

Hafslund Eco Vannkraft AS

► Sarp 2 kraftverk - vannlinjeberegning

Nedstrøms dam Sarpsfoss

Oppdragsnr.: 52208313 Dokumentnr.: R004 Versjon: J02 Dato: 2024-01-09



Oppdragsgiver: Hafslund Eco Vannkraft AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Fridjar Molle
Rådgiver: Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika
Oppdragsleder: Bendik Riseng Nesje
Fagansvarlig: Carolina Frias Uribe
Andre nøkkelpersoner: Francoise Bigillon

J02	2024-01-09	Oppdatering etter kommentar	Bendik Riseng Nesje		Bendik Riseng Nesje
B01	2023-09-15	For gjennomgang hos oppdragsgiver	C. F. Uribe	F. Bigillon	B. Riseng Nesje
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.

► Sammendrag

I forbindelse med planlegging av nytt Sarp 2 kraftverk er det behov for utarbeidelse av en vannlinjeberegning nedstrøms dam Sarpsfossen for å undersøke strømningsforholdene før og etter utbygging. Det er undersøkt blant annet vannstand mellom dam Sarpsfossen og det planlagte utløpet til Sarp 2 kraftverk med lave vannføringer, vannstander ved vanninntaket til Borregaard industri samt vannstander og hastigheter ved det planlagte utløpet til Sarp 2 kraftverket.

Vurdering av strømningsforholdene er utført ved bruk av en 2D-hydraulisk modell i Hec-Ras. I forbindelse med dette prosjektet ble det utført dybdekartlegging på flere områder mellom dam Sarpsfossen og Domberg, men siden dybdekartleggingen mangler høyder ved tersklene er det nødvendig med manuelle endringer i batymetrien. Endringer i batymetrien (i området ved begge tersklene) ble utført slik at den hydrauliske modellen i dagens situasjon gjensker på en god måte vannstander registrert under vårflommen i 2009 (mellom ca. 260 og 1560 m³/s) samt opplysninger for undervann til kraftstasjoner. Den hydrauliske modellen inkluderer den planlagte kanaliseringen nedstrøms avløpstunnelen for å få en overgang mellom tunnelsålen og fjerning av en del av fjellknausen som ligger nedstrøms avløpstunnelen.

Det er usikkerhet i vannstander og vanndybder oppstrøms og nedstrøms tersklene, spesielt med hensyn til hvor dyp og hvor lang dypløpet i tersklene er. Det er simulert vannføringer i Glomma på 350 m³/s, 650 m³/s, 700 m³/s, 1000 m³/s og 1375 m³/s kombinert med kjøring av Sarp 2 med 150 m³/s, 300 m³/s eller 450 m³/s.

Resultater av simuleringene er presentert i form av kart med vanndybder, vannstander og hastigheter med strømningslinjer. For vurdering av konsekvenser før og etter tiltak er det i tillegg beregnet endringer i vannstander og hastigheter for utvalgte flomsituasjoner.

Generelt ser man en reduksjon i hastigheter oppstrøms utløpet til Sarp 2, og en økning av hastigheter nedstrøms utløpet. Men, på enkelte steder nedstrøms den øvre terskelen er det en økning av hastigheter. Dette forklares med at vannstanden nedstrøms den øvre terskelen blir redusert. Det vil også være en reduksjon av vannstander oppstrøms utløpet til Sarp 2, og en økning av vannstander nedstrøms utløpet.

Noe av vann fra utløpet til Sarp 2 vil renne over terskelen mot senter av elven.

► Innhold

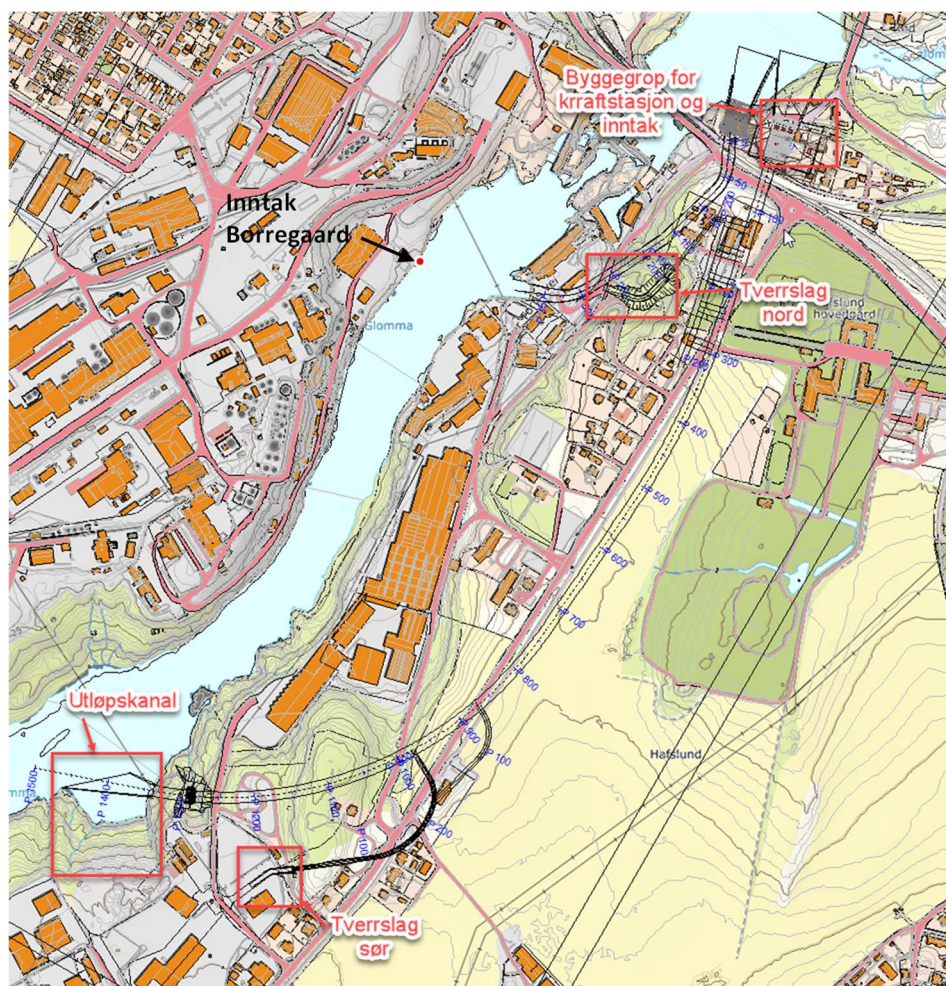
1	Innledning	5
2	Grunnlag for beregninger	8
2.1	NVEs flomsonekartlegging	8
2.2	Norconsults vurderinger fra 2012.	9
2.3	Dybdekartlegging	9
2.4	Varighetskurve	9
2.5	Avløpstunnel	10
3	Hydraulisk modell	12
3.1	Beskrivelse av vassdraget	12
3.2	Høydemodell	12
3.3	2D-modell	13
3.4	Kalibrering av modellen i dagens situasjon	16
3.5	Kanaliserings av elv i nedstrøms utløpet til Sarp2	19
4	Resultater	21
4.1	Vanndybder mellom dam Sarpsfossen og det planlagte utløpet til Sarp 2 kraftverk ved lav vannføring i det øvre bassenget	21
4.2	Vannstander ved vanninntaket til Borregaard industri	24
4.3	Strømningsforhold ved utløpet til Sarp 2	25
4.4	Resultater for KU – endringer i vannstander og hastigheter	30
5	Referanser	36
	Vedlegg	37
1	Vanndybder ved 50 og 100 m³/s i Borregaard og 150 m³/s i Sarp 2	38

1 Innledning

I forbindelse med planlegging av nytt Sarp 2 kraftverk er det behov for utarbeidelse av en vannlinjeberegning nedstrøms dam Sarpsfossen for å undersøke strømningsforholdene. I dette notatet er det vurdert følgende:

- Strømningsforhold mellom dam Sarpsfossen og det planlagte utløpet til Sarp 2 kraftverk med lave vannføringer.
- Vannstander ved vanninntaket til Borregaard industri (vist i Figur 1-3)
- Vannstand ved det planlagte utløpet til Sarp 2 kraftverk

Figur 1-1 viser en oversikt over innløp, vannveien og utløp til nytt Sarp 2. Slukeevne til eksisterende kraftstasjonene er vist i Tabell 1-1.

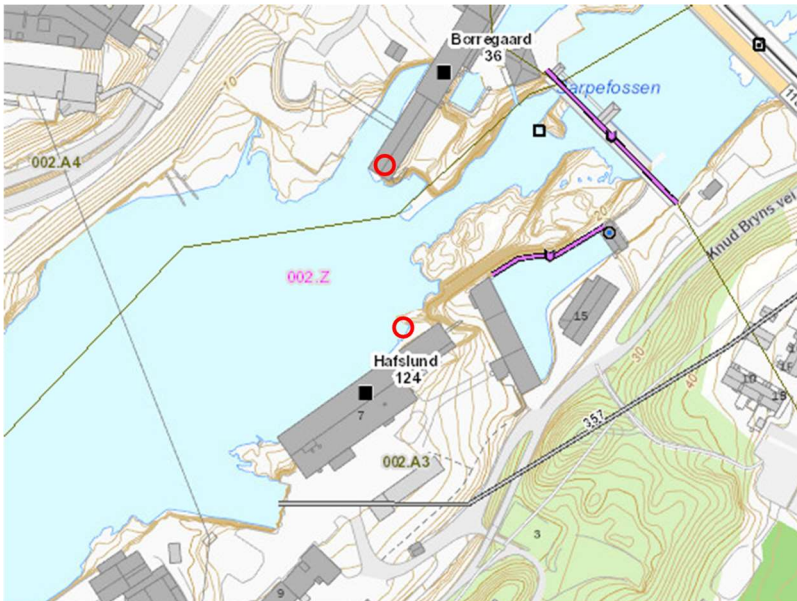


Figur 1-1 Oversikt over nytt Sarp 2

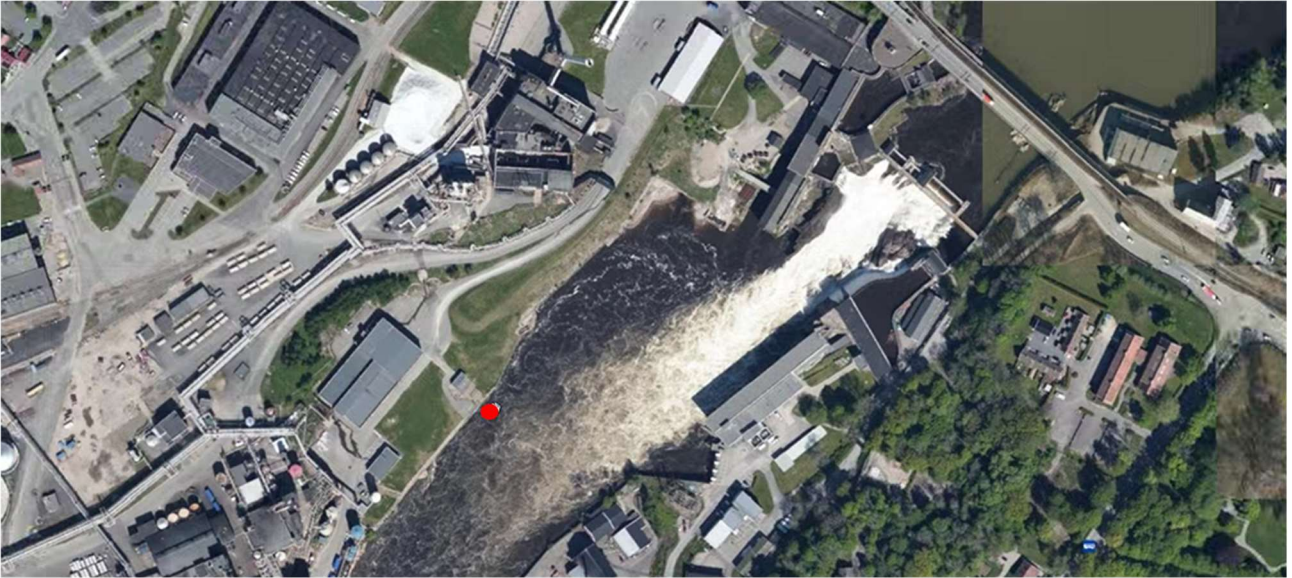
Tabell 1-1 Slukeevne til eksisterende kraftstasjonene ved Sarpfossen

Kraftverk	Aggregater/ slukeevne
Borregaard	Seks aggregat: $2 \times 60 + 2 \times 50 + 2 \times 50 \text{ m}^3/\text{s} = 320 \text{ m}^3/\text{s}$ Lite aggregat: $17,5 \text{ m}^3/\text{s}$
Hafslund	Fire aggregat: $2 \times 53,5 + 50,5 + 54,5 \text{ m}^3/\text{s} = 212 \text{ m}^3/\text{s}$
Sarp (avløpet fra kraftverket føres i en tunnel som munner ut rett nedstrøms Hafslund kraftverk)	Et kaplan-aggregat: $425 \text{ m}^3/\text{s}$

I kalibrering av modellen er det benyttet registrerte data for undervann. Data for undervannet er målt ved Borregaard undervann fram til en gang i 2010, og ved Hafslund undervann etter det (se plassering av oppmålinger på Figur 1-2). På normale vannføringer er disse to målingene ganske like, men når vannføringen er under ca. $300 \text{ m}^3/\text{s}$ begynner differansen å øke. Undervannet på Hafslund synker mer enn på Borregaard etter hvert som vannføringen synker. Hafslund Eco har bare kunnet oppdrive samtidige målinger på liten vannføring i 2022, og da var vannstanden 20 cm lavere på Hafslund enn på Borregaard ved vannføring ca. $250 \text{ m}^3/\text{s}$. Tidligere målinger fra Borregaard tyder på at forskjellen mellom de to målestedene øker mer på mindre vannføringer. På $200 \text{ m}^3/\text{s}$ er det ca. 40 cm forskjell.



