



Notat

OPPDRAG	Seljordsvatn - Hydraulisk modellering og bunnkartlegging	DOKUMENTKODE	10266306-01-RIVass-NOT-001
EMNE	Hydraulisk modellering av utløp Seljordvatn	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	Skagerak Kraft AS/ Midt-Telemark kommune	OPPDRAGSLEDER	Sigurd Sørås
KONTAKTPERSON	Lars Ole Thunold	UTARBEIDET AV	Sigurd Sørås
KOPI		ANSVARLIG ENHET	10105071 Hydrologi Oslo

SAMMENDRAG

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. Kalibrert hydraulisk modell viser godt samsvar med observerte verdier ned til topp lukeblad på kote 115,45 moh, deretter er det ingen observerte verdier og kapasitetskurvene er dermed knyttet til noe større usikkerhet. Modellen er deretter brukt til å lage kapasitetskurver for ulike lukestillinger ned til topp lukeblad på kote 113,85 moh.

00	27.08.2025		Sigurd Sørås	Kristine L. Walløe	Sigurd Sørås
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV



Innholdsfortegnelse

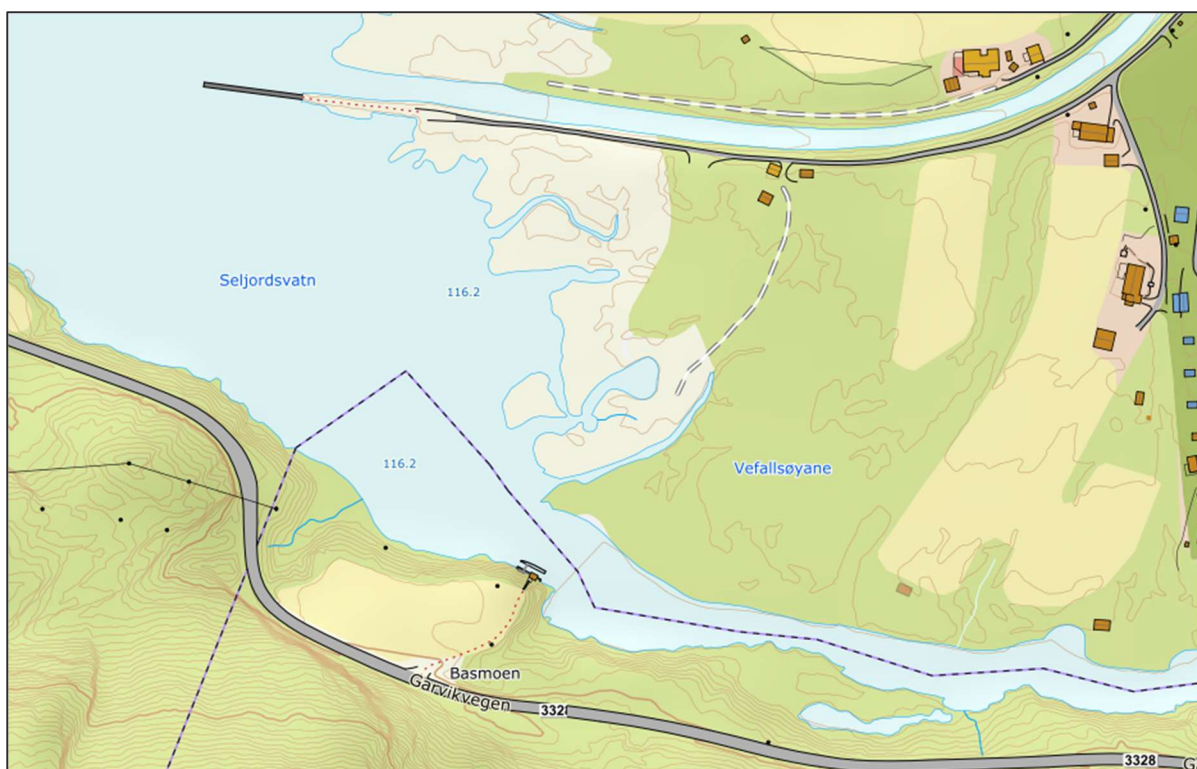
1	Innledning.....	3
2	Grunnlag.....	4
2.1	Innmålinger av bunnforhold.....	4
2.1.1	Eldre dybdekart	4
2.1.2	Dybdekartlegging.....	5
2.1.3	Landmålinger	6
2.2	Tegninger	6
2.3	Dronebilder og film.....	8
2.4	Målte vannføringer og vannstander	11
2.4.1	Konvertering av vannføringskurve Hagadrag	13
3	Oppsett og kalibrering av hydraulisk modell	14
3.1	Modelloppsett.....	14
3.1.1	Ferdigstilling av terrengmodell	14
3.1.2	Beregningsceller og grensebetingelser	16
3.1.3	Ruhet og andre beregningskoeffisienter	17
3.2	Kalibrering.....	17
4	Resultater.....	18
4.1	Usikkerheter	22
5	Konklusjon.....	22
6	Referanser	23
7	Vedlegg	24
	Vedlegg 1 – Egne innmålinger Skagerak Kraft AS	24
	Vedlegg 2 – Tegninger.....	25
	Vedlegg 3 – Beregnede kapasitetskurver.....	26
	Vedlegg 4 – Metadata bunnkartlegging Seljordvatn	27



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.

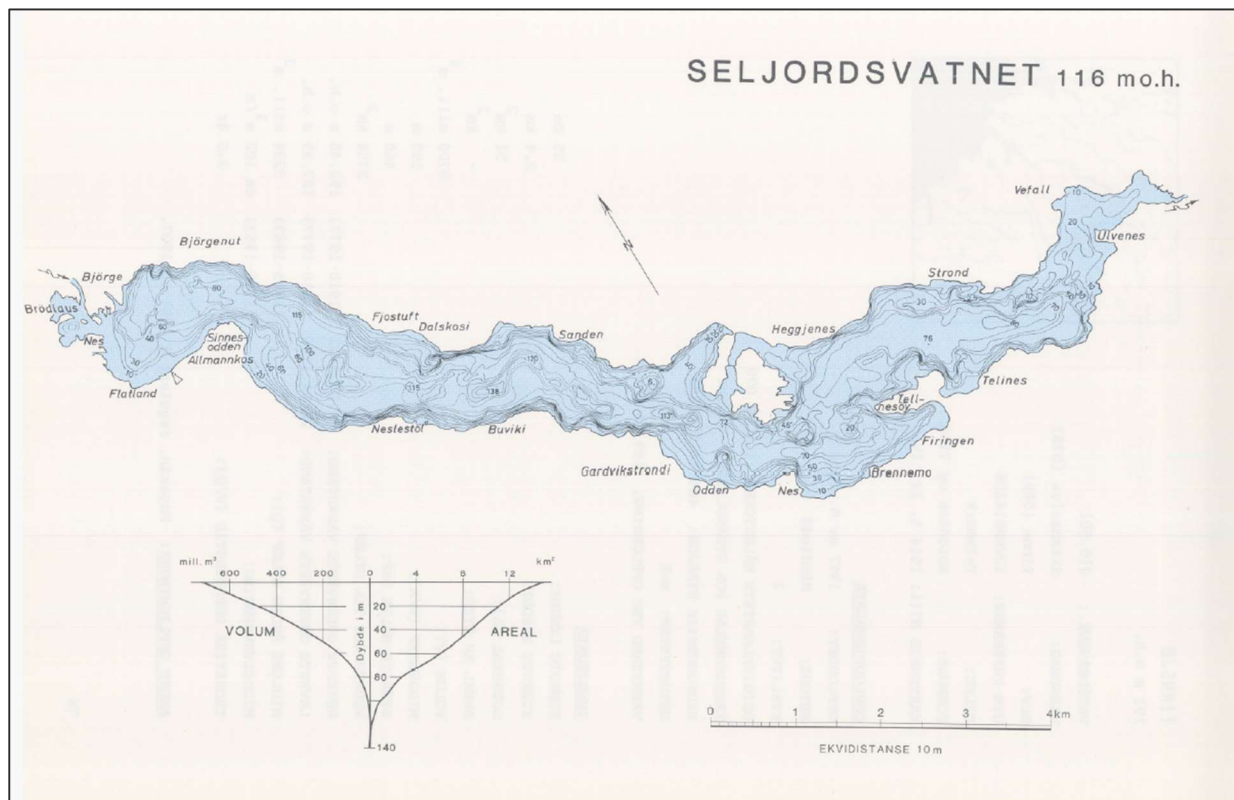
2 Grunnlag

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 datainnhentingene som er gjennomført.

2.1 Innmålinger av bunnforhold

2.1.1 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)

2.1.2 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.

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.



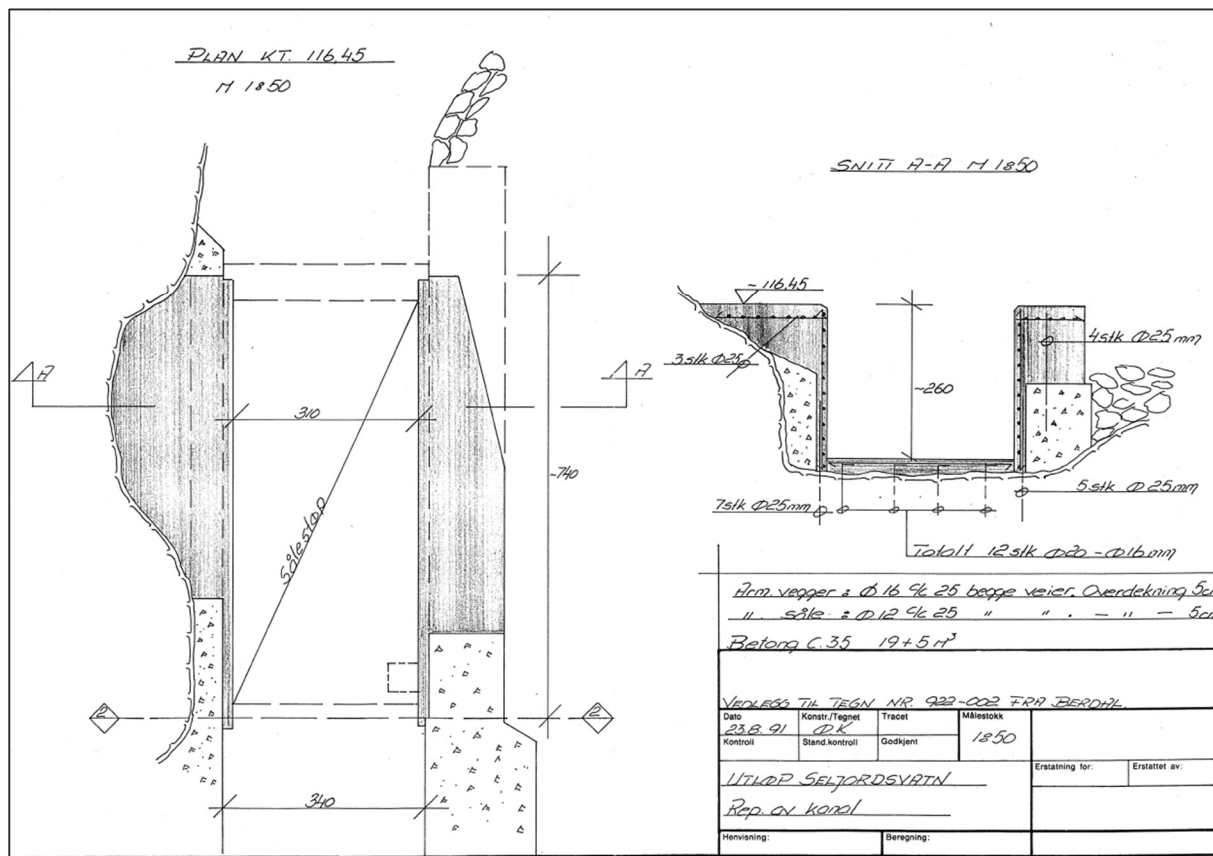
Figur 2-2 Utsnitt av innmålt batymetri

2.1.3 Landmålinger

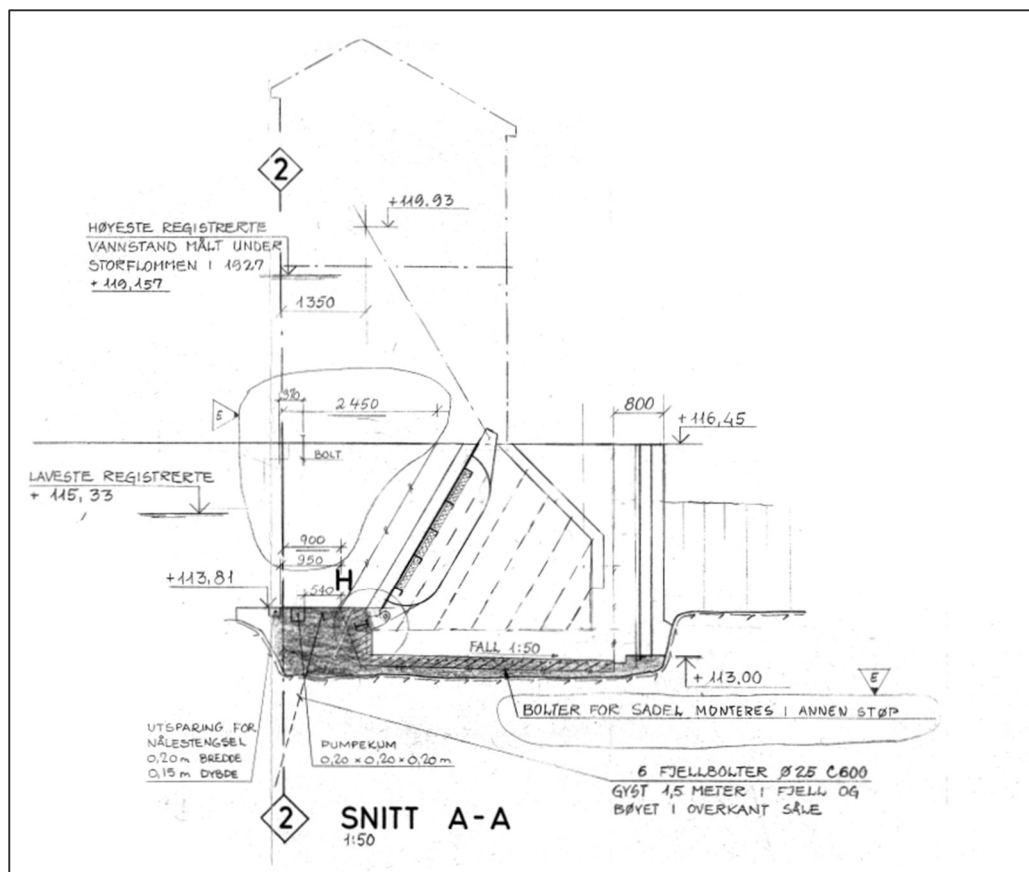
Skagerak Kraft AS har i en rekke år gjennomført forskjellige innmålinger i og rundt utløpet til Seljordsvatnet. Den 4. april 2018 ble det gjennomført en del innmålinger av både terskelen og bunnforholdene, da det var svært lav vannstand den aktuelle datoen. Aktuelle innmålinger er vist i vedlegg 1, og har vært svært viktig for å utvikle terrenghmodellen 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 terrenghmodell i områder som var vanskelig å kartlegge.

2.2 Tegninger

Skagerak Kraft AS har bistått med å oversende aktuelle tegninger for lukekonstruksjonen. Høydereferanse i tegningene er ukjent, men det er funnet at forskjellen mellom NN2000 og de oppgitte høydene er rundt 20 cm (tegninger viser 20 cm for lav høyde sammenlignet med NN2000). Det er derfor brukt denne konverteringsfaktoren for alle verdier hentet fra tegninger.



