for å lage syntetiske ortofoto. Disse ortofotoene ble benyttet til å anslå terrengformasjoner der det ikke var tilgjengelig datagrunnlag. Kanal, grunne partier og terrengformasjoner kan synes på begge ortofotoene, særlig ved å øke/redusere kontrast og andre bildeinnstillinger.



Figur 2-8 Syntetisk ortofoto generert vha. dronefilm fra 2018. Svart polygon viser tilgjengelig data fra bunnkartlegging utført i 2025, punkter viser tilgjengelige punktmålinger.



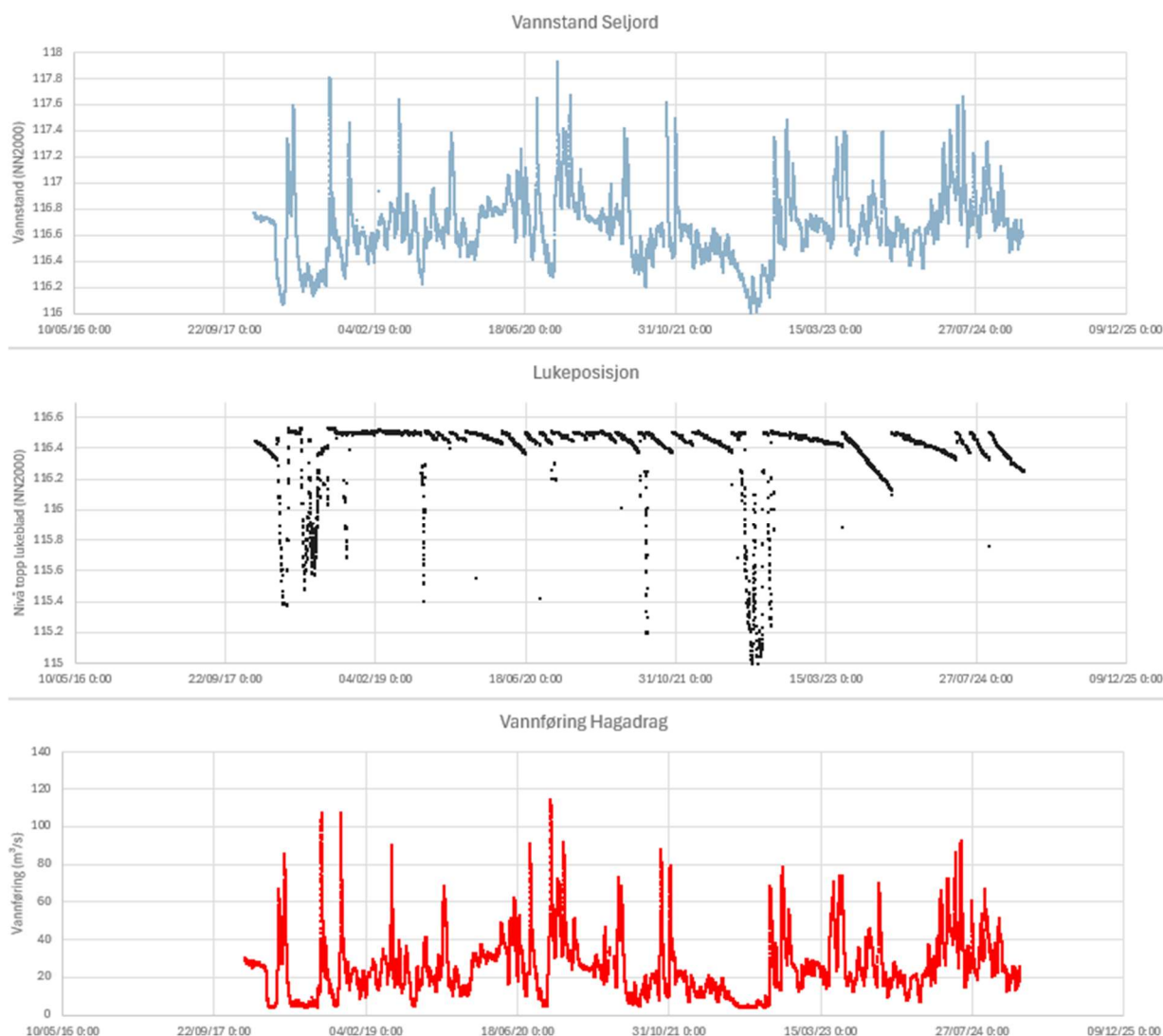
Figur 2-9 Syntetisk ortofoto generert vha. på dronefilm fra 2025



2.5 Målte vannføringer og vannstander

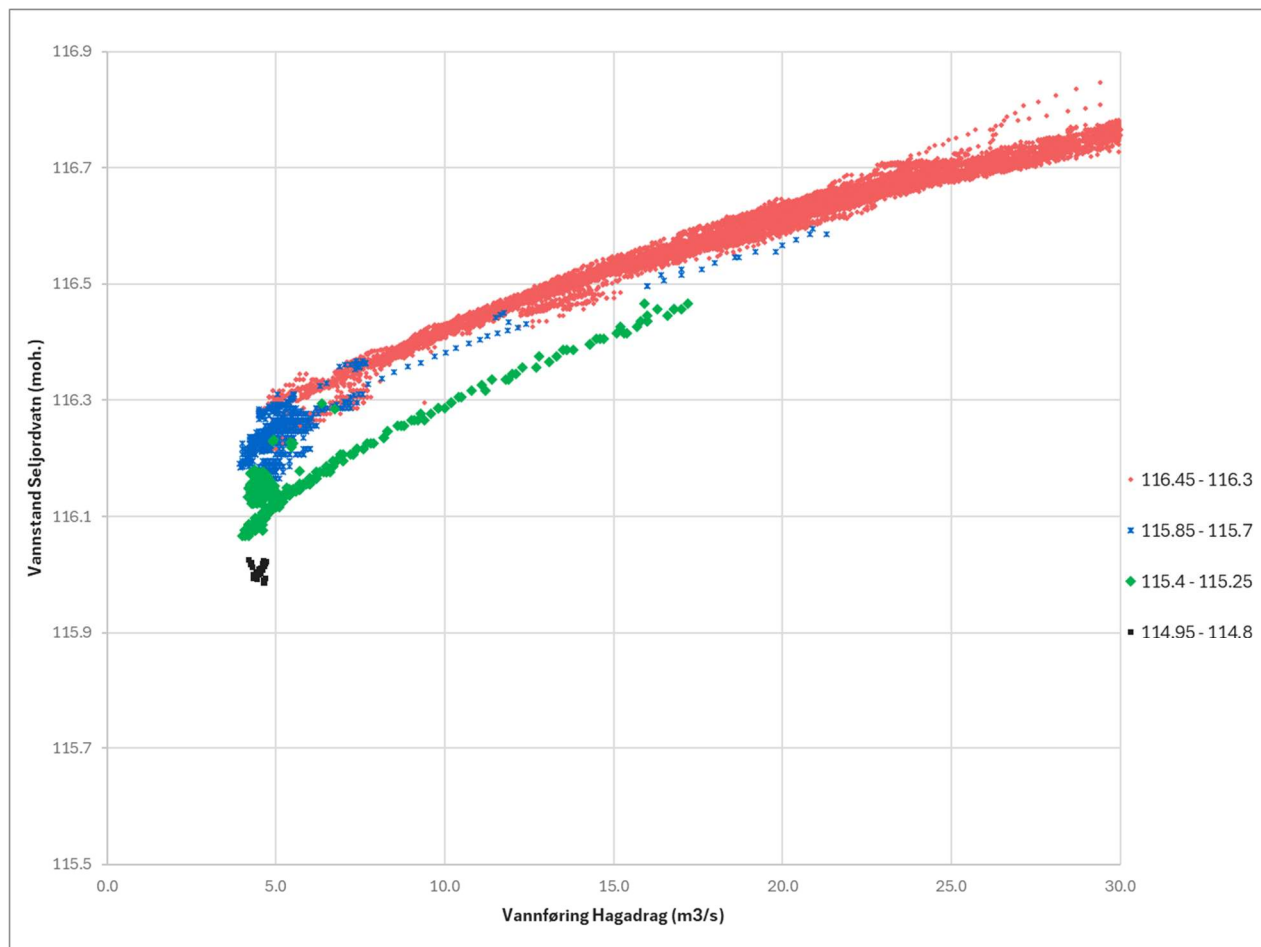
For å kalibrere den hydrauliske modellen, har Multiconsult benyttet observert data knyttet til vannstander, toppnivå lukeblad og vannføringer. Vannstand og lukehøyde er gitt i NN2000, mens vannføring er hentet fra NVEs målestasjon 16.51.0 Hagadrag. Vannstand i Seljordvatn blir registrert ved målestasjon 16.123 Seljordvatn. Høydene ved denne stasjonen er oppgitt i NN1954. For å justere vannstandene til NN2000 har vannstanden i Seljord blitt økt med 2,6 cm etter innmåling gjennomført av Skagerak Kraft.

Lukestilling i datasettet er etter en kontrollmåling den 11.06.2025 antatt å være 2,7 cm lavere enn NN2000.



Figur 2-10 Observert datagrunnlag

For å danne et kalibreringsgrunnlag, ble det gjennomført en sortering av datagrunnlaget for å forsøke å lage kapasitetskurver basert på observert data. Sorteringen er gjort på lukeåpning med intervall på 15 cm, hvor observert kapasitetskurve for fire ulike intervaller er vist i figuren nedenfor. Som vist i figuren er det svært mange flere datapunkter når luken er lukket, som korresponderer godt med dagens driftsmønster der luken sjeldent benyttes. Det er derfor sparsommelig med kalibreringspunkter når luken er åpen – noe som gir gode argumenter for hydraulisk modellering for å finne kapasitet ved åpen luke.

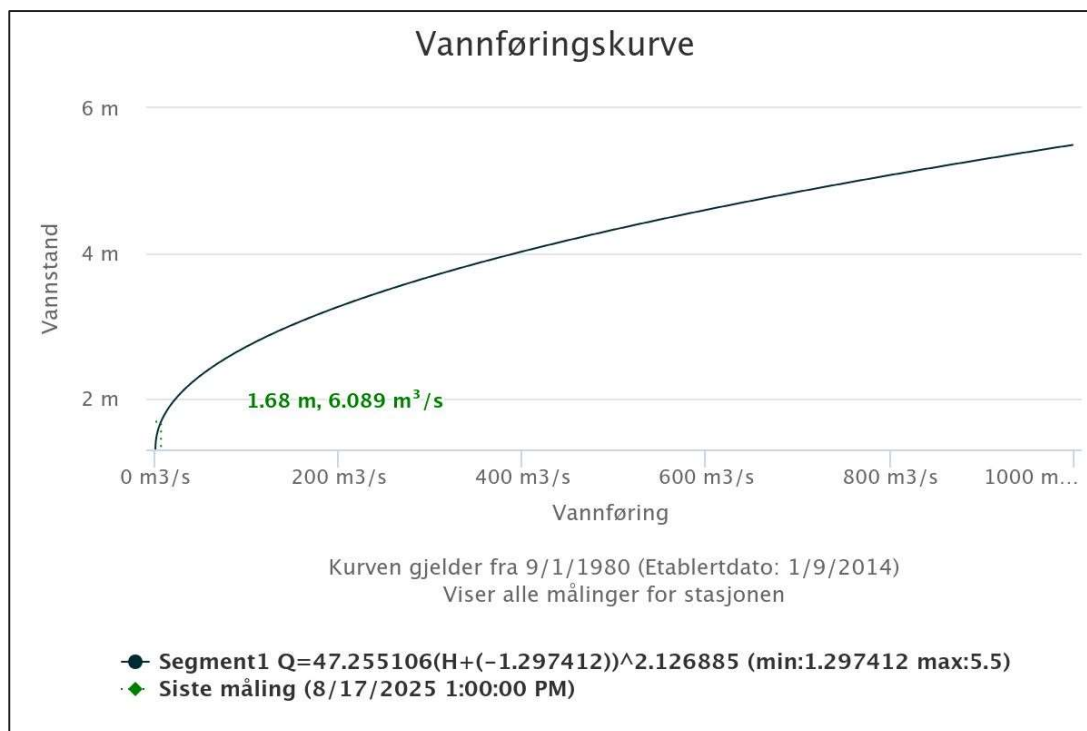


Figur 2-11 Observerte vannstander i Seljordsvatnet og vannføring ved Hagadrag, ved ulike lukestillinger (vist i høyre marg). Lukestilling er rapportert i intervaller. «116.45-116.3» viser intervallet mellom lukestilling 116,45-116,30



