

Potensial for naturbaserte løsninger ved flomrisikohåndtering i Vossovassdraget



Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI)

NORCE Norwegian Research Center

NORCE LFI, Nygårdsgaten 112, 5008 Bergen, Tel: 55 58 22 28

ISSN nr: ISSN 2535-6623

NORCE LFI Rapport-nr. 458

Tittel: Potensial for naturbaserte løsninger ved flomrisikohåndtering i Vossovassdraget

Dato: 28.06.2024

Forfattere: Ulrich Pulg, Christoph Hauer, Sebastian Stranzl

Kvalitetssikret av: Helge Skoglund og Knut Wiik Vollset

Bilder: Forfatterne

Geografisk område: Norge

Antall sider: 72

Finansiering: Voss Herad med midler av Miljødirektoratet

Kontaktpersoner hos oppdragsgiver: Bjørg Lirhus Ree

Emneord: Flom, vannmiljø, klimatilpasning, naturbaserte løsninger, restaurering

Sammendrag: Klimaendringer vil føre til større flomskaderisiko i Norge og med dette et behov for klimatilpasning og bedre flomrisikohåndtering. Dette gjelder også i Vossovassdraget der flommer i 2014 og 2022 har ført til store skader. Samtidig skal miljøtilstand og verneformål sikres og videreutvikles.

Målet med denne studien var å vise hvordan både flomrisikohåndtering og miljømål vil kunne oppnås ved hjelp av naturbaserte løsninger. Til dette ble kunnskapsgrunnlaget supplert med en kartlegging av elvetyptologi og sedimentregime. Deretter ble fem løsningsscenarier utviklet. Disse ble vurdert i henhold til potensialet for flomrisikohåndtering og miljøeffekter. Det konkluderes med at følgende tiltaksscenarioer har potensial til en tilstrekkelig flomrisikohåndtering (200-års flom + klimapåslag) og samtidig til å opprettholde eller forbedre miljøtilstand, dersom de brukes i kombinasjon:

1. Arealplanlegging og arealbruk med hensyn til resterende flomsoneer og klimaendringer vil kunne opprettholde dagens flomkapasitet og redusere skadepotensialet i fremtiden.
2. Flomdemping i eksisterende innsjøer og magasiner, særlig i Strandaelvi og Teigdalselvi.
3. Utvidelse av utløpet av Vangsvatnet med tappeluke og utvidelse i juvet nedenfor samt miljøtiltak.
4. Sedimentforvaltning med sikring av avløpskapasitet og miljøtilstand.
5. Lokale sikringstiltak kombinert med naturbaserte løsninger og mobile komponenter.
6. Flytting av særlig utsatt bebyggelse og tilpassing av arealbruk.

Sistnevnte (6) vil redusere behovet for andre sikringstiltak og beredskap, forbedre sikkerhet for liv og helse, vil kunne redusere kostnader og muliggjøre mer miljøtiltak. Med et slikt grunnlag og de forslåtte miljøhensyn, vil verneverdier kunne ivaretas og de vassdragsspesifikke miljømålene oppnås. De viktigste miljøtiltakene er hensyn til flomrisiko og miljø i arealplanlegging og arealbruk, bruk av naturbaserte løsninger samt avbøtende miljøtiltak der det trengs tekniske løsninger.

Pulg, U., Hauer, C. Stranzl, F. S. 2024: Potensial for naturbaserte løsninger ved flomrisikohåndtering i Vossovassdraget. NORCE LFI rapport nr. 539. NORCE Bergen

Innhold

1	Innledning.....	4
2	Metoder.....	5
2.1	Utredningsområde	5
2.2	Hydraulikk og hydrologi.....	5
2.2.1	Hydrologisk analyse.....	7
2.2.2	Hydraulisk analyse.....	7
2.2.3	Flomberegninger og kritiske flomnivåer	9
2.3	Naturbaserte og ikke-naturbaserte løsninger	9
3	Resultater og diskusjon	12
3.1	Grunnlag – elvetyper og sedimentregime.....	12
3.2	Flomdempingspotensial i innsjøer og magasiner.....	19
3.2.1	Forutsetninger	20
3.2.2	Resultater av modellering	21
3.2.3	Miljøtiltak	25
3.2.4	Diskusjon	26
3.3	Sedimentforvaltning og hydraulisk kapasitet.....	27
3.3.1	Forutsetninger	27
3.3.2	Resultater av modellering	29
3.3.3	Miljøtiltak	43
3.3.4	Diskusjon	44
3.4	Justering av utløp Vangsvatnet – Lilandsosen og Bulken.....	45
3.4.1	Forutsetninger	45
3.4.2	Resultater av modellering	45
3.4.3	Miljøtiltak	50
3.4.4	Diskusjon	50
3.5	Lokale tiltak, naturbaserte løsninger og flytting av bebyggelse.....	51
3.5.1	Forutsetninger	51
3.5.2	Resultater	51
3.5.3	Miljøtiltak	57
3.5.4	Diskusjon	58
3.6	Integrative løsninger	59
3.6.1	Resultater	60
3.6.2	Diskusjon	64
4	Ordliste	65
5	Referanser	71

1 Innledning

Klimaendringer medfører behov for klimatilpasning, inkludert en forbedret flomrisikohåndtering. Flomskaderisiko øker på grunn av mer og hyppigere ekstrem nedbør (Hanssen-Bauer et al 2016, Paasche et al. 2021, Kundzewicz *et al.*, 2014; Wilby & Keenan, 2012; Woodward *et al.*, 2014). Flomrisikohåndtering medfører fysiske endringer i vassdrag som påvirker miljøet. Samtidig har miljøtilstand i ferskvann blitt sterkt redusert både på verdensbasis og også i Norge (IPBES 2019, WWF 2020). Fysiske endringer av vassdrag og regulering regnes blant hovedfaktorene som påvirker miljøtilstand^{1 2} og enkeltarter i ferskvann (Thorstad, Forseth, and Fiske 2019; Pulg et al. 2023; Fergus, Hoseth, and Sæterbø 2010), med arealbruk og tilhørende flomsikring som viktige drivere (Sendzimir and Schmutz 2018). Flomrisikohåndteringsmetoder som kanalisering, plastring, magasinering og fraføring av vann kan redusere miljøkvaliteter, i for eksempel kantsoner, våtmarker og for fiskebestander. En rekke lover og forskrifter krever imidlertid at miljøtilstand i vassdrag skal sikres og bedres framover (vannforskriften, naturmangfoldloven, vannressursloven, kvalitetsnorm villaks, vassdragsvern, redningsaksjon for Vossolaksen mfl., Barlaup 2018).

Målet med dette studiet er å vurdere potensialet for en flomrisikohåndtering basert på naturbaserte løsninger og avbøtende miljøtiltak slik at miljømål etter vannforskriften og naturmangfoldloven samt verneformål etter vassdragsvernet kan oppnås i Vossovassdraget.

Studiet er basert på et tverrfaglig samarbeid mellom ingeniørfag og biologi, som integrerer hydraulikk, hydrologi, økologi og naturforvaltning. Resultatene presenteres i form av scenarier Kap. 3.2-3.5. De mest lovende løsningene for en bedre flomrisikohåndtering og sikring og bedring av miljøtilstand sammenfattes i et integrativt scenario, kap. 3.6.

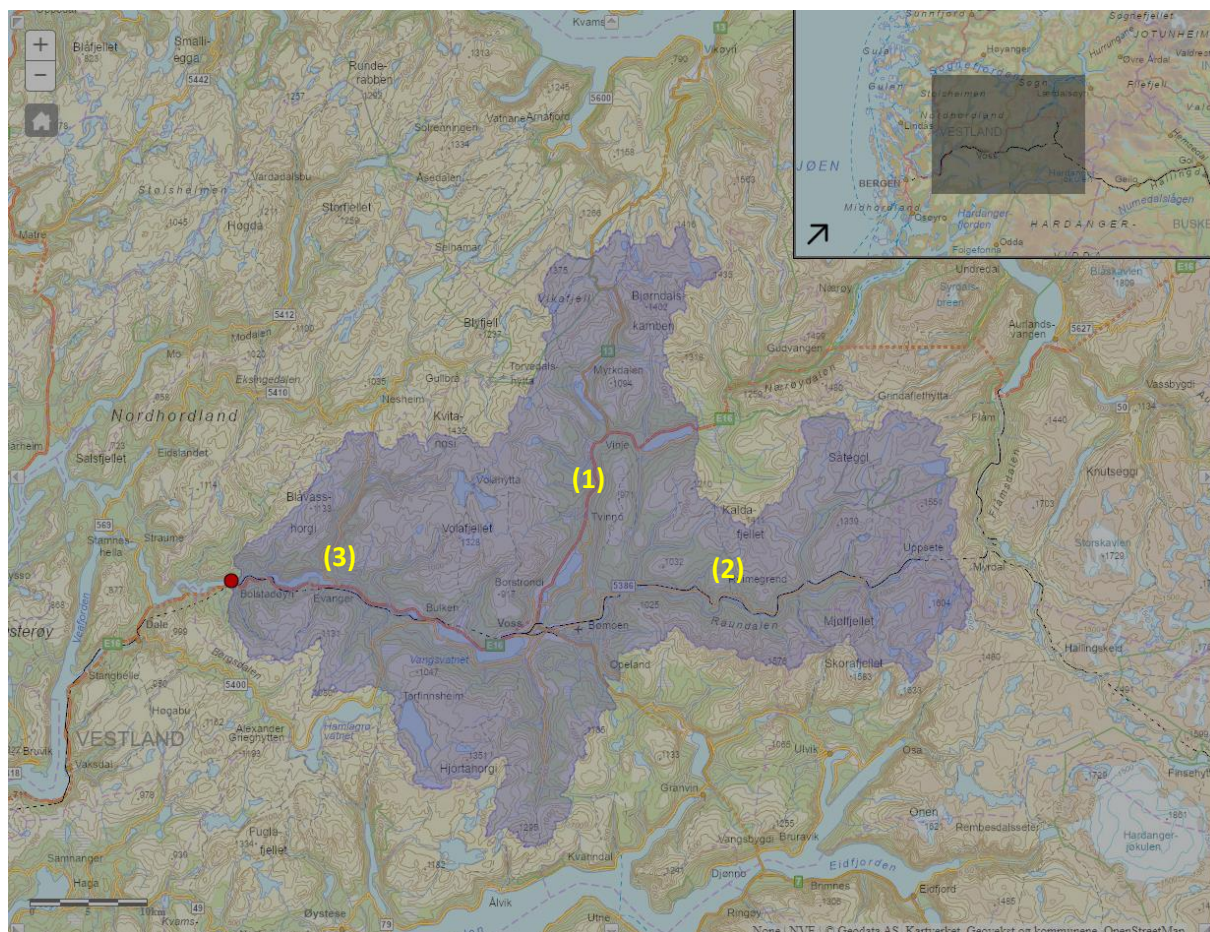
¹ <https://www.vannportalen.no/kunnskapsgrunnlaget/restaurering-av-vassdrag/nasjonal-strategi-for-restaurering-av-vassdrag-2021-2023/restaureringsstrategien/>

² <https://vann-nett.no/portal/#/area/1/all>

2 Metoder

2.1 Utredningsområde

Figur 1 viser undersøkt område, som dekker hele hydrologiske nedbørsfeltet til Vossovassdraget frem til munningen av Bolstadfjorden. Tre viktige sidevassdrag som ble undersøkt i større detalj er merket på kartet.



Figur 1. Nedbørsfelt for Vossovassdraget inkludert hoveddelfeltene (1) Strandaelvi, (2) Raundalselvi and (3) Teigdalselvi (kilde: NEVINA NVE).

2.2 Hydraulikk og hydrologi

En skjematisk samling av flomrisikohåndteringsstrategier er vist i Figur 2. Tabellen inkluderer lokalisering av tiltakene i forhold til området som skal vernes, tiltaksnavn og illustrasjon av konseptet bak tiltaket på 1) vannstand (hydraulisk effekt) og 2) flombølgen (hydrologisk effekt) når tiltaket implementeres. I tillegg spesifiseres hvilke analyser som blir brukt for vurderingen.

Located according to protected area	Labeling of measure		Effectiveness of measure (schematic) according	
			Water surface elevation in the longitudinal profile	Form of the flood wave at point A
Upstream	Retention	Natural retention		
		Artificial retention		
	Water diversion	Diversion		
		Redirection		
Downstream	Increase of the discharge capacity			
Within the area to protect	River training measures	Modification of the present river geometry		
		Increase of the active channel width		
	Direct improvement Based on	Improvement of the course		
		Smoothing of the active channel (less roughness)		
		Reducing discharges based on additional channels		
		Optimization of discharge conveyance		
	Dykes / flood levees	Dykes and walls		

Hydrologisk analyse

Hydraulisk analyse

Figur 2. Forskjellige konsepter for flomhåndteringen basert på hydrologiske og hydrauliske prosesser og endringer i elven (bunntutformingen). Modifisert fra Hauer 2024.

2.2.1 Hydrologisk analyse

Potensielle retensjonsvolum i innsjøer ble analysert med QGIS og Google Earth. Det ble målt inn vanndekket areal av innsjøer i Strandaelvi, Raundalselvi og Teigdalselvi. I Strandaelvi ble det analysert *Lundarvatnet, Lønnavatnet, Myrkdalsvatnet* and *Oppheimsvatnet*. I Raundalselvi ble det undersøkt *Vesevatnet, Slondalsvatnet, Langavatnet, Kvannholvatnet* og *Fagerdalsvatnet*. *Det ble altså samlet analysert ni innsjøer i nedbørsfeltet oppstrøms Vossevangen for flomdempingspotensial for å dempe flommer ved Vossevangen. Retensjonsvolum ble enten hentet frå NVE atlas i de tilfelle vannmagasin eller estimert ved å multiplisere vanndekt areal med forskjellige vannstander som f.eks. 1 m. Dvs. i teorien vil 1.000.000 m² vanndekket areal gi 1.000.000 m³ potensielt retensjonsvolum dersom vannstanden kan reguleres med 1 m. Det samme ble gjennomført i Teigdalselvi for å vurdere potensialet for retensjon for flomdemping av Evangervatnet. Analysen gir også et foreløpig estimat av flomdempingen av de nåværende innsjøene uten tiltak.*

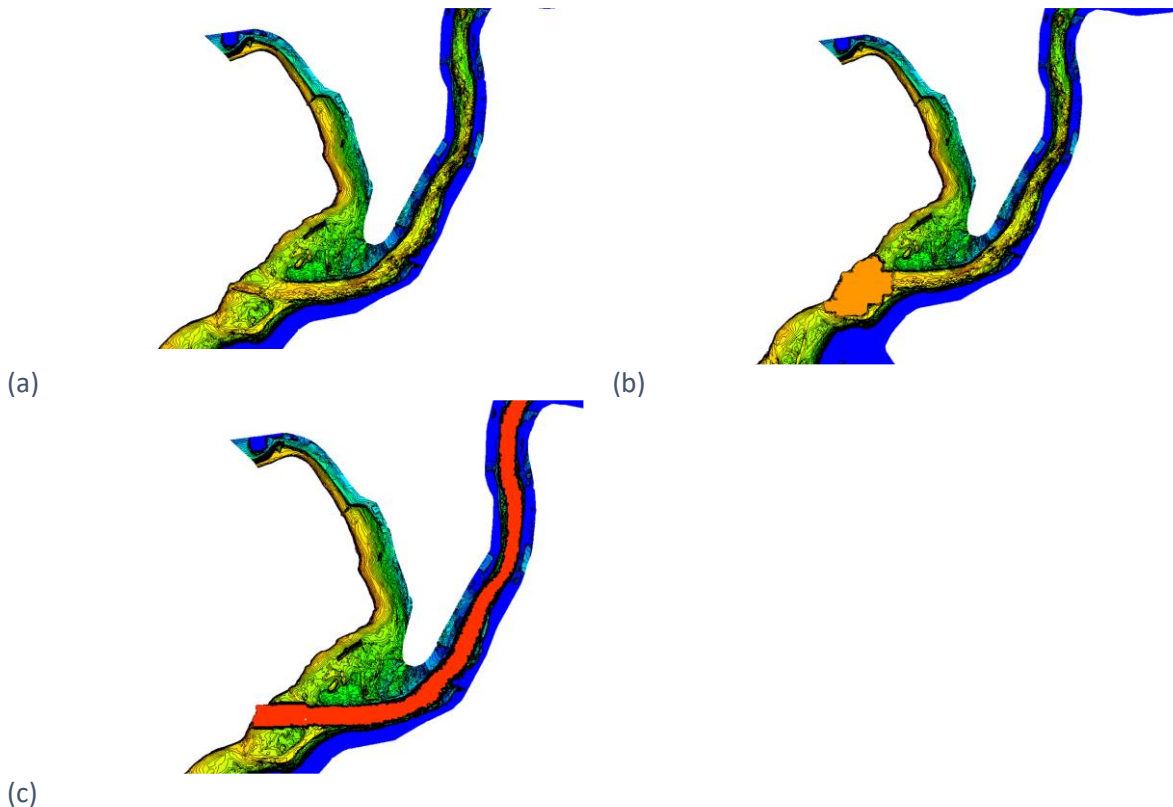
Det ble gjennomført en integrativ vurderingen av flomdempingspotensialet for forskjellige løsningsalternativer. De ble vurdert i to trinn: i) potensiell retensjon fra teoretiske volumer, ut ifra «Analyse av innsjøsystemer», ble sammenlignet med volumet av flombølger som ble registrert i de siste årene (2019-2024). Basert på denne kvantifiseringen var det mulig å utrede det potensielle individuelle bidraget fra hver innsjø til demping av enkelte registrerte flombølger. Videre ble det ii) utredet lokasjonen av de enkelte innsjøene langs flombølgen for vurdering av retensjonspotensialet (se Figur 2). Med denne kombinerte tilnærmingen kunne vi utrede for hver innsjø om individuell innsjøretensjon kun vil bidra til forsinkelse av flomtoppen (translasjon), eller om den også kan redusere flomtoppen.

2.2.2 Hydraulisk analyse

Avløpstverrsnitt Vossevangen og sedimentregime

En av tilnærmingene var vurdering av potensialet for aktiv sedimentforvaltning eller -forvaltning for å unngå at masser fraktes og deponeres i elvebunnen i sentrum og ved utløpet til Vangsvatnet. Bygger det seg opp masser der over tid, vil dette ha negative virkninger på vannstanden under flommer (høyere vannstand grunnet redusert avløpstverrsnitt). Det ble betont at tiltakene må ta hensyn til miljøet og bør ha så lav negativ påvirkning på akvatisk fauna som mulig, dersom de viser seg å være nødvendige. Vurderingen ble basert på fjernmåling (høydedata, Norge i bilder). Det ble pekt ut 1) lokasjoner for potensielle tiltak og 2) hvordan tiltakene bør gjennomføres/vedlikeholdes.

En annen form for sedimentforvaltning ble vurdert i Vossevangen, nemlig en senkning/modifisering av elvebunnen (utgraving) i Vossevangen. Dette ville vært et engangstiltak (i motsetning til aktiv sedimentforvaltning som må vedlikeholdes). To scenarier for bunnmodifikasjoner ble utviklet: i) utgraving av deltaet til kote 43.5 moh (Figur 3b), og ii) tilpasning av elvebunnen fra samløpet av Strandaelvi/Raundalselvi til munningen i Vangsvatnet til kote 42.5 moh (Figur 3c).



Figur 3. Høydemodell (DTM) for undersøkt område for elvebunnmodifiseringer; (a) nåværende terreng, (b) delta-utgraving (43.5 m a.sl.) og (c) senkning av elvebunn (42.5) forbi Vossevangen.

Hydrauliske ingeniørtiltak: Bulken/utløp Vangsvatnet

Det ble vurdert endringer av tverrprofilen ved utløpet av Vangsvatnet (N60°37'50"/E6°16'37"). Utløpet ble modifisert tidligere, og nåværende utforming er bygget med en utløpsterskel. Analysene ble gjennomført med 1D-hydraulisk modellering for nåværende utforming og modifikasjoner. Modifiserte scenarier var: i) senkning av utløpsterskelen med 1,2 m, ii) økning av avløpstverrsnittet rundt terskelen, og iii) økning av avløpstverrsnittet i kanal/juv nedstrøms terskelen.

Hydraulisk numerisk modellering

1-dimensjonale modelleringer ble gjennomført med HEC-RAS (Brunner 2016), og 2-dimensjonale med Hydro_AS 2D (Hydrotec). SMS (Aquaveo) og QGIS ble brukt for pre- og postprosessering av terrengmodeller og tolkning og fremstilling av resultater. For mer detaljer om modelleringen, se appendiks (Hauer 2024).

Hydrologiske scenarier for modellering

Hydrologiske scenarier ble satt opp i henhold til appendiks 2 (Hauer 2024). Tiltakene (utgraving av elvebunnen) i Vossevangen ble modellert med vannføringer på 400 og 800 m³/s. For tiltakene ved utløp av Vangsvannet ble en sensitivitetsanalyse gjennomført fra 50 m³/s opp til 1000 m³/s, med trinn på $\Delta Q=50\text{m}^3/\text{s}$.

Kartlegging av oversvømmelser

Kartlegging av oversvømmelser er basert på Sweco Q200+klima-modellen (2020) for Vossevangen og Evanger. Når det gjelder hus, ble alle bygninger med husnummer definert. Ved sammenhengende

bebyggelser (f.eks. rekkehus) ble alle husnummerne talt. For bygninger uten husnummer (og som ikke er sammenhengende med bygninger med husnummer) ble de også registrert. Høyden fra vannlinjen ble ekstrahert fra 2016 5-punkts LiDAR DEM (1 m rutenett, Kartverket). Høyden av bunnen til bygningene ble også ekstrahert fra samme DEM på ett punkt (ca. midten av huset).

2.2.3 Flomberegninger og kritiske flomnivåer

Det ble over tid opparbeidet et omfattende faggrunnlag for flomrisikohåndtering i Vossovassdraget. En oversikt finnes på NVE sine sider:

<https://www.nve.no/naturfare/sikringstiltak/sikringsprosjekter/vossovassdraget-flaumsikring/>

Det legges til grunn beregningene gjengitt i (Sweco-rapporten fra 2020, Skog et al. 2020)³: «Scenario 0: Flommen fra 2014 fordelt i delfeltene Scenario 1: Q200 + 40% fordelt i delfeltene med samme fordeling som 2014-flommen Scenario 2: Stor flom i Raundalselvi, tilsvarende mindre i andre felt Scenario 3: Stor flom i Strandaelvi, tilsvarende mindre i andre felt Scenario 4: Stor flom i lokalfeltet til Vangsvatnet, tilsvarende mindre i andre felt Scenario 5: Stor flom i lokalfeltet til Evangervatnet, tilsvarende mindre i andre felt Alle scenariene innebærer omtrent like mye vann totalt i vassdraget, men fordelinga mellom de ulike delfeltene blir forskjellig.»

Tabell 1. Flomberegninger etter Skog et al. (2020)

Sted	Scenario 0	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Strandaelvi	321	639	403	639	464	352
Raundalselvi	782	1176	1176	810	596	453
Bulken	812	1096	1096	1096	1096	648
Vassenden	1429	1708	1708	1708	1708	1710
Straume		2221	2221	2221	2221	2233

I følge Voss kommune (Bjørn Lirhus Ree, pers kom.) er «kritisk høgd for Vangsvatnet for å unngå skader rundt Voss sentrum er 50,6 m. Grunnlag: flaumsonekart frå 2006 – 200 års flaum kote 50,3 + tryggleiksmargin på 0,3 m. Flaumen i 2022 nådde 50,9 moh, hadde då ein del skader på f.eks kommunale bygg, men også mykje på private bygg. Det er i etterkanten av denne flaumen gjort ein del tiltak på f.eks kommunale bygg for å sikre og unngå skader opp til dette flaumnivået. Det betyr dersom vannstand kan nå det nivået i scenarier, kreves det lokale tiltak for å hindre oversvømmelseskader skader.

2.3 Naturbaserte og ikke-naturbaserte løsninger

Som definisjon på naturbaserte løsninger brukes samme grunnlag som i NVE-rapporten Flom og miljø i et endret klima (Pulg et al. 2022). Den følger definisjonen til IUCN⁴ (International Union for Conservation of Nature) og anbefalingene til Sowińska-Świerkosz and García (2022): «Naturbaserte løsninger er tiltak til å bevare, bærekraftig forvalte eller restaurere naturlige eller endrete økosystemer. De rettes mot samfunnsmessige utfordringer på en effektiv og etterjusterbar

³ <https://webfileservice.nve.no/API/PublishedFiles/Download/201800650/3203289>

⁴ <https://www.iucn.org/our-work/nature-based-solutions>

*måte og sikrer både velvære til mennesker og biodiversitet». For å skille fra ingeniørbibliologi eller bredden av tiltak i hage- og landskapsarkitektur tilføyes i henhold til (Sowińska-Świerkosz and García 2022): *Naturbaserte løsninger er inspirert av og bidrar til en utvikling mot en naturlig referansetilstand i naturregionen.**

I Vossovassdraget gjelder dessuten spesielle vernebestemmelser. De øvre vassdragsdelene Raundalselvi; Strandaelvi og Bordalselva er vernede vassdrag etter Verneplan 3. Vassdraget har status som nasjonalt laksevassdrag. I tillegg kommer verneområder etter naturmangfoldloven, deriblant deltaområdet i Lønnavatnet⁵ samt målsetting etter vannforskriften (i hovedsak god økologisk tilstand for de enkelte vannforekomstene). I Vossovassdraget pågår en redningsaksjon for den nasjonalt viktige Vossolaksen (Barlaup et al. 2017). Målsettingen med redning av laksestammen er også inkludert i Naturmangfoldloven (kvalitetsnorm villaks) og i verneformålene. Utover fisk nevnes stor verdi av habitater for flora og fauna, geo- og elvemorfologi, kulturminner og friluftsliv som begrunnelse i vernevedtak⁶.

For utvalg og evaluering av tiltaks- og løsningsscenarier har vi satt følgende kriterier og prioritering. Dette er basert på konseptet for en miljøvennlig klimatilpasning bygget på naturbaserte løsninger etter Pulg et al (2022):

1. Arealplanlegging: Bevaring av gjenværende flomsoner og elveløp med deres flomkapasitet og naturverdier.
2. Der mulig, elverestaurering med utvidelse av flomsone for å øke hydraulisk kapasitet.
3. Miljøtilpassede sikringer der det trengs lokale sikringstiltak (naturbaserte sikringer)
4. Avbøtende miljøtiltak skal implementeres der det kreves tekniske installasjoner. Bruk av ikke-naturbaserte løsninger skal bare planlegges der det finnes tilsvarende inngrep fra før og der inngrep kan miljømessig kompenseres eller avbøtes slik at miljømålene vil kunne nås.

⁵ <https://www.nve.no/vann-og-vassdrag/vassdragsforvaltning/verneplan-for-vassdrag/vestland/062-1-vossovassdraget/>

⁶ <https://www.nve.no/vann-og-vassdrag/vassdragsforvaltning/verneplan-for-vassdrag/vestland/062-1-vossovassdraget/>

Tabell 2. Konsept for en miljøvennlig klimatilpasning og flomrisikohåndtering, basert på naturbaserte løsninger (1-3) og avbøtende tiltak ved ikke-naturbaserte løsninger (4), fra Pulg et al. 2022)

Pr.	Tiltak	Effekt	Eksempel	TH
1	Arealplanlegging	<ul style="list-style-type: none"> • Bevaring av naturlige elveløp og flomsoneer avlaster andre arealer hydraulisk ved å gi rom til vann og morfodynamikk • Bidrar til redusert skadepotensial når verdifull arealbruk holdes utenfor faresonen • Flomdemping der det er rom til fordrøyning • Sikring av økologiske funksjoner, naturlige habitater og miljøtilstand i kant- og flomsoneer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Arealplan som sørger for å holde flomsoneer og elveløp fri for bebyggelse • By- og tettstedutvikling på tryggere arealer utenfor aktiv elveslette • Arealplan med rom for elveutvikling, elveparker og restaurering 	Unngå og Begrense
2	Vassdragsrestaurering	<ul style="list-style-type: none"> • Bidrar til lavere flomvannstand og erosjonskrefter ved å skape plass til morfodynamikk og økt hydraulisk kapasitet • Gjenskaper økologiske funksjoner, naturlige habitater og bidrar å forbedre miljøtilstand 	<ul style="list-style-type: none"> • Utvidelse av aktivt elveløp og elveslette • Fjerning eller tilbakesetting av erosjonssikring eller flomvoller • Fjerning av dammer og terskler • Gjenåpning av lukkede bekker 	Istandsette
3	Miljøtilpassete sikringsmetoder	<ul style="list-style-type: none"> • Kompromiss mellom sikring og miljøutforming • Gir sikringens funksjon, men reduserer miljøforholdene i mindre grad enn tradisjonell glatt utforming 	<ul style="list-style-type: none"> • Naturtypisk utforming av elvebredd foran sikring • Steinrøys istdf. glatt plastring • Kantvegetasjon • Faskiner og kvistmatter 	Kompensere og istandsette
4	Avbøtende miljøtiltak ved tradisjonelle ikke-naturbaserte løsninger	<ul style="list-style-type: none"> • Flomsikringstiltak (flomtuneller, flomvoller, erosjonssikring, kraftregulering m.m.) bidrar til flomrisikohåndtering i henhold til dimensjonering • Miljøtiltak bidrar å dempe, avbøte eller kompensere negativ miljøpåvirkning 	<ul style="list-style-type: none"> • Grus- og steintilførsel som kompensasjon for erosjonssikring som hindrer lateral massetilførsel • Fiskepassasjer gjennom flomvoller og over terskler • Ripping av elvebunn for å øke skjul når flommer mangler i regulerte elver. 	Kompensere

Pr. = prioritering dersom både flomrisikohåndtering og miljøtilstand skal forbedres. TH = Tiltakshierarki

3 Resultater og diskusjon

I følgende kapittel beskrives resultater fra prosjektet. I tillegg er viktige resultater publisert i tre forskningsartikler som finnes i vedlegg. Resultatene fra hydraulisk modellering finnes både integrert i følgende kapittel men også samlet og supplert med feler detaljer som egen delrapport fra BOKU Wien. Denne finnes i appendiks (kap. 7). Det refereres hyppig til dem i både resultat- og diskusjonskapittel.

