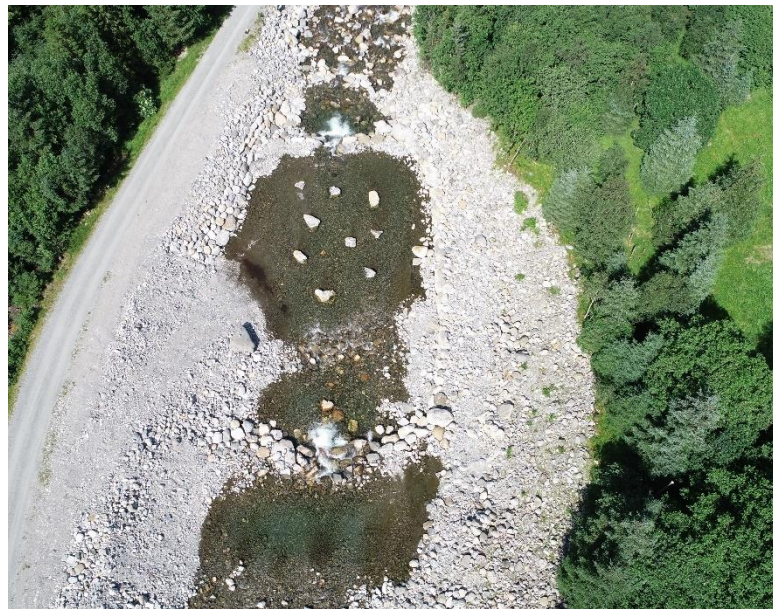


Restaurerings- og tiltaksplan for Barstadvikelva



Laboratorium for ferskvannsekologi og innlandsfiske (LFI)

NORCE LFI, Nygårdsgaten 112, 5008 Bergen, Tel: 56 10 70 00

LFI-rapport nr: 446

ISSN nr: ISSN-2535-6623

Tittel: Restaurerings- og tiltaksplan for Barstadvikelva

Antall sider: 49 + vedleggsrapport

Dato: 27.05.2022

Forfattere: Marius Kambestad & Sebastian Stranzl

Kvalitetssikret av: Ulrich Pulg

Bilder: Fotografier er tatt av NORCE LFI med mindre annet er oppgitt

Geografisk område: Vassdrags-nr. 095.4Z, Ørsta kommune, Møre og Romsdal, Norge

Oppdragsgiver: Ørsta kommune

Emneord: Flom, elveforbygning, gyteområder, laks, sjøørret, restaurering, habitattiltak

Forsidebilder: Oppe t.v.: Gyteområde ved Erdalen («referanseområdet») på høy vannføring i oktober 2021 (foto: Idar Barstad). Oppe t.h.: Dronebilde av det samme gyteområdet på lav vannføring i juli 2021. Nede t.v.: Barstadvikelva oppstrøms Barstadsætra. Nede t.h.: Steinvoll lagt langs elvebredden i midtre del av Barstadvikelva i etterkant av flommen i 2016.

Referanse

Kambestad, M. & Stranzl, S. 2022. Restaurerings- og tiltaksplan for Barstadvikelva. NORCE, LFI-rapport 446, 49 sider, ISSN 2535-6623.

Innholdsfortegnelse

Forord	3
1. Bakgrunn og hensikt	4
2. Vassdragsbeskrivelse	5
3. Metoder	10
3.1 Generell fremgangsmåte	10
3.1 Terrengdata og hydrodynamisk modellering	10
3.2 Habitatkartlegging	11
3.3 Utarbeiding av tiltaksplan.....	13
4. Resultater	14
4.1 Habitatkartlegging	14
4.2 Innspill fra elveeierlag, grunneiere og kommunen	20
5. Diskusjon	22
5.1 Habitatforhold og restaureringsbehov.....	22
5.2 Begrensninger i restaureringsarbeidet.....	22
5.3 Restaureringsstrategi.....	23
6. Restaurerings- og tiltaksplan	27
6.1 Tiltaksbeskrivelser	27
6.2 Prioritering av tiltak	47
6.3 Fremdriftsplan og vedlikeholdsbehov	47
7. Referanseliste	49
8. Appendix A – Hydraulic modelling	50

Forord

NORCE LFI fikk i 2021 i oppdrag av Ørsta kommune å utarbeide en tiltaksplan for miljøtiltak i Barstadvikelva, med hovedfokus på å reetablere nødvendige habitater for den truede laksebestanden i elven. Oppdraget er utført i samarbeid med Christoph Hauer og Peter Flödl fra Hauer Hydraulic Consulting (HHC) i Wien. NORCE har vært ansvarlig for kartlegging og oppmålinger i felt, Hauer og Flödl har utført hydrodynamisk modellering av elven med og uten foreslåtte tiltak, og tiltakene er designet av NORCE med bakgrunn i modelleringsresultater fra HHC. Denne rapporten inneholder beskrivelse av fremgangsmåte, metoder og resultater av feltkartlegging, samt en illustrert restaurerings- og tiltaksplan for anadrom strekning av Barstadvikelva. Det hydrodynamiske modelleringsarbeidet utført av Hauer og Flödl er presentert i en vedleggsrapport på engelsk. Vi takker Barstadvikelva elveeigarlag for godt samarbeid gjennom hele prosjektet. Vi takker også Ørsta kommune for informasjon om reguleringsplaner og veier langs vassdraget, samt innspill til skisserte planer underveis.

1. Bakgrunn og hensikt

Barstadvikelva i Ørsta kommune ble rammet av en storflom i 2016. Flommen fraktet store mengder stein og grus nedover elven, ødela deler av eksisterende erosjonssikringer, og la igjen store rabber av løsmasser mange steder i nedre halvdel av elven. I etterkant av flommen ble det gjort et feilslått «oppdyddingsarbeid» med gravemaskin, tilsynelatende uten innspill fra miljøfaglig ekspertise. I sum har dette medført at elven mangler egnede og stabile gyteområder for laks og ørret. Laksebestanden har kollapset etter utgravingen, og antall laks observert under gytefisktelinger og ungfisktelling har de siste årene vært så lavt at bestanden kan betraktes som nær utryddet. Se Kambestad mfl. (2020; 2021) for en nærmere beskrivelse av situasjonen for laks og sjøørret i vassdraget.

Som et strakstiltak for å redde laksebestanden i Barstadvikelva etablerte elveeierlaget et gyteområde ved Erdal Bru sommeren 2020, og to gytekulper ved Melbøsætra sommeren 2021. I tillegg er det samlet inn hannlaks til frossen genbank i 2020 og 2021, for å bevare genmateriale i tilfelle bestanden skulle bli helt utryddet. For å redde bestanden på sikt vil det imidlertid være nødvendig med et mer omfattende restaureringsarbeid, for å gjenskape egnet gytehabitat for laks og sjøørret.

Ørsta kommune fikk i 2021 midler fra NVE til å lage en restaurerings- og tiltaksplan for Barstadvikelva. Oppdraget ble gitt til NORCE LFI, som sommeren og høsten 2021 gjennomførte kartlegging og oppmålinger i felt. Dette la grunnlaget for hydrodynamisk modellering (appendix A), som ble benyttet både til optimalisering av miljøtiltak og til å vurdere mulighetene for aktiv sedimentforvaltning. Samlet la feltdata og modelleringsresultater grunnlaget for en restaurerings- og tiltaksplan, som presenteres i denne rapporten.

2. Vassdragsbeskrivelse

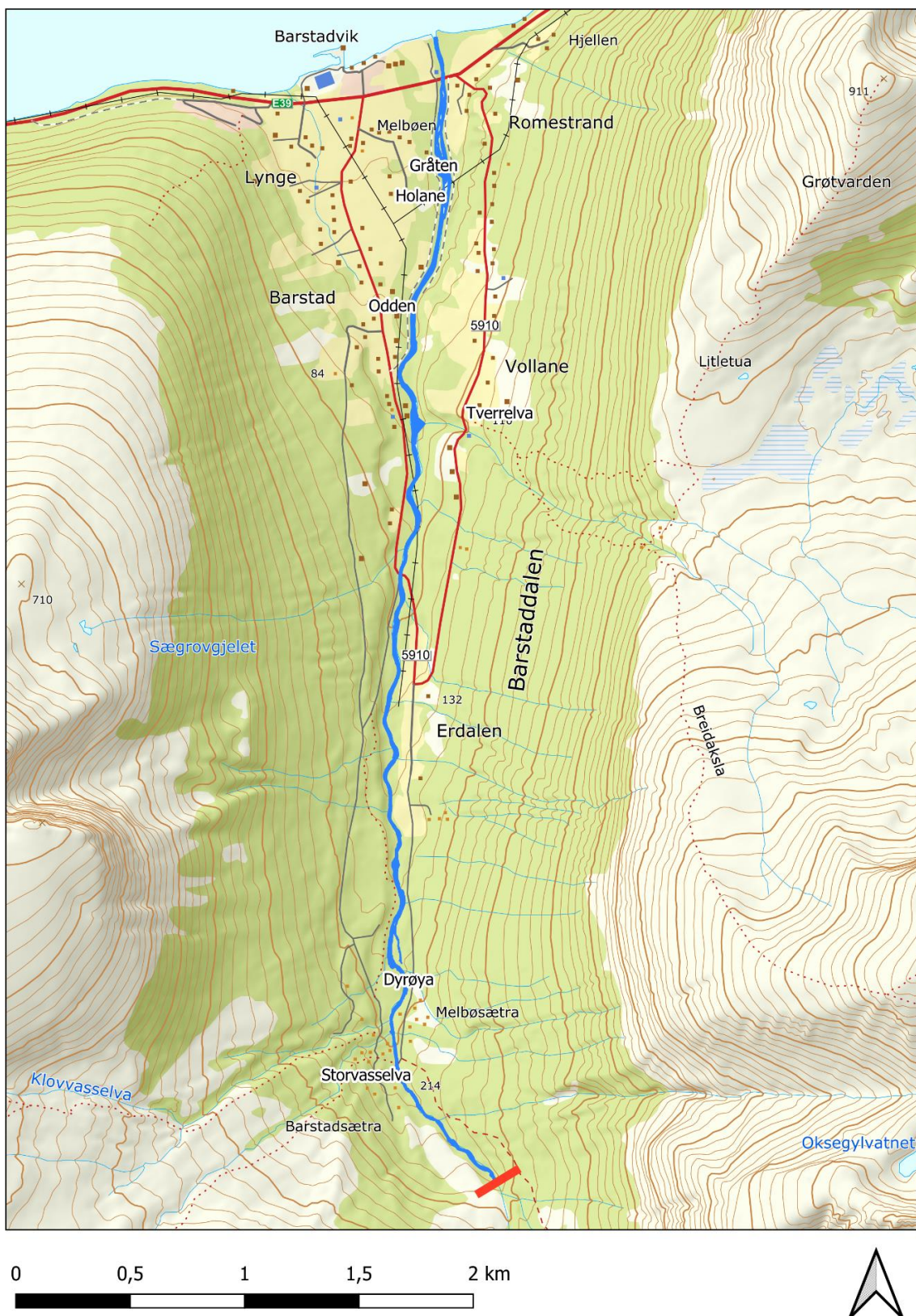
Barstadvikelva (vassdragsnummer 095.4Z, også kalt Storelva) ligger i Ørsta kommune i Møre og Romsdal. Nedbørfeltet er på 29,7 km², med en middelvannføring ved utløp til sjø på ca. 2,4 m³/s (nevina.nve.no). Nedbørfeltet består i hovedsak av høyfjell og skog, og preges av høye fjelltopper (maks 1480 moh.) og bratte fjellsider, men det er litt jordbruk og spredt bebyggelse i dalbunnen (**figur 1**). Elven renner gjennom morenemasser, men tilføres også en del skredmasser fra øst (**figur 2**). Vassdraget er ikke regulert. Det er ingen store innsjøer i nedbørfeltet, og Barstadvikelva er en typisk «flomelv», som preges av relativt raske endringer i vannføring knyttet til nedbør.

Anadrom strekning i Barstadvikelva er 5,4 km lang, fra sjøen til en høy foss et stykke oppstrøms Barstadsætra. Hele strekningen er relativt bratt og preges av stryk og kvitstryk. Elven er noe slakere i nedre del enn lenger oppe, men selv de nederste 1500 meterne må karakteriseres som relativt bratte, med en stigningsgradient på 3,2 % (**figur 3**). Nedre del av elven var opprinnelig mindre bratt fordi den svingte seg gjennom dalen, men etter kanalisering renner elven rett frem, noe som øker elvens gradient. Gjennomsnittlig stigningsgradient for hele anadrom strekning er på 4,7 %. Anadromt elveareal er oppgitt å være 59 800 m² (Anon. 2015).

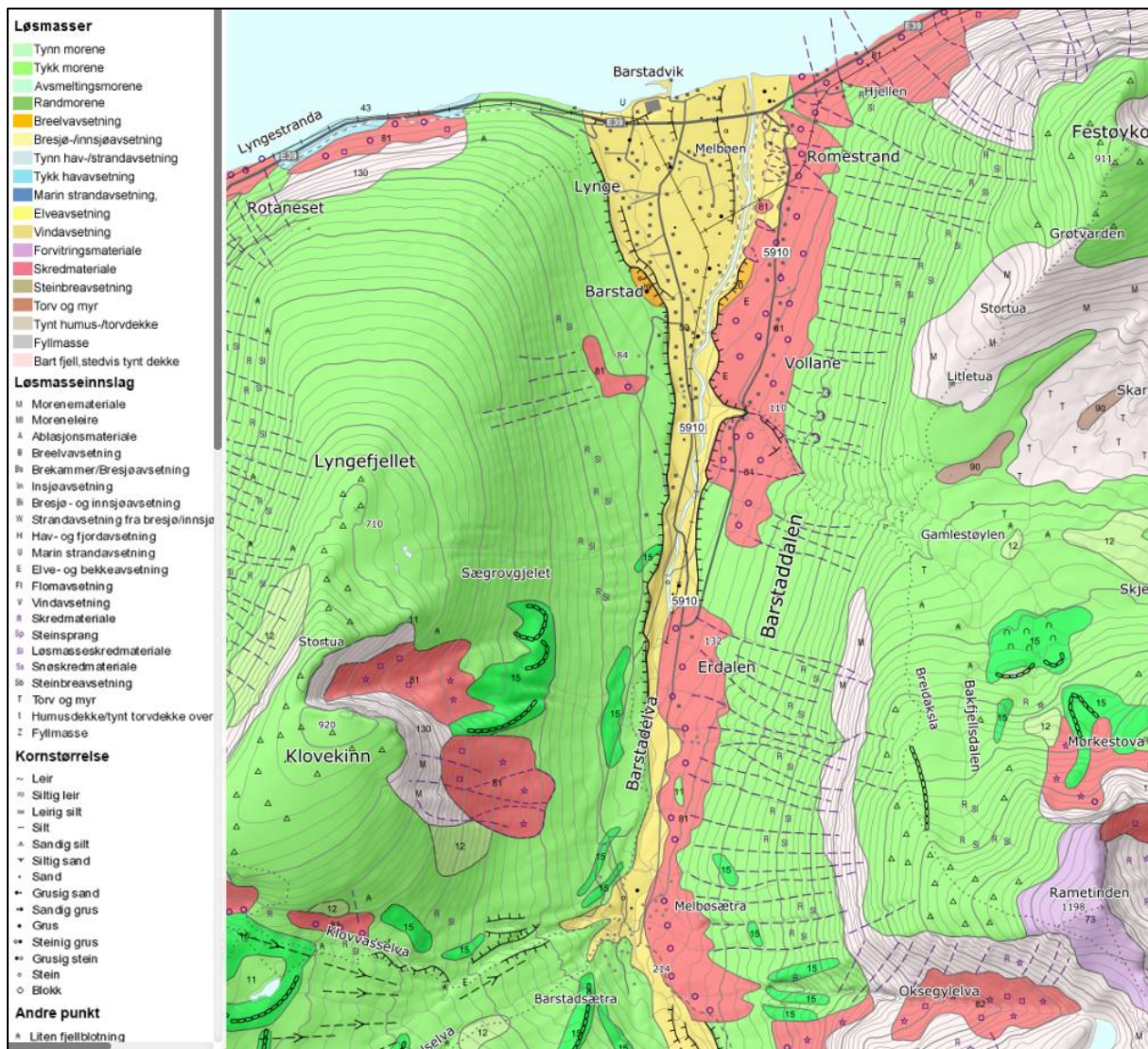
Det har vært gjort flom- og erosjonssikringstiltak langs Barstadvikelva i flere omganger, med størst inngrep langs jordbruksområdene i nedre del. Det finnes ingen full oversikt over inngrepshistorikken, men ifølge elveeierlaget er de eldste elveforbygningene som fortsatt er synlige trolig fra 1800-tallet. Forbygningene har flere ganger blitt reparert eller erstattet av nye, og de eldste forbygningene ligger i dag på tørt land bak nyere strukturer. NVEs sikringskart (**figur 4**) viser at enkelte forbygninger i nedre del av elven stammer fra 1940-tallet, men det aller meste av de eksisterende sikringstiltakene ble opprettet av eller for NVE på 1980-tallet, og sist reparert rundt 1999. Det ble da bygget erosjonssikringer langs store deler av elvens nederste 3 km. Oppstrøms Tverrelva ble det stort sett brukt usorterte steinmasser, mens det nedstrøms Tverrelva pluss et kort strekk ved Erdal ble brukt sprengstein. Fra Tverrelva til sjøen ble tiltaket karakterisert som «korrigering av elveleie», og innebar innsnevring og kanalisering av elveløpet med høye skråplastringer og bygging av fire terskler. Disse sistnevnte skråplastringene overlevde i all hovedsak flommen i 2016, mens tersklene ble delvis ødelagt. Sikringstiltak oppstrøms Tverrelva ble trolig i all hovedsak ødelagt i 2016-flommen, og er i dag enten ikke synlige eller skjult under løsmasser.

Flommen i 2016 flyttet og transporterte store mengder masser nedover Barstadvikelva. Gravearbeidet som ble utført i etterkant av flommen endret også mye på elvens utforming (**figur 4**). På en ca. 2 km lang strekning sentrert rundt Erdal bru, samt en 700 m lag strekning ved Barstadsætra, ble det gravd en smal dypål midt i elven, og løsmasser gravd ut av elveløpet ble lagt på elveskuldrene som usikrede voller av stein og grus (Kambestad mfl. 2020). Gravearbeidet medførte at elven mistet kontakten med sine flomsletter og sideløp (se **figur 5**), og dernest til at elven mange steder har gravd seg stadig dypere ned i terrenget. Dagens situasjon er dermed at elven er låst mellom høye skråplastringer på strekningen fra broen over

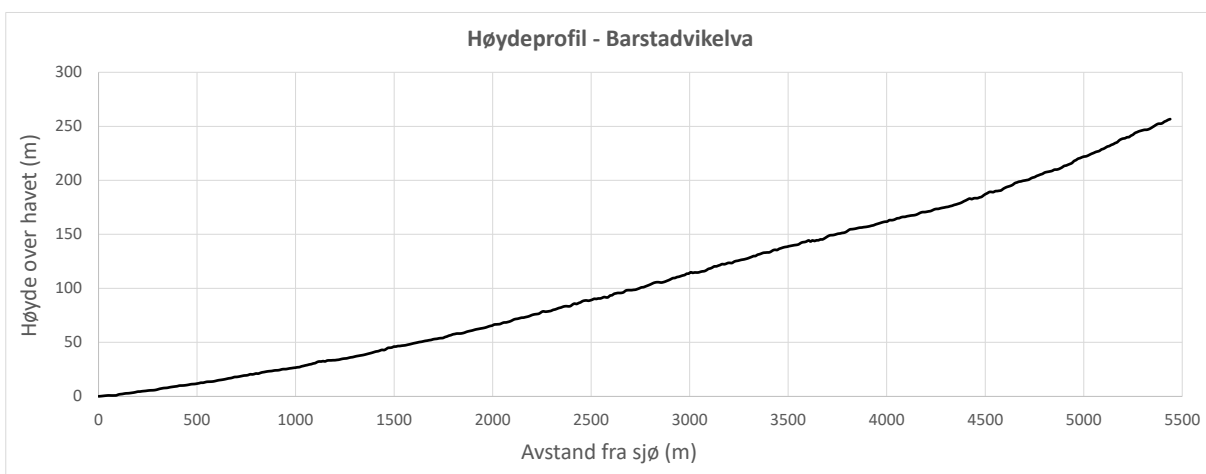
E39 til Tverrelva, og på samme vis låst mellom løse steinvoller på strekninger der det ble gjort gravearbeid etter flommen i 2016 (**figur 6**). To strekninger er mindre inngrepspreget; området fra Dyrøya ned til første dyrka mark (ca. 500 m) og de øverste 500 m mot vandringshinderet.



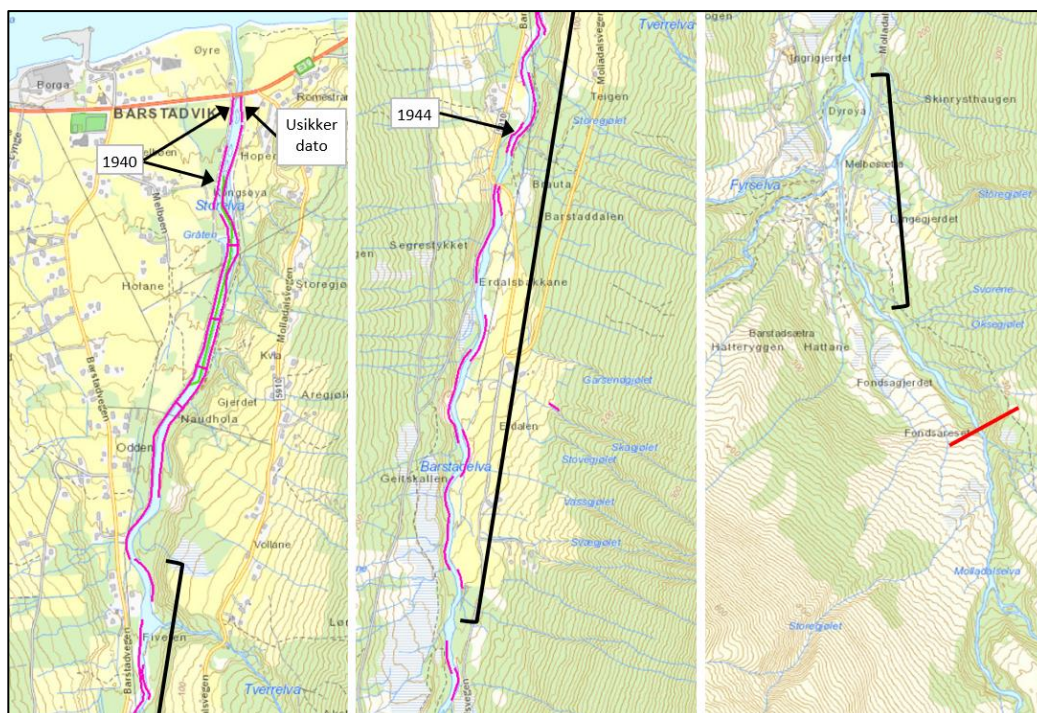
Figur 1. Oversiktskart over Barstadvikelva. Rød strek viser anadromt vandringshinder.



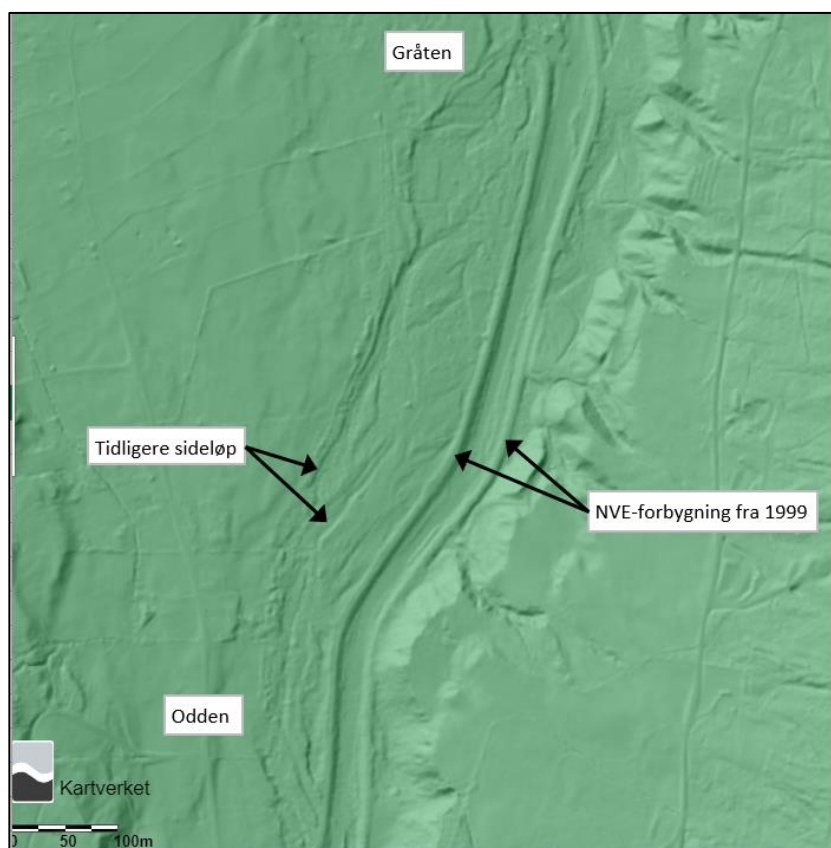
Figur 2. Løsmassekart for områdene rundt anadrom del av Barstadvikelva. Langs østre elvebredd er det mye skredmateriale (rødt), mens resten av dalen domineres av morenemasser (ulike grønnfarger), elveavsetninger (gult) og bart fjell (grått). Kart fra: <https://geo.ngu.no>.



Figur 3. Høydeprofil for anadrom del av Barstadvikelva. Data hentet fra hoydedata.no.



Figur 4. Sikringstiltak i Barstadvikelva. Venstre panel = nedre del av elven, midtre = midtre del, høyre = øvre del. Rosa streker = erosjonssikring og terskler bygget på 1980- og 90-tallet, med mindre annet årstall er indikert. Svarte klammer = strekningene hvor det ble gravd ut en dypål etter flommen i 2016. Rød strek = anadromt vandringshinder. Kartgrunnlag hentet fra [NVE Temakart sikringstiltak](#).



Figur 5. Laserscan av terrenget mellom Odden og Gråten. De gamle sideløpene er tørrlagt som følge av de høye forbygningene langs dagens elveløp. Kartgrunnlag hentet fra [hoydedata.no](#).



Figur 6. Eksempel på gravearbeidet som ble gjort etter 2016-flommen, like oppstrøms Tverrelva. En smal dypål er gravd ut, og de utgravde massene lagt som høye voller langs elvebreddene. Flyfoto fra 2019 hentet fra norgebilder.no.

3. Metoder

3.1 Generell fremgangsmåte

Strategien i arbeidet med restaurerings- og tiltaksplanen for Barstadvikelva har vært å få et best mulig bilde av elvens naturlige utforming og dynamikk, uten menneskelige inngrep, for deretter å bruke en slik forventet naturtilstand som et forbilde eller mål for restaureringsarbeidet. I tillegg er det lagt vekt på at tiltakene som gjennomføres skal ha aksept hos lokalbefolkningen, gi varig positive miljøeffekter med minst mulig vedlikeholdsbehov, men også gi den truede laksebestanden raskest mulig tilgang på stabile gyteområder. Følgende steg har blitt utført:

1. Dagens situasjon og avvik fra forventet naturtilstand ble kartlagt gjennom fysiske oppmålinger av terreng og undersøkelser av fiskehabitat.
2. En liste med aktuelle restaurerings- og habitattiltak ble utarbeidet.
3. Listen over aktuelle tiltak ble forelagt elveeierlaget, berørte grunneiere og Ørsta kommune for kommentarer.
4. Tiltak som fortsatt var aktuelle etter punkt 3 ble vurdert i detalj ved hjelp av hydrodynamisk modellering (se appendix-rapport).
5. Tiltak som fortsatt var aktuelle etter punkt 4 ble tegnet i detalj og inngår i den endelige restaurerings- og tiltaksplanen.

Det har vært god dialog med elveeierlaget og Ørsta kommune via digitale kanaler i løpet av prosjektet. I tillegg ble aktuelle restaureringstiltak presentert for og diskutert med elveeierlaget og grunneiere på et møte i Barstadvik 14. desember 2021.

3.1 Terrengdata og hydrodynamisk modellering

I perioden juli-oktober 2021 ble det gjort fysiske oppmålinger i og langs Barstadvikelva. Oppmålingsdata er benyttet som grunnlag for terrengmodeller, hydrodynamisk modellering og tiltakstegninger, og presenteres ikke i seg selv som resultater i kapittel 4. Følgende metoder ble benyttet:

Dronekartlegging ble gjennomført med en DJI Phantom 4 RTK. Hele elven ble fotografert 12.-13. juli, og supplerende bilder ble tatt 1. oktober. Dronebilder ble prosessert med «structure from motion» applikasjon (Agisoft Metashape). Med dette programmet ble det laget georefererte ortofoto og høydemodell av hele anadrom strekning. Alle droneoperasjoner ble utført i henhold til forskriftene for fjernstyrte flysystemer som definert av Luftfartstilsynet. Vannføringen ble målt ved hjelp av den relative saltfortynningsmetoden (Aastad & Sognen 1954, sitert av Day & Day 1977), slik at vanndekket areal på dronebildene kunne kalibreres mot kjent vannføring i den hydrodynamiske modelleringen. Vannføringen ble målt til 746 l/s i nedre del av elven (800 m oppstrøms broen over E39) kl 13:00 den 12. juli.

Differensiell GPS (Trimble R6, Trimble, CA, USA) ble brukt til å kalibrere og validere georeferering av dronebilder, spesielt for områder med dypt eller turbulent vann. Punkter i og langs elvesengen ble målt opp i transekter på utvalgte områder 12.-13. juli 2021, og dataene ble behandlet i ArcGIS.

Størrelsen på stabile substratpartikler ble evaluert ved å måle (med tommestokk) b-aksen til de største steinene (D_{max}) som ble funnet i elvesengen på åtte utvalgte områder mellom broen over E39 og Dyrøya. Elleve til 54 steiner ble målt i hvert område, og det ble notert hvilke som var helt eller delvis vanddekket ved vannføring på ca. 746 l/s. Målinger av D_{max} ble benyttet som støttest data i hydrodynamisk modellering (se appendix-rapport), og er derfor ikke omtalt videre i hovedrapporten.

I tillegg til de fysiske oppmålingene ble flomberegninger for ulike gjentakintervall benyttet i hydrodynamisk modellering. Flomberegninger ble levert av NVE (Anon. 2021).

3.2 Habitatkartlegging

Laks og sjørøret har ulike krav til habitatforhold gjennom livssyklusen og den romlige fordelingen av egnede habitatforhold for ulike livsstadier kan ha stor effekt på vassdragets bærekapasitet for produksjon av smolt. Gyteområder for voksen fisk og oppvekstområder med skjul for ungfisk anses å være de viktigste habitatene, og gjennom habitatkartlegging kan man avgjøre hvilken av disse som sannsynligvis er habitatflaskehalsen for laksefiskproduksjon i et vassdrag (jf. Forseth & Harby 2013).

Habitatkartlegging ble utført 1. oktober 2021. Hele anadrom strekning (5,4 km) ble kartlagt fra sjøen til naturlig vandringshinder. Kartleggingen ble gjennomført ved vading i elveløpet på lav vannføring, og komplementert med data fra dronebilder. Det ble brukt håndholdt GPS for å stedfeste ulike interessepunkter underveis i kartleggingen.

I det følgende beskrives parametere som ble registrert under kartleggingen:

Morfologi og elvetype ble vurdert etter kriterier gitt av Hauer & Pulg (2018; gjengitt på norsk av Pulg mfl. 2018). Vurderingene gjelder opprinnelig elvetyppologi før menneskelige inngrep, og er basert på terrengformasjon, løsmasser, historiske flyfoto og elvens helning (**figur 2, figur 3**, hoydedata.no, norgebilder.no)

Skjulforhold for ungfisk ble målt ved å utføre skjulmålinger på utvalgte steder. Dette gjøres ved å telle hvor mange steder en 13 mm tykk plastslange kan føres inn i hulrom mellom steiner innenfor en stålramme på 0,25 m² (**figur 7**).