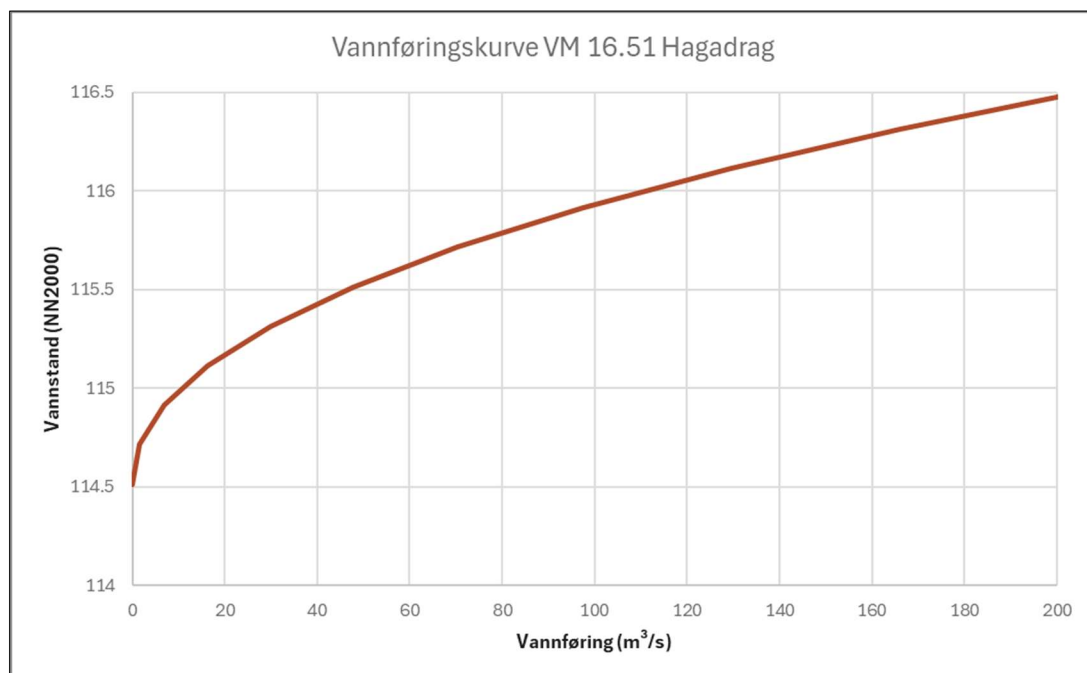
2.5.1 Konvertering av vannføringskurve Hagadrag

Dagens vannføringskurve for 16.51.0 Hagadrag er i dag gitt i relative verdier (dvs. mest sannsynlig dybder over sensoren). Største målte vannføring ved Hagadrag er 130 m³/s.



Figur 2-12 Offisiell vannføringskurve for Hagadrag (hentet fra sildre.nve.no)

For å benytte denne kurven som nedstrøms grensebetingelse i modelleringen, har vannføringskurven blitt konvertert til absolutte høyder (NN2000). Dette er gjort ved å benytte en vannstandsmåling utført av Skagerak den 4. april 2018 kl. 1230. Da ble vannstanden målt til 114,83 moh. Oppgitt dybde på sildre.nve.no for samme tidspunkt er 1,62 m, som gir konverteringsfaktor på 113,21 m sammenlignet med NVEs vannføringskurve. Dette gir vannføringskurven vist under.



Figur 2-13 Benyttet vannføringskurve for VM 16.51.0 Hagadrag



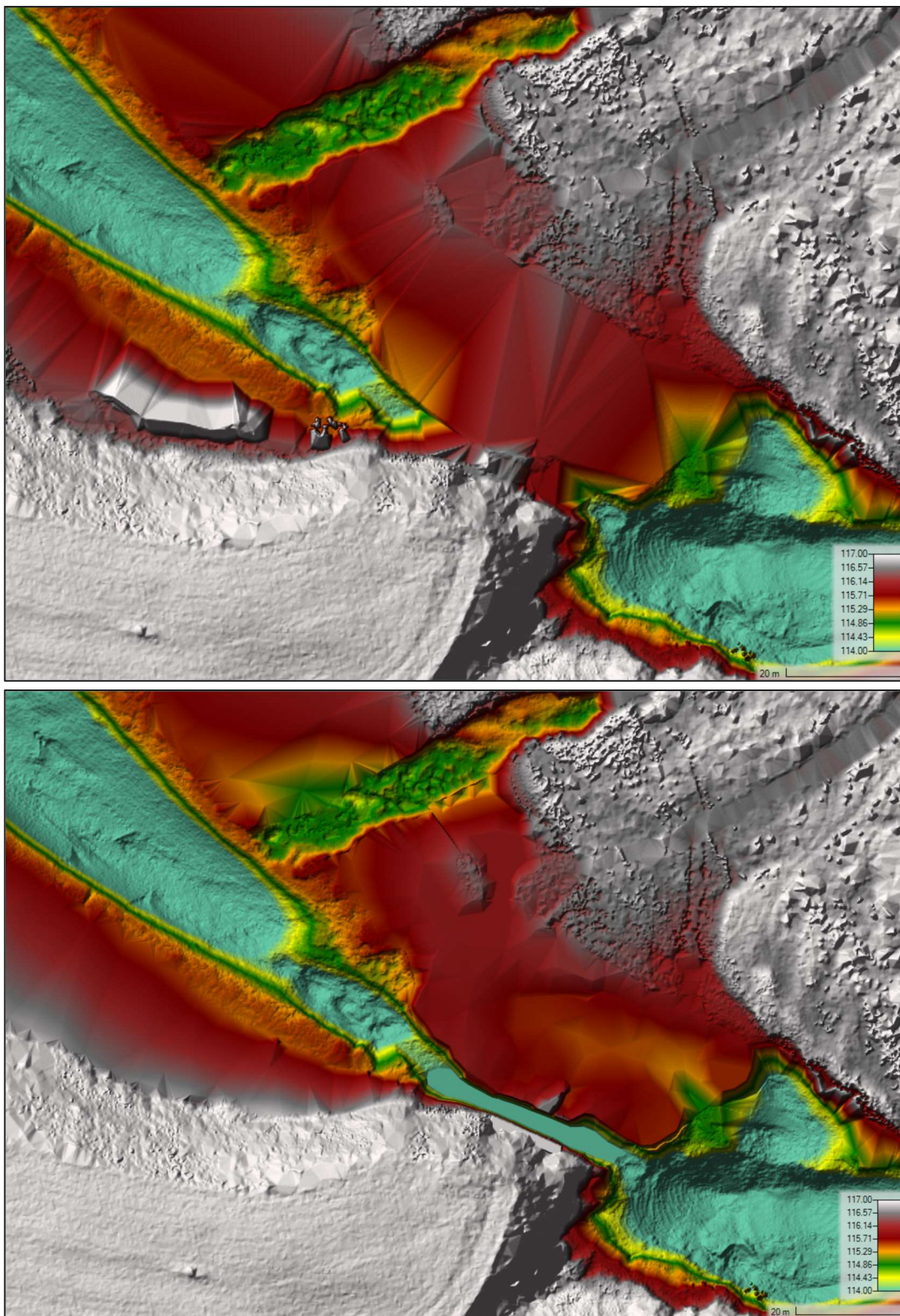
3 Oppsett og kalibrering av hydraulisk modell

For å utvikle kapasitetskurver, har programvaren HEC-RAS 6.6 blitt benyttet. HEC-RAS er et hydraulisk modelleringsverktøy utviklet av USACE (Brunner, 2021). Modellen er satt opp med 2-dimensjonal beregningsmetodikk. Det er benyttet full impulsformulering som beregningsmetodikk.

3.1 Modelloppsett

3.1.1 Ferdigstilling av terrengmodell

Terrengmodell generert fra ArcGIS pro beskrevet i underkapittel 2.2.2 ble importert til HEC-RAS. Terrengmodellen ble senere bearbeidet til å gjenspeile bunn og bredde kanal funnet fra tegninger, samt høyder funnet fra annen landmåling. Form på resterende terskel er basert på dronebilder og kjent vannstand. Dette danner til sammen et så godt bilde av terskelens formasjon som det er mulig å få gitt tilgjengelig datagrunnlag.



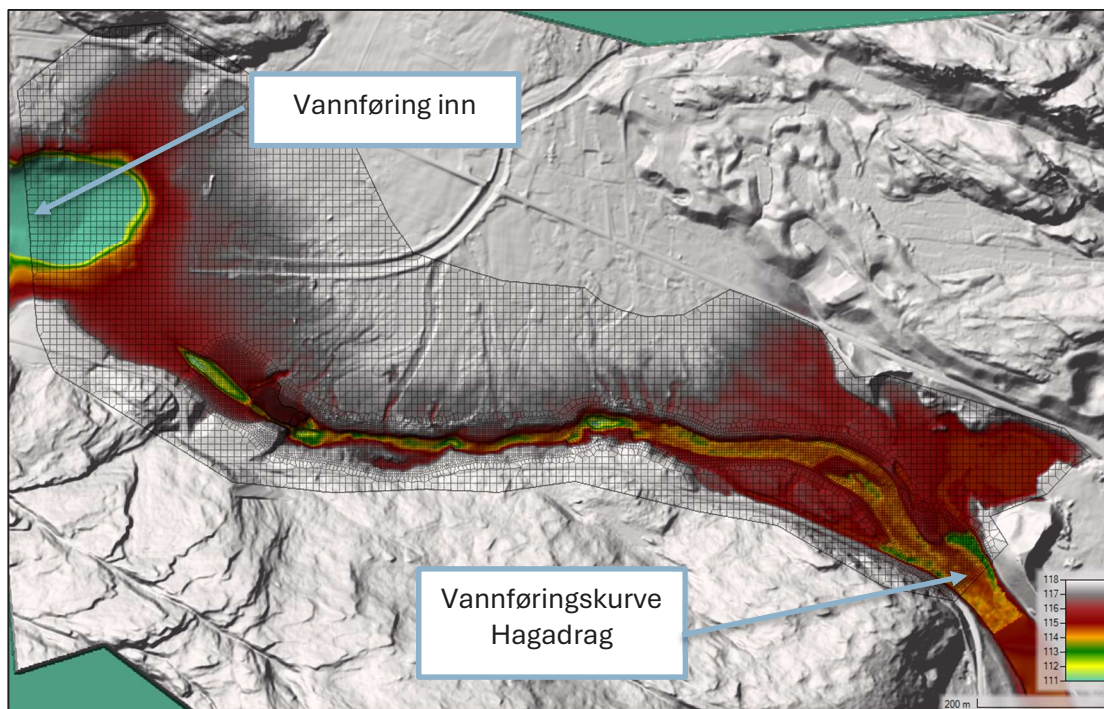
Figur 3-1 Øverst terreng med interpolering mellom bunnkartlegging og høydemodell fra hoydedata.no. Nederst: Terreng etter justering mot innmålinger og dronebilder.



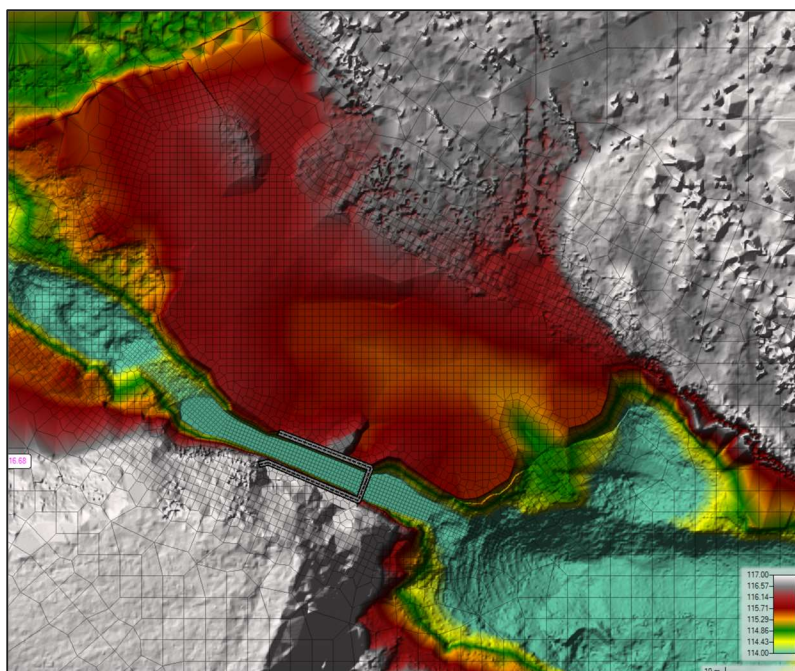
3.1.2 Beregningsceller og grensebetingelser

Det er benyttet varierende cellestørrelse. Områdene i kanalen har cellestørrelse 0,5x0,5 m og over den naturlige terskelen er det benyttet 1x1m. I overgangssonen er det benyttet 3x3 m og helt i randsonene av modellen er cellestørrelse 10x10 m benyttet. Dette gir en modell som gir høyt detaljnivå ved de ønskede områdene, men samtidig er mulig å gjennomføre beregninger uten unødvendig lang beregningstid.