Figur 1-2 Måling av undervann ved Borregaard og Hafslund

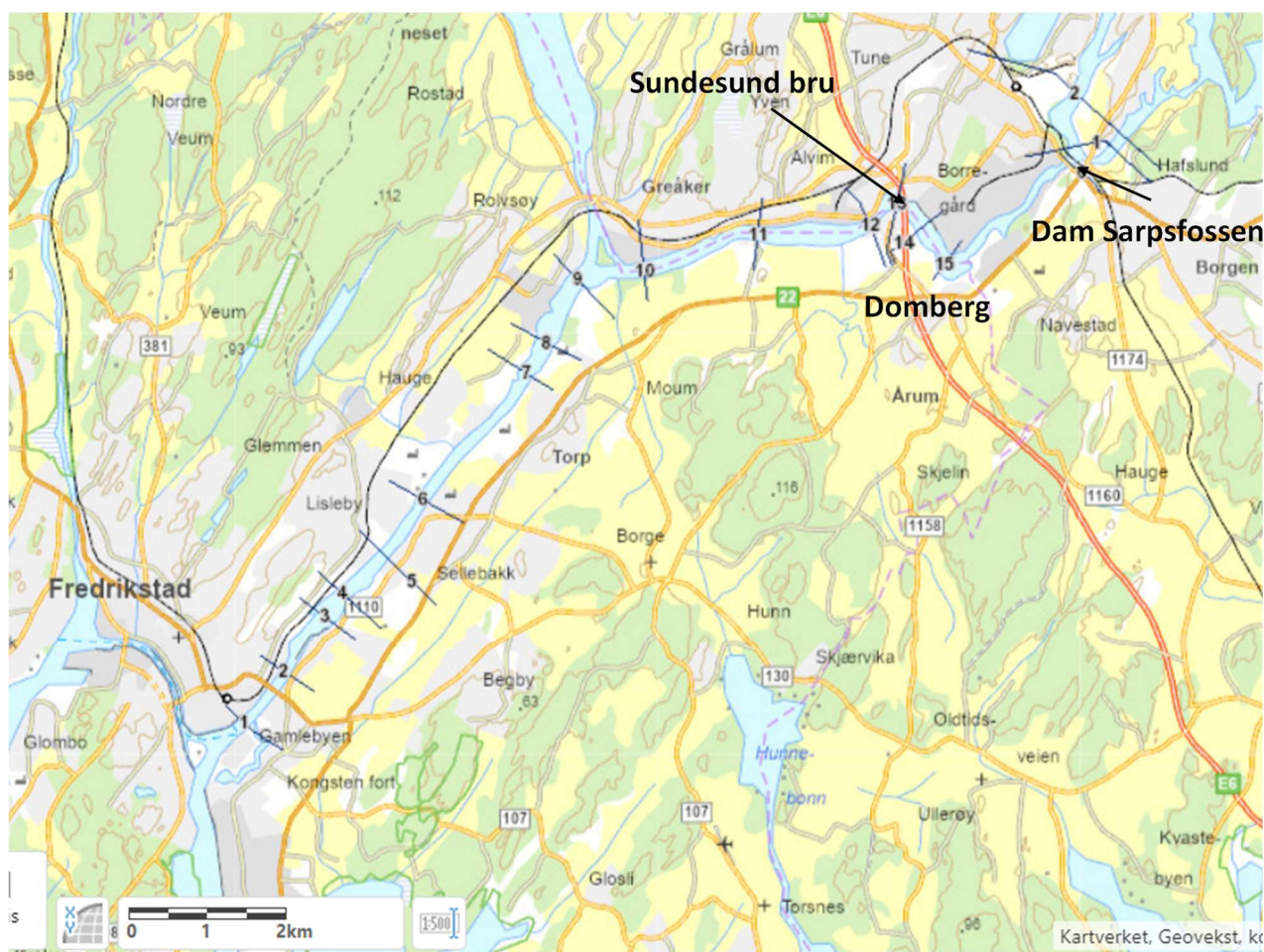


Figur 1-3 Vanninntaket til Borregaard industri

2 Grunnlag for beregninger

2.1 NVEs flomsonekartlegging

NVE har i 2006 utarbeidet flomsonekart for Glomma fra Glommas utløp i fjorden opp til Domberg/ nedstrøms dam Sarpsfossen (Figur 2-1). Strekningen ble profilert av NVE i høsten 2003 (16 profiler) og beregninger ble utført ved hjelp av en 1D-hydraulisk modell. Detaljer av beregninger og resultater er presentert i rapport «Flomsonekart. Delprosjekt Fredrikstad og Sarpsborg» [1].



Figur 2-1 Oversikt over den kartlagte strekningen Glommas utløp til Domberg (kilde: NVE Atlas)

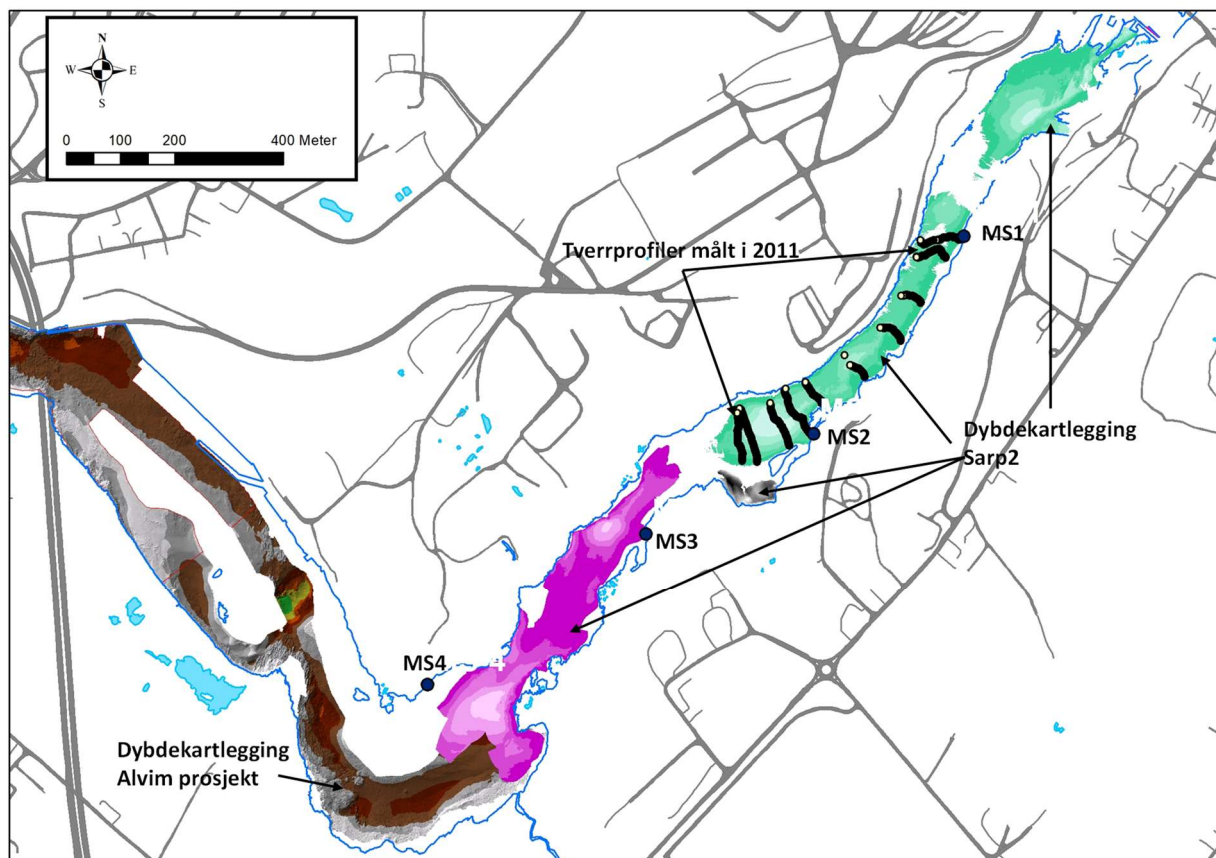
I rapporten konkluderes at tidevannet påvirker normalvannstanden i Glomma opp til Sandesund bru [1]. Det er gjennomført analyser for å undersøke hvordan stormflo påvirker flomvannstandene i elva nedstrøms dammen. Beregningene viser at dersom stormflo kommer i kombinasjon med flom, vil det påvirke flomvannstandene helt opp til Domberg [1]. For beregningstrekning i nåværende vurderinger vil vannstand ved havet ha ingen påvirkning.

2.2 Norconsults vurderinger fra 2012.

Under vurderinger av alternativer for Sarp 2 fra 2012 ble det oppmålt 10 tverrprofiler i Glomma mellom de to tersklene. I tillegg ble det registrert vannstander på fire steder under vårfloppen i 2009. Stedene er deretter kalt MS1, MS2, MS3 og MS4. En oversikt over målestasjonene og oppmålte tverrprofiler er vist i Figur 2-2.

2.3 Dybdekartlegging

I forbindelse med optimalisering av og konsekvensutredninger for Sarp 2 ble det utført dybdekartlegging i 2023 på flere områder mellom dam Sarpsfossen og Domberg. Det ble i tillegg benyttet en mindre del av dybdekartlegging utført i forbindelse med Alvim prosjekt. En oversikt over dybdekartleggingene er vist i Figur 2-2.



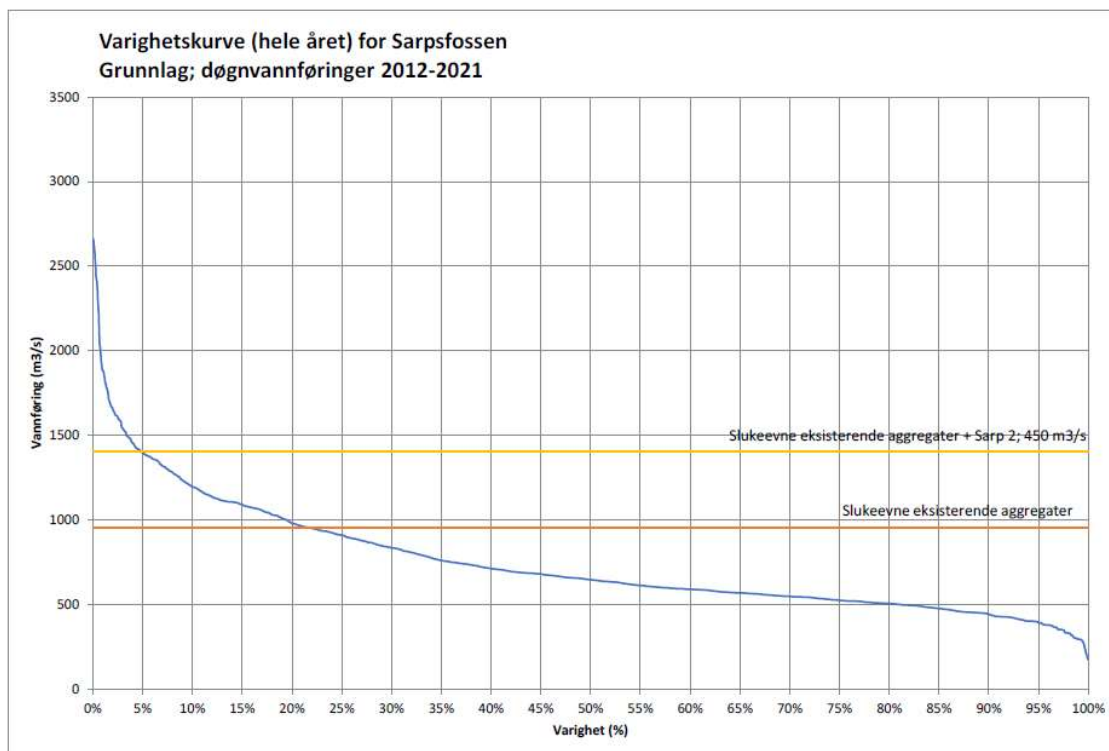
Figur 2-2 Dybdekartlegging, oppmålte tverrprofiler og målestasjoner for registrering av vannstand under vårfloppen i 2009

2.4 Varighetskurve

Vannføringsgrunnlaget er registrerte døgnerverdier ved Solbergfoss justert for lokaltilsiget mellom Solbergfoss og Sarpsfoss. I tillegg korrigeres vannføringen for vann som tappes ved Sølvstudammen i Ågårdselva. Tappingen ved Sølvstudammen følger manøvreringsreglementet.

Median vannføring ved Sarpfossen er ca. 700 m³/s.

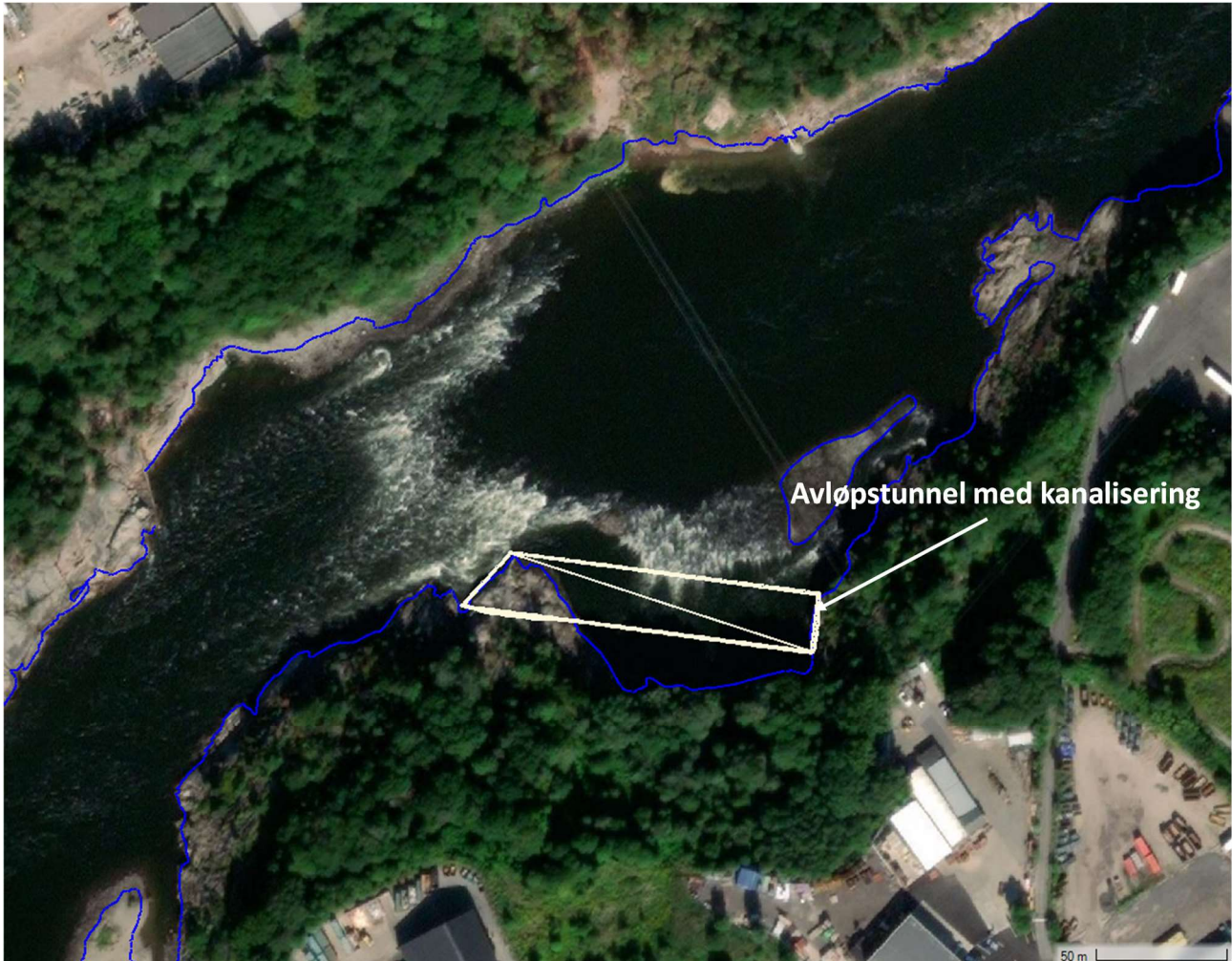
Total slukeevne for eksisterende aggregater er i dag på ca. 975 m³/s. Med Sarp 2, vil kapasiteten øke til ca. 1400 m³/s.



Figur 2-3 Varighetskurve for Sarpfossen, hentet fra «Sarpfossen – Produksjonsberegninger mai 2022» [2]

2.5 Avløpstunnel

Nedstrøms avløpstunnelen er det planlagt kanalisering av elven på en ca. 130 m lang strekning, som vist i Figur 2-4. Kanaliseringen er utført for å få en overgang mellom tunnelsålen og elvebunnen samt at en fjellknaus som ligger nedstrøms avløpet fjernes for å unngå/ redusere oppstuvning.



Figur 2-4 Oversikt over avløpstunnel og kanalisering i elven

3 Hydraulisk modell

Vurdering av strømningsforholdene er utført ved bruk av en 2D-hydraulisk modell i Hec-Ras. Detaljer av modellen er presentert i følgende kapitlene.

3.1 Beskrivelse av vassdraget

Mellom dam Sarpsfossen og Domberg ligger det to naturlige terskler i Glomma. Det planlagte utløpet til Sarp2 ligger rett nedstrøms den nederste terskelen.