3.1 Grunnlag – elvetyper og sedimentregime

Det ble over tid opparbeidet et omfattende faggrunnlag for flomrisikohåndtering i Vossovassdraget. En oversikt finnes på NVE sine sider:

<https://www.nve.no/naturfare/sikringstiltak/sikringsprosjekter/vossovassdraget-flaumsikring/>

Vi supplerte dette grunnlaget med kartlegging av elvetyper og sedimentregime basert på elvemorfologien (Pulg et al. 2022). Elvetyper er forenklet beskrevet i Pulg et al. (2023). Grunnlagsdata ble hentet fra LFIs kartlegging av elven i tidligere prosjekter særlig informasjon om sediment, LIDAR-data (hoydedata.no) og flyfoto (norgebilder.no). Resultatene er vist i Figur 4-Figur 8. Vossovassdraget har en variert elvemorfologi der nesten alle elvetyper (etter Hauer & Pulg 2018) inklusive innsjøer forekommer (Figur 8). Sedimentregimet varierer på korte avstander mellom massebegrensning og transportbegrensning. En massebegrenset elvestrekning kan transportere mere løsmasser enn det tilføres, typisk bratte fossestryk, juv eller utløp av innsjøer. En transportbegrenset strekning får mere masser tilført enn den kan transportere. Typisk er deltaområder og tendensiell også kulp-stryk strekninger. Innimellom ligger jevne stryk som kan variere, samt varierte stryk (usortert, diamiktisk) med tendens til massebegrensning. Massebegrensede strekninger kan skjære seg inn i undergrunnen og denne prosessen har pågått de siste 9-10.000 år. Derfor er bunnen i massebegrensede strekninger i dag ofte delvis armert eller ligger delvis på fast fjell eller juv. Transportbegrensede strekninger har en tendens til sedimentoverskudd og elvebunnen bygger seg opp over tid. Elveløpene er dynamisk og endrer beliggenhet regelmessig. Disse prosessene og forskjellene mellom elvetyper er svært relevant for flomrisiko.

Dominerende sedimentregime er vist i Figur 7, elvetyper i Figur 8. Det er særlig de oransjene og røde strekninger som er dannet av fluviale prosesser, der sortert sediment overveier og der elver kan erodere bredder og danne nye løp under flommer (morfodynamikk). Utløpere er ofte større flommer etter en periode med mindre flommer. I erosjonssikret tilstand, er det ofte flommer over 50-års flom som er utløpere, men det er avhengig av lokale forhold, ras, vegetasjon og elvebreddens stabilitet. Naturlig bidrar stabile elvetyper rett ovenfor fluviale elvetyper til økt potensiale for morfodynamikk siden det lett kan oppstå overkritisk strøm i slike strekninger. De er brattere og ligger på grunnfjell eller steinblokker (Pulg et al. 2022). Elvesengen kan ikke, eller vil i mindre grad, gi etter i slike strekninger noe som bidrar til akselererte vannmasser, ofte med overkritisk (Froude tall > 1) strøm og høy energi. Også kunstige stabiliseringer og innsnevring fører til en lignende effekt slik som kanalisering eller broer (Hauer et al 2021). Det er derfor økt potensiale for morfodynamikk der juv, fossestryk og varierte stryk treffer på kulp-stryk-strekninger eller tidligere deltaavsetninger. En lignende effekt har innsnevring og forbygninger slik som broer og kanalisering, også disse kan bidra til å initiere morfodynamikk rett nedenfor, særlig når de treffer på fluviale sedimenter i kulp-stryk strekninger eller elvevifter (delta).

I Vossovassdraget finnes slike strekninger i alle deltaområder merket på kart i Figur 8. Her treffer juv i grunnfjell eller brattere stryk på flatere deltaavsetninger. Disse betraktes derfor som særlig utsatt for morfodynamikk i flommer som overstiger dimensjonering av sikringen. Det gjelder særlig under juvene fra Palmafossen og Rongfossen der akselerert vann treffer på fluviale sedimenter. Også kulp-stryk strekninger (oransje) har høy potensial for morfodynamikk, særlig ved innsnevring slik som broer og der stabilere strekninger ligger ovenfor (for eksempel Bømoen).

Sedimentregimet i Vossovassdraget er svært variabel. De store innsjøene virker som sedimentfeller og er årsaken til at alle utløpselver er massebegrenset i starten. Etter vert kommer sedimentkilder til i form av sideelver og rasvifter som tilfører løsmasser. Disse massene transporteres i elven og avsettes i kulp-stryk strekninger og deltaområder (flyfoto i Figur 4-Figur 6). Basert på flyfotoene over 7 tiår akkumuleres sedimentbanker ikke særlige raskt i Vossovassdraget, trolig grunnet relativt lav sedimenttilførsel gitt nedbørsfeltets geologi og alder (Hauer & Pulg 2018) og innsjøeffekten. Sedimenter har trolig også blitt fjernet underveis.

Over tiår vil sedimenter likevel kunne opphopes i de transportbegrensede deler og føre til en heving av elvebunnen med konsekvenser for vannstand og morfodynamikk og med dette for flomrisikohåndtering. Flyfotoene tatt over et tidsrom på 71 år bekrefter dette. Effekten gjelder særlig i de bebodde områdene på elveviftene (delta) som alle er transportbegrenset.

Elvetyper, sedimentregimet og deres implikasjoner for flomrisikohåndtering bør derfor i større grad hensyntas i fremtidens i fremtidens flomrisikohåndtering, for eksempel ved hjelp av sedimentforvaltning som både tar hensyn til flomrisikohåndtering og vassdragsnaturen, men også ved dimensjonering av sikringer i områder nedenfor stabile elvestrekninger (metoder og eksempler Pulg et al. 2022). Overvåking og beregning av sedimenttransport i vassdraget vil bidra å kvantifisere effekter og ikke minst avgrense risikoområder. Også modellering av elvens transportkapasitet vil bidra til dette, eksempler i (Pulg et al. 2022).



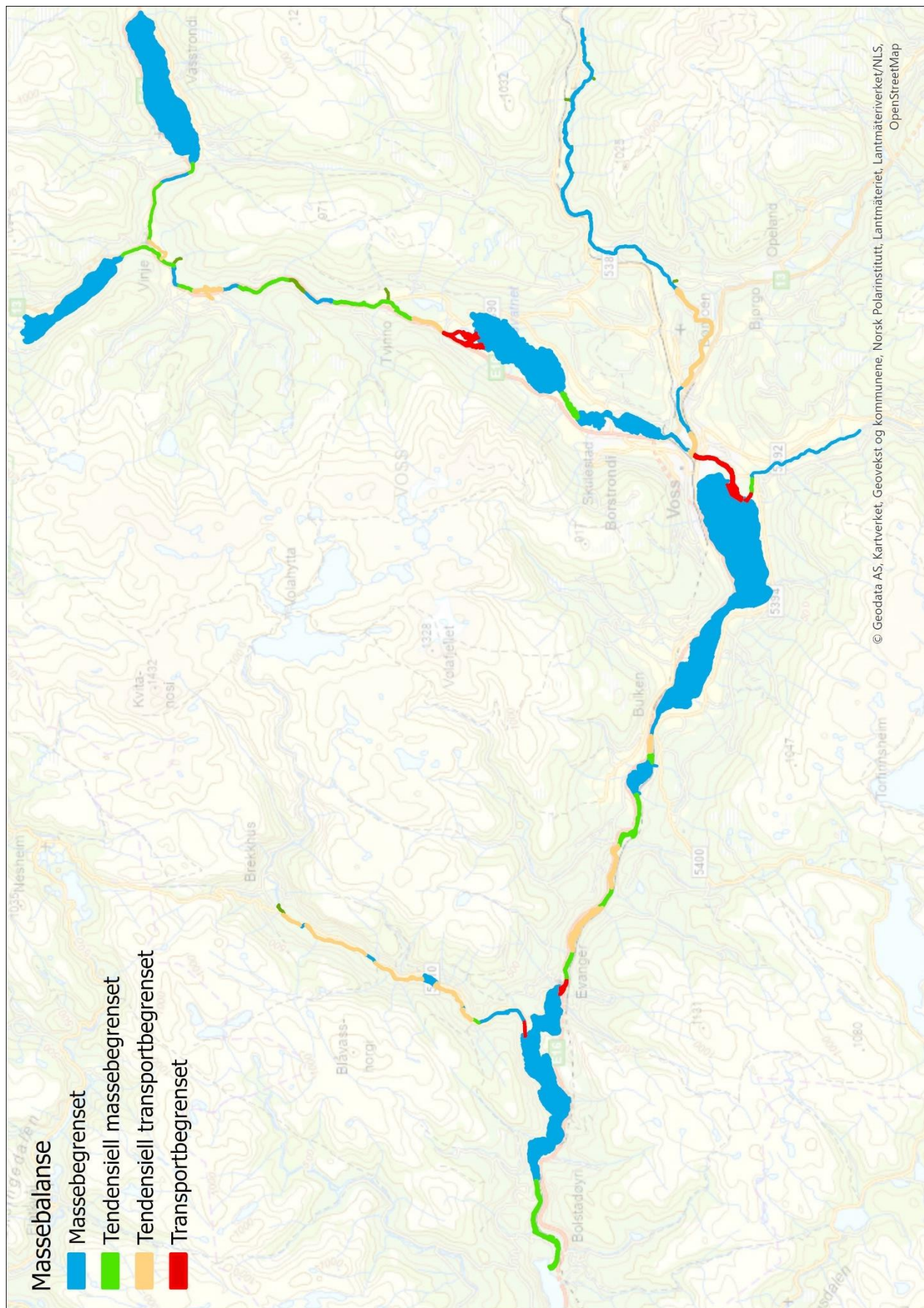
Figur 4. Morfodynamikk (endringer av elveløpet gjennom erosjon og sedimentasjon) i innløpet av «Skorvevatnet» 1949 (oppe) og 2020 (nede, norgebilder.no). Strekningen er tendensiell transportbegrenset med opphoping av masser over tid (norgebilder.no).



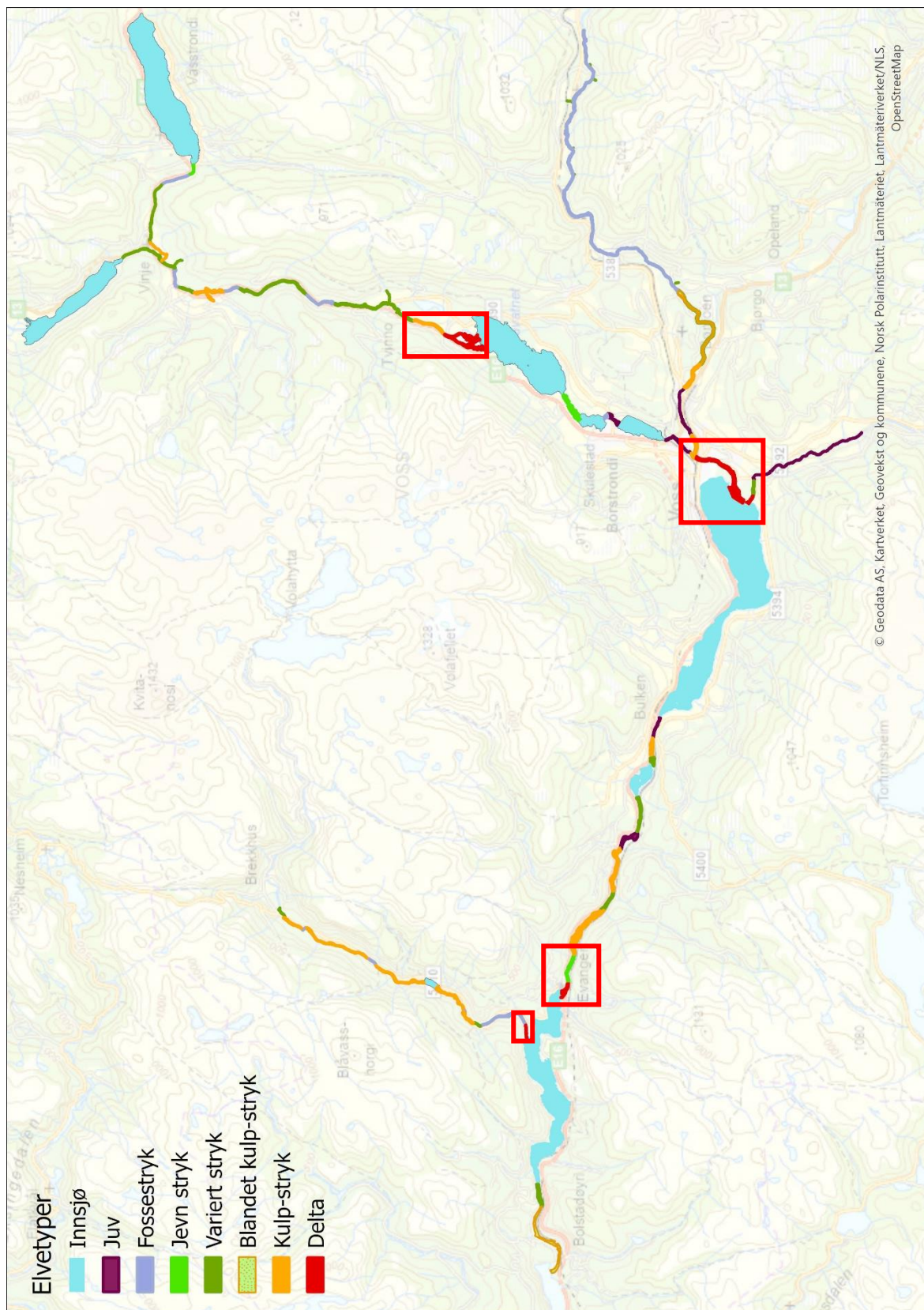
Figur 5. Morfodynamikk på Evanger der Voss munner i Evangervatnet, flyfoto fra 1958, 2013 og 2020 (norgebilder.no). Elvestrekningen er massebegrenset og det vil akkumuleres sediment over tid. Trolig forekom utgravinger mellom bildene. Legg også merke til utfylling nord for Evanger der det ble skapt arealer med stor risiko for oversvømmelse.



Figur 6. Sedimentavsetninger i kulp-stryk strekningen nedenfor juvet Brynagjelet i Vossavangen.



Figur 7. Kart over sedimentregime i Vossovassdraget



Figur 8. Kart med elvetyper i Vossovassdraget. Kulp-stryk typen (oransje) står for områder med høy potensiale for morfodynamikk under flommer, rødt står for områder med svært høy potensiale for morfodynamikk under flommer. De røde rektangler merker strekninger der mer stabile elvetyper treffer på dynamiske elvetyper med svært høy potensial for morfodynamikk.

3.2 Flomdempingspotensial i innsjøer og magasiner

I Vossovassdraget finnes flere naturlige innsjøer som gir naturlig fordrøyning av flomvann (retensjon), for eksempel Vangsvatnet. I tillegg finnes en rekke kunstige magasiner i nedbørsfeltet, hvor noen tidligere naturlige innsjøer har blitt ombygget til regulerbare magasiner med svært varierte tappemuligheter og styringsmuligheter. Bare de eksisterende magasiner har til sammen et volum på 250 000 000 m³ ifølge NVE-atlas.

Også i Myrdalsvatnet er det foretatt endringer. Vannet ble senket for bedring i drening av landbruksjord. Dette volum vil kunne brukes under ekstremflommer ved utløpskontroll. Utløpet i Lundarvatnet går kontrollert gjennom Rongsfossen kraftverk, men har ikke magasinivolum registret i NVE-Atlas (lite areal, elvekraftverk).

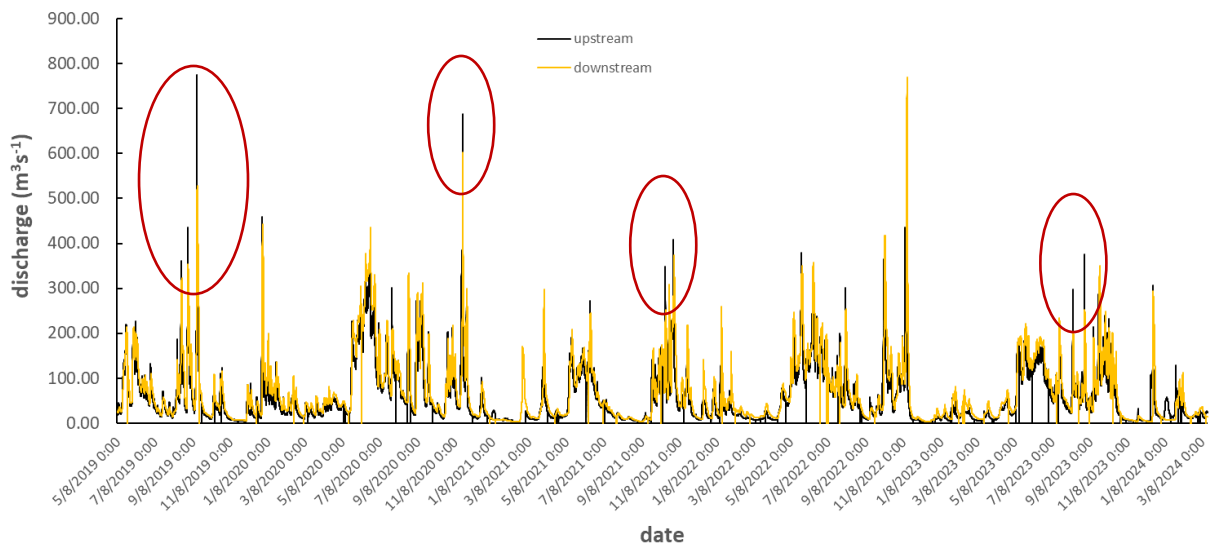
Tabell 3. Oversikt over registrerte vannkraftmagasiner i Vossovassdraget, kilde:

<https://atlas.nve.no/Html5Viewer/index.html?viewer=nveatlas#>

	Delfelt	Areal ved HRV	Magasinivolum	HRV--LRV
Oppheimsvatnet	Strandaelvi	3.85 km ²	2.8 Mill. m ³	1.2 m
Volavatn	Teigdalselva	2.36 km ²	56.6 Mill. m ³	32 m
Piksvatn	Teigdalselva	1.65 km ²	12.7 Mill. m ³	12 m
Torfinnsvatnet	Normalvann overført til Bergdalsvassdraget, flomoverløp kan nå Vosso	6.52 km ²	177 Mill. m ³	35 m

Figur 9 presenterer en validering av innsjøflomretensjon med Vangsvatnet som eksempel. Figuren sammenligner vannføringen i Vossevangen inn i Vangsvatnet (Raundalselvi og Strandaelvi) med vannføringen ut av Vangsvatnet målt i Bulken. Røde markeringer indikerer episoder med flomtoppretensjon. Dette viser at dagens situasjon (selv uten tekniske intervensjoner) har en positiv effekt for området nedstrøms Vangsvatnet, da vannet reduserer flomtopen.

Slike effekter kan forsterkes ved å regulere eller kontrollere en del av innsjøvolumet/vannstanden, noe som kunne gjennomføres i Strandaelvi.



Figur 9. Flomdemping i Vangsvatnet, Vannføring i innløp (svart Raundals+ Strandaelvi) og utløp (Bulken) av Vangsvatnet

3.2.1 Forutsetninger

- Scenario 2 legger til grunn å utvide eksisterende retensjonsvolumet til flomdemping ved forhåndstapping.
- Dette forutsetter tidlig varsling av flomfare, minst 36-48 timer i forveien for å kunne senke vannstanden, eller en sikring av en bufferkapasitet
- Det forutsettes tilstrekkelige dimensjonerte tappearrangementer, noe som trolig vil medføre ombyggingsbehov
- I Myrkdalsvatnet forutsettes en utløpsbegrensning.

3.2.2 Resultater av modellering

Figur 10 viser i) arealanalyse og ii) dekningsgrad av totalnedbørsfelt. Strandaelvi har tre innsjøer langs elveløpet med mer enn 1.000.000 m² areal. De dekker henholdsvis 16,2 % (Oppheimsvatnet), 42,5 % (Myrkdalsvatnet) og 98,2 % (Lønavatnet) av delnedbørsfeltet. I tillegg kommer Lundarvatnet med et areal på ca 500.000 m², som dekker 99,8 % av delnedbørsfeltet. Samlet gir dette ca. 9.000.000 m² areal, som ved antatt 1 m reguleringshøyde vil muliggjøre 9.000.000 m³ retensjonsvolum. Ved reguleringshøyde 1,5 m er retensjonspotensialet 14,8 millioner m³.

Raundalselvi har mindre innsjøer (<700.000 m²) som alle er lokalisert langt opp i vassdraget. Derfor er andelen av vassdraget som kan dempes av innsjøene veldig begrenset her (1,2-10,1 %). Alle innsjøer i Raundalselvi er uregulerte og er lite eller ikke påvirket av menneskelige inngrep.

I Teigdalselvi finnes to større innsjøer. Begge er kunstige kraftmagasiner med henholdsvis i) 2.273.000 og ii) 1.396.366 m² areal og til sammen 96.3 Mill. m³ magasinkapasitet. Siden begge er lokalisert i samme elvestreng, bidrar magasinene bare med mindre enn 30 % til det hydrologisk aktive nedbørsfeltet (se Figur 11).

I tillegg kommer Torfinnsvatnet med 177 Mill. m³ magasinkapasitet. Vann frå magasinet føres til Bergdalsvassdraget og kraftproduksjon der, men via Torfinno kan flomvann havne i Vosso. Derfor kan også Torfinnsvannet bidra å dempe flomtopper, dog i begrenset grad.

INTEGRATIV VURDERING

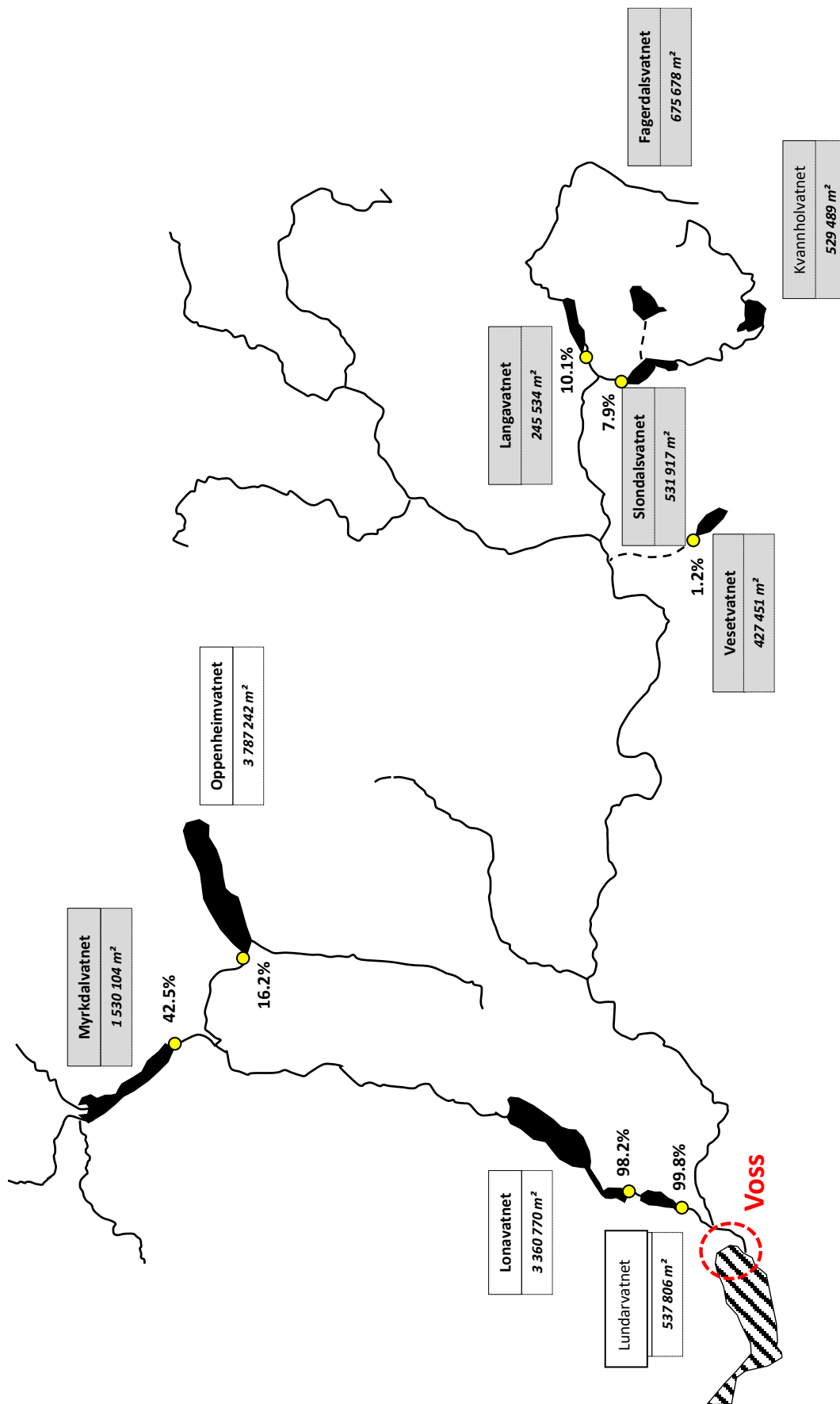
Figur 12 viser hydrografen/tidsserien fra 2019 til 2024. Den stiplede linjen indikerer beregnet retensjonspotensial på 150 m³/s. Basert på det kalkulerede retensjonsvolumet kan vi konkludere at små flommer opptil 10 millioner m³ kan dempes nærmest fullstendig ved å øke volumet med 1 meter i reguleringshøyde (enten ved kontrollert senkning av vannspeilet før flommen eller kontrollert heving av vannspeilet under flommen) i innsjøene.

Flomtoppen for større flommer (over 20 millioner m³, novemberflommen i 2022 anslås til 41.4 millioner m³) kan imidlertid bare delvis dempes med 1 meter forhåndssenkning av vannstanden.