Grensebetingelsene i modellen er gitt nedenfor, der oppstrøms grensebetingelse er vannføring, og nedstrøms grensebetingelse er vannføringskurven beskrevet i kapittel 2.5.1.



Figur 3-2 Modellutstrekning og grensebetingelser

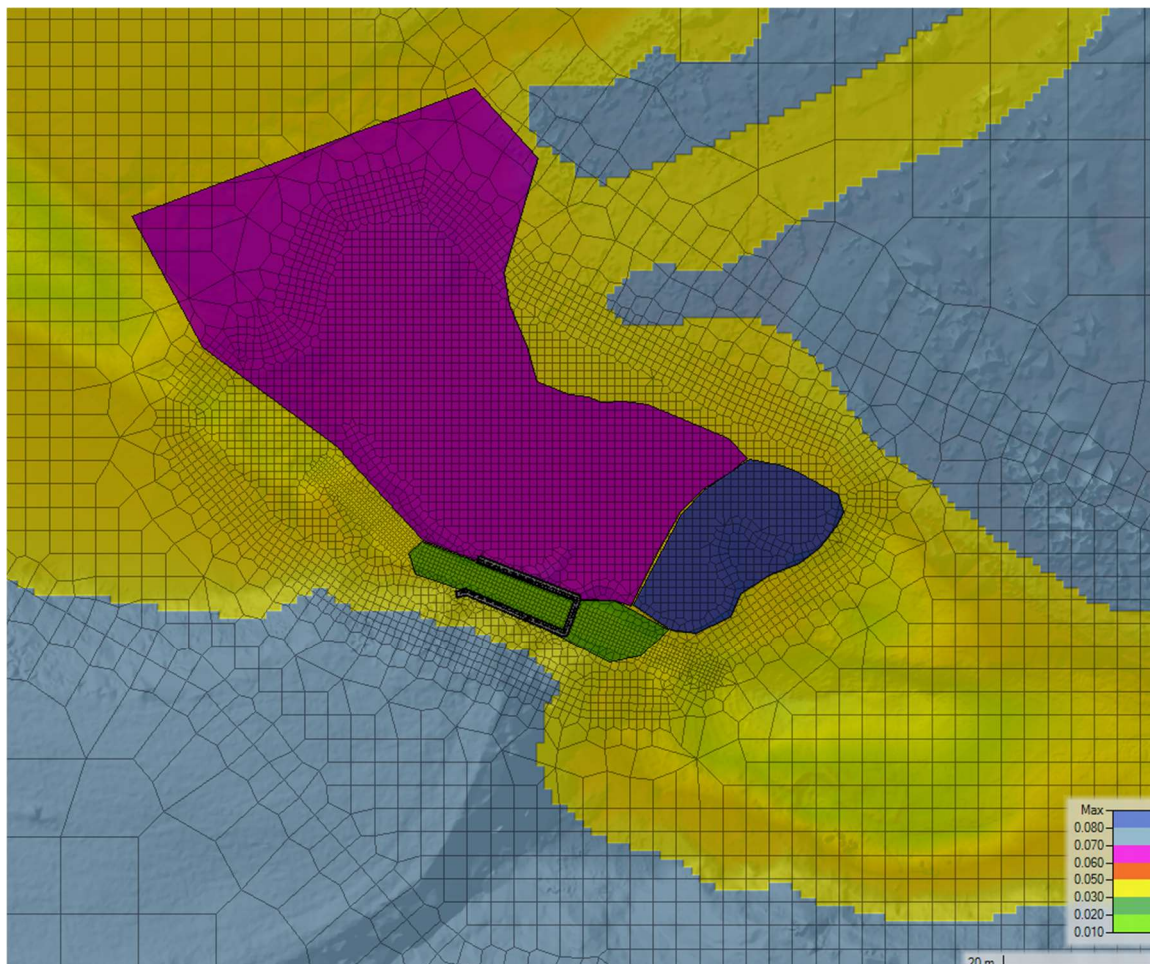


Figur 3-3 Modellutstrekning, detalj rundt luke



3.1.3 Ruhet og andre beregningskoeffisienter

I modellen er det valgt å benytte ruhet tilsvarende Mannings' tall M på $26 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ i selve elveleiet, $14 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ i områdene utenfor elveleiet (antar mye busker og trær) og $77 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ i betongkanalen oppstrøms luken. I overgangen mellom Seljordvatnet og Bøelva (den naturlige terskelen) er det valgt å ha to ulike soner med ulike Manningstall, én med varierende manningstall avhengig av vannføring (beskrevet i neste underkapittel og én med $M=12,5$.



Figur 3-4 Varierende ruhet benyttet i modell. Her vist for detalj rundt luken. Gul = $26 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, Lys blå = $14 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, Grønn = $77 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, Rosa = varierende (benyttet til kalibrering), Mørk blå = $12,5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Det er benyttet en overløpskoeffisient C lik 1,8 for strømning over luken. Betongterskelens nivå er satt til 116.6 moh.

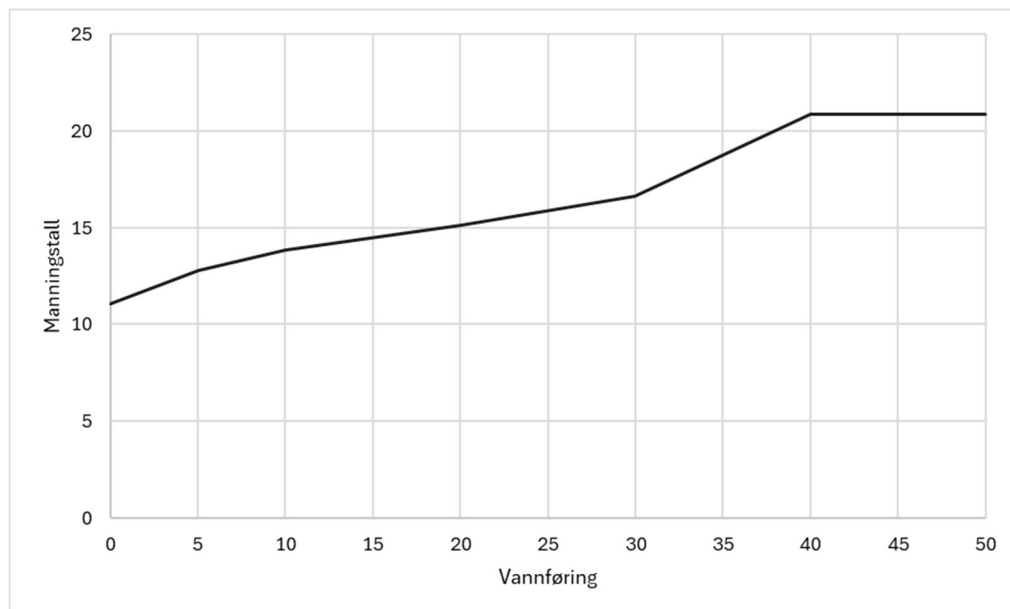
3.2 Kalibrering

For å kalibrere modellen, er det valgt å endre ruheten i de ulike sonene. Ved lav vannføring er det ruheten i de to polygonene ved den naturlige utløpsterskelen til Seljordvatn som er viktig. Kalibrert ruhet er relativt høy, men det er også noe usikkerhet i terrenghøydene her, og det blir til en viss grad kompensert ved å gjennomføre kalibrering.

Kalibreringen er gjort ved å kjøre modellen med luke på kote 116,45 moh. og med varierende vannføring ut fra Seljordsvatn. Det ble valgt å kjøre modellen slik at maksimalt vannstandsintervall mellom to modellkjøringer er 0,1 meter. Ved hver vannføring er modellen kjørt til vannstanden og vannføringen er stabil.



Det ble så blitt lest av beregnet vannføring ved Hagadrag og sjekket dette opp mot observerte verdier beskrevet i kapittel 2.5. Best samsvar er funnet med følgende manningstall i den rosa polygonen vist i Figur 3-4 Varierende ruhet benyttet i modell. Her vist for detalj rundt luken. Gul = $26 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, Lys blå = $14 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, Grønn = $77 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, Rosa = varierende (benyttet til kalibrering), Mørk blå = $12,5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, som er økende ved økende vannføring, som vist i Figur 3-5.



Figur 3-5 Manningstall for kalibreringszone

Modellen ble så kjørt med delvis åpen luke for å undersøke validiteten til modellen også mot observerte verdier med åpen luke. Beregningene viste godt samsvar, og det ble ikke sett på som nødvendig å endre på lukekoeffisienten.