Figur 3-1 Flyfoto fra 2017 (kilde: Norge i Bilder)

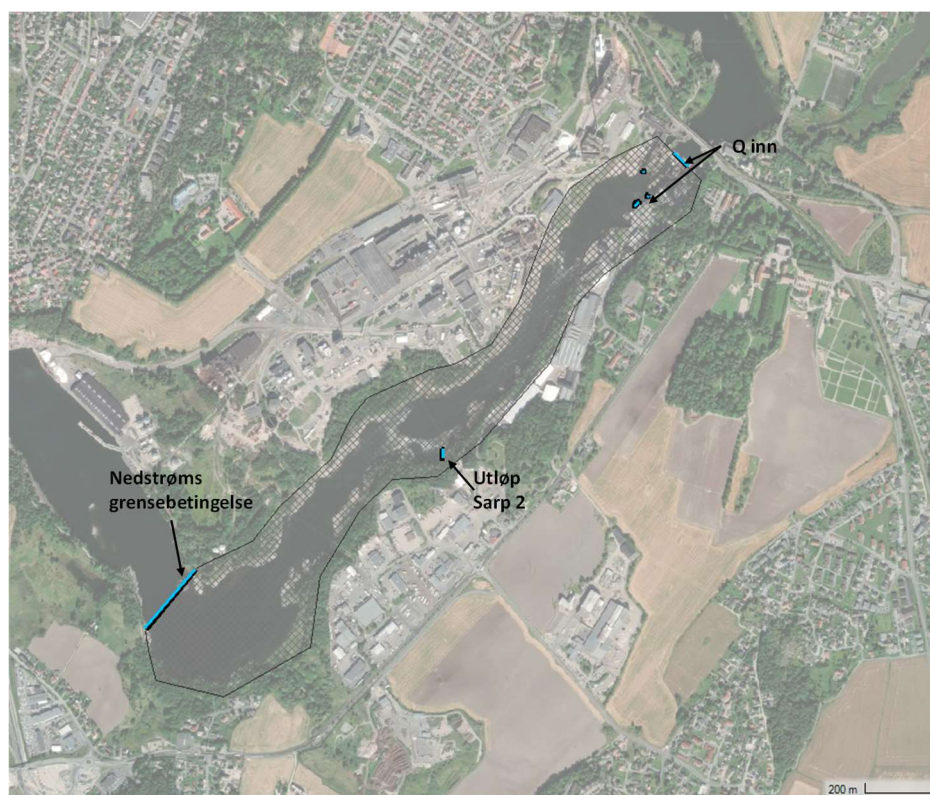
3.2 Høydemodell

Som grunnlag for beregninger er det benyttet dybdekartleggingene fra 2023 beskrevet i kapittel 2.3, dybdepunkter fra Statens kartverk (ved Domberg) og en høydemodell fra 2015 (basert på laserskanning og hentet fra høydedata.no). Høydemodellen er i NN2000. Grunnlaget for høydemodellen er fra forskjellige tidspunkter, men siden elven er vel etablert og stabil vurderes det at samlet grunnlaget representerer godt dagens situasjon.

3.3 2D-modell

Det er laget en 2D-hydraulisk modell i Hec-Ras, versjon 6.3.1, se Figur 3-2. For simulering av friksjon er det benyttet en Manning-Strickler koeffisient på $0,035 \text{ s/m}^{1/3}$ i hele området, basert på vanlige verdier for elver bredere enn 30 m [3]. Modellen har celledimensjon på 3 m x 3 m og det er minimum ca. 15 celler på tvers av elven.

Vannføringer ved kraftverkene og overløp er lagt inn som grensebetingelse i modellen. Modellen avslutter ca. 900 m nedstrøms utløpet til Sarp 2. Som nedstrøms grensebetingelse er det lagt inn en vannføringskurve beregnet med den 1-dimensjonale modellen utarbeidet av Norconsult i 2012, og justert til NN2000-høyder. Denne modellen er kjørt med vannstand i havet lik 0 moh.



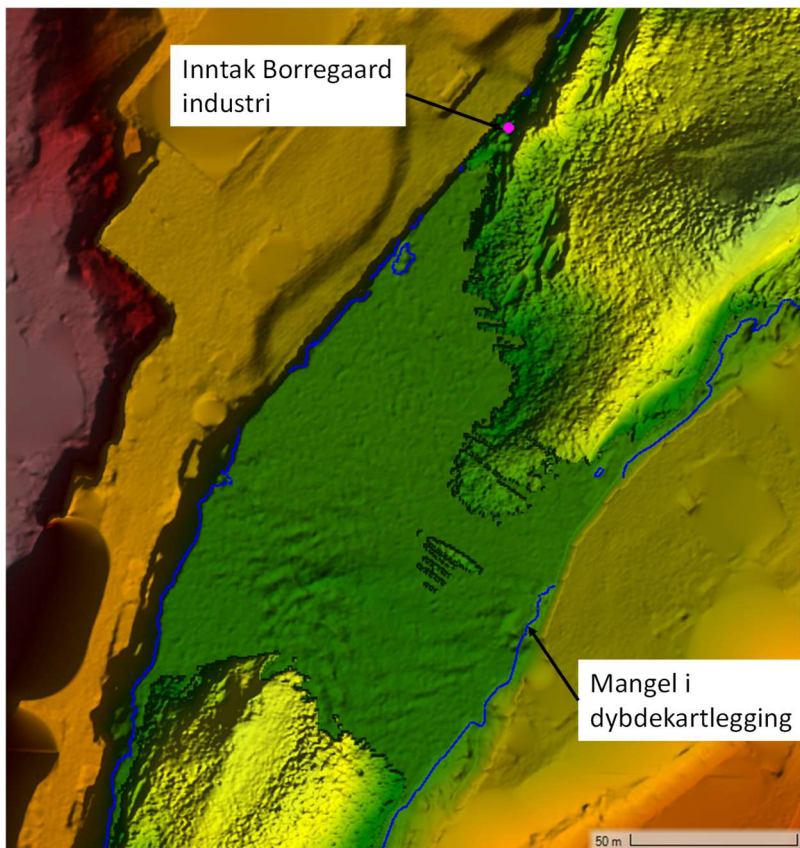
Figur 3-2 2D-modell med grensebetingelser

Simuleringene er kjørt ved å løse grunt vann likninger: SWE-ELM (Shallow Water Equations, Eulerian-Lagrangian Method). Det er benyttet et variabelt tidskritt slik at Courant tall blir under 1 (mer stabilt).

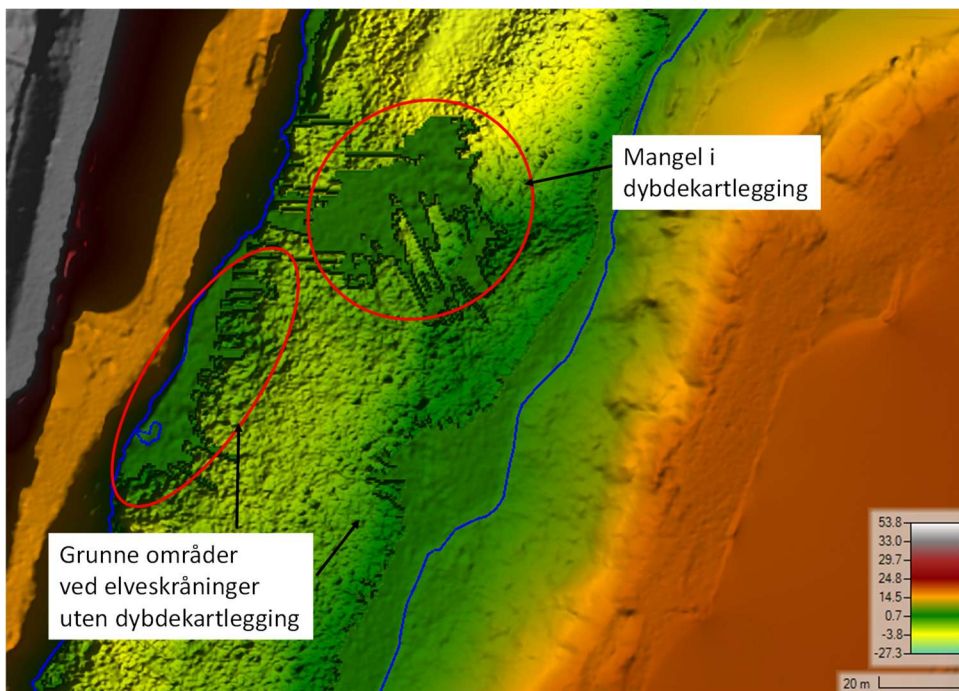
Dybdekartleggingen mangler høyder ved tersklene og derfor er det nødvendig med manuelle endringer i batymetrien. Dette er gjort ved hjelp av verktøyet i Hec-Ras. Det er stort sett utført en skjønnsmessig senkning av noen områder. Hvor mye er disse områdene senket er basert på vannstander registrert under vårflommen i 2009 (se kapittel 3.4) samt flyfotoer fra Norge i bilder [4]. Områdene med mangler i dybdekartlegging er listet nedenfor, og vist i Figur 3-3 til Figur 3-5:

- Fjerning av områder med mangler i dybdekartlegging (i sammenstilling av batymetrien vil disse områdene få høyden fra vannstand ved laserskanningen utført i 2015)
- Grunne områder ved elveskrånninger
- Øvre og nedre terskler

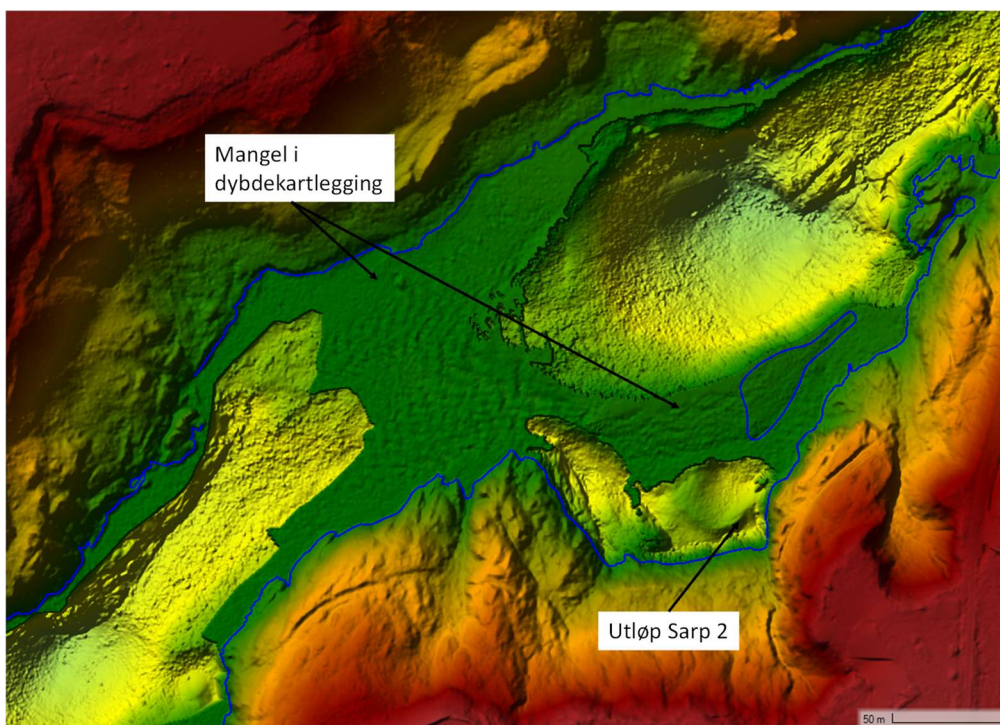
Den mindre øya og grunne områder ved elveskråningene er justert ved å lage et gjennomsnitt mellom elveløp og høyder ved vannkanten. Justeringen av tersklene er mer komplisert, og det er gjort senkninger av området oppstrøms, nedstrøms og selve terskler.



Figur 3-3 Område med mangel på dybdekartlegging, oppstrøms terskel



Figur 3-4 Område med mangel på dybdekartlegging, mellom øvre og nedre terskel



Figur 3-5 Område med mangel på dybdekartlegging, nedre terskel

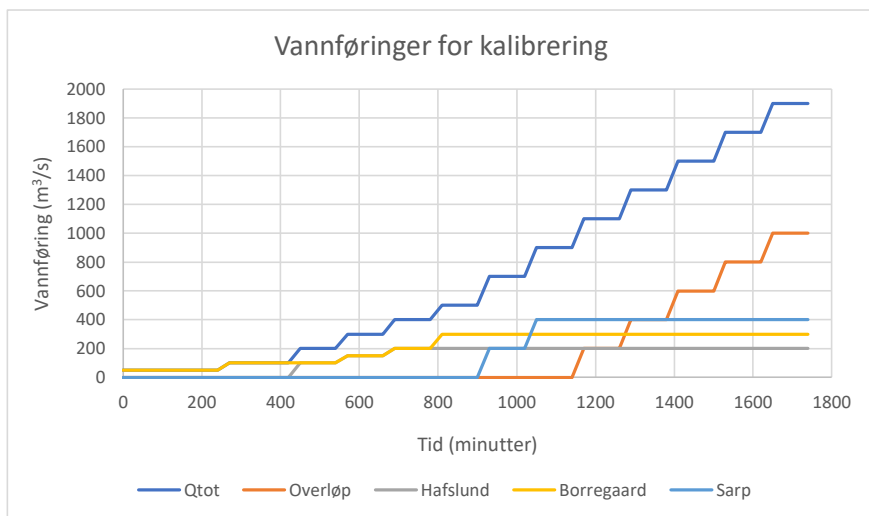
3.4 Kalibrering av modellen i dagens situasjon

Kalibrering av den hydrauliske modellen og endringer i batymetrien (senkning av området ved begge tersklene) er basert på vannstander registrert under vårfloppen i 2009 og opplysninger for undervann til kraftstasjoner. Figur 3-6 viser plassering av fire steder der det ble registrert vannstand under vårfloppen. Vannføring under registreringene er mellom ca. 260 m³/s og 1560 m³/s. I tillegg er det benyttet undervanndata som ble benyttet i beregningene fra 2012 (Hafslund) supplert med registreringer med lav vannføring fra 2013. De registrerte vannstandene er justert til NN2000 høyder ved å legge til 0,12 m. Beliggenhet for registrering av undervann til Borregaard og Hafslund er vist i Figur 1-2.

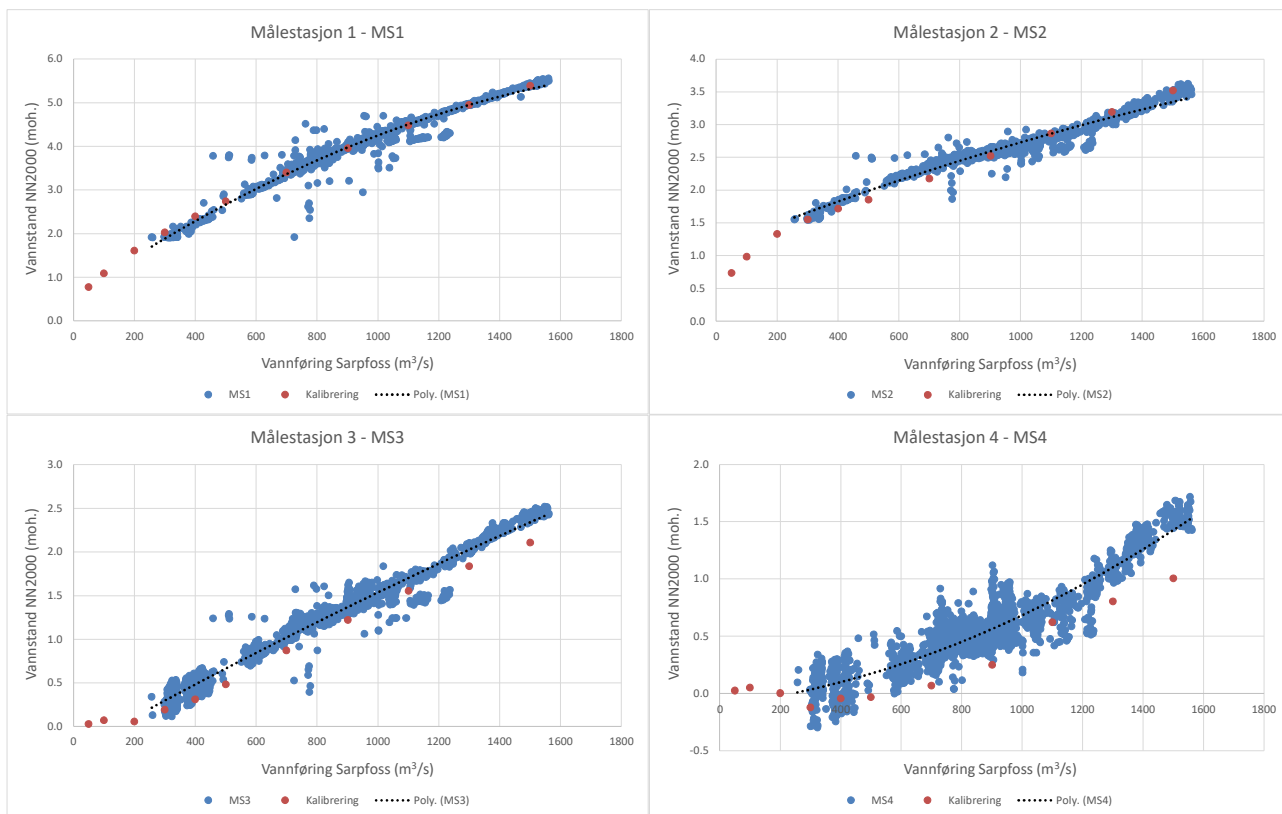


Figur 3-6 Beliggenhet av målestasjoner benyttet under registrering av vannstand ved vårfloppen i 2009

For kalibrering av modellen er det lagt inn vannføring gjennom de forskjellige kraftstasjonene som vist i Figur 3-7. Figur 3-8 viser resultater fra kalibrering av den hydrauliske modellen etter endringer i batymetrien. Under kalibrering er det fokusert på målinger ved målestasjon 1 og 2 siden disse ligger nærmere/ innenfor influensområdet. Ved behov kan det gjøres ytterligere kalibrering med hensyn til målestasjon 3 og 4. Målestasjon 4 har den dårligst tilpassing, og dette kan være tilknyttet nedstrøms grensebetingelse (vannføringskurven fra 1D-modellen). Vi har ikke undersøkt dette nærmere da tilpassingen for målestasjon 3 som ligger oppstrøms målestasjon 4 og nærmere utløpet til Sarp 2 er tilfredsstillende.