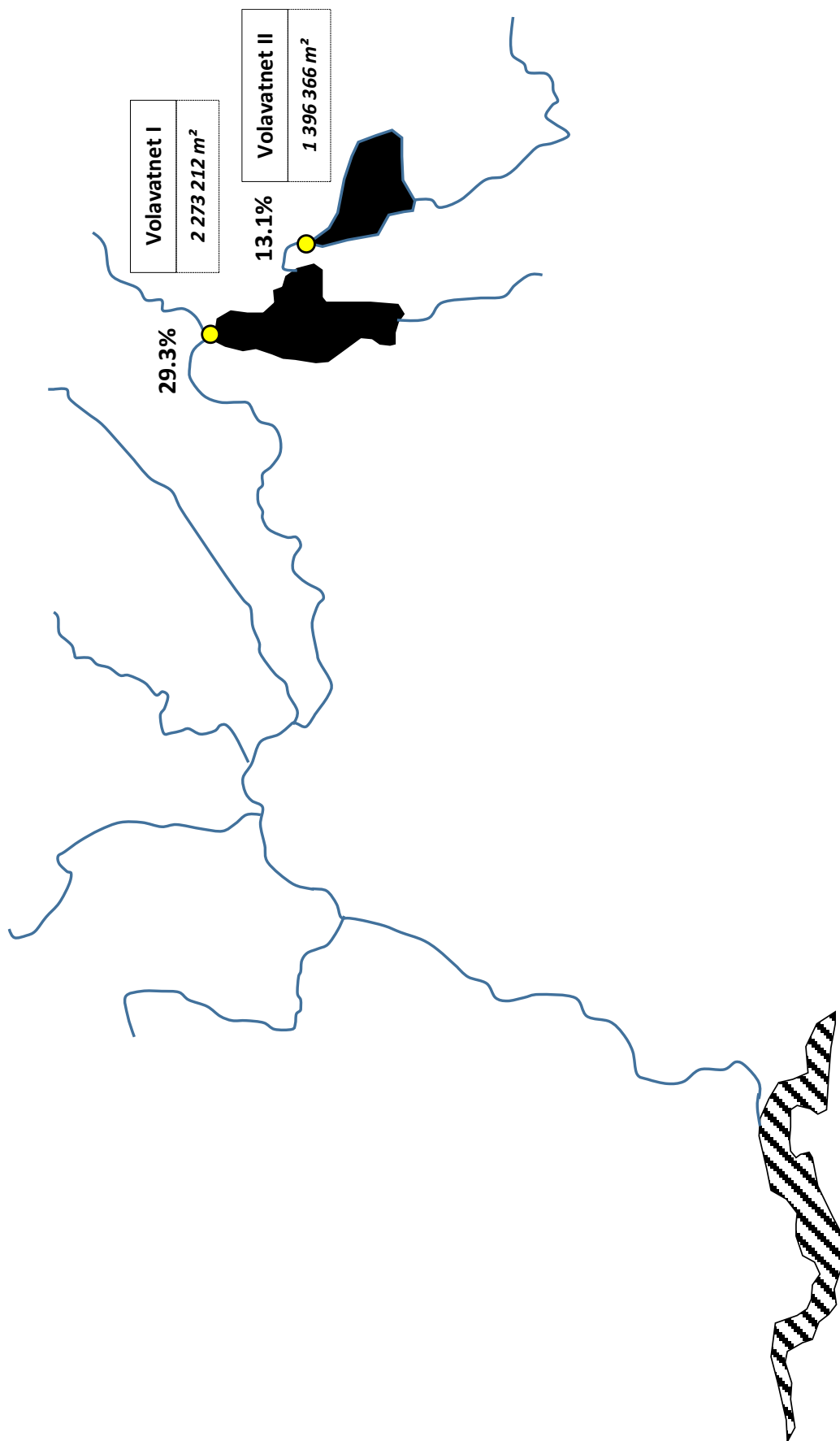
Flomdemping i Strandaelvi er derfor ikke tilstrekkelig i seg selv, men kan brukes som et bidrag til flomrisikohåndtering sammen med andre tiltak (Scenario 6)

Dempingsvolum i innsjøene kan økes ytterligere ved å øke forhåndstappingsmuligheter eller en utløpskontroll som hever vannspeilet kontrollert. Dette må i så fall avveies mot ytterligere flomskader rund innsjøene og er ikke utredet her.

Magasinene i Teigdalselva har vanddekket areal på 3.6 mill m² og dekker omtrent 30 % av nedbørsfeltet. Med forhåndstapping av magasinene kunne det leveres potensiell hundre millioner m³ retensjonsvolum (på bekostning av kraftproduksjon). Det er derimot stor usikkerhet i retensjonspotensiale avhengig av lokal nedbørsfordeling (potensielt er det mulig med flomtoppreduksjon for 30 % av nedbørsfeltet). Samtidig er det mulighet for lavere magasinfylling dersom prognosen ikke treffer og nedbør konsentreres i andre deler av nedbørsfeltet eller uteblir i delnedbørsfeltet til magasinene. Generelt kan det konkluderes at med regulering av magasinene både reduksjon av flomtoppen og forsinkelse av denne vil være mulig til en viss grad.

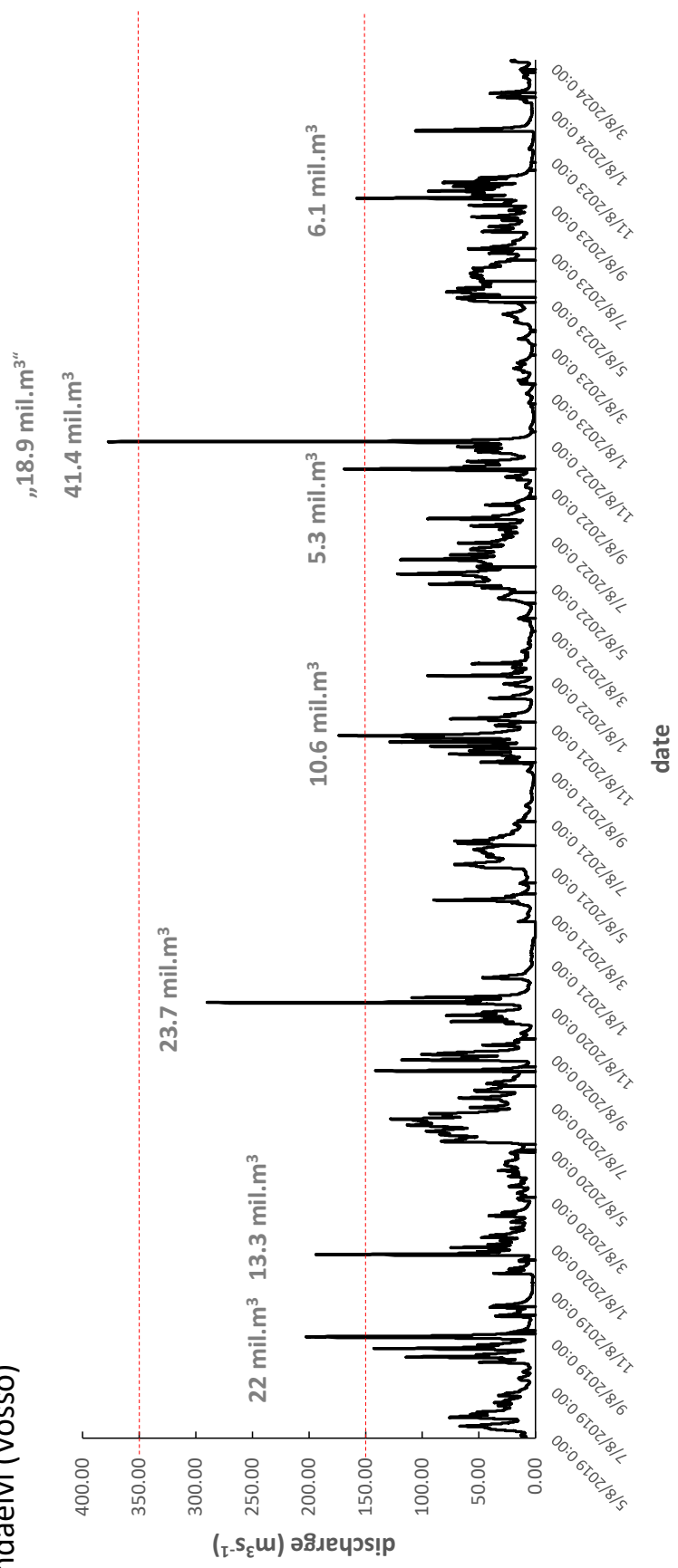


Figur 10. Oversikt innsjøer med retensjonspotensiale i Strandaelvi og Raundalselvi.



Figur 11. Oversikt innsjøer med retensjonspotensiale i Teigdalselvi.

Strandaelvi (Vosso)



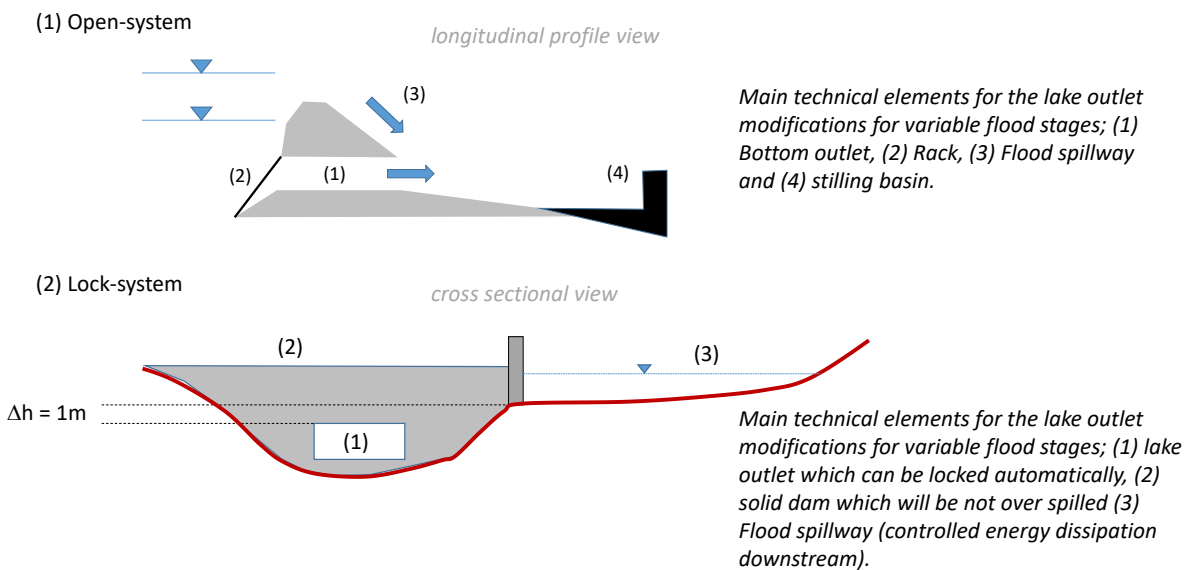
Figur 12. Vannføring i Strandaelv med volum av flombølger over 150 m³/s

Figur 14 viser de to forskjellige konseptene for regulering av innsjøutløpene. Begge konseptene kan brukes for kontrollert heving av vannstanden. I et åpent system (Figur 13a) begrenses toppavrenningen gjennom et definert utløp, mens resten av flombølgen løfter vannspeilet i innsjøen.

I et lukket system (Figur 13b, med automatisk eller semiautomatisk luke) vil hele flombølgen løfte vannspeilet i innsjøen til overtopping når luken stenges under flommer. Kontrollert forhåndstopping er kun mulig med et lukket system.

Concepts – outflow regulation lakes (e.g.

Myrkdalvatnet
3 787 242 m ²



Figur 13. Illustrasjon av to tekniske løsninger for regulering av innsjøutløp. I) åpent system, ii) automatisk eller manuelt styrt lukesystem (Hauer 2024).

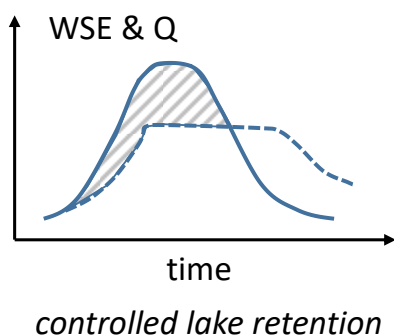
3.2.3 Miljøtiltak

Flomdemping i innsjøer er i utgangspunktet forenelig med kriteriene i 2.3 og etterligner en naturlig prosess. Demping av flommer i eksisterende magasiner er ikke nye inngrep, men krever trolig installering av eller ombygging av tappearangementer og installering av et utløpskontroll i Myrkdalsvatnet. Disse inngrepene og byggeaktivitetene skal avbøtes ved stedsavhengige miljøtiltak slik som revegetering og utforming av naturtypisk elvemorfologi. Innsjøsonen som er berørt av heving eller senkning av vannstanden kan utformes som naturlig vegetasjonsbelte eller driftes som beiteområde. Ved utløpsosene bevares og restaureres gytehabitater for laksefisk. Flomdemping skal brukes for ekstremflommer. Mindre flommer bør ikke dempes siden disse har viktige funksjoner for vassdragsøkologien.

3.2.4 Diskusjon

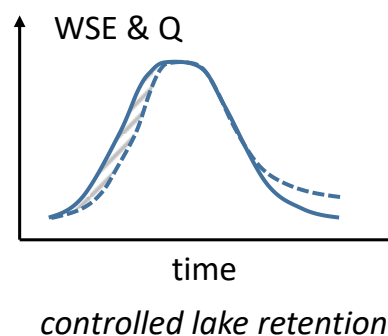
- Flomdemping i innsjøer er mulig i Strandaelvi (se Figur 14a). De store innsjøarealene og lokaliseringen av innsjøene relativt langt nede i nedbørsfeltet gjør det mulig å dempe flomtoppene kontrollert ved storflommer.
- Dempingspotensialet i Strandaelvi er minst er ca. 9 millioner m³, men kan økes ved ytterligere tiltak
- Flomretensjon basert på innsjøregulering er ikke hensiktsmessig i Raundalselvi. Innsjøene er for små, og andelen av hydrologisk aktivt nedbørsfelt er minimalt, spesielt med tanke på lokaliseringen i fjellene. Derfor kan innsjøene bare bidra med en forsinking av flombølgen (Figur 14b), men de kan ikke bidra til å redusere flomtoppen.
- Flomretensjon KAN være mulig i Teigdalselva ved forhåndstapping av magasinene. Disse dekker riktignok bare 30 % av nedbørsfeltet, noe som innebærer en moderat til høy risiko med tanke på effektiviteten av retensjonen under katastrofeflommer (avhengig av lokale nedbørs- og avløpskarakteristikker), men til gjengjeld er dempingspotensialet stort (opp til 69 millioner m³).
- Det forutsettes nye eller oppgraderte tappearrangementer samt et utløpskontroll i Myrkdalsvatnet.
- Det forutsettes en rekke avbøtende miljøtiltak, slik som revevegetering og restaurering av gyteplasser i utosene.

Strandaelvi (Vosso)



(a)

Raundalselvi



(b)

Figur 14. Prinsipiell konklusjon av retensjonspotensial i Strandaelvi (a) og Raundalselvi (b)

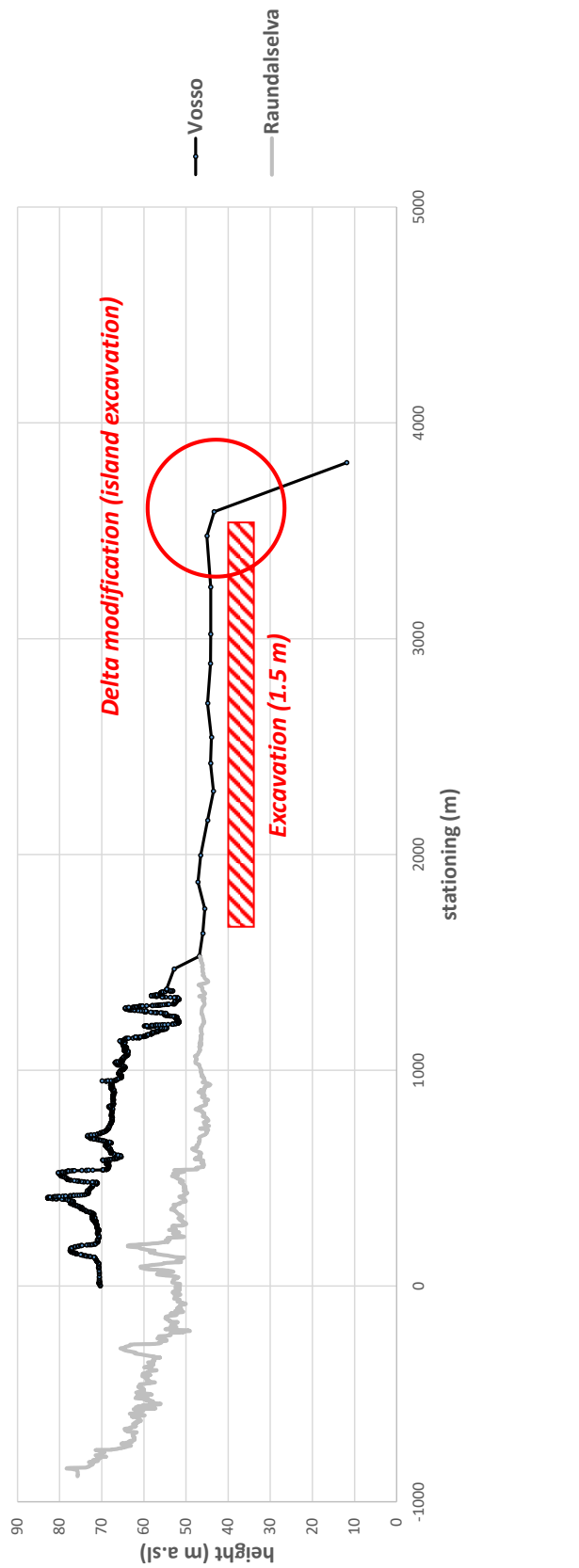
3.3 Sedimentforvaltning og hydraulisk kapasitet

I dette scenarioet fokuseres på Vossevangen og håndtering av sedimentering av løsmasser i det gamle elvedeltaet. Der ble det testet hvilken effekt en senkning av elvebunnen i Vosso ved Vossevangen - med tilbakeføring av naturtypisk sediment - ville hatt på flom vannstand og hvor det er mulig med en miljøtilpasset sedimentforvaltning. Målet er å skape en massebalanse i Vossevangen og at ukontrollert økning av elvebunnen (pga. sedimentering se kap.3.1) og med dette reduksjon av hydraulisk kapasitet kan unngås.

3.3.1 Forutsetninger

De tenkte tiltakene i Vossevangen er skissert i Figur 15 på den longitudinelle elveprofilen. De undersøkte scenariene som ble modellert inkluderer:

- Justering av bunnivå av Vosso i (A) deltaområdet og
- (B) senkning mellom munningen av elven i Vangsvatnet og opp til samløp Raundalselvi og Strandaelvi., med restaurering av naturtypisk sedimentlag på den senkede elvebunnen etterpå. Gjennomsnittsenking er 1.5 m.
- (C) Miljøtilpasset sedimentforvaltning ovenfor Palmafossen



Figur 15. Lengdeprofil for (a) Strandaelvi (svart linje) og (b) Raundalselvi (grått linje) til Vangsvatnet. To aktive sedimenttiltak er skissert (rødt).

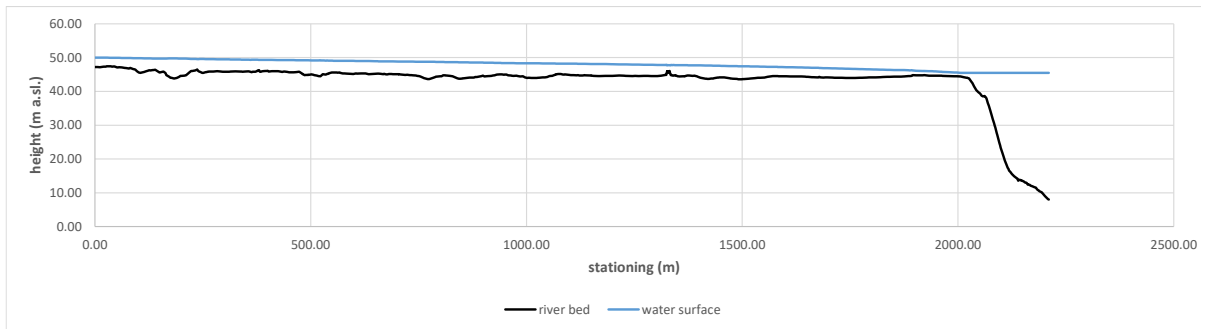
3.3.2 Resultater av modellering

Resultater fra 2D-hydrauliske modelleringer ved en vannføring på 400 m³/s (tilsvarer en liten flom) for to ulike innsjøvannstater er vist i Figur 16 og Figur 17. Begge figurene viser lignende resultater for vannstand, vannhastigheter og vanndybde. Vurdering av forskjellige innsjøvannstater med samme vannføring er vist i Figur 18. Det er tydelig at lavere innsjøvannstand kun gir en forskjell på en kort strekning ved munningen av elven i Vangsvatnet, mens det ikke gir forbedringer (lavere vannstand i elven gjennom Vossevangen) lenger oppstrøms.

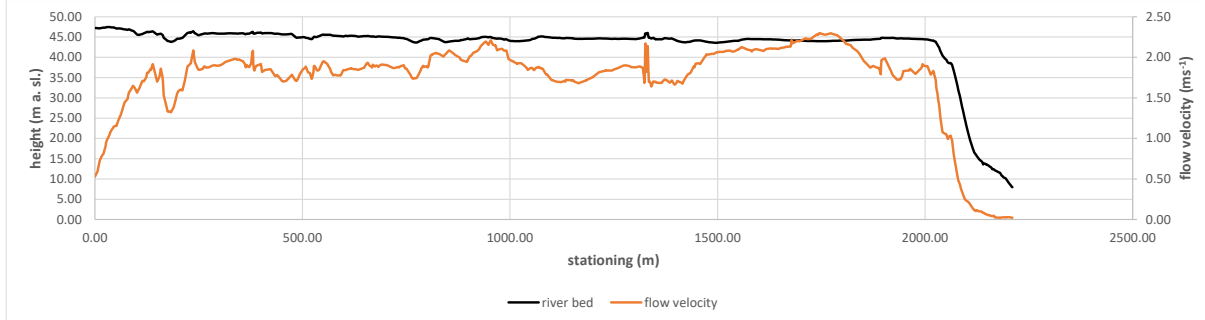
Lignende resultater vises for scenarioet (A) "DELTA MODIFISERING" (Figur 19-Figur 21). Også her er det kun en kort strekning ved munningen i Vangsvatnet som responderer med lavere vannstand (Figur 21). Et slikt tiltak vil derfor ikke ha noe effekt på senkning av flomvannstand.

For scenarioet (B) "UTGRAVING AV ELVEN" (Figur 22-Figur 24) er resultatene annerledes. Modelleringen viser at senkning bidrar til å senke vannstanden i elven ved små flommer (400 m³/s), med lavere elvevannstater opp til 1000 meter fra munningen.

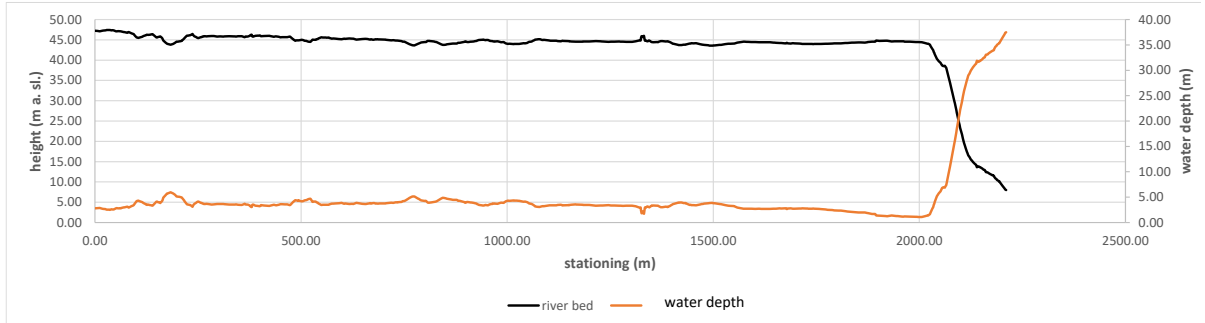
Ved store flommer (800 m³/s) vil senkningen ha mindre effekt (Figur 25-Figur 27), men den er fremdeles synlig opp til 500 meter oppstrøms fra munningen.



(a)

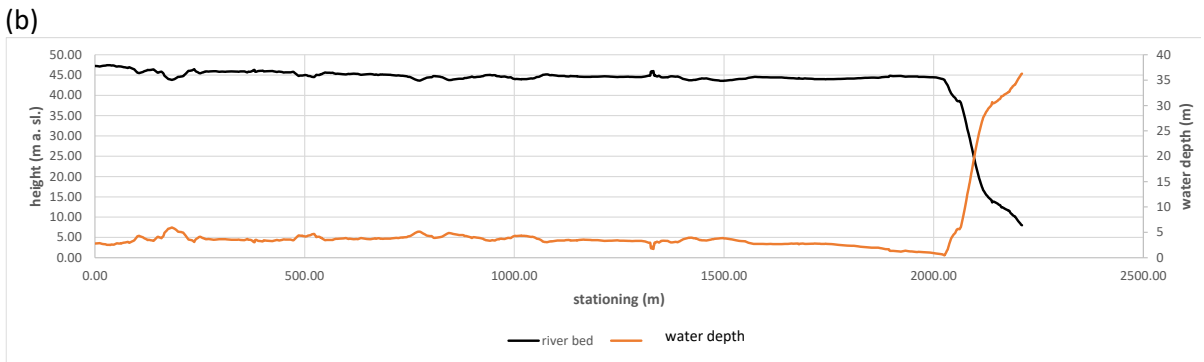
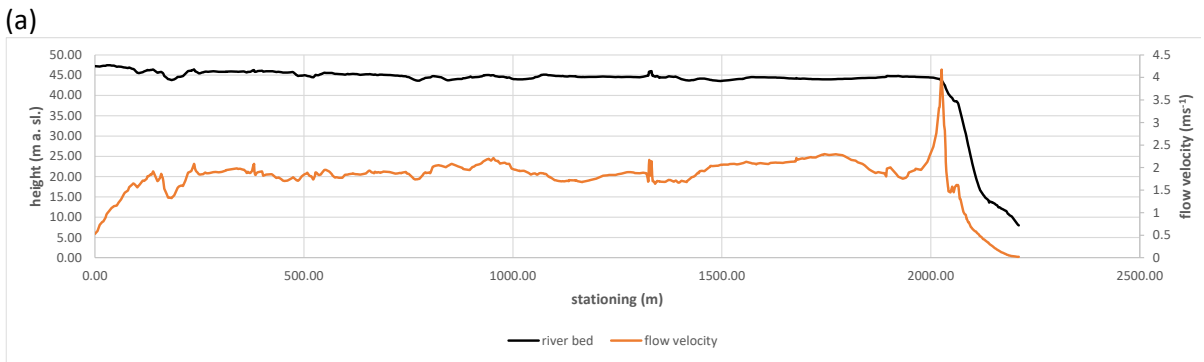
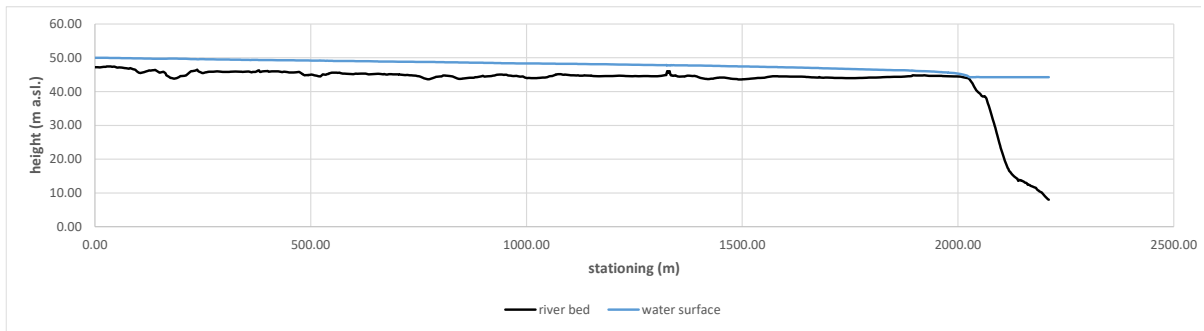


(b)



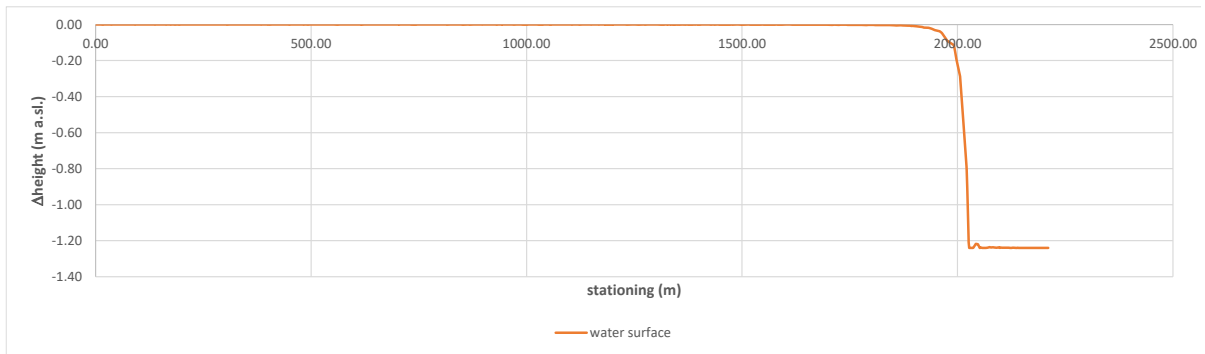
(c)

Figur 16. Lengdeprofil for nåværende tilstand for a) vannspeil (moh.), b) vannhastighet, og c) vandedybde ved vannføring på 400 m³/s og vannspeil i Vangsvatnet på kote 45.5.