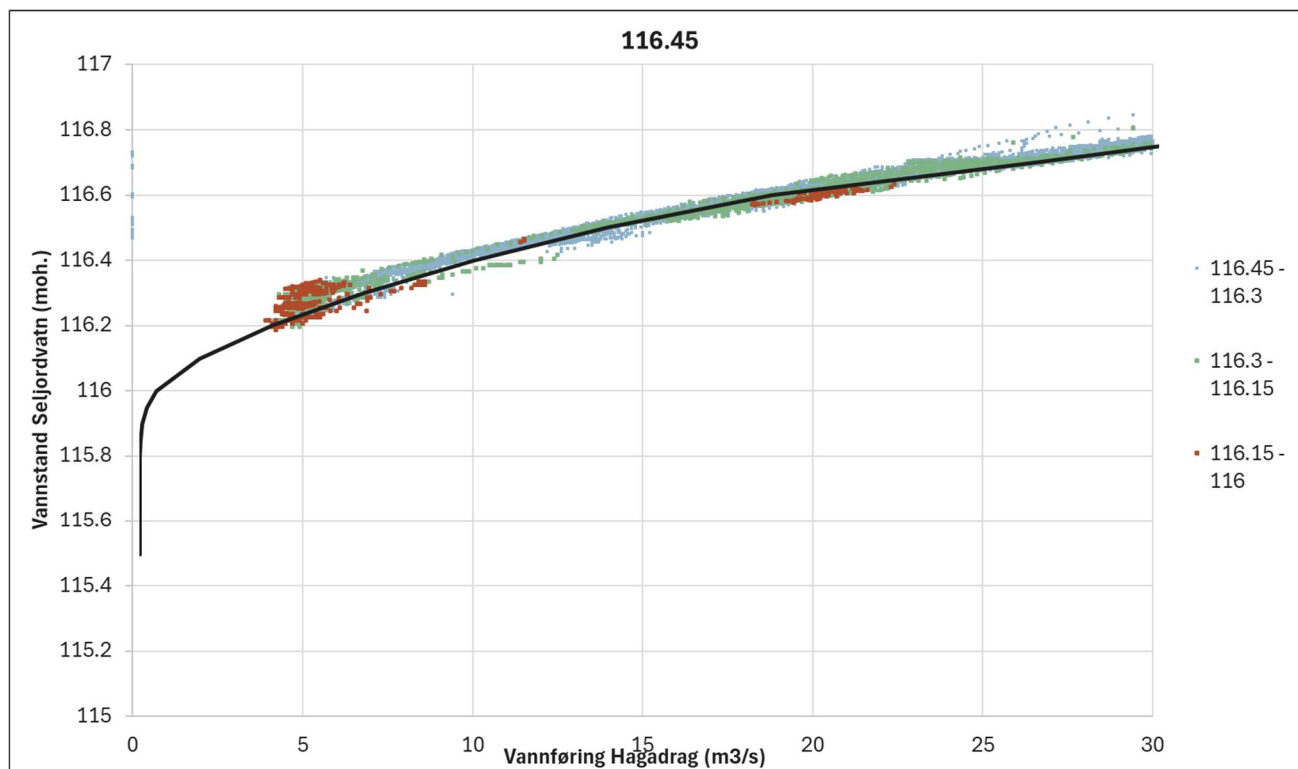
4 Resultater

4.1 Kapasitetskurver for 0-30 m^3/s

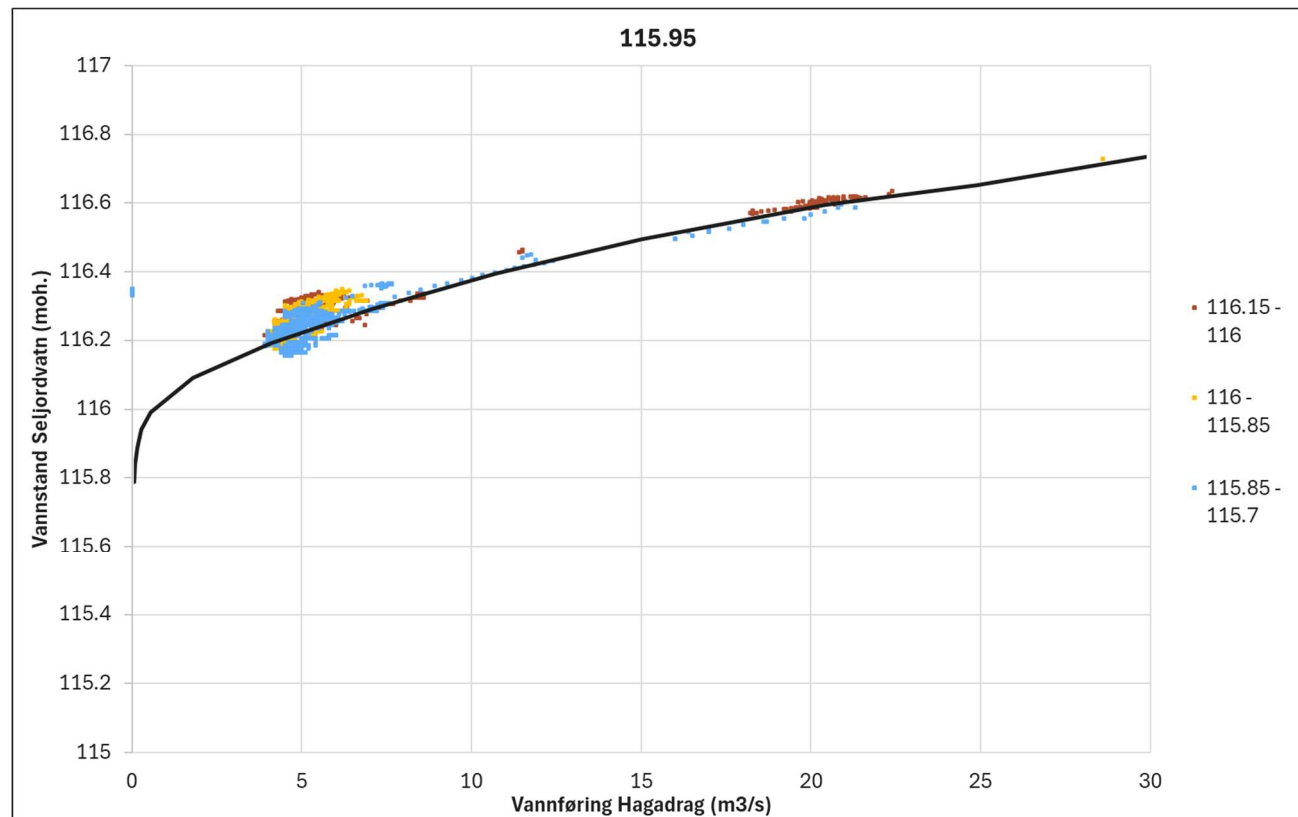
Etter ferdig kalibrert modell, ble modellen kjørt for 6 ulike scenarioer:

- Lukeblad på kote 116,45
- Lukeblad på kote 115,95
- Lukeblad på kote 115,45
- Lukeblad på kote 114,95
- Lukeblad på kote 114,45
- Lukeblad på kote 113,85

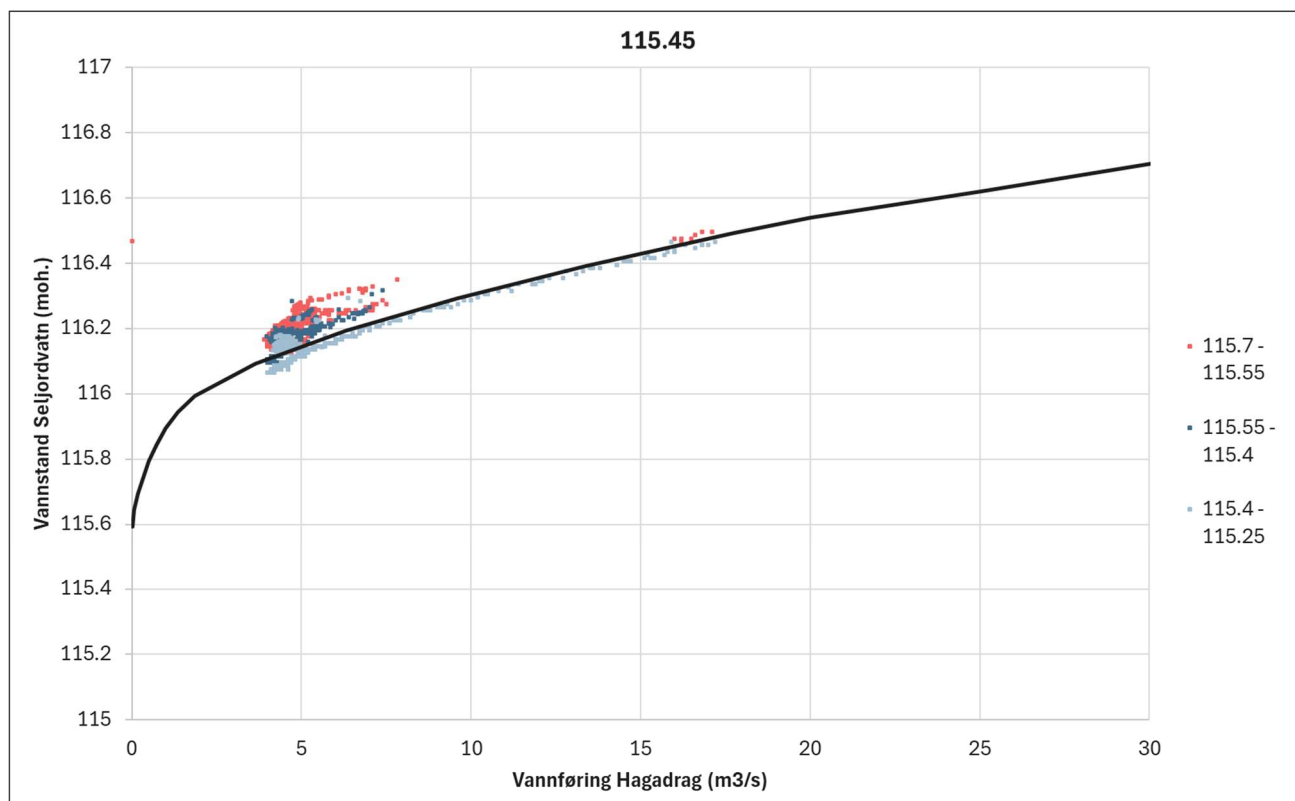
Resultatene er vist i beregnede kapasitetskurver (og observerte målinger) i følgende figurer. Samlet oversikt over kapasitetskurvene er gitt i vedlegg 3 og i underkapittel 4.1.1 .



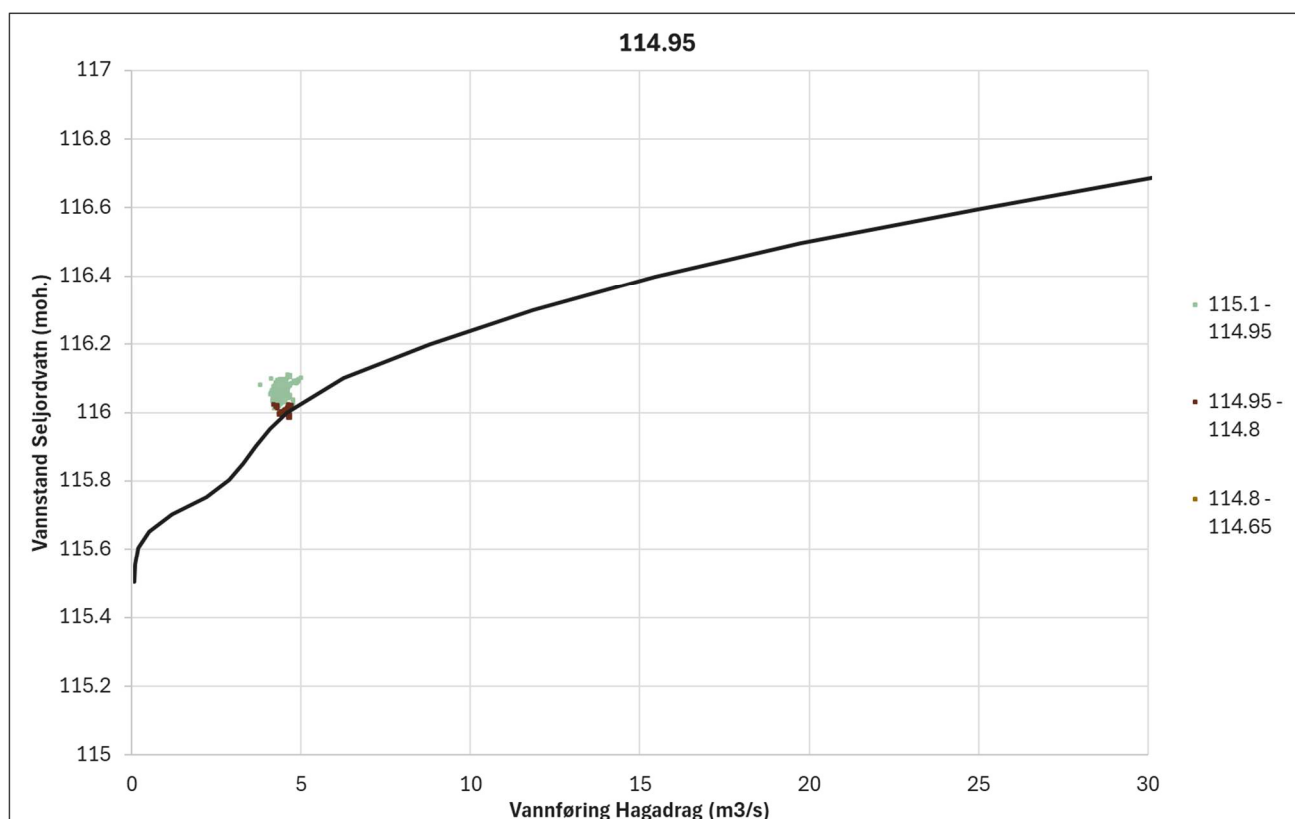
Figur 4-1 Beregnet kapasitetskurve for utløpet til Seljordvatn med topp luke på kote 116,45. Punkter viser observerte verdier