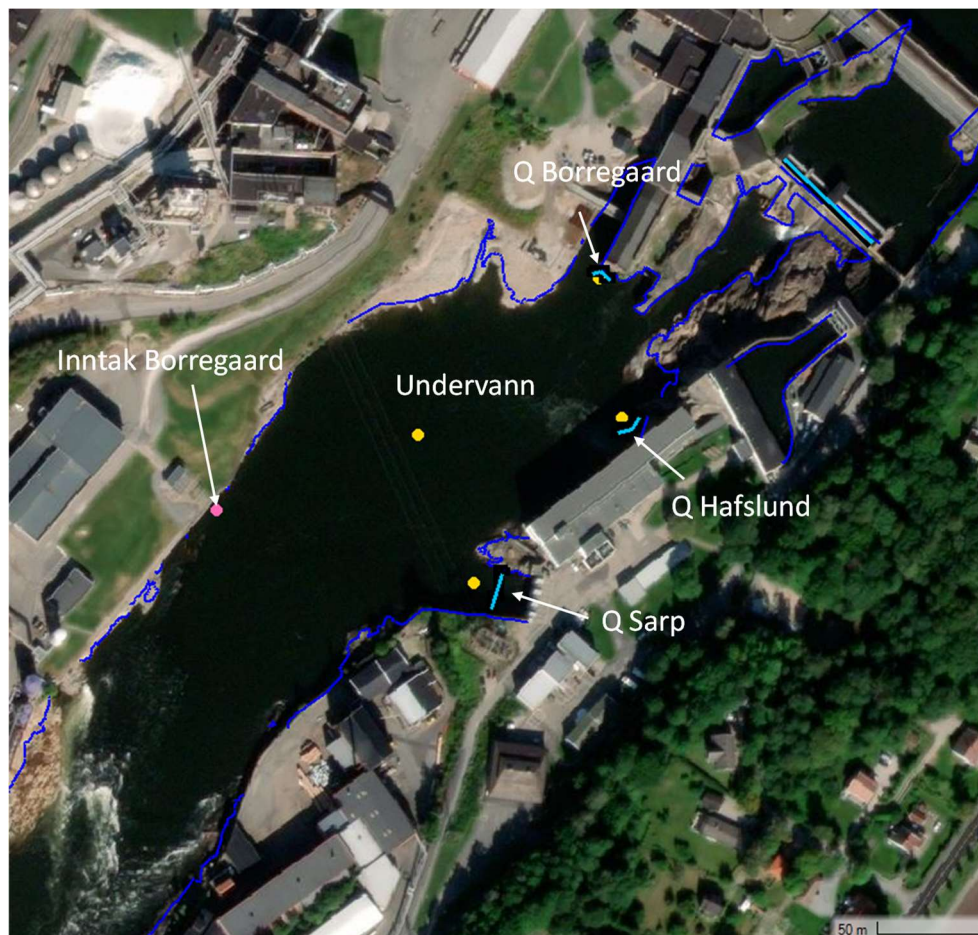
Figur 3-7 Vannføringer benyttet i kalibrering av den hydrauliske modellen



Figur 3-8 Resultater fra kalibrering i målestasjoner 1 – 4 etter endringer i elvemodell

Det er også utført en kalibrering/ kontroll av modellen mot målinger av undervann til kraftstasjonene. Figur 3-9 viser hvor er vannføringer fra kraftstasjonene lagt inn i modellen og stedene der undervann er hentet. Pga. høyder i batymetrien (mangler på bunnkartlegging der undervann måles) er det ikke mulig å legge inn

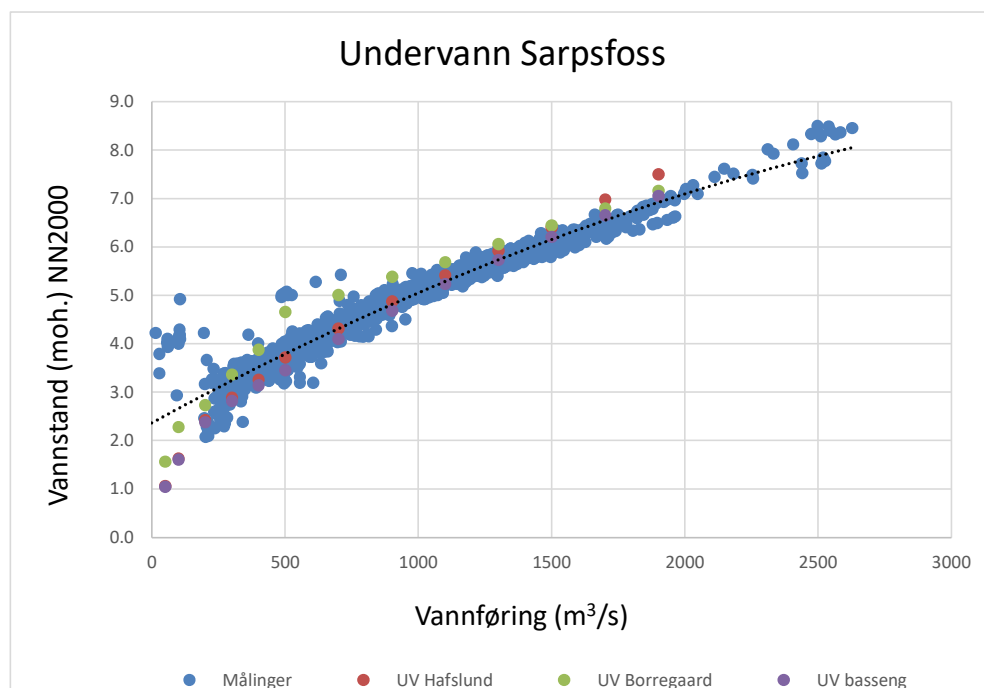
vann/ hente inn vannstandsresultater på det virkelige steder. Det er i tillegg hentet vannstand ved midten av bassenget, nevnt «Undervann».



Figur 3-9 Oversikt over simulerte vannføringer fra kraftstasjonene og sted der undervannet er hentet fra

Figur 3-10 viser vannstander beregnet i modellen sammen med undervann fra Sarpsfossen (registreringer i perioden 2012-2022), og inkluderer vannstand ved lav vannføring registrert i 2013. Modellen overestimerer undervann ved Borregaard for alle vannføringer. Undervann ved Hafslund og i bassenget er i modellen underestimert ved vannføringer under 500 – 700 m³/s og overestimert ved vannføringer over 1500 m³/s. Selv om vannstandene beregnet i modellen er underestimert ligger disse innenfor registreringer, men ved nederste grensen.

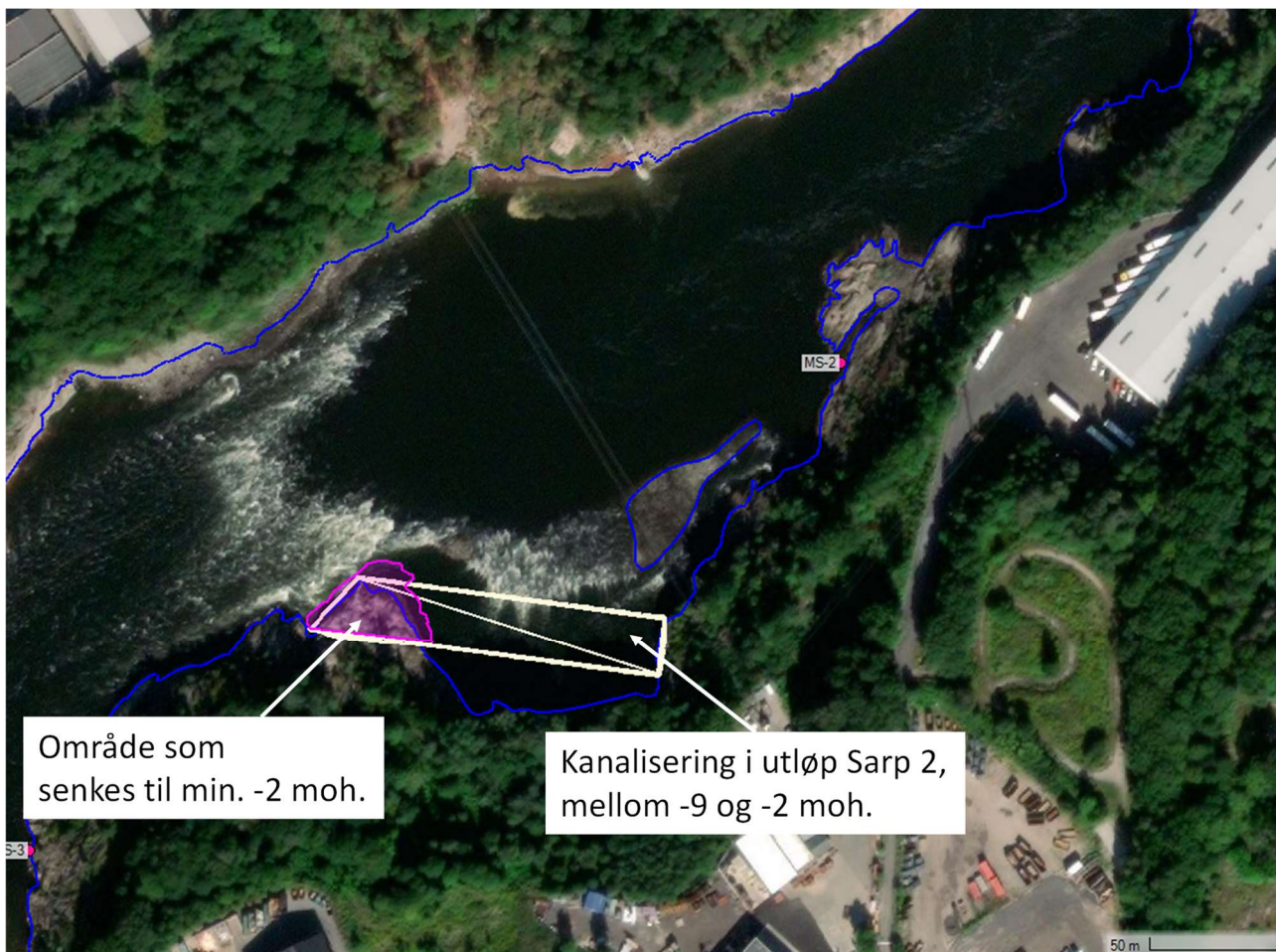
Det konkluderes at kalibrering av modellen er tilfredsstillende gitt usikkerheter i batymetrien, og modellen brukes i videre beregninger.



Figur 3-10 Resultater fra kalibrering av undervannsmålinger etter endringer i elvemodell. Målinger = undervann fra Sarpfossen (2012-2022). UV Hafslund, UV Borregaard og UV basseng er vannstand beregnet i den hydrauliske modellen.

3.5 Kanalisering av elv i nedstrøms utløpet til Sarp2

Det er planlagt en kanalisering nedstrøms avløpstunnelen for å få en overgang mellom tunnelsålen og elvebunnen. For å redusere oppstuvning nedstrøms utløpet av Sarp 2 er det i tillegg en del av fjellknausen senket ned til ca. kote -2. Området som er senket er vist i Figur 3-11.



Figur 3-11 Kanalisering av elveløpet og fjerning av fjellknausen ved utløpet til Sarp 2

4 Resultater

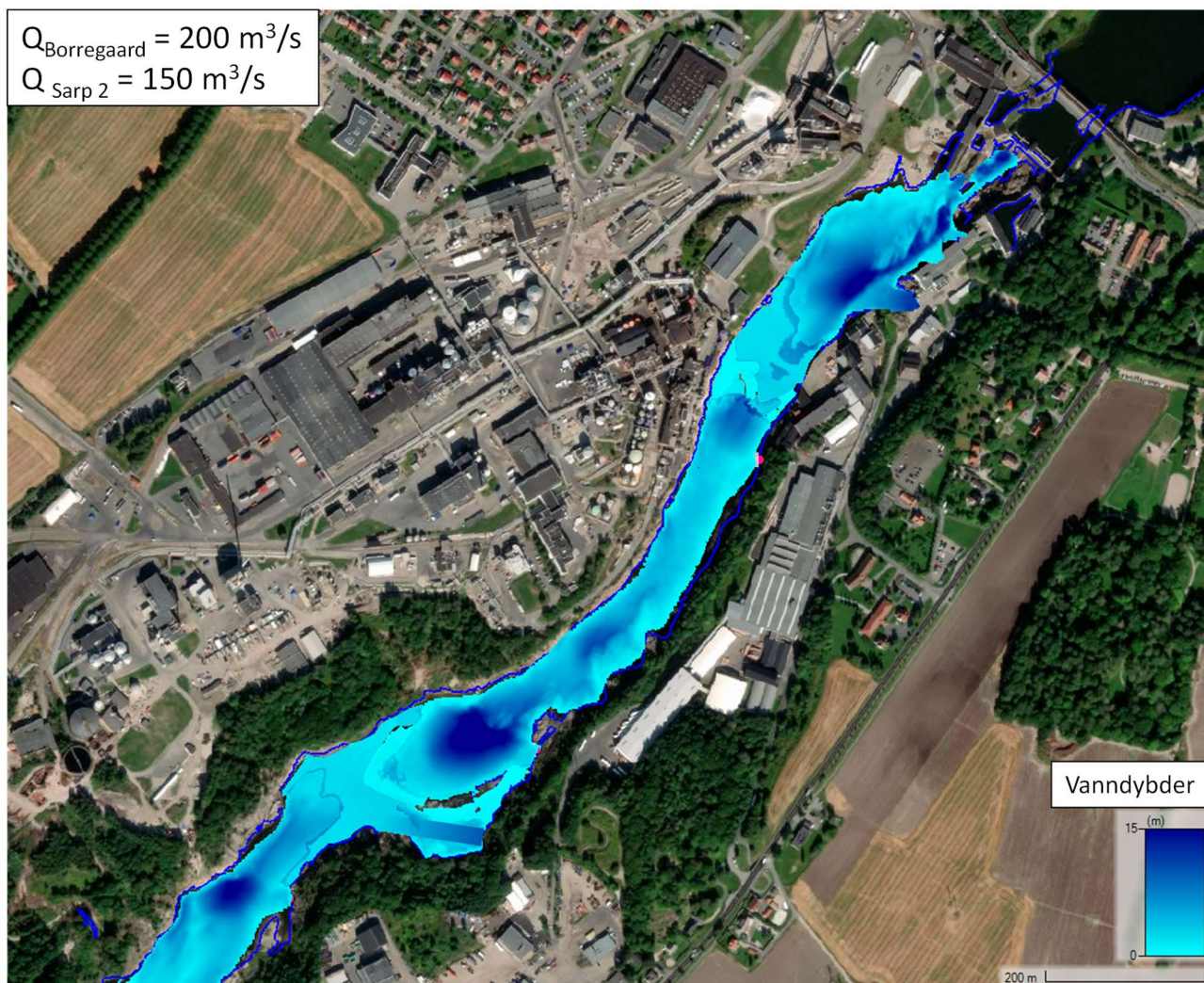
Det er kjørt flere simuleringer og vannføringer. I denne rapporten er det bare vist et utvalg av resultater, og flere resultater er vist i de ulike fagrapportene.