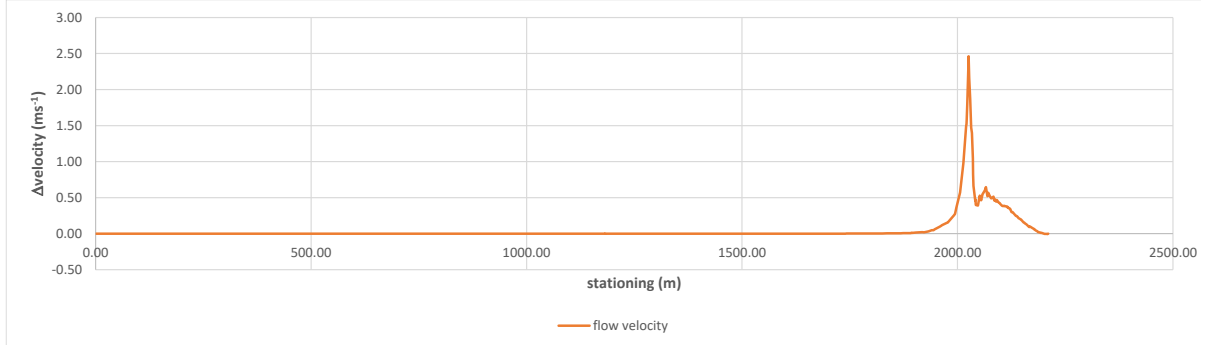


(c)

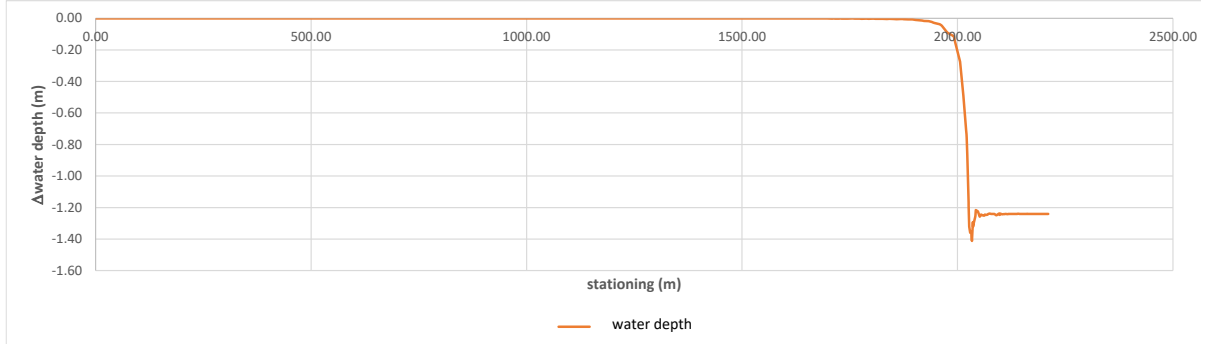
Figur 17. Lengdeprofil for nåværende tilstand for a) vannspeil (moh.), b) vannhastighet, og c) vandedybde ved vannføring på 400 m³/s og vannspeil i Vangsvatnet på kote 44.26 moh.



(a)

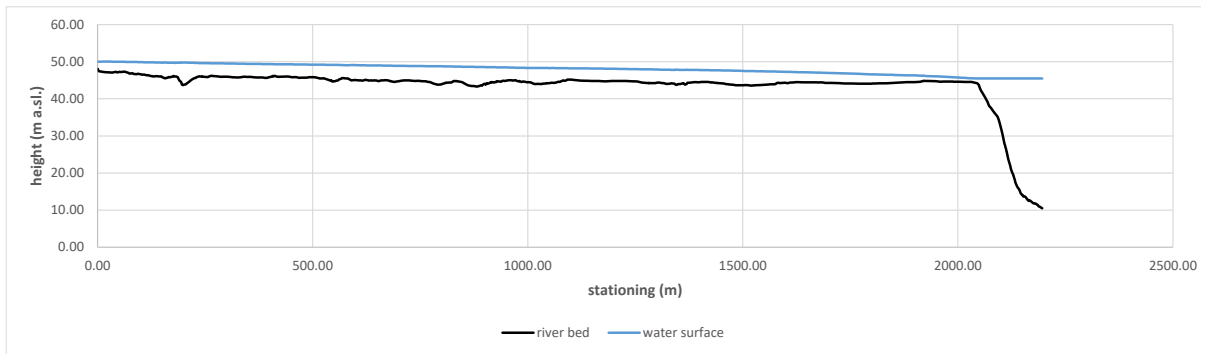


(b)

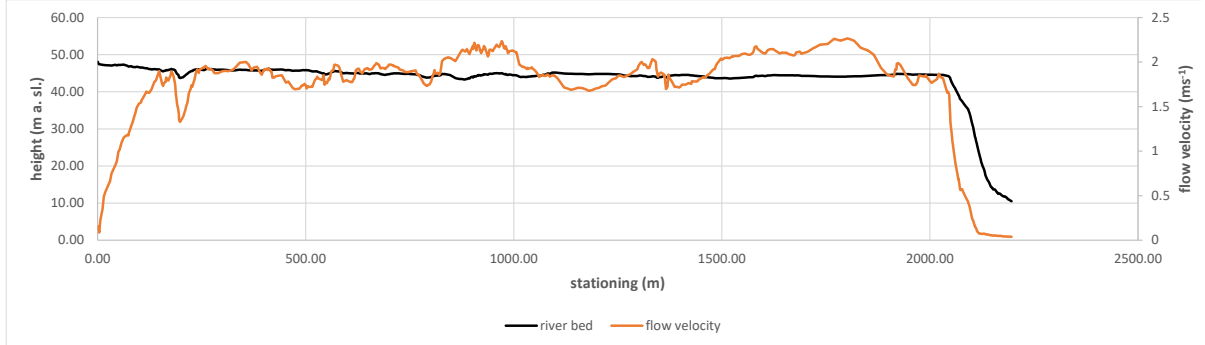


(c)

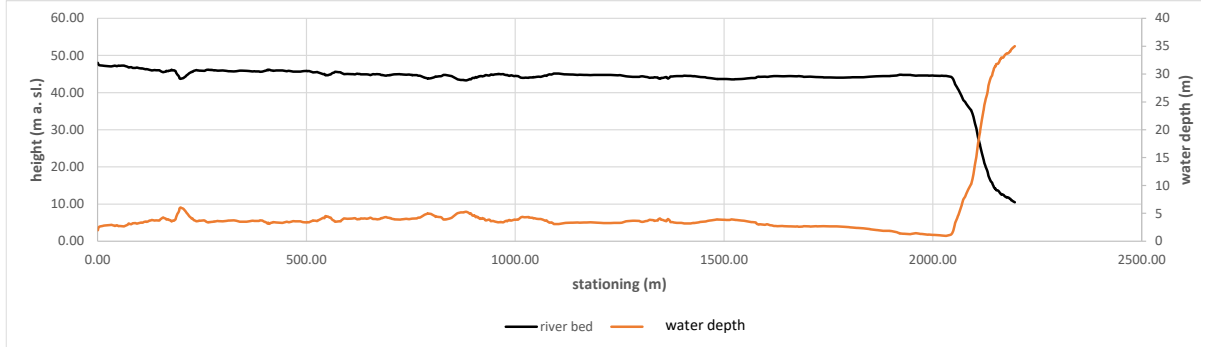
Figur 18. Effekt av to forskjellige vannstander i Vangsvatnet (45.5 og 44.26 moh.) på a) vannspeil (moh.), b) vannhastighet, og c) vanndybde ved vannføring på 400 m^3/s for nåværende tilstand.



(a)

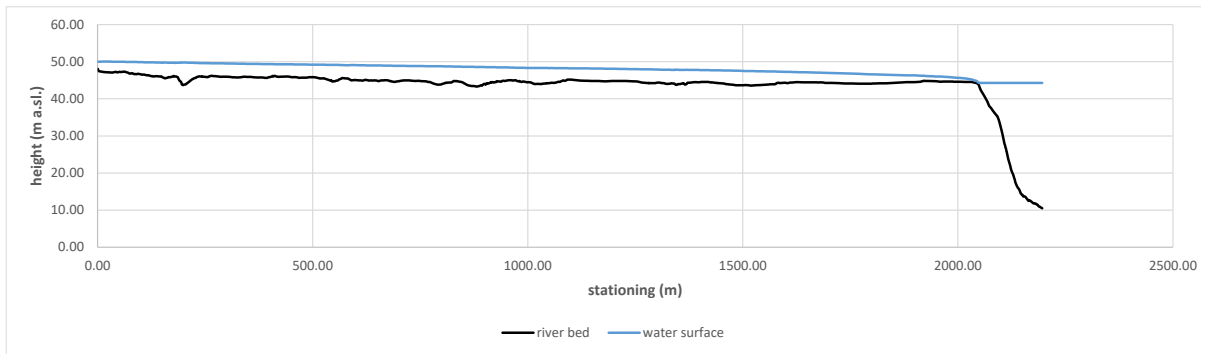


(b)

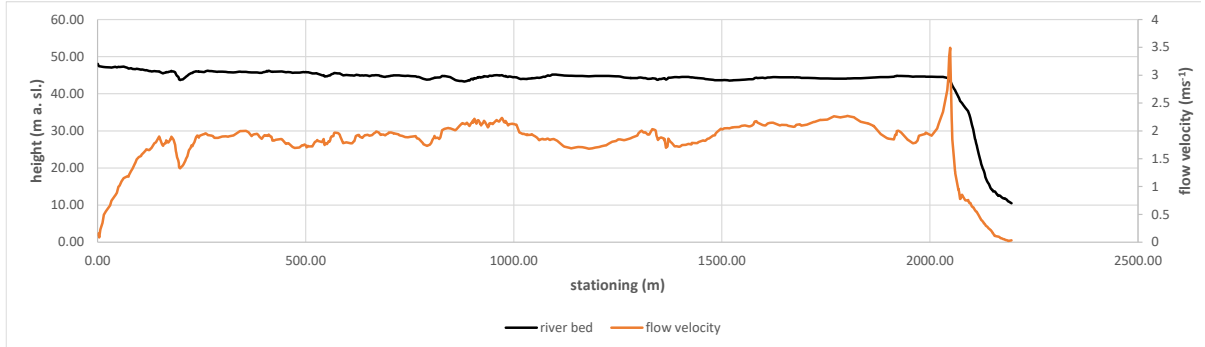


(c)

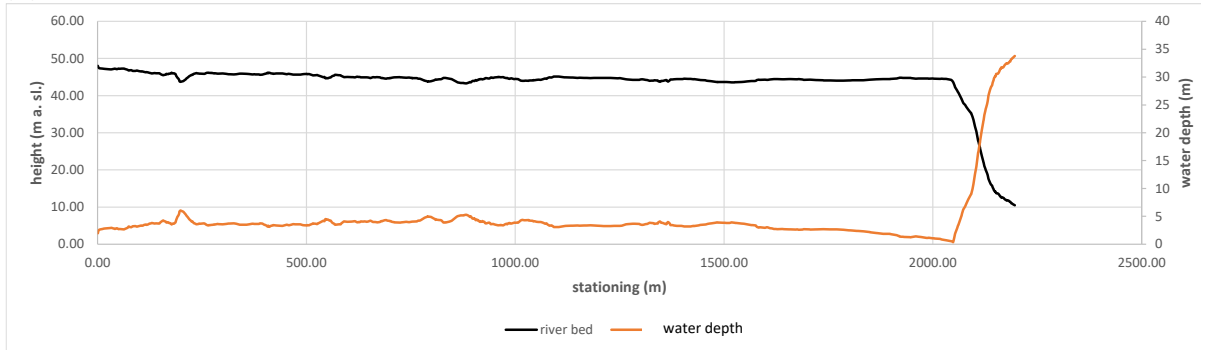
Figur 19. Lengdeprofil for scenario DELTA MODIFISERING for a) vannspeil (moh.), b) vannhastighet, og c) vanddybde ved vannføring på 400 m³/s og vannspeil i Vangsvatnet på kote 45.5 moh.



(a)

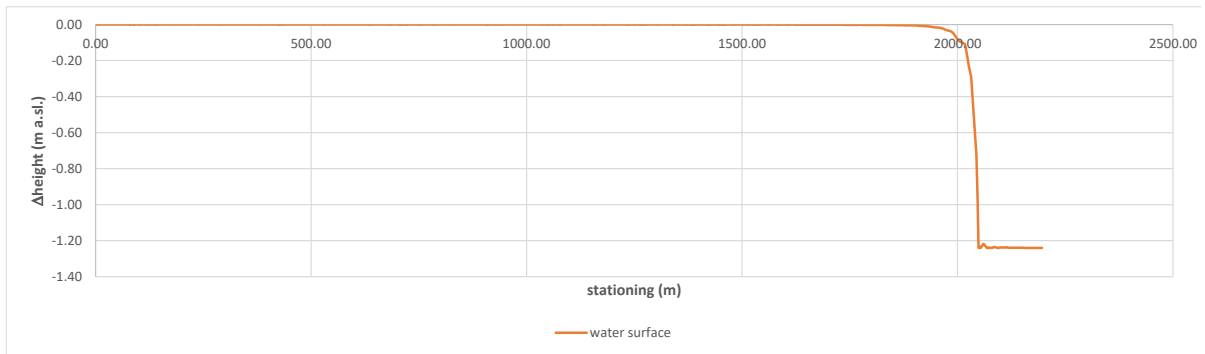


(b)

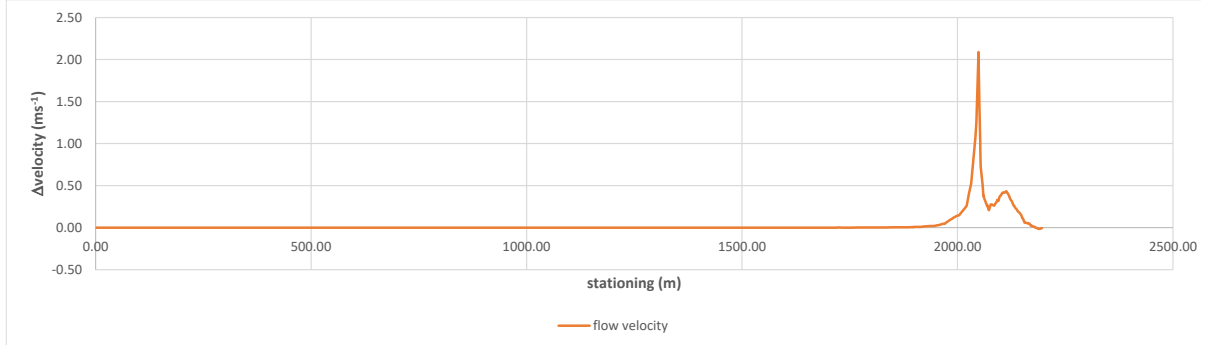


(c)

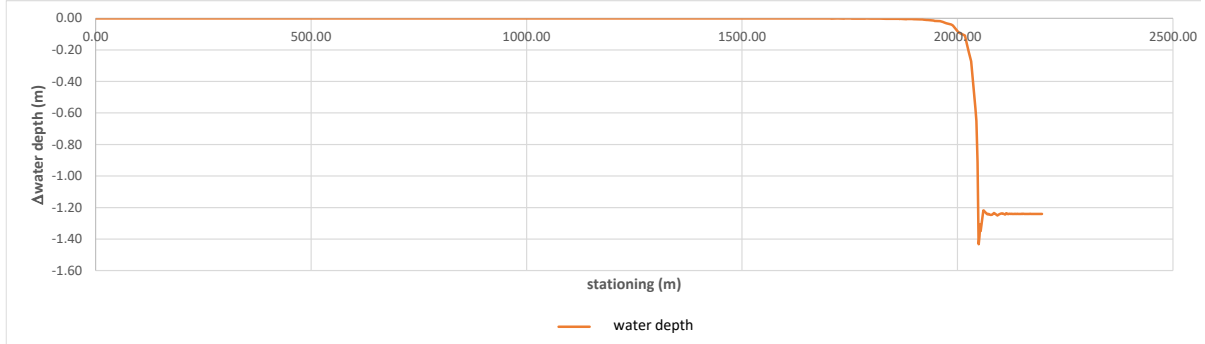
Figur 20. Lengdeprofil for scenario DELTA MODIFISERING for a) vannspeil (moh.), b) vannhastighet, og c) vanddybde ved vannføring på 400 m³/s og vannspeil i Vangsvatnet på kote 44.26 moh.



(a)

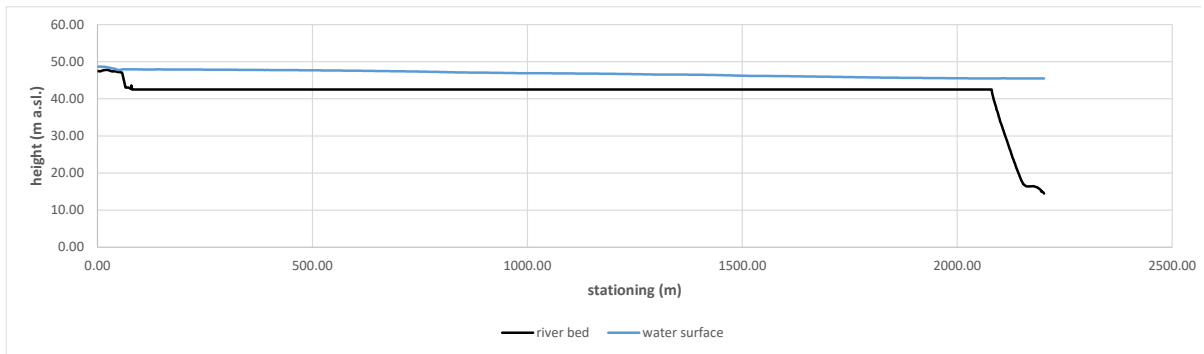


(b)

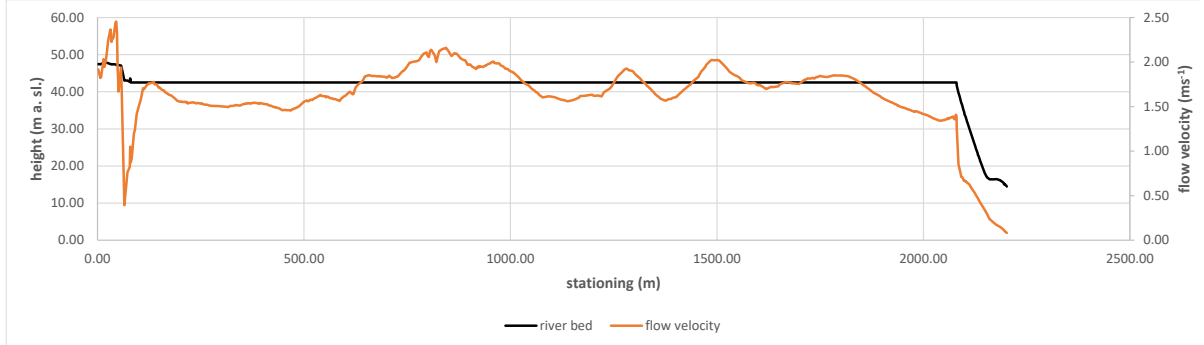


(c)

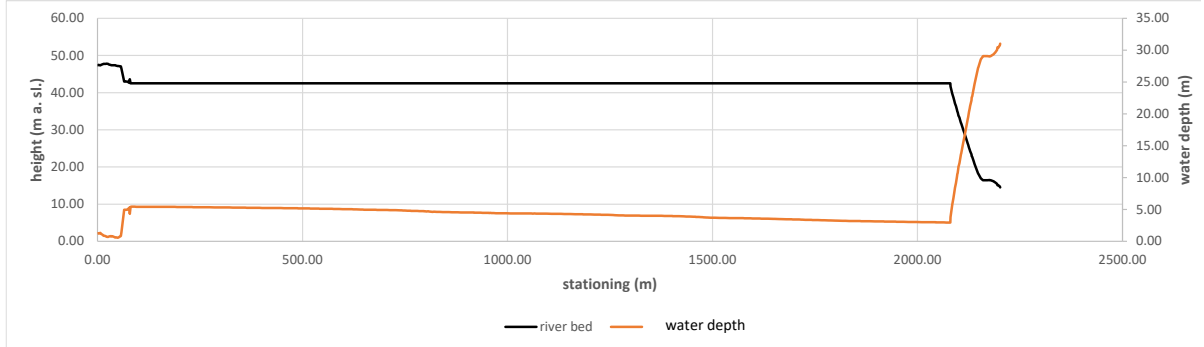
Figur 21. Effekt av to forskjellige vannstander i Vangsvatnet (45.5 og 44.26 moh.) på a) vannspeil (moh.), b) vannhastighet, og c) vanndybde ved vannføring på 400 m^3/s for scenario DELTA MODIFISERING.



(a)

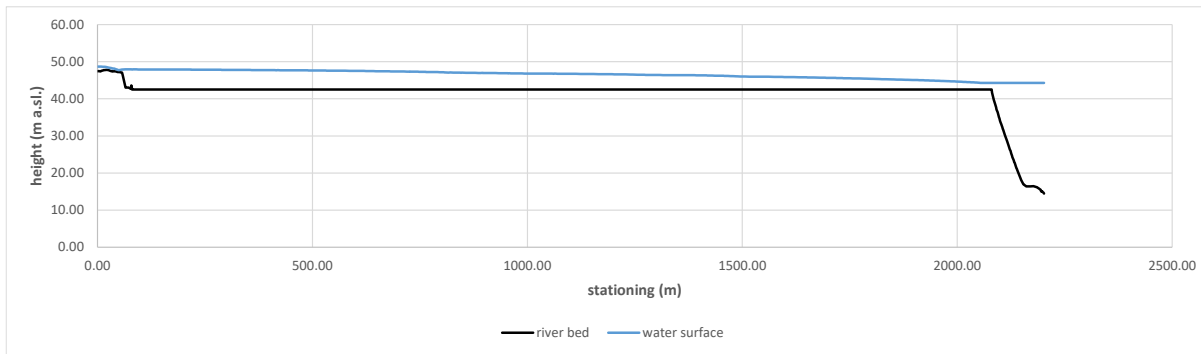


(b)

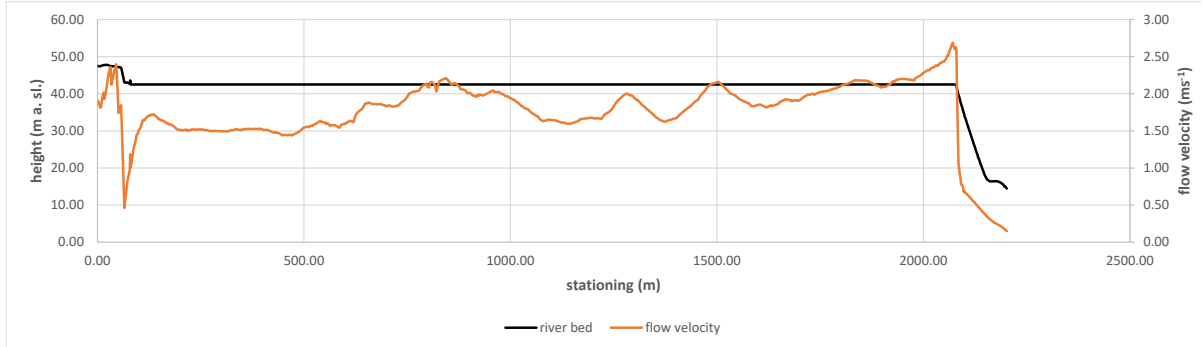


(c)

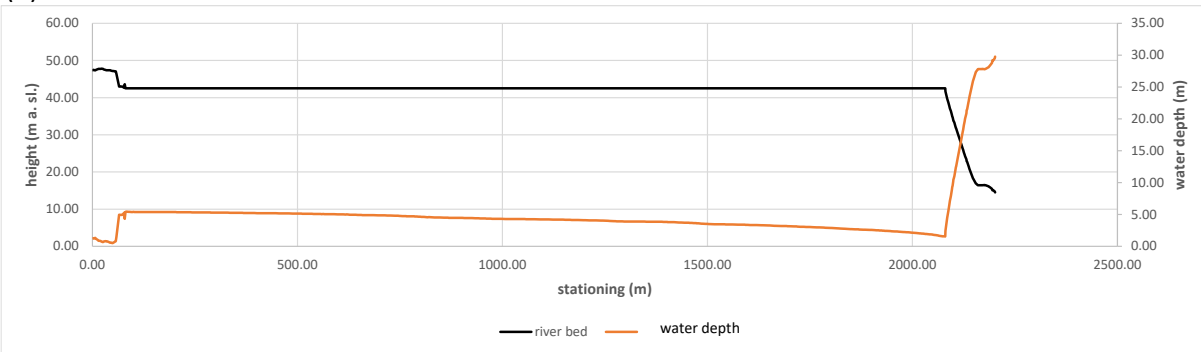
Figur 22. Lengdeprofil for scenario SENKING ELVEBUNN for a) vannspeil (moh.), b) vannhastighet, og c) vanddybde ved vannføring på $400 \text{ m}^3/\text{s}$ og vannspeil i Vangsvatnet på kote 45.5 moh.



(a)

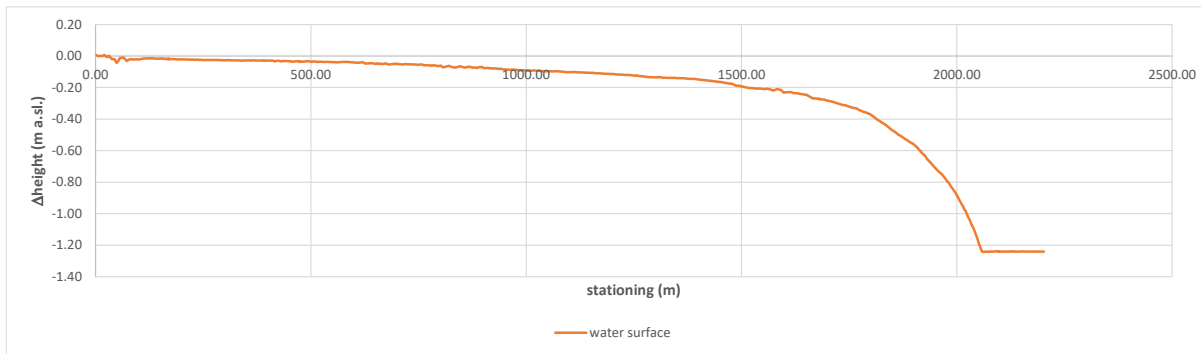


(b)

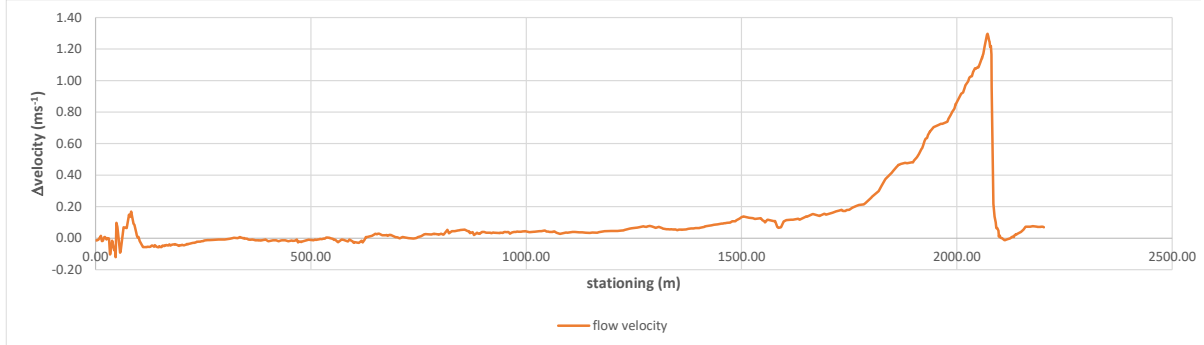


(c)

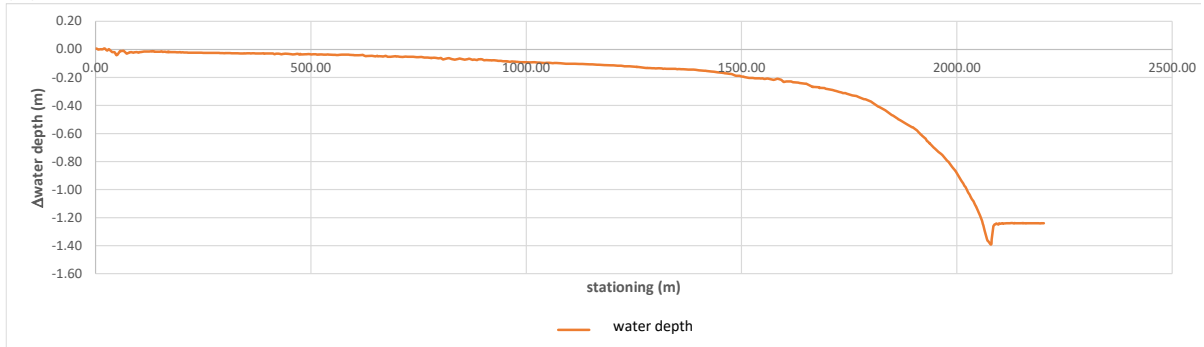
Figur 23. Lengdeprofil for scenario SENKING ELVEBUNN for a) vannspeil (moh.), b) vannhastighet, og c) vandedybde ved vannføring på 400 m³/s og vannspeil i Vangsvatnet på kote 44.26 moh.