Størrelsen på hulrommene bestemmes ut fra hvor langt inn slangen kan stikkes, og deles inn i tre skjulkategorier: S1: 2-5 cm, S2: 5-10 cm og S3: > 10 cm. For at skjulmålingene skal være så representative som mulig med tanke på substratsammensetningen innenfor et område, foretas skjulmålinger i transekt på tilfeldige punkt i elven. I hvert transekt ble det gjort målinger på ett punkt i den delen av elveleiet som er tørrlagt ved lav vannføring, ett punkt på

grunt vann nær bredden, og ett punkt nær midten av elveleiet. Vektet skjul (S) for hvert punkt ble deretter beregnet ut fra følgende formel (etter Forseth & Harby 2013):

$$S = S1 + S2 * 2 + S3 * 3$$

Gjennomsnittlige verdier for vektet skjul innenfor et elvesegment ble brukt til å klassifisere skjulforholdene som følger: **svært lite** $< 1 \leq$ **lite** $< 5 \leq$ **middels** $< 10 \leq$ **mye** $< 15 \leq$ **svært mye**.



Figur 7. Skjulforhold for ungfisk måles ved å kvantifisere antall og størrelse på hulrom i elvebunnen med en 13 mm tykk plastslange innenfor en rute på 0,25 m². Slangen har røde markører som brukes til å måle størrelsen (dybden) av hulrommene. Eksempel på skjulmålinger i substrat med mye fin grus og sand hvor det ikke finnes hulrom (t.v.), og i substrat med stein/blokk som gir mye skjul (t.h.).

Gyteområder ble kartlagt basert på visuelle observasjoner av habitatforhold og erfaringsmessig kjennskap til laksens krav til gytehabitat. De viktigste kriteriene er substratsammensetning, vannhastighet og vanddyb. Et annet viktig kriterium er hvorvidt gytegrusen ligger stabilt gjennom flommer av en størrelse som kan forventes å komme årlig, men dette kan være vanskelig å vurdere under en feltkartlegging. I Barstadvikelva valgte vi å registrere samtlige grusflekker med egnet kombinasjon av substratsammensetning, vannhastighet og vanddyb som «potensielt gytehabitat», men se kapittel 4.1 og 5.1 for vurderinger av hvor stor andel av disse arealene som reelt var stabile nok til å egne seg som gyteområder.

Gyteforholdene klassifiseres ut fra hvor stor andel av det totale elvearealet som er tilgjengelig for gyting, samt hvor stor avstand det er mellom gyteområdene. Mengden gytehabitat klassifiseres som «lite» dersom det utgjør < 1 % av det totale elvearealet på strekningen, «moderat» ved 1-10 % og «mye» dersom mer enn 10 % av det totale elvearealet klassifiseres som gyteområder. Avstanden mellom gyteområder anses som «stor» ved over 500 m avstand, «moderat» ved 200-500 m og «liten» ved avstander kortere enn 200 m (**tabell 1**).

Tabell 1. System for klassifisering av gytehabitat basert på gytearealenes størrelse og spredning. Fra Forseth & Harby (2013).

		Mengde av gytehabitat som % av elveareal		
		Lite (<1 %)	Moderat (1-10 %)	Mye (>10 %)
Avstand mellom gytehabitat	Stor (> 500 m)	Lite	Lite	Moderat
	Moderat (200-500 m)	Lite	Moderat	Mye
	Liten (< 200 m)	Moderat	Mye	Mye

Kartlegging av avstengte sideløp og flomsletter ble utført ved en kombinasjon av feltkartlegging og kartstudier. Laserscans og gamle flyfoto fra hoydedata.no og norgebilder.no ble benyttet til å identifisere mulige sideløp og flomsletter, det vil si områder tilknyttet elven som tidligere har vært under vann hele eller deler av tiden. Under feltarbeid 12. og 13. juli 2021 ble det vurdert om kandidat-sideløpene sannsynligvis har vært sideløp til hovedelven, ut fra observasjoner av terreng, vegetasjon og eventuelle elvetransporterte løsmasser. I tilfeller der vegetasjon medførte at differensiell GPS manglet satellitt-dekning, ble håndholdt GPS benyttet til å markere elveleiet i slike sideløp.

3.3 Utarbeiding av tiltaksplan

Basert på resultatene av kartlegging av habitatforhold, registrerte inngrep samt hydrodynamisk modellering (se appendix-rapport), er det utarbeidet en restaurerings- og tiltaksplan. Tiltakene er ment å gjenopprette naturlige habitater og prosesser i vassdraget, for slik å øke produksjonen av laks og sjøørret, men også for å bedre vassdragets økologiske tilstand og begunstige andre organismer i økosystemet i og langs elven. Forslag til tiltak følger prinsipper i veilederne «Tiltakshåndbok for bedre fysisk vannmiljø» (Pulg mfl. 2018), «Mer miljøvennlige erosjonssikringstiltak» (Pulg mfl. 2017), «Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag» (Forseth & Harby 2013) og erfaringer gjort i det pågående NVE-prosjektet "Flom og miljø i et endret klima" (Pulg mfl. 2020). Se også referanser nevnt i appendix-rapporten. Databehandling og tiltakstegning er utført i ArcGIS Pro 2.9 (Esri).

4. Resultater

4.1 Habitatkartlegging

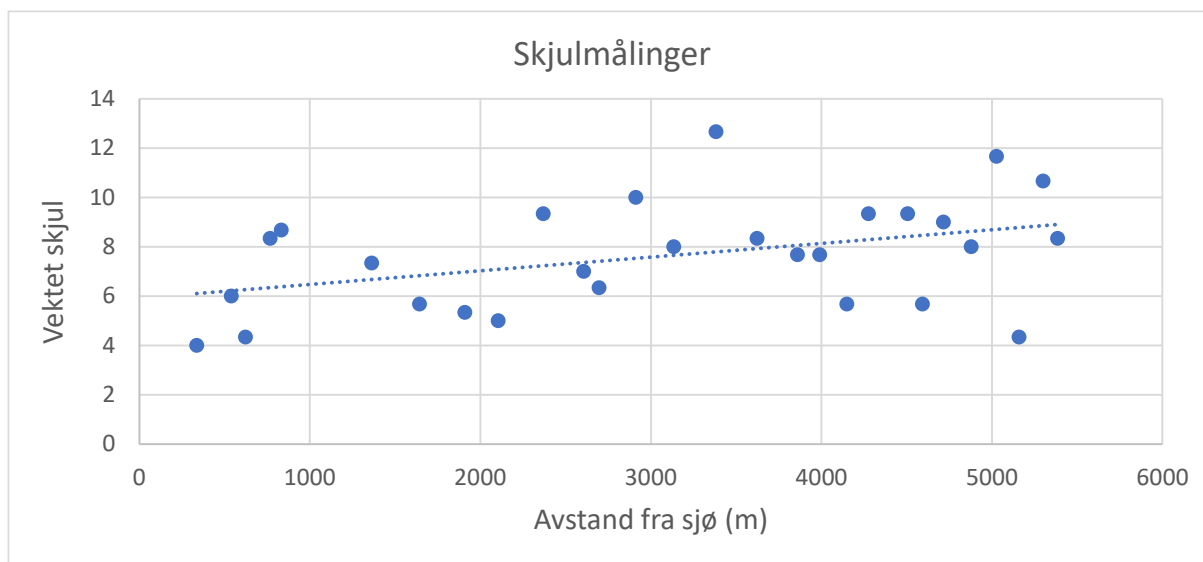
Morfologi og elvetype

Øvre del av anadrom strekning (vandringshinder til Barstadsætra) klassifiseres som kaskade (fossestryk) på kolluviale og glasiale masser, dominert av grovt substrat. Fra gangbroen ved Barstadsætra og ned til sjøen har elven opprinnelig svinget seg mer gjennom dalen enn i dag, med en rekke sideløp. Opprinnelig helning har dermed vært mindre enn i dag. Naturlig elvetype mellom Dyrøya og Odden vurderes å ha vært en blanding av kaskade, trinn-kulp-type og variert stryk (se Pulg mfl. 2018 for beskrivelse av elvetyper), med dominans av fluviale masser (elveavsetninger). Nedre del av elven (fra Odden til sjøen) er helt endret fra naturtilstanden, som opprinnelig var et variert stryk med svinger, sideløp og grusbanker, og betydelig mindre helning enn dagens kanaliserte elv. Helt nederst mot sjøen (nedstrøms Gråten) har elven opprinnelig bredt seg ut i et stort elvedelta med fluviale grus- og steinmasser.

Det finnes ingen innsjøer i nedre del av vassdraget, og elven preges derfor av relativt raske vannføringssvingninger. Elven tilføres masser fra ras en gang iblant, og mer jevnlig ved erosjon av glasiale masser langs elvebreddene. Det forventes at elven er transportbegrenset, det vil si at elven ikke evner å frakte alle tilførte masser ut i sjøen. I denne type elver vil sedimentering av masser i og langs elven medføre at elven deler seg i flere løp (bifurkasjoner) og at elve- og dalbunnen sakte hever seg over tid. Uten vedlikehold av sikringer og uten menneskelige endringer i massetransport og geomorfologiske prosesser vil elven igjen utvikle seg mot denne morfologien med tilhørende konsekvenser for vassdragsmiljøet og arealbruk. Dersom de naturlige prosessene forstyrres, slik som ved kanaliseringen av Barstadvikelva, vil massetransporten kun skje i den kunstige kanalen, og elven vil begynne å grave seg nedover i terrenget slik man har sett mange steder i Barstadvikelva.

Skjulforhold

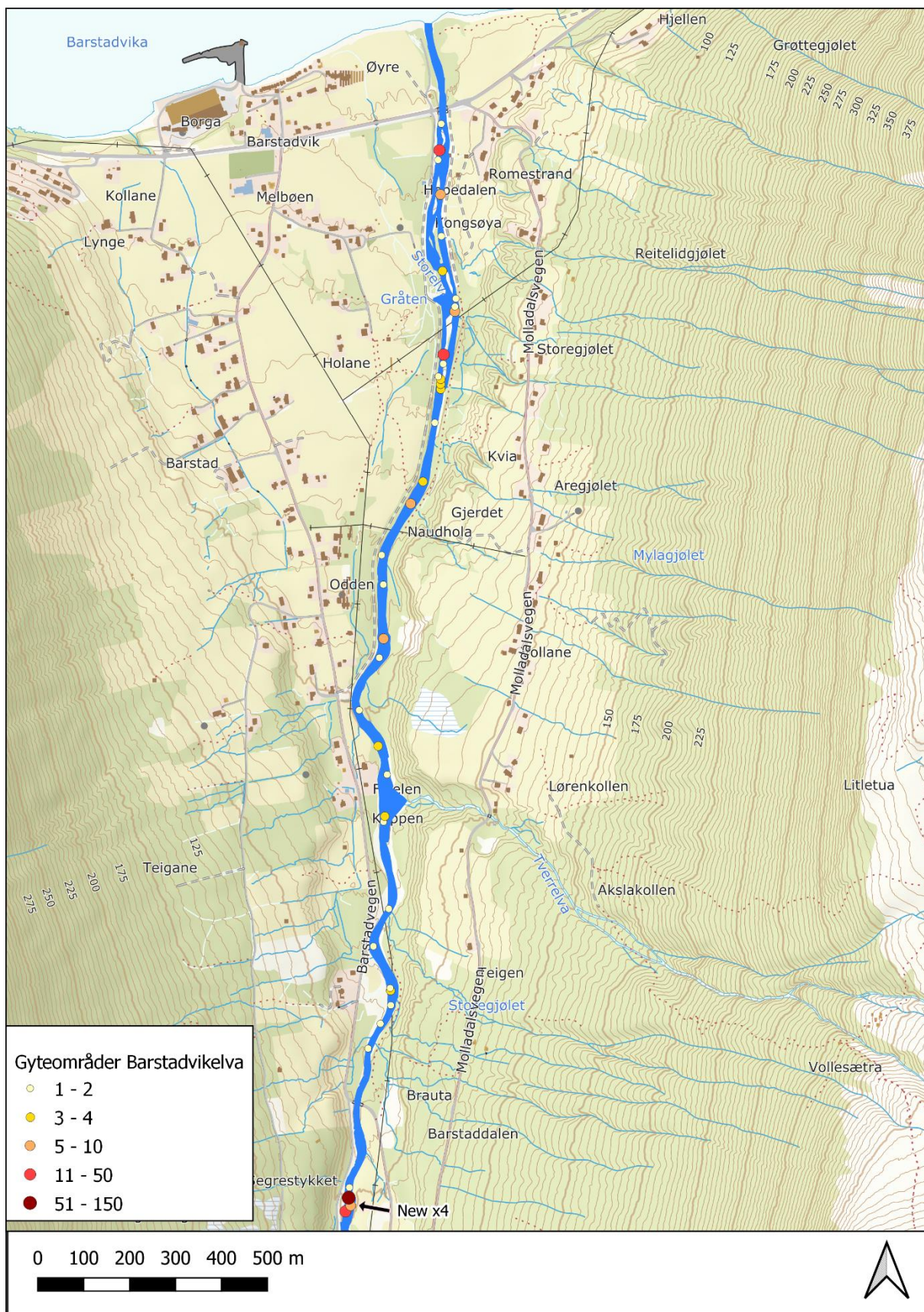
De fleste skjulmålingene ga verdier tilsvarende «middels skjul» (skjulindeks mellom 5 og 10; **figur 8**). Gjennomsnittlig skjulverdi for hele elven var 7,6. Det var en tendens til økende skjulverdier med økende avstand til sjø, og dette samsvarer med økende substratstørrelse (målt som D_{max}).



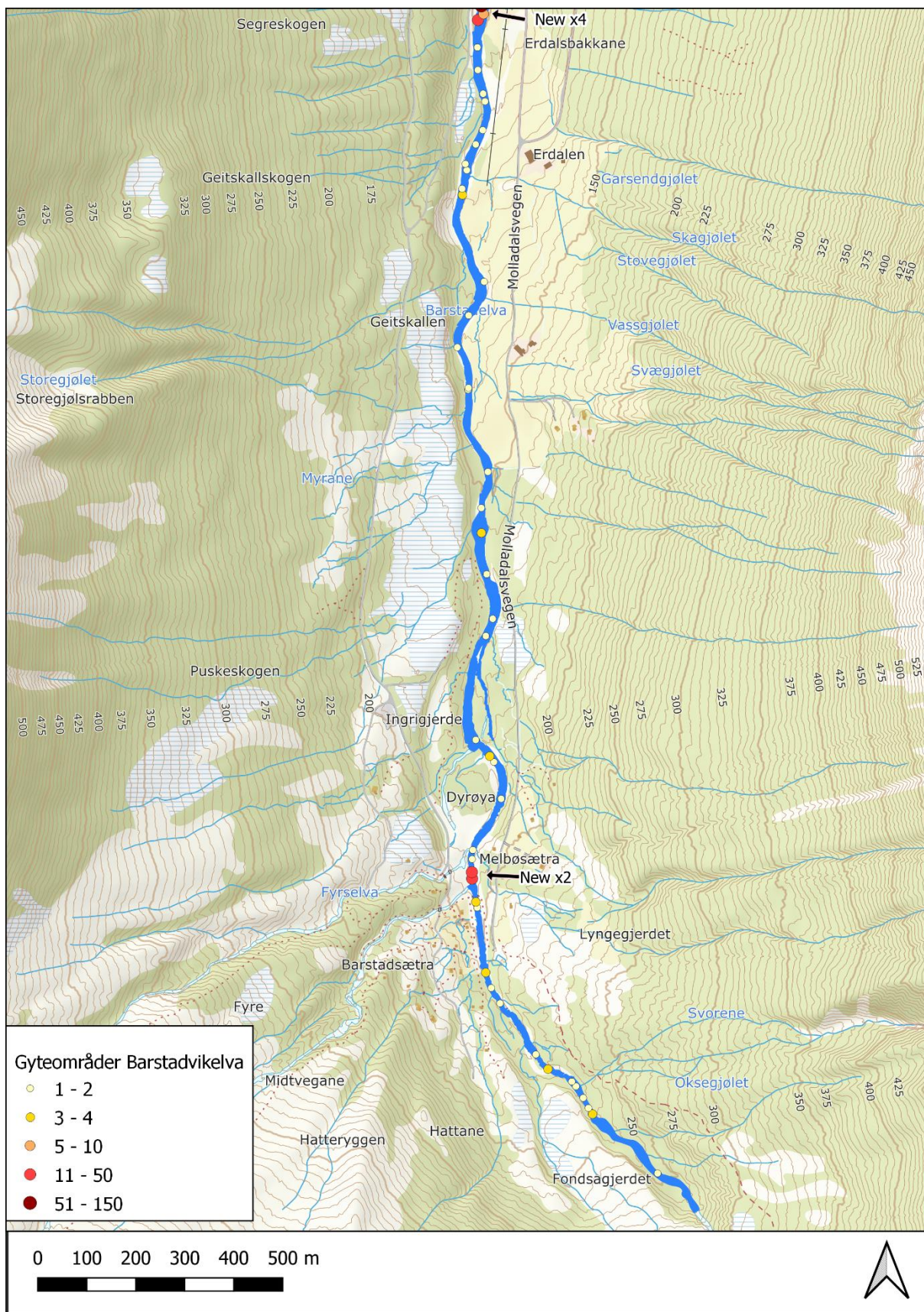
Figur 8. Skjulindeks (vektet skjul) registrert ved 28 transekter i Barstadvikelva 1. oktober 2021. Hvert punkt representerer tre målinger (ett transekt).

Gyteforhold

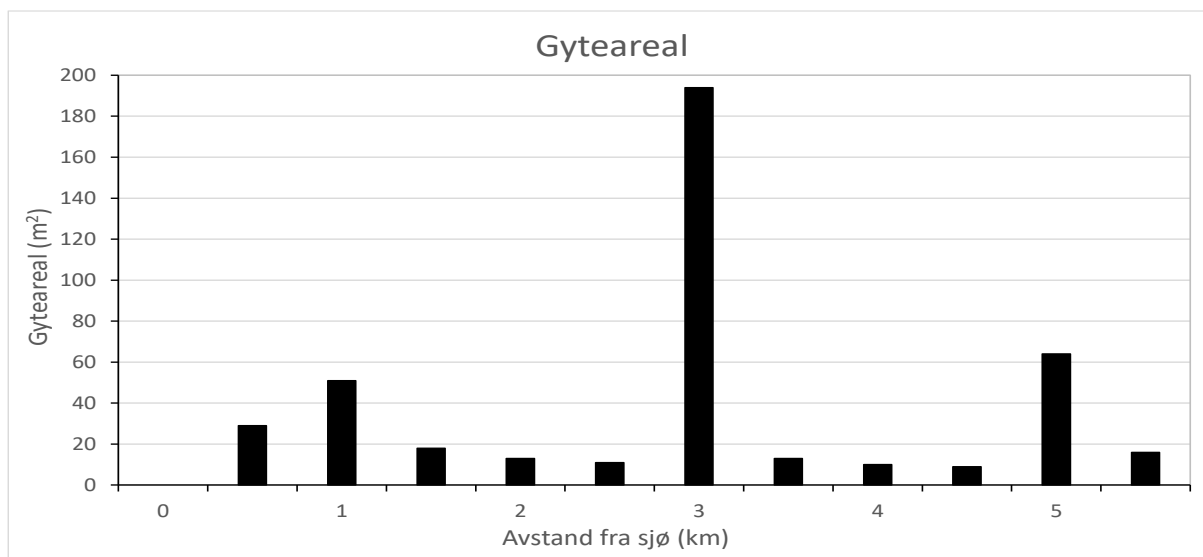
Det ble registrert et relativt stort antall potensielle gyteområder under kartleggingen 1. oktober 2021 (**figur 9, 10 og 11**). Det totale arealet av de registrerte gyteområdene var kun 428 m², som utgjør 0,7 % av anadromt elveareal. Flere forhold tilsier imidlertid at dette var et overestimat av reelt egnet gytehabitat. For det første var de fleste potensielle gyteområdene svært små, oftest grusflekker like nedstrøms store steinblokker, og det er usikkert om laks og sjøørret vil ta disse i bruk. For det andre ble det under en ny synfaring 23. oktober 2021 observert at flere av de største gyteområdene i nedre del av elven hadde forsvunnet i en relativt stor flom midt i oktober. Også det store, nye gyteområdet etablert av elveeierlaget ved Erdal bru ble betydelig redusert i denne flommen, og deretter på nytt i flommen tilknyttet stormen Gyda i januar 2022 (**figur 12**). Reell utstrekning av egnet gytehabitat i Barstadvikelva må derfor karakteriseres som «svært liten» (jf. klassifiseringssystemet til Forseth & Harby 2013).



Figur 9. Potensielle gyteområder i nedre del av Barstadvikelva, registrert 1. oktober 2021. Gyteområdenes størrelse er estimert i felt og oppgitt i m². Prikker markert med «New» er gytehabitat etablert ved bygging av terskler sommeren 2020.



Figur 10. Potensielle gyteområder i øvre del av Barstadvikelva, registrert 1. oktober 2021. Gyteområdenes størrelse er estimert i felt og oppgitt i m². Prikker markert med «New» er gytehabitat etablert ved bygging av terskler sommeren 2021.



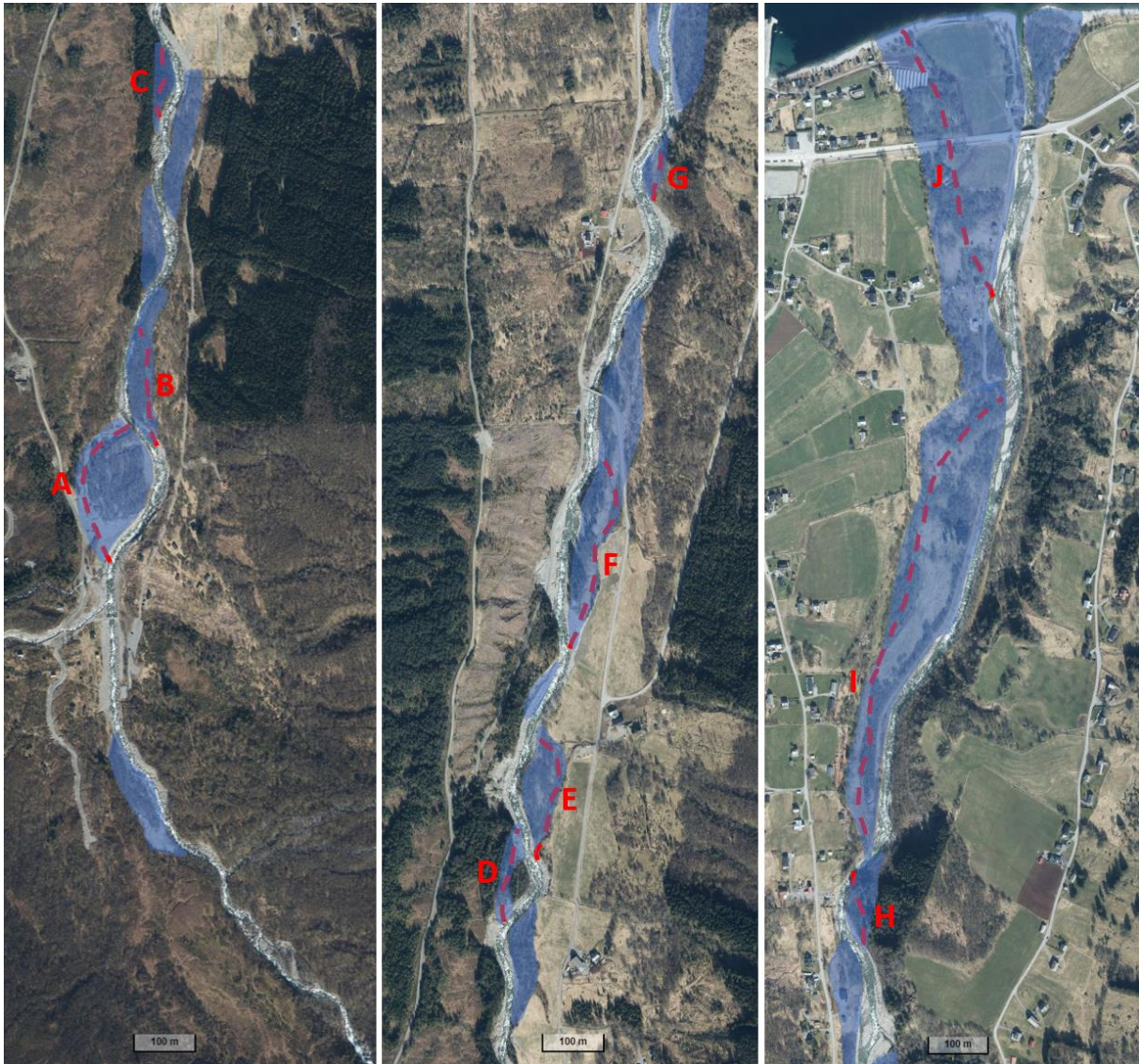
Figur 11. Fordeling av gyteareal registrert i Barstadvikelva 1. oktober 2021 (rundet av til nærmeste 500 m avstand fra sjø). Gytearealene 3 km og 5 km fra sjøen utgjøres i hovedsak av gyteområder etablert av elveeierlaget henholdsvis ved Erdal bru i 2020 og ved Barstadsætra sommeren 2021.



Figur 12. Gyteområde ved Erdal bru, etablert av elveeierlaget sommeren 2020. De øverste bildene viser situasjonen 12. juli (venstre) og 1. oktober (høyre) 2021. Nede til venstre: Bilde tatt 15. oktober 2021, dagen etter at en flom ødela terskelen og fylte mye av gyteområdet med grus. Dette ble raskt utbedret, men en ny flom i januar 2022 fylte på nytt gyteområdet med løsmasser (nede til høyre). De to nederste bildene er tatt av Idar Barstad.

Avstengte sideløp og flomsletter

Ti sideløp som tidligere var tilknyttet Barstadvikelva ble kartlagt. Disse er vist i **figur 13**, og henvises heretter til med bokstavene A til J. Flere av de kartlagte sideløpene hadde flere forgreininger, men siden dette var vanskelig å kartlegge nøyaktig er en forenklet variant av hvert sideløp illustrert i **figur 13**. Det har sannsynligvis også vært flere mindre sideløp langs elven, men nydyrking og bygging av vei har trolig skjult en del av disse.



Figur 13. Avstengte sideløp (røde linjer) og tidligere flomsletter (blå polygoner) kartlagt langs øvre (venstre), midtre (midten) og nedre (høyre) del av Barstadvikelva. Flyfoto hentet fra norgebilder.no.

Mange av de kartlagte sideløpene ligger i dag høyere i terrenget enn hovedelven. Spesielt i utgravd og kanalisert del av elven er høydeforskjellen stor, ofte inntil 2-3 m. Noen av sideløpene bærer preg av å ha fått tilført vann fra hovedelven relativt ofte, som sideløp B, som tidligere faktisk var elvens hovedløp (se flyfoto fra 1961; norgebilder.no). Enkelte andre sideløp har kun vært vanddekket i store flommer. Vollen av løsmasser som ble lagt langs elven etter 2016-flommen utgjør en fysisk sperre mellom mange sideløp og hovedelven. NVE-sikringen fra 1980-tallet har avskåret de lange sideløpene I og J fra hovedelven.

I tillegg til avstengte sideløp er de fleste opprinnelige flomslettene også avskåret fra hovedelven. Flomsletter er områder som med ujevne mellomrom dekkes av vann i flommer, men som er tørre ved normal vannføring. For eksempel har hele Dyrøya ved Barstadsætra tidligere fungert som flomslette, og under flommen i 2016 la elven igjen betydelige mengder grus og stein spredt utover Dyrøya. Tidligere flomsletter langs Barstadvikelva er relativt enkle å identifisere, da de stort sett består av lavtliggende og skogdekt terreng i en bred korridor langs dagens elveløp (blå områder markert i **figur 13**). Opprinnelig utstrekning av flomslettene har sannsynligvis vært noe større enn markert i figuren, spesielt i nedre del av elven, der elven tidligere har bredt seg ut i et delta med dominans av relativt finkornede masser (også kalt elvevifte, som er en truet naturtype; artsdatabanken.no). Aktive flomsletter er i dag så godt som fraværende langs Barstadvikelva.

4.2 Innspill fra elveeierlag, grunneiere og kommunen

Barstadvikelva elveeigarlag har vært positive til alle potensielle restaureringstiltak som har blitt foreslått underveis i prosjektet, og har vært pådrivere for helhetlig restaurering av vassdraget fremfor punktvis habitattiltak. Elveeierlaget har ytret ønske om at restaureringsarbeidet kommer i gang så snart som mulig, for å raskest mulig bedre situasjonen for den truede laksebestanden. Så lenge tiltak ikke direkte påvirker dyrket mark eller annen infrastruktur, har berørte grunneiere ikke fremmet innvendinger overfor NORCE til noen av tiltakene. I diskusjoner knyttet til gjenåpning av det lange sideløpet mellom Odden og Gråten (sideløp I; **figur 13**) har flere eldre medlemmer av elveeierlaget nevnt at de husker at det rant vann i dette løpet, og at øyen mellom sideløpet og hovedelven ble benyttet som rekreasjonsområde i barndommen. Elveeierlaget ønsker full restaurering av flomslette og sideløp i dette området. Langs østre elvebredd vis-à-vis sideløp I er elveeierlaget bekymret for at eksisterende erosjonssikring er i ferd med å bli undergravid, og håper at restaureringstiltak kan redusere denne risikoen. Ved sideløp A er det nylig etablert en gruslagt parkeringsplass innenfor den opprinnelige flomsletten, og elveeierlaget ønsker primært at denne bevares, men foreslår likevel at tiltak utføres for å slippe flomvann og sedimenter inn mot sideløpet og selve Dyrøya. Sideløp G og H strekker seg langs en nylig etablert gangsti; denne ønsker elveeierlaget å beholde, men de er åpne for å flytte den for å legge til rette for gjenåpning av sideløp.

Ørsta kommune har også blitt forelagt aktuelle restaureringstiltak underveis i prosjektet. Kommunen stiller seg positive til etablering av terskler og lignende i elveløpet samt gjenåpning av sideløp. Kommunen har ikke kommet med nevneverdige innspill til tiltakene, med unntak av forslaget om gjenåpning av sideløp I. Her ønsker kommunen at det inkluderes et alternativ B, i tilfelle full restaurering og fjerning av eksisterende forbygning langs vestre bredd ikke blir finansiert. For øvrig påpeker kommunen at et område ved Barstadsætra er regulert til friluftsområde, som da kanskje vil kreve en dispensasjonssøknad for gjennomføring av restaureringstiltak. Kommunen er innforstått med at sikringstiltak for veier ikke er inkludert i dette prosjektet, men påpeker at dersom det foreslås å etablere terskler eller andre strukturer

som må forankres i forbygninger, så bør dette koordineres med eventuelle vedlikeholdsbehov for de aktuelle forbygningene. NORCE har i løpet av prosjektet gitt råd til Møre og Romsdal fylkeskommune vedrørende reparasjon av en kort forbygning langs et veistykke mellom Tverrelva og Erdal bru, men dette arbeidet utføres utenfor rammene av dette prosjektet.

5. Diskusjon

5.1 Habitatforhold og restaureringsbehov

Mangel på gyteområder er den åpenbare habitatflaskehalsen for laks og sjøørret i Barstadvikelva. Andelen potensielt gyteareal er lav, og etter flommene høsten 2021 og vinteren 2022 viste det seg også at mange av de små grusforekomstene som ble karakterisert som potensielle gyteområder ikke var stabile. Ved gytefisktellinger høsten 2020 og 2021 ble det observert få laks i vassdraget, og en høy andel av de registrerte laksene ble observert på de nye gyteområdene etablert av elveeierlaget i 2020 og 2021 (Kambestad mfl. 2021 og Hanssen mfl. under utarbeidelse). For laks og sjøørret er det utvilsomt et behov for å øke mengden stabilt gytehabitat i vassdraget. Skjulforekomst for ungfisk er moderat, og oppvekstforholdene er i dag ikke en begrensning for fiskeproduksjonen i vassdraget.