Figur 2-3 Tegning av utstøpt kanal inn mot luke (mottatt fra Skagerak Kraft AS). Full tegning vist i vedlegg 2



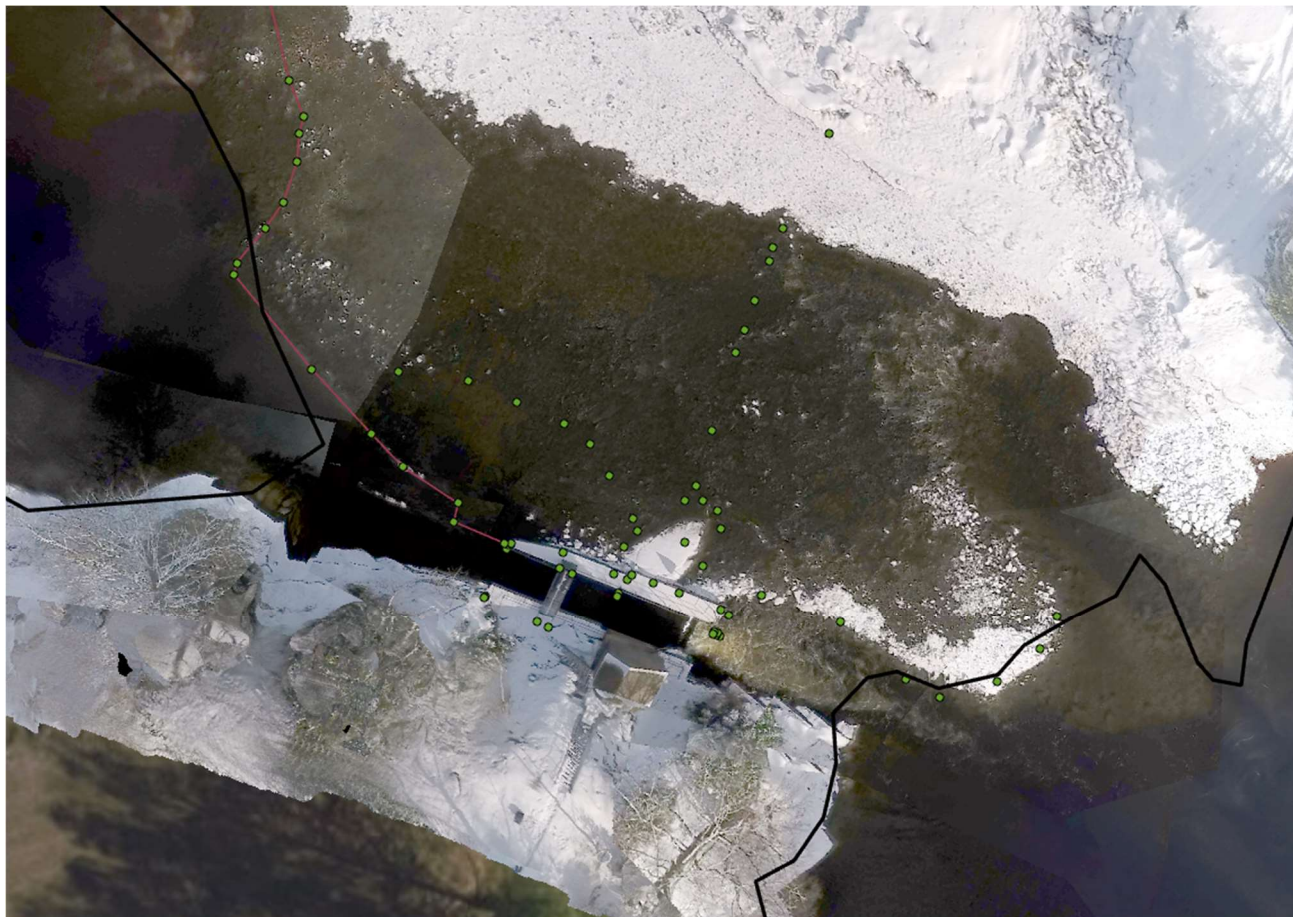
Figur 2-4 Utsnitt fra tegning som viser luke, tegning også vist i vedlegg 2.



Figur 2-5 Luke sett motstrøms (Bilde: Skagerak Kraft AS)

2.3 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 dronfilmer 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 2-6 Syntetisk ortofoto generert vha. dronefilm fra 2018. Svart polygon viser tilgjengelig data fra bunnkartlegging utført i 2025, punkter viser tilgjengelige punktmålinger.



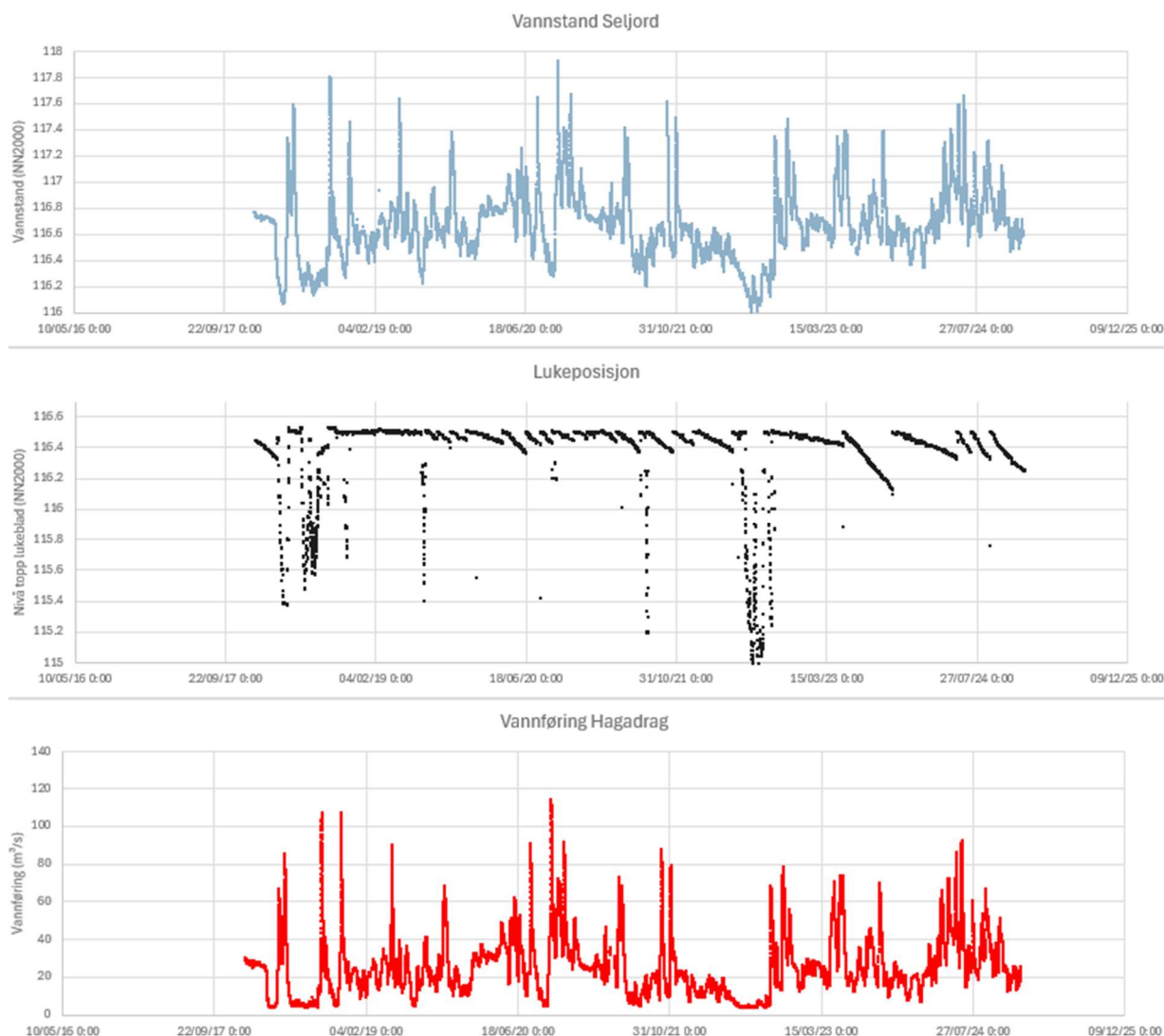
Figur 2-7 Syntetisk ortofoto generert vha. på dronefilm fra 2025



2.4 Målte vannføringer og vannstander

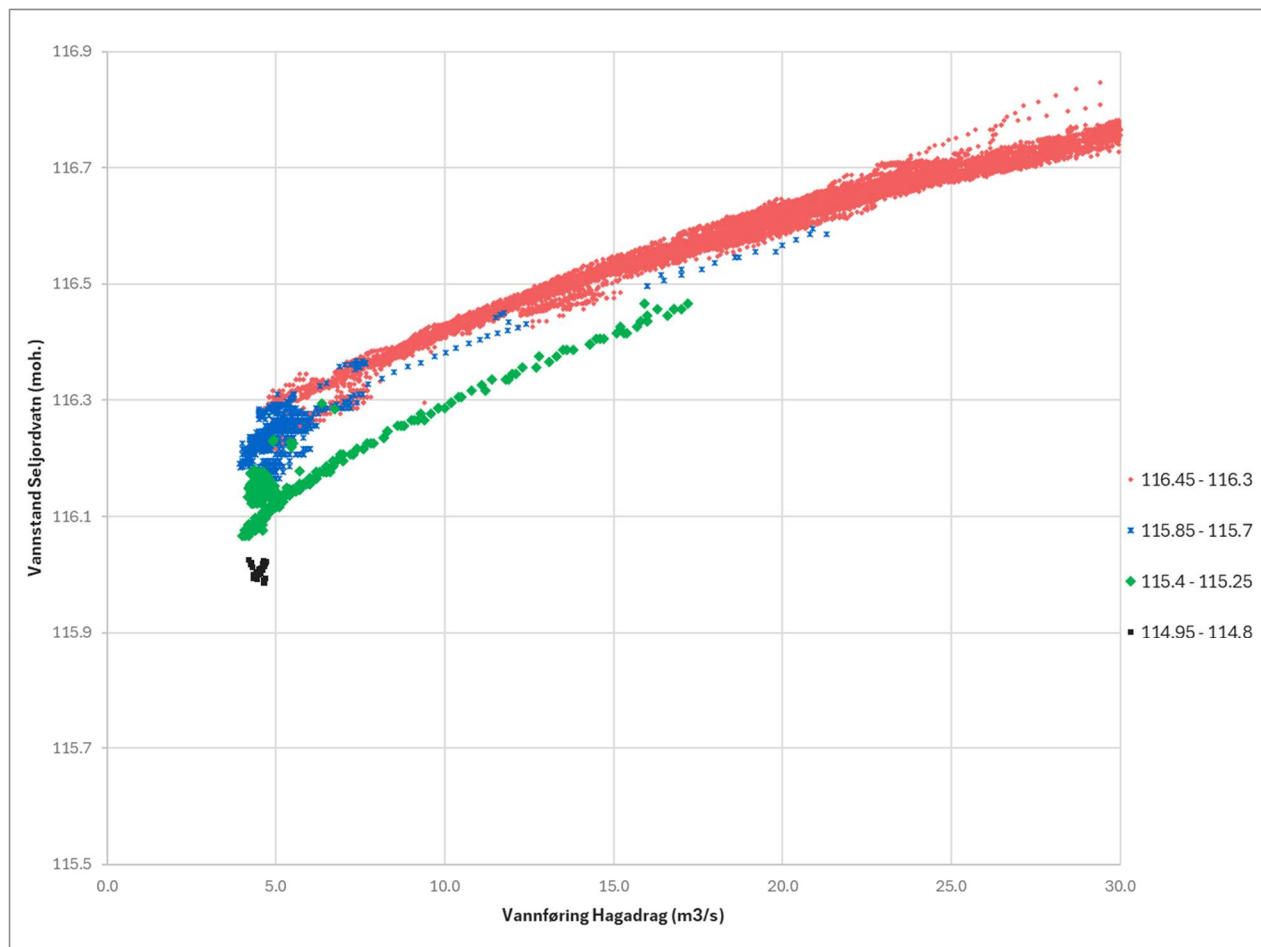
For å kalibrere den hydrauliske modellen, har Multiconsult benyttet observert data knyttet til vannstander, toppnivå lukeblad og vannføringer. Vannstand og lukehøyde er gitt i NN2000, mens vannføring er hentet fra NVEs målestasjon 16.51.0 Hagadrag.

For å justere tall mottatt fra Skagerak 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 i NN2000, eller tilnærmet lik.



Figur 2-8 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.

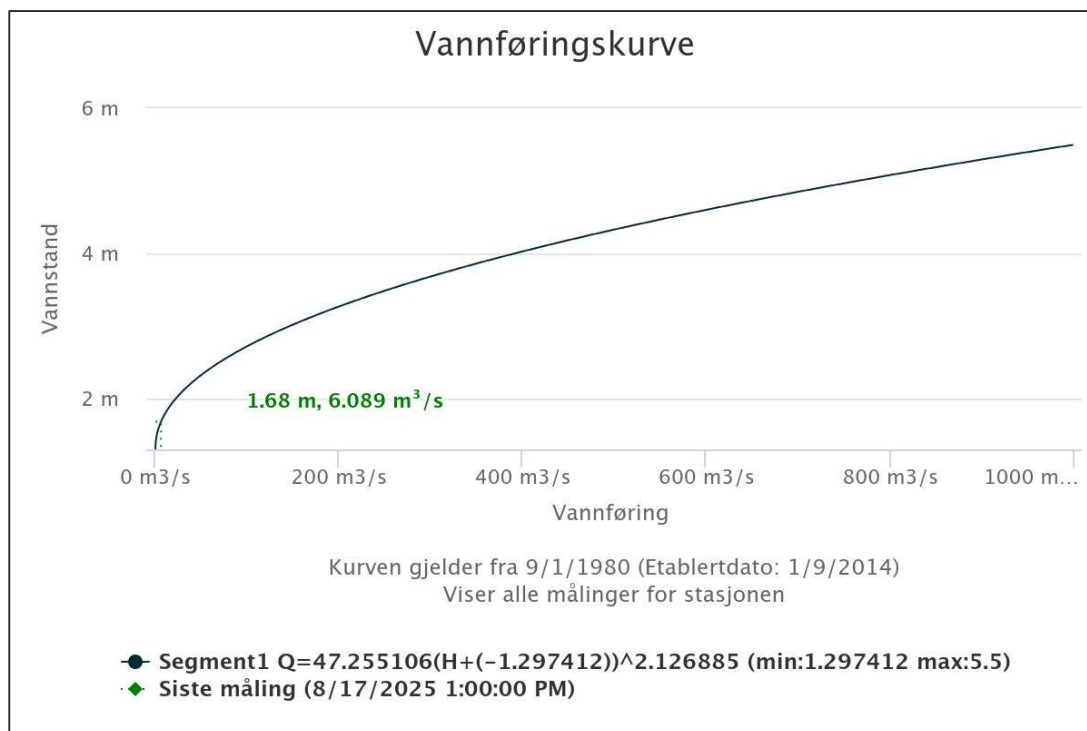


Figur 2-9 Observerte vannstander i Seljordsvatnet og vannføring ved Hagadrag, ved ulike lukestillinger (vist i høyre marg). Lukestilling er rapportert i intervaller. «116.45-116.3» viser intervallet mellom lukestilling 116,45-116,30



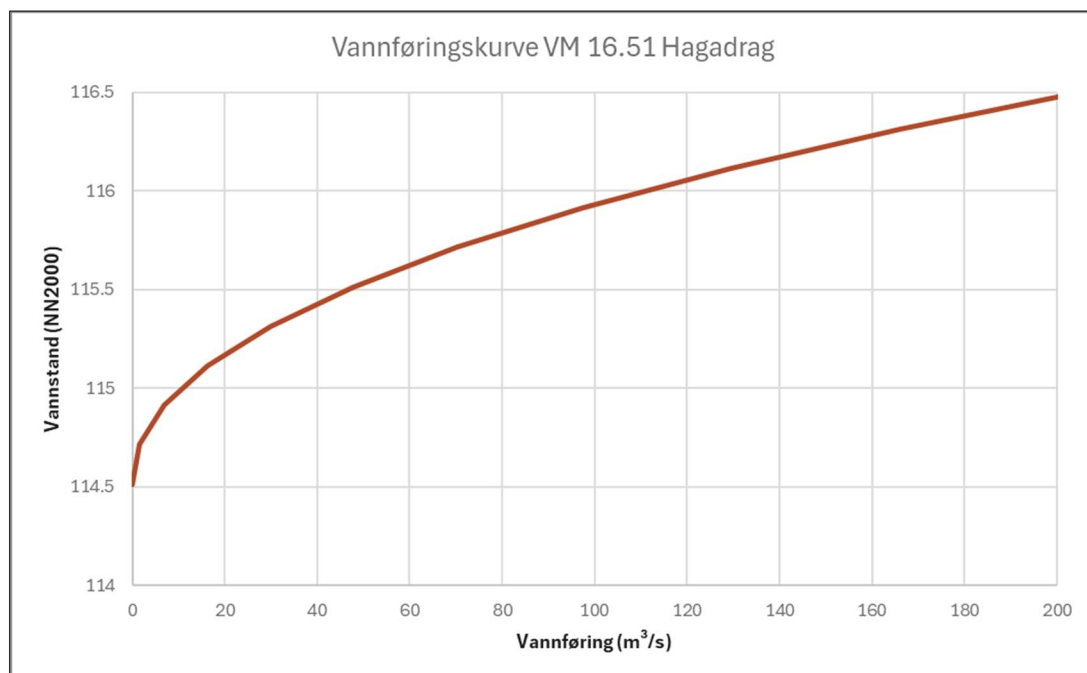
2.4.1 Konvertering av vannføringskurve Hagadrag

Dagens vannføringskurve for 16.51.0 Hagadrag er i dag gitt i relative verdier (dvs. mest sannsynlig dybder over sensoren).