(a)

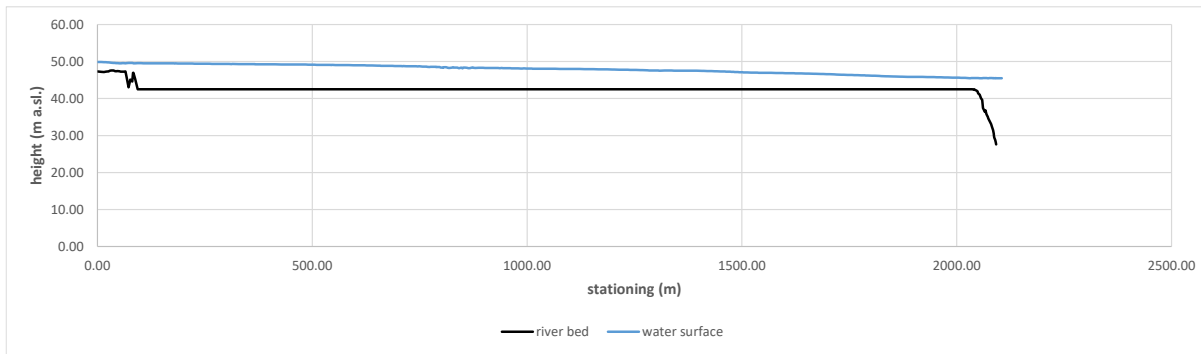


(b)

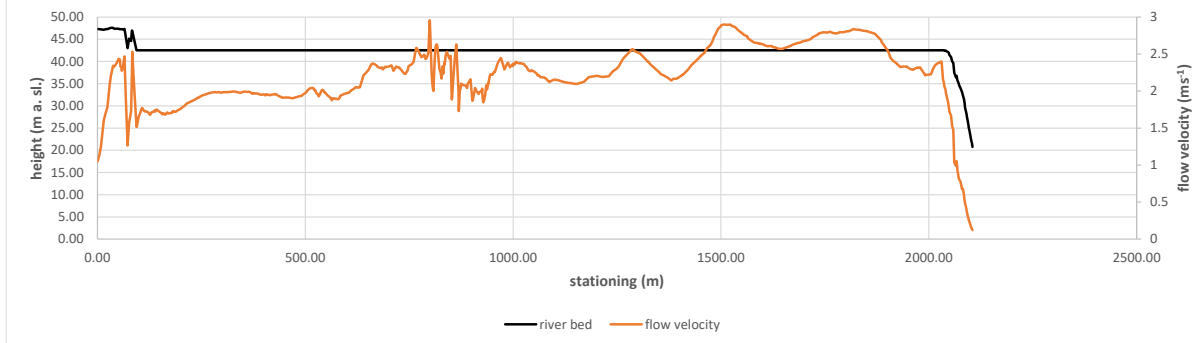


(c)

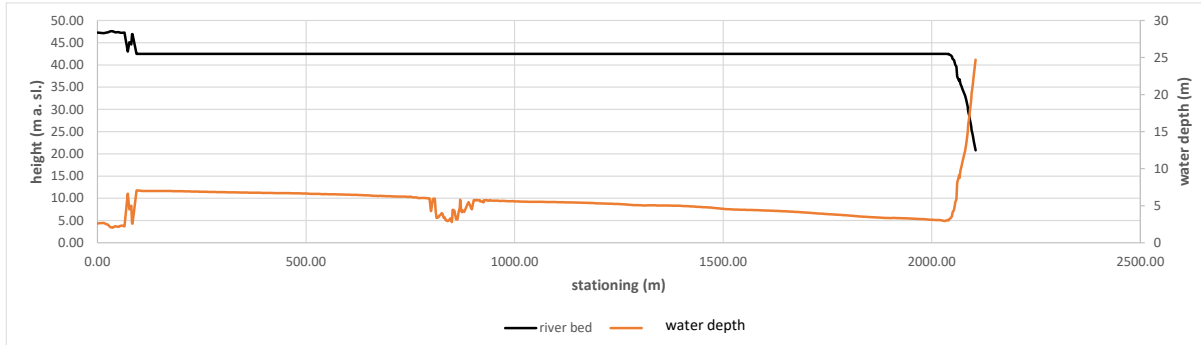
Figur 24. Effekt av to forskjellige vannstander i Vangsvatnet (45.5 og 44.26 moh.) på a) vannspeil (moh.), b) vannhastighet, og c) vanndybde ved vannføring på 400 m³/s for scenario SENKING ELVEBUNN.



(a)

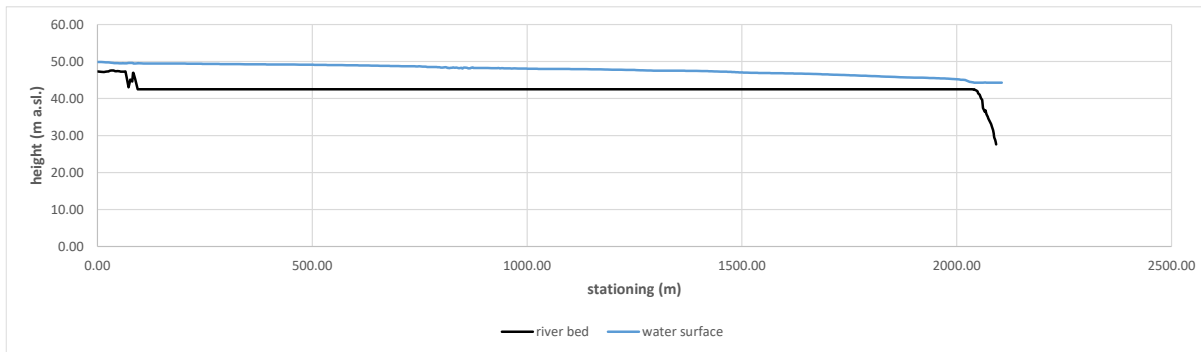


(b)

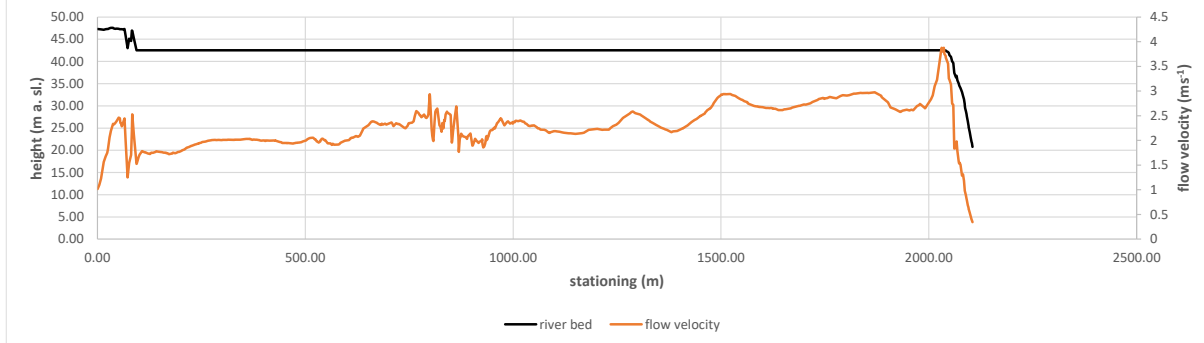


(c)

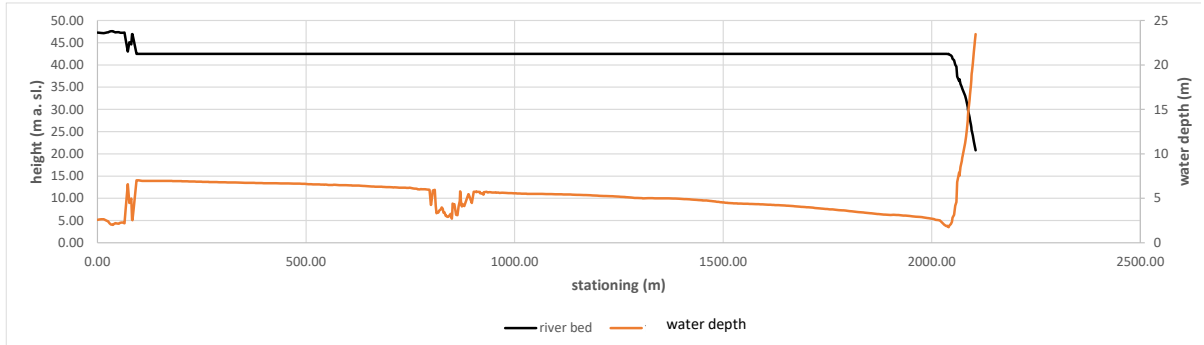
Figur 25. Lengdeprofil for scenario SENKING ELVEBUNN for a) vannspeil (moh.), b) vannhastighet, og c) vanddybde ved vannføring på $800 \text{ m}^3/\text{s}$ og vannspeil i Vangsvatnet på kote 45.5 moh.



(a)

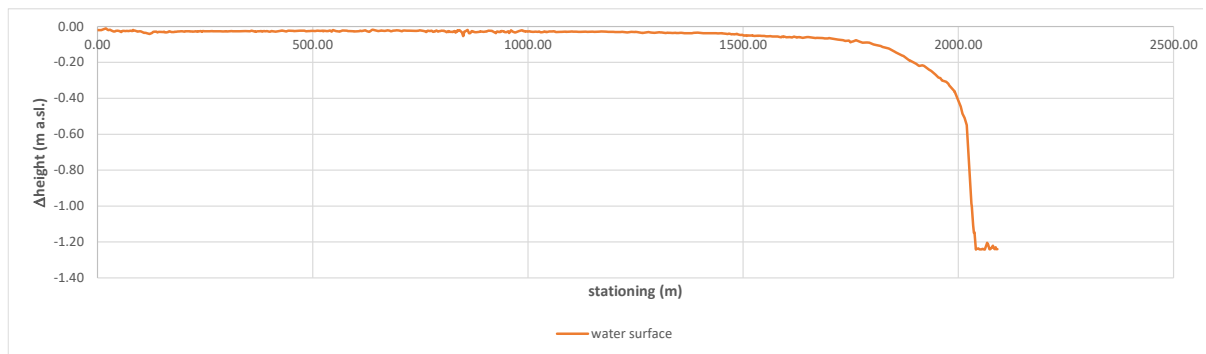


(b)

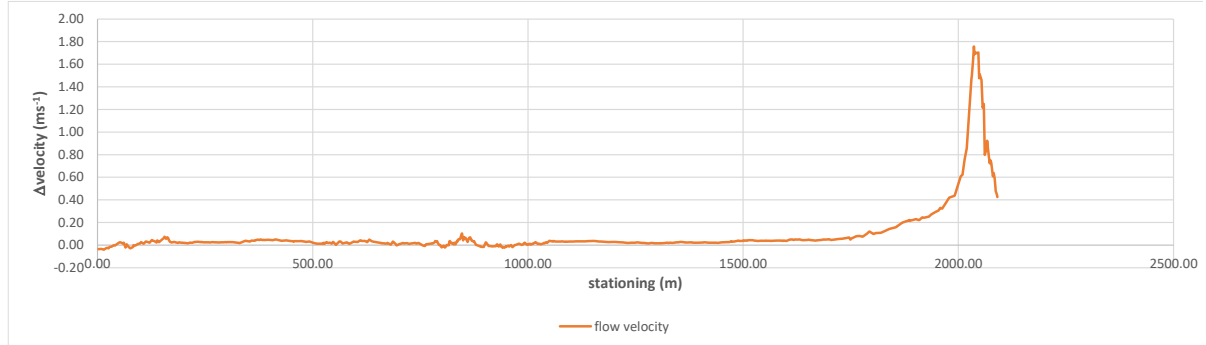


(c)

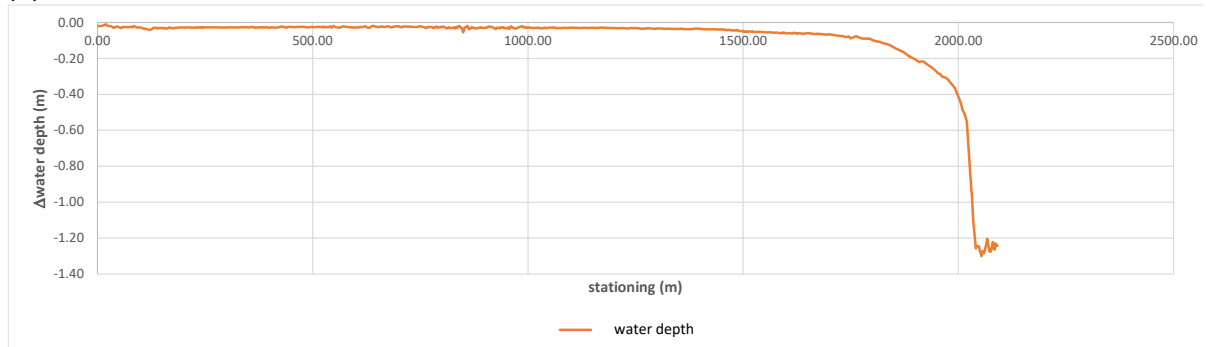
Figur 26. Lengdeprofil for scenario SENKING ELVEBUNN for a) vannspeil (moh.), b) vannhastighet, og c) vanddybde ved vannføring på 800 m³/s og vannspeil i Vangsvatnet på kote 44.26 moh.



(a)



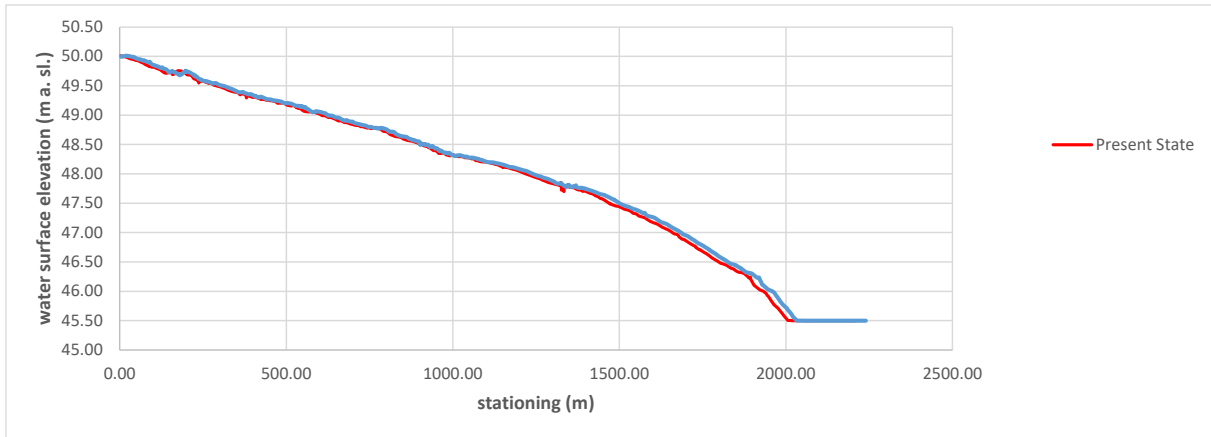
(b)



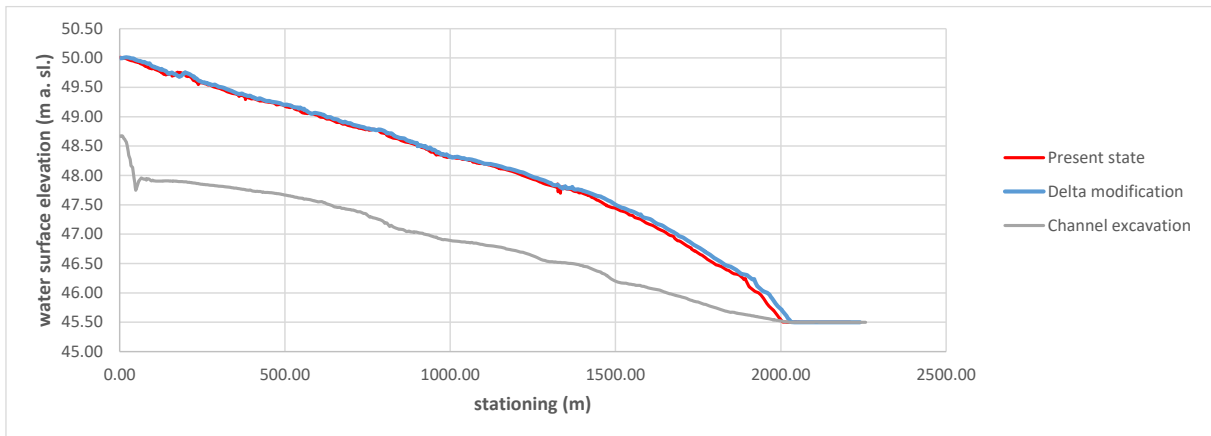
(c)

Figur 27. Effekt av to forskjellige vannstander i Vangsvatnet (45.5 og 44.26 moh.) på a) vannspeil (moh.), b) vannhastighet, og c) vanddybde ved vannføring på 800 m³/s for scenario SENKING ELVEBUNN.

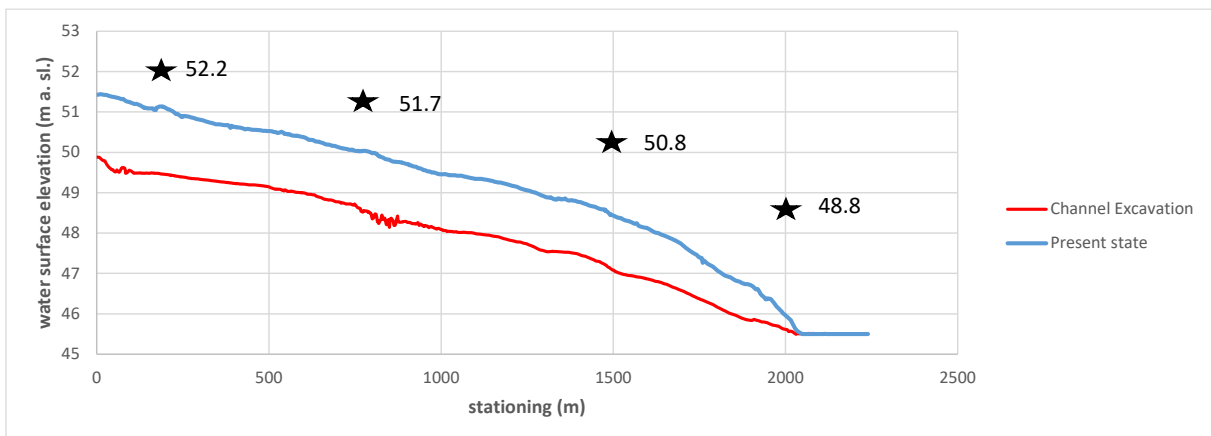
I figurene Figur 28-Figur 30 vises effekten av de to forskjellige sedimentforvaltningstiltak på flomvannstanden i elven. I Figur 29 vises at DELTA MODIFISERING ikke har noen effekt, selv ved bare små flommer (ved 400 m³/s vannføring). Grafisk fremstilling av UTGRAVING AV ELVEN viser derimot at dette tiltaket vil senke flomvannstanden i elven fra munningen til samløpet av Raundalselvi/Strandaelvi ved små flommer (400 m³/s) og i mindre grad også ved store flommer (800 m³/s, Figur 36). Det forventes at tiltaket også vil redusere flomvannstanden ved flommer opp til 1200 m³/s.



Figur 28. Lengdeprofil av vannspeil for nåværende tilstand og DELTA MODIFISERING ved 400 m³/s og 45.5 moh vannspeil i Vangsvatnet.



Figur 29. Lengdeprofil av vannspeil for nåværende tilstand, DELTA MODIFISERING og SENKNING AV ELVEBUNNEN ved 400 m³/s og 45.5 moh vannspeil i Vangsvatnet.



Figur 30. Lengdeprofil av vannspeil for nåværende tilstand og SENKNING AV ELVEBUNNEN ved 800 m³/s og 45.5 moh vannspeil i Vangsvatnet. Svarte markørene: høyde øvre kant av elvebredden (lavere side).

Sedimentforvaltning (C)

Figur 31 viser områder som har blitt identifisert som aktuelt for aktiv sedimentforvaltning ved uttak av sediment til spesielle tider og i definerte områder slik at det kan tas nødvendig miljøhensyn. Dette vil bidra til å unngå uønskede avsetninger i Vossevangen med økte flomrisiko (se kap. 3.1 og Figur 31). Både Strandaelvi og Raundalselvi ble undersøkt. På grunn av det store innsjøarealet i Strandaelvi (som dekker opptil 99 % av det hydrologisk aktive delnedbørsfeltet), vil størstedelen av sedimentene fra dette delområdet bli avsatt i innsjøer. Det forventes derfor ingen stor transport av bunnsedimenter til Vossevangen fra Strandaelvi. Fokuset for analysene ble derfor rettet mot Raundalselvi (Figur 31).

To områder er merket: Det første ligger oppstrøms Palmafossen kraftverk, der allerede pågående tiltak (sedimentutgraving ved behov) kan fortsette. Siden det må graves i områder som normalt er under vann ved denne lokasjonen, kan det potensielt frigjøres mye finsediment med negative effekter nedstrøms (sedimentering av finmasser). Derfor ble et nytt område lenger oppstrøms valgt, der sedimenter kan deponeres under flommer når terrenget på venstre side av elven (sørsiden) senkes til mellomvannstand på forhånd. Fordelen med denne lokasjonen er at det er større volum som kan fanges opp, og fjerning av massene etter flommer kan skje på tørt under lavvannsføring, noe som er bedre for økologien og de fysiske forholdene nedstrøms.



Figur 31. Flybilde av området som ble evaluert for potensiell sedimentforvaltning med miljøhensyn. To lokasjoner som kan være aktuelt for tiltak er merket gult.

3.3.3 Miljøtiltak

Sedimentuttak kan ha en rekke negative miljøeffekter fra endringer av elvemorfologi, innskjæring av elvestrekninger til tap av habitater slik som gytehabitat. For å unngå disse tilstrebes derfor 1. minst mulig uttak av sediment, 2. Naturtypisk utforming av elveløp og bredder etterpå. 3. Massebalanse slik at uønskede morfologiske effekter slike som innskjæring unngås.

Det er bare justering av elvebunnen (B og C)- ikke deltaområdet (A)- som har vist en effekt på flomvannstand i modellene. For å forene senkningen i (B) med miljøhensyn gitt ovenfor, kriteriene på s. 9 kap. 2.3 og vernebestemmelser er det avgjørende å utforme elvebunnens overflate med naturtypiske sedimenter, rullesteing og gytegrus etter graving slik at denne strekningen fortsatt kan

være i bruk til gyting og som oppvekstområde for fisk. Lignende tiltak til sedimentforvaltning er beskrevet for Nausta i Pulg et al. (2022). Redusert sedimenttilførsel vil redusere videreutvikling av deltaet og det må avveies nøye med mulige positive effekter av tiltaket. Dagens resterende delta vil kunne opprettholdes, men en videreutvikling vil reduseres, noe som kan stå imot gjeldende vernebestemmelser dersom prosessen vektlegges mer enn tilstanden. Det anbefales derfor å modellere dette scenarioet mer nøyaktig og detaljert også i samspill med andre scenarier for å skape et godt nok vurderingsgrunnlag.

3.3.4 Diskusjon

- Sedimentforvaltning er på lang sikt en viktig forutsetning for flomrisikohåndtering i Vossevangen og Evanger (se også kap 3.1.). Med en målrettet sedimentforvaltning som tar miljøhensyn, bl.a. gjennom uttak på bestemte steder, til bestemte tider og med naturtypisk utforming av elven etter tiltak kan uønskede miljøpåvirkning minimeres (Pulg et al. 2022).
- Modelleringen viser at senkning av bunnivå Vosso i Vossevangen kan gi en senkning på flomvannstand opp til ca. 1 m.
- Det er imidlertid usikkert hvor stor den effekten er ved større vannføringer. Det kreves derfor mer detaljerte modelleringer og beregninger.
- Tiltaket kan virke særlig i kombinasjon med tiltak på Lilandsosen og senking av flomvannstand der. Også dette bør detaljeres med flere modelleringer.
- Det forutsettes miljøtiltak i form av naturtypisk utforming av elvbunn etter senkning. Og minimering av fremtidig gravingsbehov ved kontrollert uttak (ikke for mye, ikke for lite) ovenfor Palmafossen/Bømoen, slik at det skapes en massebalanse. Lignende tiltak er beskrevet i Pulg et al. (2022).

3.4 Justering av utløp Vangsvatnet – Lilandsosen og Bulken

Utløpet av Vangsvatnet (Figur 32) kontrollerer vannspeilet i innsjøen og med dette også i Vossevangen. Utløpet har blitt endret over tid bl. annet med sprengning og utvidelse, utgravning og bygging av terskel (Barlaup et al. 2023).

3.4.1 Forutsetninger

- Det ble testet hvilken effekt en senkningsmulighet av utløpsterksel Vangsvatnet vil kunne ha, for eksempel ved hjelp av en styrbar luke,
- Det ble testet hvilken effekt en utvidelse av utløpet vil kunne ha, både ved utvidelse av terskel og utvidelse av juvet nedstrøms (10-12 m bredere regnet fra median vannivå og opp).

3.4.2 Resultater av modellering

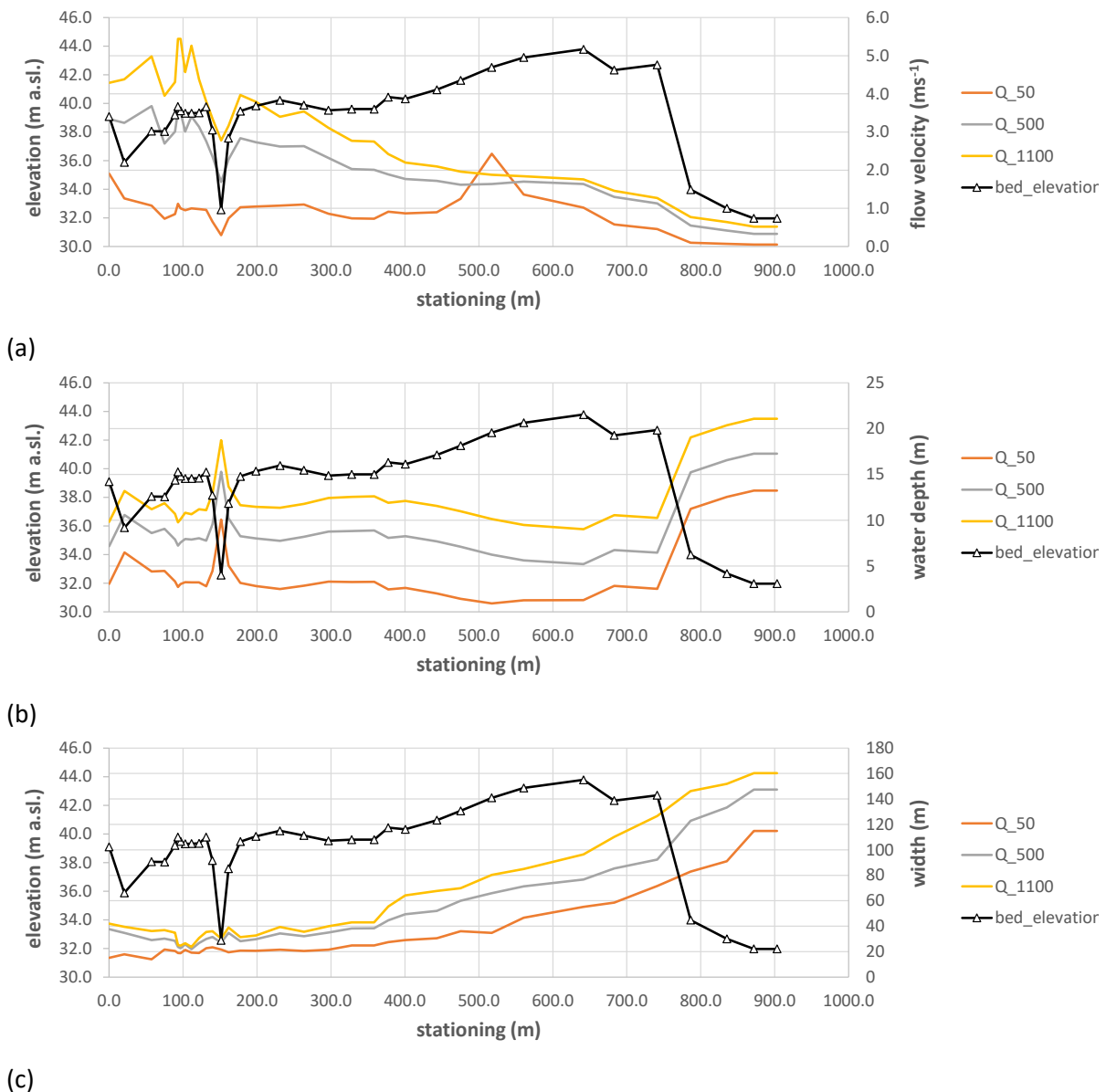


Figur 32. Utløp av Vangsvatnet ved Bulken med utløpsterksel og plastrede elvebredder fra 1992.