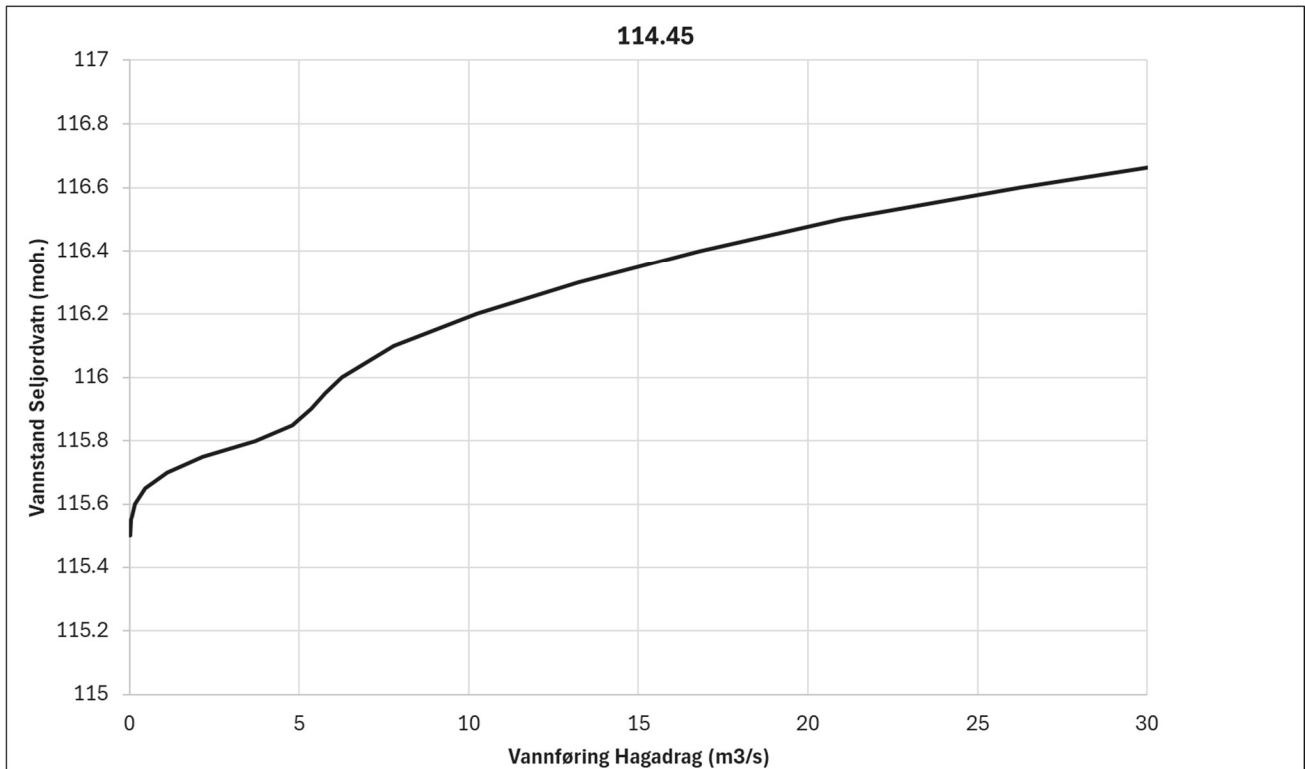
Figur 4-2 Beregnet kapasitetskurve for utløpet til Seljordvatn med luke på kote 115,95. Punkter viser observerte verdier



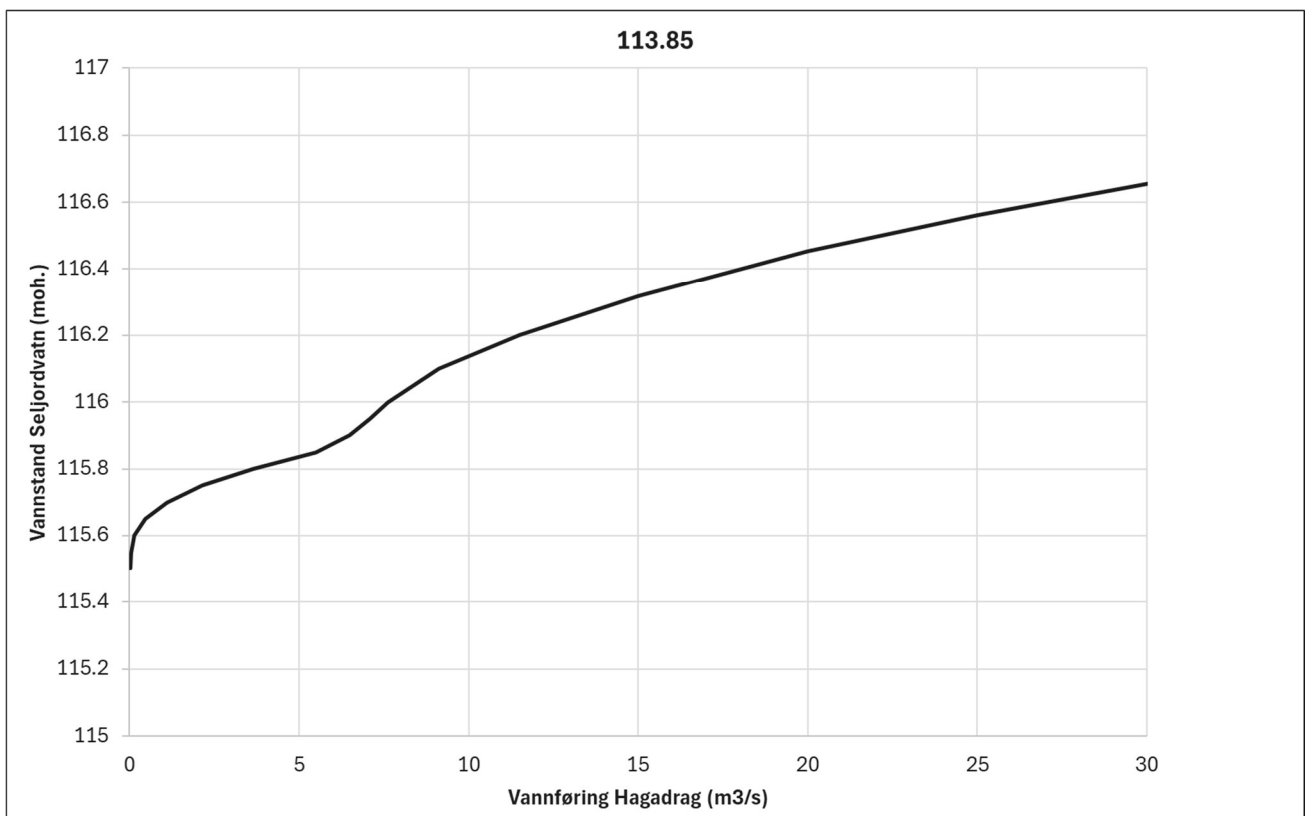
Figur 4-3 Beregnet kapasitetskurve for utløpet til Seljordvatn med luke på kote 115,45. Punkter viser observerte verdier



Figur 4-4 Beregnet kapasitetskurve for utløpet til Seljordvatn med luke på kote 114,95. Punkter viser observerte verdier



Figur 4-5 Beregnet kapasitetskurve for utløpet til Seljordvatn med luke på kote 114,45. Ingen observerte punkter



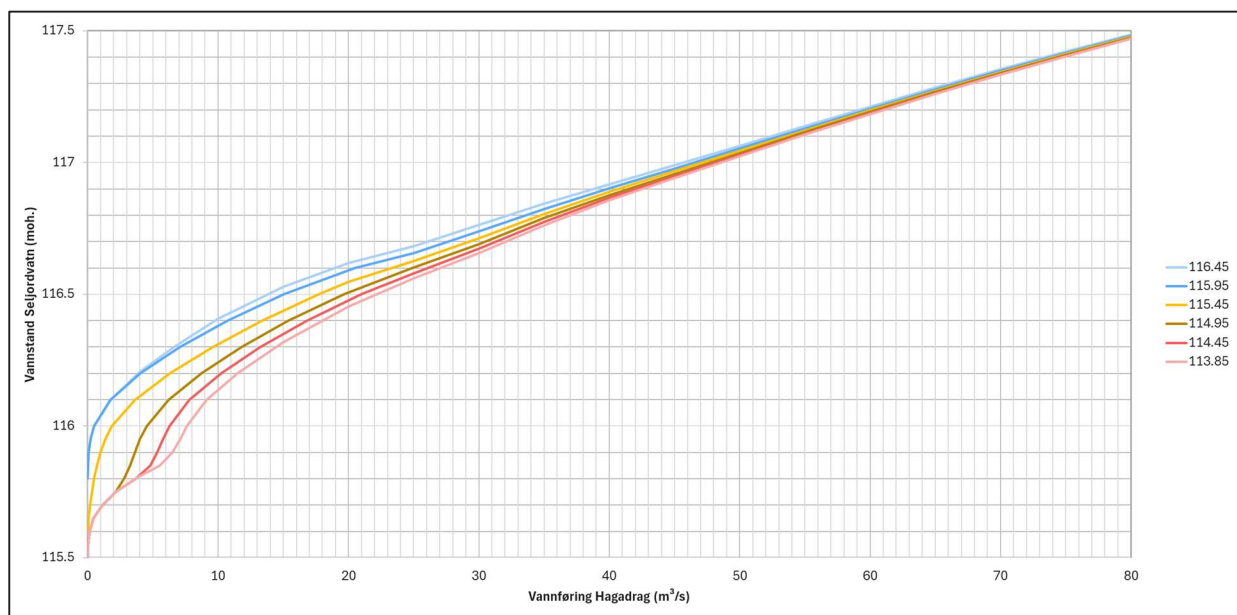
Figur 4-6 Beregnet kapasitetskurve for utløpet til Seljordvatn med luke på kote 113,85. Ingen observerte punkter.



4.1.1 Sammenstilte kapasitetskurver

Beregningene er samlet i én figur for å gjøre det lett å sammenligne hvordan ulike lukestillinger påvirker vannføringen ut av Seljordvatn. Kapasitetskurvene viser hvor mye vann som renner ut til Bøelva ved forskjellige vannstander i innsjøen.

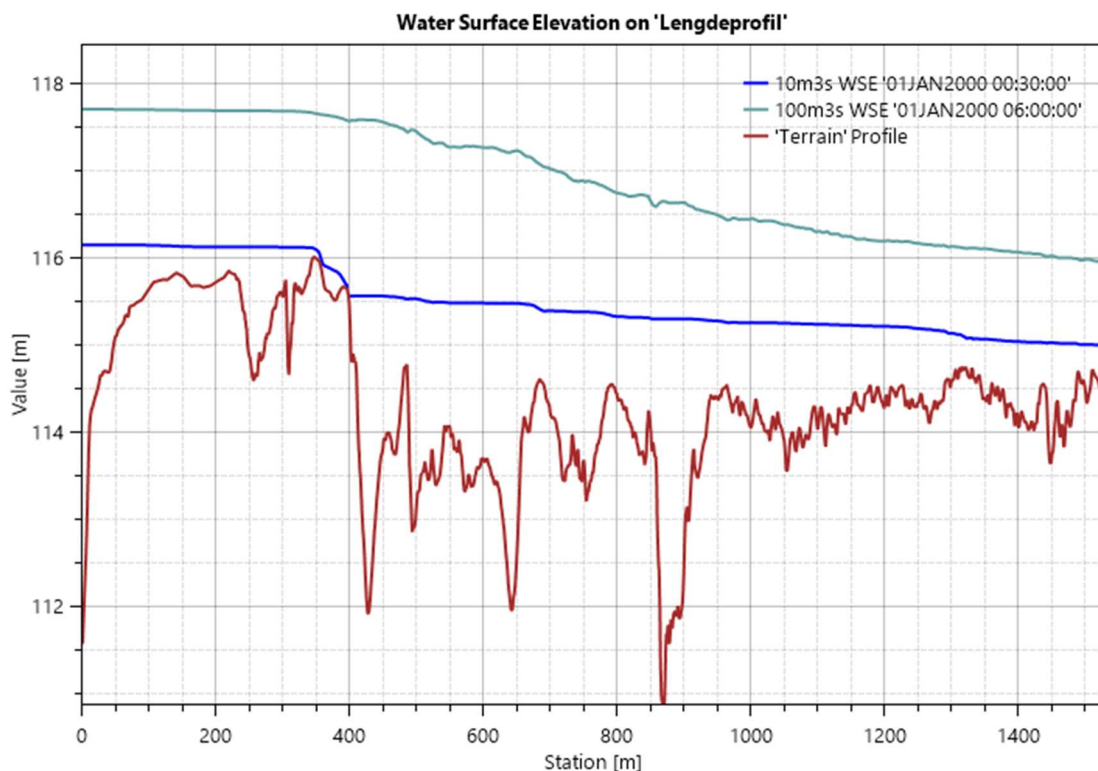
Resultatene viser at forskjellen mellom åpen og lukket luke er størst ved lav vannføring – opp til omtrent 30–40 m³/s der forskjellen begynner å nærme seg cm-differanse. Når vannføringen øker videre, og vannstanden i Seljordvatn stiger, blir forskjellen mellom kurvene mindre. Ved høy vannføring blir kurvene nesten like, noe som betyr at luken da har liten betydning for hvor mye vann som renner ut.