Figur 2-10 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 2-11 Benyttet vannføringskurve for VM 16.51.0 Hagadrag



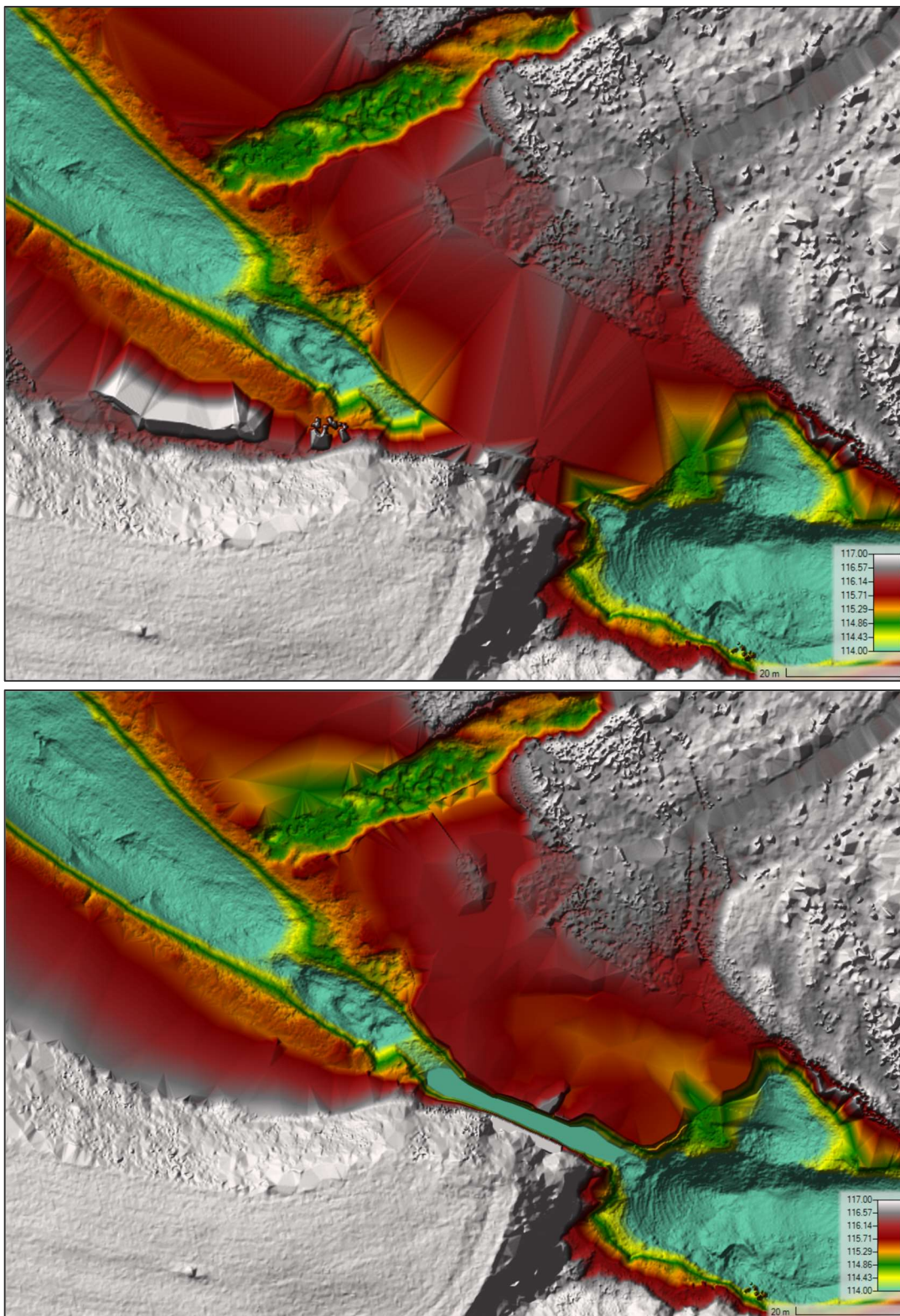
3 Oppsett og kalibrering av hydraulisk modell

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 2.1.2 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.



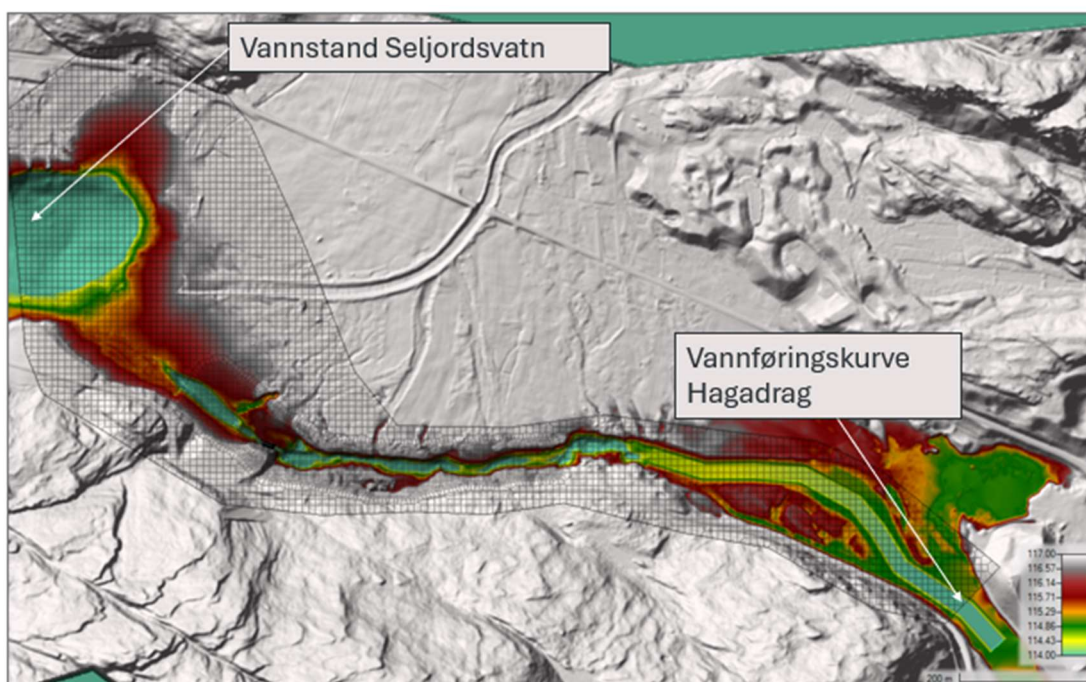
Figur 3-1 Øverst terreng med interpolering mellom bunnkartlegging og høydemodell fra hoydedata.no. Nederst: Terreng etter justering mot innmålinger og dronebilder.



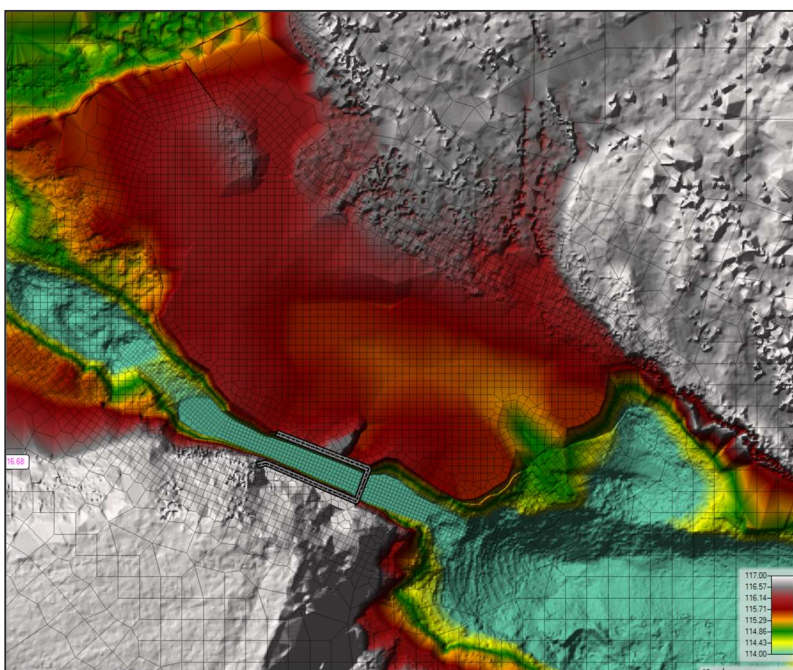
3.1.2 Beregningsceller og grensebetingelser

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 vannstand er bestemt i Seljordvatn, og vannføringskurven beskrevet i kapittel 2.4.1 er bestemmende for kapasiteten i Bøelva i enden av modellen.



Figur 3-2 Modellutstrekning og grensebetingelser

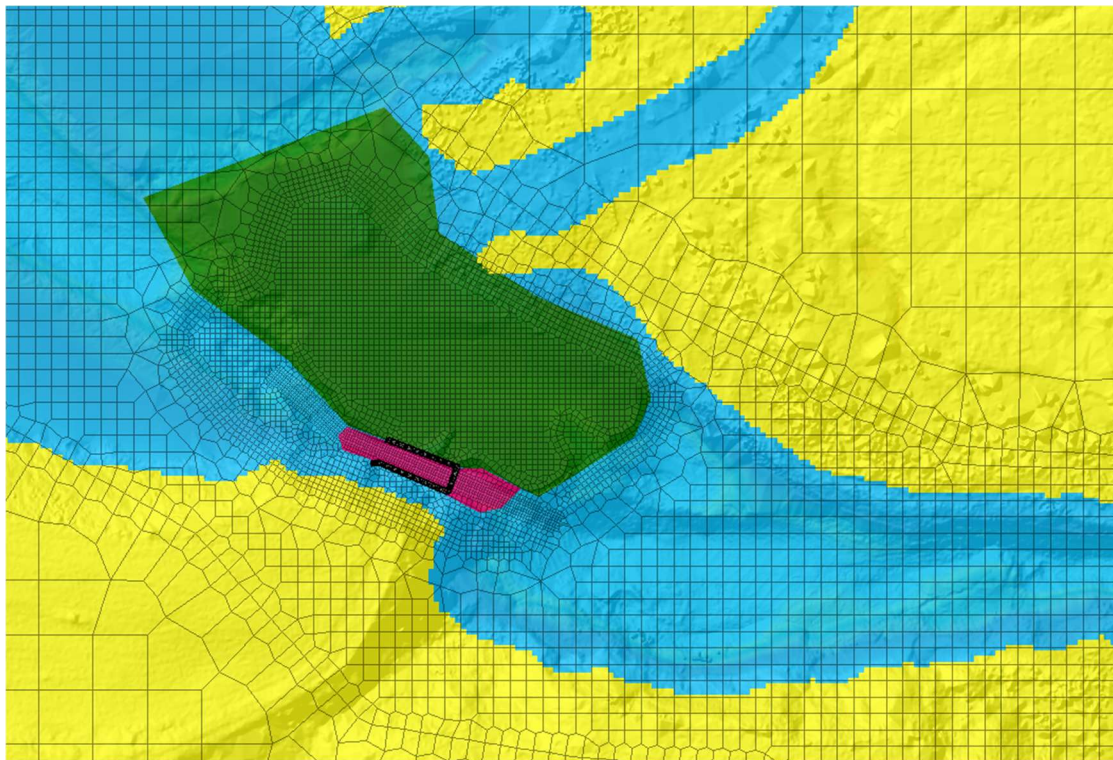


Figur 3-3 Modellutstrekning, detalj rundt luke



3.1.3 Ruhet og andre beregningskoeffisienter

I modellen er det valgt å benytte ruhet tilsvarende Mannings' tall M på $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ i selve elveleiet, $12,5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ i områdene utenfor elveleiet (antar mye busker og trær) og $76 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ i betongkanalen oppstrøms luken. I overgangen mellom Seljordvatnet og Bøelva (den naturlige terskelen) er det valgt å ha varierende Manningstall basert på vannføring, da dette er benyttet som kalibreringsmetode beskrevet i neste underkapittel.



Figur 3-4 Varierende ruhet benyttet i modell. Her vist for detalj rundt luken. Gul = $12,5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, Blå = $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, Rød = $76 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Grønn er benyttet til å kalibrere modellen.

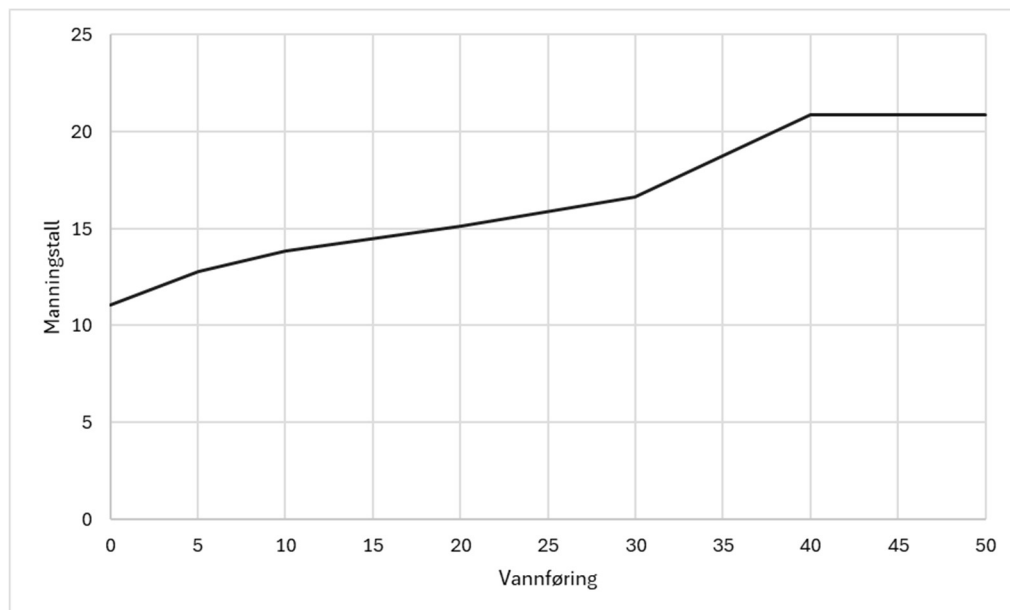
Det er benyttet en overløpskoeffisient C lik 1,8 for strømming over luken. Betongterskelens nivå er satt til 116.6 moh.

3.2 Kalibrering

For å kalibrere modellen, er det valgt å endre ruheten i en polygon rundt den naturlige utløpsterskelen til Seljordvatn avhengig av vannføring. Dette er på grunn av at det er forventet at det er her ruheten har den største effekten på vannstanden i innsjøen, og fordi Manningstall M i praksis vil endre seg med endret vannføring. I tillegg er det også en del usikkerhet rundt terrenghøyder her, noe som kan kompenseres for ved å gjennomføre kalibrering.

Kalibreringen er gjort ved å kjøre modellen med lukket luke (116,45 moh.) og med varierende vannstand i Seljordvatn. Det ble valgt å kjøre vannstand med intervall på 0,1 m fra kote 117 ned til 115.5 (som er den laveste høyden observert i utløpet). Simulert vannstand for hvert intervall er gjennomført i 2 timer, slik at vannstand og vannføring ble konstant for hvert intervall.

Det ble så blitt lest av beregnet vannføring ved Hagadrag og sjekket dette opp mot observerte verdier beskrevet i kapittel 2.4. Best samsvar er funnet med følgende manningstall, som er økende ved økende vannføring, som vist i Figur 3-5. Det er relativt høy ruhet for de laveste vannføringene. Dette kan forklares av naturlige årsaker (det er naturlig at ruheten øker med synkende vannføring), men det kan også indikere noen små unøyaktigheter i terrengmodellen i disse områdene.