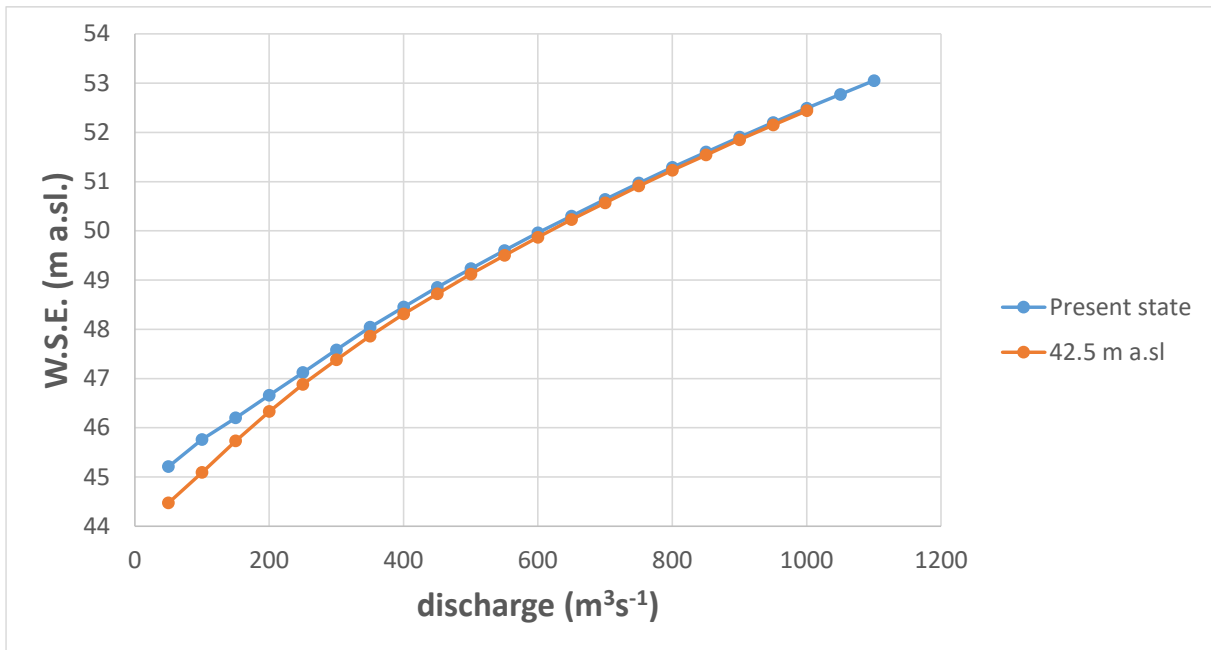
Figur 33 viser resultater fra 1D-hydraulisk modellering av utvalgte vannføringer. For grafisk fremstilling ble det valgt ut 50, 500 og 1000 m³/s. Figur 33 a illustrerer økningen i vannhastigheter fra terskelen til broen, etterfulgt av sprang i vannhastigheter (dette gjelder for alle modellerte vannføringer). Vanddybden i nåværende situasjon (b) følger den longitudinale endringen i bunnprofilen. Den tredje parameteren, vanddekket elvebredde, illustrerer flaskehalsen som juvet utgjør for de forskjellige vannføringene (n=3).

Basert på funnene fra nåværende situasjon ble det testet forskjellige tiltak. Det første tiltaket var å senke terskelen med 1,5 meter, som vist i Figur 34. Det er tydelig at dette bare forbedrer situasjonen (lavere innsjøvannstand) ved lavere vannføringer (mindre flommer opp til 350 m³/s), mens det ikke har noen effekt ved større flommer.

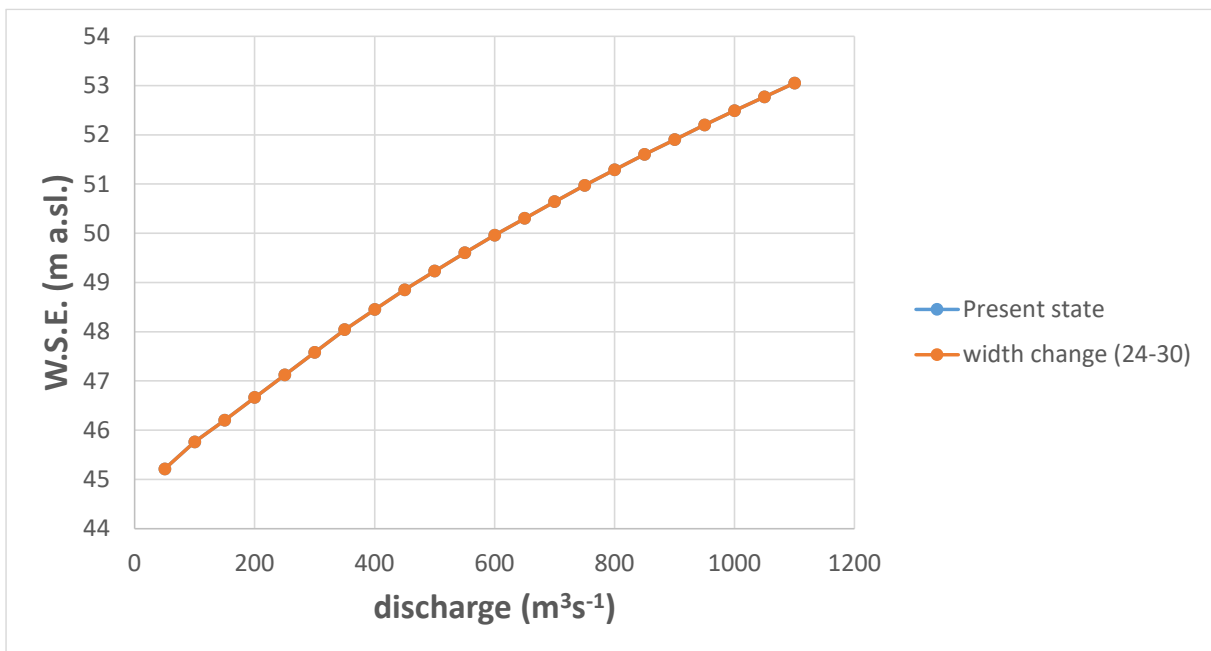
Det andre tiltaket som ble testet (Figur 35), var endringer i den aktive bredden rundt terskelen (pluss 16 m), det vil si å lage en bredere terskel. Dette tiltaket viste seg å ikke ha noen effekt på vannstanden for alle modellerte vannføringer. Bare dersom juvet nedenfor terskelen også utvides (ved broen og lenger nedover) med 10-12 m, kan vannstanden i innsjøen holdes lavere (ca. 1 meter lavere, på kote 52.1) også ved svært store vannføringer (Figur 36).



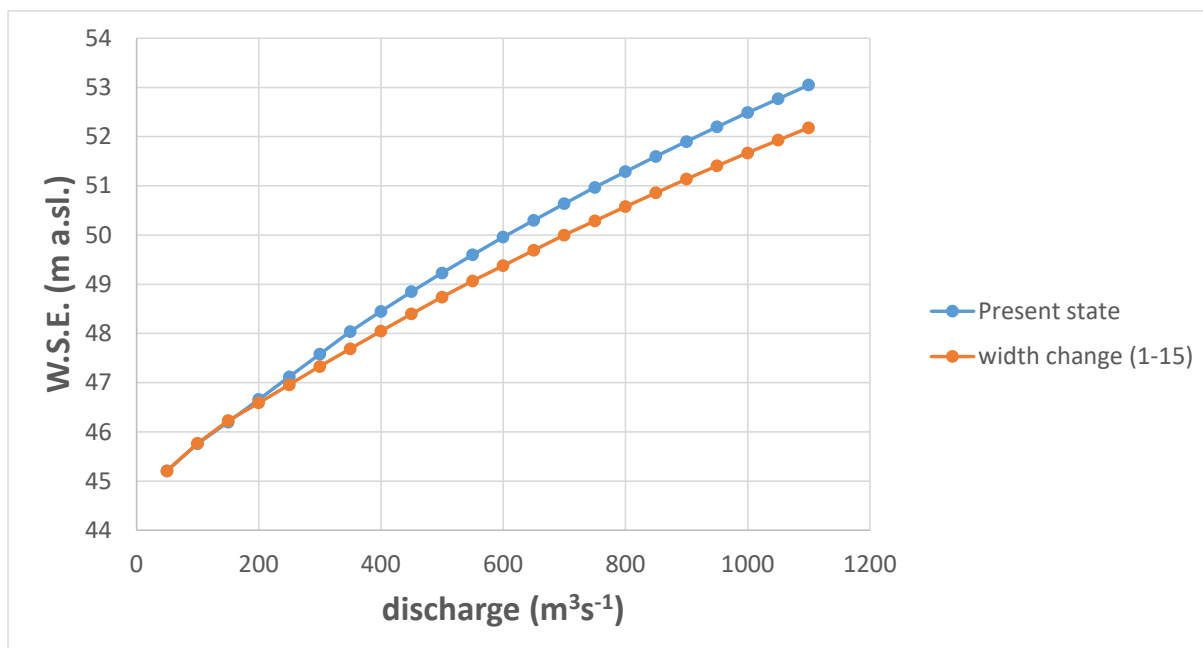
Figur 33. Lengdeprofil av a) vannhastighet, b) vanddybde, og c) vanddekket bredde basert på 1d-modellering av utløp Vangsvatnet ved tre vannføringer (50 m³s⁻¹, 500 m³s⁻¹ and 1000 m³s⁻¹). Bunnivå plottet som svart linje (elven flyter fra høyre til venstre).



Figur 34. Vannstands-vannføringskurve ved utløp av Vangsvatnet for nåværende tilstand og med senkning av utløpsterskel til kote 42.5 moh.

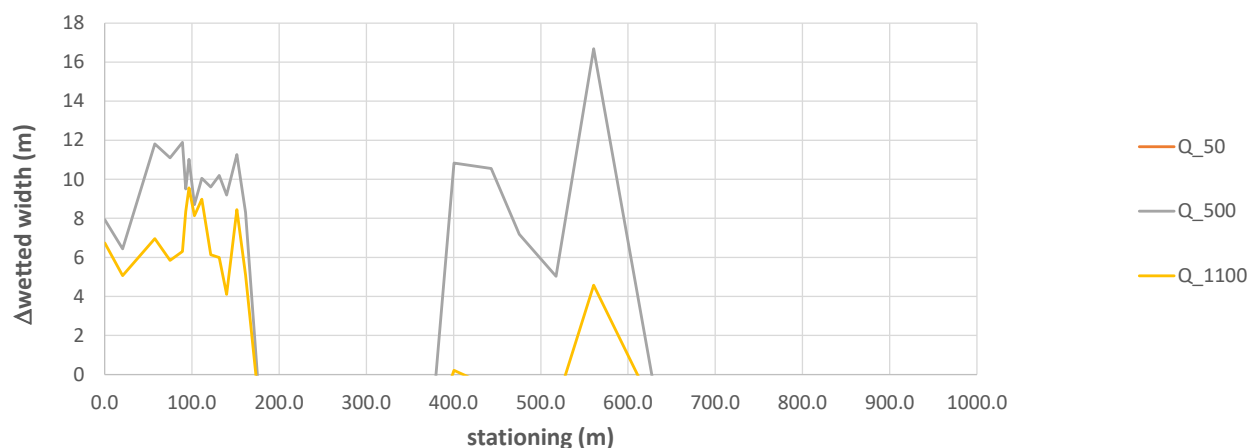


Figur 35. Vannstands-vannføringskurve ved utløp av Vangsvatnet for nåværende tilstand og med utvidelse av tverrsnitt ved utløpsterskel (pluss 16 m, uten senkning av terskelen).

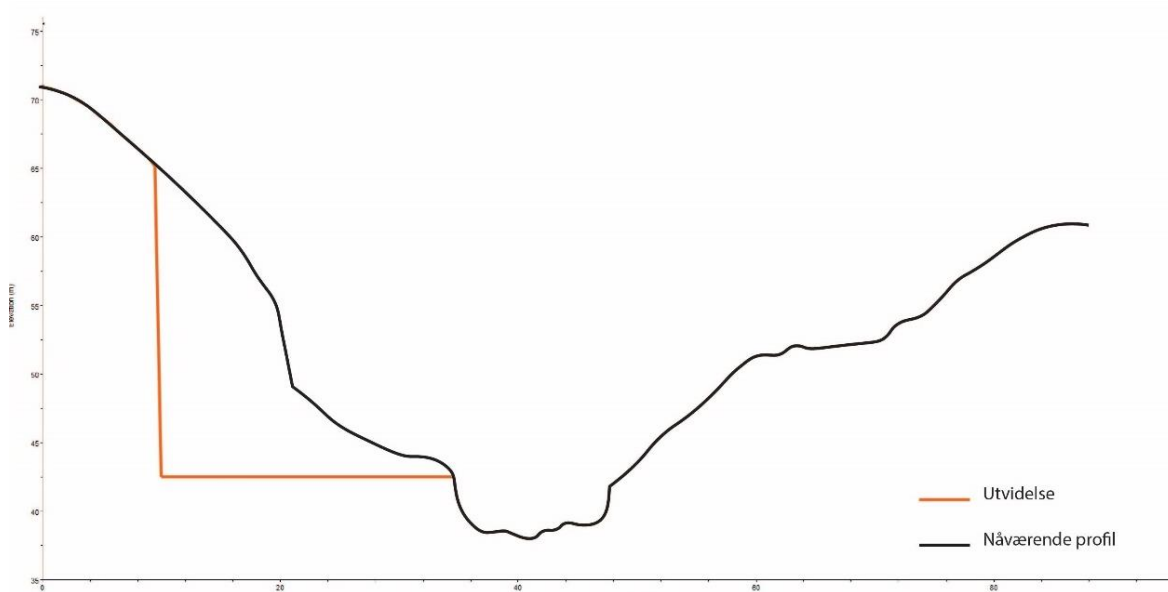


Figur 36. Vannstands-vannføringskurve ved utløp av Vangsvatnet for nåværende tilstand og utvidelse av juvet nedenfor utløpet (pluss 10-12 m bredde, profil 1-15 og 24-30, ingen senkning av utløpsterskel).

I Figur 37 er det illustrert hvor mye juvet må utvides for å oppnå den senkningen av vannstanden i innsjøen som vist i Figur 36. Resultatene tyder på at en økning av bredden i juvet over vannstanden ved mellomvannføring (uten endringer i utformingen under vann, se illustrasjon Figur 38) med 10-12 meter ville danne grensebetingelser som er fordelaktige for flomhåndteringen i Vossevangen.



Figur 37. Lengdeprofil med endringer i vanndekket bredde mellom nåværende tilstand og utvidelse av utløpet ved profilene 1-15 og 24-30 (elven flyter fra høyre til venstre).



Figur 38. Representativ profil av utløp (Profil 4) uten (svart linje) og med utvidelse (brun linje).



Figur 39. Juvet nedenfor Lilandsosen april 2024

3.4.3 Miljøtiltak

Tiltakene som ligger til grunn i det scenarioet er utelukkende tenkt på områder som er sterkt forandret fra før. Utløpsosen har allerede en 3 m høy terskel (regnet fra elvebunn) og juvet nedenfor er utvidet ved sprengning, samt vei (E16) og jernbane (Bergensbane).

En tappemulighet kan integreres i en utvidet terskel ved å opprettholde en naturtypisk delrampe med lavvannsrenne på en side og bygging av en justerbar luke på den andre siden, eksempelvis en Obermeierluke. Delrampen utformes som naturtypisk brekk med stryk. Den opprettholder vandringsmuligheter for fisk og gyteplasser ovenfor ved enhver vannføring. Vandringsforhold vil kunne sikres på minst like god måte som i dag. Gyteplasser vil kunne økes i forhold til dag. Eksempler for ramper utformet som naturtypiske brekk og stryk samt gyteplassrestaurering finnes i Pulg et al. (2022). Eksempel på delvis gyteplassrestaurering på selve Lilandsosen finnes i Barlaup et al. (2018). Tiltaket ble vurdert som vellykket, men måtte nedskaleres betydelig i sin tid pga. begrensede midler.

Utvidelse av tverrsnitt ved terskel (16 m) kan gjennomføres ved terrengtilpasning og revegetering. Utvidelse av selve juvet krever sprengning eller pigging. Her er det tenkt å jobbe over medianvannspeilet slik at det kan jobbes tørt og at påvirkning av vassdrag minimeres. Ved det arbeidet kreves omfattende beskyttelsestiltak for å unngå forurensing av vassdraget og dette betraktes som mulig. Tiltaket vil være en tydelig og synlig forandring i terrenget, men ikke i type inngrep. Allerede fra før er juvet påvirket gjennom sprengning og utvidelse.

3.4.4 Diskusjon

Scenarioet viser at en senkningsmulighet av utløpsterksel med 1.5 m vil kunne realisere et flomdempingspotensial på ca. 10 millioner m³ i Vangsvatnet. En slik forhåndstopping er imidlertid bare tilstrekkelig ved vannføring opp mot 350 m³/s. En mulig teknisk løsning er ombygging av utløpsterskelen til en delrampe kombinert med senkbar luke.

En senkning av flomvannstand ved storflommer (Q200+40 %) i Vangsvatnet er mulig ved å utvide avløpstverrsnitt ved både utløpsterksel (+ 16 m) og i juvet nedenfor (+10-12m) over en lengde på samlet ca. 400 m.

3.5 Lokale tiltak, naturbaserte løsninger og flytting av bebyggelse

I dette scenarioet ble det undersøkt i hvilken grad lokale sikringstiltak kan beskytte bebyggelse, hvordan naturbaserte løsninger kan integreres og i hvilken grad flytting av bebyggelse kan redusere behovet for sikring. Det ble analysert veier og bygninger som er berørt av oversvømmelser ved Q200+klima rundt Vangsvatnet og området rundt Evanger.

3.5.1 Forutsetninger

Det forutsettes dagens bebyggelse og arealbruk.

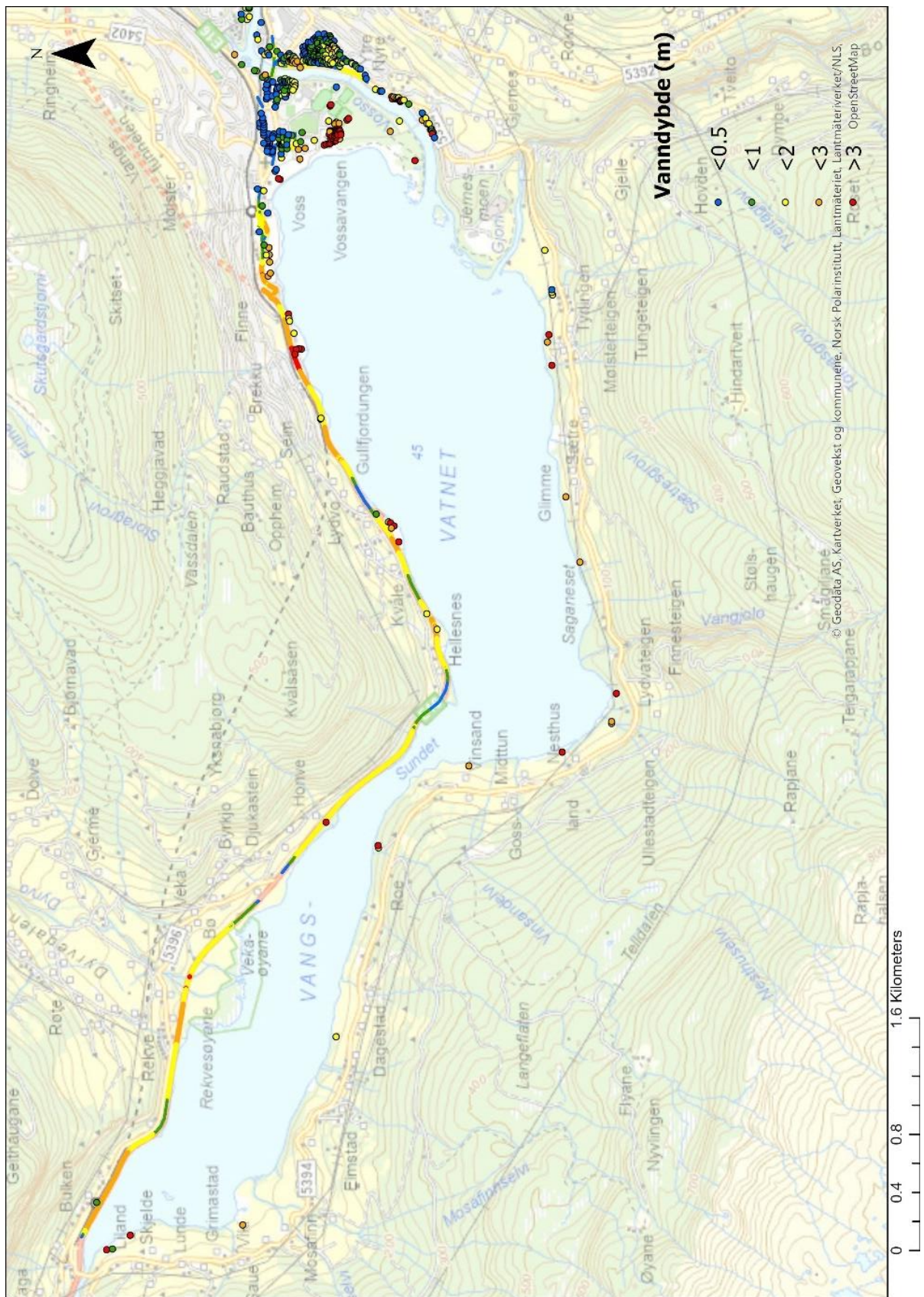
3.5.2 Resultater

Analysen viser at det rundt hele Vangsvatnet er samlet 12,9 km med vei berørt av oversvømmelser, i tillegg til 518 bygninger, hvorav 274 ble vurdert som bolighus (se Figur 40).

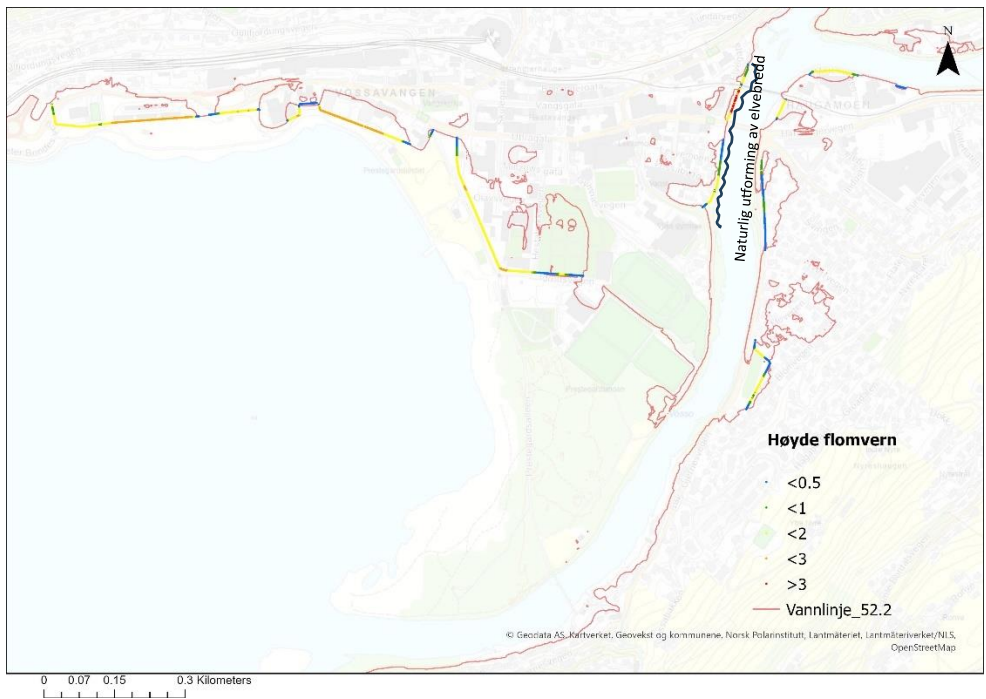
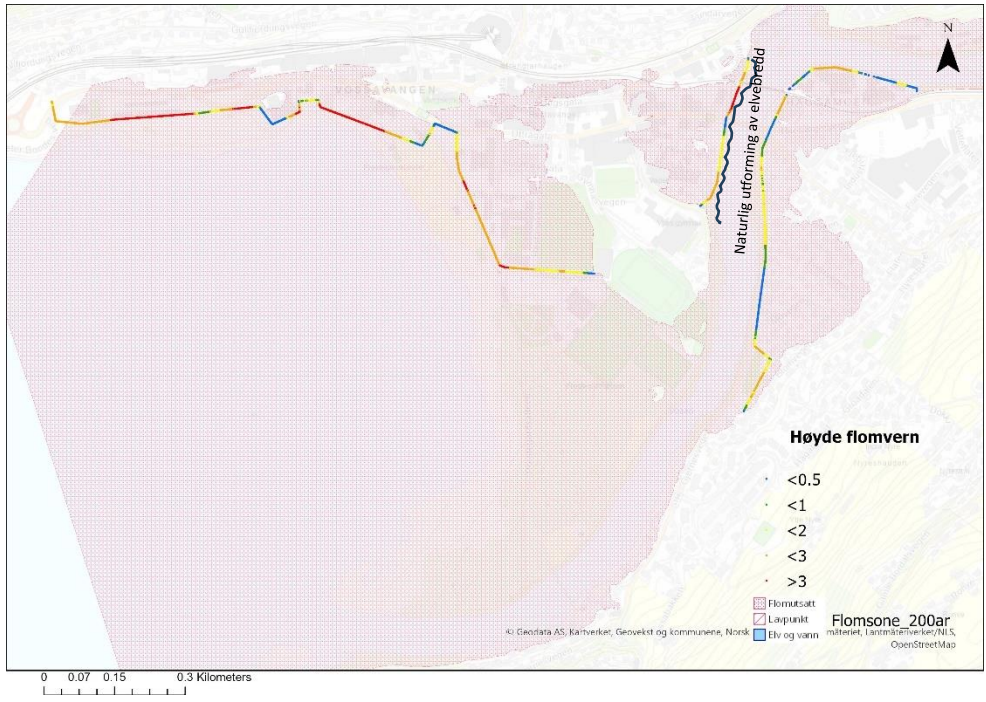
Vossevangen

Ser man bare på Vossevangen, er det en veistrekning på 5200 meter med større veier som ligger under vann ved 200 års flom + 40 % klimapåslag. Totalt er det 237 hus og 178 bygninger som befinner seg i flomsonen. Av disse er 81 hus og 109 bygninger dypere enn 1 meter under vann, og 33 hus/80 bygninger er dypere enn 2 meter under vann (se Tabell 4). Spesielt lavt ligger campingplassen (Prestegårdsalleen, 3 hus og 30 hytter).