Det er usikkerhet i vannstander og vanndybder oppstrøms og nedstrøms tersklene, spesielt med hensyn til hvor dyp og hvor lang dypløpet i tersklene er. Usikkerheten vil variere i forhold til både sted og vannføring i elven.

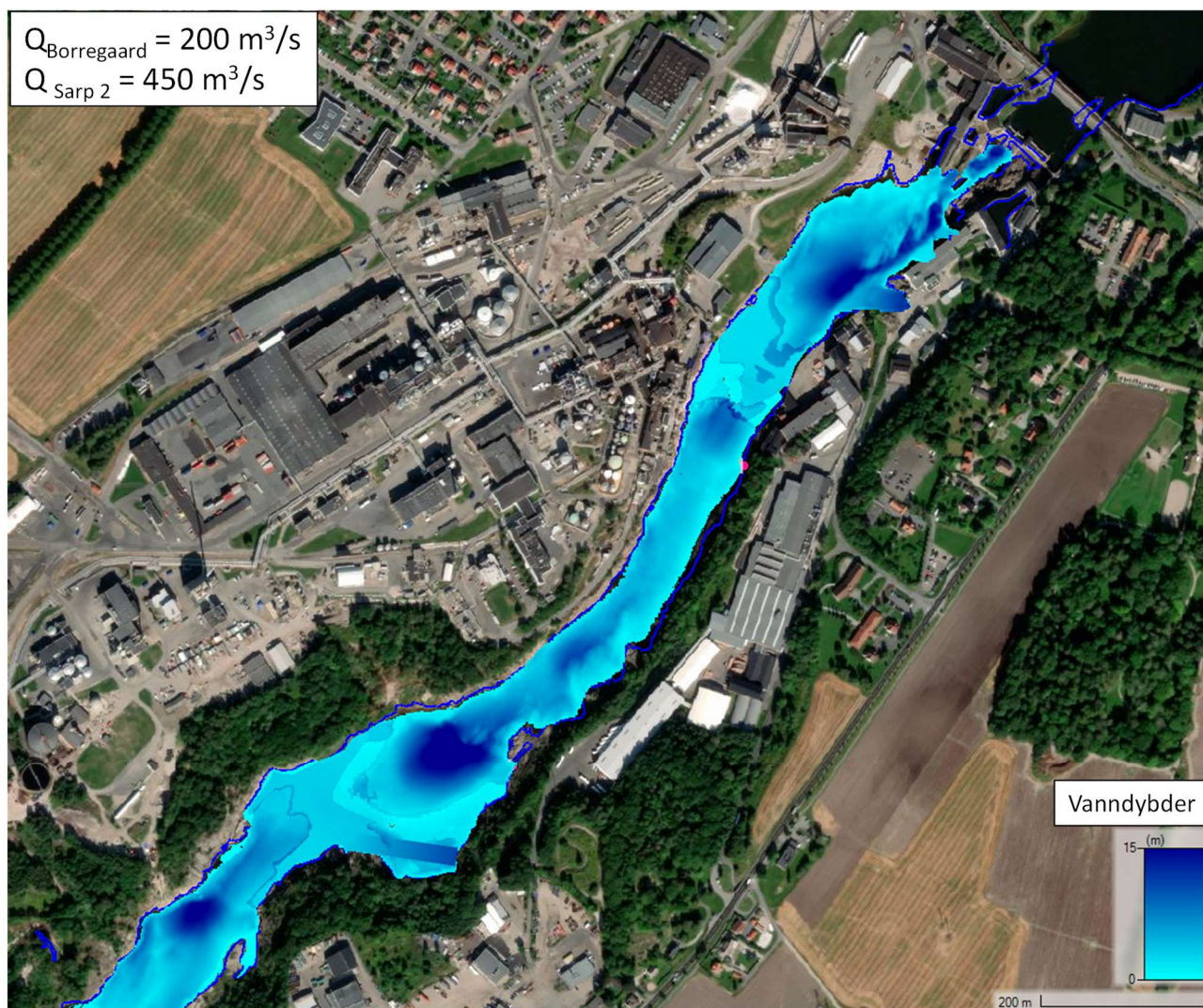
4.1 Vanndybder mellom dam Sarpsfossen og det planlagte utløpet til Sarp 2 kraftverk ved lav vannføring i det øvre bassenget

For å undersøke strømningsforhold ved lav vannføring i øvre bassenget (oppstrøms øvre terskel) og Sarp 2 i drift, er det presentert vanndybder ved 200 m³/s i det øvre bassenget kombinert med 150 m³/s og 450 m³/s gjennom Sarp 2. Resultater i form av vanndybder og vanndekt areal er vist i Figur 4-1 og Figur 4-2. Ved 200 m³/s i det øvre bassenget og 150 m³/s i Sarp 2 er det et område ved den nederste terskelen som har lite vanndekt areal.

Vanndybder og vanndekt areal ved vannføringer på 50 og 100 m³/s i det øvre bassenget, kombinert med Sarp 2 i drift, er vist i vedlegg 1. Disse vannføringene ga lave vannstander ved det øvre bassenget og er antatt å gi utfordrende driftsforhold for vannforsyningen til Borregaard. Disse vannføringene ble på bakgrunn av dette hensynet ansett som for lave, og det er simulert med laveste vannføring 200 m³/s i gjeldende vannlinjeberegninger.

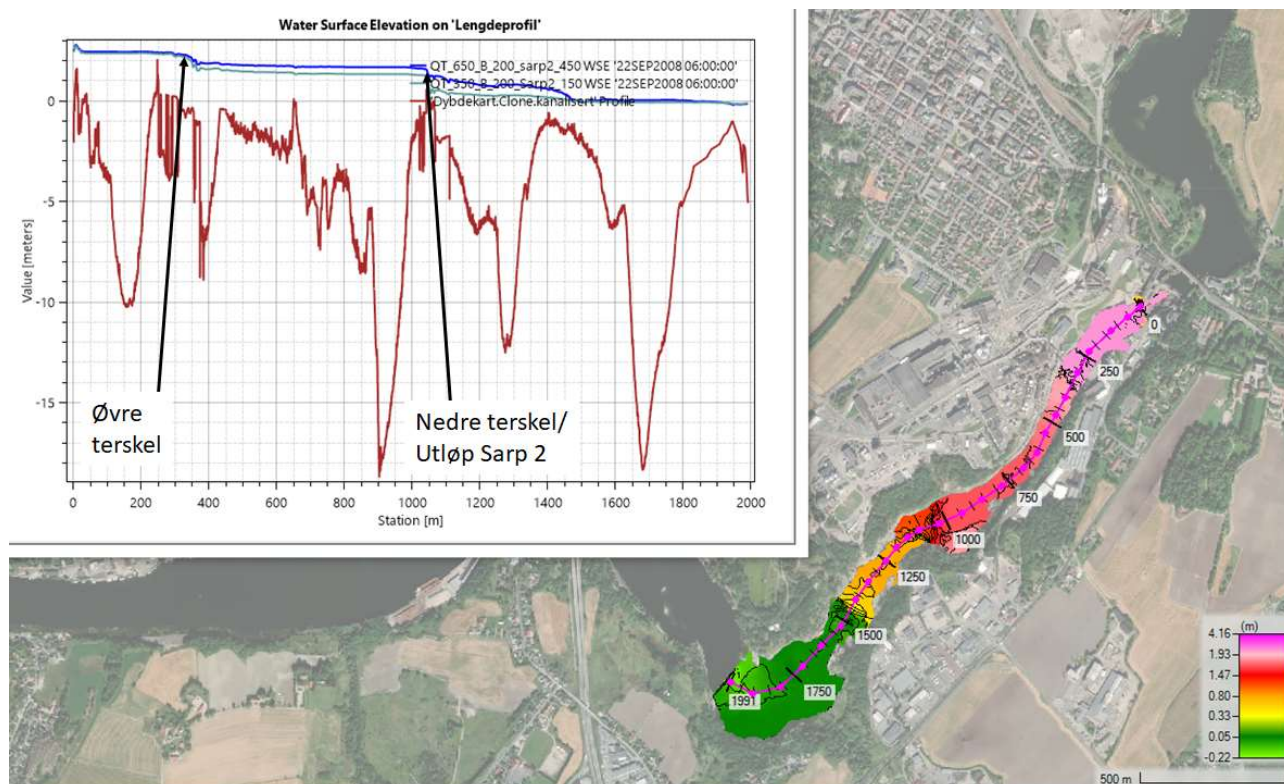


Figur 4-1 Vandybder ved 200 m³/s i Borregaard og 150 m³/s i Sarp 2



Figur 4-2 Vandybder ved $200 \text{ m}^3/\text{s}$ i Borregaard og $450 \text{ m}^3/\text{s}$ i Sarp 2

Figur 4-3 viser vannstander i beregningstrekingen ved $200 \text{ m}^3/\text{s}$ i det øvre bassenget kombinert med $150 \text{ m}^3/\text{s}$ og $450 \text{ m}^3/\text{s}$ gjennom Sarp 2. Vannstanden oppstrøms den øvre terskelen er ca. 10 cm høyere når vannføring i Sarp 2 er $450 \text{ m}^3/\text{s}$ sammenlignet med $150 \text{ m}^3/\text{s}$. Forskjellen er mellom 30 og 50 cm nedstrøms den øvre terskelen.

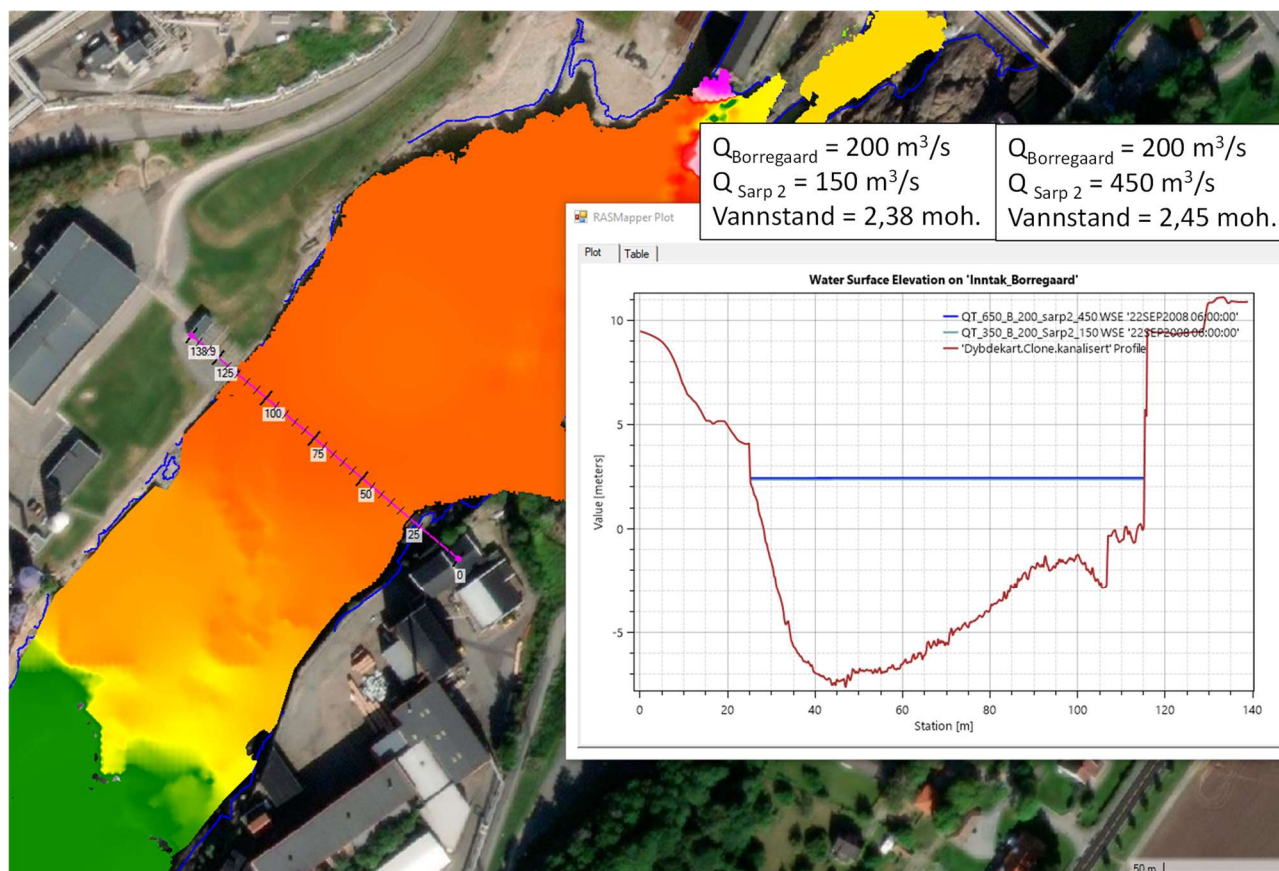


Figur 4-3 Vannstand ved 200 m³/s oppstrøms øvre terskel kombinert med 150 og 450 m³/s gjennom Sarp 2

4.2 Vannstander ved vanninntaket til Borregaard industri

Ved 200 m³/s gjennom Borregaard kraftverk er det beregnet en vannstand ved inntaket til Borregaard industri på 2,38 og 2,45 moh. ved kjøring av henholdsvis 150 og 450 m³/s gjennom Sarp 2.

Gitt en vannføring på 200 m³/s i det øvre bassenget er det lite forskjell i vannstanden ved Borregaard industri ved økning av vannføringen gjennom Sarp 2. Sammenlignet med dagens situasjon ved 350 m³/s i øvre basseng, gir 200 m³/s gjennom Borregaard kraftverk og 150 m³/s i Sarp 2 en reduksjon i vannstand på ca. 60 cm. Sammenlignet med dagens situasjon og 650 m³/s i øvre basseng, gir 200 m³/s gjennom Borregaard kraftverk og 450 m³/s i Sarp 2 en reduksjon i vannstand på ca. 1,5 m.



Figur 4-4 Vannstand ved Borregaard industri inntak ved 200 m³/s i Borregaard kraftverk kombinert med 150 m³/s og 450 m³/s i Sarp 2

4.3 Strømningsforhold ved utløpet til Sarp 2

Det er simulert vannføringer i Glomma på 350 m³/s, 650 m³/s, 700 m³/s, 1000 m³/s og 1375 m³/s kombinert med kjøring av Sarp 2 med 150 m³/s, 300 m³/s eller 450 m³/s, se Tabell 4-1. Vannstand ved utløpet av Sarp 2 for disse situasjonene er vist i Figur 4-5 til Figur 4-10.