Figur 3-5 Manningstall for kalibreringszone

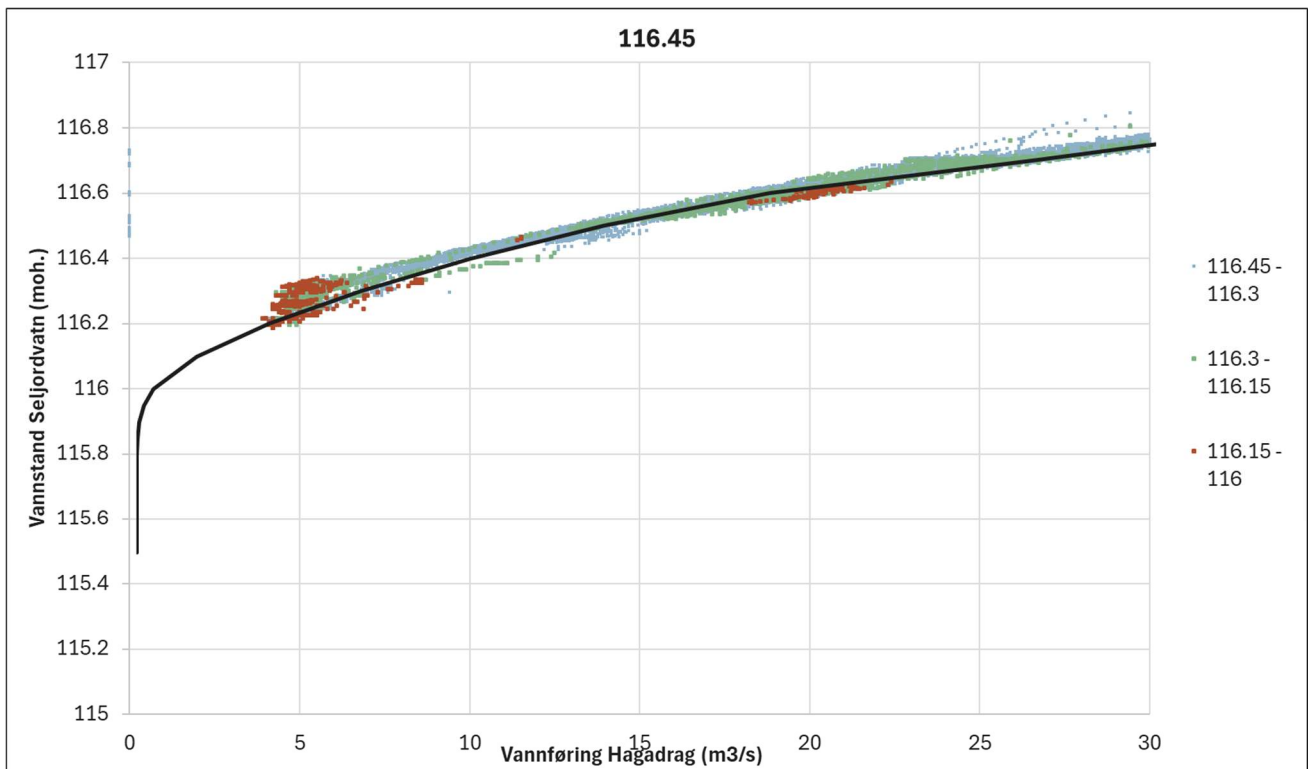
Modellen ble så kjørt med delvis åpen luke for å undersøke validiteten til modellen også mot observerte verdier med åpen luke. Beregningene viste godt samsvar, og det ble ikke sett på som nødvendig å endre på lukekoeffisienten.

4 Resultater

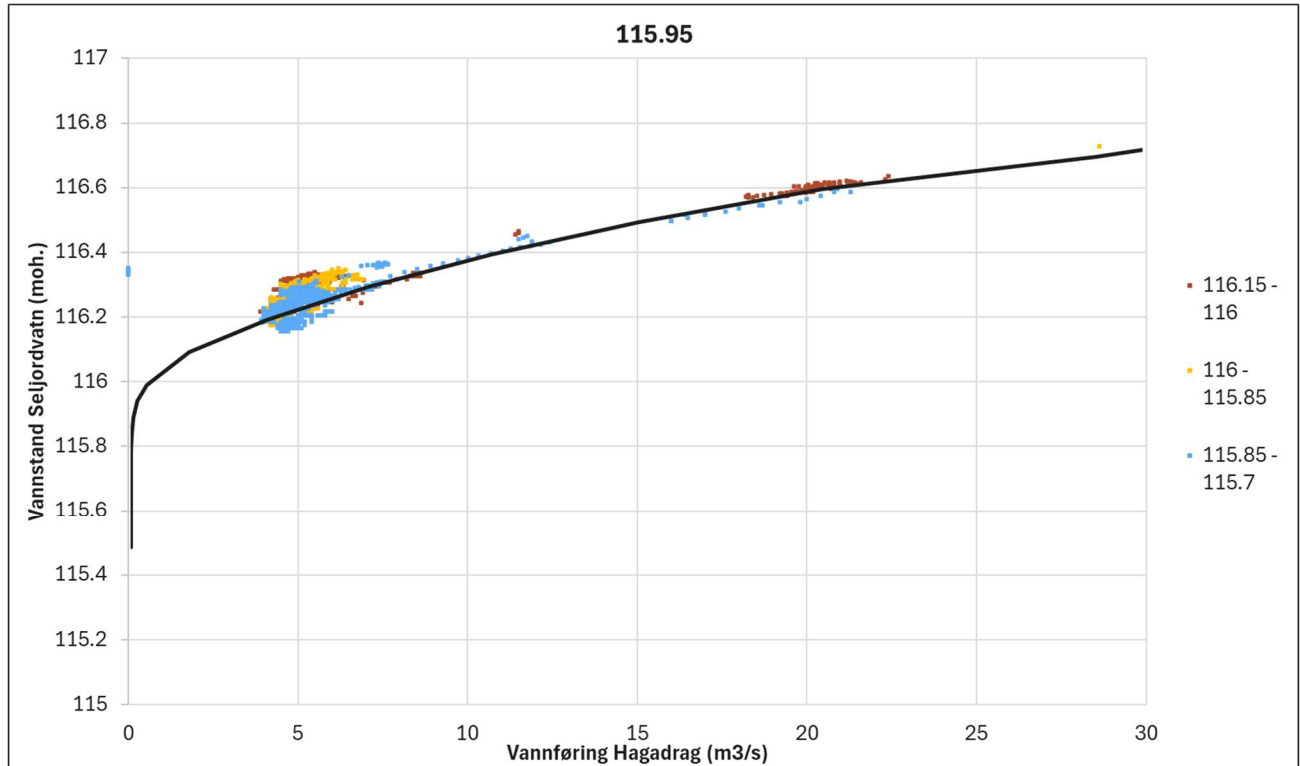
Etter ferdig kalibrert modell, ble modellen kjørt for 6 ulike scenarioer:

- Lukeblad på kote 116,45 (lukket)
- 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

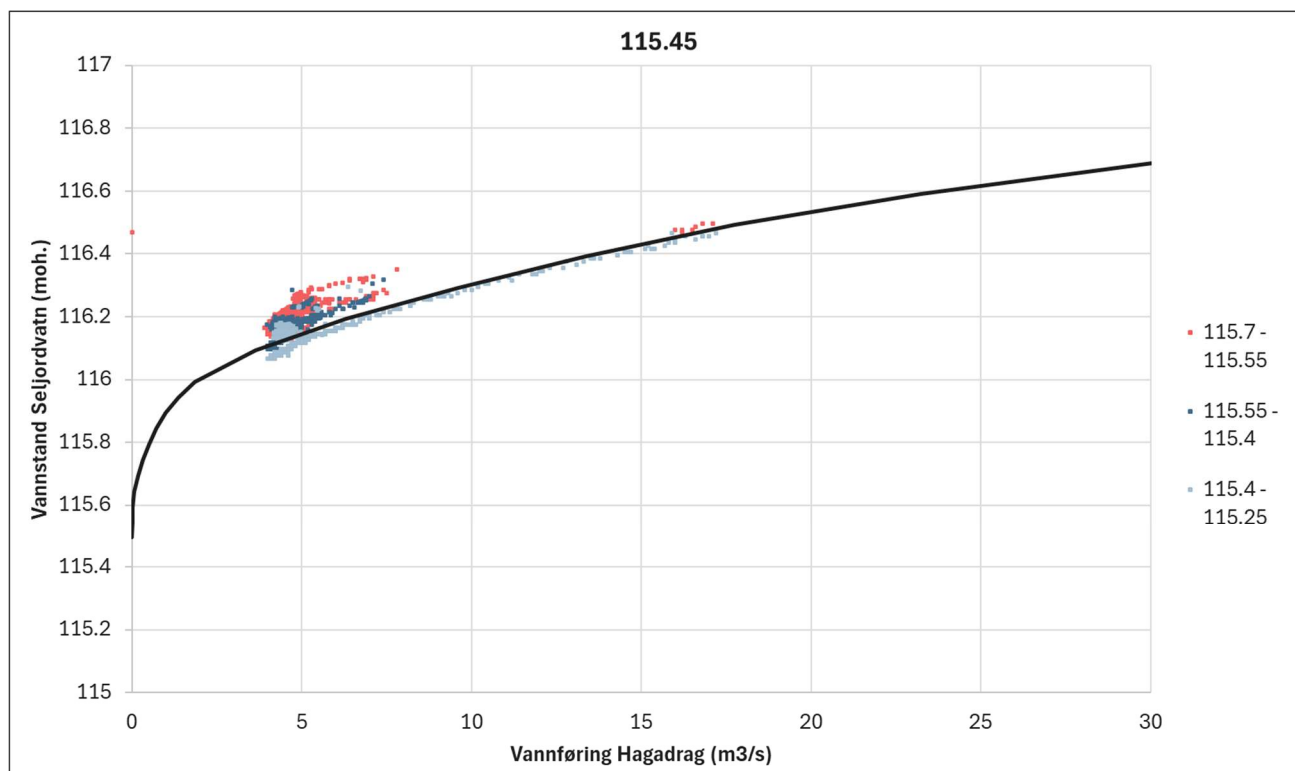
Resultatene er vist i beregnede kapasitetskurver (og observerte målinger) i følgende figurer. Samlet oversikt over kapasitetskurvene er gitt i vedlegg 3.



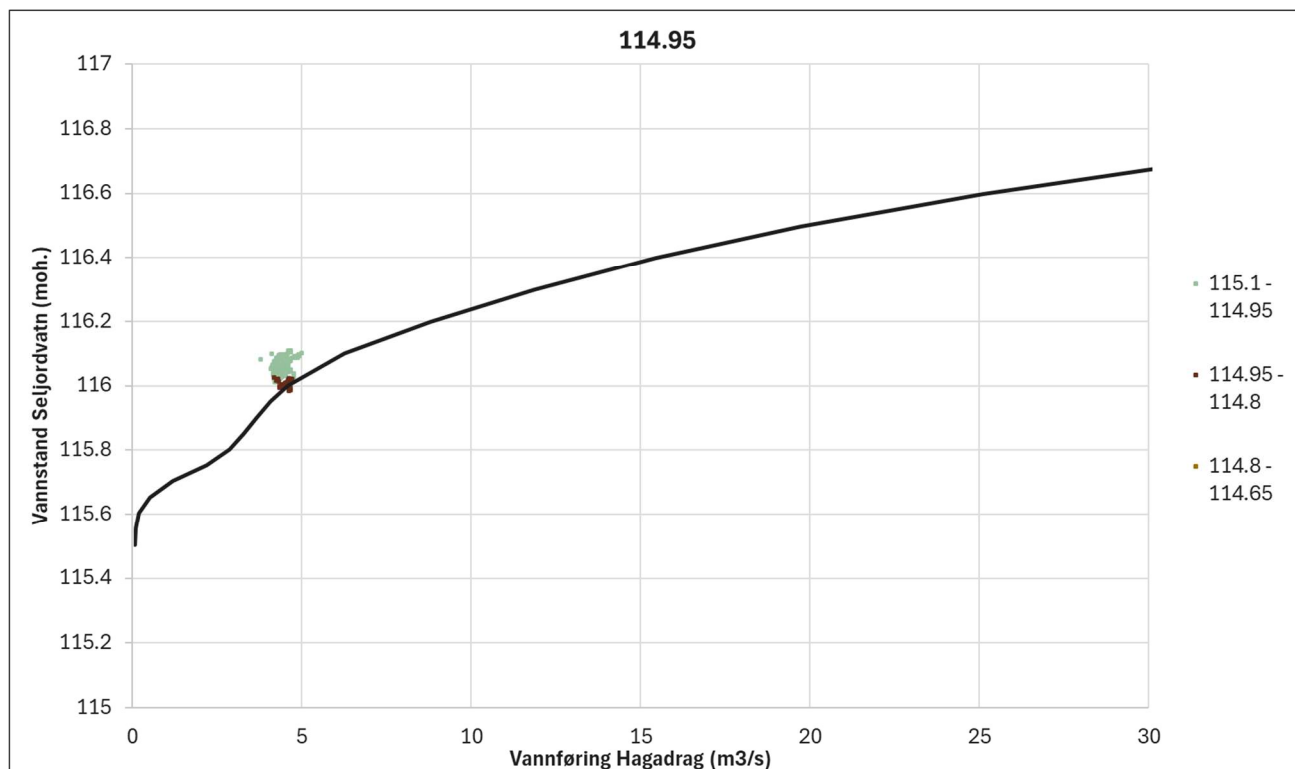
Figur 4-1 Beregnet kapasitetskurve for utløpet til Seljordvatn med luke på kote 116,45. Punkter viser observerte verdier



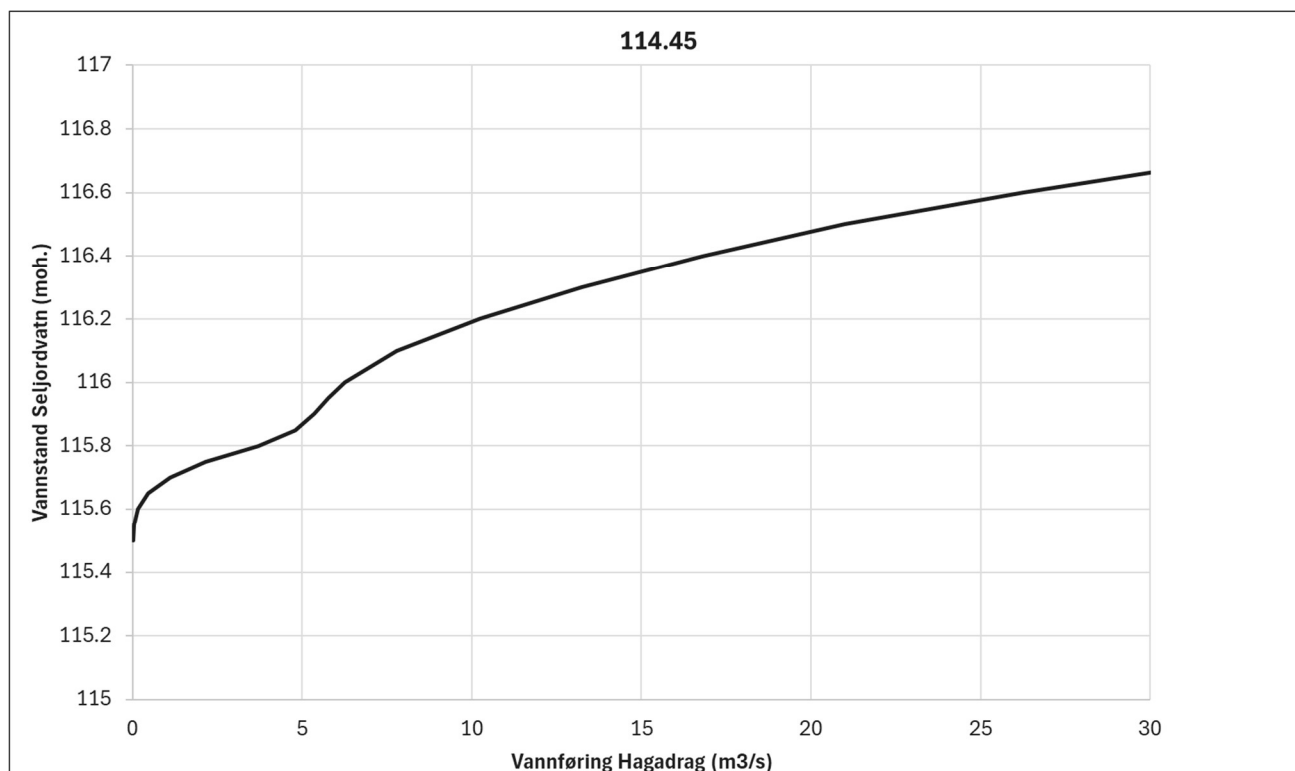
Figur 4-2 Beregnet kapasitetskurve for utløpet til Seljordvatn med luke på kote 115,95. Punkter viser observerte verdier