Inngrepene i Barstadvikelva, både gamle elveforbygninger, kanalisering utført på 1980-tallet og gravearbeidet etter flommen i 2016, har redusert anadromt areal i Barstadvikelva. Dette har skjedd ved at elven er innsnevret i bredden, og i tillegg ved at de fleste sideløp og flomsletter er avstengt fra hovedelven. Dersom gode gyteforhold gjenopprettes, vil redusert anadromt areal kunne være en flaskehals for fremtidig fiskeproduksjon. I tillegg til reduksjonen i totalt elveareal, er habitatkvaliteten på det resterende arealet til dels betydelig redusert. Avskjæring av sideløp og flomsletter har for eksempel fjernet refugier for fisk under flom. På et mer overordnet nivå er hele økosystemet endret, ved at innsnevring av elveløpet og avskjæring av sideløp og flomsletter har endret elvens evne til å avsette løsmasser, slik at massene nå i stor grad spyles gjennom en smal kanal i flommer i stedet for å sedimentere langs sidene. Elvens habitatkvalitet er dermed endret for både fisk, insektlarver, kantvegetasjon og andre organismer. Etablering av kunstige gyteområder på utvalgte punkter kan ikke alene veie opp for disse endringene, og det er derfor behov for en mer grunnleggende restaurering av økosystemet. En slik restaurering må ivareta naturlige prosesser og la elveløpet være et landskapselement i stadig og dynamisk endring, kun begrenset av flom- og erosjonssikring der dette er strengt nødvendig.

5.2 Begrensninger i restaureringsarbeidet

Forholdene ligger godt til rette for restaureringstiltak i Barstadvikelva. Elveeierlaget og grunneierne er samarbeidsvillige og positive til prosjektet. I tillegg ligger de aller fleste avskårrede sideløp og flomsletter fortsatt ubrukt som skogkledd utmark (se **figur 13**). Dette gjør det langt enklere å få aksept for og å gjennomføre restaureringstiltak. Elvedeltaet nederst i elven (ved sideløp J) er et viktig unntak; her ville en full restaurering kommet i konflikt med dyrket mark, vei og bebyggelse. Øvrige begrensninger knyttet til infrastruktur gjelder eventuelle vannledninger og grunnvannsbrønner som kan tenkes å bli påvirket av restaureringsarbeidet. Slike utfordringer antas å kunne løses av kommunen og entreprenør i forbindelse med gjennomføring, og er ikke hensyntatt i restaurerings- og tiltaksplanen.

5.3 Restaureringsstrategi

Tiltaksplanen sikter på å rette opp skader etter gravearbeidene som ble utført i elven etter flommen i 2016. I nedre del foreslås det også tiltak for å rette opp i skader forårsaket av unødvendige eller feilplasserte sikringstiltak utført på 1980-tallet. **Hovedmålene** i prosjektet er å

1. gjenskape et mest mulig naturlig økosystem i og langs elven, med tilhørende dynamikk
2. reetablere stabile gyteområder for laks og sjøørret

Det vurderes ikke som praktisk mulig å oppnå disse målene ved å kopiere naturtilstanden i og langs hele Barstadvikelva. Dette skyldes for det første at dette vil komme i konflikt med en del arealbruk og infrastruktur, spesielt i nedre del av dalen. I tillegg har elven mange steder gravd seg svært dypt ned i terrenget, særlig etter 2016, noe som gjør det vanskelig å reetablere opprinnelig tilstand uten svært omfattende og dyre tiltak. Løsningene som er valgt er derfor i en del tilfeller kompromisser, men totalt sett vurderes planen å være tilstrekkelig til å innfri de to hovedmålene over.

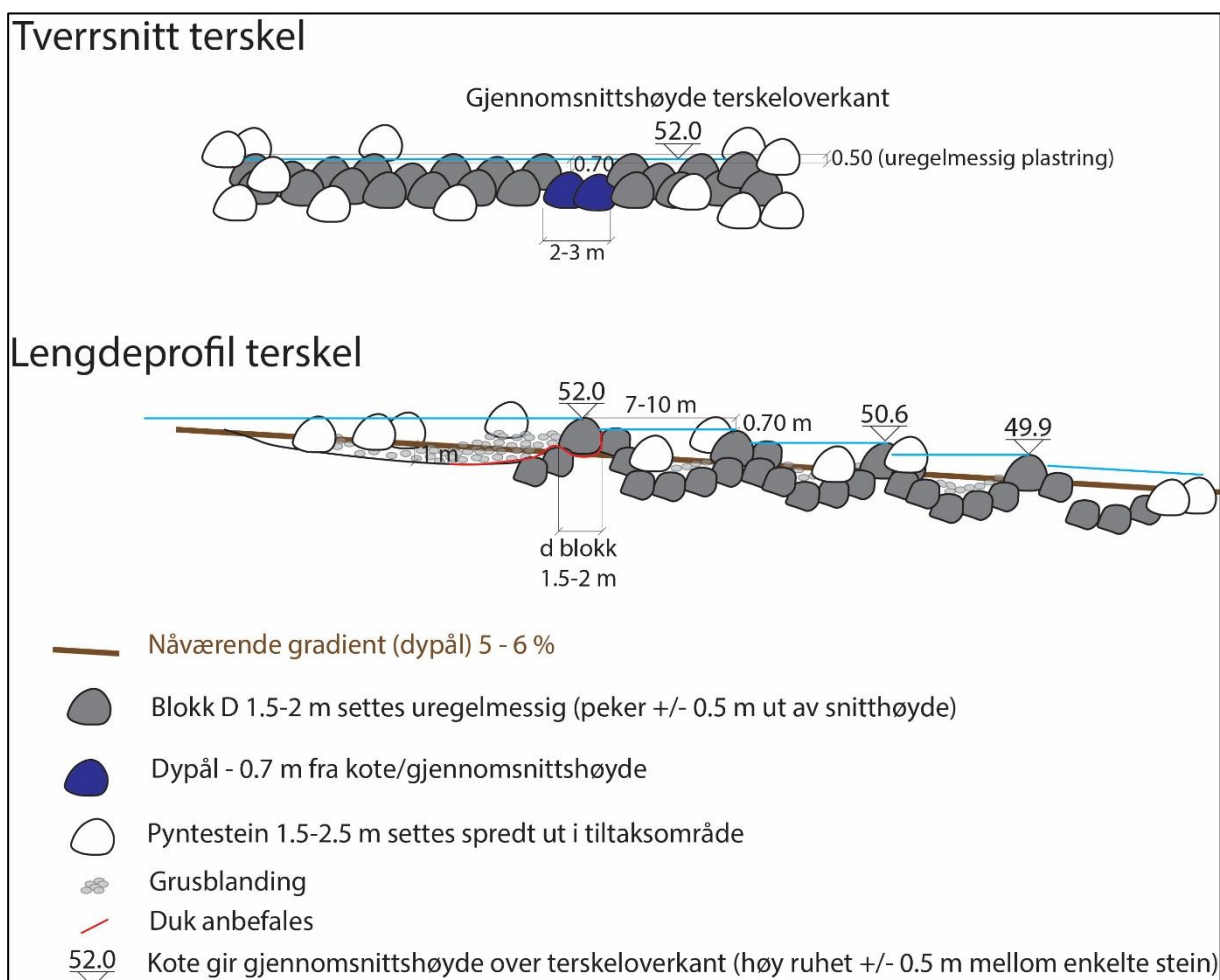
Etter restaurering kan det forventes en naturtypisk elveutvikling, hvis utgravde masser tilbakeføres og naturlig massetransport og morfodynamikk tillates. Dette vil kunne betraktes som en prosessbasert elverestaurering, men det vil kunne ta flere tiår, avhengig av flomfrekvens og -størrelse. Dessuten vil tilbakeføring av alle utgravde masser føre til mye massetransport i noen år, og dette vurderes som potensielt uheldig for laksebestanden som nå er kritisk fåtallig. Som restaureringsstrategi anbefales derfor en kombinasjon av strakstiltak og langsiktig restaurering:

Strakstiltak er ment å sikre rekruttering av laks og sjøørret, og samtidig være i tråd med naturlig elvetypologi og den langsiktige restaureringen. Slike tiltak er etablering av gyteområder ved heving av vannspeil på egnede steder (**tiltakstype A**) og tilkobling av avstengte sideløp (**tiltakstype B**).

Langsiktige restaureringstiltak: Aktiv tilbakeføring av utgravde masser (**tiltakstype C**), hvilket vil heve elvebunnen og bidra til tilkobling av elvesletter, og tillatelse av naturlig morfodynamikk der det er mulig. I tillegg foreslås det å fjerne unødvendige sikringstiltak (**tiltakstype D**), hvilket vil legge til rette for naturlig morfodynamikk der elven i dag er låst av kanalisering.

Tiltakstype A er viktig for å sikre at de truede bestandene av laks og sjøørret raskest mulig får gunstige gyteområder. Åtte potensielle gyteområder ble i første omgang vurdert, og etter hydrodynamisk modellering ble fem av disse valgt ut for tiltak (site 1, 2, 5, 7 og 8 i appendix-rapporten). På disse punktene skal det bygges terskler og masser skal fjernes fra elvebunnen oppstrøms tersklene, for å etablere hydrologiske forhold der gytegrus av passende størrelse

blir liggende stabilt og vanddekket både på lav og høy vannføring. Se **figur 14** for prinsippskisse for etablering av terskler. Et ca. 30 cm tykt lag med gytegrus (sortert ut fra løse voller langs elven, samt fra det store sedimenteringsområdet ved Tverrelva) legges ut på gyteområdene. I tillegg legges det ut enkelte store steinblokker for å skjerme deler av grusen ytterligere mot utspyling i flom, og for å oppnå økende vannhastighet inn mot et smalere punkt ved terskelen (omtalt som «nozzle-effect» i appendix-rapporten). Det eksisterende gyteområdet ved Erdal bru (site 6) er brukt som modell for de nye gyteområdene, men ettersom dette gyteområdet ble delvis ødelagt av flom både i oktober 2021 og i januar 2022, foreslås det også justeringer av dette tiltaket.



Figur 14. Prinsippskisse for terskeletablering. Tetting av øverste terskel kan oppnås med duk av geotekstil eller blandede filtermasser av grus. Øvrige terskeltrinn lages uten duk (se www.nve.no for råd om terskeletablering).

Oppkobling av avstengte sideløp og flomsletter (**tiltakstype B**) vil øke total elvebredde, slik at massetransport og erosjon i hovedløpet reduseres under flom. Permanent vanddekkede sideløp vil også gi godt fiskehabitat. Dette oppnås ved å heve elvebunn og vannspeil i hovedelven på utvalgte steder, slik at vann vil renne inn i eksisterende, men tørrlagte sideløp. I flere tilfeller må voller av stein også fjernes for å gjenåpne sideløpene. Ettersom hovedelven har skjært seg ned i terrenget og skapt en høydeforskjell mellom hovedelv og sideløp, må det

også i de fleste tilfeller graves ut masser i øvre del av sideløpene for å utjevne høydeforskjellene. Det bør plasseres minimum to steinblokker (diameter > 1.5 m) ved innløpet til hvert sideløp for å stabilisere inntaksområdene og lede vann inn i sideløpene. Enkelte gamle sideløp er ikke foreslått gjenåpnet, fordi høydeforskjellen mellom hovedelven og sideløp/flomslette har blitt for stor.



Figur 15. Eksempel på løse voller av usortert stein, inkludert store steinblokker, som ble gravd ut av elveløpet etter flommen i 2016. Bildet er tatt ca. 200 m nedstrøms Erdal bru.

De høye, usikrede vollene av løsmasser som ligger langs mye av elven utgjør en sikkerhetsrisiko ved ferdsel langs elven (e.g. **figur 15**). Massene vil over tid bli spylt nedover elven i store flommer, men inntil videre medfører de at elven mange steder er kunstig smal, uten kontakt med sideløp og flomsletter. For å forbedre denne situasjonen (**tiltaksstype C**) bør disse vollenes høyde og helning reduseres på utvalgte strekninger, ved å flytte deler av massene tilbake til elvebunnen. Toppen av vollen bør etter tiltak ikke være høyere enn bakenforliggende terreng, og elvebreddens helning (fra vannspeil til toppen av vollen) bør reduseres, minimum ned til 1:2-1:3. Elvebunnen vil da bli hevet, men tverrsnittet opprettholdes eller økes ved at elvebredden utvides. Dette oppnås ved at stein med diameter over ca. 50 cm kan fjernes fra vollen og legges i elvebunnen. Enkelte av de største steinblokkene kan graves litt ned i elvebunnen for å sikre stabilitet, og man kan ved behov hente store steinblokker fra forbygningen langs sideløp I til dette formålet. Stein med

diameter mindre enn 50 cm bør i hovedsak sorteres ut og kjøres bort, ettersom eksponering av store mengder finkornede masser vil føre til stor massetransport i neste flom. Grus med diameter 1-12 cm kan legges til side, og legges ut på nyetablerte gyteområder. Øvrige overskuddsmasser (diameter ca. 12-50 cm) bør i hovedsak kjøres bort, men noe kan trolig benyttes som bunnsstrat i sideløp I etter gjenåpning.

Elveforbygningene i nedre del av elven, som i hovedsak er fra 1980-tallet, overlevde flommen i 2016. Disse forbygningene er hovedårsaken til mangel på gyteområder i nedre del av elven, og økosystemet på den tidligere elvesletten er totalforandret. Terrenget langs vestre elvebredd, mellom Odden og Gråten (se **figur 13**) er stort sett ikke i bruk, og sikringstiltaket fremstår derfor som unødvendig. Vi foreslår derfor å fjerne hele vestre elveforbygning på et 780 m langt strekk (**tiltakstype D**), samtidig som det bygges en terskel i hovedelven for å sikre at vann renner inn i det gamle sideløpet (sideløp I) på alle vannføringer.

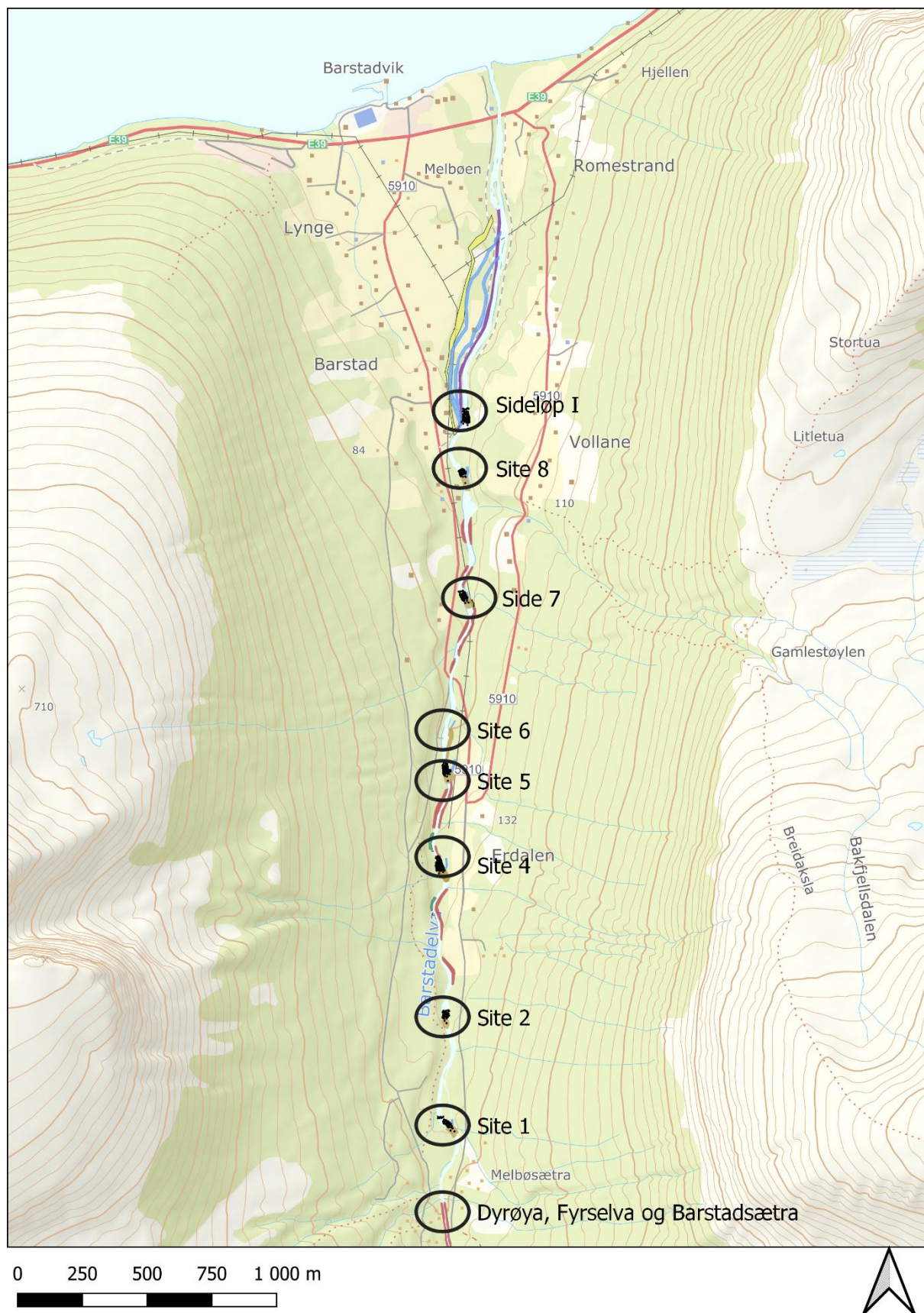
6. Restaurerings- og tiltaksplan

Restaurerings- og tiltaksplanen for Barstadvikelva er ment å innfri hovedmål 1 og 2 oppgitt i kapittel 5. De foreslåtte tiltakene vil ikke øke flom- eller erosjonsrisiko for infrastruktur eller fulldyrkede arealer langs elven. Det finnes imidlertid enkelte punkter langs elven der veier allerede er utsatt for erosjonsrisiko – slik risiko er påpekt i tiltaksbeskrivelsene, men løsninger for erosjonssikring av vei må utarbeides av ingeniører med fagkompetanse på dette, og er ikke inkludert i denne planen.

Etablering av terskler bør utføres av entreprenør med erfaring med slikt arbeid, helst med erfaring fra arbeid i bratte elver med betydelig massetransport. Det må brukes gravemaskin stor nok til å flytte steinblokker med diameter på minst 2,5 m; trolig vil det være behov for maskin på 30-40 tonn. Mindre maskiner kan brukes til en del av oppgavene, som utgraving og tilrettelegging av sideløp. Mye av tiltakene kan utføres ved bruk av lokale steinblokker og masser som flyttes mellom ulike steder i elven, men det vil være behov for tilkjøring av steinblokker ved bygging av terskler. Dersom man river forbygningen ved sideløp I (se detaljer under), kan man bruke mye av forbygningssteinene til tiltak andre steder i vassdraget, og dermed reduseres behovet for innkjøp av stein.

6.1 Tiltaksbeskrivelser

Under følger detaljerte beskrivelser og arbeidstegninger for foreslåtte tiltak i Barstadvikelva. Ulike strekninger og lokaliteter i elven er omtalt fra øverst til nederst. Nye gyteområder som skal etableres er kalt «site 1», «site 2» osv. for å bruke samme navn som i appendix-rapporten. Disse og øvrige tiltak er vist på kart i **figur 16**.



Figur 16. Oversiktskart over tiltakene.

Vandringshinder til Barstadsætra

De øverste 450 meterne av Barstadvikelva er helt urørt av inngrep, og det foreslås ingen tiltak. En strekning på 340 m oppover fra gangbroen på Barstadsætra har høye, usikrede voller etter gravearbeidet etter 2016-flommen. Med hensyn til laks er det ikke vurdert som viktig å gjøre tiltak her, ettersom strekningen også i naturtilstanden har vært smal og bratt. Det gjøres likevel oppmerksom på at de usikrede vollene her kan utgjøre en sikkerhetsrisiko for folk som ferdes langs elven, og det anbefales derfor å redusere vollenes helning (**figur 17**) på samme måte som i øvrige deler av elven (**tiltakstype C**).

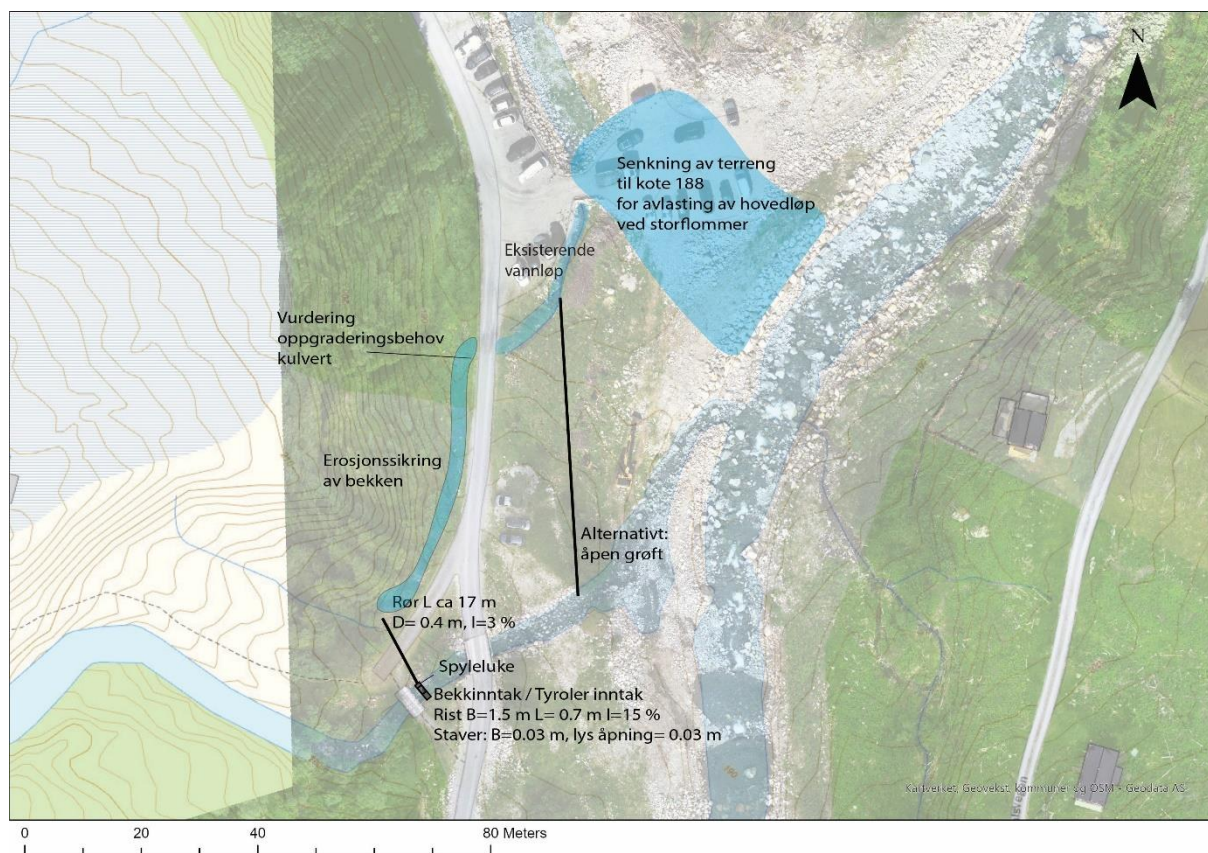


Figur 17. Tiltaksskisse for strekningen ved Barstadsætra.

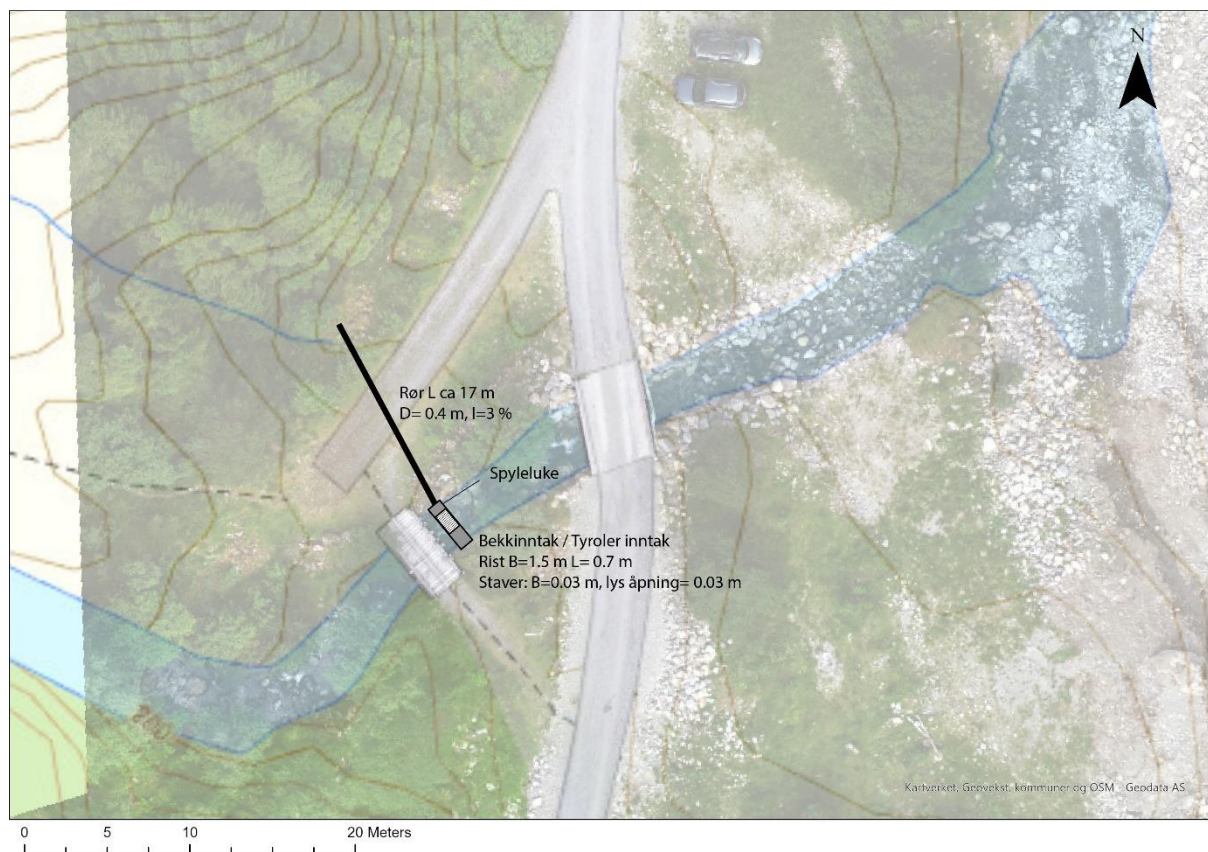
Dyrøya

Like nedstrøms gangbroen ved Barstadsætra etablerte elveeierlaget sommeren 2021 to gytekulper. Disse stod godt gjennom flommene høsten 2021 og januar 2022, og bør bevares som de er. Det anbefales å senke terrenget i øvre del av det gamle sideløpet til høydekote 188, mellom den gruslagte parkeringsplassen og hovedelven (**figur 18**). Dette vil legge til rette for at vann kan renne mot sideløpet og flomsletten (selve Dyrøya) i store flommer, og slik redusere kreftene i hovedløpet. I tillegg vil en del løsmasser kunne sedimenteres her. Parkeringsplassen ligger i dag omtrent på høydekote 188, og kan i utgangspunktet bestå, men det er en fordel om parkeringsplassen har en såle av tettpakket pukk som kan stå imot flomvann, dekket av et gruslag som spyles bort dersom en stor flom leder vann denne veien. Det bør settes opp skilt om at parkeringsplassen ikke må benyttes når det er fare for flom.

Videre anbefales det å overføre vann fra Fyrselva (også kalt Klovvasselva) til sideløp A øst for Dyrøya (**figur 18** og **19**). Dette gjøres ved å installere et Tyroler-inntak med kapasitet 250 l/s. Et slikt inntak vil lede vannføringer inntil 250 l/s, pluss finsedimenter, ut av Fyrselva, mens vann utover 250 l/s pluss grovere sedimenter føres videre nedover Fyrselva. Vann ledes fra inntaket gjennom et rør til grøft vest for bilveien, og videre gjennom to eksisterende rør under bilveien og ut i sideløp A (**figur 18**). Merk at grøften vest for bilveien må steinsettes for å unngå erosjon av veien, og at de eksisterende rørene under bilveien må erstattes dersom de ikke har kapasitet til å ta unna 250 l/s. En alternativ løsning er å ta ut vann noe lenger nede i Fyrselva og lede dette i åpen grøft mot nord (se **figur 18**).



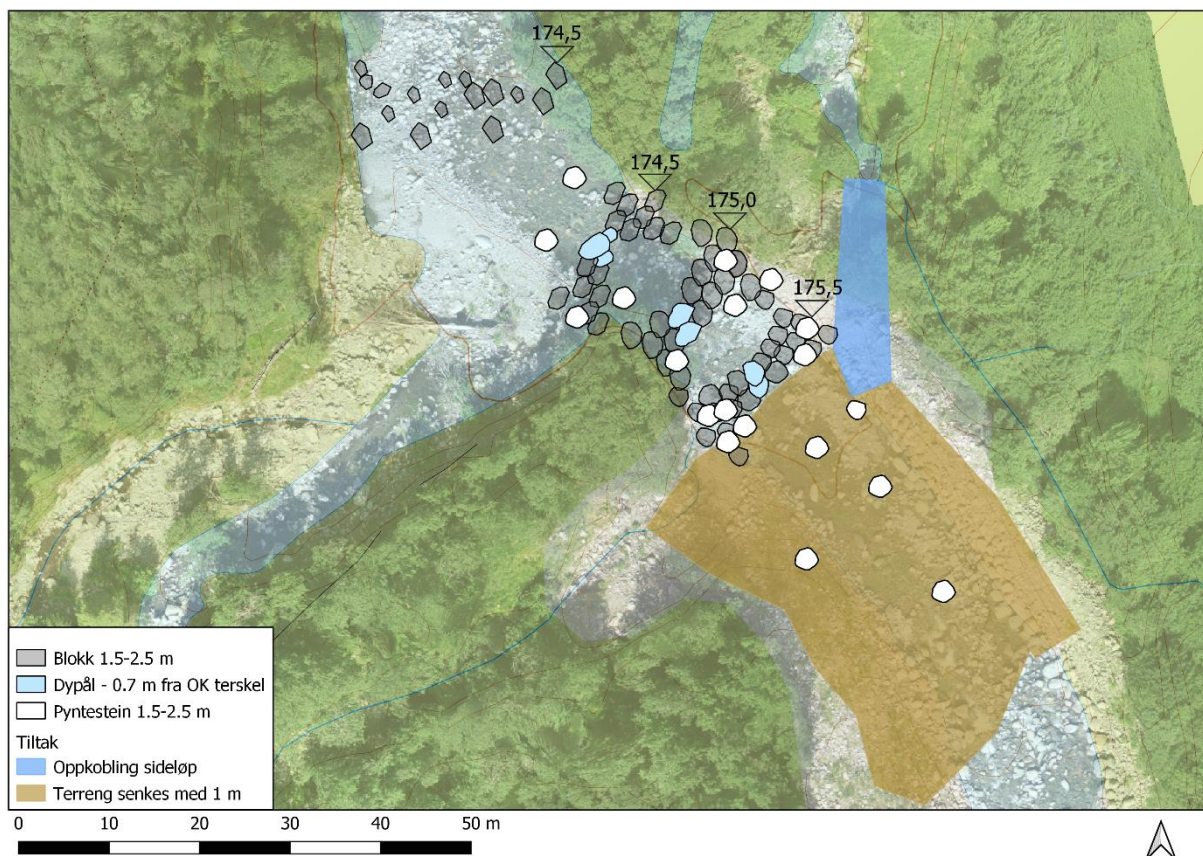
Figur 18. Tiltaksskisse for området ved Dyrøya og sideløp A.



Figur 19. Tiltaksskisse for Tyroler-inntak i Fyrselva.