En illustrasjon av et mulig flomvern ved nåværende innsjøvannstand og når man holder vannstanden på kote 52.1 (ved utvidelse av utløp Vangen) viser tydelig at lengde av flomvern blir vesentlig redusert og at høyden på denne kan reduseres med 1 m (Figur 41). Modelleringen viser at flommur og flomvoller kan settes slik at det er plass til en naturtypisk utforming av elvebredder (kap. 3.5.3).



Figur 40. Bygninger og veier i flomsone rundt Vangsvatnet (Q200+klima) farget basert på vanndybde.



Figur 41. Illustrasjon av oversvømmelser og potensielt behov for lokale flomsikringstiltak i lengde og høyde (øvre bilde: nåværende situasjon ved Q200+40%, nedre: Q200+klima med utvidelse av utløp Vangsvatnet).

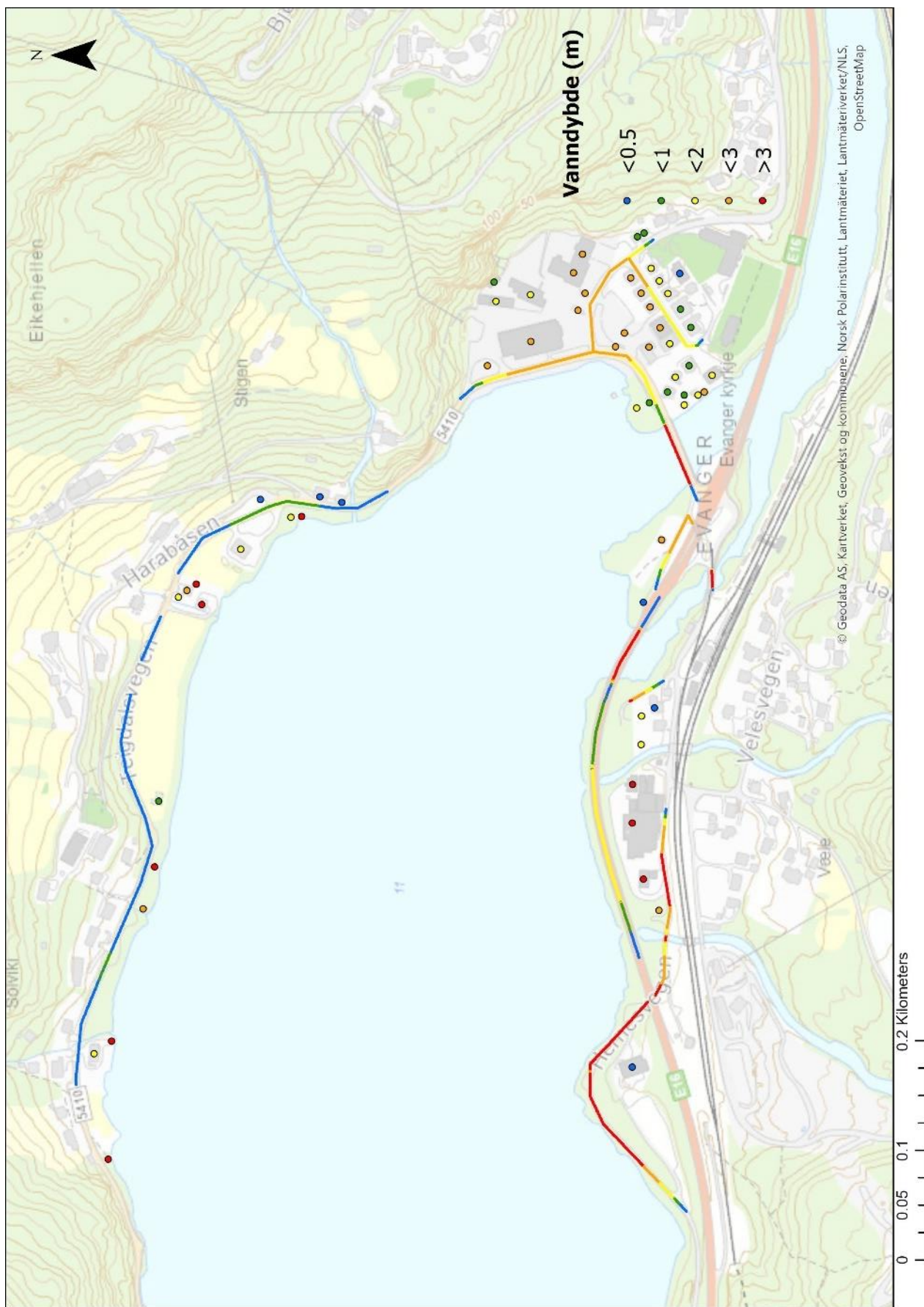
Tabell 4. Antall hus med vanddybde (m) i Vossevangen ved Q 200 + Klima.

Vanddybde (m)	Bygning	Hus	Total
>0	3	17	20
0.5	25	78	103
1	41	61	102
1.5	29	48	77
2	16	15	31
2.5	7	11	18
3	14	1	15
3.5	13	3	16
4	7	2	9
4.5	14	1	15
5	7		7
6	2		2
Total	178	237	415

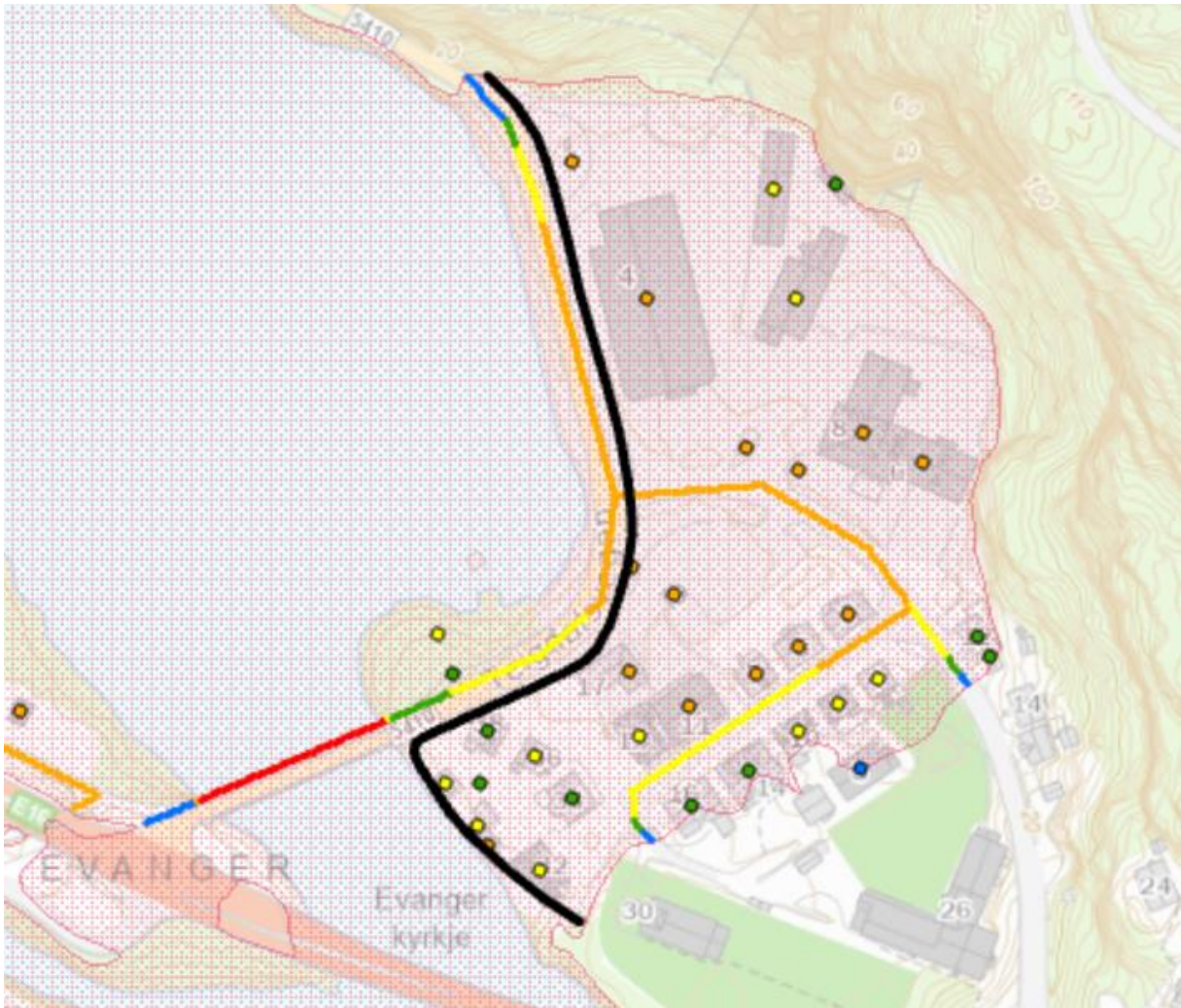
Evanger

Ved innløpet av Vosso i Evangervatnet er det 512 meter av E16, 962 meter med hovedvei (inkludert broen, med tanke på evakuering osv.) og 775 meter med andre veier som ligger under vann. Totalt er det 31 hus og 31 bygninger i flomsonen, hvorav 20 hus og 24 bygninger ligger dypere enn 1 meter under vann, og 15 hus og 21 bygninger ligger dypere enn 2 meter under vann (Figur 42, Tabell 5). Av de husene som er 2 meter eller dypere under vann, ligger 11 konsentrert i Evanger "sentrum" (se Figur 43). Her kan det vurderes følgende alternativer:

- Heving av terrenget med ca. 3 meter og nybygging av bygningene.
- Fjerning og flytting av utsatte bygninger i risikosonen
- Bygging av flomvoll/flommur, tetting av undergrunn for å hindre lekkasje av grunnvann gjennom elvemassene, pumpestasjoner. Lokasjonen for en mulig flomvoll/flomvegg er skissert i Figur 3.



Figur 42. Bygninger og veier i flomsonen (Q200+klime) i Evanger farget basert på vanndybde.



Figur 43. Mulig lokasjon for flomvoll/flomvegg (svart linje) for å beskytte Evanger sentrum.. Den vil måtte ha en høyde på ca. 3 m og bør vurderes å kombineres med tetningstiltak av bunnen for å Flomsone for Q200+klima rød skravert.

Tabell 5. Antall hus berørt av oversvømmelser i Evanger med vanndybde (m) ved Q 200 + Klima.

Vanndybde (m)	Bygning	Hus	Total
>0		2	2
0.5	3	3	6
1	4	6	10
1.5	3	5	8
2	6	3	9
2.5	6	8	14
3	2	2	4
3.5	3	2	5
4	3		3
4.5	1		1
Total	31	31	62

Samlet sett er det ni ganger flere bygninger og kritisk infrastruktur i Vossevangen som trenger flomvern enn i Evanger.

3.5.3 Miljøtiltak

Lokale sikringstiltak som er beskrevet ovenfor vil kunne utformes som kompromissløsninger mellom sikringsbehov og naturelementer, tilsvarende kategori 3 i kap 2.3. Disse består i plastringer, flomvoller eller flommurer som kombineres med utforming av naturtypiske elvebredder foran plastringer eller flommurer. Deler av sikringstiltakene vil kunne utformes som mobile flomverk som bare settes opp etter flomvarsel (NVE 2023⁷ og Holmquist et al. 2023)

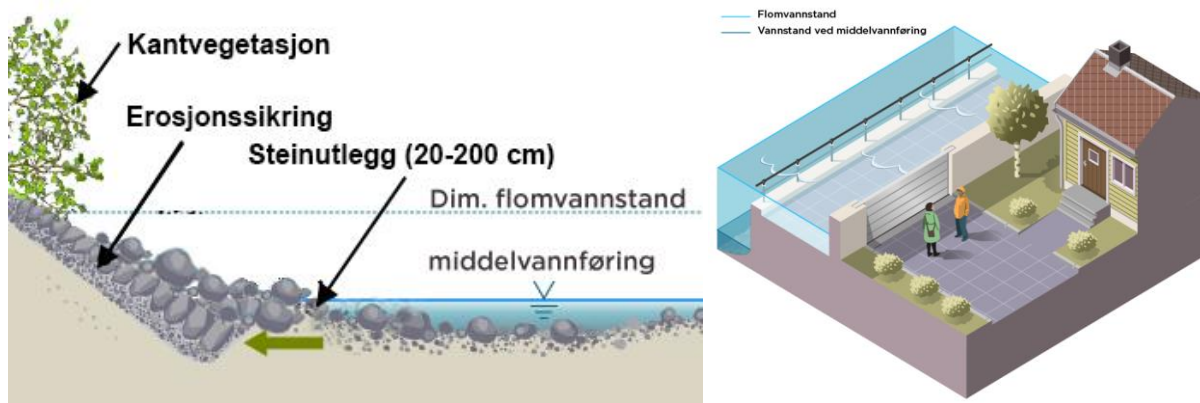
Også kantvegetasjon tillates og etableres og det bør drives skjøtsel slik at sikringenes funksjon kan opprettholdes over tid. Det er slike løsninger som ofte oppfattes som naturbaserte løsninger i snever forstand. Eksempler finnes i Figur 44 og Figur 45 samt i NVE 2023 og Pulg et al. (2022).

Fjerning av de mest utsatte bygninger vil redusere behovet for sikringer og samtidig gi flere muligheter for utvidelser av elveløp og miljøtiltak.



Figur 44. Eksempel for naturtypisk utforming av elvebredd med plass til kantvegetasjon foran plastring. Dette kan også kombinere med flommur bak.

⁷ <https://veiledere.nve.no/sikringshandboka/>



Figur 45. Eksempler for løsninger som er aktuell for lokale sikringstiltak. Til venstre utforming av naturtypisk elvebredd foran sikringsfoten, til høyre flommur med delvis mobile elementer.

3.5.4 Diskusjon

I utgangspunktet betraktes det som mulig å beskytte bebyggelse og infrastruktur med lokale sikringstiltak og pumpestasjoner. Mange av tiltakene vil kunne kombineres med eller utformes som naturbaserte løsninger. Spørsmålet er hvor omfangsrike de skal bli. Løsningsforslag for lokale sikringstiltak er allerede beskrevet av Skog et al. (2020). Løsningstyper og omfang er blant annet avhengig av pumpestasjoner for å håndtere overvann, tilløpsbekker og sigevann som kan trenge gjennom bakken. Det pågår utredninger om undergrunnens permeabilitet og omfang av sigevann. En sluttvurdering vil være avhengig av disse resultatene. Lokale sikringstiltak vil også være avhengig av regelverket og det er mulig at det i langt større grad åpnes for organisatoriske flomsikringstiltak (NVE 2023). Mobil flomsikring som settes opp på forberedte fundamenter ved flomvarsel vil kunne spille en viktig rolle særlig langs elvebredder i Vossavangen og Evanger samt langs Vangsvatnet.

I Vossevangen er det behov for omfattende lineære tiltak (flomvoller, flommur, plastring, naturbasert utforming og pumpe-systemer langs hele det berørte innsjøområdet i sentrum og deler av elva Figur 41). Også i Evanger kan lokale sikringstiltak bidra til en bedre flomrisikohåndtering, her også med ytterligere heving av arealer.

I begge tilfeller vil en kombinasjon med andre tiltak slik som flomdemping (kap 3.2) og for Vossevangen særlig tiltak i utløp Vangsvatnet (kap 3.3) redusere behovet for sikringenes omfang. Også flytting av de mest utsatte bygninger vil kunne redusere sikringsbehovet betydelig. I tillegg vil det skape rom for utvidelse av flomvann og kunne avlaste andre bebyggede arealer med lavere risiko for oversvømmelse og morfodynamikk (erosjonsfare). Flytting av bebyggelse er kostbart, men kan fort ha positiv kost-nytte effekt når enda mer kostbare sikringstiltak kan unngås eller nedskaleres og når stadige reparasjoner etter flommer unngås. Sikkerhet for liv og helse for beboere i flommer blir som regel betydelig større på tryggere steder. Behov for beredskap, evakuering, midlertidig tiltak og redningsaksjoner reduseres. Flytting av bygninger og også boliger kan foregå over tid og trinnvis, for eksempel ved å sette av tomtearealer til nybygging. Prosessen kan foregå ved anledning, for eksempel etter neste skadeflom. Dette vil også kunne innpasses i dagens forsikrings- og erstatningsordninger som kan åpne for nybygging på tryggere arealer dersom det er plangrunnlag for det.

Fraflytting på flomutsatte arealer er en mye brukt metode internasjonalt. Fjerning av bygninger og oppkjøp av areal med utvidelse av flomsone ble også gjennomført med hell i Norge (eksempel Gran kommune, Brandbu⁸). En oversikt over eksempler og litteratur finnes i Pulg et al. 2022, s 48 og s 222).

Det kan tas flere valg i samspillet mellom sikringstiltak og fraflytting og tilhørende kost-nytte vurdering. Våre analyser tyder på at sikringsbehovet i Evanger sentrum vil kunne reduseres betydelig ved flytting av 11 bolighus. I Vossavangen vil flytting av 3 bolighus og 30 andre bygninger i nedre Prestegårdsalleen (Campingplassen) kunne redusere sikringsbehovet og skadepotensialet vesentlig.

Flytting av bygninger og særlig bolighus fra flomsone har blitt diskutert kontroversielt og anses ofte som siste utvei, til tross for økende flommer og vesentlige besparelser knyttet til investering i nye boliger på tryggere arealer⁹. Det er mange hensyn å ta, ikke minst til grunneiendom, kulturminne og arealplanlegging generelt. Det er imidlertid verdt å merke seg at flytting av de mest utsatte bolighus (14) vil være i langt mindre størrelsesorden enn vanlig flytting av andre årsaker i Voss kommune. Basert på boligstatistikken angir tjenesten hjemla.no (19.6.2024) 205 boliger som ble solgt og kjøpt i det siste året i Voss. Bare i 2023 flyttet 832 personer til Voss og 525 personer fra Voss (kilde: SSB¹⁰) Behovet for flytting fra flomsone vil altså ligge i en størrelsesorden langt under det som er vanlig med tanke på flytting ellers i Voss kommune.

3.6 Integrative løsninger

I dette scenarioet brukes de delene av løsningene beskrevet i kapitlene ovenfor som har vist mest potensiale for flomrisikohåndtering og samtidig sikring eller bedring av miljøtilstand. Kapittelet kan leses som sammendrag og viser hvordan forskjellige løsninger kan kombineres. Her er det flere kombinasjonsmuligheter og valgte delløsninger avhenger av hverandre. Eksempelvis reduseres sikringsbehovet med økning i flomdempingskapasitet og flytting av bebyggelse fra flomsone – og omvendt.

Derfor viser vi de viktigste resultatene i en oversiktstabell (Tabell 5) som kan brukes til å velge hensiktsmessige kombinasjoner. Mer informasjon finnes i delkapitlene ovenfor og vil måtte utarbeides videre dersom det trengs flere detaljer for løsningskombinasjoner.

Arealplanlegging og arealbruk er avgjørende for å kunne håndtere fremtidens flommer og bidrar også i dag i stor grad til flomrisikohåndtering, deriblant at skaderisiko ikke er enda større (Pulg et al 2022). 2022-Rapporten kom med råd som også er relevant for Vossovassdraget, først og fremst at flomsone ved 200-års flommer og klimapåslag ikke må sees som statiske grenser siden disse vil flytte seg etter endringer i lovverk, beregningsgrunnlag og klimaendringer. Det argumenteres derfor for en prosessbasert risikoforståelse av flommer og tilpasset arealbruk og beredskap i risikosoner. Dette inkluderer også vurdering av større flommer enn 200-års flommen, hvilken veier flomvann vil ta ved overtopping av sikringer, samt morfodynamikk og sedimentregime som varierer sterkt innad i Vossovassdraget (kap 3.1).

Som konkrete forslag anbefales det å rigge arealplanleggingen i større grad for klimatilpasning. Dette inkluderer regulering av tryggede arealer som kan tas i bruk til gjenoppbygging etter neste skadeflom.

⁸ <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-skred-og-vassdrag/naa-er-brandbu-sentrum-sikret-mot-flom/>

⁹ <https://www.nrk.no/vestland/ordforer-vil-vurdere-a-betale-folk-for-a-flytte-fra-flomutsatte-hus-1.16179979>

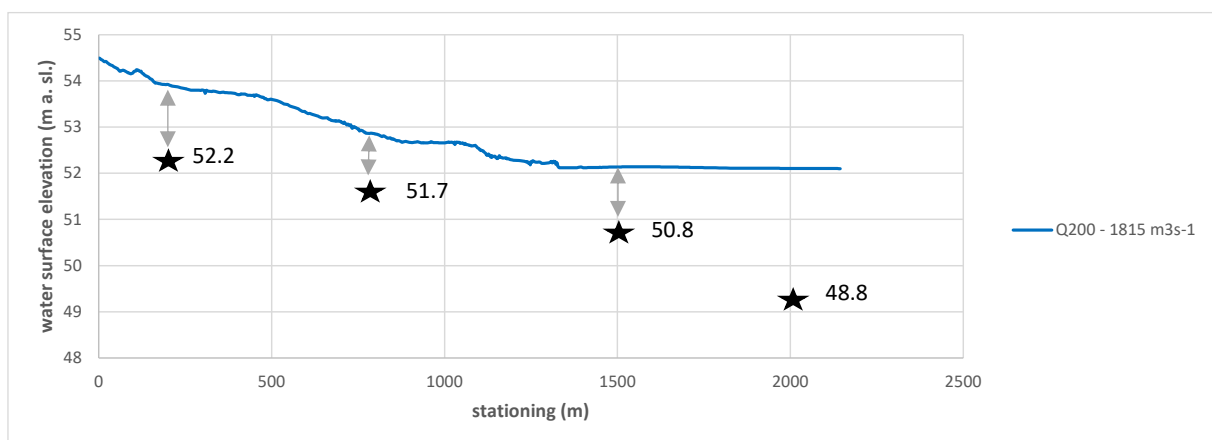
Også en masterplan «flom og miljø» som grunnlag for langsiktige tiltak vil være en del av en slik arealplanlegging. Den vil kunne bidra til å bygge opp tryggere og mer miljøvennlig etter kommende skadeflommer, men også etter hvert som finansielle ressurser eller grunneiendom blir tilgjengelig (Mere detaljer og eksempler finnes i Pulg et al. 2022 fra s. 230).

3.6.1 Resultater

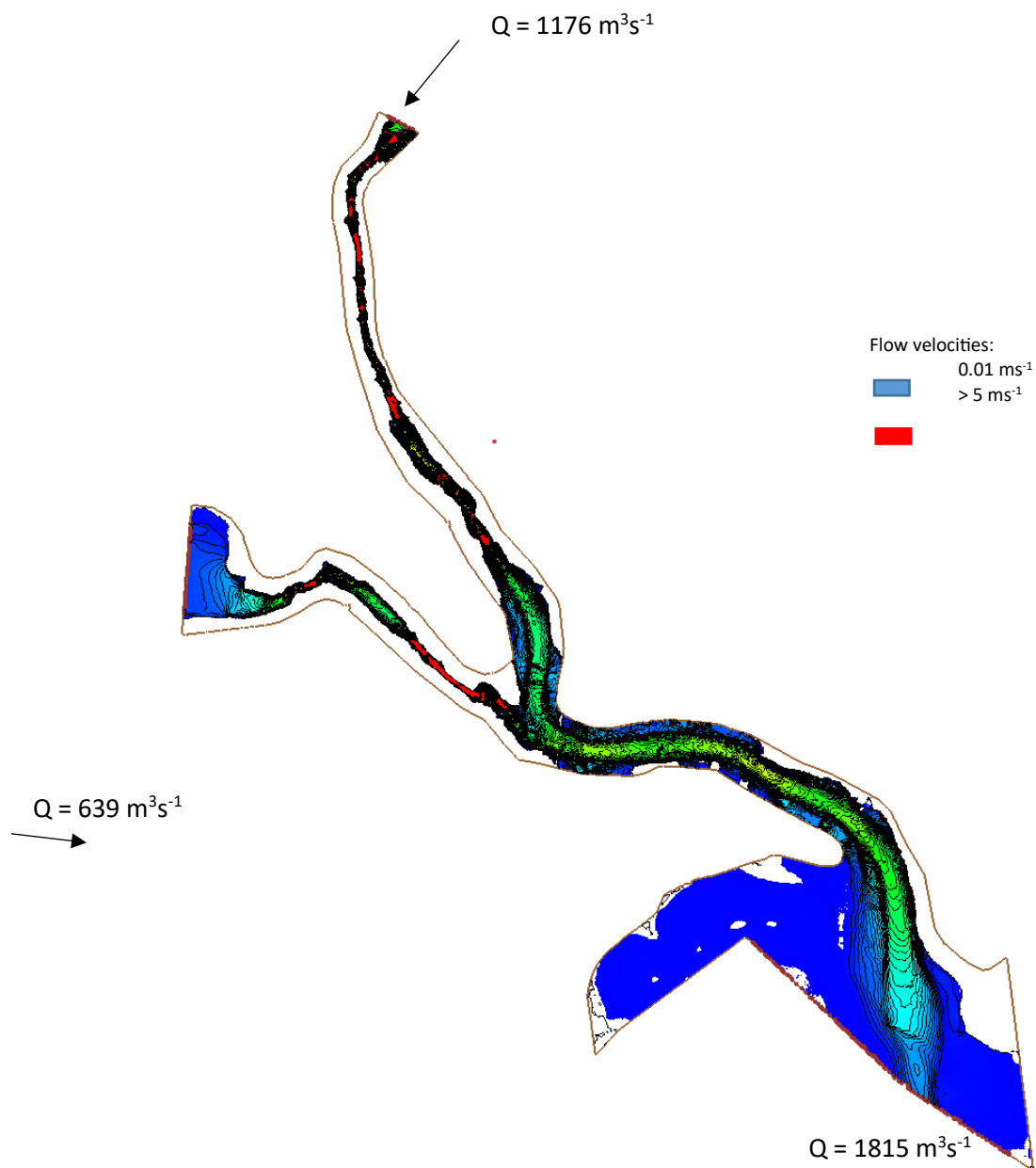
Modellering av forskjellige løsninger i samspill

Hvis det legges til grunn utvidelse av utløp Vangsvatnet med tappeluke og utvidet juv (kap 3.4) samt sedimentforvaltning med senkning av elvebunn Vossevangen og sikring av avløpskapasitet så viser modelleringen at 200 års flommer med 40 % klimapåslag vil kunne håndteres dersom lokale sikringstiltak inkluderes (kap. 3.5). Dette tilsvarer en vannføring på 639 m³/s i Strandaelvi og 1176 m³/s i Raundalselvi, samlet 1815 m³/s i Vosso ved Vossevangen (Figur 46). Lokale sikringstiltak, kombinert med naturbasert utforming av elvebredden og delvis utført med mobile sikringselementer, vil da måtte ha høyder mellom ca. 1 og 3 m (Figur 42 og Figur 46).

Flomdemping og fraflytting av det mest utsatte arealene vil redusere sikringsbehovet.



Figur 46. Lengdeprofil av vannspeil ved Q200 +40% for SENKNING AV ELVEBUNNEN og UTVIDELSE AV UTLØP VANGEN (vannspeil i Vangsvatnet stabiliseres på 52.1 moh). Svarte markørene: høyde øvrekant av elvebredden (lavere side), pilene indikerer nødvendig høyde av flomvoll.



Figur 47. Figuren viser vannhastighetsfordelingen basert på 2d modellen for $Q_{200} + 40\%$. Funnene indikerer at både Strandaelvi og Raundalselvi har tilstrekkelig avløpskapasitet for å unngå overtopping av flomvann, men ved samløp av de to elvene og lenger nedover er vannstandene kritisk (over breddfull vannstand) og krever lokale sikringstiltak.