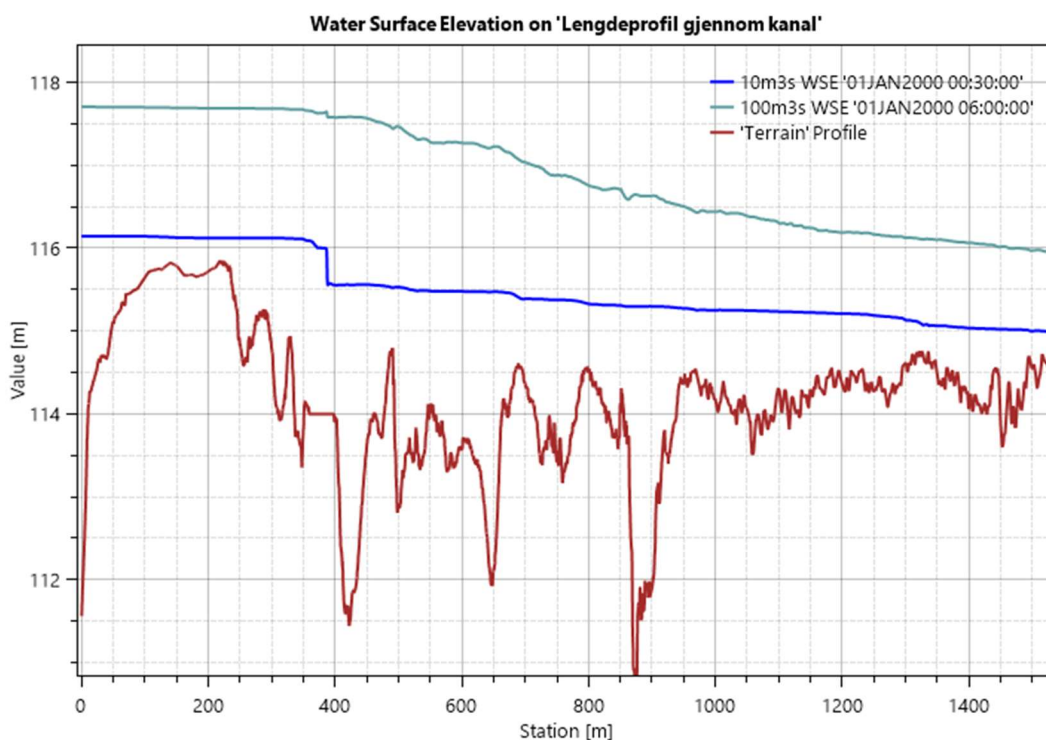
Figur 4-7 Beregnede kapasitetskurver ved lav vannføring

4.2 Kapasitetskurver for høyere vannføringer

Ved lav vannføring er det kritisk strømning gjennom luka og ved terskelen i elva som ligger parallelt med luka. Etter hvert som vannføringen øker, blir det underkritisk strømning på hele strekningen ned til Hagadrag, og elvestrekningen nedstrøms luka blir viktig for kapasiteten. Ved svært høy vannføring er lukekonstruksjonen helt druknet, og strømningstverrsnittet i elva ved luka stort sammenlignet med strømningstverrsnittet i elva lengre nedstrøms. Dette gjør at ved store vannføringer (>100 m³/s) har det absolutt ingen betydning om luka er åpen eller lukket, kapasiteten er den samme. Vannstand mellom Seljordvatn og Hagadrag for to ulike vannføringer er vist i Figur 4-8 og Figur 4-9.



Figur 4-8. Lengdeprofil fra Seljordvatn (over terskel, ikke gjennom luke) til Hagadrag for vannføring $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (blå) og $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (turkis). Helt åpen luke.



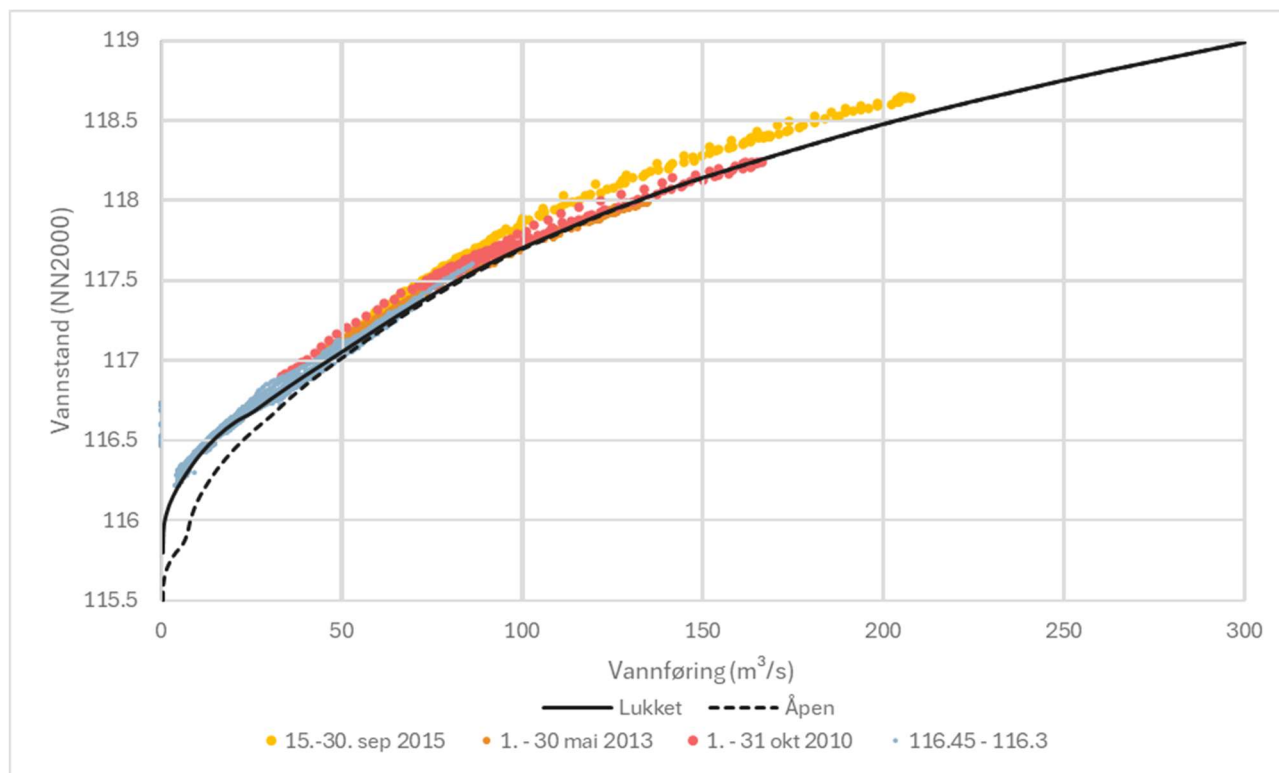
Figur 4-9. Lengdeprofil gjennom kanal/luke fra Seljordvatn til Hagadrag. Helt åpen luke.

For kalibrering av modellen ved høyere vannføringer er det tatt utgangspunkt i de tre største flomhendelsene i nyere tid: oktober 2010, mai 2013 og september 2015. Ved flommen i 2015 ligger målt vannstand i Seljordvatn noe høyere for de samme vannføringene enn ved de to andre flommene.



Vi vet ikke årsaken til dette, men det kan skyldes at flommen hadde et raskere forløp enn de øvrige flommene. Kalibreringen har hatt hovedfokus på flommen i mai 2013, som representerer mere stasjonære forhold.

Kapasitetskurver er vist i Figur 4-10.



Figur 4-10. Kapasitetskurve for åpen og lukket luke, plottet sammen med punkter for lukket luke (116.45-116.3) og tre observerte flomhendelser. Merk at vannføringskurven ved Hagadrag kun er målt opp til 130 m³/s.



4.3 Usikkerheter

De beregnede kapasiteskurvene inneholder en rekke usikkerheter, men er i stor grad preget av større validitet enn mange andre hydrauliske beregninger utført med lignende formål andre steder rundt i Norge. Dette på grunn av det gode datagrunnlaget knyttet til både kjente vannstander i Seljordvatn og kjente vannføringer ved Hagadrag, som gjør det mulig å kalibrere modellen.

Det er likevel noen usikkerheter knyttet til beregningene, der de største er knyttet til terrenget rundt de grunneste områdene og kanalen opp- og nedstrøms luken. Her har det blitt lagt stor vekt på å finne gode erstatninger til den scanningen som er gjort i resten av området, men kvaliteten blir selvfølgelig ikke tilsvarende.

Det er også en viss usikkerhet (som alltid) knyttet til konvertering mellom lokale høydesystemer og NN2000. Dersom høydene som er benyttet i modellen er feil, er også kalibreringen som er gjennomført feil, noe som legger føring for alle de presenterte beregningene. Det er gjort en del kontrollmålinger av Skagerak Krafts landmåler som gir god grunn til å stole på de observerte verdiene i kalibreringsgrunnlaget.

På grunn av få til ingen kalibreringspunkter for lukehøyde på kote 114,45 og lavere er det knyttet større usikkerhet til disse kapasitetskurvene enn for de øvrige kurvene.

Det er som alltid også noe usikkerhet knyttet til den benyttede vannføringskurven som benyttes til å konvertere observerte vannstander ved Hagadrag til vannføring. Det er ikke gjort kontroll av denne, og det antas at vannføringskurven som ligger i NVEs systemer er av tilfredsstillende kvalitet innenfor det spennet av vannføringer vi har i denne beregningen. Største målte vannføring ved Hagadrag er på 130 m³/s.

5 Konklusjon

Det er gjennomført en studie knyttet til kapasiteten til utløpet av Seljordvatn, og hvordan denne påvirkes av luken som er i utløpet. Det er gjort en omfattende analyse av magasin- og elvebunn basert på alt tilgjengelig materiale (innmålinger, scan og dronebilder) for å lage en så virkelighetstro terrengmodell som mulig. Det er deretter gjort en analyse av tilgjengelig datagrunnlag som danner kalibreringsdata for den hydrauliske modelleringen. Hydraulisk modell er utviklet ved hjelp av 2d-simuleringsteknikker i programvaren HEC-RAS.

Basert på modellen er det laget kapasitetskurver for utløpet av Seljordvatn for seks ulike lukestillinger. Kalibrert hydraulisk modell viser godt samsvar med observerte verdier ned til lukeåpning på kote 114,45 moh. deretter er det ingen observerte verdier og kapasitetskurvene er dermed knyttet til noe usikkerhet.

Modellen er deretter brukt til å lage kapasitetskurver for ulike lukestillinger ned til topp lukeblad på kote 113,85 moh.



6 Referanser

Brunner, G. W. (2021). *HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Version 6.0*. US Army Corps of Engineers.

Field Group AS. (2023). *Øst-Telemark 10pkt 2023*.

NVE. (1984). *Dybdekart over Norske innsjøer*.

NVE. (2025, 02 24). BREV (201306918-52), NVE ber om videre undersøkingar i samband med vilkårsrevisjonen for Seljordsvatn, Midt-Telemark kommune, Telemark.

Styvehavn AS. (2025). *Metadata Bunnkartlegging Seljordvatnet*.