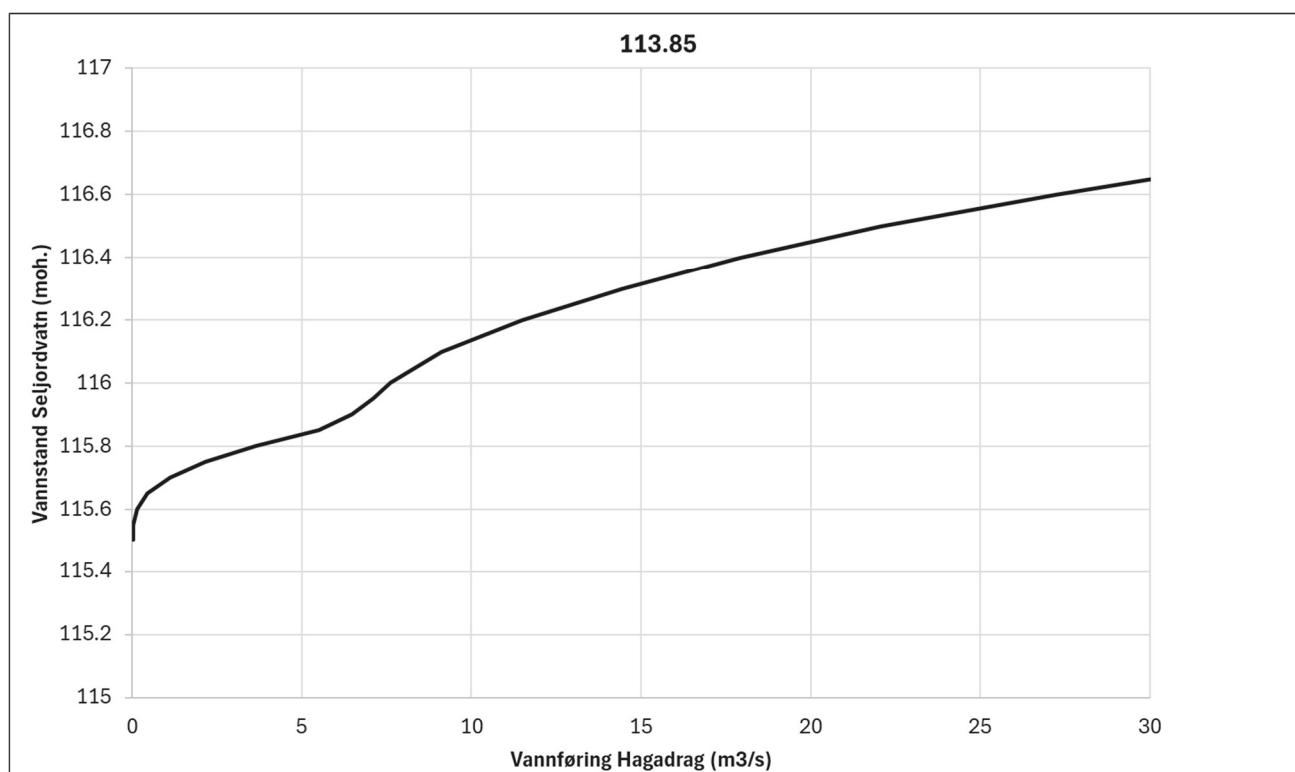
Figur 4-3 Beregnet kapasitetskurve for utløpet til Seljordvatn med luke på kote 115,45. Punkter viser observerte verdier



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 Usikkerheter

De beregnede kapasitetskurvene 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 betydelig 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 fra og med lukehøyde på kote 114,45 er det derfor knyttet større usikkerhet til disse kapasitetskurvene.

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.

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.

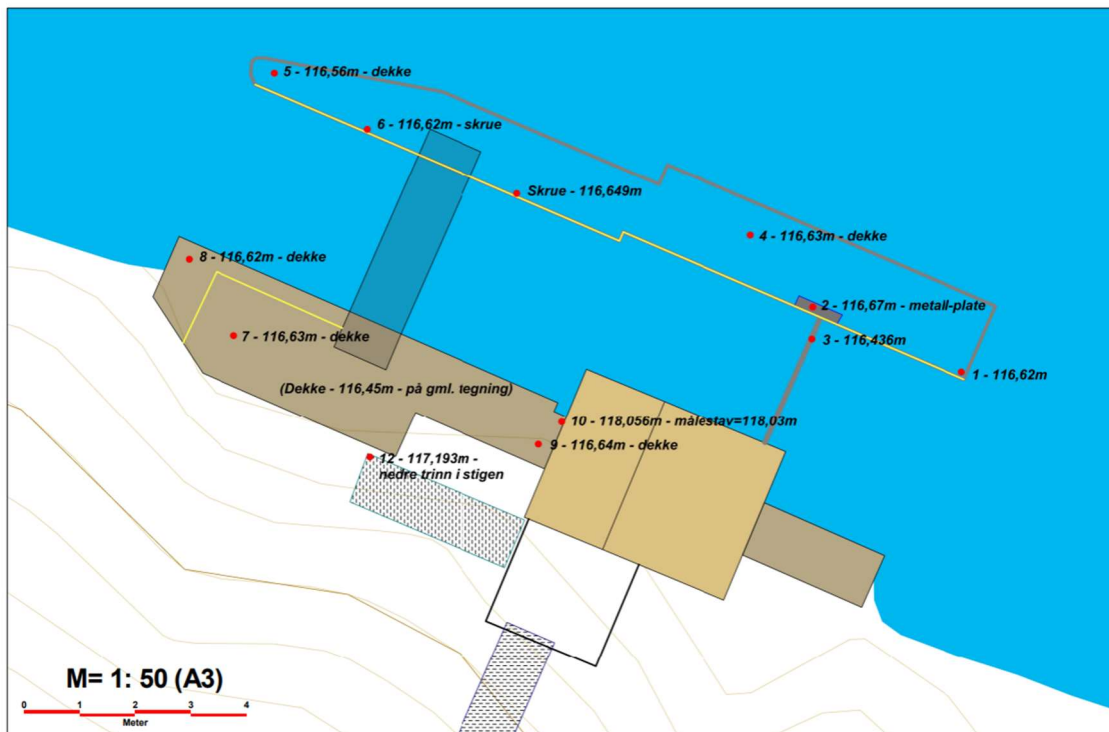
Styvehavn AS. (2025). *Metadata Bunnkartlegging Seljordsvatnet*.



7 Vedlegg

Vedlegg 1 – Egne innmålinger Skagerak Kraft AS

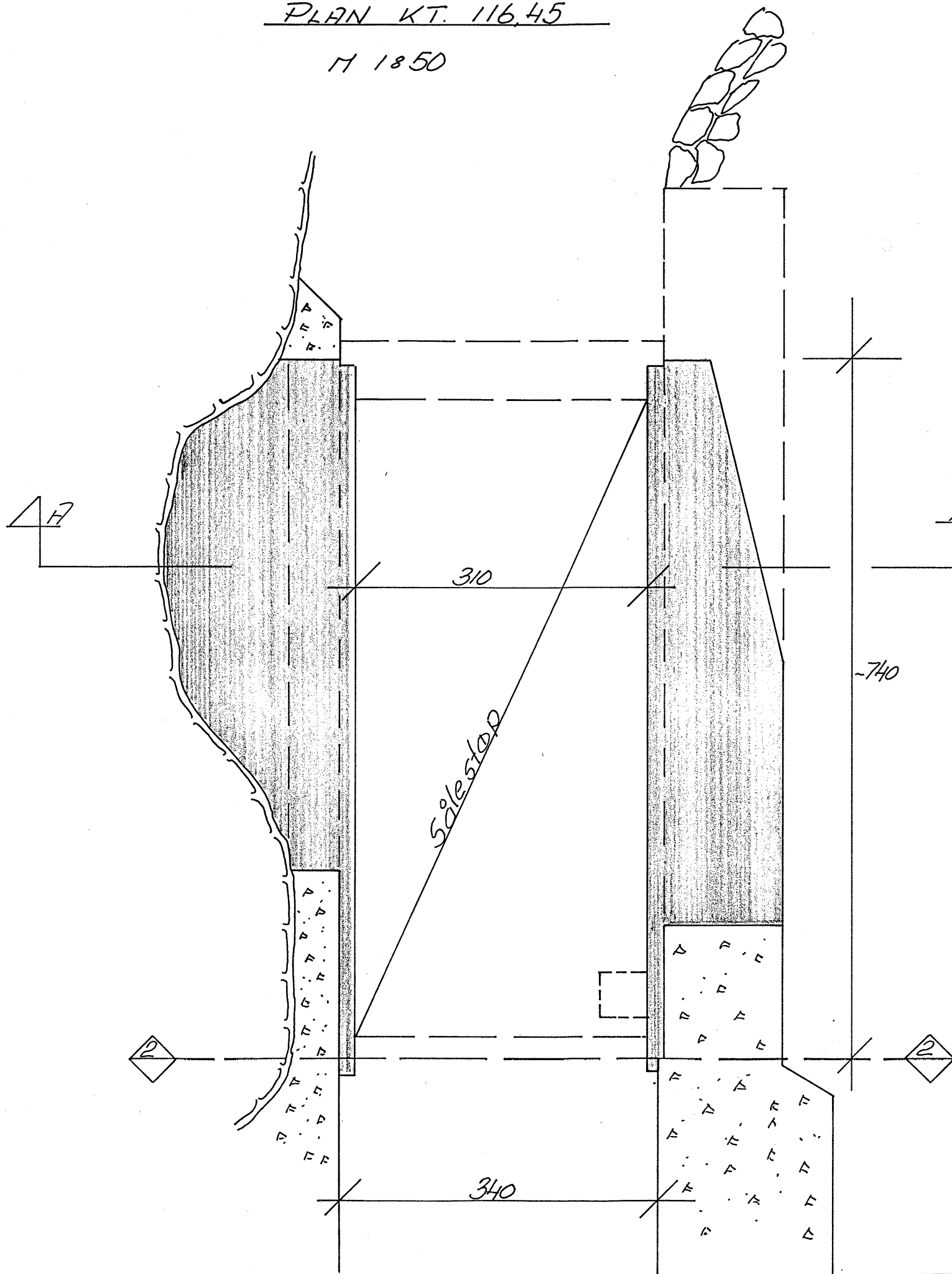
Seljordsvatnet - Høyder i NN2000 - ved Luke Hagadrag