Site 1 og sideløp B

Det etableres en terskel, og elvebunn og terreng oppstrøms terskelen senkes med 1 m (oransje område i **figur 20**) for å skape et gyteområde med redusert vannhastighet. Merk at dersom leire påtreffes må utgraving stanses og leiren tildekkes med stein. Bunnen opp- og nedstrøms terskler sikres mot utgraving med stein med minst 1 m diameter. Steinene legges ut uregelmessig (med høy ruhet) og plastring dekkes til med elvemasser. Terskelbassengene bør ha minst 1 m vanddybde. I utgravd basseng legges det ut gytegrus i et ca. 30 cm tykt lag over hele området som er vanddekket ved lavvannføring. Enkelte steinblokker (pyntesteiner, så store som mulig, minimum 2 m i diameter) legges ut på gyteområdet og i stryk mellom terskler for å danne strømvariasjon og øke oppstuvning ved høye vannføringer. To terskler nedstrøms hovedterskelen bygges som en rampe (et stryk med høy ruhet) for å sikre oppvandringsmuligheter for fisk. Samtlige terskler har en dypål 70 cm lavere enn terskelkrone. Spredte steinblokker legges ut nedstrøms nederste terskel, for å motvirke at elven eroderer elvebunnen oppover i retning tersklene, samt for å øke sannsynligheten for at gytegrus samles på flaten mellom nederste terskel og de nevnte steinblokkene. Øvre del av sideløp B graves ut med 2 m gjennomsnittlig bredde over en lengde på 30 m med 1 % gradient (blått område i **figur 20**) slik at terreng høyden i innløpet til sideløpet får 20 cm lavere høyde enn øverste terskelkrone (kote 175.3), og vann finner veien ned i det eksisterende sideløpet selv ved laveste vannføring.



Figur 20. Tiltaksskisse site 1 og sideløp B. Høyde på terskelkroner (moh.) er angitt. Se teksten for detaljer.



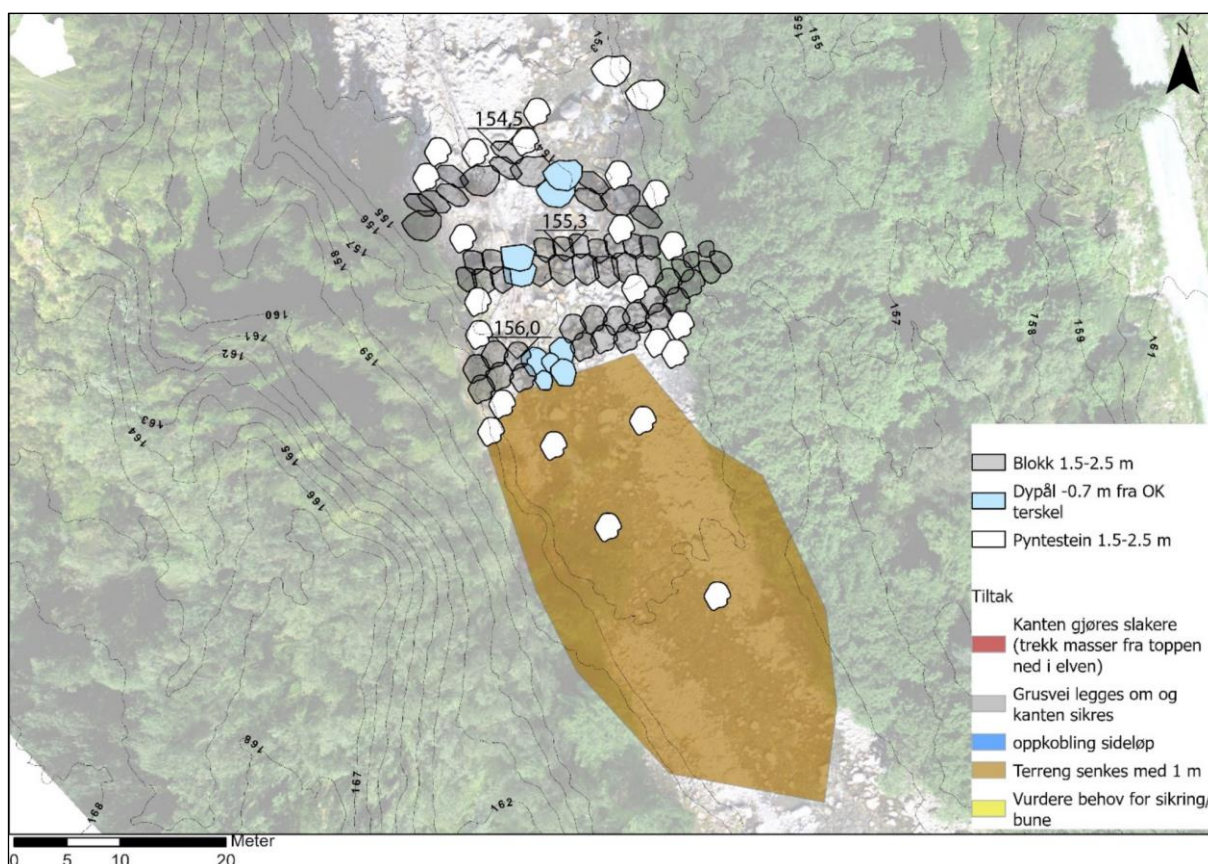
Figur 21. Pilen indikerer hvor en kort grøft kan graves for å lede vann fra en liten bekk ned i sideløp B.

Innløpet til sideløp kan bli tettet igjen på grunn av massetransport under flom. Sideløp B får litt vann fra en bekk fra Storegjølet ved Melbøsætra, noe som er gunstig for å unngå fiskedød i forbindelse med eventuelle uttørkingshendelser. Tiltak vist i **figur 20** må ikke medføre at denne bekken ledes ut i hovedelven; bekken må fortsette inn i sideløpet som i dag. For å sikre ytterligere mot uttørking foreslår vi å lede en annen liten bekk ned mot sideløpet, ved å grave en kort grøft som illustrert i **figur 21**.

Elveeierlaget har ytret bekymring for erosjon inn mot veien langs østre bredd like oppstrøms site 1. Tiltakene ved site 1 og ved Dyrøya endrer ikke denne situasjonen, bortsett fra at gjenåpning av sideløp A kan redusere erosjonsfaren. Dersom det vurderes som formålstjenlig å utføre sikringstiltak langs veien, eksempelvis en bune for å styre strømmen mot vestre side av elven, vil dette i utgangspunktet ikke komme i konflikt med tiltakene ved site 1, men det anbefales at eventuelle sikringstiltak diskuteres med biolog og entreprenør som utfører tiltak ved site 1.

Site 2

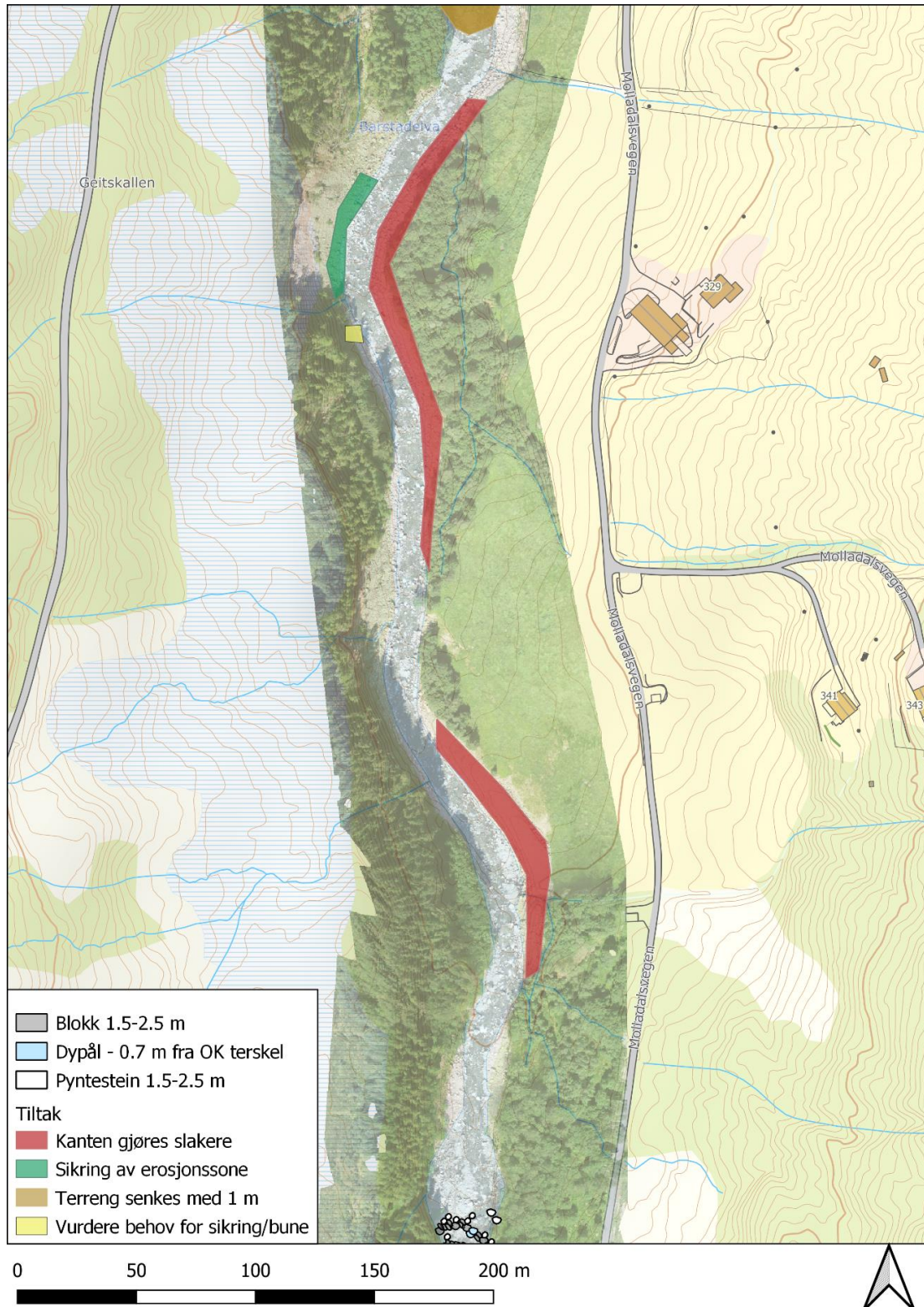
Gyteområde etableres (**figur 22**) etter samme prinsipper som ved site 1. En gammel forbygning langs vestre bredd fjernes langs gult område for å øke elvebredden på høy vannføring.



Figur 22. Tiltaksskisse site 2. Høyde på terskelkroner (moh.) er angitt. Se teksten for detaljer.

Mellom site 2 og site 4

Høyde og helning på voll langs elven reduseres i to områder markert med rødt i **figur 23**. Den nederste vollen bør fjernes i sin helhet, slik at elven kan bre seg mest mulig ut mot øst i flom, og slik redusere erosjonsfaren langs vestre elvebredd. Se ellers side 25-26 for detaljer om gjennomføring.

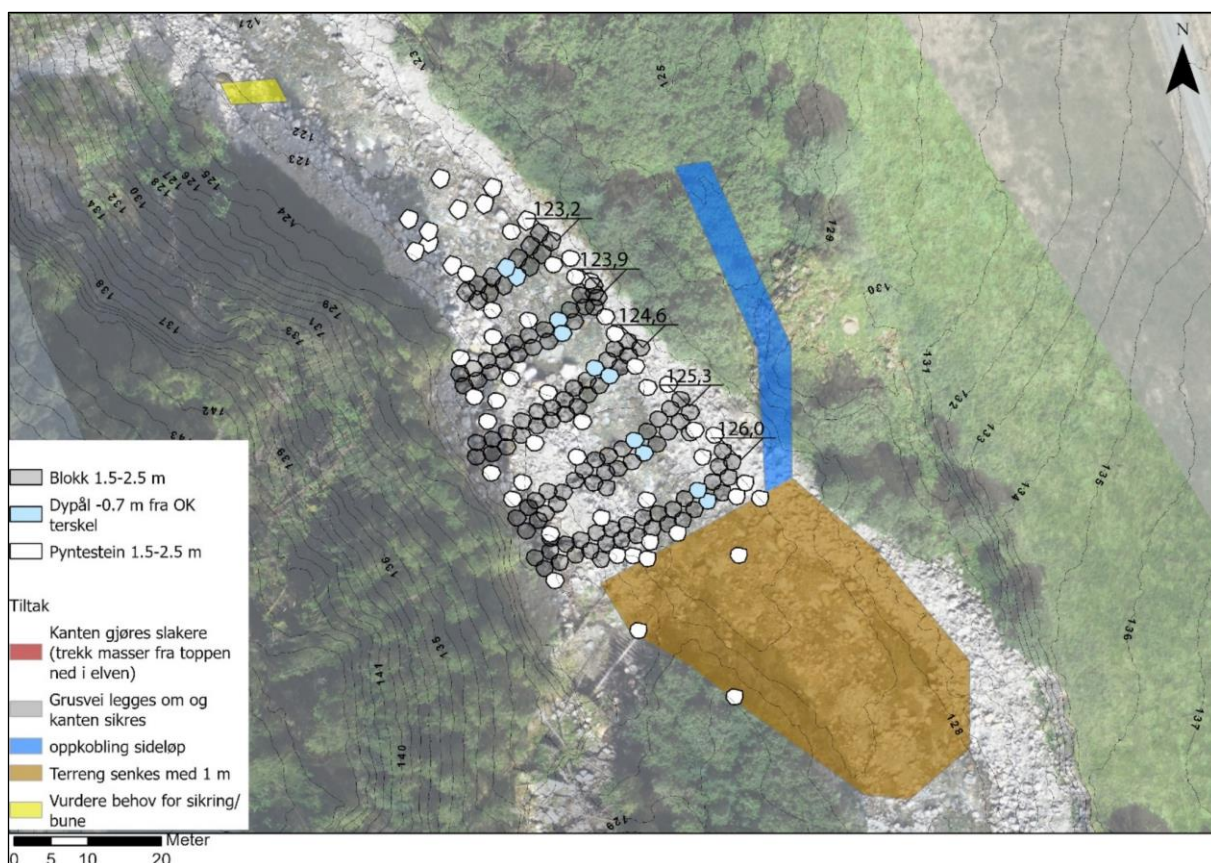


Figur 23. Tiltaksskisse for strekningen mellom site 2 og site 4.

I tillegg kan det vurderes å etablere en bune like oppstrøms den høye erosjonssonen langs vestre bredd (se **figur 23**). Dette er i prinsippet ikke et restaureringstiltak, men kan enkelt gjennomføres dersom det lokalt er ønskelig å unngå ukontrollert utrasing av løsmasser som deretter fraktes nedover elven. En bune av store steinblokker (diameter > 1,5 m), skråstilt mot strømretningen, vil bremse og lede vannet mot motsatt elvebredd. I tillegg kan det legges et dobbelt belte av store steinblokker (diameter > 1,5 m) langs vestre elvebredd nedstrøms bunen, for å redusere erosjon.

Site 4 og sideløp E

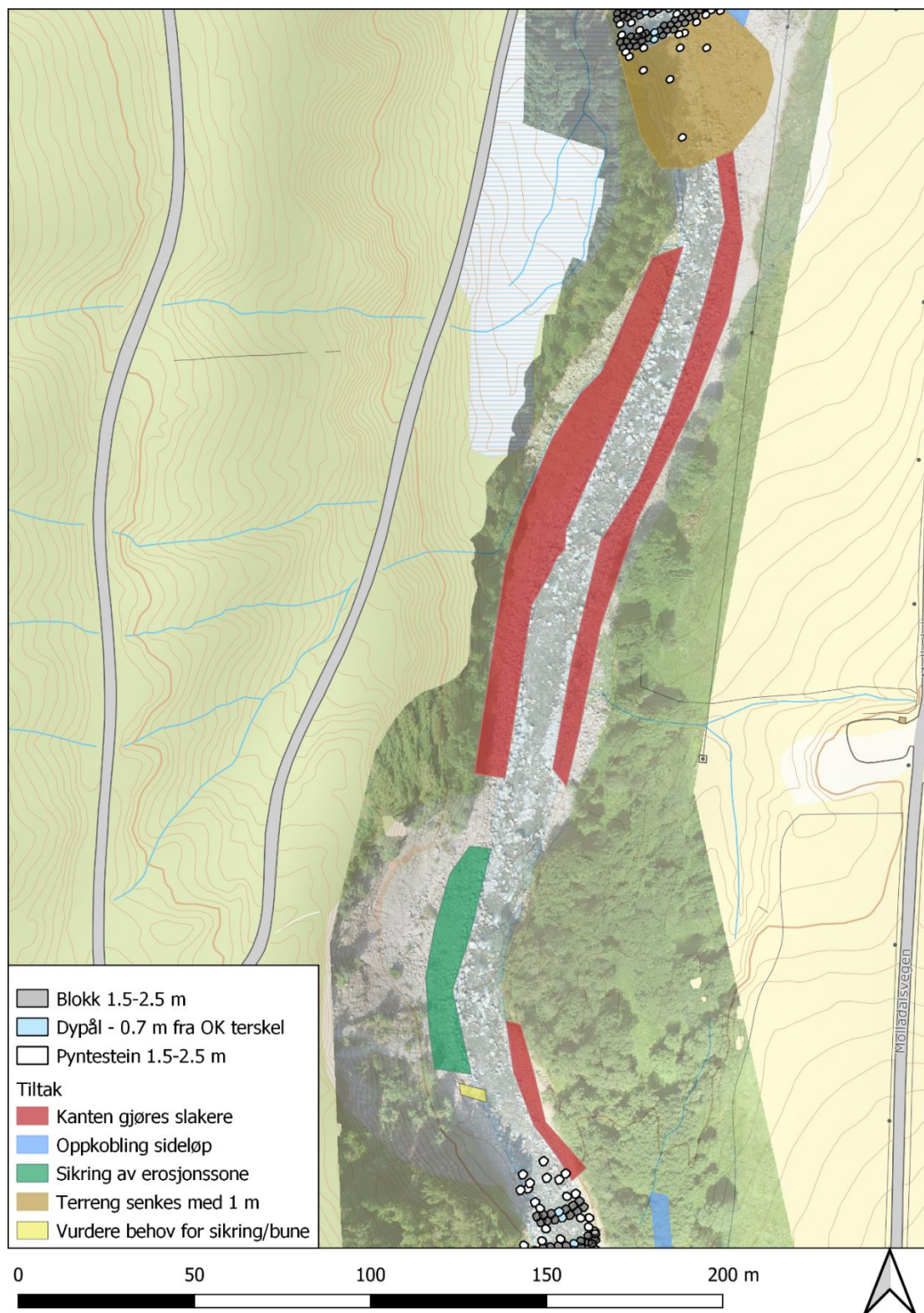
Terskler etableres etter samme prinsipper som ved site 1. Antall terskler er høyere fordi området er brattere enn ved site 1. Formålet med tersklene på site 4 er ikke å skape et gyteområde; kun å lede flomvann inn i sideløp E og flomsletten langs østre bredd. Sideløp E åpnes ved utgraving til kote 126.5 de øverste 50 m i sideløpet, men dette sideløpet vil ikke bli vanddekket ved lav vannføring i hovedelven. I stedet åpnes det med formål å avlaste hovedelven for energi og sedimenter i flommer, hvilket vil redusere erosjon i den høye erosjonssonen langs vestre bredd et lite stykke lenger nede (**figur 24**).



Figur 24. Tiltaksskisse site 4 og sideløp E. Høyde på terskelkroner (moh.) er angitt. Se teksten for detaljer.

Mellom site 4 og site 5

Høyde og helning på voll langs elven reduseres i områder markert med rødt i **figur 25**. Nedre del av den vestre vollen ligger i selve elveløpet heller enn inntil elvebredden; denne vollen bør jevnes ut slik at hele elvesengen vil bli vanddekket ved høy vannføring. Se ellers side 25-26 for detaljer om gjennomføring.

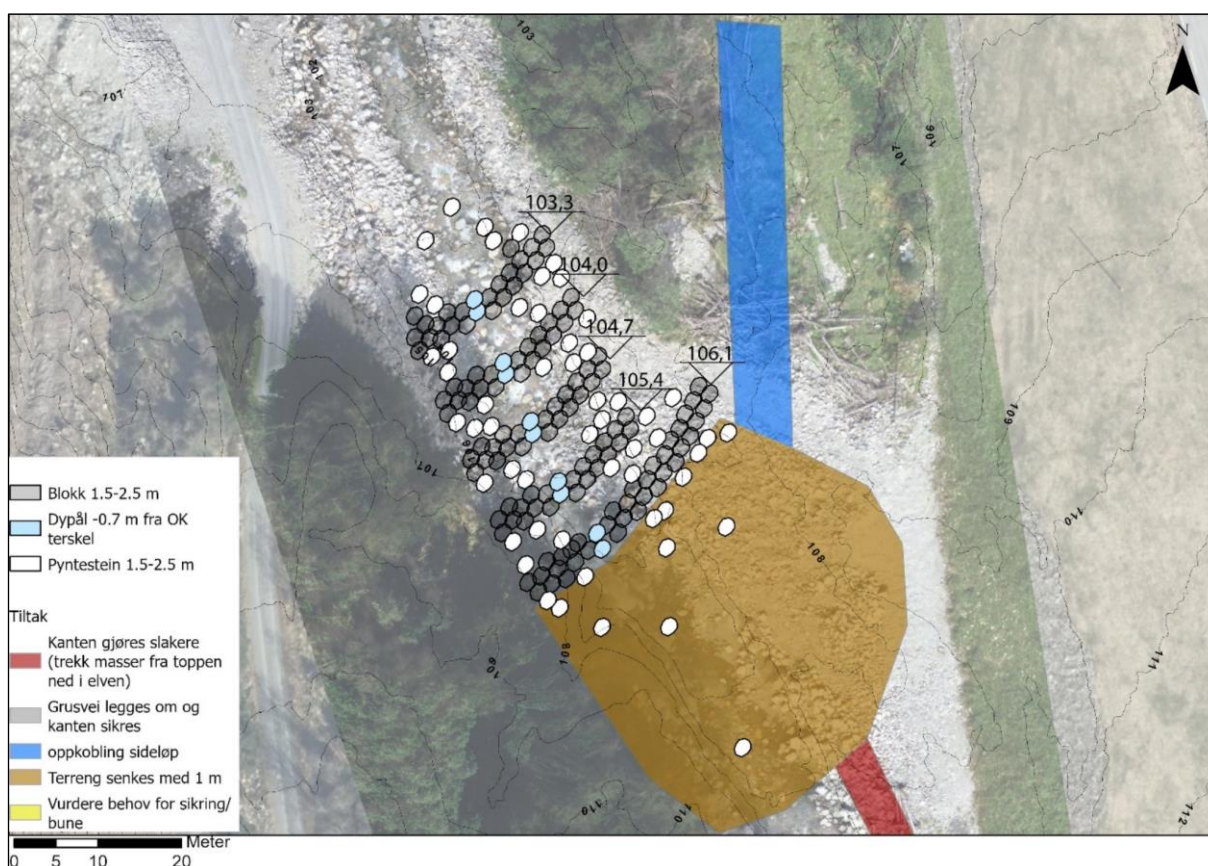


Figur 25. Tiltaksskisse for strekningen mellom site 4 og site 5. Se teksten for detaljer.

I tillegg kan det vurderes å etablere en bune like nedstrøms site 4, ved den høye erosjonssonen langs vestre bredd (se **figur 25**). En bune av store steinblokker, skråstilt mot strømretningen, vil bremse og lede vannet mot motsatt elvebredd. Steinraden som ligger langs erosjonssonen kan forsterkes med en ekstra rad i bakkant (steinblokker med diameter > 1,5 m) og forlenges opp mot bunen. Bune og steinsikring av erosjonssonen er ikke restaureringstiltak, men sikringstiltak for å unngå voldsom erosjon.

Site 5 og sideløp F

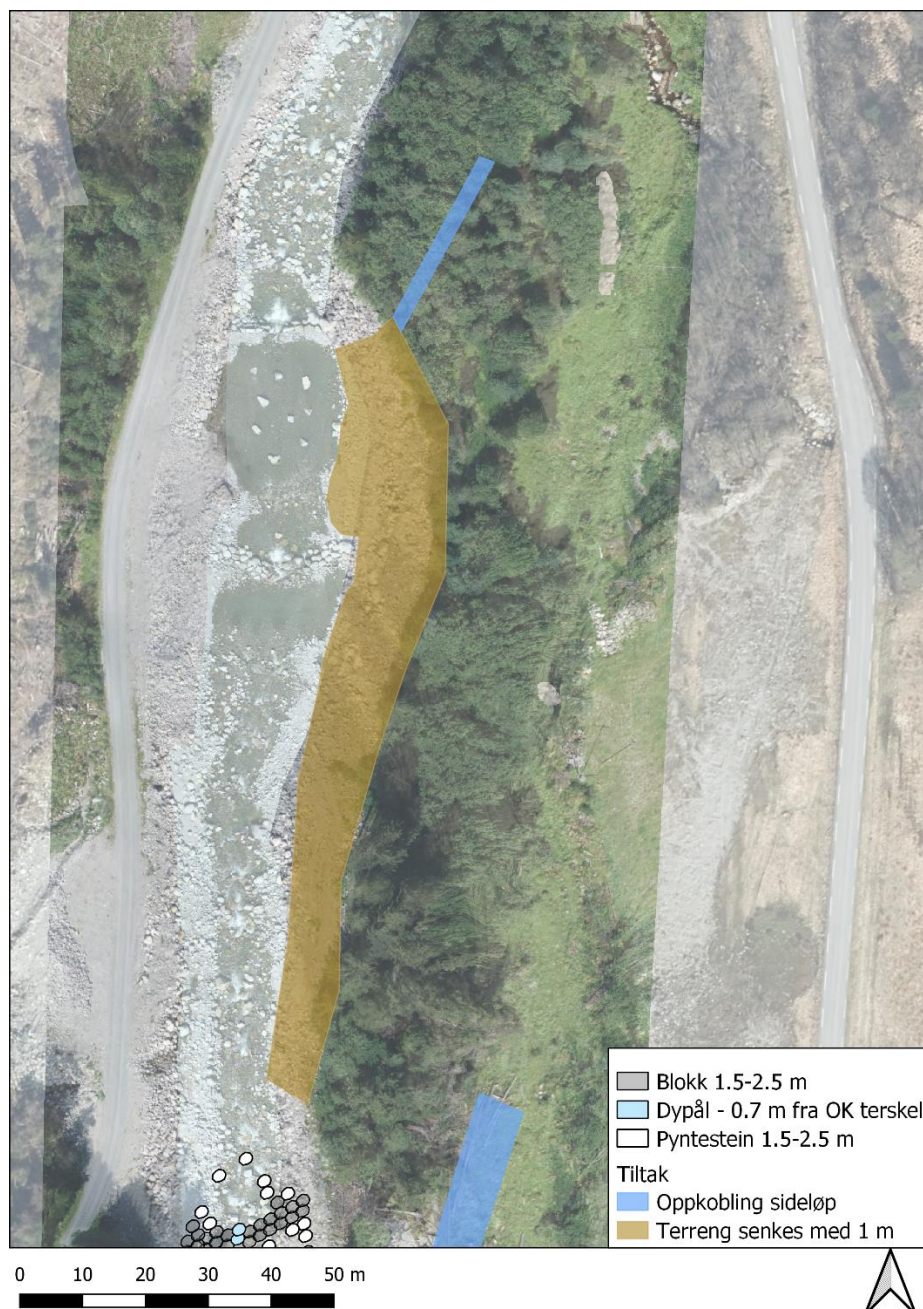
Gyteområde etableres etter samme prinsipper som ved site 1. Øvre del av sideløp F graves ut over 60 m lengde (ca. 2 m under terreng høyde; blått område i **figur 26**) slik at terreng høyden i innløpet til sideløpet får 20 cm lavere høyde enn øverste terskelkrone (kote 105.9), og vann finner veien ned i sideløpet selv ved laveste vannføring. Strømstolper nær sideløpet bør sikres med stein for å unngå erosjon rundt stolpene. Det ligger en gammel steinvoll mellom sideløpet og bilveien, og denne bør forlenges sørover og nordover og eventuelt forsterkes dersom grunneier eller utførende entreprenør vurderer dette som nødvendig for å unngå at vann bryter gjennom og flommer over bilveien.



Figur 26. Tiltaksskisse site 5 og sideløp F. Høyde på terskelkroner (moh.) er angitt. Se teksten for detaljer.

Site 6

Det meste av vollen langs østre bredd fjernes, slik at vanndekket område langs denne elvebredden utvides, og vollens høyde reduseres til samme nivå som bakenforliggende terreng (**figur 27**). Masser fra denne vollen legges ikke ned i elveløpet. Nederst ved terskelen graves det ut en noe lavere åpning i vollen (ca. 50 cm høyere enn terskelkronen), slik at vann vil renne inn på flomsletten langs østre bredd i flomsituasjoner. Eventuelle overskuddsmasser på selve gyteområdet fjernes ned til samme nivå som da tiltaket ble utført i 2020 (se **figur 12**), og to steinblokker (størst mulig) legges ut i innløpsområdet til gyteområdet. Terskelen repareres og styrkes om nødvendig.



Figur 27. Tiltaksskisse for justering av gyteområde ved site 6. To store steinblokker legges i innløpsområdet til gyteområdet, men nøyaktig plassering er ikke tegnet inn fordi området har endret seg etter at dronebildene ble tatt. Se teksten for detaljer.

Mellom site 6 og site 7

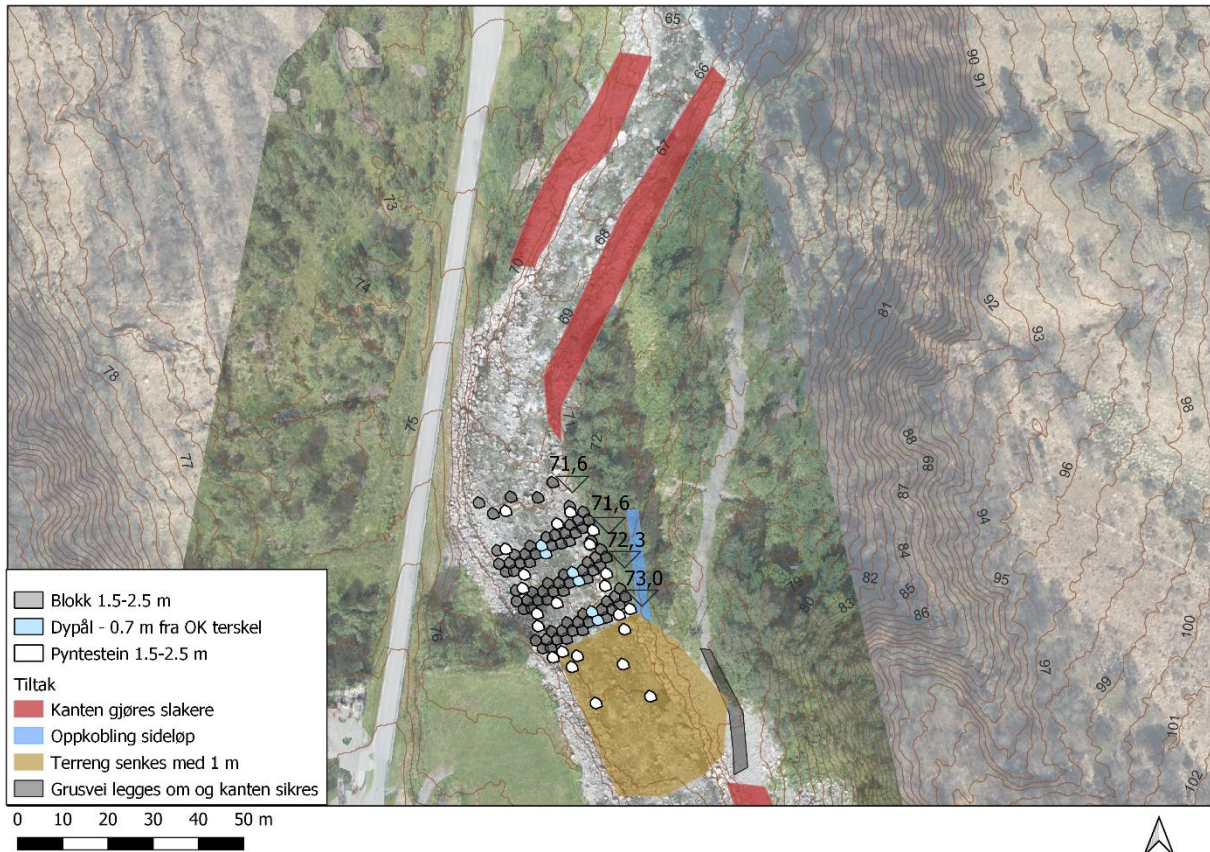
Høyde og helning på voll langs elven reduseres i to områder markert med rødt i **figur 28**. Se side 25-26 for detaljer om gjennomføring. Merk at erosjon er i ferd med å true grusveien langs vestre bredd på enkelte punkter oppstrøms veibroen; steinsetting bør her vurderes. I tillegg vurderer vi at det på sikt kan være risiko for skader på brofundamentene, ettersom elven har gravd seg betydelig dypere i terrenget i området rundt broen.