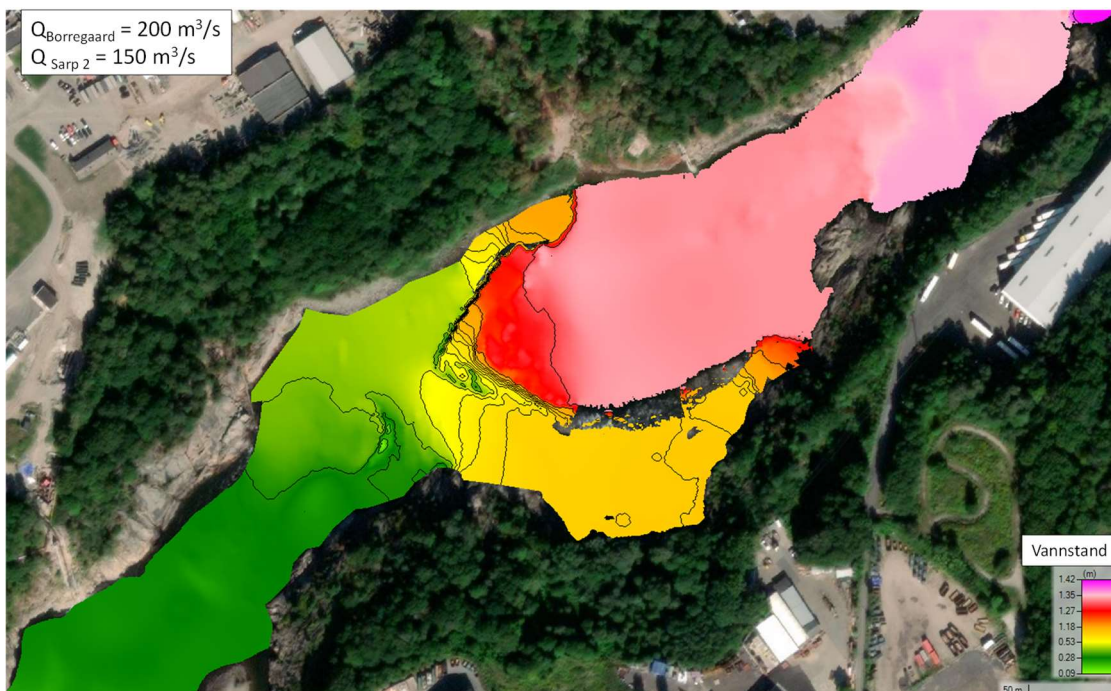
Ved lite vann i det øvre bassenget (200 m³/s) og full drift i Sarp 2 (450 m³/s) vil man få oppstuvning av vann nedstrøms utløpet og vannstand ved utløpet vil være høyere enn oppstrøms den naturlige terskelen i elven (se Figur 4-6). Vannstandsforskjellen er omtrent lik når vannføringen i det øvre bassenget øker til 250 m³/s (se Figur 4-8).

Tabell 4-1 Simulerte vannføringer i Glomma og Sarp 2

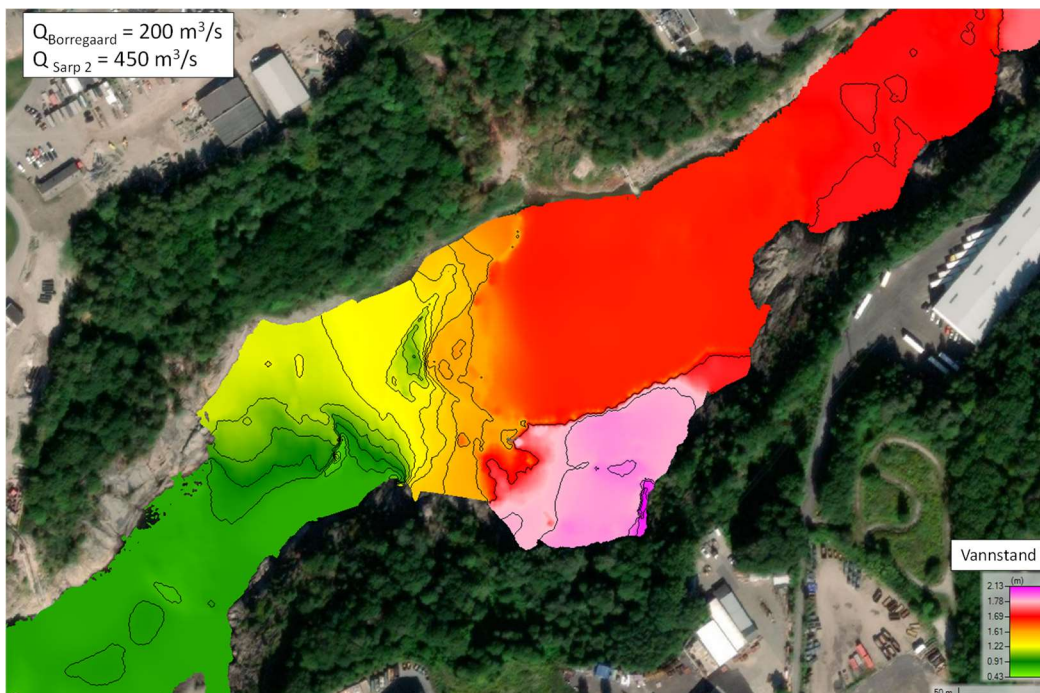
Vannføring i Glomma (m ³ /s)	Vannføring i Borregaard/ øvre basseng (m ³ /s)	Vannføring i Sarp 2 (m ³ /s)	Oppstuvning ved utløpet Sarp 2 sammenlignet med vannstand oppstrøms terskelen	Kote vannstand ved utløpet Sarp 2 ¹
350	200	150	ingen	+0,9 m
650	200	450	Oppstuvning 0,1 m	+1,8 m
700	250	450	Oppstuvning 0,1 m	+1,9 m

700	400	300	ingen	+1,9 m
1000	550	450	ingen	+2,6 m
1375	925	450	ingen	+3,3 m

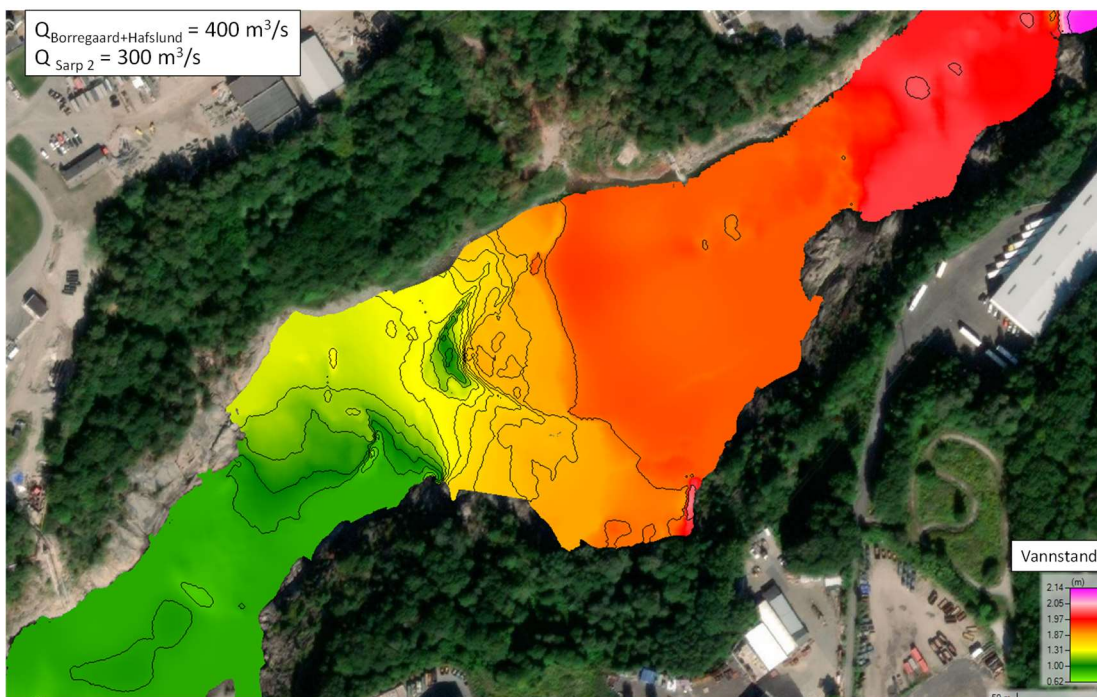
¹ Vannstand varierer og er ca. 20-30 cm høyere rett ved tunnelutløp, men det vurderes at dette kan være begrensninger i beregningsverktøyet, eller nærheten til grensebetingelsen. Derfor er vannstanden hentet ca. 15 m fra utløpet.



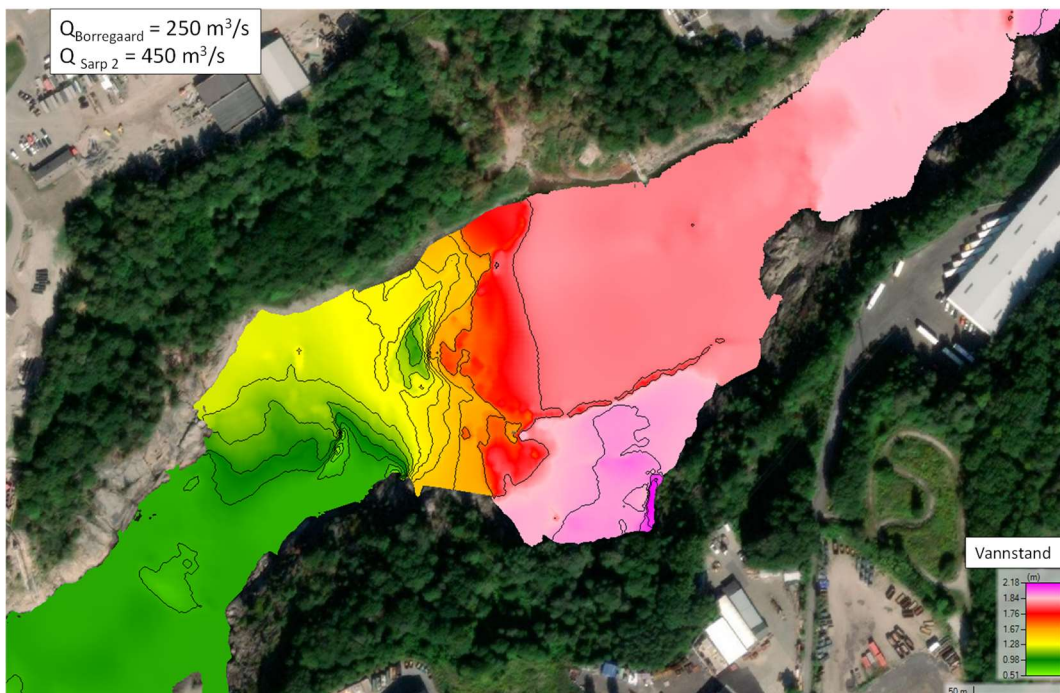
Figur 4-5 Vannstand ved utløp Sarp 2, $Q_{Borregaard} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ og $Q_{Sarp2} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$



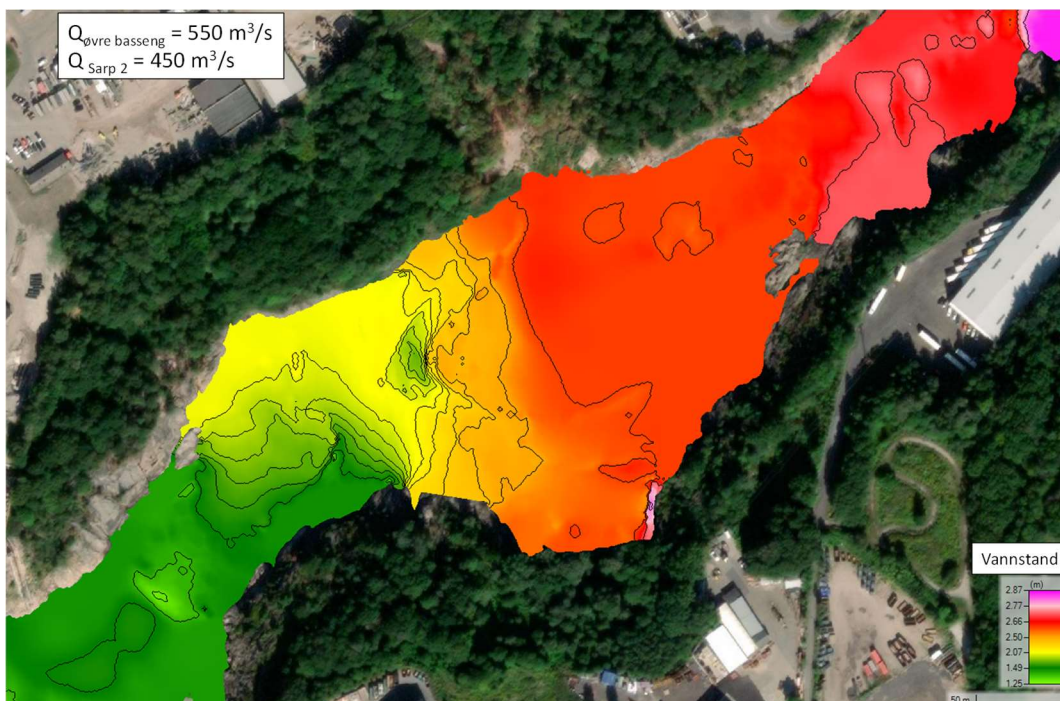
Figur 4-6 Vannstand ved utløp Sarp 2, $Q_{\text{Borregaard}} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ og $Q_{\text{Sarp2}} = 450 \text{ m}^3/\text{s}$



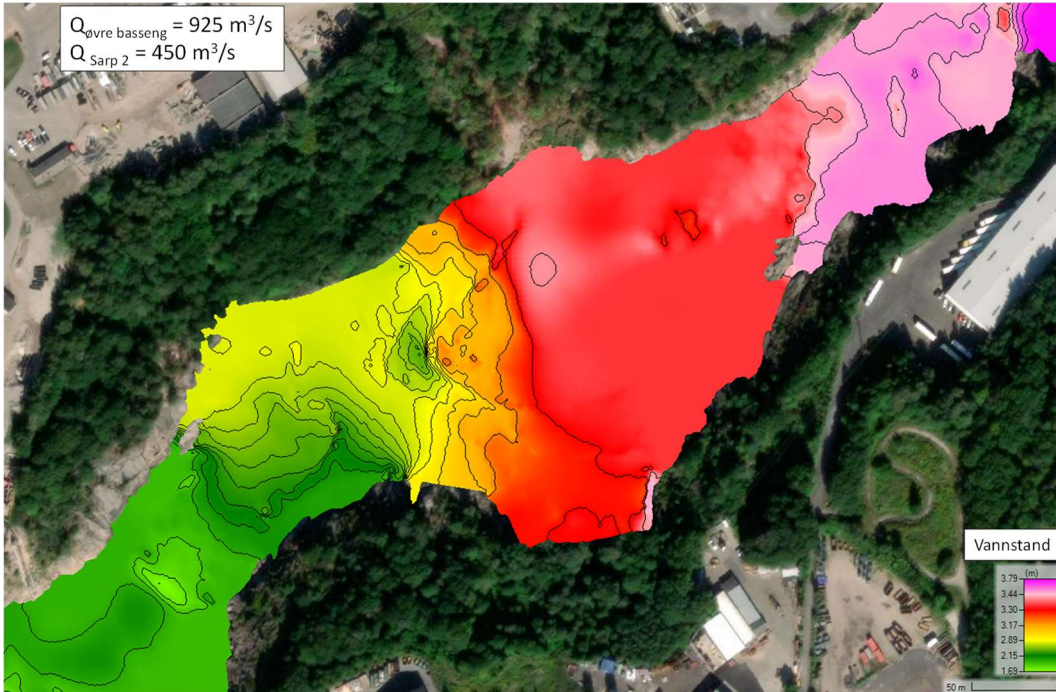
Figur 4-7 Vannstand ved utløp Sarp 2, $Q_{\text{Borregaard+Hafslund}} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$ og $Q_{\text{Sarp2}} = 300 \text{ m}^3/\text{s}$



Figur 4-8 Vannstand ved utløp Sarp 2, $Q_{\text{Borregaard}} = 250 \text{ m}^3/\text{s}$ og $Q_{\text{Sarp2}} = 450 \text{ m}^3/\text{s}$