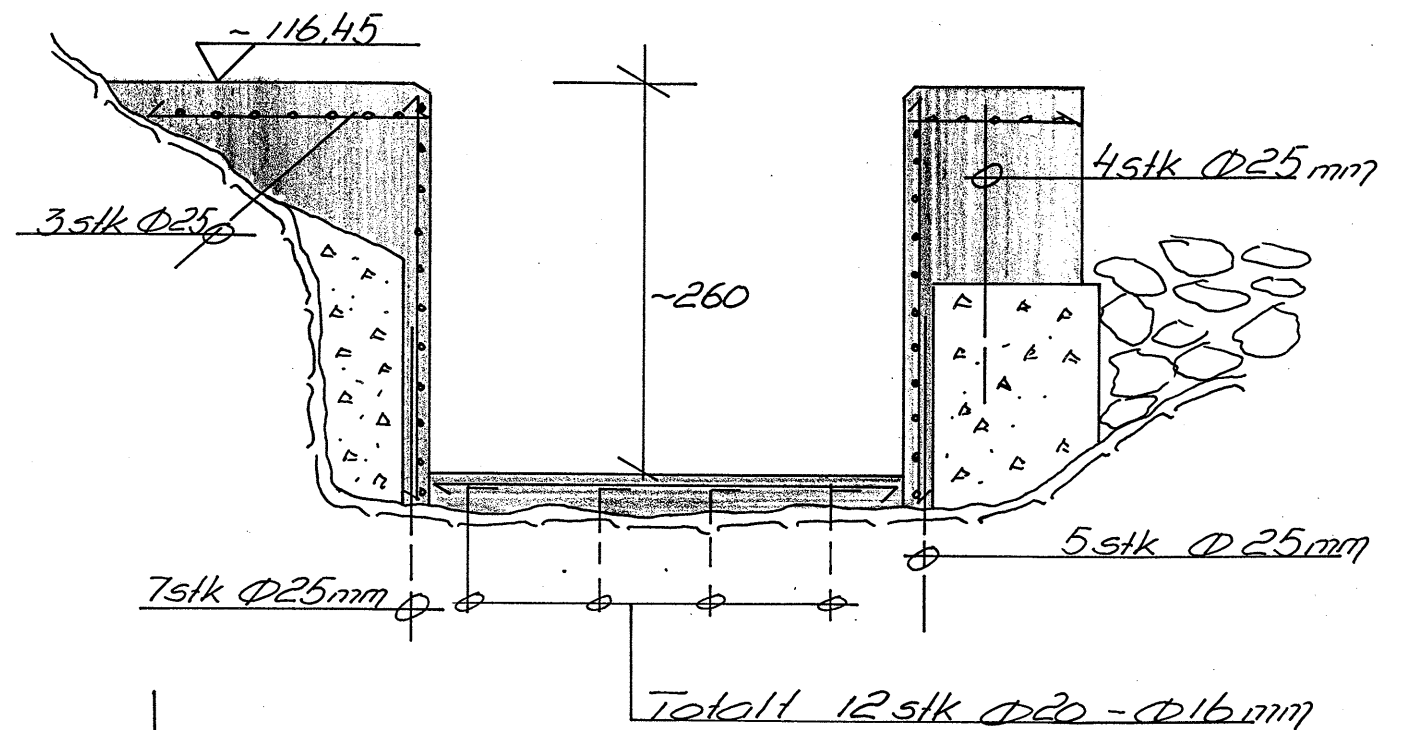


Vedlegg 2 – Tegninger

PLAN KT. 116.45
M 1850



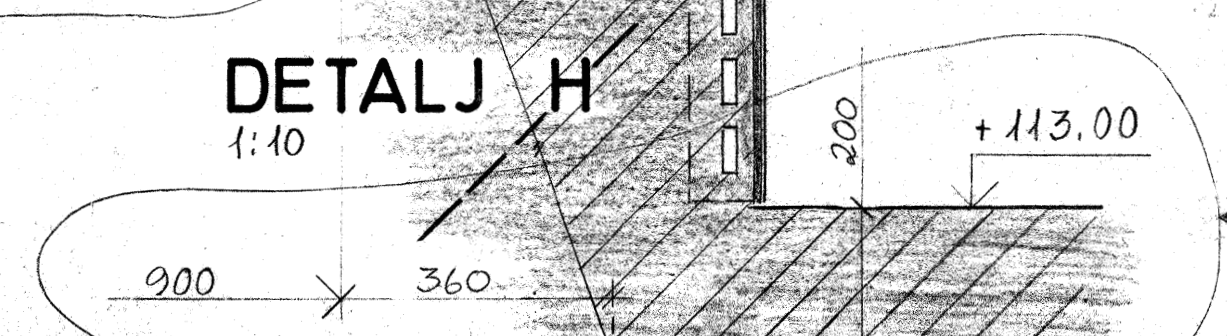
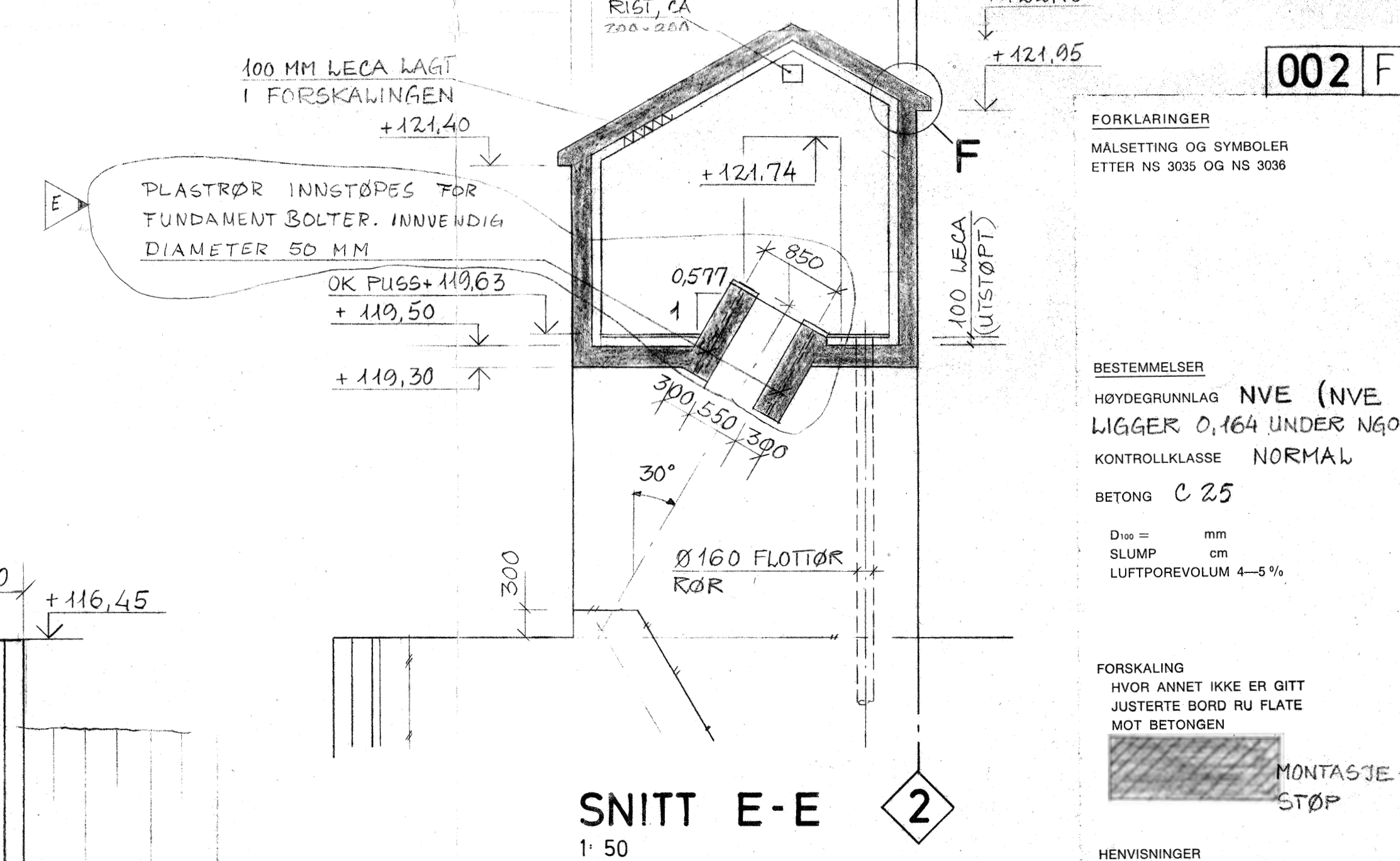
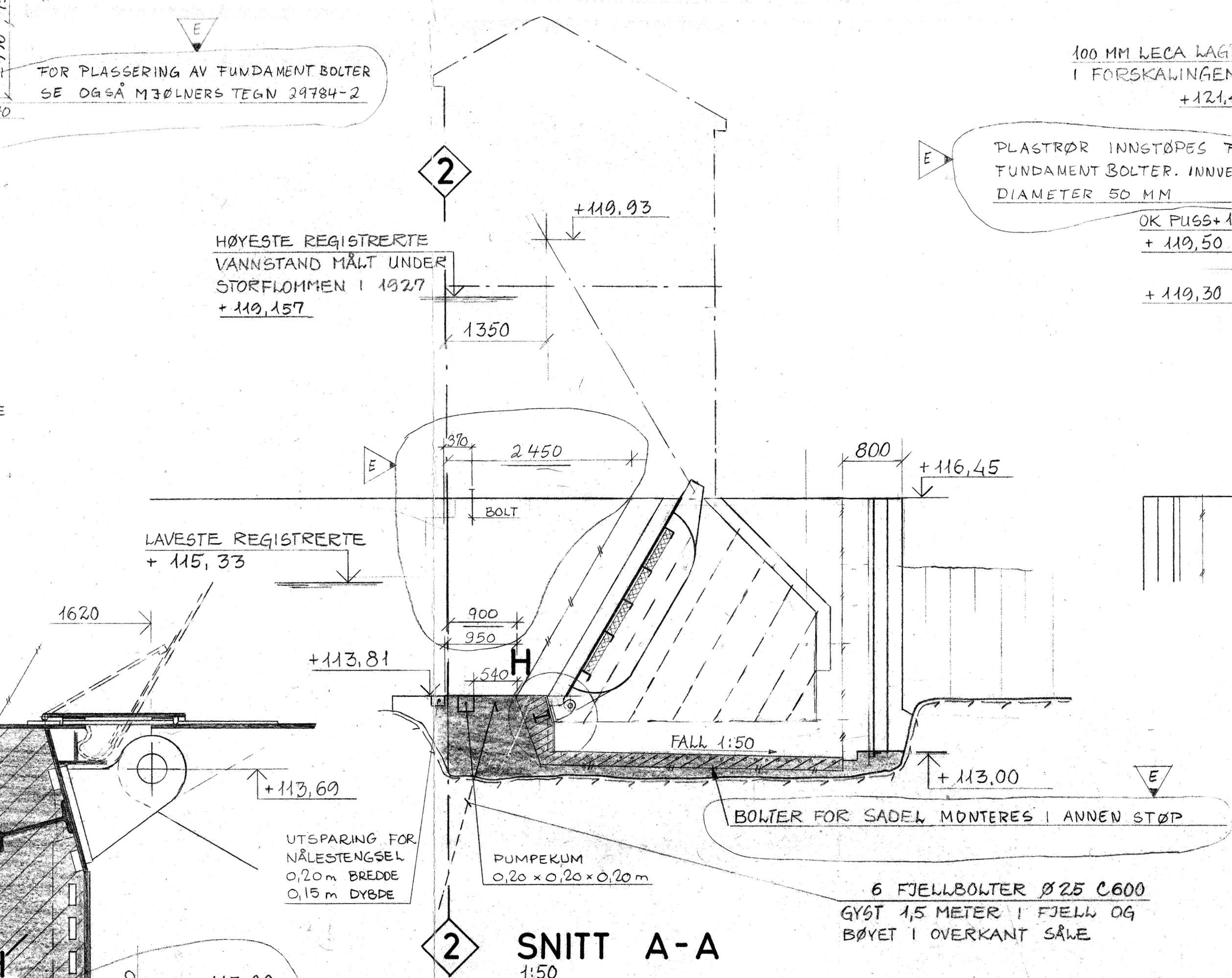
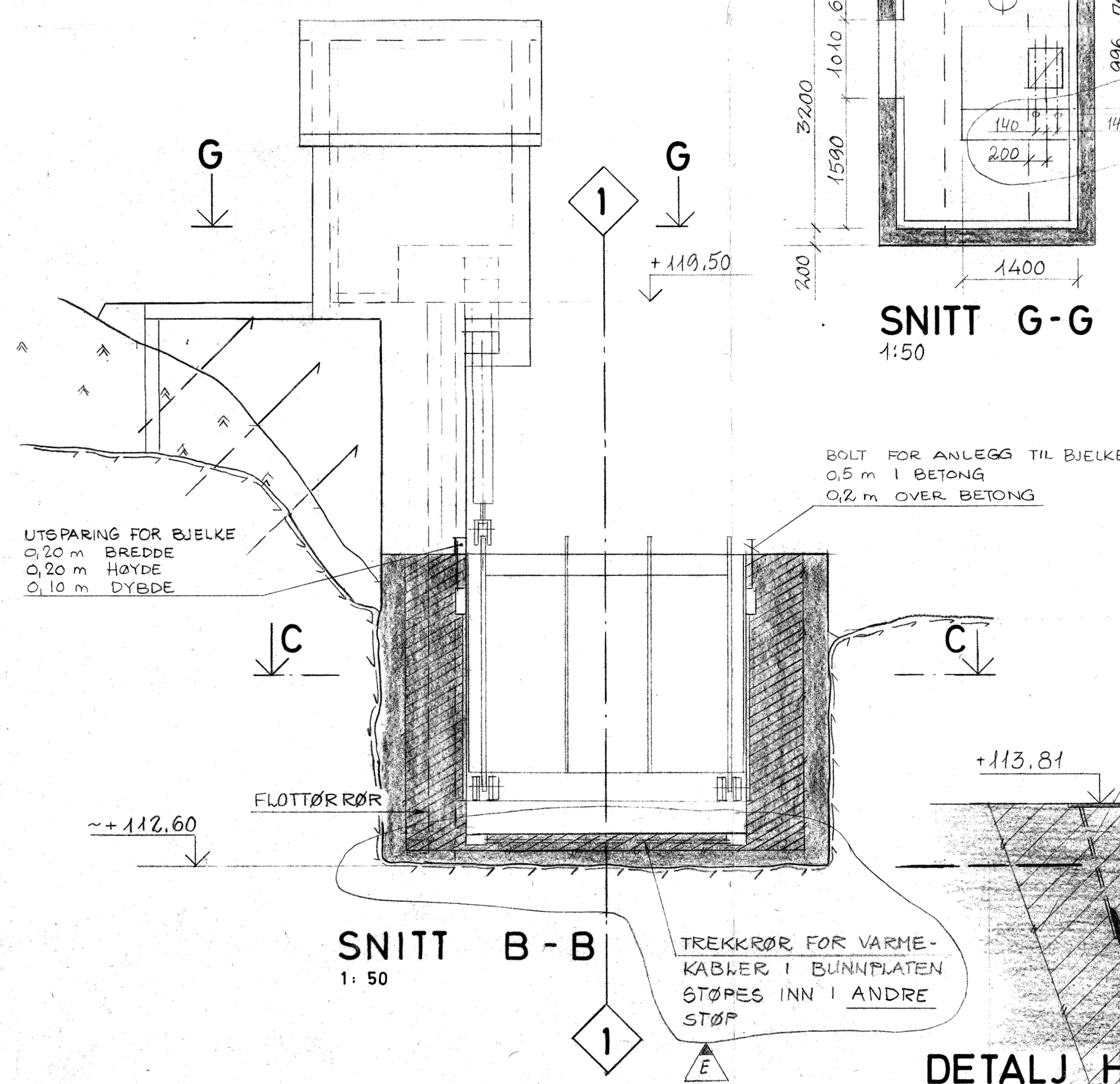
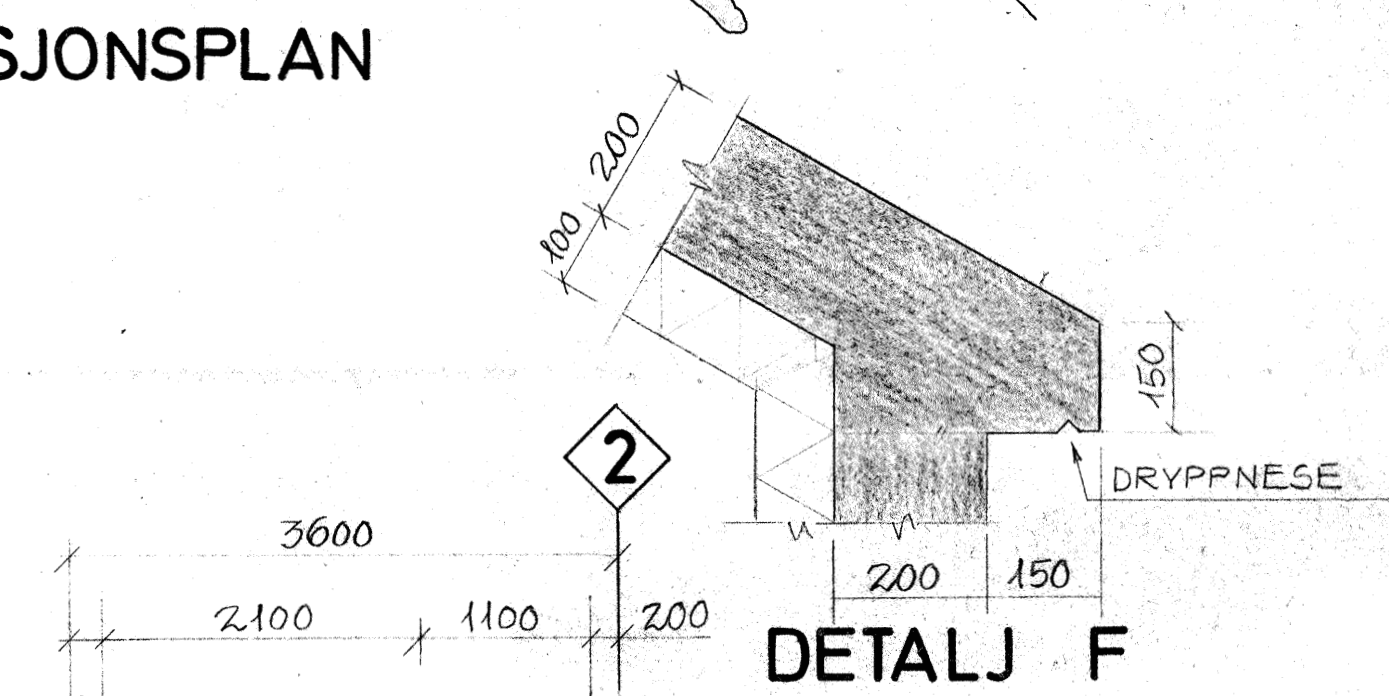
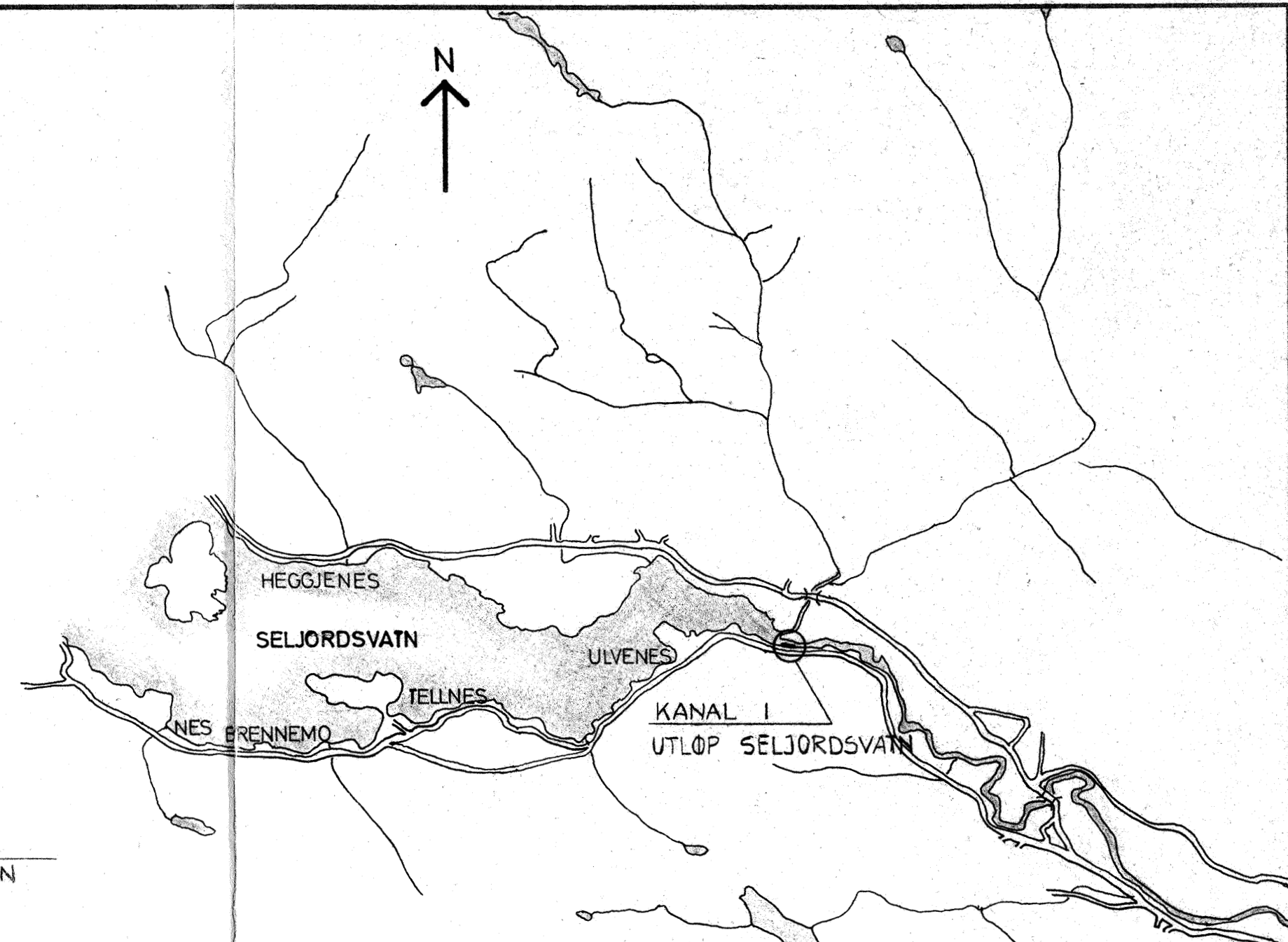
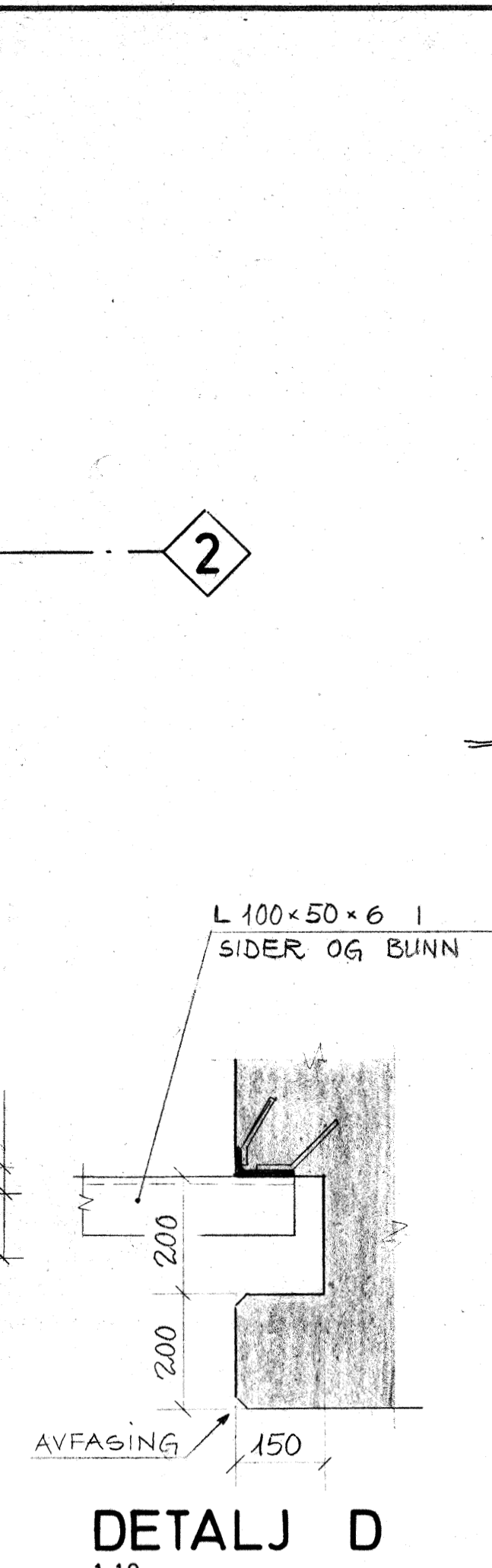
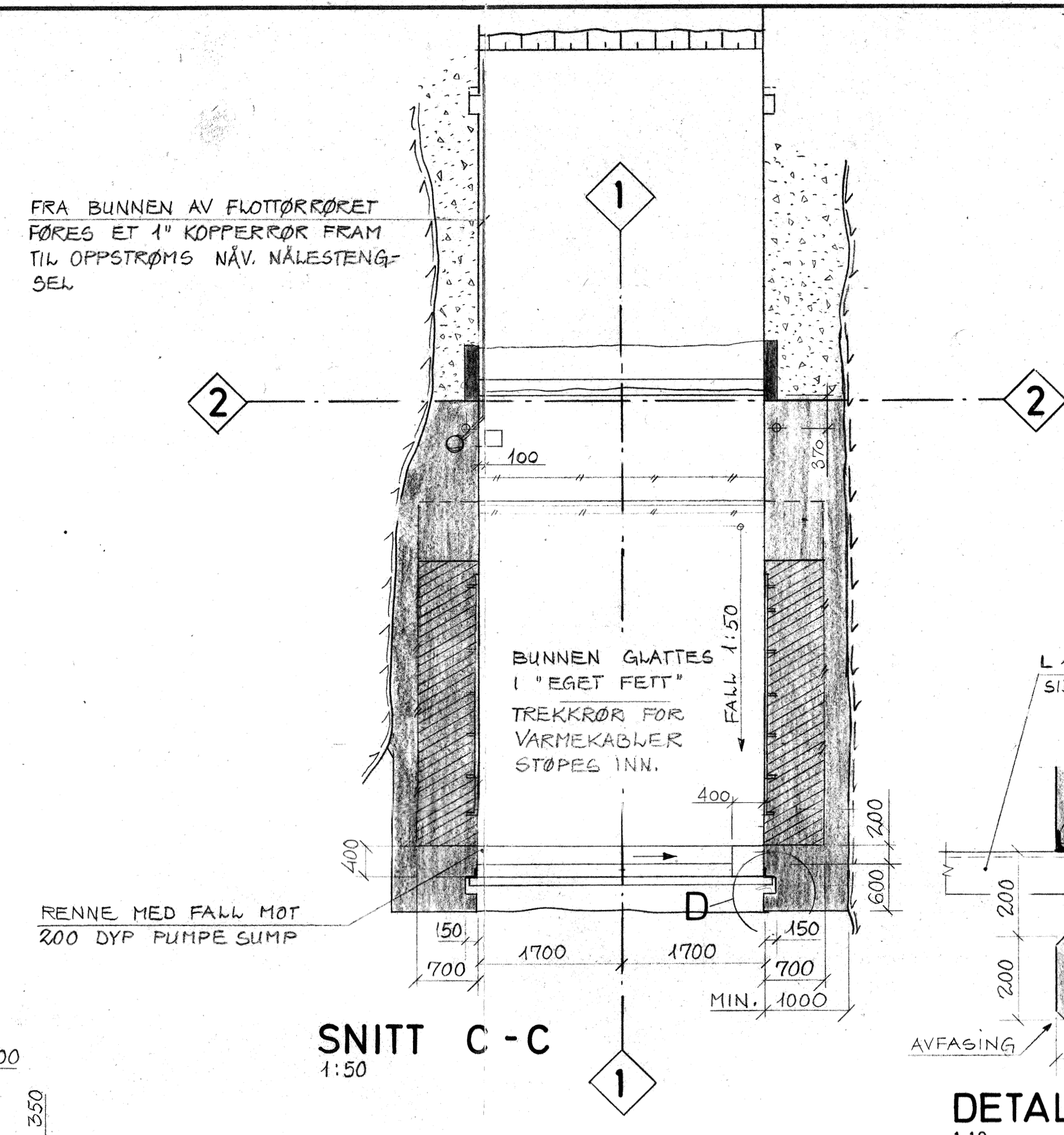
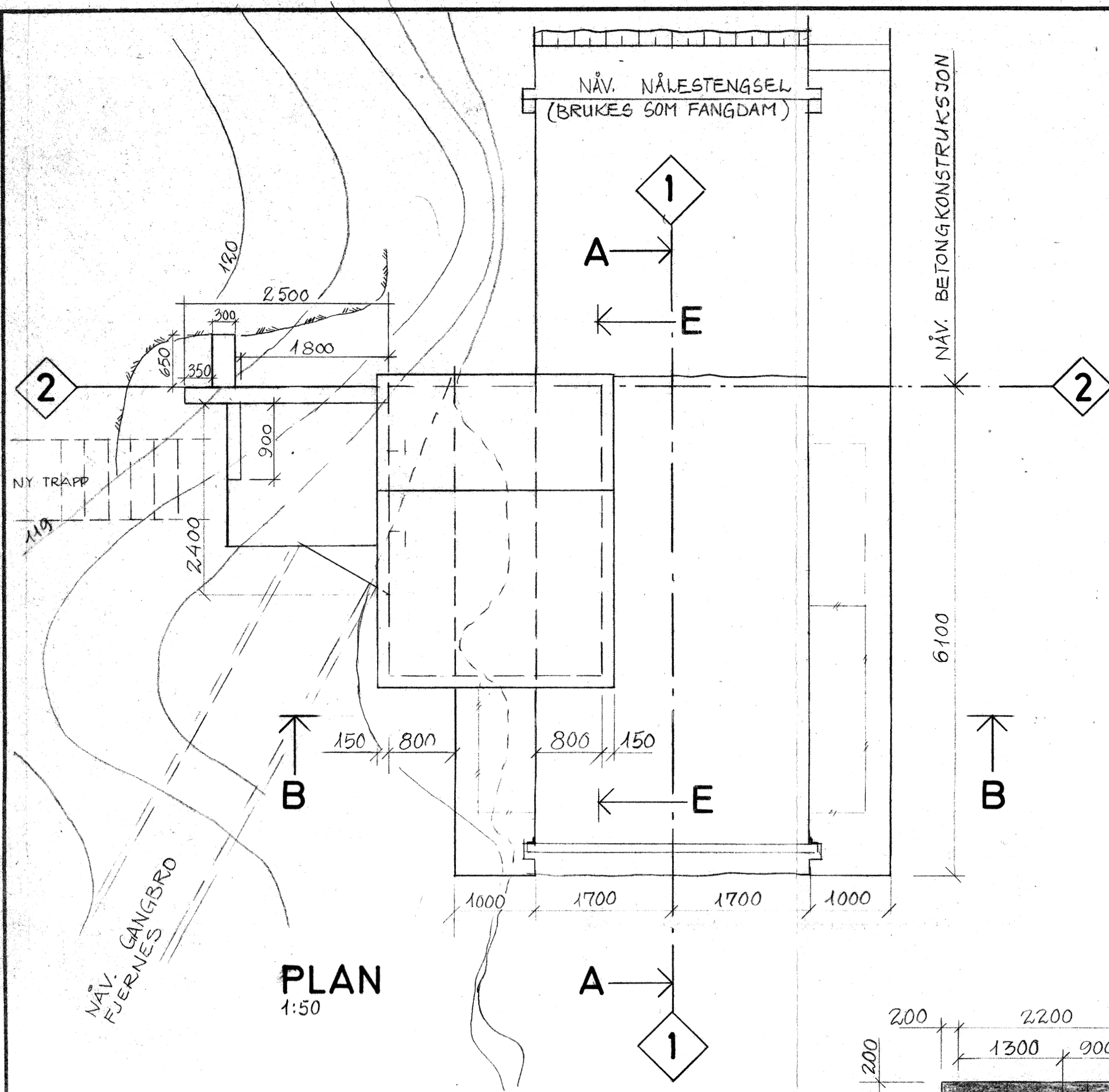
SNITT A-A M 1850