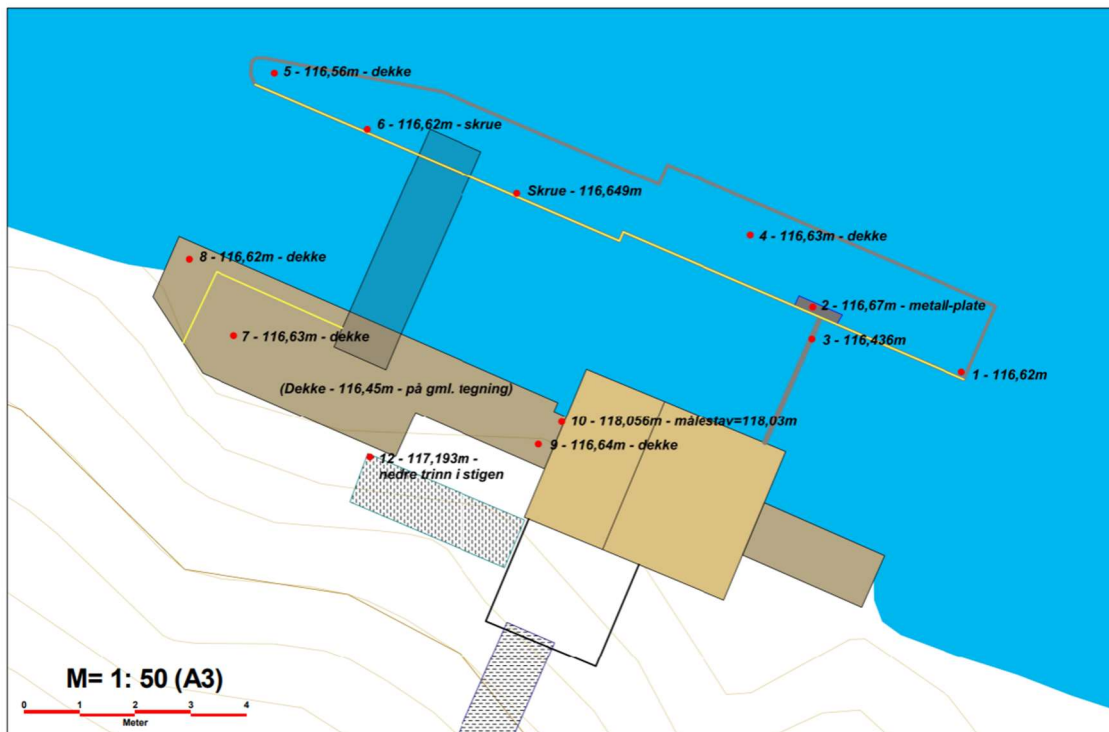
Sundt, H. (2022). *Remotely sensed data for bathymetric mapping and ecohydraulics modelling in rivers*.



7 Vedlegg

Vedlegg 1 – Egne innmålinger Skagerak Kraft AS

Seljordsvatnet - Høyder i NN2000 - ved Luke Hagadrag

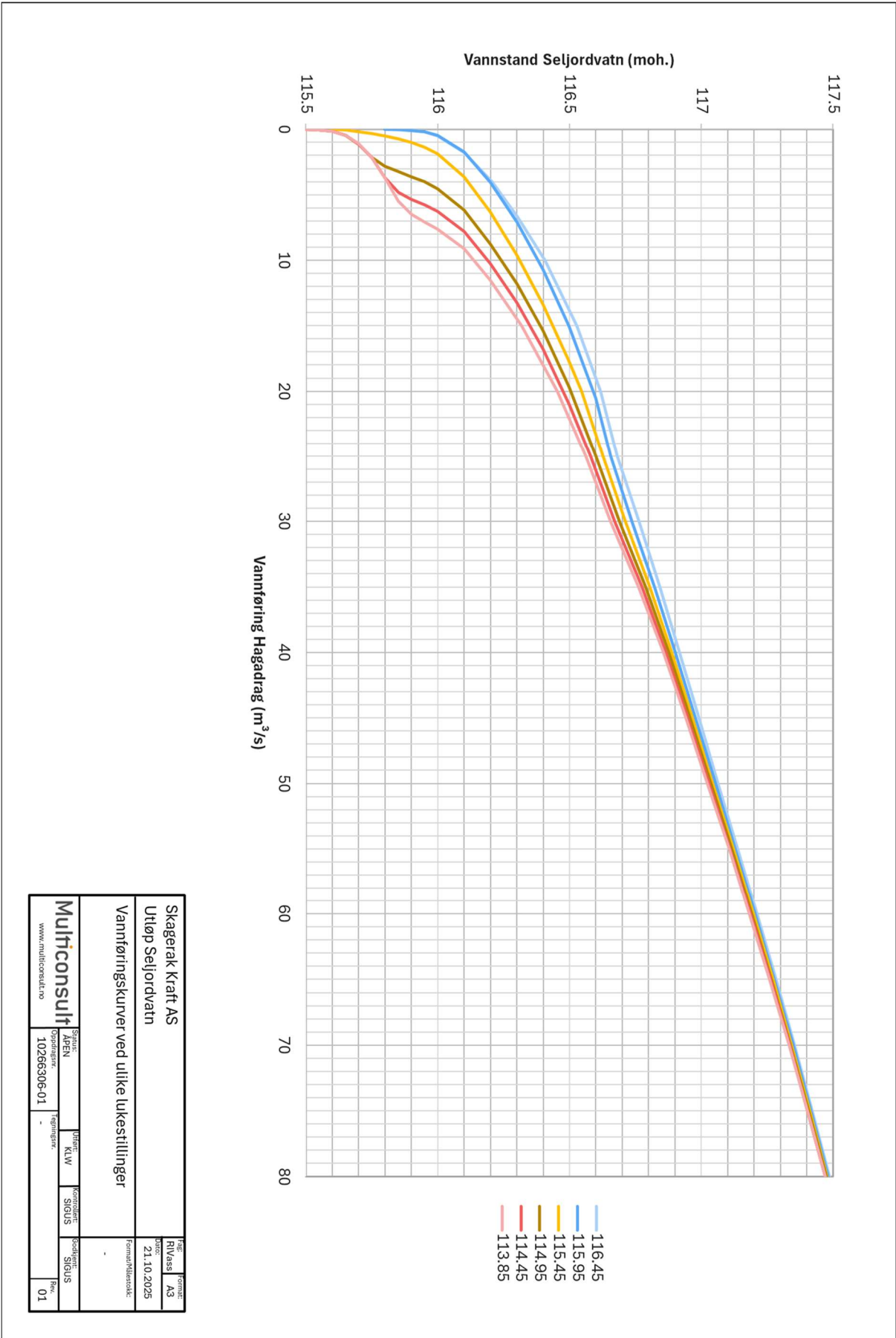




Vedlegg 2 – Tegninger



Vedlegg 3 – Beregnede kapasitetskurver





Vedlegg 4 – Routing av to perioder med åpen og lukket luke

Etter at første versjon av notatet ble sendt til NVE, kom følgende bestilling fra NVE:

«Vi ønsker i tillegg beregninger for to perioder fra de seinere årene, og at beregningene gjøres på døgndata.

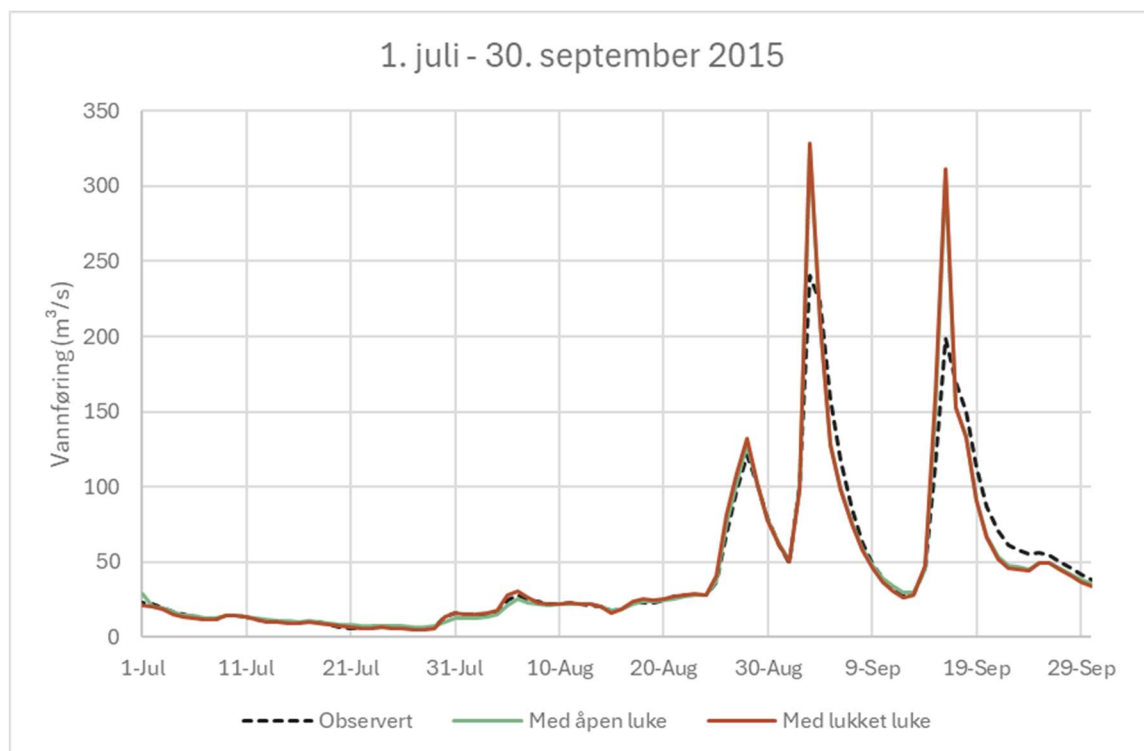
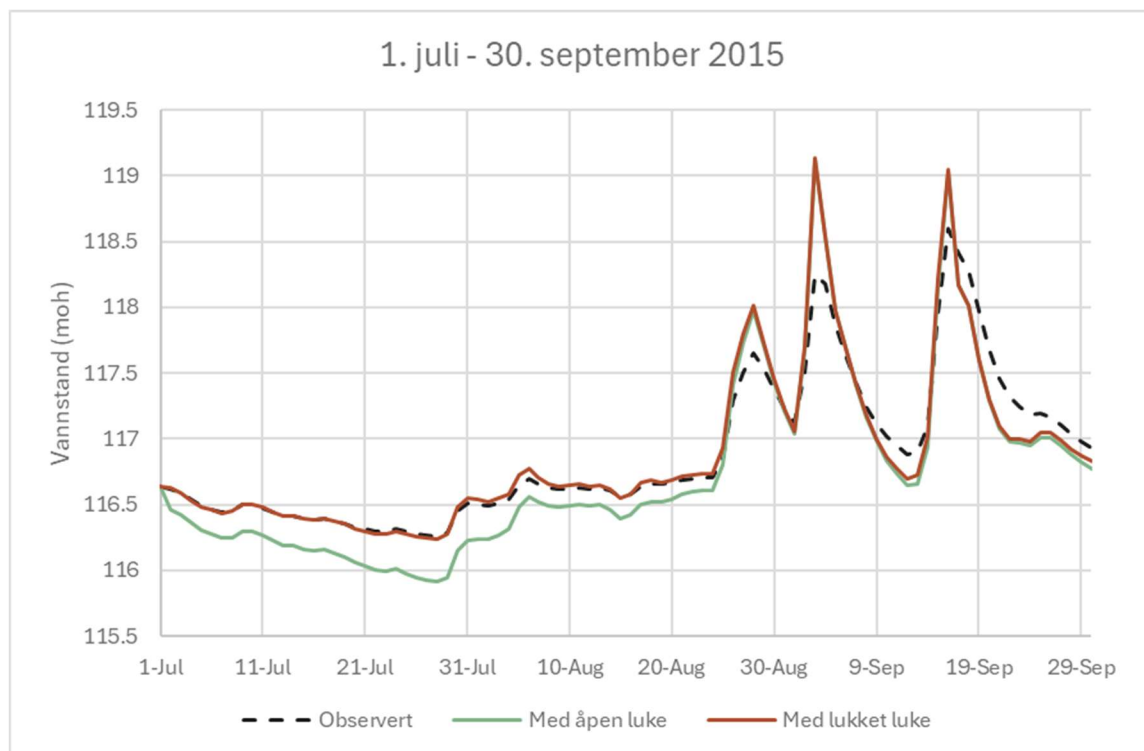
- *1. juli - 30. sept. 2015. Da var det den største flommen ut av Seljordsvatn de siste årene. Største døgnmiddel er omkring 240 m³/s, mens i juli dette året var det lav vannføring (periodevis under 10 m³/s).*
- *1. sept - 30. nov 2020. Da var det flere flomtopper omkring middelflom (altså en relativt normal situasjon), og også da lav vannføring i forkant (ned mot 5 m³/s midt i september)*

Ved hjelp av observert avløp fra Seljordsvatn (16.51 Hagadrag), observert vannstand i Seljordsvatn (16.123 Seljordvatn) og magasinkurven som Multiconsult har presentert i sin rapport, kan det lages en tilløpsserier for periodene nevnt over. Tilløpsflommene routes gjennom magasinet (hydrologisk routing) med åpen og stengt luke. Resultatet presenteres slik at en ser hvilke vannstandsforskjeller disse to alternativene ville gitt i Seljordsvatn. Det vil gi en god tilleggsinformasjon om betydningen av luka på vannstandene i Seljordsvatn, både under flom og ved lav vannføring.»