Figur 28. Tiltaksskisse for strekningen mellom site 6 og site 7. Se teksten for detaljer.

Site 7 og sideløp G

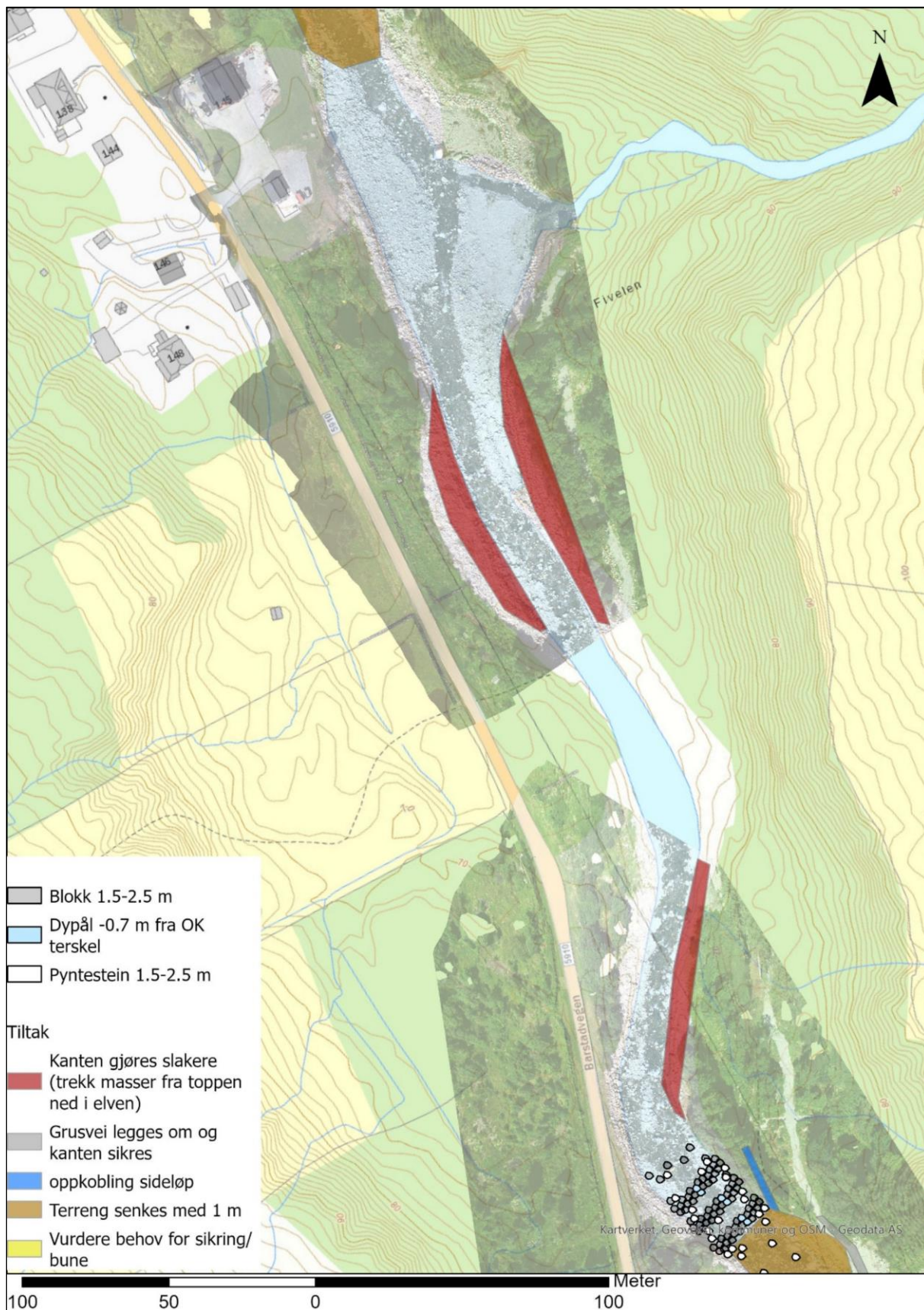
Gyteområde etableres etter samme prinsipper som ved site 1. Sideløp G åpnes ved utgraving til kote 72.8 over 20 m lengde øverst i sideløpet, slik at det sikres helårig vannføring. Tiltaket vil også avlaste hovedelven for energi og sedimenter i flommer, hvilket vil redusere erosjonsrisiko for fylkesveien på motsatt elvebredd. Her er sikringen allerede delvis rast ut langs bilveien, og fylkeskommunen har planer om å reparere denne. Gangveien langs østre bredd må legges om et lite stykke og sikres med stein, ettersom elvebredden skal økes i dette området (**figur 29**).



Figur 29. Tiltaksskisse site 7 og sideløp G. Høyde på terskelkroner (moh.) er angitt. Se teksten for detaljer.

Mellom site 7 og site 8

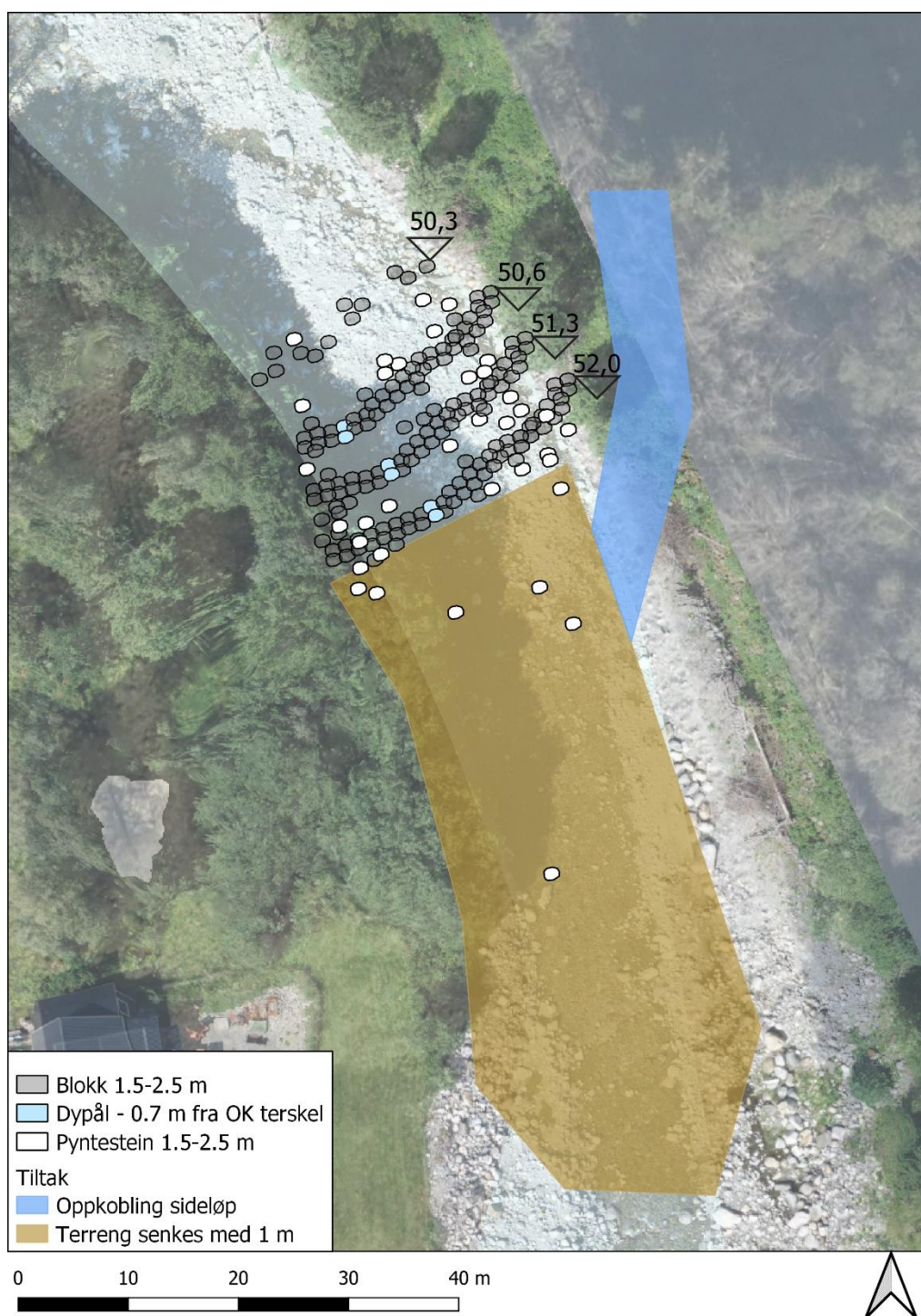
Høyde og helning på voll langs elven reduseres i områder markert med rødt i **figur 30**. Ytterligere fjerning av voll mellom dem to områdene på østre bredd vil være gunstig, men gangveien må i så tilfelle flyttes lenger bort fra elven. Se side 25-26 for detaljer om gjennomføring.



Figur 30. Tiltaksskisse for strekningen mellom site 7 og site 8. Merk at en forlengelse av tiltakstype C mellom de to røde feltene langs østre bredd vil være gunstig for å tilkoble flomsletten sørøst for Tverrelva/Fivelen, men at gangveien da kan bli spylt bort i store flommer. Se ellers teksten for detaljer.

Site 8 og sideløp H

Gytemråde etableres etter samme prinsipper som ved site 1. Sideløp H åpnes ved utgraving over 20 m øverst i sideløpet til kote 52.5 (**figur 31**), men dette sideløpet vil ikke bli vanddekket bortsett fra ved flom i hovedelven. I stedet åpnes løpet med formål å avlaste hovedelven for energi og sedimenter i flommer. En del store steiner legges langs østre bredd av sideløpet for å sikre at vannet følger den dypeste forsenkningen i terrenget (se **figur 13**) og slik forhindre at flomvann tar tak i den høye løsmasse-terrassen i øst.



Figur 31. Tiltaksskisse site 8 og sideløp H. Høyde på terskelkroner (moh.) er angitt. Se teksten for detaljer.

Sideløp I

Alternativ A

Alternativ A er et rent restaureringstiltak, der en stor tørrlagt flomslette «gis tilbake» til elven. NVE-forbygningen fjernes langs vestre elvebredd på en strekning på 770 m (**figur 32**). En del av de største steinblokkene fra forbygningen kan legges ut i steingrupper her og der i hovedelven, samt spredt langs vestre bredd for å etablere en mer naturlig elvebredd med slak helning og samme høyde som terrenget bak dagens forbygning. Høydeforskjellen mellom dagens forbygning og terrenget bak varierer fra ca. 70 til 150 cm. Ved å senke vestre elvebredd tilsvarende legges det til rette for at elven kan grave seg inn i terrenget på høy vannføring, samt at forgreininger av sideløp på vestre flomslette kan finne veien ut i hovedelven.

Øverst på den aktuelle strekningen ledes vann inn i et tidligere sideløp ved å styrke eksisterende terskel og grave ut øvre del av sideløpet (**figur 33**). Høyde på start av sideløp må være noe lavere enn terskelkronen, for å sikre vanntilførsel til sideløpet på de laveste vannføringene.

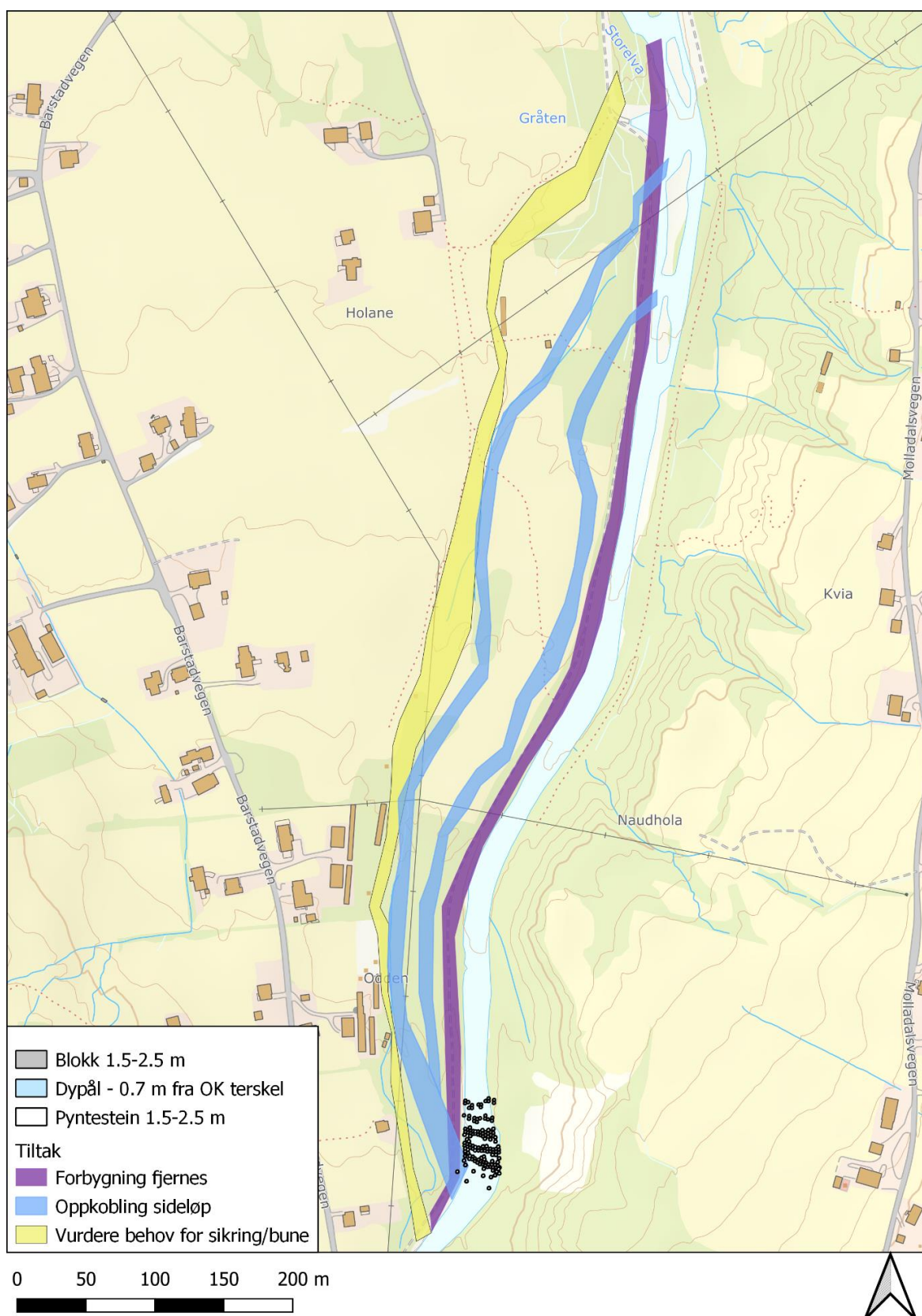
Videre graves topplaget av jord og trær bort fra det dypeste sideløpet, helt ned til punktet der det opprinnelig rant tilbake til hovedelven (**figur 32**). Avhengig av hvilke masser som avdekkes når man graver ut sideløpet, må det vurderes om man skal la elven gjenskape fiskehabitat på egen hånd, eller om det er behov for å tilføre grus og stein for å skape høler, svinger, brekk og gyteplasser. Dersom det er behov for å tilføre masser kan disse hentes fra vollene langs hovedelven, samt fra forbygningen som rives. Det må ikke graves dypere enn opprinnelig elvebunn i sideløpet, og leire må ikke eksponeres. Opprinnelige forgreininger av sideløpet trenger i utgangspunktet ikke å graves ut, men det er ønskelig at elven får grave fritt i alle slike gamle elveløp i det som vil bli en restaurert flomslette.

For å sikre vei, bygninger og dyrket mark vest for flomsletten mot flom- og erosjonsrisiko, bør behovet for et langsgående sikringstiltak vurderes av ingeniør med kompetanse på området. I **figur 32** har vi indikert med gul strek omtrent hvor et slikt sikringstiltak bør plasseres; like øst for elveterrassen som tidligere er formet av elven. All infrastruktur og dyrket mark (med unntak av et skur og det som trolig er en tidligere minkfarm ved Holane) befinner seg i dag oppå denne terrassen, hvilket betyr at en restaurert elv kan ha egendynamisk utvikling på hele den flate flomsletten mellom terrassen og dagens hovedløp. Flommer vil da bre seg over store deler av flomsletten, og elven vil lage nye svinger og sideløp etter hvert som den graver og legger fra seg sedimenter ulike steder i fremtidens flommer. Terrassen sikres mot erosjon der nødvendig, fortrinnsvis med heterogen og tilbaketrukket steinsetting (se Pulg mfl. 2017).

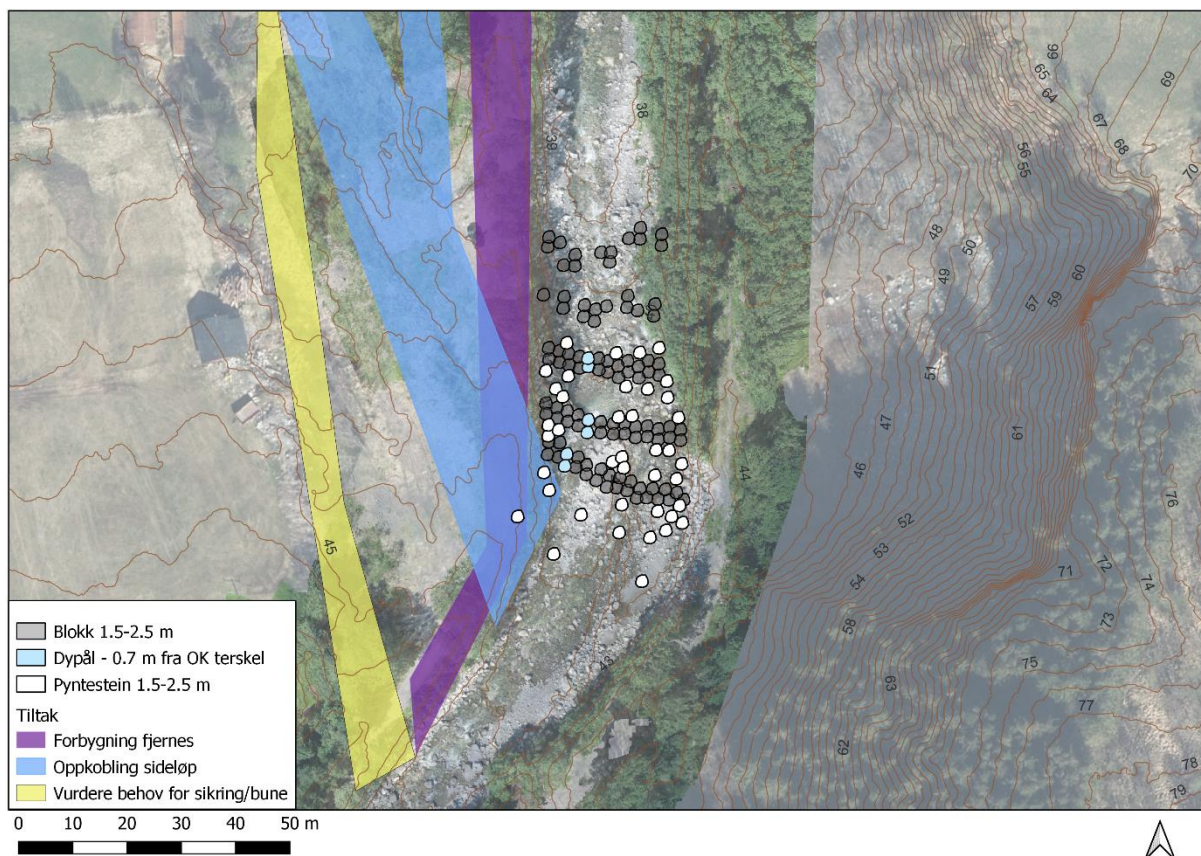
Formålet er å unngå at elven graver i selve terrassen eller flommer videre mot vest og nord i stedet for å renne tilbake til hovedelven ved Gråten. Stein fra forbygningen som fjernes fra hovedelven kan benyttes til denne sikringen.

For å erstatte dagens elvesti, som går på toppen av eksisterende forbygning langs vestre elvebredd, foreslår vi at en ny elvesti legges på relativt høytliggende områder gjennom den nye flomsletten, med enkle gangbroer eller rekker av steinblokker som krysningspunkter over

elveløpene. Turgåere vil da bevege seg i restaurert og dynamisk elvenatur, og det kan for eksempel settes opp informasjonsskilt om fisk, flomsletter og restaureringsprosjektet.



Figur 32. Tiltaksskisse for hele sideløp I. Topplag av jord graves bort i det vestre av de to blå løpene i figuren, og eventuelt også de øverste 200 m av det østre blå løpet. Se ellers teksten for detaljer.



Figur 33. Tiltaksskisse for innløpet til sideløp I. Se teksten for detaljer.

Alternativ B

Et alternativ til fullskala restaurering av flomsletten er å bevare dagens elveforbygning, men å slippe en kontrollert vannmengde inn i sideløp I. Miljøgevinsten av et slikt habitattiltak vil være betydelig, men langt mindre enn i alternativ A. Fiskehabitat kan tilrettelegges i sideløpet, men det må designes og bygges en inntaksanordning som sikrer en kontrollert vannmengde inn i sideløpet på alle vannføringer, hvilket krever detaljprosjektering av ingeniør og sannsynligvis hyppig vedlikehold etter flommer. Behovet for erosjonssikring vest for sideløpet reduseres i alternativ B, men det vil fortsatt være nødvendig å etablere sikring langs deler av sideløpet, spesielt nær bygninger og i området der sideløpet svinger tilbake mot hovedelven.

Uavhengig av om man velger alternativ A eller B, anbefales det å lede en bekk ned mot sideløpet, som illustrert i **figur 34**. Dette vil sikre et minimum av vannføring inn i sideløpet i tilfelle innløpet fra hovedelven skulle bli tilstoppet etter flom. Vann fra bekken kan ledes mot nord gjennom et nedgravd rør, og deretter åpent i dagen i en grøft mot nordøst. Total lengde på rør pluss grøft bør være ca. 60 m. Denne bekken har sannsynligvis opprinnelig rent gjennom sideløp I og i nyere tid blitt ledet direkte ut i hovedelven. Røret som legges ned i bekken må legges dypt nok til at alt vann renner inn i røret på lave vannføringer, men på høy vannføring kan overskuddsvann renne direkte mot hovedelven som i dag.



Figur 34. Pilen indikerer hvor et rør kan graves ned for å lede vann fra en bekk ned i sideløp I. Nordre del av overføringen kan eventuelt utformes som grøft.

Det kan også vurderes å gjøre habitattiltak og sikringstiltak i hovedelven langs sideløp I, men behovet for dette avhenger av om man velger alternativ A eller alternativ B for sideløpet. Elveeierlaget er bekymret for økende innskjæring langs østre bredd, der elvebunnen har senket seg og på sikt kanskje kan undergrave forbygningen. Dette kan kompenseres for ved å legge ut store steinblokker som styrer strømmen bort fra land og stabiliserer elvebunnen i områder preget av innskjæring. Dersom problemet vedvarer kan det bli nødvendig å forankre sikringsfoten i elvebunnen på nytt, men gjennomføring av alternativ A vil redusere sannsynligheten for dette. Habitattiltak er på denne strekningen (Odden til Gråten) i utgangspunktet ikke prioritert dersom man velger alternativ A for gjenåpning av sideløp I, men dersom vestre elveforbygning ikke rives anbefales det å lage en plan for habitattiltak på denne strekningen. En slik plan bør inkludere utplassering av størst mulig steinblokker (enkeltvis og i grupper) for å skape små flater og kulper der gytegrus kan ligge stabilt. Terskler anbefales ikke.

6.2 Prioritering av tiltak

Ørsta kommune har bedt NORCE lage en prioriteringsliste for de foreslåtte tiltakene, i tilfelle man i første omgang ikke får finansiert samtlige tiltak. Prioriteringslisten er presentert i **tabell 2**. Effektene av mange av tiltakene er imidlertid avhengige av hverandre, slik at ekskludering av ett tiltak kan redusere den positive virkningen av et annet som ligger høyere på listen. I tillegg kan man vurdere å redusere omfang eller utstrekning av noen av tiltakene, men slike avveininger må gjøres i budsjetteringsfasen. Kost/nytte-avveininger bør også ta hensyn til at det vil være billigere å gjennomføre tiltakene innenfor et kort tidsrom enn delt i mange etapper, og at noen av tiltakene innebærer bruk av stein og grus som blir til overs under gjennomføring av andre tiltak. Rene sikringstiltak er ikke nevnt i tabellen, som altså kun omhandler restaureringstiltak og habitattiltak.

Tabell 2. Prioriteringsliste for restaurerings- og habitattiltak i Barstadvikelva. Tiltakene er nærmere beskrevet i kapittel 6.1. Bokstaver i parentes viser til tiltakstyper beskrevet i kapittel 5.3. «Figur #» viser til hvilken figur i rapporten som illustrerer tiltaket.

Prioritet	Lokasjon	Tiltak	Figur #
1	Odden – slutt dyrka mark (2,1 km)	Tilbakeføre utgravde masser (C)	23, 25, 26, 28, 29, 30
2	Site 6	Justere tiltak utført i 2020 (A+B)	27
3	Odden – Gråten	Restaurere flomslette, fjerne forbygning, gjenåpne sideløp I (B+D)	32, 33, 34
4	Site 1	Terskler, gjenåpne sideløp (A+B)	20, 21
5	Site 5	Terskler, gjenåpne sideløp (A+B)	26
6	Site 2	Terskler (A)	22
7	Site 7 + 8	Terskler, gjenåpne sideløp (A+B)	29, 31
8	Dyrøya	Delvis gjenåpne sideløp A	18
9	Barstadsætra (340 m)	Tilbakeføre utgravde masser (C)	17
10	Site 4	Terskler for å gjenåpne sideløp (A/B)	24
11	Fyrselva	Overføre vann til sideløp A	18, 19

6.3 Fremdriftsplan og vedlikeholdsbehov

Strukturene som bygges i elven er miljøtiltak som vil ha behov for vedlikehold med gjentakintervall som tilsvarer vedlikeholdsbehovet for forbygninger som tidligere er bygget langs elven. Terskler vil på et eller annet tidspunkt bli ødelagt eller endret i forbindelse med flom, sedimentering eller at elven tar nye løp. Det anbefales derfor at miljøtiltakene overvåkes og vedlikeholdes, på samme måte som for forbygninger og andre sikringstiltak. Så lenge restaureringen medfører at elven i fremtiden selv kan skape nye gyteområder, sideløp og andre habitater på naturlig måte, vil det ikke være behov for ytterlige tiltak, og vedlikeholdsbehovet vil avta over tid. På lang sikt kan det aksepteres at terskler og andre tiltak ødelegges, så lenge elven gis rom til selv å skape nye gyteområder, sideløp og andre habitater.

Fremdriftsplan

Tiltakene bør i hovedsak utføres i perioden 1. juni – 15. september, for å unngå skade på fiskerogn og yngel som ligger i elvegrusen i oktober – mai. Det anbefales å starte øverst og jobbe seg nedover elven, da tiltakene kan utløse en del massetransport. Tiltak som terskler og gjenåpning av sideløp er sårbare for erosjon og sedimentering i de første flommene, og tiltakene bør derfor evalueres og justeres ett til to år etter utførelse. Det antas at arbeidet vil gå over to-tre år, hvilket gir mulighet til justeringer av utførte tiltak påfølgende år.

Vedlikehold av tiltak

Det bør også settes av penger til mer langsiktig vedlikehold av de viktigste tiltakene. Dette gjelder spesielt sideløp B, F og I, som bør gjenåpnes umiddelbart dersom de tettes igjen. Ettersom denne typen vedlikehold har et element av hastverk (fisk kan bli stående fast i tørrlagte sideløp), anbefales det at det legges av en pott med penger som kan brukes til rask gjenåpning av tilstoppede sideløp i alle fall de første årene. I tillegg bør det første tiåret påregnes vedlikehold av de best fungerende gyteområdene i forbindelse med at terskler ødelegges eller at gytegrusen spyles ut eller tildekkes. Hvilke gyteområder som fungerer best, må evalueres de første årene etter tiltak. Site 6 har allerede vist seg å fungere relativt godt, men bør vedlikeholdes og eventuelt justeres ved behov.

Sedimentforvaltning

I appendix-rapporten er det gjort en modellering som viser hvor langs Barstadvikelva man kan forvente at mye av løsmassene legger seg etter flommer. Slik sedimentering i og langs elven er en naturlig prosess. Dersom det i forbindelse med tiltaksarbeidet, eller i store flommer, legger seg svært mye løsmasser på disse punktene, kan det likevel bli aktuelt for elveeierlaget å fjerne noe av massene med ujevne mellomrom. Dette gjelder i første rekke det brede området ved Tverrelva, hvor det i dag allerede ligger mye løsmasser. Masser som har lagt seg opp øst for dypålen ved Tverrelva, og som ligger tørt ved middels vannføring, anbefales fjernet før oppstart av tiltak lenger oppe i elven, for å øke sedimenteringskapasiteten. Dersom det på ny legger seg opp mye masser her de første årene etter tiltaksgjennomføring, kan de på nytt fjernes fra dette området.

Man kan også forvente at elven legger fra seg løsmasser mellom Gråten og E39; noe tørrlagte løsmasser kan her fjernes dersom massene vurderes å utgjøre en risiko for veibroen, men dette bør avklares med biolog i forkant ettersom rabber og øyer kan ha viktige økologiske funksjoner. Området ved site 5 og 6 er også utpekt som et sannsynlig sedimenteringsområde, og dersom store mengder løsmasser legger seg på eller like oppstrøms disse gyteområdene bør disse fjernes. Dersom løsmasser sedimenterer i sideløp er dette i utgangspunktet gunstig, men løsmasser som tetter igjen innløpet til sideløp kan gjerne flyttes.

7. Referanseliste

- Aastad, J. & Sognen, R. 1954. Discharge measurements by means of a salt solution, the relative salt dilution method. Pp. 289-292 i: International Association of Scientific Hydrology Publication No. 38, Assemblé Internationale d'Hydrologie de Rome. Vol. 3.
- Anon. 2015. Status for norske laksebestander i 2015. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 8, 300 s.
- Anon. 2021. Flomberegning for Barstadvikelva i Ørsta kommune, Møre og Romsdal (095.4Z). NVE, notat 22.08.2021, NVE 202113549-3, 8 s.
- Day, T.J. & Day, T.T. 1977. Field procedures and evaluation of a slug dilution gauging method in mountain streams. *Journal of Hydrology* 16(2): 113-133.
- Forseth, T. & Harby, A. (red.). 2013. Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag. NINA Temahefte 52, 90 s.
- Hauer, C. & Pulg, U. 2018. The non-fluvial nature of Western Norwegian rivers and the implications for channel patterns and sediment composition. *Catena* 171: 83-98.
- Kambestad, M., Sikveland, S.E. & Furset, T.T. 2020. Fiskebiologiske undersøkelser i Barstadvikelva i 2019. Rådgivende Biologer AS, rapport 3136, 16 s.
- Kambestad, M., Hanssen, E.M., Wiers, T., Postler, C. & Normann, E.S. 2021. Bestandsovervåking av laks og sjøørret i elver på Sunnmøre høsten 2020. NORCE LFI, rapport 417, 105 s.
- Pulg, U., Barlaup, B., Skoglund, H., Velle, G., Gabrielsen, S.-E., Stranzl, S., Espedal, E.O., Lehmann, G.B., Wiers, T., Skår, B., Normann, E., Fjeldstad, H.-P. & Kroglund, F. 2018. Tiltakshåndbok for bedre fysisk vannmiljø: God praksis ved miljøforbedrende tiltak i elver og bekker. NORCE LFI, rapport 296, 195 s.
- Pulg, U., Hauer, C., Floedl, P., Skoglund, H., Postler, C., Stranzl, S., Espedal, E.O. & Velle, G. 2020. Flom og miljø i et endret klima. Verktøy til en naturbasert klimatilpasning. Statusrapport 2020. NORCE LFI, rapport 381, 53 s.
- Pulg, U., Stranzl, S. & Olsen, E. 2017. Mer miljøvennlige erosjonssikringstiltak. Uni Research LFI, notat 3/2017.