Arm. vegger : Ø 16 9/16 25 begge veier. Overdekning 5cm
 " søle : Ø 12 9/16 25 " " " " 5cm
 Betong C.35 19+5 m³

VEDLEGG TIL TEGN NR. 922-002 FRA BERDHL.

Dato 23.8. 91	Konstr./Tegnet D.K.	Tracet	Målestokk 1850		
Kontroll	Stand.kontroll	Godkjent		Erstatning for:	Erstattet av:
UTLØP SELJORDSVATN					
Rep. av kanal					
Henvisning:		Beregning:			



002 F

FORKLARINGER
MÅLESETTING OG SYMBOLER
ETTER NS 3035 OG NS 3036

BESTEMMELSER
HØYDEGRUNNLAG NVE (NVE LIGGER 0,164 UNDER N40)
KONTROLLKLASSE NORMAL
BETONG C 25
D₁₀₀ = mm
SLUMP cm
LUFTPOREVOLUM 4-5 %

FORSKALING
HVOR ANNET IKKE ER GITT
JUSTERTE BORD RU FLATE
MOT BETONGEN

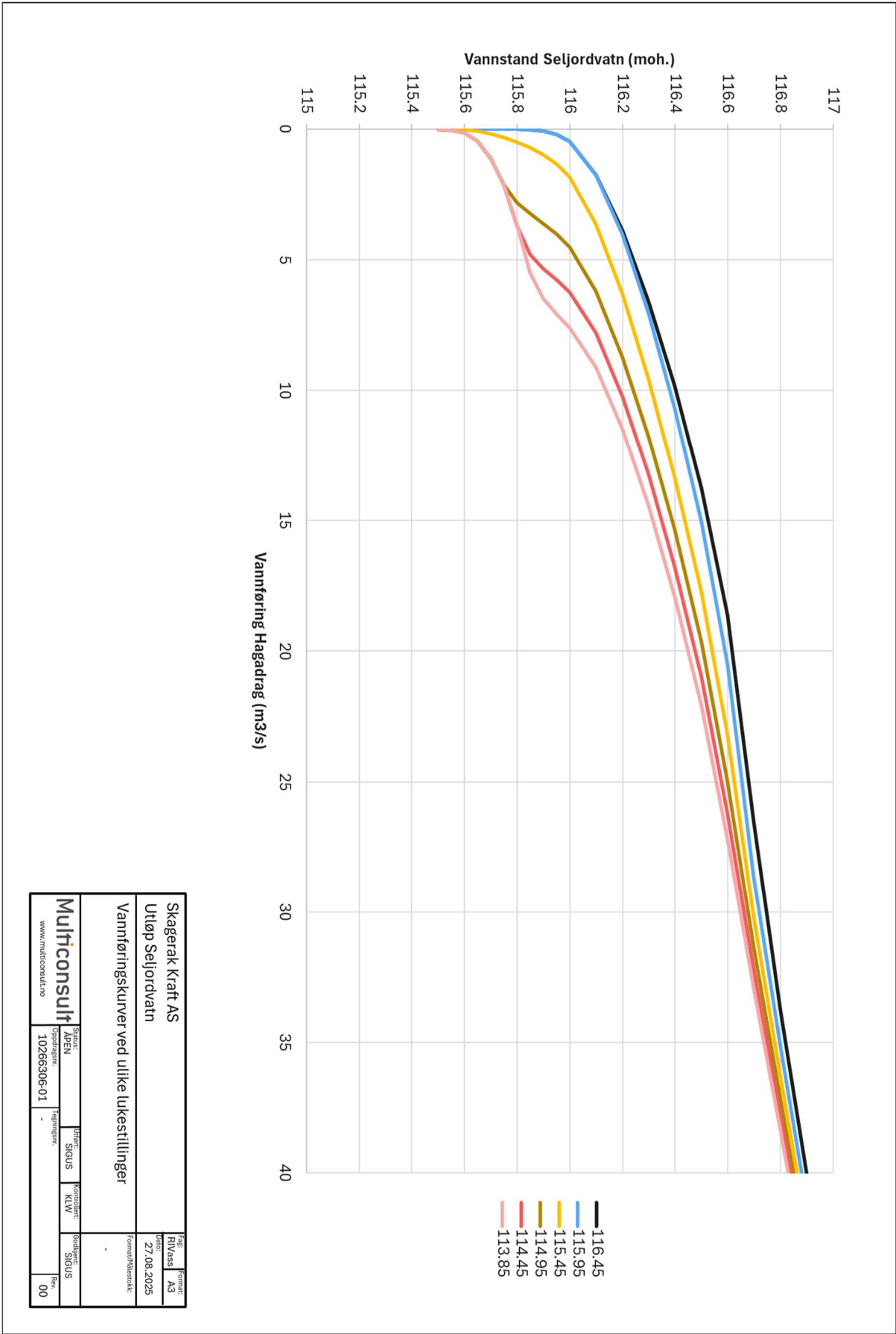
MONTASJE-STØP

HENVISNINGER
ARMERING, -003

KORRIGERT ETTER UTFØRT ARBEID	F	12/11-80	G
DIVERSE JUSTERINGER SOM VIST	E	3/4-80	F.M.
LUKEN FLYTTET FRI AV DEN GAMLE KONSTR.	D	1/6-80	J.V.
DETALJERT, B.L.A. MED OPPVARMET LUKE	C	3/4-80	J.V.
PÅFØRT LUKEHUS + DIV. ENDRINGER	B	4/4-80	J.V.
HEVET TOPP-PLATEN 2 METER	A	23/11-79	J.V.
REVIDERINGEN GJELDER	REV.	DATO, SIGN.	
SUNDSBARM KRAFTVERK	MÅLESTOKK	TEGN.	14/6-79 J.V.
UTLØP SELJORDSVATN	1:50.000	TRAC.	
NY KLAPPELUKE	1:50	KONTR.	
ARRANGEMENT OG FORSKALING	1:10	GODKJ.	
	1:5		
BERDAL INGENIØR A. B. BERDAL A/S M.B.F. - M.N.I.F. MARIES VEI 20, 1322 HØVIK - TLF. (02) 12 22 50	SAK NR.	TEGN. NR.	REV.
	922	002	F



Vedlegg 3 – Beregnede kapasitetskurver





Vedlegg 4 – Metadata bunnkartlegging Seljordvatn

Notat

Metadata Bunnkartlegging Seljordvatnet

Vedlegg: Datablad Norbit Winghead i77h multistråle ekkolodd

Kunde	Multiconsult	
Dokument	SHAS-553-01-384-Notat - Metadata Bunnkartlegging Seljordvatnet	
 Øraveien 2 1630 Gamle Fredrikstad www.styvehavn.no	Versjon 01	Dato 29.04.2025

Innhold

1	Innledning.....	2
1.1	Bakgrunn	2
1.2	Styvehavn AS.....	2
2	Gjennomføring	2
2.1	Utstyr og programvare.....	2
2.2	Datafangst.....	4
2.3	Etterbehandling og produkter	4
3	Kvalitet.....	5

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

På oppdrag for Multiconsult har Styvehavn gjort bunnkartlegging i området der Seljordvatn går over i Bøelva.