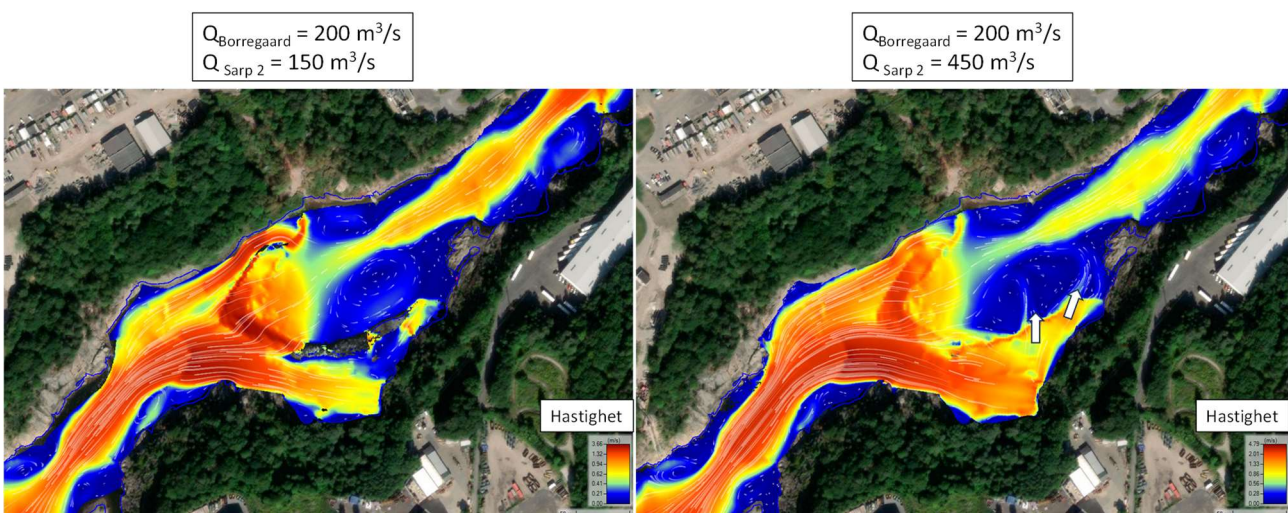


Figur 4-9 Vannstand ved utløp Sarp 2, $Q_{\text{øvre basseng}} = 550 \text{ m}^3/\text{s}$ og $Q_{\text{Sarp2}} = 450 \text{ m}^3/\text{s}$

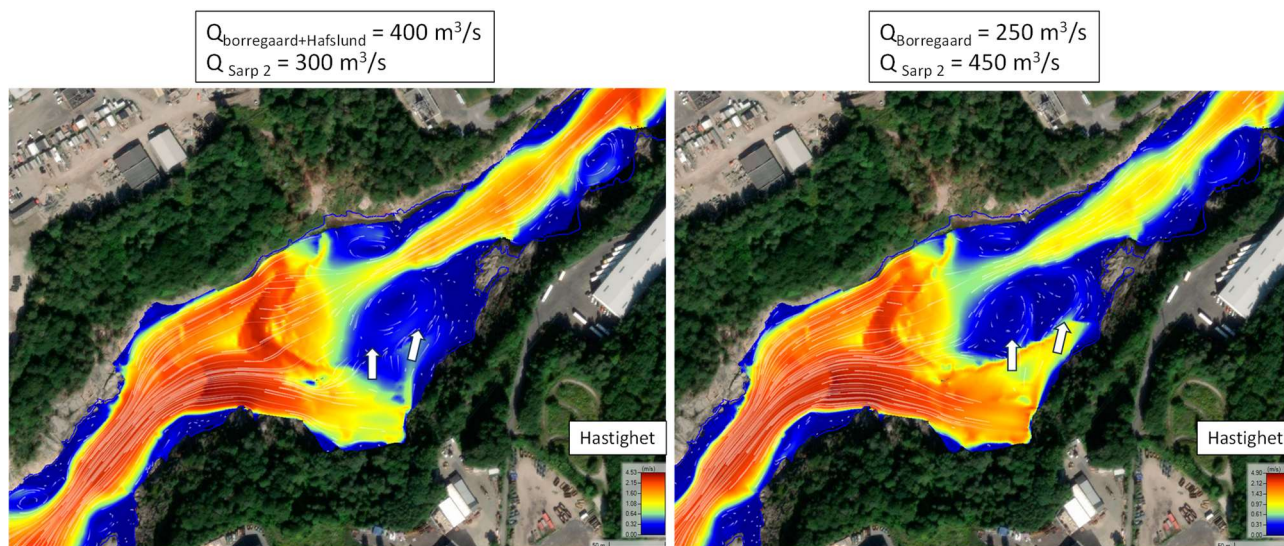


Figur 4-10 Vannstand ved utløp Sarp 2, $Q_{\text{øvre basseng}} = 925 \text{ m}^3/\text{s}$ og $Q_{\text{Sarp2}} = 450 \text{ m}^3/\text{s}$

Noe av vann fra kraftstasjonen vil renne over terskelen mot senter av elven, som vist med hvite piler i Figur 4-11 (til høyre) og Figur 4-12. Stabiliteten av terskelen bør kontrolleres, da dette er en endring i vannets retning og på dette tidspunktet er det usikkert om terskelen kan inneholde løsmasser.



Figur 4-11 Hastighet og strømningslinjer ved utløp av Sarp 2, $200 \text{ m}^3/\text{s}$ i øvre basseng kombinert med 150 og $450 \text{ m}^3/\text{s}$ i Sarp2



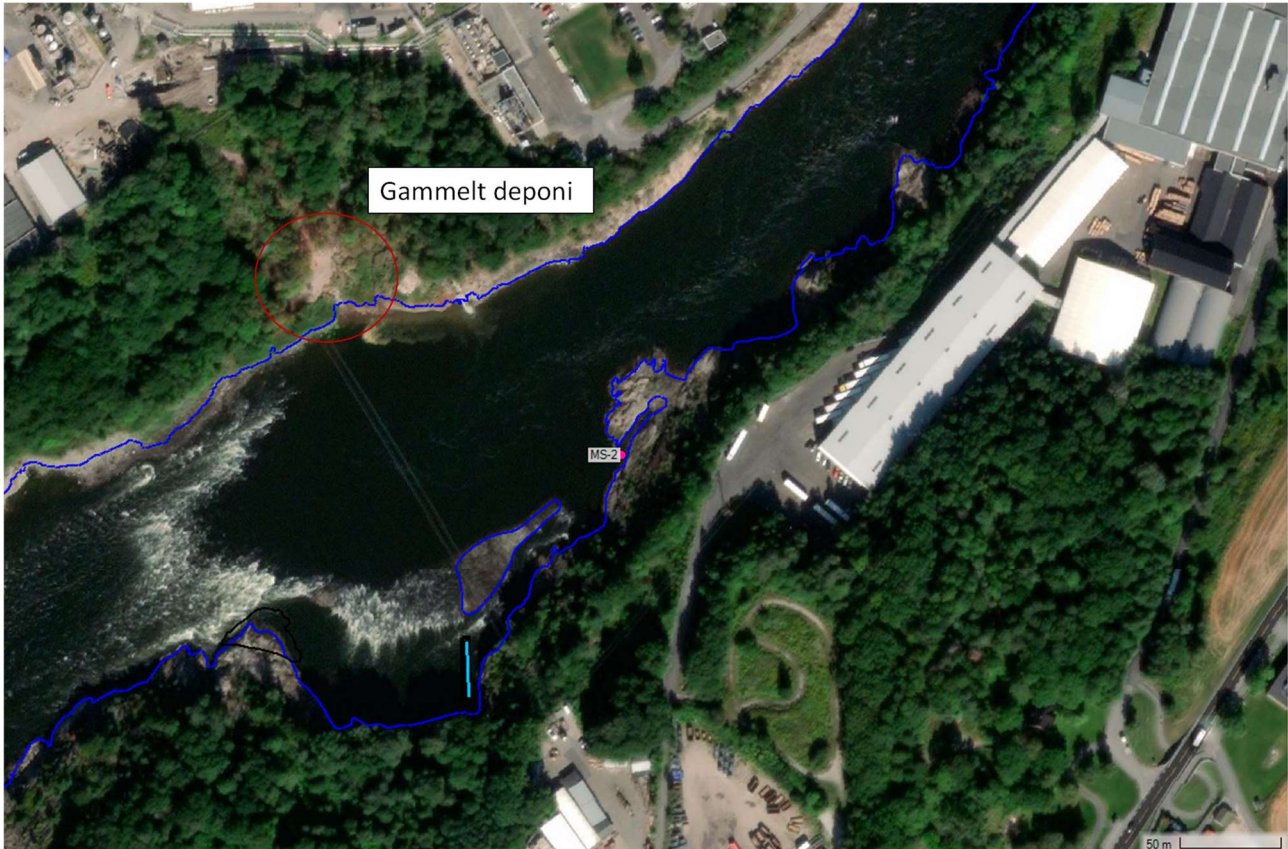
Figur 4-12 Hastighet og strømningslinjer ved utløp av Sarp 2, total vannføring lik $700 \text{ m}^3/\text{s}$

4.4 Resultater for KU – endringer i vannstander og hastigheter

Det er opplyst at det finnes et gammelt deponi nær elveløpet på motsatt side av det planlagte utløpet til Sarp2 (merket med rød sirkel i Figur 4-13). Det er derfor utført en vurdering av endringer i hastigheter etter bygging av Sarp 2. Det er i tillegg vurdert endringer av vannstander.

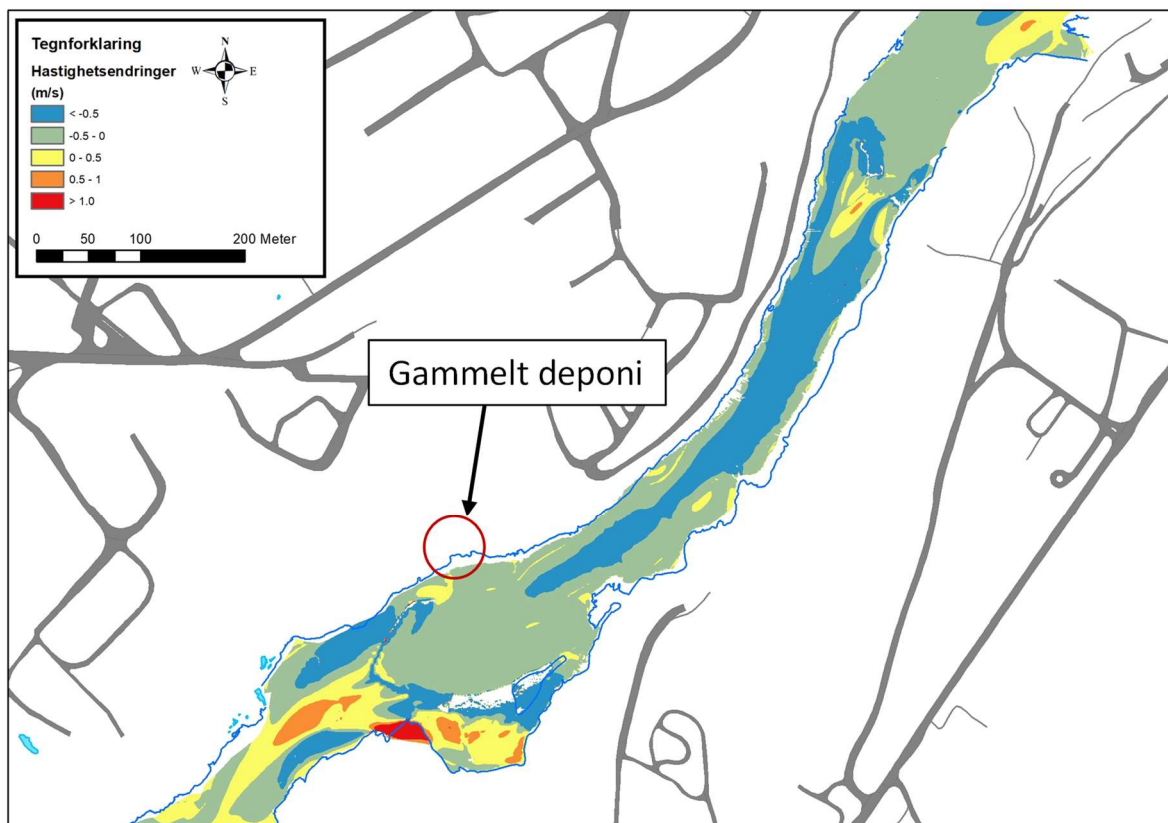
Vannstand- og hastighetsendringene sammenlignet med dagens situasjon (lik total vannføring i Glomma) er vist i Figur 4-14 til Figur 4-17.

Generelt ser man en reduksjon i hastigheter oppstrøms utløpet til Sarp 2, og en økning av hastigheter nedstrøms utløpet. Men, på enkelte steder nedstrøms den øvre terskelen er det en økning av hastigheter. Dette forklares med at vannstanden nedstrøms den øvre terskelen blir redusert. Det vil også være en reduksjon av vannstander oppstrøms utløpet til Sarp 2, og en økning av vannstander nedstrøms utløpet.



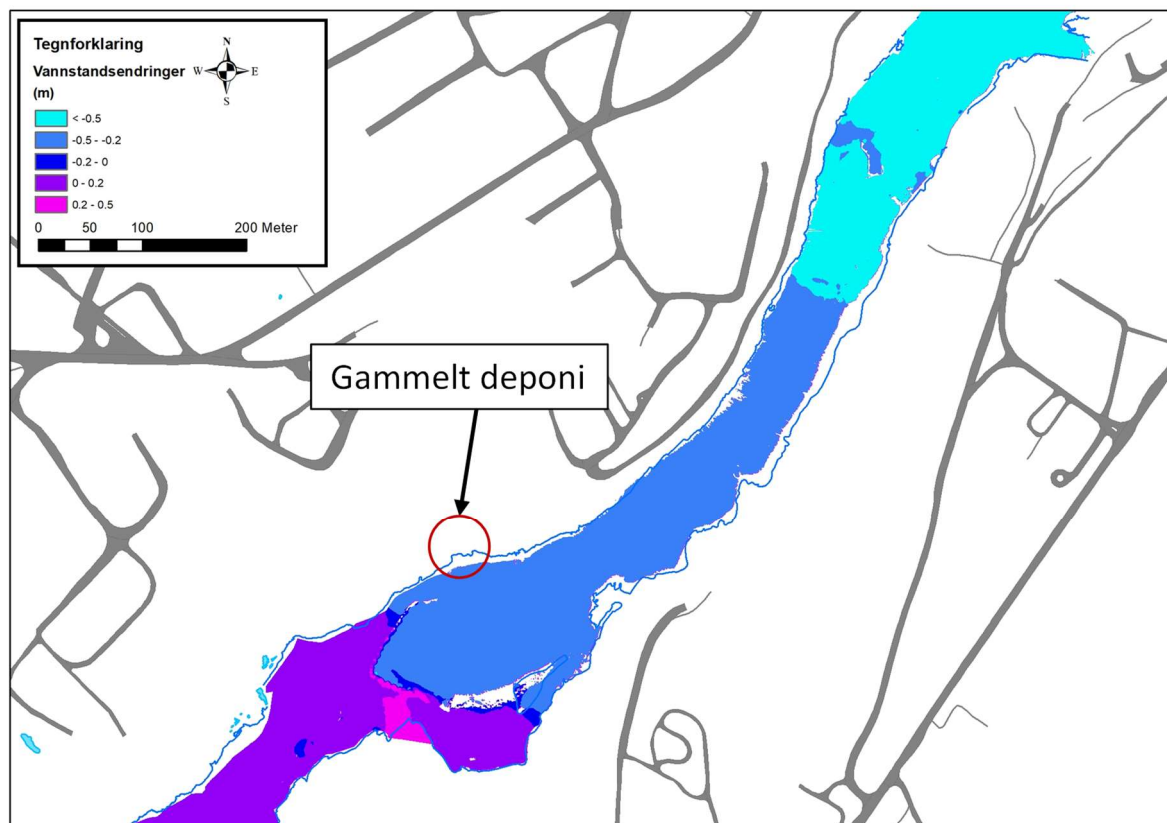
Figur 4-13 Beliggenhet av et gammelt deponi nær Glomma rett ovenfor det planlagte utløpet til Sarp2

$$Q_{\text{Borregaard+Hafslund}} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$$
$$Q_{\text{Sarp 2}} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$$