8. Appendix A – Hydraulic modelling

NORCE Norwegian Research Centre AS,
[919 408 049],

Represented by LFI - The Laboratory for
Fresh water ecology and inland fisheries

client:



technical report

Kartlegging og prosjektering av miljøtiltak Barstadvikelva – Hydraulic modelling
Appendix to the final report

authors:

Dipl.-Ing. Dr. Christoph Hauer &

Dipl.-Ing. Peter Flödl

Hauer Hydraulic Consulting (HHC)

Promenadegasse 29/1/7

1170 Vienna, Austria

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Christoph Hauer'.

Kontrolle:

Dr. Christoph Hauer

Freigabe:

Revision-nr:	notes	date

date: 25.03.2022

Revision-nr: 0

Commissioned by:

NORCE Norwegian Research Centre AS

Nygårdsgaten 112

5008 Bergen, Norway

client contact:

Marius Kambestad

Author address:

Hauer Hydraulic Consulting

Promenadegasse 29/1/7

1170 Vienna

Austria

Authorship:

Dipl.-Ing. Dr. Christoph Hauer & Dipl.-Ing. Peter Flödl

Supportive field- and modelling work:

Marius Kambestad

Sebastian Stranzl

Suggested citation: Hauer, C., & Flödl, P. (2022). Kartlegging og prosjektering av miljøtiltak Storelva Barstadvik – Hydraulic modelling; Appendix to the final report, commissioned by NORCE, 31 pp.

Contents

1. BACKGROUND	4
2. AIMS	4
3. METHODOLOGY	4
3.1. Hydrodynamic-models	5
3.2. Data basis and calibration	5
3.3. Model Data	7
3.4. Substrate analysis based on 2D-modelling	8
3.5. Implementation of restoration measures	8
4. RESULTS	9
4.1. Determination of habitat suitability	9
4.2. Hydraulic modelling 2D	10
4.3. Hydraulic modelling and bathymetric adjustments 1D modelling	11
4.4. Validation of connectivity and bed stability by 2D hydraulic modelling	14
5. CONCLUSIONS AND FINAL REMARKS	17
6. APPENDIX	20

1. Background

The availability of suitable sites for spawning are well known to serve as bottlenecks in terms of a requested sustainable establishment of Atlantic Salmon populations (Armstrong *et al.*, 2003; Hauer *et al.*, 2020; Louhi *et al.*, 2008). Many studies have been already published concerning potential spawning habitat restoration (e.g. Barlaup *et al.*, 2009; Hatanpää *et al.*, 2021; Hauer *et al.*, 2015; Jonsson & Jonsson, 2009). For spawning habitat restoration, it is important to consider both the availability of spawning gravel via erosion and transport through the catchment (or in terms of lacking the artificial deposition) and the stability of the suitable sediments in terms of high flows. Thus, spawning habitat restoration is complex concerning sediment dynamics (transport, deposition and stability in terms of high flows) and hydraulics (suitable for spawning during low flows) (e.g. Forseth *et al.*, 2017).

For the Barstadvikelva, the availability of suitable spawning gravel in the catchment is not limited via geological constraints or longitudinal interruptions of the sediment continuum. This was validated during a field trip in October 2021. It could be detected, that suitable spawning gravel was frequently deposited along the banks (sometimes on both sides), however, outside the low-water channel. These indications concerning transport capacity were important for determining the aims and selected methodological steps to improve the situation for the entire river.

2. Aims

The aim of this appendix report is to describe the various methodological approaches, which have been set from a hydraulic engineering point of view, to fulfil the overall goals of the restoration work at the Barstadvikelva. In this report, the applied modelling principles are described as well as the main outcomes in detail, which determine the physical principles of the requested bathymetric changes to increase the potential for Atlantic Salmon spawning (see main report). It is targeted with the presented concepts of adjustments of the river geometry, to establish (i) self-forming spawning habitats by deposits of transported gravel in the main channel during high-flows (in areas which are suitable concerning flow velocity and water depth during low-flows) and (ii) connectivity to abandoned secondary channels as potential spawning and rearing habitats, or as flood plains to reduce shear stress in the main channel.

3. Methodology

Various methods have been applied to achieve the requested overall aim of the project. They are based on hydrodynamic-modelling 1D and 2D and further linked to habitat suitabilities for Atlantic Salmon spawning. The **novel aspect** of this project is given by two approaches: (i) the habitat suitability of Atlantic Salmon (reference conditions) is determined via hydromorphological characterization based on energy slope and the river morphological type on the local scale and (ii) the multiple adjustment to achieve reference conditions via adaptation of both the longitudinal gradient as well as the lateral characteristic of the sites of interest.

3.1. Hydrodynamic-models

A central methodological approach of this project was the integration of hydrodynamic models. In the following chapter, the underlying formulas are explained and applied software packages are described.

In this study the numerical flow modelling is carried out on the basis of the Navier-Stokes equations. The general form of the Navier-Stokes equations for the conservation variable ϕ can be written in coordinate-free form for an incompressible fluid as follows:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \nabla \cdot (u\phi) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla \phi) + S_\phi$$

The quantity ϕ takes the value 1 for the conservation of mass, the velocity u for the conservation of momentum and the energy height h for the conservation of energy (Versteeg & Malasekera, 2007). The diffusion coefficient in the momentum conservation equations is calculated as follows:

$$\Gamma = \rho \cdot (v + v_{eff})$$

The density of water is assumed to be $\rho = 1000 \text{ kgm}^{-3}$ and the kinematic viscosity $\nu = 1,31 \times 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. The effective viscosity v_{eff} is determined with a turbulence model.

Sources and sinks enter the equation via the source term S_ϕ . In the momentum conservation equation in particular, pressure forces enter the equation via the source term as follows:

$$S_\phi = \frac{1}{\rho} \cdot \nabla p$$

In the 1D models, the mass and energy conservation equations are solved numerically with the software HEC-RAS (Brunner, 2016). For the 2D modelling the software package Hydro_AS-2D was used. The pre and post processing of the survey data, the digital terrain models, as well as their calculation results were processed, evaluated and presented using QGIS, and SMS (Aquaveo).

3.2. Data basis and calibration

As a data basis, several terrain datasets were combined and processed for the hydrodynamic modelling. These included: (i) laser scan data (<https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>, year 2017), (ii) survey data (cross-section survey with dGPS, year 2021) and (iii) UAV data (terrain model from drone orthophotos, year 2021). The LiDAR data from 2017 and drone data from 2021 were qualitatively checked in a first step and then corrected for height, using selected control points (Figure 1 a,b). The average height error between the two models was less than 5 cm. The pool of the existing spawning ground (used as a reference site) was height corrected with the dGPS survey data (Figure 1 c,d).

The hydrological parameters and discharges were calculated and provided by NVE (Flomberegning for Barstadvikelva i Ørsta kommune, Møre og Romsdal (095.4Z) (date: 22.08.2021)). Table 1 shows the QM-Q200 discharges used for the modelling (1D models and 2D models).

Table 1: The flows calculated by NVE QM-Q200 (Source: Flomberegning for Barstadvikelva i Ørsta kommune, Møre og Romsdal (095.4Z) (date: 22.08.2021)).

	Areal	QM		Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
	km ²	l/s·km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Barstadvikelva, kulminasjon	29.7	1300	38.6	46.7	54.4	62.2	74.1	84.5	96.5
Barstadvikelva, kulminasjon + 20% klimapåslag	29.7	1560	46.3	56.0	65.3	74.6	88.9	101.4	115.8

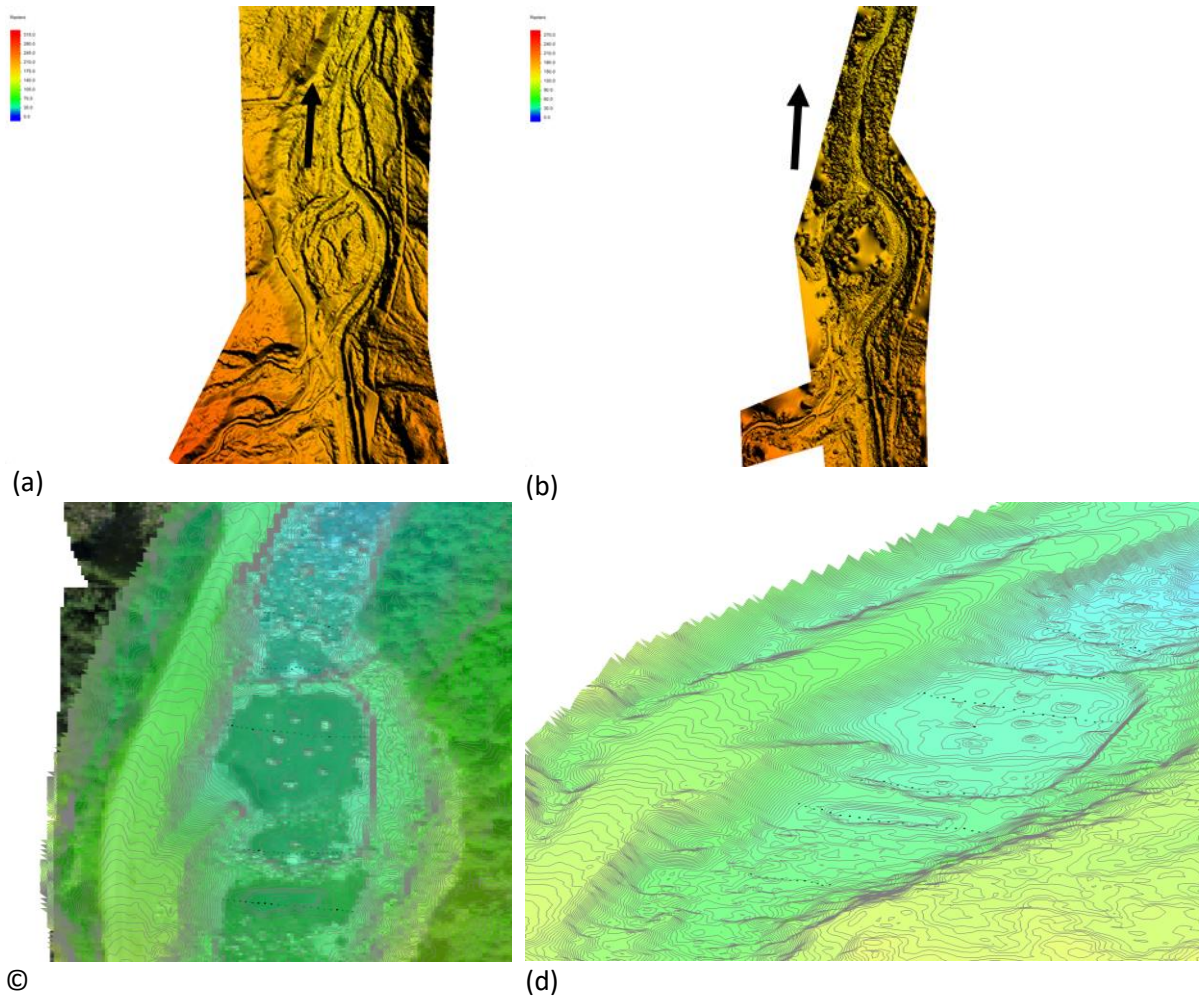


Figure 1: Terrain data of the upper river reach of Barstadvikelva: (a) LiDAR terrain model (<https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>, year 2017) and (b) drone model (2021). Model geometry at the existing spawning site: (c) orthophoto, terrain model and survey data and (d) terrain model facing downstream. The local widening, the sill and the floodplain are clearly visible.

After completion of the terrain model, the 1D & 2D models were calibrated using sensitivity analysis of the channel roughness. For this purpose, the bed roughnesses were modified in the model and the calculated water levels were compared with the measured field data. This was done for low flow ($Q = 0.75 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) and high flow ($Q = 38.60 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). The data for the calibration could be derived from the drone photos taken at $Q = 0.75 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (July 2021, Q measured by the salt dilution method) and flood marks (October 2021). The mean water level deviation after calibration was less than 5 cm (c.f. Figure 2).

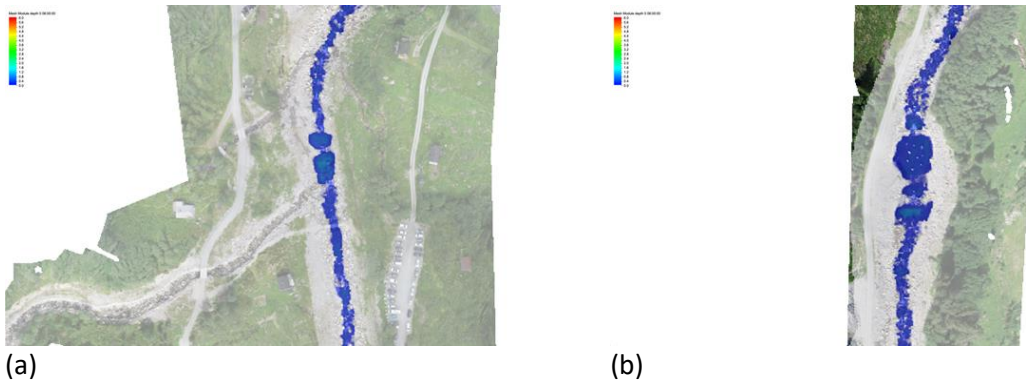


Figure 2: Results of model calibration. Example of two river reaches: (a) upstream part and (b) existing spawning area.

3.3. Model Data

The final terrain model consists of 851809 elements and 857009 nodes (c.f. Figure 3 b). This geometry was used directly for the 2D models. For the 1D model, cross-sections were extracted at a distance of 50 m (c.f. Figure 3a). The width of the cross-sections has been adapted to the morphology (width between 50 - 85 m). In total, 109 cross-sections were created for the 1D modelling.

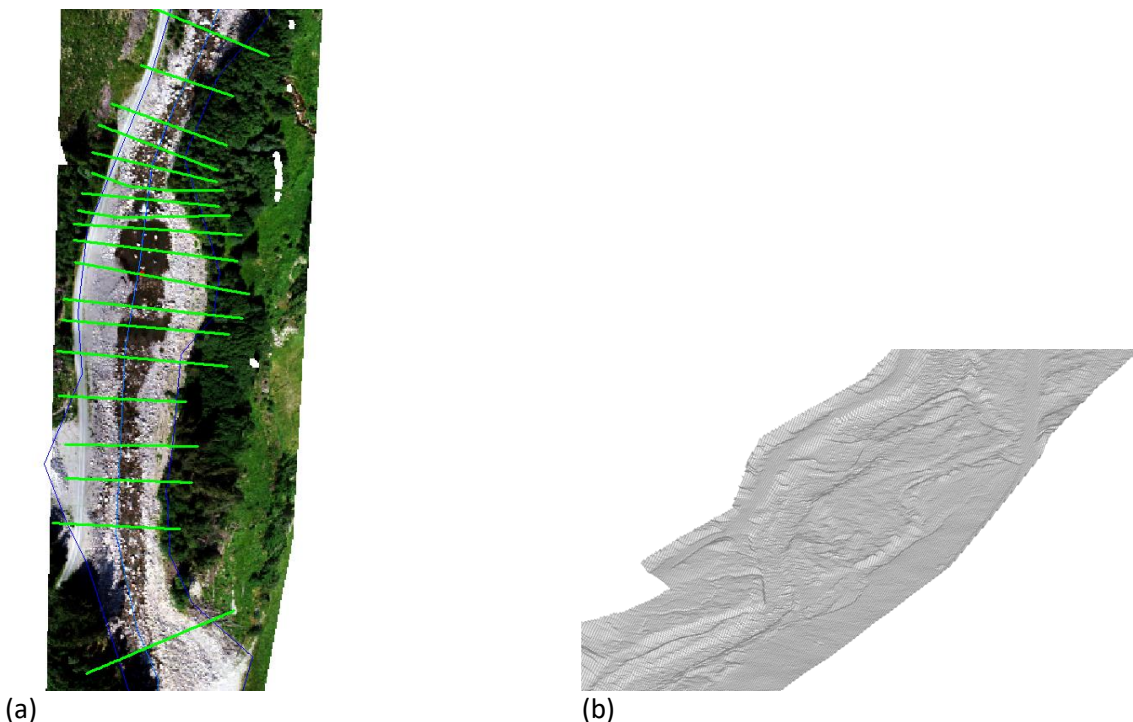


Figure 3: Example sections of the 1D and 2D models: (a) Orthophoto and representation of the cross sections (green lines) and (b) downstream view of a selected river stretch (2D model).

3.4. Substrate analysis based on 2D-modelling

Two methodological approaches were chosen for the analyses of sediment dynamics at Barstadvikelva: (i) erosion risk based on the hydraulic parameters "Flow velocity" and "Froude number" (1D-model), and (ii) substrate stability analysis derived from 2D-model and field data. For the substrate stability analysis, the calculated flow velocities at the existing spawning area were classified into stable and unstable/mobile (Figure 4 b, Table 2). For habitat usability as a spawning area, flow velocities should be between 1,4 and 1,7 ms^{-1} . Afterwards the entire river Barstadvikelva was examined with regard to habitat suitability on the basis of this classification.

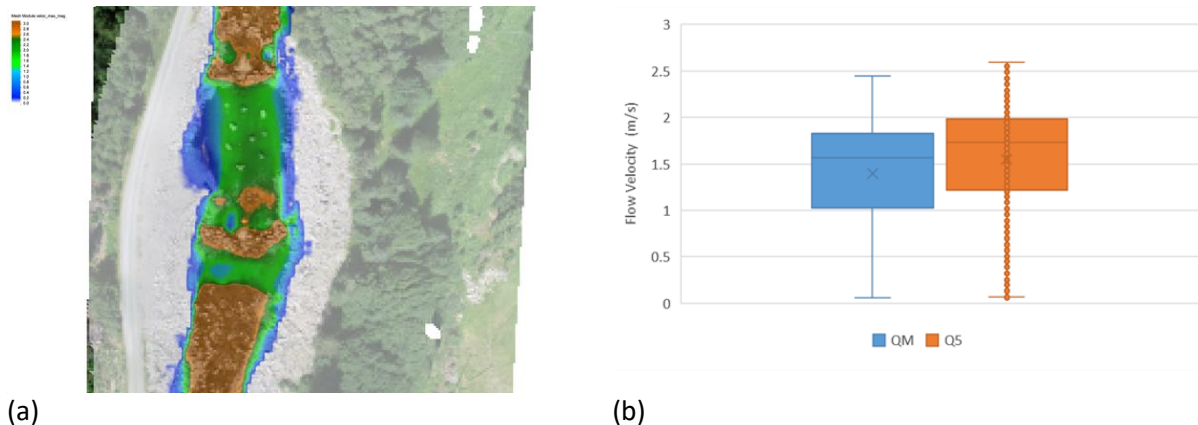


Figure 4: Classification of calculated flow velocities for substrate stability analysis: (a) 2D modelling results (flow velocities 0 - 3 ms^{-1} and (b) boxplot evaluation of local flow velocities (ms^{-1}).

Table 2: Classification of flow rates with regard to substrate stability. For habitat use as a spawning area, flow velocities between 1,4 – 1,7 ms^{-1} are considered as usable.

	QM	Q5
	v (m/s)	v (m/s)
Mean	1.40	1.55
Median	1.57	1.73
Min	0.06	0.06
Max	2.44	2.60

Grain sizes in the Barstadvikelva were measured by ruler application in July 2021. Aim was to characterize the largest grains (D_{max}) of sediment clusters on the river bottom and along the banks. All measurements of grain sizes were the b-axis in centimeters. Each value represents one single boulder. Moreover, GPS waypoints (WP) were implemented to indicate river stretch checked. The derived data were used for calculating the stability of the various sites and cross-validation of the sediment sizes suggested for setting up the restoration measures.

3.5. Implementation of restoration measures

At selected river sections, the (local) geometry was changed in the 1D and 2D models in such a way that suitable fish habitats resulted. For this purpose, the following morphological adaptations were made: (i) modification of the wetted width, (ii) adjustment of the longitudinal profile (bed height over at least two cross sections) and (iii) installation of a sill (terskel). These measures were tested and optimized in the models using a sensitivity analysis. For this purpose, different river widths, river depths and heights of the sills (terskel) were tested separately and combined for each reach. From this, it should be derived which general measures to improve habitat quality are possible and reasonable.

4. Results

In the following chapter, the results of the determination of habitat suitability, hydraulic modelling and investigations on possible spawning site improvement at Barstadvikelva are described.

4.1. Determination of habitat suitability

As it was already stated in the introduction, one of the novelties of the presented project was the development of habitat suitability based on local scale description of reach scale morphology and energy slope. The results of both (i) the remote “river diagnosis” and (ii) the field trip in October 2021 revealed that a reversed “step-pool” concept (compare to Montgomery & Buffington, 1997; Wohl, 2013) should be applied to establish the requested hydraulic boundaries for a successful implementation of goals for suitability (during low-flow) and sustainability (during flood-flows) of spawning areas. The reversed concept has to be labeled as “pool-step” concept and is presented in Figure 5.

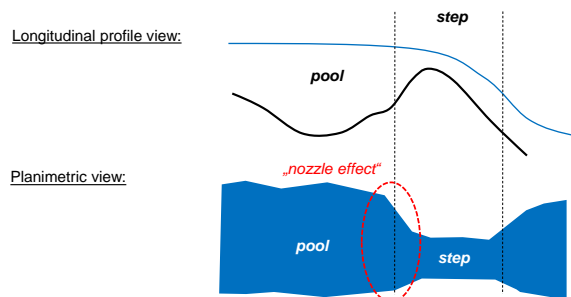


Figure 5: The novel “pool-step” concept as targeted reach scale morphology to achieve habitat suitability and self-forming deposition of spawning gravel.

The impacts on hydraulics due to the bathymetric modifications can be described as follows. Via the changes of longitudinal energy slope due to the implementation of a “step” the overall sediment transport capacity is decreased, thus enforcing transporting gravel to be deposited. This will be further supported by the “nozzle effect” due to the local lateral constriction at the higher discharges. At the same time, the local vertical constriction by the step will establish accelerated flows, which will provide suitable velocities during low discharges (autumn, winter). Based on a “reference site” (Site 6b) the requested energy slope and the constriction could be quantified and are labeled in Figure 6.

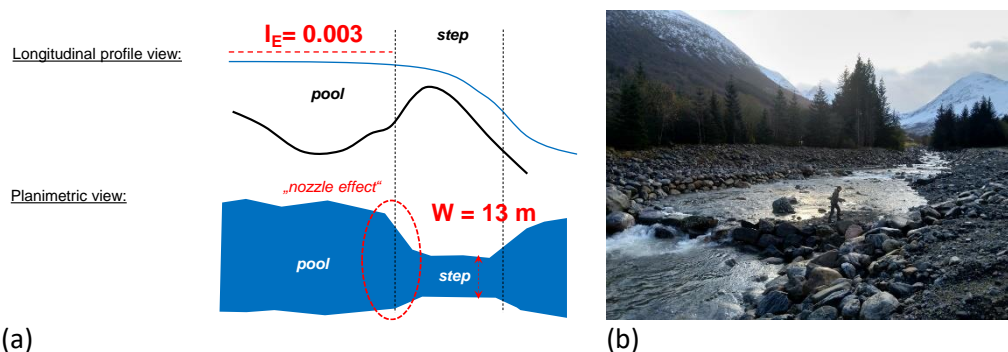


Figure 6: (a) The novel “pool-step” concept as targeted reach scale morphology to achieve habitat suitability and self-forming deposition of spawning gravel including the field validated numbers of requested energy slope at mean-flow (0.003) and constriction of wetted width to 13 m, (b) reference site at the Barstadvikelva (site 6), photo taken during field trip in October 2021.

4.2. Hydraulic modelling 2D

The results of the 2D modelling show good agreement between the calculated wetted area and the wetted area derived from the orthophotos. This agreement was shown for the prevailing discharge conditions of the drone flight ($Q = 0.746\text{m}^3\text{s}^{-1}$). Figure 7 (a, c, e) shows these results for selected river reaches. The 2D modelling also shows the flow velocity distribution for each river reach (Figure 7 b, d, f). The results already show high flow velocities ($v > 1, 5\text{ ms}^{-1}$) at low flow in some river reaches. This indicates high sediment dynamics in these reaches. Local widening to improve spawning habitat generates the lowest flow velocities in Barstadvikelva in the 2D model. The 2D model therefore shows the positive effect of this measure to improve the spawning habitat situation in Barstadvikelva.

Water depth (m)



(a)

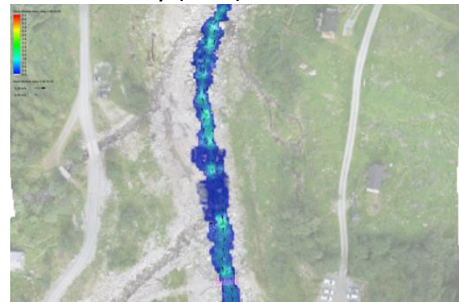


(c)

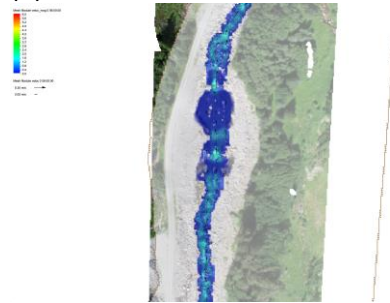


(e)

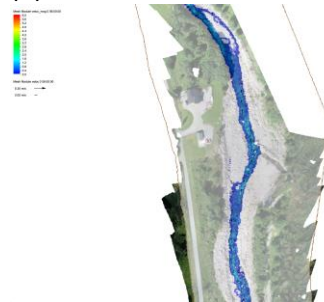
Flow Velocity (ms^{-1})



(b)



(d)



(f)

Figure 7: Results of 2D modelling at discharge $Q = 0,746\text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Representation of water depth distributions (0 – 6 m) in selected river reaches (a, c, e) and corresponding flow velocities (0 – 6 ms^{-1}) (b, d, f).

4.3. Hydraulic modelling and bathymetric adjustments 1D modelling

The 1D models were used for the general analysis of the morphological and hydraulic conditions of Barstadvikelva. For this purpose, selected hydraulic parameters for each flow (QM, Q5, Q10, Q20, Q50, Q100, Q200) were calculated and presented in a longitudinal profile (Figure 9). Figure 9 also shows here the partly very high flow velocities ($v > 4 \text{ ms}^{-1}$) and high Froude numbers. Both hydraulic parameters indicate a currently highly mobile river especially for suitable spawning gravel. The local drop in flow velocities and Froude numbers (at site 2050 m) is due to the adapted river geometry of the existing spawning site, which was identified as a reference site (site 6). With this information the design of the various bathymetry adaptations was possible for the various sites of interest.

Details on the modifications of every single site are found in the Appendix to this report. In this chapter, the main outcomes are presented which underline that it was possible for most sites, due to the various morphological adjustments, to achieve almost equal hydraulic conditions as at the reference site during mean flow conditions (Figure 8). An overview map of all analyzed sites is provided in Figure 9.

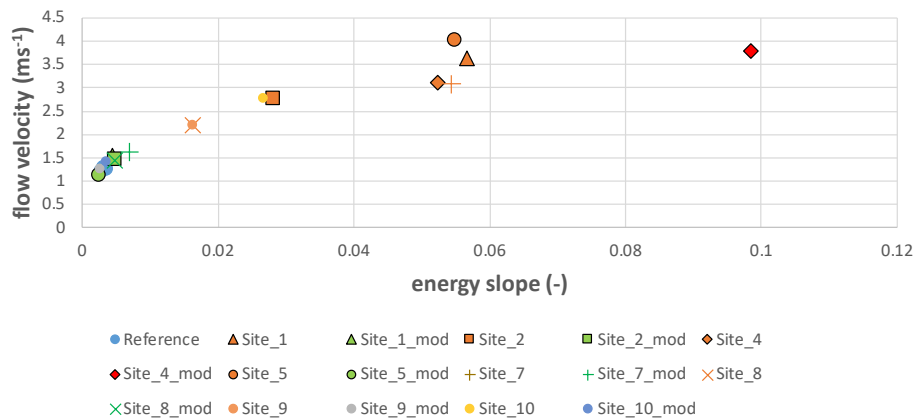


Figure 8: Final results of the adjustment of the river bathymetry in various selected sites.

The modelling outcomes predict that it is possible to establish suitable spawning conditions in the main channel similar to the reference site (site 6) where active spawning of Atlantic Salmon was already documented. This, however, has to be seen as a first step of improvement, as the second aim (re-connection of abandoned side channels for spawning as well as rearing of Atlantic Salmon) must be fulfilled as well. This second aim is initially supported by the implementation of the “step” of the “pool-step concept” to increase the water stage to a level where the secondary channels are inundated during mean flow conditions. These initial inundations can be established, when the following numbers of bathymetric modifications are achieved (Table 3).

Table 3: Channel modifications at the various restoration sites to achieve the requested habitat suitability similar to the reference site and to allow the initial inundation of the secondary channel during mean flow condition (green = reference site).

	Constriction (m)	Terskel height (m)	Terskel crest (m a.sl.)
Site 1	2	0.6	175
Site 2	3.5	0.9	155.5
Site 3			
Site 4	1	1.5	125.5
Site 5	1	1.1	106
Site 6			
Site 7	0	1.2	73
Site 8	0	2	52
Site 9	2	1	51.1
Site 10	2	1	21.3

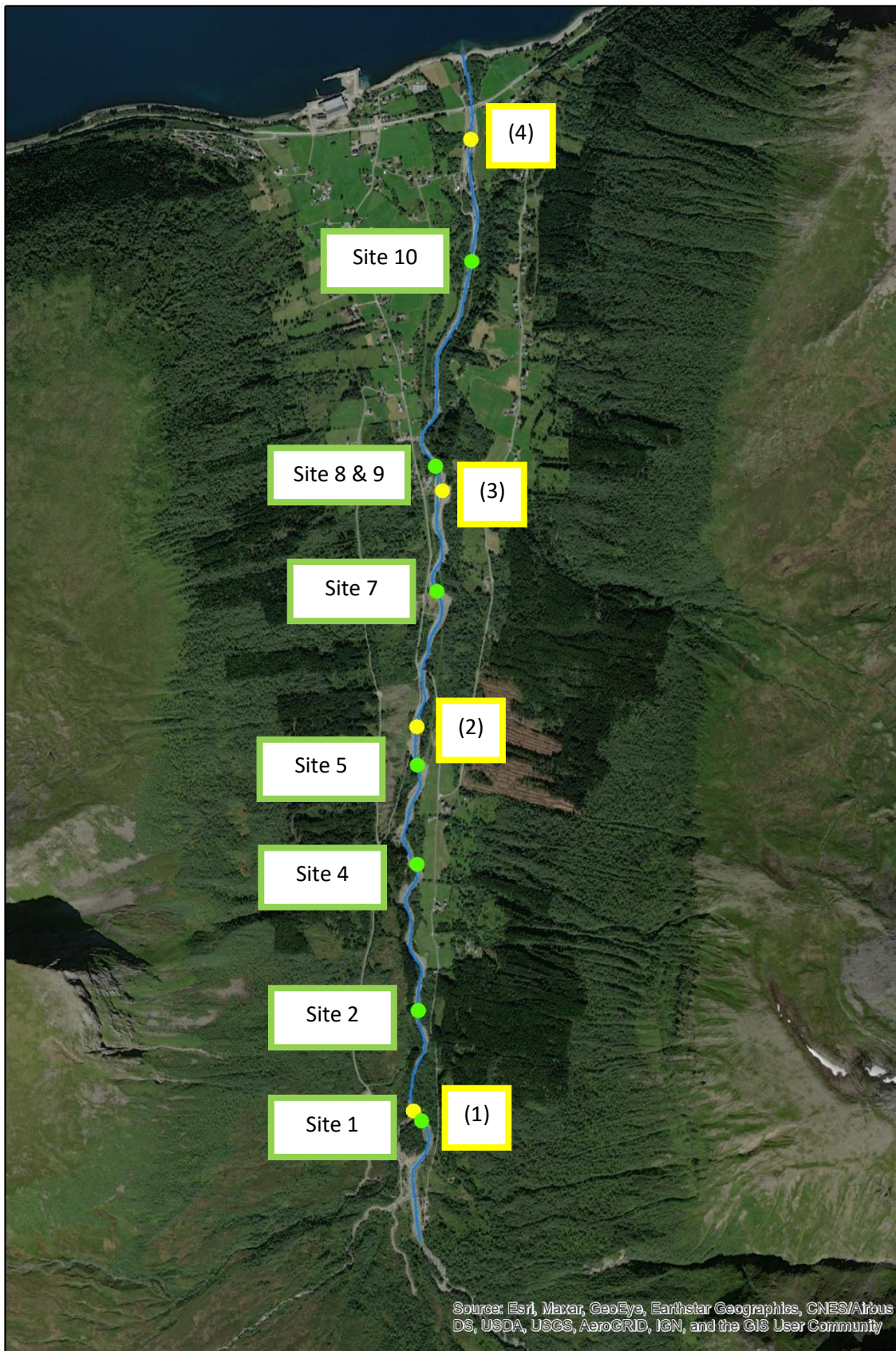


Figure 9: Overview of possible spawning habitat measures (green dots) and potential sediment retention areas (yellow dots).