1.2 Styvehavn AS

Styvehavn AS i Fredrikstad spesialiserer seg på tjenester innen sjøbunnskartlegging, inspeksjon og andre undervannstjenester. Styvehavn har som mål å levere treffsikre tjenester og produkter av høyeste kvalitet, gjennom høy kompetanse, gode metoder, kundeforståelse og oppdatert utstyrspark. Multistråle ekkolodd er hovedverktøyet i prosjekter i sjøen ved kysten og i innlandet i vann, sjøer og elver.

2 Gjennomføring

2.1 Utstyr og programvare

Oppmålingen ble gjort med multistråle ekkoloddssystem av typen Norbit Winghead i77h, montert på påle/rigg på målebåten «Alu».

Data/spesifikasjoner for de viktigste komponentene er inkludert som vedlegg.

Winghead i77h fra norske Norbit er blant de beste ekkoloddssystemer for grunt vann, tatt i betraktning oppløsning, presisjon, rekkevidde, funksjonalitet og mobilitet. Winghead i77h har en integrert lydshastighetsmåler, tett koblet GNSS (GPS-posisjonering) og INS (treghetsnavigasjon) og følgende grunnleggende spesifikasjoner:

- Buet «array», forbedrer kvalitet på stråler med høy vinkel (til siden).
- 400kHz nominell frekvens (200-700kHz mulig).
- 1024 stråler
- Opp mot 50Hz målefrekvens.
- Automatisk Pitch-kompensasjon (, med mulighet for yaw-kompensasjon)
- 0,5° X 0,9° oppløsning per stråle ved 400kHz
- Applanix Oceanmaster INS:
- Henholdsvis 0,02°, 0,01° og 5cm/2% nøyaktighet for kompass, rull/stamp og hiv.
- GNSS RTK, korreksjoner kan hentet fra kartverkets tjeneste CPOS.

Kalibrert Intensitet/backscatter kan logges for hver enkel bunndeteksjon. Prosessering av disse dataene gjør det mulig å skille mellom harde og myke bunntyper, og avdekke objekter som gir lokalt sterkere eller svakere ekko.

«Alu» er en mindre farkost med elektrisk fremdrift. Den kan kjøres med elektrisk påhengsmotor og ekkolodd i baugen eller med baugmontert trollingmotor og aktermontert ekkolodd. Med trollingmotor kan den også fjernstyres. Med plass til én fører er den godt egnet til grunne områder og forsering under lave bruer. Båten er smidig og kan enkelt løftes av to personer.



Nautica RIB 10 er en 10 fots RIB med 90 hk totakters motor og vannjet. Den har en toppfart på opp mot 40 knop og kan forserer elvepartier med høy vannhastighet. Den er rigget som oppmålingsbåt med en baugmontert rigg som båtfører kan heve og senke i fart med håndkraft. På den måten kan vanskelige partier, gjerne motstrøms, forseres med rigg oppe og sonar over vann, før riggen senkes og data logges i partier hvor det er mulig. Båten bemannes med én person mens datafangst fjernstyres.



Med en **Velodyne VLP-16** Lidar-skanner logges også laserdata over vann. Med høy datatetthet og rekkevidde på 100 meter, gir det mulighet til å sy sammen sjødata og landdata i én 3D-modell.

Med **Norbit SV Profiler** tas det målinger for å kartlegge lydets hastighet i vannet i området det jobbes i. Det er helt nødvendig for å korrigere for brytninger av lydbanen gjennom vannvolumet.

EIVA NaviSuite programvare benyttes gjennomgående, til planlegging (NaviModel Producer), navigasjon og datainnsamling i felt (Kuda Core), sensorbehandling (tidsbasert, NaviEdit),

Databehandling, data- og produktproduksjon (rombasert, 3D, NaviModel Producer) og kartproduksjon (NaviPlot).

TERRAPOS fra norske Field AS benyttes til etterprosessering av posisjoneringsdata for beregning av posisjon og orientering med høy nøyaktighet, uavhengig av om man har dekning fra CPOS under datainnsamling.

2.2 Datafangst

Feltarbeidet ble gjennomført over to dager. Først gjorde feltlaget seg ferdig med Bøelva med «Alu» 10.04.2025. Dagen etter 11.04.2025 ble det rigget om til «RIB» for å fullføre resten av Seljordsvatnet. Bilder og video fra stedet var studert i forkant, men det viste seg allikevel å være grunnere enn forventet. Det ble gjennomført datasamling der forholdene tillot det. I et større område i overgangen fra vann til elv, var det for grunt. Det gjelder også området utenfor luken, som var spesielt interessant for prosjektet.

2.3 Etterbehandling og produkter

All ekkoloddata er gjennomgått manuelt, grovt sett i følgende steg:

- Etterprosessering av bevegelses- og posisjoneringsdata i Terrapos, inkludert transformasjon fra GPS-høyde til NN2000
- Gjennomgang av sensordata
- Behandling av lydhastighetsmålinger
- Dataensing, fjerning av uønskede målinger og støy
- Dataeksport/produktproduksjon

Fra punkt nummer to over er det stort sett jobbet i programvare fra Eiva i Danmark, og det meste av arbeidet er gjort i 3D-modell.

Følgende produkter er levert i tillegg til dette notatet:

- Alle godkjente målepunkter MBES-data på laz-format.
- Alle godkjente målepunkter LiDAR-data på laz-format.
- Intensitet som georeferert bildefil.

All data er referert til Euref89, UTM 32 og vertikal referanse NN2000.

3 Kvalitet

Ekkoloddsystemet blir jevnlig kalibrert med såkalt Patch-test. Posisjoner på sensorer og antenner er beregnet i Terrapos over mange datasett til nøyaktighet godt under 1 cm. Rapportert kvalitet på posisjonering av båt/rigg (ikke datapunkter) etter prosessering i Terrapos, vist i utklipp under, viser gode resultater med standardavvik generelt rundt 1.9 cm vertikalt og 1.4 cm horisontalt. Figurene under er et representativt utdrag av datasettet.



Spikre i datasettet kommer fra lengre perioder uten satellittdekning ved passering under brua. Disse dataene er i med i det endelige datasettet.

Fig. 1 Pos. Precision std. dev.

NAVIGATION PERFORMANCE SUMMARY								
		Min.	1%	5%	50%	95%	99%	Max.
Pos. hor.	std. dev.	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.014	0.043 [m]
Pos. vert.	std. dev.	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019	0.020	0.048 [m]
Vel. hor.	std. dev.	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007	0.007	0.012 [m/s]
Vel. vert.	std. dev.	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.011 [m/s]
Roll	std. dev.	0.009	0.009	0.009	0.009	0.010	0.010	0.013 [deg]
Pitch	std. dev.	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.010	0.013 [deg]
Heading	std. dev.	0.051	0.052	0.054	0.063	0.154	0.167	0.170 [deg]

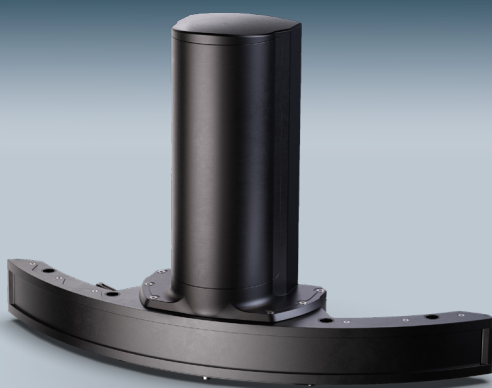
Fig. 2 Rapport

Nøyaktighet/usikkerhet på ekkoloddmålepunkter fins det ingen god måte å tallfeste (, uten å gjøre statistiske analyser) på grunn av kompleksiteten i systemet og delvis ukjente faktorer, som for eksempel lydens hastighet i vannvolumet som ikke er konstant. Det er små forskjeller i lydhastigheten i området. Det er observert vertikale forskjeller mellom data fra forskjellige linjer på opp mot +/-3 cm.

Det er observert avvik i LiDARdata på opptil +/- 12 cm horisontalt, noe mindre vertikalt.



NORBIT WINGHEAD® i77h



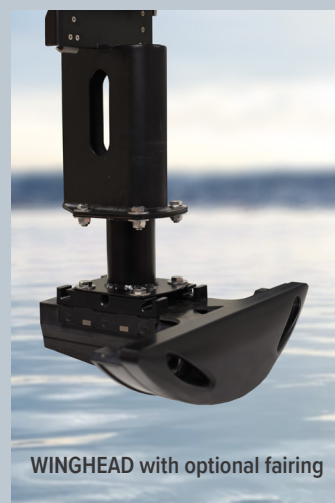
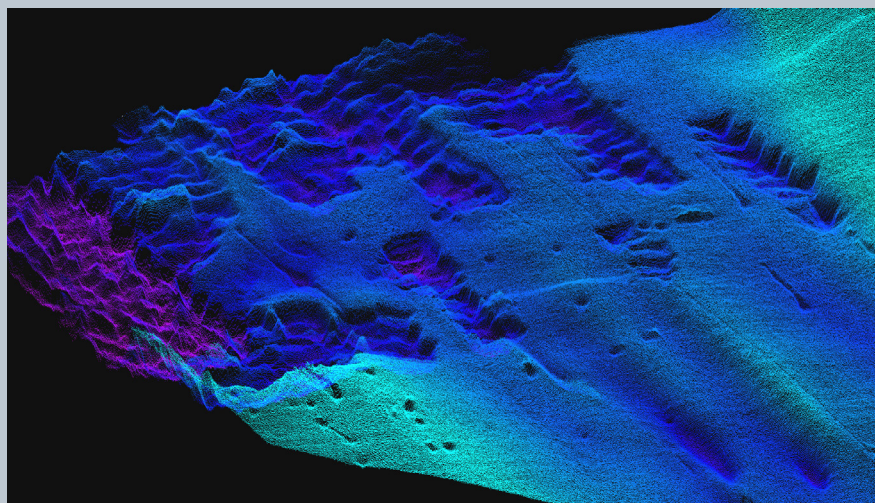
Superior Performance Ultra High-Resolution Curved Array Bathymetric System.

NORBIT introduces the first cylindrical ultra-high resolution curved array bathymetric system, designed for rapid anywhere anytime mobilization featuring the highest standard industry leading integrated GNSS/INS positioning system.

NORBIT WINGHEAD sonars are based on a state of the art analogue and digital platform featuring powerful signal processing capabilities, offering roll stabilized bathymetry and several imagery and backscatter outputs ensuring the highest quality survey data performance. With broad R&D expertise, NORBIT has developed - from the ground-up - exciting new technology that allows existing and new applications to benefit from the advantages offered by a compact wideband curved-array multibeam sonar.

The NORBIT WINGHEAD i77h is a compact ultra-high resolution curved array broadband multibeam sonar offering tight integration with GNSS/INS (Applanix OceanMaster) that is designed for use in the most demanding operational environments such as under bridges or in rough sea conditions. Characterised further by a small form factor; low power draw and tight integration, WINGHEAD i77h installation can occur on surface survey platforms ranging from small USVs to large vessel permanent hull mounts.

Supported by DCT (NORBIT Integrated Data Acquisition Software) for efficient survey data acquisition.





WINGHEAD i77h



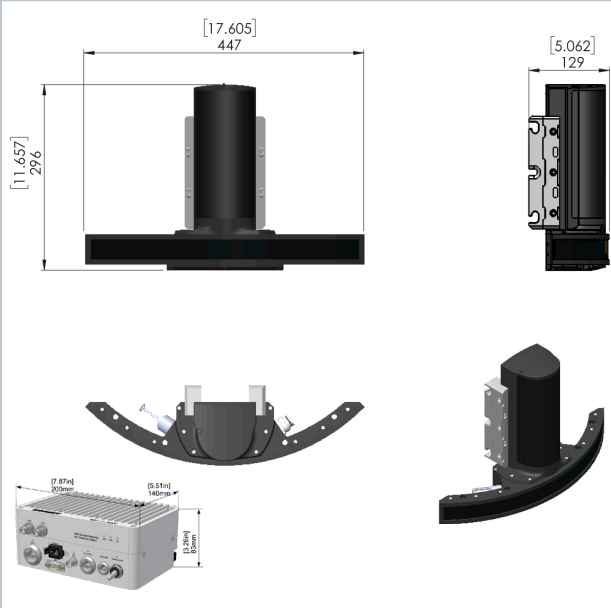
Features	Applications	Options
✓ Multibeam Sonar with Integrated Inertial Navigation System & Integrated NTRIP Client ✓ 80kHz Bandwidth ✓ Roll-stabilisation ✓ Backscatter outputs (Intensity, Sidescan, Snippets Sidescan, Snippets, Water Column) ✓ Multidetect ✓ Pipeline Mode ✓ Simple Ethernet Interface ✓ Integrated Sound Velocity Probe ✓ 1024 Dynamically Focused Beams ✓ Mounting Bracket Included ✓ FM & CW Processing ✓ Exceeds IHO <i>Special Order</i>, CHS <i>Exclusive Order</i> & USACE <i>New Work</i>	✓ Shallow Water Bathymetry ✓ Pipeline & Cable Inspection Surveys ✓ Quay wall, bridge and structure inspection surveys ✓ Pond, River and Estuary Surveys ✓ Harbor and Lake Surveys ✓ USV & UUV ✓ Coastal Surveys	✓ Sound Velocity Profiler ✓ NORBIT Integrated Data Acquisition Software - DCT ✓ Turnkey Survey Solutions ✓ Permanent Hull Mount, Non-corrosive Titanium Housing ✓ Extended Depth Range ✓ Flexible Surface/ROV Configuration ✓ Pole Mount ✓ Supports NORBIT iLiDAR ✓ Detached INS Version ✓ Senior Hydrographer for Support and Training ✓ Can be Delivered with Software Packages e.g. DCT, HYPACK, Qinsy, EIVA, CARIS and Others

TECHNICAL SPECIFICATION

SWATH COVERAGE	5-210° FLEXIBLE SECTOR (SHALLOW WATER IHO SPECIAL ORDER >155°)
RANGE RESOLUTION	<10mm ACOUSTIC w. 80kHz BANDWIDTH
NUMBER OF BEAMS	256, 512, 1024 EA & ED
OPERATING FREQUENCY	NOMINAL FREQUENCY 400kHz (FREQUENCY AGILITY 200-700kHz)
DEPTH RANGE	0.2m to >400m*
PING RATE	UP TO 60Hz, ADAPTIVE
RESOLUTION (ACROSS X ALONG)	STANDARD: 0.5° X 0.9° @400kHz, 0.3° x 0.5° @700kHz
POSITION	HOR: ±(8mm +1ppm x DISTANCE FROM RTK STATION) VER: ±(15mm +1ppm x DISTANCE FROM RTK STATION) (ASSUMES 1m GNSS SEPARATION)
HEADING ACCURACY	0.02° (RTK) WITH 2m ANTENNA SEPARATION
PITCH/ROLL ACCURACY	0.01° INDEPENDENT OF ANTENNA SEPARATION
HEAVE ACCURACY	2 cm OR 2% (TRUEHEAVE™), 5 cm OR 5% (REAL TIME)
INTERFACE	ETHERNET
POWER CONSUMPTION	<90W (10-28VDC, 110-240VAC) TOTAL
DIMENSIONS	DIMENSIONS WITHOUT BRACKET H: 447mm/17.605", L: 296mm/11.657", W: 101.9mm/4.010"
WEIGHT	6.9kg (AIR) 3.8kg (WATER) EXCL. BRACKET 7.4kg (AIR) 4.0kg (WATER) INCL. BRACKET
CABLE LENGTH	STD 8m, OPTIONAL: 2m, 25m
OPERATING TEMP.	-4°C to +40°C (TOPSIDE -20°C to +55°C)
STORAGE TEMP.	-20°C to +60°C
ENVIRONMENTAL	TOPSIDE: IP67: DUST TIGHT, PROTECTED AGAINST THE EFFECT OF IMMERSION UP TO 1m WET-END (SONAR): 100m

* Typical Swath ±20° @ 30ppm, 10°C

OUTLINE DRAWING



Sonar including bracket (bracket shown in grey)