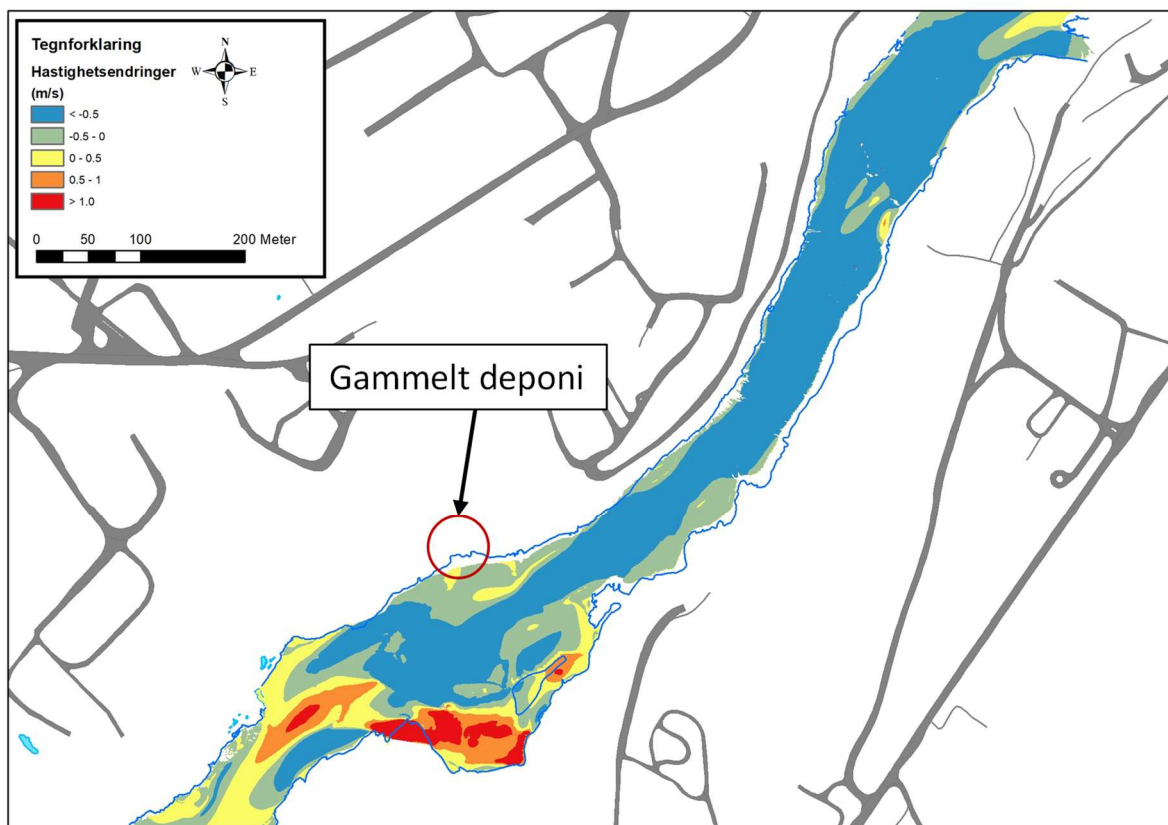
Figur 4-14 Endringer i hastigheter sammenlignet med dagens situasjon etter bygging av Sarp2. Q i Glomma = $350 \text{ m}^3/\text{s}$ og $150 \text{ m}^3/\text{s}$ i Sarp2

$$Q_{\text{borregaard+Hafslund}} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$$
$$Q_{\text{Sarp 2}} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$$



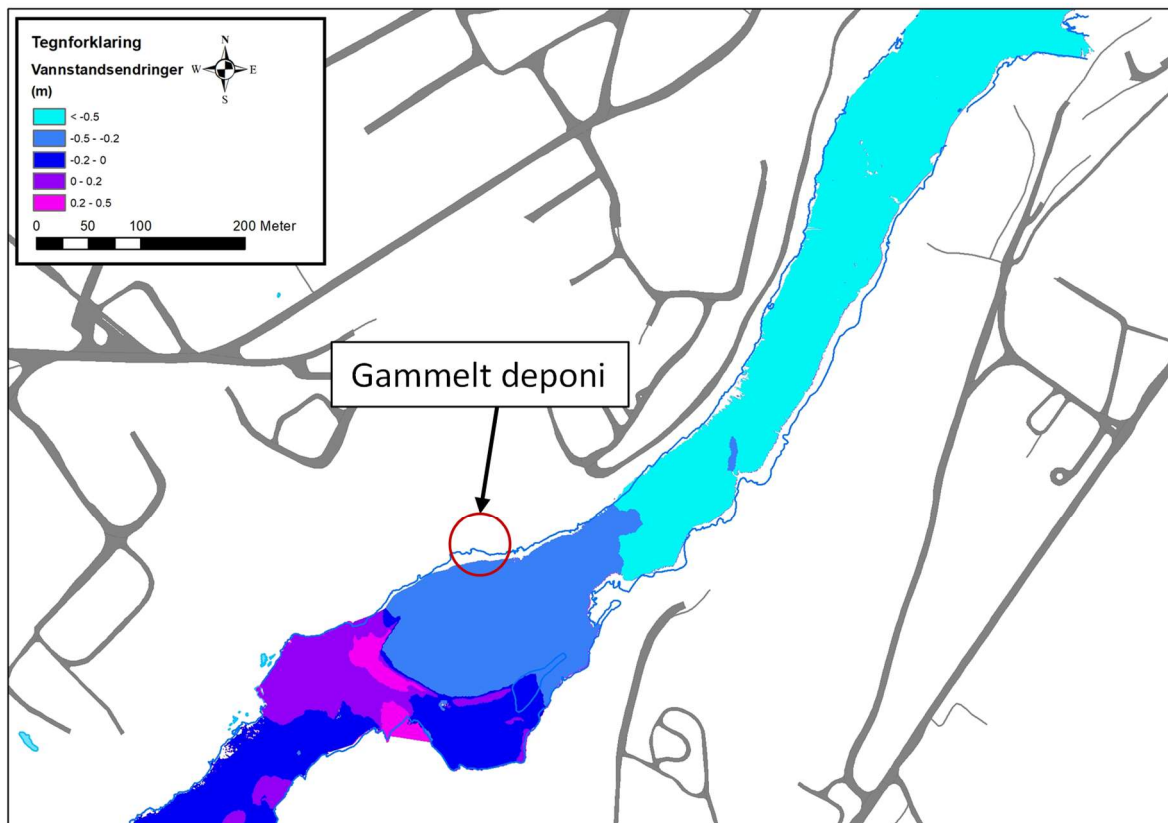
Figur 4-15 Endringer i vannstander sammenlignet med dagens situasjon etter bygging av Sarp2. Q i Glomma = $350 \text{ m}^3/\text{s}$ og $150 \text{ m}^3/\text{s}$ i Sarp2

$$Q_{\text{Borregaard+Hafslund}} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$$
$$Q_{\text{Sarp 2}} = 450 \text{ m}^3/\text{s}$$



Figur 4-16 Endringer i hastigheter sammenlignet med dagens situasjon etter bygging av Sarp2. Q i Glomma = 650 m³/s og 450 m³/s i Sarp2

$$Q_{\text{Borregaard+Hafslund}} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$$
$$Q_{\text{Sarp 2}} = 450 \text{ m}^3/\text{s}$$



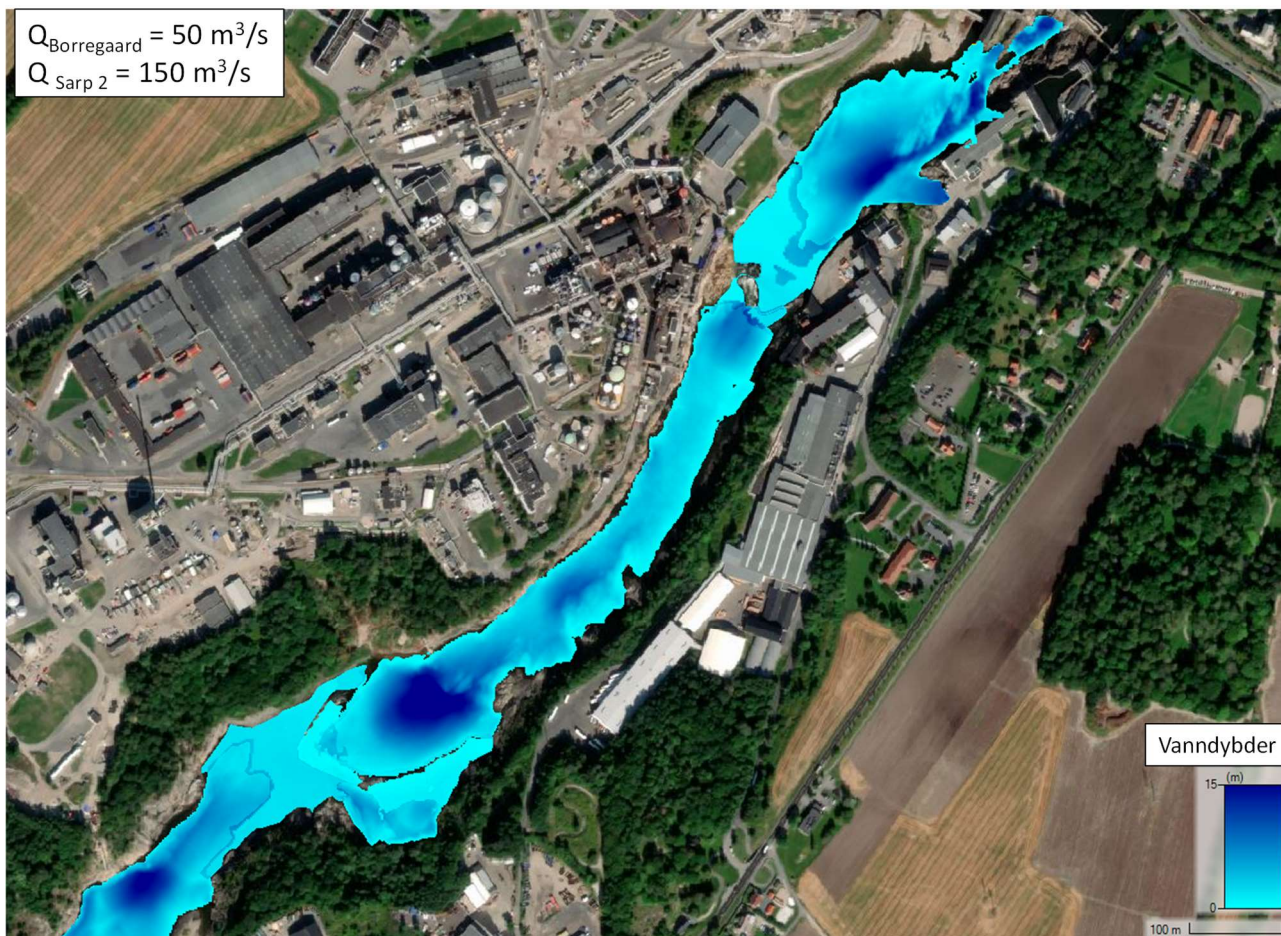
Figur 4-17 Endringer i vannstander sammenlignet med dagens situasjon etter bygging av Sarp2. Q i Glomma = $650 \text{ m}^3/\text{s}$ og $450 \text{ m}^3/\text{s}$ i Sarp2

5 Referanser

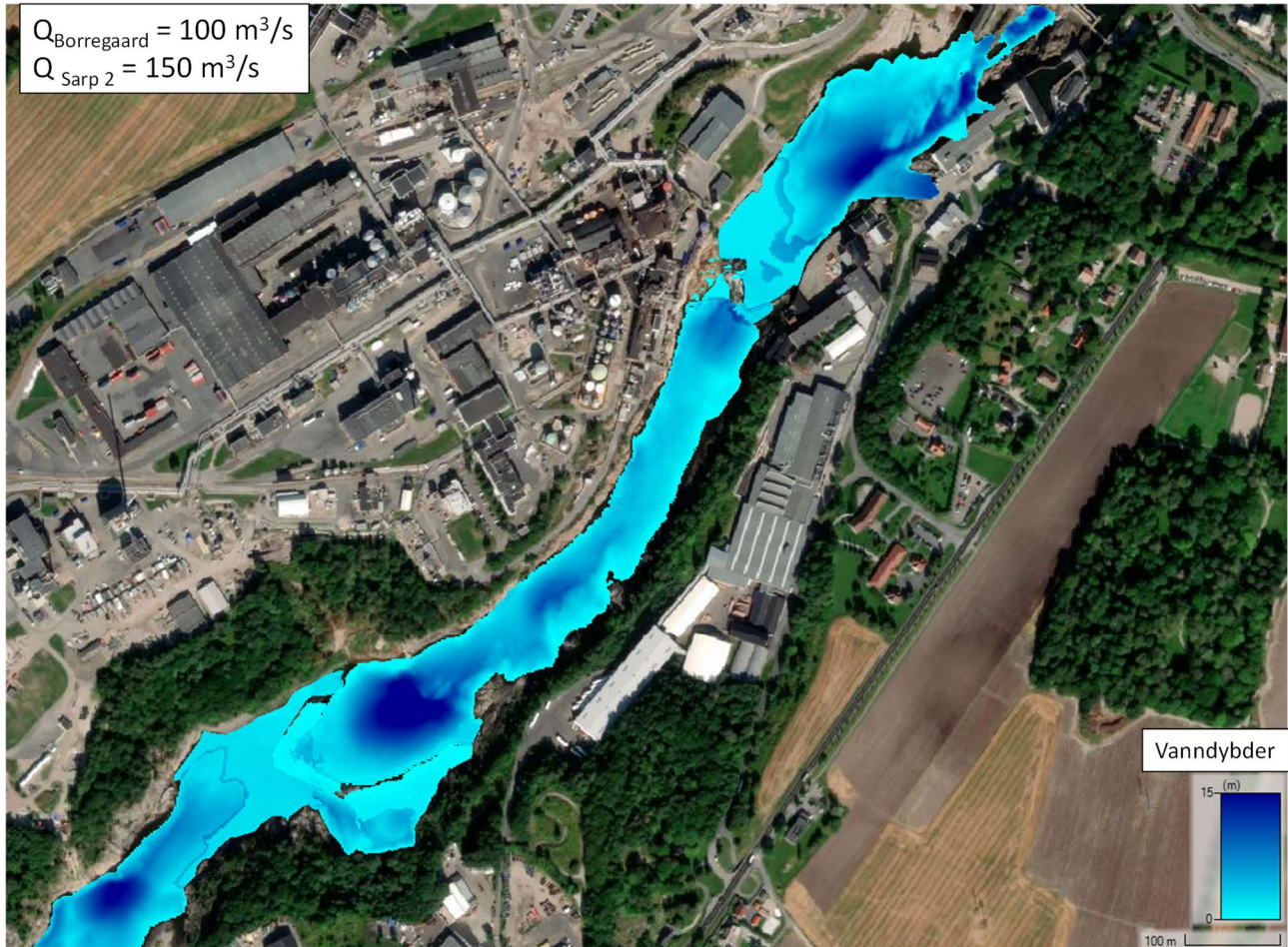
- [1] NVE, «Flomsonekart. Delprosjekt Fredrikstad og Sarpsborg,» 2006.
- [2] Norconsult, «Sarpsfossen Produksjonsberegninger, mai 2022,» 2022.
- [3] NVE, Vassdragshåndboka. Håndbok i vassdragsteknikk, 2010.
- [4] S. kartverk, «Norge i bilder,» [Internett]. Available: <https://www.norgeibilder.no/>. [Funnet 14 04 2023].

Vedlegg

1 Vanndybder ved 50 og 100 m³/s i Borregaard og 150 m³/s i Sarp 2



Figur 1-1 Vanndybder ved 50 m³/s i Borregaard og 150 m³/s i Sarp 2



Figur 1-2 Vanndybder ved $100 \text{ m}^3/\text{s}$ i Borregaard og $150 \text{ m}^3/\text{s}$ i Sarp 2