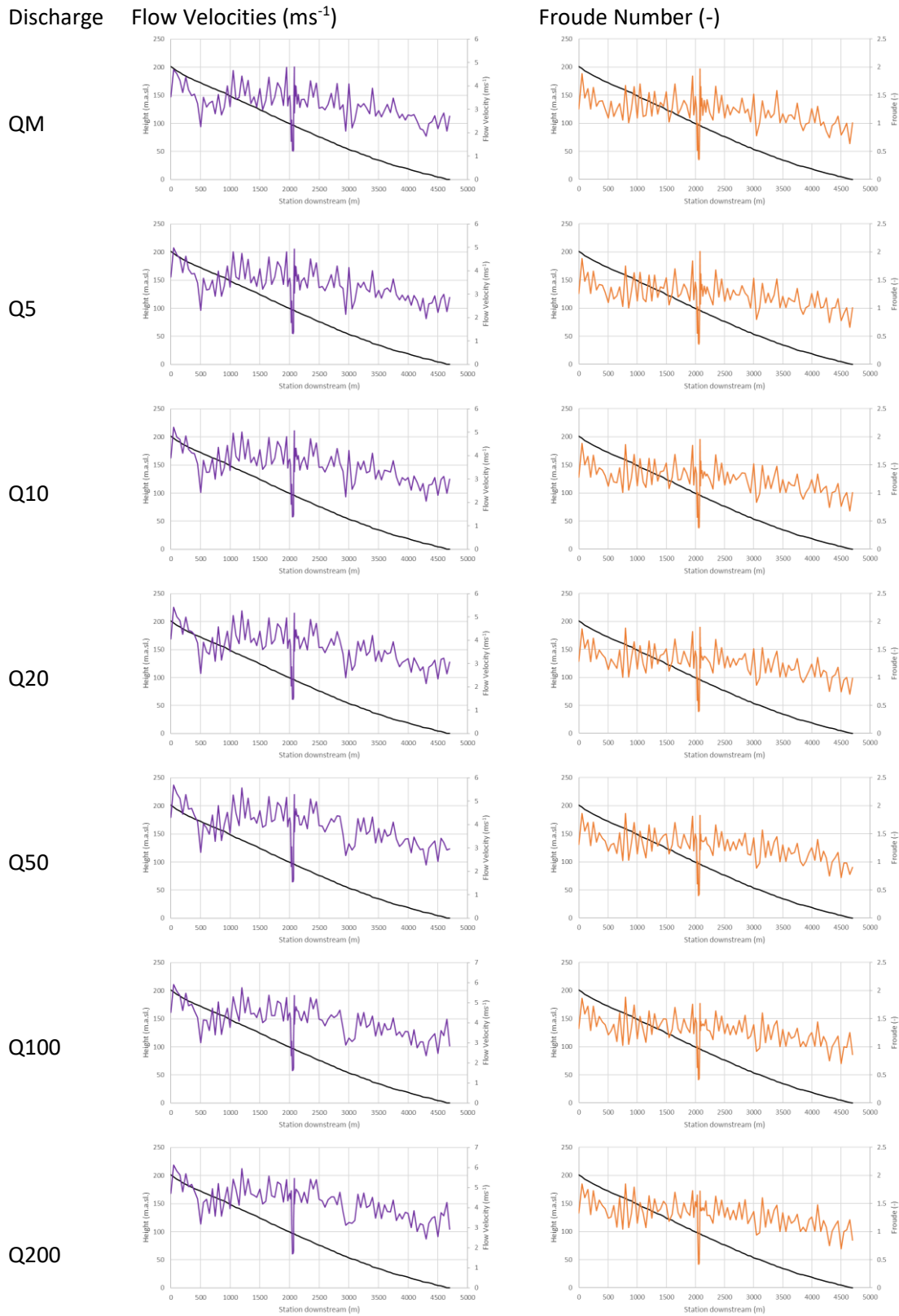


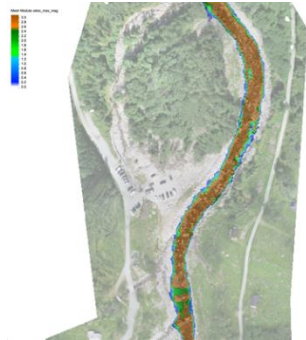
Figure 10: Results of the 1D models: Calculation results of the flow velocities (ms⁻¹) and Froude number (-) depending on the selected discharge (QM - Q200).

4.4. Validation of connectivity and bed stability by 2D hydraulic modelling

The flow velocities in the 2D model were analyzed according to the classification described in the methodological outline of model application for the entire Barstadvikelva. It can be seen that in the upper reach of Barstadvikelva only a few areas do not become mobile at QM and Q5 (Figure 10 a,b). The reaches downstream (Figure 10 c - f) show areas of low flow velocities in the side channels and in some areas close to the banks during mean flow conditions, but most of these areas are not wetted in low flow conditions (e.g., $< 1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). The reaches at Figure 10 h-j again exhibit areas with reduced flow velocities. The reach in Figure 10 k,l is the “reference reach”, for which the 2D modelling underlines the low flow velocities and thus stable substrate conditions. The reaches in Figure 10 m-r show areas with reduced flow velocity depending on the width of the river, whereby especially the reach in Figure 10 o,p functions as a retention area for transported sediments. This was also evident during the field survey in October 2021.

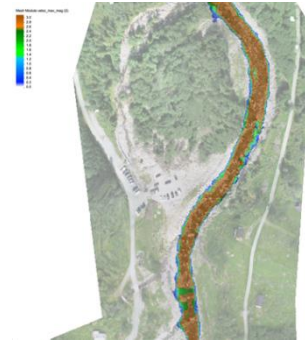
The results of the 2D modelling therefore validated as well that currently only the “reference reach” has sufficient bed and sediment stability to be suitable as a spawning area. There is also a smaller suitable area in the upper part of the river (Figure 10 a,b), between two sills built in the summer of 2021.

Classified Flow Velocities at Discharge QM

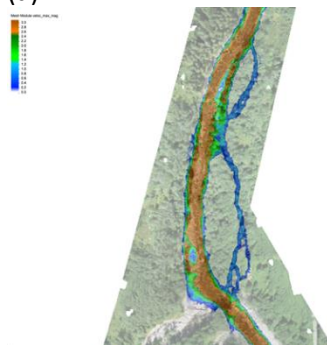


(a)

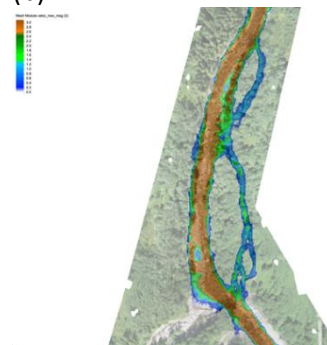
Classified Flow Velocities at Discharge Q5



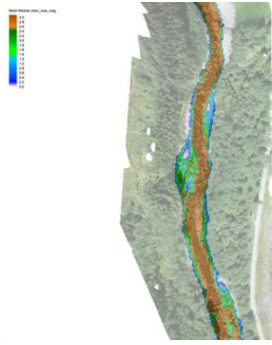
(b)



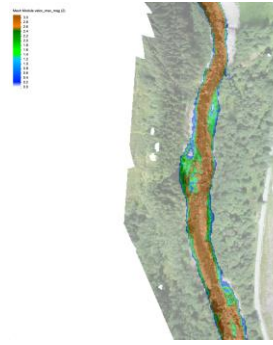
(c)



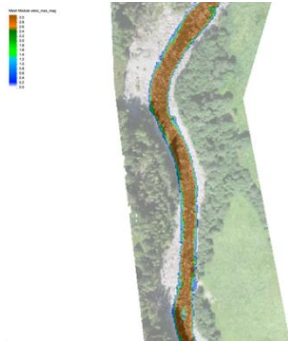
(d)



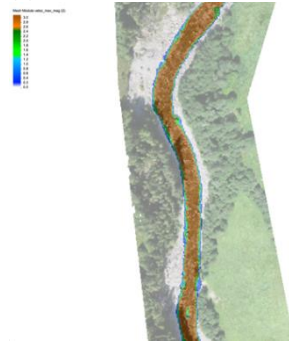
(e)



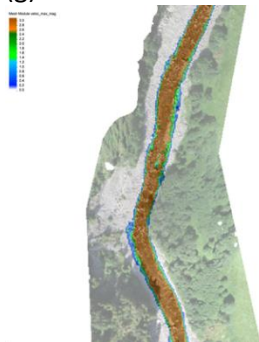
(f)



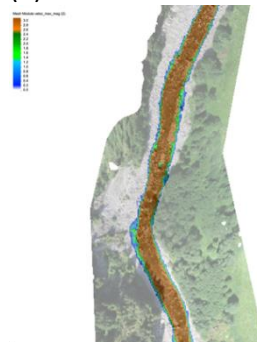
(g)



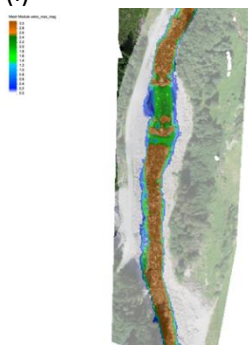
(h)



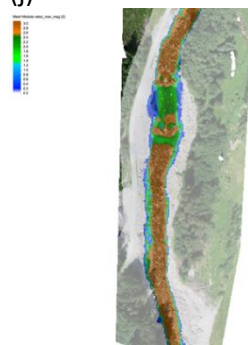
(i)



(j)



(k)



(l)

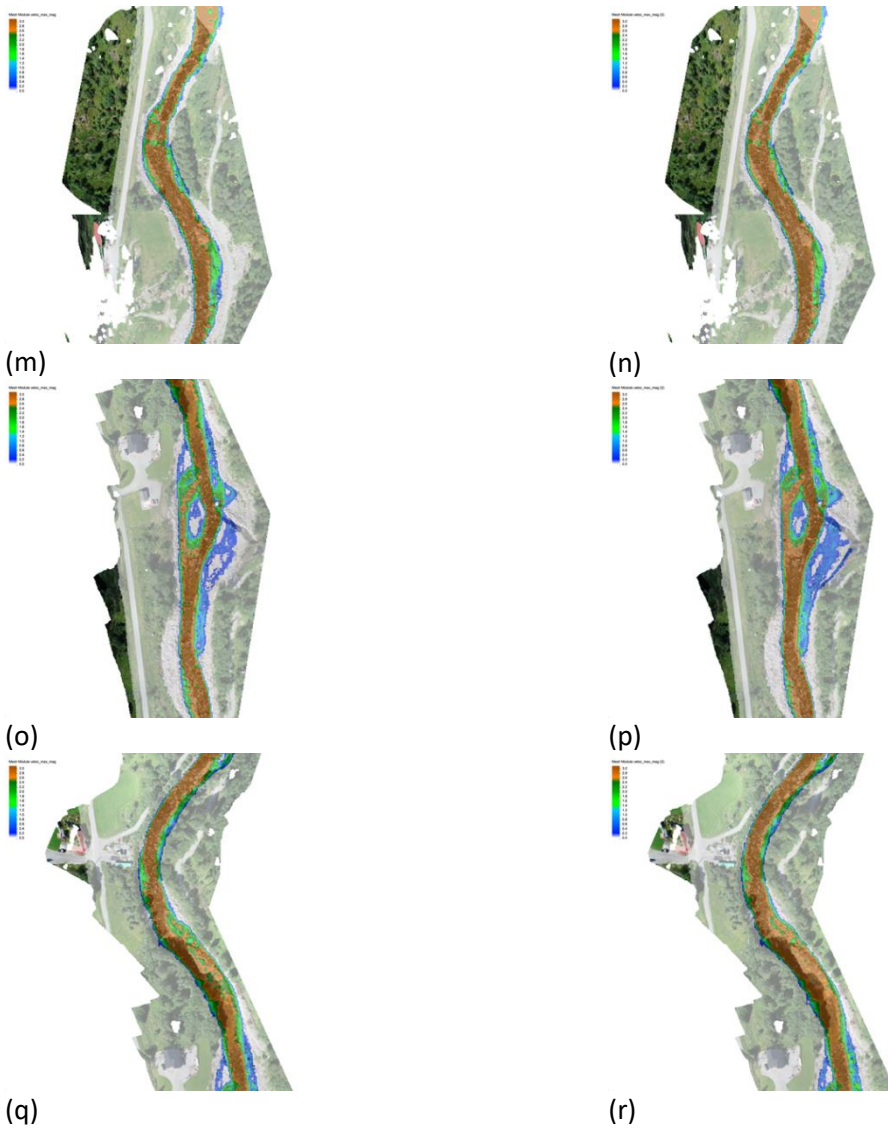


Figure 11: Results of the classified flow velocities in the 2D model for the assessment of possible spawning sites. The results of this substrate stability analysis show that in the current state only very few stable spawning sites are available.

5. Conclusions and final remarks

The outcomes of the presented study underline that it is possible to establish various suitable spawning sites for Atlantic Salmon by applying the novel “pool-step” concept on the local scale at the longitudinal profile of the Barstadvikelva. Based on field-validated information the bathymetric changes of (i) implementing a step (up to 1.5 m), (ii) lowering the wetted width over the terskel (step) to about 13 m and (iii) the modification of the bed slope upstream of the step to a gradient < 0.005 it is possible to establish the requested hydraulic characteristics during low and mean flow conditions. Moreover, with this modification it is possible to establish an initial inundation for some of the secondary channels, which was also targeted by the project.

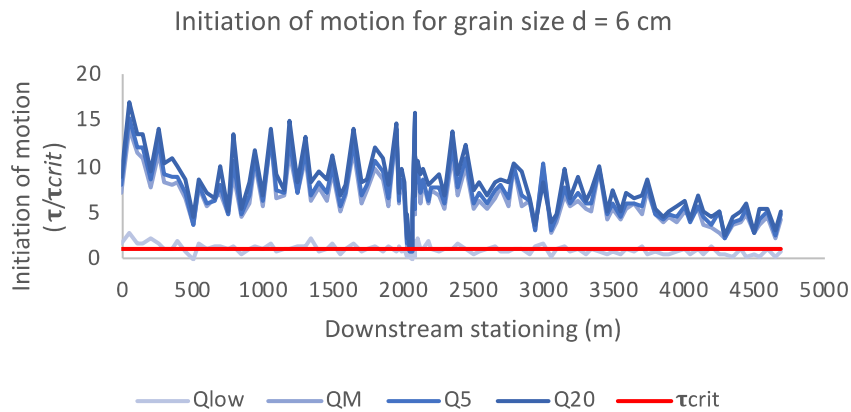
However, here it must be stated, that this initial inundation must be further optimized in an iterative approach until the requested ecologically functional habitats are established. This is recommended because full opening at low flow stage includes the risk of unfavorable scouring and potential channel avulsion. Thus, it is recommended to apply this iterative approach in terms of optimization of the connectivity of side-channels.

For the implementation of terskel (steps) and other large roughness elements for flow modifications (e.g. constrictions), the following aspects should be considered; (i) in general steps are randomly located; - stable structures result from the interlocking of large clasts – called Keystones (Zimmerman & Church, 2001), (ii) erosion of material supporting keystones and their subsequent mobilization can destroy steps (Lenzi, 2001) and (iii) partially long recurrence intervals for flows capable of fully mobilizing the grains that form step-pool sequences (Lenzi, 2001).

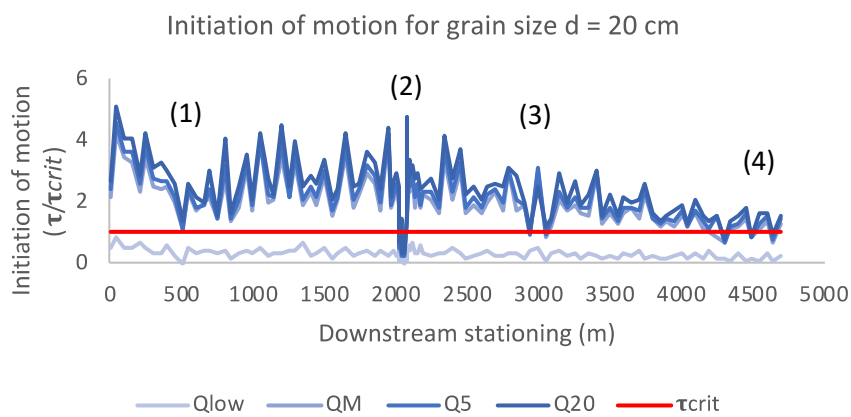
Moreover, based on the outcomes of the hydrodynamic-modelling (1D and 2D) it was possible to determine the requested size of the key-stone elements to establish the bathymetry modifications in a sustainable way based on the work of VanRyn (2019). The already field validated outcomes (D_{\max} measurements) of this analysis exhibit that for the upstream part (until km 1.8) the d_{50} of applied large boulder clast should be in the range of 1.3 m – 2.0 m, for the lower part (from km 1.8 until the river mouth) the d_{50} should be in the range of 0.6 m – 1.3 m.

Finally, the sediment transport capacity was evaluated for characteristic grain sizes along the entire river course to determine possible areas of controlled sediment deposition and to reduce potential flood related problems downstream. The results showed for the predicted initiation of motion, that three sites are evident which may function as sediment traps for a controlled sediment management at the Barstadvikelva, due to the given bathymetric characteristics. The first site is located at downstream distance 500 m, the second is the site which was classified as reference reach concerning the spawning habitats of Atlantic Salmon and a third one at downstream distance 3000 m (Figure 11). For all three sites, a tradeoff between required deposition of suitable gravel for spawning and general strategies for reducing sediment accumulation downstream must be discussed. Especially for the river reach close to the mouth (upstream of the main road bridge) the predicted accumulation of transported sediments might lead to earlier inundation of the floodplains and thus increasing flood risk for the downstream reaches.

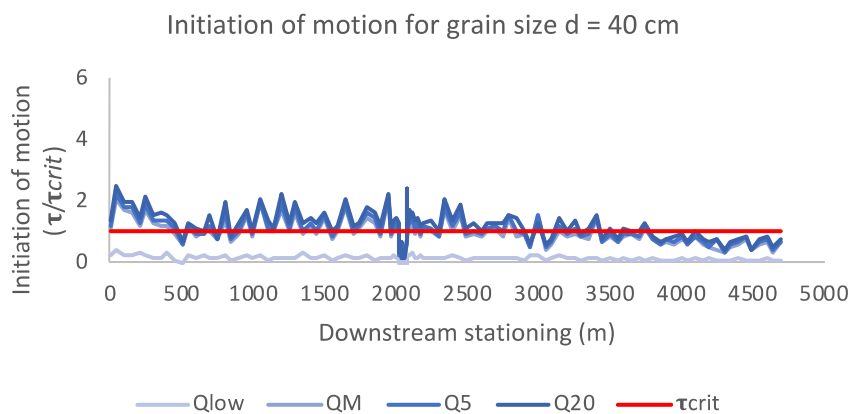
In a summarized view, it is suggested to put a sedimentation area at downstream distance 3000 m in place. The two upstream sites are more important to improve spawning habitats and the quality for reproduction of Atlantic Salmon.



(a)



(b)



(c)

Figure 12: Longitudinal profile of the predicted initiation of motion for variable grain sizes (a) $d_{50} = 6$ cm, (b) $d_{50} = 20$ cm and (c) $d_{50} = 40$ cm. Values above the red line indicate initiation of motion and thus substrate instability.

Literature

Armstrong, J. D., Kemp, P. S., Kennedy, G. J. A., Ladle, M., & Milner, N. J. (2003). Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. *Fisheries research*, 62(2), 143-170.

Barlaup, B. T., Gabrielsen, S. E., Skoglund, H., & Wiers, T. (2008). Addition of spawning gravel—a means to restore spawning habitat of atlantic salmon (*Salmo salar* L.), and Anadromous and resident brown trout (*Salmo trutta* L.) in regulated rivers. *River Research and Applications*, 24(5), 543-550.

Brunner, G.W. (2016). HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Version 5.0. (No. CPD-69). Hydrologic Engineering Center Davis CA.

Forseth, T., Barlaup, B. T., Finstad, B., Fiske, P., Gjørseter, H., Falkegård, M., ... & Wennevik, V. (2017). The major threats to Atlantic salmon in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, 74(6), 1496-1513.

Hatanpää, A., Huuskonen, H., Janhunen, M., Kortet, R., & Piironen, J. (2021). Spawning season movements of transported landlocked Atlantic salmon in a newly restored river habitat. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 78(2), 184-192.

Hauer, C., Pulg, U., Reisinger, F., & Flödl, P. (2020). Evolution of artificial spawning sites for Atlantic salmon (*Salmo salar*) and sea trout (*Salmo trutta*): field studies and numerical modelling in Aurland, Norway. *Hydrobiologia*, 847(4), 1139-1158.

Hauer, C., Pulg, U., Gabrielsen, S. E., & Barlaup, B. T. (2015). Application of step-backwater modelling for salmonid spawning habitat restoration in Western Norway. *Ecohydrology*, 8(7), 1239-1261.

Jonsson, B., & Jonsson, N. (2009). Restoration and enhancement of salmonid populations and habitats with special reference to Atlantic salmon. In *American Fisheries Society Symposium* (Vol. 69, pp. 497-535).

Lenzi, M. A. (2001). Step–pool evolution in the Rio Cordon, northeastern Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(9), 991-1008.

Louhi, P., Mäki-Petäys, A., & Erkinaro, J. (2008). Spawning habitat of Atlantic salmon and brown trout: general criteria and intragravel factors. *River research and applications*, 24(3), 330-339.

Versteeg, H.K., Malalasekera, W. (2007). *An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method*. Pearson education.

Zimmermann, A., & Church, M. (2001). Channel morphology, gradient profiles and bed stresses during flood in a step–pool channel. *Geomorphology*, 40(3-4), 311-327.

6. Appendix

Site 1

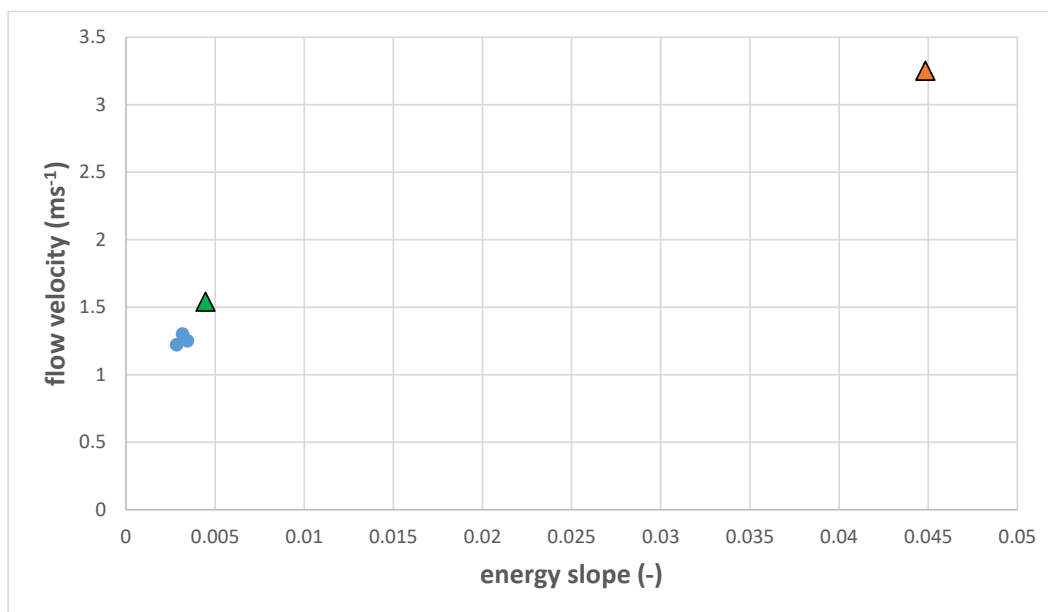


Figure 13: Changes of the hydraulic parameters at site 1 for energy slope and flow velocity from the present state (orange triangle) to the optimized state (green triangle); in blue the results for the three reference transects.

Table 4: Modifications of the 1D river bathymetry presented in the conducted step-wise approach.

Site 1												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
CenterLine	4450	PF 1	38.6	181.79	183.05	183.23	183.8	0.0459	3.84	10.05	11.3	1.3
CenterLine	4400	PF 1	38.6	179.71	180.59	180.76	181.24	0.056091	3.58	10.78	15.85	1.39
CenterLine	4350.09	PF 1	38.6	176.6	177.75	177.92	178.42	0.056719	3.65	10.57	15.17	1.4
CenterLine	4299.949	PF 1	38.6	174.39	175.32	175.45	175.86	0.044842	3.25	11.88	17.17	1.25
CenterLine	4250.04	PF 1	38.6	172.54	173.31	173.34	173.64	0.039211	2.26	15.52	30.16	1.09
CenterLine	4200	PF 1	38.6	169.52	170.67	170.84	171.3	0.056523	3.52	10.95	16.82	1.39
constriction												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
CenterLine	4450	PF 1	38.6	181.79	183.05	183.23	183.8	0.0459	3.84	10.05	11.3	1.3
CenterLine	4400	PF 1	38.6	179.71	180.59	180.76	181.24	0.056091	3.58	10.78	15.85	1.39
CenterLine	4350.09	PF 1	38.6	176.6	177.75	177.92	178.42	0.056719	3.65	10.57	15.17	1.4
CenterLine	4299.949	PF 1	38.6	174.39	175.33	175.45	175.9	0.043896	3.33	11.59	15.74	1.24
CenterLine	4250.04	PF 1	38.6	172.54	173.3	173.34	173.64	0.041036	2.29	15.27	29.98	1.11
CenterLine	4200	PF 1	38.6	169.52	170.68	170.84	171.29	0.054396	3.48	11.09	16.85	1.37
constriction + terskel 175 m a.s.l.												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
CenterLine	4450	PF 1	38.6	181.79	183.05	183.23	183.8	0.0459	3.84	10.05	11.3	1.3
CenterLine	4400	PF 1	38.6	179.71	180.59	180.76	181.24	0.056091	3.58	10.78	15.85	1.39
CenterLine	4350.09	PF 1	38.6	176.6	177.75	177.92	178.42	0.056719	3.65	10.57	15.17	1.4
CenterLine	4299.949	PF 1	38.6	175	175.86	175.88	176.23	0.032308	2.69	14.32	21.51	1.05
CenterLine	4250.04	PF 1	38.6	172.54	173.2	173.34	173.73	0.078201	2.81	12.12	27.55	1.49
CenterLine	4200	PF 1	38.6	169.52	170.78	170.84	171.24	0.034799	3.01	12.82	17.28	1.12
constriction + terskel 175 m a.s.l. + lowering upstream cross section by 1 m												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
CenterLine	4450	PF 1	38.6	181.79	183.05	183.23	183.8	0.0459	3.84	10.05	11.3	1.3
CenterLine	4400	PF 1	38.6	179.71	180.59	180.76	181.24	0.056091	3.58	10.78	15.85	1.39
CenterLine	4350.09	PF 1	38.6	174.6	176.59	175.92	176.71	0.004455	1.54	25.09	19.27	0.43
CenterLine	4299.949	PF 1	38.6	175	175.88	175.88	176.23	0.029318	2.6	14.84	21.85	1.01
CenterLine	4250.04	PF 1	38.6	172.54	173.18	173.34	173.77	0.087279	2.89	11.61	27.03	1.57
CenterLine	4200	PF 1	38.6	169.52	170.79	170.84	171.24	0.032793	2.95	13.07	17.34	1.09

Site 2

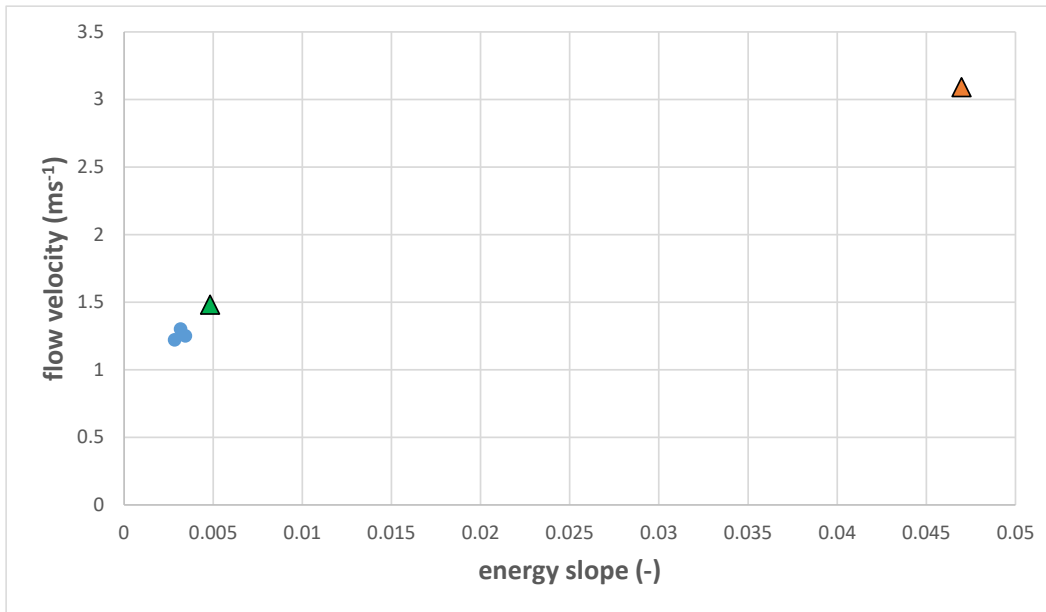


Figure 14: Changes of the hydraulic parameters at site 2 for energy slope and flow velocity from the present state (orange triangle) to the optimized state (green triangle); in blue the results for the three reference transects.

Table 5: Modifications of the 1D river bathymetry presented in the conducted step-wise approach.