Resultatene fra routingen er vist på de neste sidene. Merk at når slike beregninger gjøres med døgndata, blir det store unøyaktigheter i perioder der vannføringen endrer seg mye fra ett døgn til et annet. Dette ser vi spesielt godt på flommen i september 2015, der vi med døgnverdier får en maksimalvannføring ut på 330 m³/s. Om vi gjør den samme routingen med timesverdier, er maksimalvannføring på 220 m³/s, og vannføring og vannstander ligger nærmere det som er observert. Merk også at data fra målestasjon 16.123 Seljordvatn kun er sekundærkontrollert tom. 2012. Vannstandsdata er dermed hentet fra databasen HYKVAL, ikke fra HYDAG. Det er benyttet magasinkurve fra vannmerke 16.123 hentet fra NVEs database Hydra II.

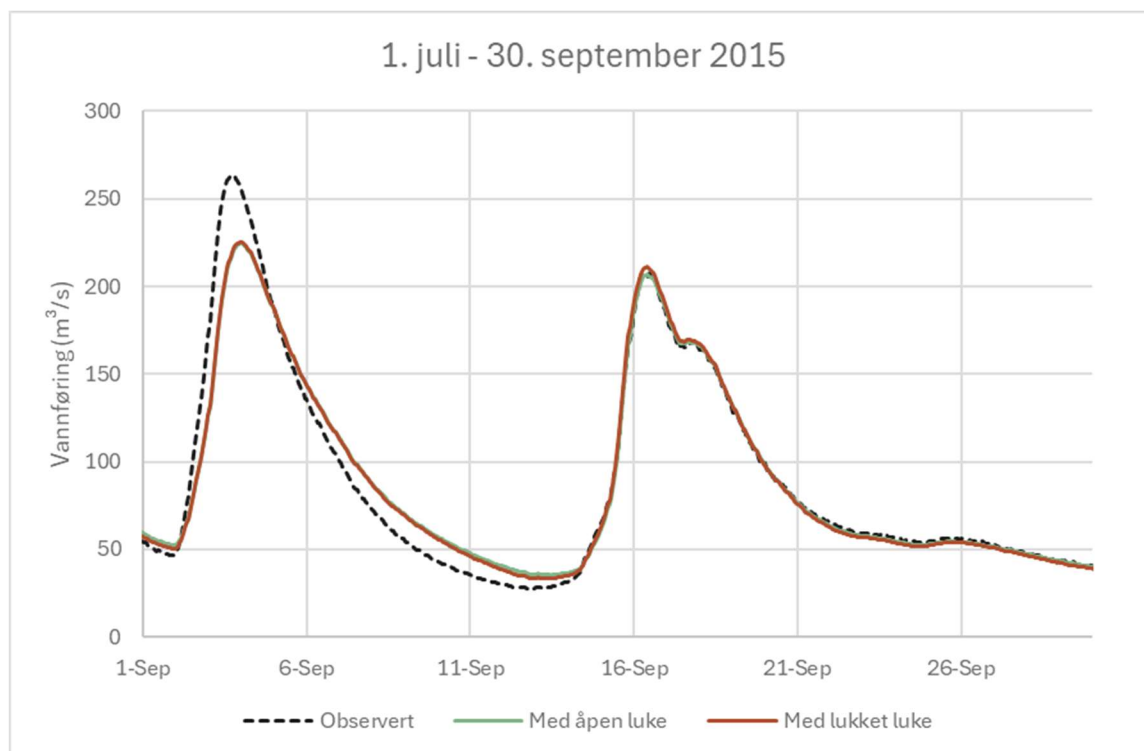
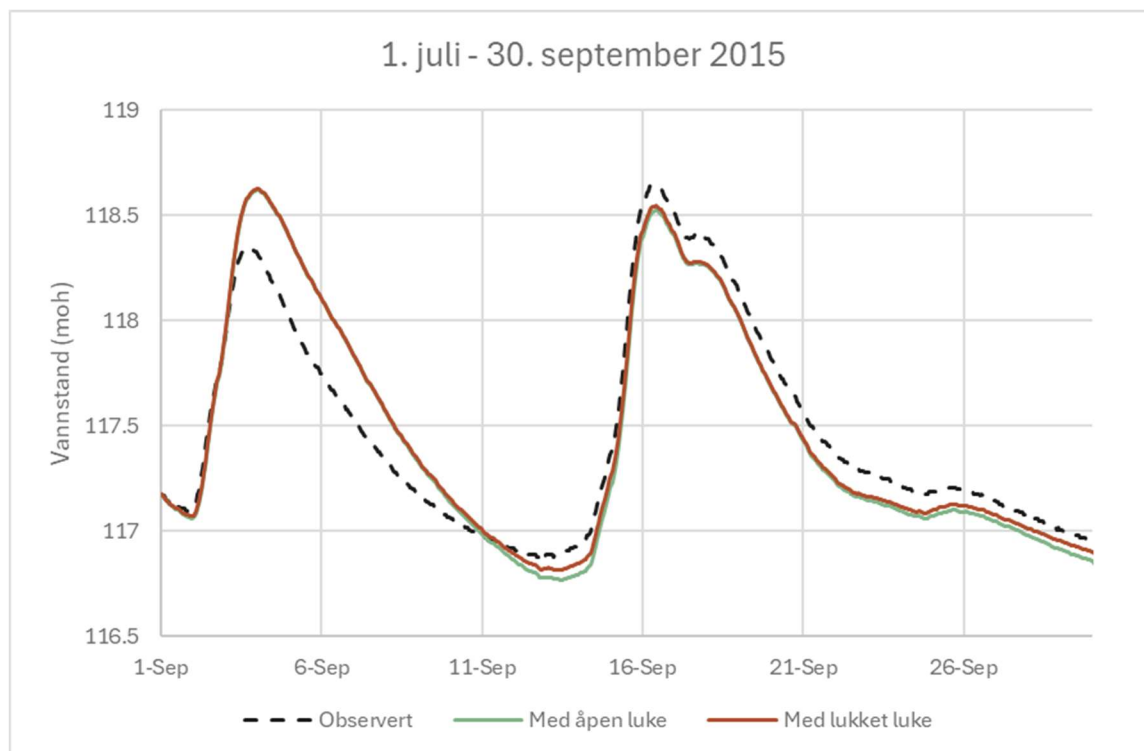


Routing av 1. juli – 30. september 2015:



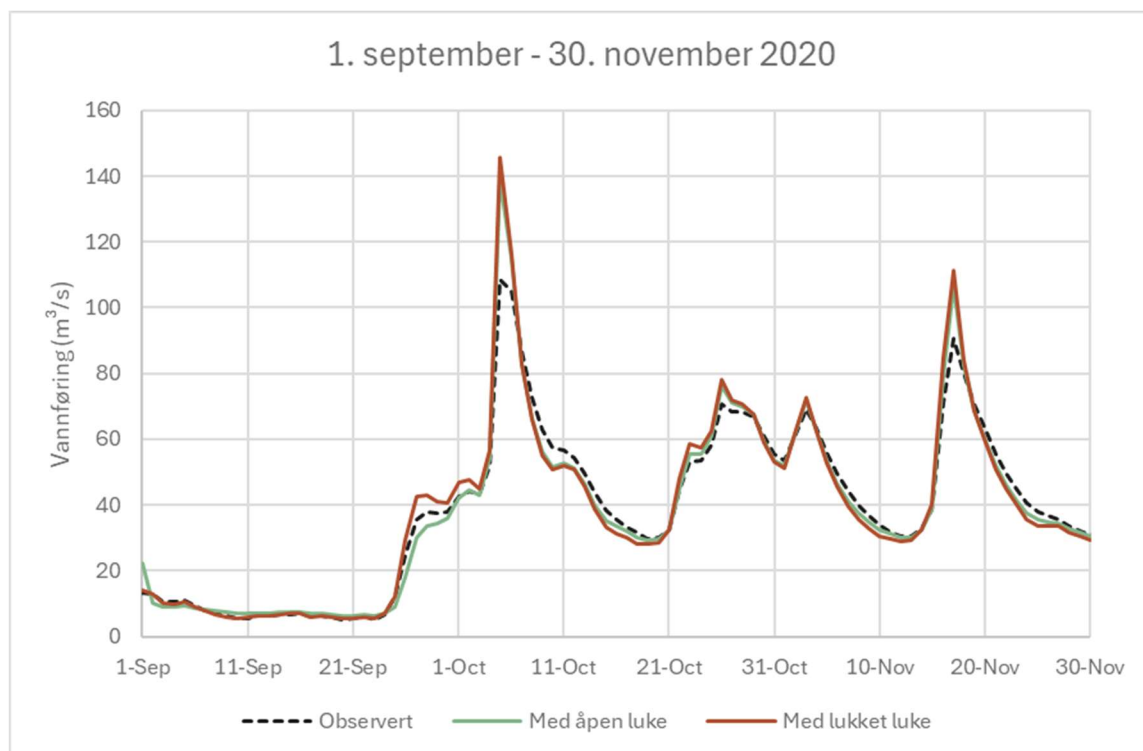
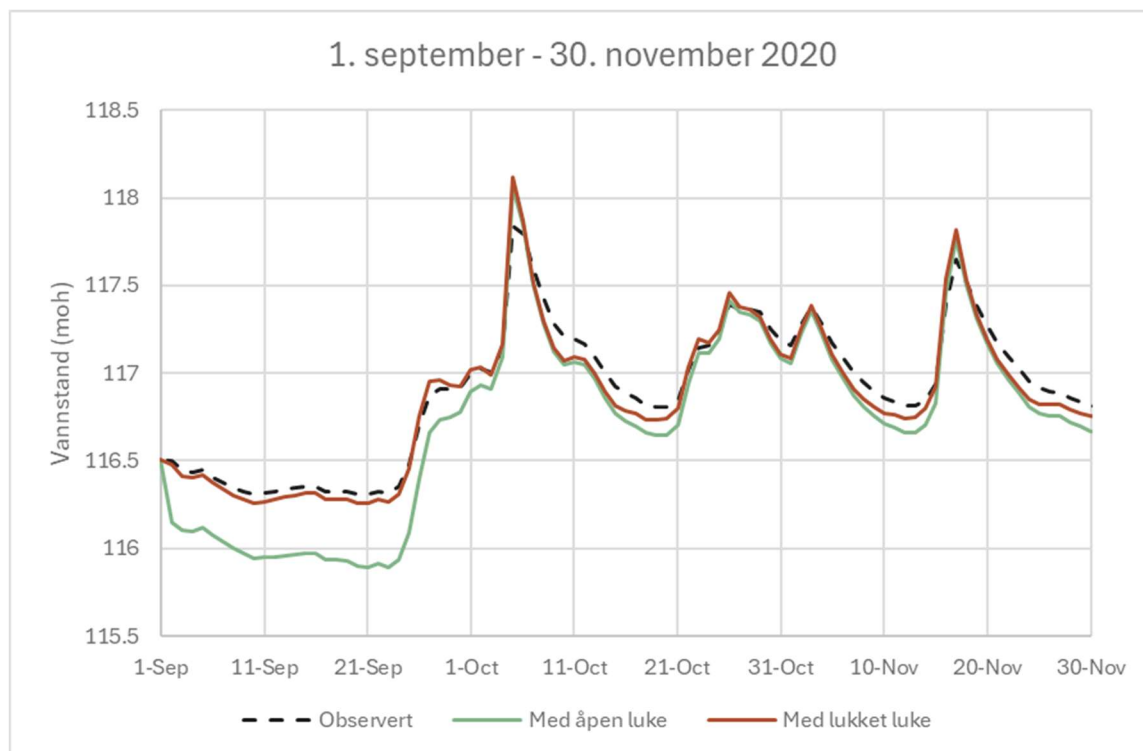


Alternativ routing med timesdata:





Routing 1. september – 30. november 2020:





Vedlegg 5 – Metadata bunnkartlegging Seljordvatn