Site 2												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CenterLine	4000	PF 1	38.6	161.12	162.35	162.35	162.73	0.028178	2.72	14.17	19.02	1.01
CenterLine	3950	PF 1	38.6	158.63	159.55	159.77	160.28	0.101386	3.77	10.23	21.98	1.77
CenterLine	3900	PF 1	38.6	156.42	157.47	157.48	157.86	0.028032	2.77	13.92	18.06	1.01
CenterLine	3850	PF 1	38.6	154.67	155.6	155.7	156.08	0.046975	3.09	12.48	20.24	1.26
CenterLine	3800	PF 1	38.6	151.28	152.2	152.47	153.01	0.081619	3.99	9.66	16.13	1.65
CenterLine	3750	PF 1	38.6	148.78	149.97	150.06	150.46	0.032769	3.11	12.49	17.29	1.1
constriction												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CenterLine	4000	PF 1	38.6	161.12	162.35	162.35	162.73	0.028194	2.73	14.16	19.02	1.01
CenterLine	3950	PF 1	38.6	158.63	159.55	159.77	160.28	0.101386	3.77	10.23	21.98	1.77
CenterLine	3900	PF 1	38.6	156.42	157.47	157.48	157.86	0.027954	2.77	13.93	18.06	1.01
CenterLine	3850	PF 1	38.6	154.67	155.61	155.71	156.15	0.043102	3.26	11.84	16.47	1.23
CenterLine	3800	PF 1	38.6	151.28	152.18	152.47	153.06	0.093145	4.17	9.26	16.02	1.75
CenterLine	3750	PF 1	38.6	148.78	149.99	150.06	150.46	0.030701	3.04	12.81	17.59	1.06
constriction + terskel 155.5 m a.s.l.												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CenterLine	4000	PF 1	38.6	161.12	162.35	162.35	162.73	0.028198	2.73	14.16	19.02	1.01
CenterLine	3950	PF 1	38.6	158.63	159.55	159.77	160.28	0.101386	3.77	10.23	21.98	1.77
CenterLine	3900	PF 1	38.6	156.42	157.56	157.48	157.87	0.020255	2.49	15.48	18.44	0.87
CenterLine	3850	PF 1	38.6	155.5	156.35	156.35	156.68	0.028398	2.57	15.22	23.95	0.99
CenterLine	3800	PF 1	38.6	151.28	152.04	152.47	153.53	0.210184	5.4	7.14	15.46	2.54
CenterLine	3750	PF 1	38.6	148.78	150.06	150.06	150.45	0.024828	2.8	14.07	19.53	0.96
constriction + terskel 155.5 m a.s.l.+upstream lowering by 1 m												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CenterLine	4000	PF 1	38.6	161.12	162.35	162.35	162.73	0.028178	2.72	14.17	19.02	1.01
CenterLine	3950	PF 1	38.6	158.63	159.55	159.77	160.28	0.101386	3.77	10.23	21.98	1.77
CenterLine	3900	PF 1	38.6	155.42	157.08	156.48	157.19	0.004831	1.48	26.15	23.49	0.44
CenterLine	3850	PF 1	38.6	155.5	156.35	156.35	156.68	0.028398	2.57	15.22	23.95	0.99
CenterLine	3800	PF 1	38.6	151.28	152.04	152.47	153.53	0.210184	5.4	7.14	15.46	2.54
CenterLine	3750	PF 1	38.6	148.78	150.06	150.06	150.45	0.024828	2.8	14.07	19.53	0.96

Site 4

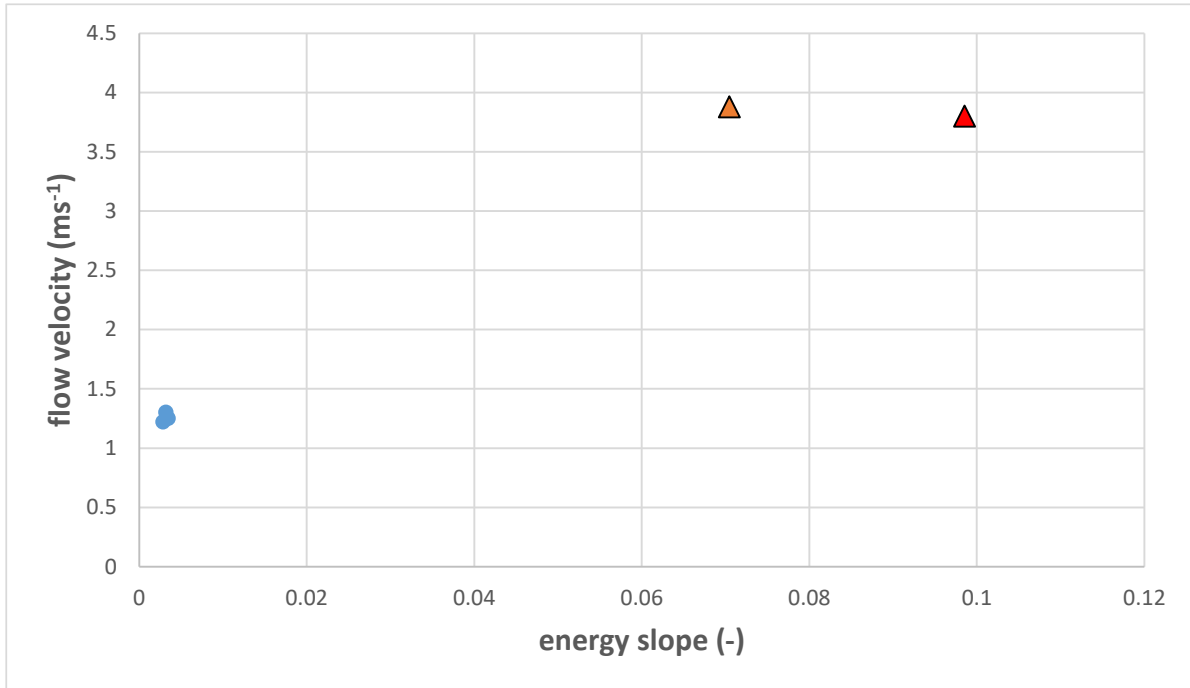


Figure 15: Changes of the hydraulic parameters at site 4 for energy slope and flow velocity from the present state (orange triangle) to the modified state (red triangle); in blue the results for the three reference transects. The suitable spawning conditions were not achieved for this specific site.

Table 6: Modifications of the 1D river bathymetry presented in the conducted step-wise approach.

Site 4												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
CenterLine	3400	PF 1	38.6	131.79	133.14	133.23	133.69	0.038397	3.28	11.78	14.73	1.17
CenterLine	3350	PF 1	38.6	129.88	130.81	130.97	131.44	0.052855	3.51	11	16.07	1.35
CenterLine	3300	PF 1	38.6	127.35	128.28	128.4	128.77	0.052437	3.11	12.43	21.82	1.31
CenterLine	3249.622	PF 1	38.6	124.04	124.93	125.15	125.7	0.070465	3.88	9.96	15.61	1.55
CenterLine	3200	PF 1	38.6	121.93	123.03	123.05	123.49	0.028576	2.98	12.94	15.1	1.03
CenterLine	3150	PF 1	38.6	120.09	121.11	121.26	121.69	0.045903	3.37	11.44	15.75	1.26
constriction												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
CenterLine	3400	PF 1	38.6	131.79	133.14	133.23	133.69	0.038397	3.28	11.78	14.73	1.17
CenterLine	3350	PF 1	38.6	129.88	130.81	130.97	131.44	0.052855	3.51	11	16.07	1.35
CenterLine	3300	PF 1	38.6	127.35	128.28	128.4	128.77	0.052437	3.11	12.43	21.82	1.31
CenterLine	3249.622	PF 1	38.6	124.04	125.08	125.31	125.86	0.062703	3.9	9.89	14.05	1.48
CenterLine	3200	PF 1	38.6	121.93	122.98	123.05	123.5	0.03521	3.19	12.1	14.94	1.13
CenterLine	3150	PF 1	38.6	120.09	121.17	121.26	121.66	0.038112	3.12	12.37	16.67	1.16
constriction + terskel 125.5 m a.s.l.												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
CenterLine	3400	PF 1	38.6	131.79	133.14	133.23	133.69	0.038397	3.28	11.78	14.73	1.17
CenterLine	3350	PF 1	38.6	129.88	130.81	130.97	131.44	0.052855	3.51	11	16.07	1.35
CenterLine	3300	PF 1	38.6	127.35	128.28	128.4	128.77	0.052437	3.11	12.43	21.82	1.31
CenterLine	3249.622	PF 1	38.6	125.5	126.25	126.31	126.64	0.033951	2.75	14.34	25.84	1.08
CenterLine	3200	PF 1	38.6	121.93	122.73	123.05	123.8	0.108576	4.58	8.43	14.23	1.9
CenterLine	3150	PF 1	38.6	120.09	121.26	121.26	121.65	0.028229	2.77	13.94	17.91	1
constriction + terskel 125.5 m a.s.l.+upstream lowering by 1 m												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
CenterLine	3400	PF 1	38.6	131.79	133.14	133.23	133.69	0.038397	3.28	11.78	14.73	1.17
CenterLine	3350	PF 1	38.6	129.88	130.81	130.97	131.44	0.052855	3.51	11	16.07	1.35
CenterLine	3300	PF 1	38.6	126.35	127.17	127.4	127.91	0.09853	3.8	10.15	21.14	1.75
CenterLine	3249.622	PF 1	38.6	125.5	126.31	126.31	126.63	0.026351	2.52	15.77	27.3	0.96
CenterLine	3200	PF 1	38.6	121.93	122.67	123.05	123.96	0.146028	5.03	7.67	14.06	2.18
CenterLine	3150	PF 1	38.6	120.09	121.26	121.26	121.65	0.028229	2.77	13.94	17.91	1

Site 5

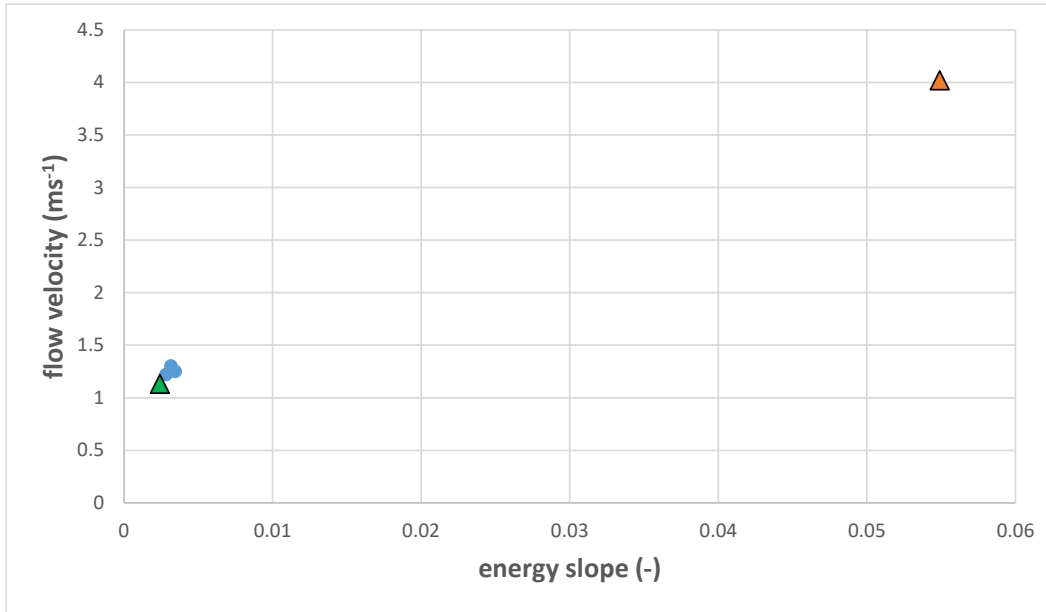


Figure 16: Changes of the hydraulic parameters at site 5 for energy slope and flow velocity from the present state (orange triangle) to the optimized state (green triangle); in blue the results for the three reference transects.

Table 7: Modifications of the 1D river bathymetry presented in the conducted step-wise approach.

Site 5												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
CenterLine	3000	PF 1	38.6	112.02	113.02	113.2	113.73	0.052966	3.74	10.32	13.54	1.37
CenterLine	2950	PF 1	38.6	109.16	110.38	110.6	111.19	0.048364	3.97	9.72	10.73	1.33
CenterLine	2899.594	PF 1	38.6	106.59	107.77	107.98	108.59	0.054908	4.02	9.61	11.13	1.38
CenterLine	2849.655	PF 1	38.6	104.8	105.99	106.02	106.48	0.030819	3.09	12.49	14.4	1.06
CenterLine	2800	PF 1	38.6	101.67	102.6	103	103.84	0.104017	4.92	7.85	11.47	1.9
CenterLine	2781.893	PF 1	38.6	100.91	102.07	102.14	102.57	0.036754	3.14	12.28	15.95	1.14
constriction												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
CenterLine	3000	PF 1	38.6	112.02	113.02	113.2	113.73	0.052966	3.74	10.32	13.54	1.37
CenterLine	2950	PF 1	38.6	109.16	110.38	110.6	111.19	0.048364	3.97	9.72	10.73	1.33
CenterLine	2899.594	PF 1	38.6	106.59	107.77	107.98	108.59	0.054908	4.02	9.61	11.13	1.38
CenterLine	2849.655	PF 1	38.6	104.94	106.22	106.23	106.7	0.026816	3.04	12.7	13.65	1.01
CenterLine	2800	PF 1	38.6	101.67	102.54	103	104.03	0.138558	5.42	7.13	11.18	2.17
CenterLine	2781.893	PF 1	38.6	100.91	102.06	102.14	102.57	0.037151	3.15	12.24	15.94	1.15
constriction + terskel 106 m a.s.l.												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
CenterLine	3000	PF 1	38.6	112.02	113.02	113.2	113.73	0.052966	3.74	10.32	13.54	1.37
CenterLine	2950	PF 1	38.6	109.16	110.38	110.6	111.19	0.048364	3.97	9.72	10.73	1.33
CenterLine	2899.594	PF 1	38.6	106.59	107.77	107.98	108.59	0.054908	4.02	9.61	11.13	1.38
CenterLine	2849.655	PF 1	38.6	106	106.89	106.9	107.22	0.029204	2.51	15.43	24.89	1
CenterLine	2800	PF 1	38.6	101.67	102.5	103	104.21	0.170426	5.8	6.65	11.02	2.38
CenterLine	2781.893	PF 1	38.6	100.91	102.06	102.14	102.57	0.038477	3.19	12.1	15.91	1.17
constriction + terskel 106 m a.s.l.+upstream lowering by 1 m												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
CenterLine	3000	PF 1	38.6	112.02	113.02	113.2	113.73	0.052966	3.74	10.32	13.54	1.37
CenterLine	2950	PF 1	38.6	109.16	110.38	110.6	111.19	0.048364	3.97	9.72	10.73	1.33
CenterLine	2899.594	PF 1	38.6	104.59	107.47	105.98	107.53	0.002407	1.13	35.28	30.35	0.31
CenterLine	2849.655	PF 1	38.6	106	106.89	106.89	107.22	0.029204	2.51	15.43	24.89	1
CenterLine	2800	PF 1	38.6	101.67	102.5	103	104.19	0.166708	5.76	6.7	11.03	2.36
CenterLine	2781.893	PF 1	38.6	100.91	102.06	102.14	102.57	0.038303	3.19	12.12	15.92	1.17

Site 7

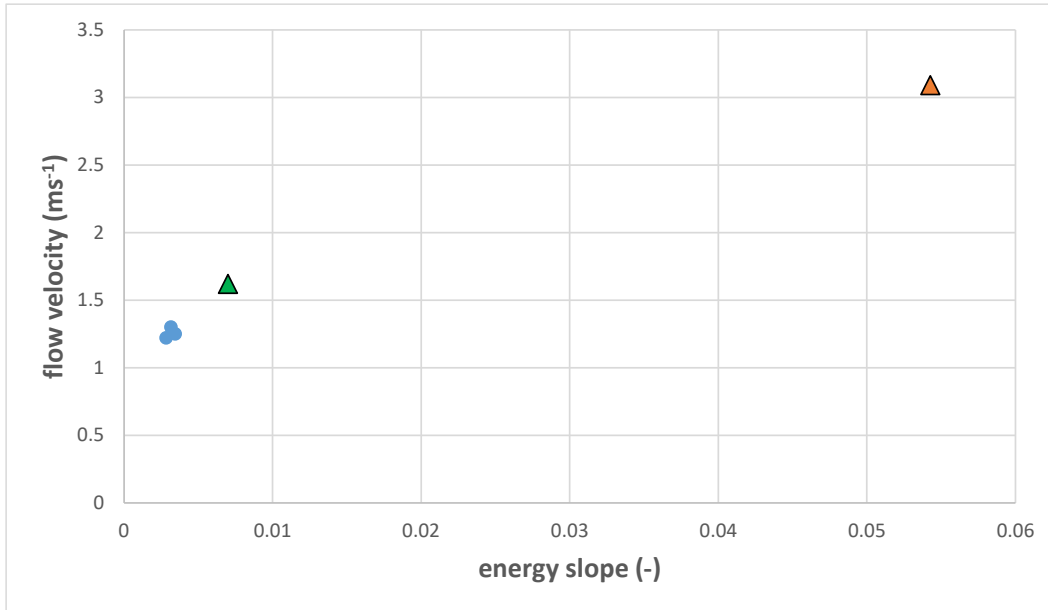


Figure 17: Changes of the hydraulic parameters at site 7 for energy slope and flow velocity from the present state (orange triangle) to the optimized state (green triangle); in blue the results for the three reference transects.

Table 8: Modifications of the 1D river bathymetry presented in the conducted step-wise approach.

Site 7												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
CenterLine	2300	PF 1	38.6	77.99	79.07	79.33	79.94	0.063001	4.13	9.34	12.07	1.5
CenterLine	2249.649	PF 1	38.6	76.06	77.13	77.18	77.6	0.032502	3.05	12.64	15.83	1.09
CenterLine	2199.983	PF 1	38.6	74.22	75.07	75.18	75.55	0.054273	3.09	12.49	22.57	1.33
CenterLine	2150	PF 1	38.6	71.83	72.81	72.87	73.26	0.038993	2.98	12.94	18.84	1.15
CenterLine	2100	PF 1	38.6	69.43	70.52	70.65	71.05	0.050231	3.21	12.03	19.17	1.29
CenterLine	2050	PF 1	38.6	66.71	68.06	68.22	68.75	0.041629	3.68	10.49	11.8	1.24
terskel 73 m a.s.l.												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
CenterLine	2300	PF 1	38.6	77.99	79.07	79.33	79.94	0.063001	4.13	9.34	12.07	1.5
CenterLine	2249.649	PF 1	38.6	76.06	77.13	77.18	77.6	0.032502	3.05	12.64	15.83	1.09
CenterLine	2199.983	PF 1	38.6	74.22	75.07	75.18	75.55	0.054273	3.09	12.49	22.57	1.33
CenterLine	2150	PF 1	38.6	73	73.7	73.7	74.04	0.029066	2.57	15.04	22.65	1
CenterLine	2100	PF 1	38.6	69.43	70.34	70.64	71.34	0.123839	4.44	8.7	16.89	1.97
CenterLine	2050	PF 1	38.6	66.71	68.21	68.22	68.71	0.026503	3.14	12.3	12.46	1.01
terskel 73 m a.s.l. + upstream lowering by 1 m												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
CenterLine	2300	PF 1	38.6	77.99	79.07	79.33	79.94	0.063001	4.13	9.34	12.07	1.5
CenterLine	2249.649	PF 1	38.6	76.06	77.13	77.18	77.6	0.032502	3.05	12.64	15.83	1.09
CenterLine	2199.983	PF 1	38.6	73.22	74.55	74.18	74.69	0.00699	1.62	23.79	24.02	0.52
CenterLine	2150	PF 1	38.6	73	73.7	73.7	74.04	0.029066	2.57	15.04	22.65	1
CenterLine	2100	PF 1	38.6	69.43	70.34	70.64	71.34	0.123839	4.44	8.7	16.89	1.97
CenterLine	2050	PF 1	38.6	66.71	68.21	68.22	68.71	0.026503	3.14	12.3	12.46	1.01

Site 8

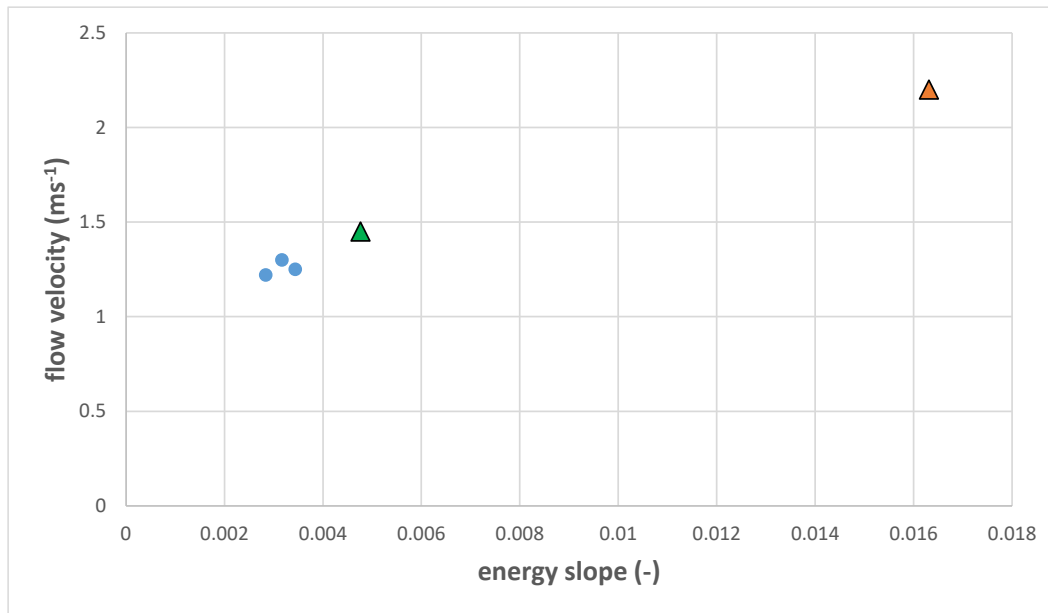


Figure 18: Changes of the hydraulic parameters at site 8 for energy slope and flow velocity from the present state (orange triangle) to the optimized state (green triangle); in blue the results for the three reference transects.

Table 9: Modifications of the 1D river bathymetry presented in the conducted step-wise approach.

Site 8													
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)		
CenterLine	1799.613	PF 1	38.6	56.43	57.54	57.54	57.76	0.034744	2.07	18.63	44.02		1.02
CenterLine	1749.865	PF 1	38.6	53.38	54.51	54.79	55.36	0.067304	4.09	9.44	12.8		1.52
CenterLine	1699.577	PF 1	38.6	51.53	52.84	52.71	53.09	0.016313	2.2	17.54	21.5		0.78
CenterLine	1650	PF 1	38.6	50.64	51.68	51.68	52.01	0.029998	2.55	15.13	23.24		1.01
CenterLine	1600	PF 1	38.6	48.31	49.4	49.54	49.93	0.059975	3.23	11.97	22.06		1.4
CenterLine	1550	PF 1	38.6	45.89	47.25	47.31	47.74	0.033024	3.1	12.46	15.52		1.09
terskel 52 m a.s.l.													
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)		
CenterLine	1799.613	PF 1	38.6	56.43	57.54	57.54	57.76	0.034744	2.07	18.63	44.02		1.02
CenterLine	1749.865	PF 1	38.6	53.38	54.51	54.79	55.36	0.067304	4.09	9.44	12.8		1.52
CenterLine	1699.577	PF 1	38.6	51.53	53.25	52.71	53.35	0.004762	1.45	26.68	24.07		0.44
CenterLine	1650	PF 1	38.6	52	52.6	52.6	52.86	0.031098	2.27	17.21	34.13		1
CenterLine	1600	PF 1	38.6	48.31	49.29	49.54	50.12	0.11352	4.05	9.52	20.12		1.88
CenterLine	1550	PF 1	38.6	45.89	47.31	47.31	47.74	0.026889	2.9	13.33	15.8		1

Site 9

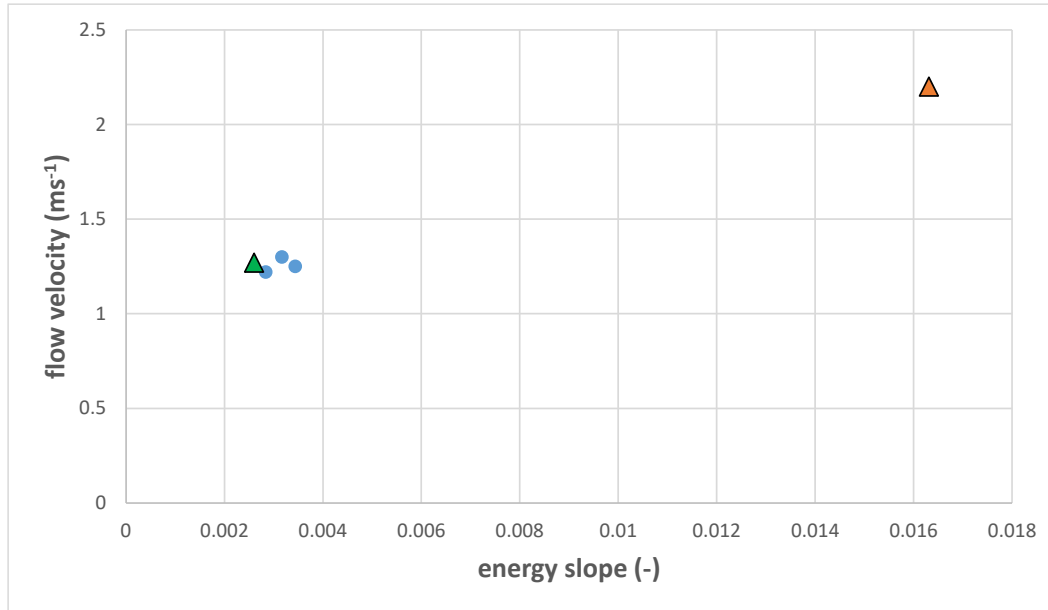


Figure 19: Changes of the hydraulic parameters at site 9 for energy slope and flow velocity from the present state (orange triangle) to the optimized state (green triangle); in blue the results for the three reference transects.

Table 10: Modifications of the 1D river bathymetry presented in the conducted step-wise approach.

Site 9												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
CenterLine	1799.6130	PF 1	38.60	56.43	57.54	57.54	57.76	0.035	2.07	18.63	44.02	1.02
CenterLine	1749.8650	PF 1	38.60	53.38	54.51	54.79	55.36	0.067	4.09	9.44	12.80	1.52
CenterLine	1699.5770	PF 1	38.60	51.53	52.84	52.71	53.09	0.016	2.20	17.54	21.50	0.78
CenterLine	1650	PF 1	38.60	50.64	51.68	51.68	52.01	0.030	2.55	15.13	23.24	1.01
CenterLine	1600	PF 1	38.60	48.31	49.4	49.54	49.93	0.060	3.23	11.97	22.06	1.40
CenterLine	1550	PF 1	38.60	45.89	47.25	47.31	47.74	0.033	3.10	12.46	15.52	1.09
terskel 51.13 m a.s.l.												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
CenterLine	1799.6130	PF 1	38.60	56.43	57.54	57.54	57.76	0.035	2.07	18.63	44.02	1.02
CenterLine	1749.8650	PF 1	38.60	53.38	54.51	54.79	55.36	0.067	4.09	9.44	12.80	1.52
CenterLine	1699.5770	PF 1	38.60	51.53	52.9	52.71	53.11	0.013	2.05	18.79	21.75	0.71
CenterLine	1650	PF 1	38.60	51.13	51.85	51.85	52.17	0.029	2.52	15.39	24.82	1.00
CenterLine	1600	PF 1	38.60	48.31	49.37	49.53	49.97	0.073	3.43	11.25	21.85	1.53
CenterLine	1550	PF 1	38.60	45.89	47.28	47.31	47.74	0.029	2.98	12.98	15.69	1.03
terskel 51.13 m a.s.l. + 5m widening + 1 lowering upstream												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
CenterLine	1799.6130	PF 1	38.60	56.43	57.54	57.54	57.76	0.035	2.07	18.63	44.02	1.02
CenterLine	1749.8650	PF 1	38.60	53.38	54.51	54.79	55.36	0.067	4.09	9.44	12.80	1.52
CenterLine	1699.5770	PF 1	38.60	50.53	52.42	51.57	52.5	0.003	1.27	30.40	19.94	0.33
CenterLine	1650	PF 1	38.60	51.13	51.85	51.85	52.17	0.029	2.52	15.39	24.82	1.00
CenterLine	1600	PF 1	38.60	48.31	49.37	49.53	49.97	0.073	3.43	11.24	21.85	1.53
CenterLine	1550	PF 1	38.60	45.89	47.28	47.31	47.74	0.029	2.98	12.98	15.69	1.03

Site 10

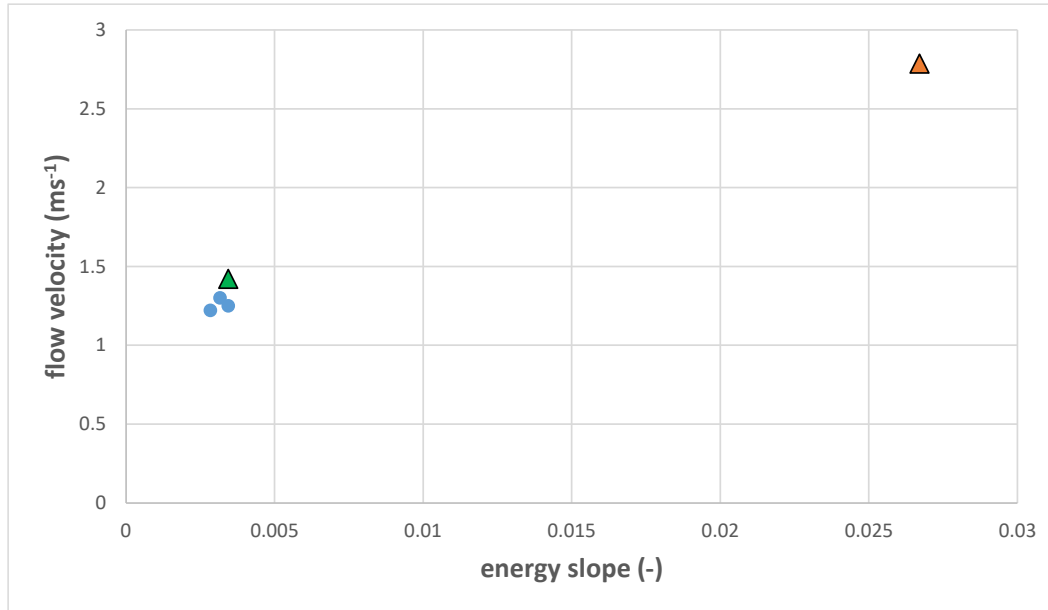


Figure 19: Changes of the hydraulic parameters at site 10 for energy slope and flow velocity from the present state (orange triangle) to the optimized state (green triangle); in blue the results for the three reference transects.

Table 11: Modifications of the 1D river bathymetry presented in the conducted step-wise approach.

Site 10												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
CenterLine	949.9999	PF 1	38.60	24.14	25.39	25.39	25.83	0.026	2.94	13.13	14.88	1.00
CenterLine	899.9999	PF 1	38.60	22.88	24.17	24.07	24.52	0.020	2.62	14.73	16.02	0.87
CenterLine	849.9999	PF 1	38.60	21.8	22.97	22.96	23.37	0.027	2.79	13.86	17.21	0.99
CenterLine	800	PF 1	38.60	20.58	21.62	21.62	21.95	0.029	2.54	15.21	23.50	1.01
CenterLine	749.9999	PF 1	38.60	18.87	19.66	19.74	20.05	0.050	2.77	13.91	28.11	1.26
CenterLine	700.3265	PF 1	38.60	16.84	18.45	18.45	18.83	0.031	2.72	14.18	19.26	1.01
terskel 21.35 m a.s.l.												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
CenterLine	949.9999	PF 1	38.60	24.14	25.39	25.39	25.83	0.026	2.93	13.18	14.90	0.99
CenterLine	899.9999	PF 1	38.60	22.88	24.07	24.07	24.51	0.027	2.93	13.17	15.00	1.00
CenterLine	849.9999	PF 1	38.60	21.8	23.12	22.96	23.4	0.016	2.34	16.48	18.29	0.79
CenterLine	800	PF 1	38.60	21.35	22.01	22.01	22.32	0.030	2.46	15.69	25.74	1.01
CenterLine	749.9999	PF 1	38.60	18.87	19.61	19.74	20.1	0.073	3.11	12.42	27.97	1.49
CenterLine	700.3265	PF 1	38.60	16.84	18.45	18.45	18.83	0.031	2.72	14.18	19.26	1.01
terskel 21.35 m a.s.l. + 5m widening												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
CenterLine	949.9999	PF 1	38.60	24.14	25.39	25.39	25.83	0.027	2.95	13.09	14.87	1.00
CenterLine	899.9999	PF 1	38.60	22.88	23.76	23.84	24.24	0.039	3.06	12.63	18.28	1.17
CenterLine	849.9999	PF 1	38.60	20.8	22.62	21.78	22.73	0.003	1.42	27.17	18.54	0.37
CenterLine	800	PF 1	38.60	21.35	22.01	22.01	22.32	0.030	2.46	15.69	25.74	1.01
CenterLine	749.9999	PF 1	38.60	18.87	19.61	19.74	20.1	0.073	3.11	12.41	27.97	1.49
CenterLine	700.3265	PF 1	38.60	16.84	18.45	18.45	18.83	0.031	2.72	14.18	19.26	1.01

Impression from the field Trip October 2021