Tabell 6. Oversikt over tiltak med potensial til tilstrekkelig flomrisikohåndtering og miljøhensyn

Tiltak	Potensiale for flomrisikohåndtering	Potensiell miljøeffekt
1 Arealplanlegging (kap. 3)		
1.1 Hensyn til resterende flomsoner, flomveier og klimaendringer	Vil bidra å opprettholde resterende flomkapasitet og redusere skaderisiko i fremtiden. Særlig relevant ved økende flomfare grunnet klimaendringer	Bidrar å opprettholde og forbedre miljøtilstand
2 Flomdemping (kap. 3.2)		
2.1 Retensjon Strandaelvi, forhåndstapping og utløpsbegrensning	Dempingsvolum minst 9 mill. m ³	Reduserer behovet for større inngrep lengre nede i vassdraget Avbøtende miljøtiltak for å kompensere for lokal byggeaktivitet
2.2 Retensjon Teigdalen forhåndstapping og utløpsbegrensning	Dempingspotensial 69 mill. m ³ , men begrenset delnedbørsfelt (30 %)	Kan redusere behovet for større inngrep lengre nede i vassdraget Avbøtende miljøtiltak for å kompensere ved oppgradering av tappearrangement.
2.3 Retensjon Torfinnsvatnet	Dempingspotensial 177 mill. m ³ , men svært begrenset delnedbørsfelt	Kan bidra å redusere behovet for større inngrep lengre nede i vassdraget.
2.3 Tappeluke Bulken, Lilandsosen	Dempingsvolum 10 mill. m ³ Vangsvatnet ved forhåndstapping	Økning av inngrepsomfang i en strekning med store inngrep fra før. Avbøtende og kompenserende miljøtiltak for å sikre fiskepassasje, terrengtilpasning og revegetering. Restaurering av gyteplasser ovenfor.

Tabell 6, del 2

Tiltak	Potensiale for flomrisikohåndtering	Potensiell miljøeffekt
3 Utvidelse av elveløp (kap. 3.3 og 3.4)		
3.1 Utvidelse elveløp Bulken, Lilandsosen	Sikring av tilstrekkelig avløpskapasitet ved redusert vannstand i Vangsvatnet med ca. 1 m	Økning av inngrepsomfang i en strekning med store inngrep fra før. Avbøtende og kompenserende miljøtiltak for å sikre fiskepassasje, terrengtilpasning og revegetering. Restaurering av gyteplasser ovenfor.
3.2 Sedimentforvaltning Vossavangen, sikring av dypt nok bunnivå	Sikring av avløpskapasitet og senkning av vannstand med 0-1 m. Må testes nøye ved større vannføringer.	Miljøtilpasset fremgangsmåte i henhold til sted og tid. Avbøtende miljøtiltak og reetablering av naturtypisk elvebunn på lavere kote.
4 Lokale sikringstiltak i kombinasjon med naturbaserte løsninger (kap. 3.5)		
4.1 Flomvoller og naturbaserte sikringer (NBS)	Kan beskytte bosetting og infrastruktur, men kan bli omfangsrik, utredninger om permeabilitet gjenstår.	Tiltakene foreslås kombinert med naturbaserte løsninger i størst mulig grad. Modelleringer indikerer at det er plass til en naturbasert utforming av elvebreddene foran sikringene. Med dette vil negativ miljøpåvirkning av sikringene kunne reduseres.
5 Flytting av bygninger og tilpassing av arealbruk (kap. 3.5)		
4.1 Flytting av bygninger og tilpassing av arealbruk	Vil redusere behovet for andre flomhåndteringstiltak. Viktig del av en kost-nytte vurdering.	Vil åpne for større miljøtiltak, naturbaserte løsninger og naturrestaurering.

3.6.2 Diskusjon

Løsningsscenarioene som er vist i kapitlene ovenfor har potensial til sikring av miljøtilstand og en tilstrekkelig flomrisikohåndtering (200 års flom + klimapåslag) i de undersøkte delene av Vossovassdraget dersom de brukes i kombinasjon:

1. Hensyn til vassdrag og flomsone i arealplanlegging og -bruk
2. Flomdemping i særlig Strandaelvi og Teigdalselvi
3. Utvidelse av utløp Vangsvatnet med tappeluke og utvidet juv
4. Sedimentforvaltning med sikring av avløpskapasitet i Vossevangen og Evanger
5. Lokale sikringstiltak kombinert med naturbaserte løsninger og mobile komponenter
6. Flytting av utvalgt bebyggelse og tilpassing av arealbruk vil redusere behovet for sikringstiltak og beredskap, vil kunne redusere kostnader og vil åpne for mer omfattende miljøtiltak.

Med et slikt grunnlag og de forslåtte miljøhensyn, vil verneverdier og miljømål kunne hensyntas. De viktigste miljøtiltakene er hensyn til flomrisiko og miljø i arealplanlegging og arealbruk, bruk av naturbaserte løsninger samt avbøtende miljøtiltak der det trengs tekniske løsninger.

Generelt gjelder at prosjektet var begrenset til utredning av potensialet for forskjellige løsninger gitt de ressursmessige rammene. Resultatene kan derfor vise hvilke muligheter som finnes, men disse må detaljeres videre. Det er usikkerhet knyttet til hydraulisk modellering og den bør derfor gjennomgås detaljert i det videre arbeidet og særlig forutsetningene dobbeltsjekkes og presiseres. For det videre arbeid anbefales å detaljere kunnskapsgrunnlaget av de mest lovende løsningskombinasjoner, innlemme nytt kunnskap, deriblant om naturbaserte løsninger og om permeabilitet av undergrunn (pågående målinger).

Kostnadsnivået vil avhenge av valgte kombinasjoner siden dette har direkte påvirkning av omfang og kostnader for valgte delløsninger. Det viste seg i løpet av prosjektet at det trengs flere avklaringer før kostnader kan anslås, for eksempel om og i hvilken grad bebyggelse kan flyttes og hvor omfattende sikringstiltak som kreves. En kostnadsoversikt med enhetskostnader for naturbaserte løsninger og avbøtende miljøtiltak finnes i Pulg et al. (2023). Med fremskridende detaljering vil det være mulig å hente inn kostnadsestimater for å skape grunnlag for sammenligninger med andre løsninger (slik som flomtunneler, Skog et al. (2020) og for kost-nytte vurderinger.

Fra et faglig perspektiv anbefales å undersøke blant annet følgende tema i detaljstudier:

- Testing og finjustering av flere scenarioer i hydraulisk modell, særlig av samspillet mellom innsjøvannstand i Vangsvatnet og Evangervatnet, flomdemping i Strandaelvi og Teigdalen og bunnivå elveløp i Vossevangen og Evanger. Her kan det være mye å hente.
- Sedimentforvaltning ved lav vannføring (utpekt område for sedimentering) for å unngå oppbygging av elvebunnen i Vossevangen.
- Testing og finjustering av flomluke/tappemulighet for regulering av utløpet av Vangsvatnet. Økt kapasitet her kan gi ekstra retensjonsvolum dersom skadeflom kan varsles med 24-36 timers forhåndsvarsel.
- I vår modellering og de valgte scenarier ble ikke flomtoppen ned mot Evanger økt i forhold til dag. Årsak er forhandstopping og lavere vannstand i Vangsvatnet ved samme vannføring. Dette bør modelleres og dobbeltsjekkes ved flere flomscenarier.
- Utredning, detaljering og forbedring av forhåndstappemuligheter
- Detaljering av miljøtiltak og naturbaserte løsninger
- Innhenting av mere biologiske data og naturtyper.

4 Ordliste

Begrepsforklaring er basert (Pulg et al. 2022)

Aktivt elveløp

Elveseng definert til en bestemt vannføring, for eksempel årsflom (som i dette arbeidet). Aktive elveløp kan endre form og beliggenhet i flommer avhengig av elvetype. Det er her vi finner det akvatiske livet som er avhengig av varig vannføring.

Aktiv elveslette

Elveareal med flomsone som kan oversvømmes under flommer ved gitt vannføringsregime. I den aktive elveslette forekommer fluviale prosesser. Den er definert av terrengformen og en flomvannføring, for eksempel 200-1000-års flom. Det er her vi finner flora og fauna som er avhengig av vekslende vannstand.

Elvegenese

Forming eller danning av elver over tid.

Forvaltningsplan for vann (regional vannforvaltningsplan)

En samlet plan for forvaltning av vannforekomstene i en vannregion, som bl.a. skal angi miljømål for vannforekomstene og sammenfatte tiltaksprogrammet som viser hvordan miljømålene kan nås innen vannforskriftens frister (vannforskriften § 26). Forvaltningsplanen er den formelle planen etter forskriften som behandles og vedtas av fylkesting og godkjennes i Regjeringen. Forvaltningsplanen utarbeids av vannregionmyndighet i samarbeid med vannregionutvalg, og vedtas som fylkesdelplan etter plan- og bygningsloven. Godkjent plan skal legges til grunn for fylkeskommunal virksomhet og være retningsgivende for kommunal og statlig planlegging og virksomhet i vannregionen. Forvaltningsplan skal godkjennes første gang senest innen utgangen av 2009, og oppdateres hvert sjette år (vannforskriften § 29). VRM skal sende utkast til forvaltningsplan på høring senest ett år før ny forvaltningsplan trer i kraft (vannforskriften § 28).

Fiskepassasje

Alle løsninger for å fremme vandring av fisk.

Fisketrapp

Omløp forbi en vandringsbarriere med teknisk utforming, for eksempel kulpetrapp og spaltetrapp.

Fluviale prosesser

Med fluviale prosesser menes fysiske endringer i vassdrag som følge av vannstrømmens virkning. Typiske fluviale prosesser er endringer i vannføring og vannstand inkludert oversvømmelse av elveslette, erosjon og sedimentasjon, massetransport samt endringer i elvens utforming og beliggenhet (morfodynamikk) – i motsetning til kolluviale og glasiale prosesser (f.eks. steinras og danning av morener).

Fragmentering

Underdeling av vassdraget i delstrekninger med færre eller ingen vandringsmuligheter for fisk og/eller barrierer for massetransport.

Fysiske inngrep

Menneskeskapte endringer i vassdragets form. Inkluderer elvebredder og bunnforhold. Fører ofte til direkte endringer i habitatforhold og kan også indirekte påvirke temperatur, gassmetning og vannkvalitet.

Glasial

Glasiale prosesser er drevet av isbreer. Glasiale dannelser deles inn i morener, glasifluviale eller breelvdannelser, samt glasilakustrine eller bresjø- og glasimarine (eller ishavs-) sedimenter (snl.no). Typiske glasiale avsetninger er morener og kampesteiner, men også marin eller lakustrin leire.

GØP

Forkortelse for godt «økologisk potensial». Se egen definisjon for økologisk potensial.

GØT

Forkortelse for god «økologisk tilstand». Se egen definisjon for økologisk tilstand.

Habitattiltak

Med habitattiltak i vassdrag menes målrettede og direkte endringer i de fysiske miljøforholdene som skal bidra til å bedre levevilkår for visse dyre- eller plantearter. Ofte etterligner habitattiltak naturlige prosesser, for eksempel når gytegrus tilføres kunstig siden erosjonssikring hindrer naturlig tilførsel fra elvebreddene. Habitattiltak gjør det ofte mulig å beholde vassdragsbruk (f. eks. demninger og vannkraft) men da kreves det samtidig vedlikehold eller gjentagelse for å ivareta en viss miljøkvalitet. Miljøeffekten er ofte begrenset til utvalgte arter og ikke så omfattende og varig som ved fullskala restaurering. Eksempler på habitattiltak er ripping av elvebunn, utlegging av stein og fisketrapper som trenger vedlikehold eller annen form for drift.

Hydromorfologi

Samlebetegnelse på parametre som beskriver hydrologiske forhold (f.eks. vannmengde, variasjon i vannføring og vannstand) og morfologiske forhold (f.eks. bunnforhold, utforming og fysisk beskaffenhet) på en vannlokalitet.

Hydromorfologiske rammebetingelser

Geologiske, topografiske og vannføringsavhengige egenskaper som avgjør hvordan vassdragets form utvikler seg. Viktige hydromorfologiske rammebetingelser er: Berggrunn, topografi, glasial historie, vannføring, løsmassevolum og sedimenttransport.

Indikator (etter vannforskriften)

For hvert kvalitetselement finnes flere indikatorer, som uttrykker forskjellige egenskaper ved kvalitetselementet, eks. populasjonsstørrelse, kjemisk innhold, artssammensetning, diversitet osv., og som kan omfatte en eller flere parametere som responderer på en påvirkning.

Karakterisering

Karakterisering er en innsamling og registrering av data og karakteristika for på en objektiv måte å kunne identifisere og gradere påvirkninger og miljøtilstand i en vannforekomst. Karakterisering innebærer å:

- Avgrense i hensiktsmessige vannforekomster med ensartet vanntype og miljøtilstand
- Fastsette kategori; elv, innsjø, kyst- og grunnvann, SMVF
- Typifisere vannforekomster med ensartet naturtilstand
- Identifisere eksisterende og forventede påvirkninger

Klassifisering

Fastsette dagens miljøtilstand for en vannforekomst basert på representativ overvåking av det mest sensitive kvalitetselementet for en identifisert påvirkning. Den best egnede bioindikatoren eller

parameteren skal således undersøkes, og "det verste kvalitetselementet" styrer. Plassering av en vannforekomst i svært god-, god-, moderat-, dårlig-, eller svært dårlig økologisk tilstand basert på kunnskap om økologiske indikatorer i naturlige vannforekomster, og maksimalt, godt-, moderat-, dårlig-, eller svært dårlig økologisk potensial for sterkt modifiserte vannforekomster. Tilstandsklassen relateres til naturtilstanden for den aktuelle vanntypen. Se også klassifiseringsveilederen (Veileder 2013:2).

Kolluvial

Kolluviale prosesser er geomorfologiske prosesser drevet av erosjon og tyngdekraften, slik som løsmasseskred og ras. De forutsetter en relativ stor høydeforskjell og er typisk for eksempel i fjellskråninger. Kolluvium er avsetninger fra disse prosessene.

Konnektivitet

Grad av forbindelsmuligheter – i denne sammenhengen grad av vandringsmuligheter for fisk eller grad av massetransport i elven.

Kvalitetselement (KE)

Økosystemkomponenter, som er angitt i vannforskriftens vedlegg V, og som legges til grunn når en vannforekomsts økologiske tilstand vurderes. Det finnes både biologiske (planteplankton, vannplanter, bunndyr, fisk), fysisk-kjemiske (temperatur, oksygenforhold, ledningsevne, forsuringstilstand, næringsstoffinnhold) og hydromorfologiske kvalitetselementer (vannføringsstørrelse, dybde, bredde, saltholdighet etc.). Hvert kvalitetselement kan bestå av flere parametere.

Lateral

Rettet mot siden av elven, for eksempel mot flomslette eller sideelver.

Leitbild konsept (Målbilde)

Leitbild konseptet (Muhar et al. 1995) anbefaler å sette en uforandret naturlig elvetype som et overordnet mål for elverestaurering og andre miljøtiltak i vassdrag. Dette målet kan ikke nødvendigvis nås fullstendig grunnet en rekke menneskelige forandringer og bruksformer, men det vil bidra å velge riktige løsninger som passer til elvetypen med tanke på økologisk funksjonsevne, fluviale prosesser og langsiktig varighet. Er mye brukt i arealplanlegging og økologisk restaurering generelt, da vanligvis med terrestriske naturtyper som overordnet mål.

Longitudonal

Rettet langs elven, for eksempel opp- og nedover elva.

Massebegrenset

Er en elvstrekning massebegrenset kan den transportere mer løsmasser enn det tilføres. Elven skjærer seg inn inntil helningen blir for lav, eller til den treffer på stabile sedimenter, grunnfjell eller danner et armeringslag (motsatt til transportbegrenset).

Mesoskala

Målestokk som brukes ofte for habitatbeskrivelse i en elv, eksempelvis et gyteareal. Enheter har typisk 1-10 ganger elvebredde. Se også segment - og mikroskala.

Mikroskala

Målestokk som ofte brukes for beskrivelse av små arealer i en elv: eksempelvis en gytegrep. Enheter har typisk 0.1 -1 ganger elvebredde, eller mindre. Se også segment - og mesoskala.

Miljøtilstand

En samlebetegnelse på miljøforholdene i vann. Økologisk og kjemisk (prioriterte miljøgifter) tilstand i overflatevann, og kjemisk og kvantitativ tilstand i grunnvann. Miljømålene er at tilstanden for disse minst skal være klassen "god".

Miljødesign

Miljødesign er en metode som går ut på å legge til rette for både kraftproduksjon og laks i kraftregulerte elver. Den ble utviklet i rammen av forskningssenteret CEDREN og har blitt mye brukt i norske laksevassdrag siden 2013. En viktig del av metoden er en klar målsetting, grundig kartlegging, stilling av diagnose og så valg av tiltak. Habitattiltak står i fokus. Skal etter hvert utvides til andre arter. «Metoden går ut på å legge til rette for både kraftproduksjon, laks og annet dyreliv i elver med vannkraftverk [...] og å utvikle og gjennomføre tiltak som skal gjøre at laks og dyr i elven får det bedre, samtidig som tapet i kraftproduksjon blir så lite som mulig. (<https://gemini.no/2016/11/all-verden-miljodesign/>)

Miljøsmål

Standard miljøsmål: Med standard miljøsmål forstås grenseverdiene for økologisk og kjemisk tilstand slik de står beskrevet i vedlegg V i vannforskriften og klassifiseringsveilederen. Når alle kriterier og parameterverdier er fylt ut vil Vann-Nett bestemme vannforekomstens vanntype. Når vanntype er satt vil vannforekomsten automatisk få satt sitt standard miljøsmål.

Miljøsmål for SMVF: Det skal defineres egne tilpassede miljøsmål for vannforekomster som i forvaltningsplanen blir endelig sterkt modifiserte. For å utpeke en vannforekomst til sterkt modifisert, forutsettes det at god økologisk tilstand ikke er eller kan nås. Derfor skal alle vannforekomster som utpekes som sterkt modifiserte plasseres i risiko. I tillegg har også SMVF miljømålet "god kjemisk tilstand" (gjelder miljøgifter og andre prioriterte stoffer), på lik linje med naturlige vannforekomster.

Morfodynamikk

Med morfodynamikk forstås endringer av aktivt elveløp og aktiv elveslette gjennom erosjon og sedimentasjon. Ofte oppstår nye vassdragsdeler slik som meander, sideløp, flomløp eller kroksjøer. Det er en fluvial prosess som drives av flommer og som er bl.a. avhengig av elvetype, helning, sedimentsammensetning og vannføringsregime.

Morfologisk elveslette

Begrep for den historiske elvesletten som stammer fra tidligere glasifluviale eller fluviale prosesser, slik som terrasser. Kan ikke nås eller oversvømmes av dagens vannføringer og er ikke lenger del av den aktive elvesletten. Et eksempel er elver som har skjært seg inn i et sandur eller deltaavsetninger.

Målbilde (se Leitbild)

Nedbørsfelt

Landareal med avrenning til et bestemt utløpspunkt i en elv, innsjø, fjord eller i hav.

Påvirkning

Kjente påvirkninger som vurderes å kunne påvirke miljøtilstanden i vannforekomsten.

Restaurering

Med restaurering av elver menes gjenskaping av naturtypiske forhold inkludert tilhørende fluviale prosesser. Ofte innebærer dette fjerning av inngrep. I motsetning til habitattiltak krever restaurering i utgangspunktet ikke vedlikehold eller gjentagelse med tanke på å sikre miljøkvalitet. Et eksempel på restaurering er fjerning av en demning, inkludert reetablering av naturlig sedimenttransport. Regelmessig sedimenttilførsel som kompensasjon for demningens effekt betegnes som habitattiltak.

Fisketrapper kan i beste fall gjenscape konnektivitet men krever drift og vedlikehold og betegnes derfor ikke som restaureringstiltak. Fjerning av en vandringsbarriere og delvis også bygging av en naturtypisk rampe betraktes som restaurering. Fiskevandring kan deretter fungere uten spesielt vedlikehold, over hele elvens bredde. Tiltaket tåler og bidrar til fluviale prosesser. Restaureringstiltak har blitt brukt når prioritering av vassdragsbruk har blitt endret, for eksempel fra vannkraft til flomsikring i Isar i Munchen eller oppdrett til flomsikring i Skjern Å. Oftest brukes restaurering i vanlige vannforekomster som ikke er karakterisert som SMVF. Restaurering kan imidlertid også brukes i SMVF og når vassdragsbruk ikke kan endres, dog ofte i mindre skala, for eksempel når sidevassdrag restaureres eller terskler fjernes.

Regulering av vassdrag

I denne publikasjonen brukes regulering av vassdrag for menneskeskapt fysiske inngrep i vassdrag samt endringer i vannføringer som forandrer vassdragets naturlige hydromorfologiske egenskaper. Vassdragsregulering har ofte formål som vannkraft og annen vannbruk (drikkevann, fiskeoppdrett, landbruk), flomsikring, skogs/jordbruk eller byutvikling.

I Norge brukes vassdragsregulering ofte som synonym for vannkraftutbygging og skilles fra «fysiske inngrep» som brukes for alle andre morfologiske endringer. Siden vann også brukes for andre formål enn kraftproduksjon og siden systematisk kanalisering av vassdrag eller bekkelukking kan ha lignende og større effekter enn vannkraftutbygging er det kategorisk riktig å bruke «regulering» for alle endringer i morfologi og vannføring i vassdrag – uavhengig av hvorfor endringene ble gjennomført. Dette er også vanlig begrepsbruk internasjonalt (Petts 1999).

Risikovurdering

Med risikovurdering menes her en samlet vurdering av risikoen for at vannforekomsten ikke oppnår fastsatte miljømål innen gjeldende tidsfrister, eller risiko for en vesentlig forverring (fra en tilstandsklasse til en annen). Risikovurderingen baseres på tilgjengelige data fra karakterisering, tilstandsvurdering og økonomisk analyse av vannbruken framover.

Segment skala

Målestokk som brukes her for en elvestrening med samme hydromorfologiske egenskaper (engelsk «reach scale»). Enheter er typisk 10-100 ganger elvebredde eller mer, slik som elvetyper. Se også meso- og mikroskala.

Sterkt modifisert vannforekomst (SMVF)

En forekomst av overflatevann som på grunn av fysiske endringer som følge av menneskelig virksomhet i vesentlig grad har endret karakter, og som er utpekt som sterkt modifisert i medhold av vannforskriften § 5. Eksempler på vannforekomster som kan bli utpekt som SMVF, er slike som er sterkt påvirket av vannkraftutbygging, kanalisert av hensyn til jordbruk, urbaniserte områder m.fl.

Tilstandsvurdering

En fastsetting av om miljøtilstanden er svært god, god eller dårligere enn god, basert på tilgjengelige data om økologiske, kjemiske og/eller kvantitative forhold i vannforekomsten. Dersom tilstrekkelige tilstandsdata finnes, så benyttes dette til å klassifisere tilstanden. Der tilstandsdata ikke eksisterer, er mangelfulle eller kan sammenligne med tilsvarende forekomst, så foretas en tilstandsvurdering av den samlede miljøtilstanden for vannforekomsten. Påvirkningsdata kan således danne grunnlaget for tilstandsvurderingen.

Tiltaksanalyse

En opplisting og faglig vurdering/rangering av relevante tiltak for å nå miljømål i et avgrenset område, normalt et vannområde (eventuelt vassdrag). Det vil normalt være en arbeidsgruppe

(vannområdegruppe) knyttet til det enkelte vannområde som utarbeider tiltaksanalysen, som vil være et faglig innspill til arbeidet på vannregionnivå med å sette sammen et tiltaksprogram. Les mer i tiltaksveilederen.

Tiltaksovervåking

Tiltaksovervåking skal gjennomføres i vannforekomster som står i fare for ikke å nå miljømålene og vurdere endringer i tilstanden som følge av miljøforbedrende tiltak. Tiltaksovervåking skal utføres i alle vannforekomster som står i fare for ikke å nå miljømålene, samt i alle vannforekomster som har utslipp av prioriterte stoffer. Representativ overvåking kan benyttes der det finnes sammenlignbare vannforekomster med hensyn på vanntype og belastning. Ved tiltaksovervåking skal det mest følsomme biologiske kvalitetselementet for belastningen overvåkes som et minimum (overflatevann). Kravet om overvåking av minst ett følsomt biologisk kvalitetselement gjelder ikke for prioriterte stoffer.

Transportbegrenset

Er en elvestrekning transportbegrenset kan den transportere mindre løsmasser enn det tilføres. Elv- og dalbunn øker over tid (motsatt til massebegrenset). Typiske elvetyper som ofte er transportbegrenset er fluviale finsediment- og kulp-stryktyper, i planform ofte «delta» og «braided river».

Vandringshinder

Virker i perioder som vandringsbarriere for fisk. Ved gunstig vannføring og temperatur, er de passerbar for fisk. Kan forsinke vandring og ha effekt på fordeling og tetthet av fisk i vassdrag. Kan virke forskjellig på oppvandrende og nedvandrende fisk. En 1 m høy gjennomgående syvdeterskel kan være vandringshinder for oppvandrende fisk men være passerbar for nedvandrende. Kan være menneskeskapt eller naturlig.

Vandringsbarriere

Er uoverkommelig for fisk. Kan virke forskjellig på oppvandrende og nedvandrende fisk. En 5 m høy demning kan være vandringsbarriere for oppvandrende fisk men være passerbar for nedvandrende. Barrierer kan være menneskeskapt eller naturlig.

Vanndirektivet

Europaparlament og råds direktiv 2000/60/EF om etablering av rammer for en felles vannpolitikk i EU (vanndirektivet). Direktivet er et av EUs viktigste og mest omfattende og ambisiøse miljødirektiver.

Økologisk potensial

Uttrykk for mulig økologisk tilstand i en sterkt modifisert eller kunstig forekomst av overflatevann, basert på klassifiseringen i vannforskriftens vedlegg V. I praksis de økologiske forholdene av alle realistiske avbøtende tiltak som skal gjennomføres.

Økologisk tilstand

Er et uttrykk for tilstanden i vannet når det gjelder sammensetning og virkemåte for økosystemet i en forekomst av overflatevann. Man fastsetter den økologiske tilstanden for en vannforekomst basert på overvåkingsdata. Plassering av en vannforekomst i svært god-, god-, moderat-, dårlig-, eller svært dårlig økologisk tilstand er basert på kunnskap om økologiske forhold i naturlige vannforekomster. Tilstandsklassen relateres til naturtilstanden for den aktuelle vanntypen.

5 Referanser

- Alfieri, L., Feyen, L., & Di Baldassarre, G. (2016). Increasing flood risk under climate change: a pan-European assessment of the benefits of four adaptation strategies. *Climatic Change*, 136, 507-521.
- Anon. 2013. "Redningsaksjonen for Vossolaksen." In DN-Utredning, edited by Direktoratet for Naturforvaltning. Direktoratet for Naturforvaltning.
- Ashmore, P., and M. Church. 2001. 'The impact of climate change on rivers and river processes in Canada', *Geological Survey of Canada, Bulletin*, 555: 58.
- Atoba, Kayode, Galen Newman, Samuel Brody, Wesley Highfield, Youjung Kim, and Andrew Juan. 2021. 'Buy them out before they are built: evaluating the proactive acquisition of vacant land in flood-prone areas', *Environmental Conservation*, 48: 118-26.
- Awadallah, Mahmoud Omer Mahmoud, Ana Juárez, and Knut Alfredsen. 2022. 'Comparison between Topographic and Bathymetric LiDAR Terrain Models in Flood Inundation Estimations', *Remote Sensing*, 14: 227.
- Badri, A., J. Giudicelli, and G. Pre´vot. 1987. Effects of a flood on the benthic invertebrate community in a Mediterranean river, the Rdat (Morocco). *Acta Oecologica* 8:481–500.
- Barlaup, Bjørn T., Sven Erik Gabrielsen, Helge Skoglund, and Tore Wiers. 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: 543-50.
- Barlaup, T.B. (red.) 2018. Redningsaksjon for Vossolaksen – Fremdriftsrapport per 2017. NORCE LFI rapport 300. NORCE Bergen
- Bokhove, O., Kelmanson, M. A., Kent, T., Piton, G., & Tacnet, J. M. (2019). Communicating (nature-based) flood-mitigation schemes using flood-excess volume. *River research and applications*, 35(9), 1402-1414.
- Bubeck, P., Kreibich, H., Penning-Rowsell, E. C., Botzen, W. J. W., de Moel, H., & Klijn, F. (2017). Explaining differences in flood management approaches in Europe and in the USA—a comparative analysis. *Journal of Flood Risk Management*, 10(4), 436-445.
- Consoer, M., & Milman, A. (2018). Opportunities, constraints, and choices for flood mitigation in rural areas: Perspectives of municipalities in Massachusetts. *Journal of Flood Risk Management*, 11(2), 141-151.
- Davies, T. R., & McSaveney, M. J. (2006). Geomorphic constraints on the management of bedload-dominated rivers. *Journal of Hydrology (New Zealand)*, 45(2), 111-130.
- Fergus, T., A. K. Hoeseth, and E Sæterbø (ed.). 2010. Vassdragshåndboka. Fagbokforlaget Bergen
- Hanssen-Bauer, I., E.J. Førland, I. Haddeland, H. Hisdal, S. Mayer, A. Nesje, J.E.Ø. Nilsen, S., Sandven, A.B. Sandø, A. Sorteberg og B. Ådlandsvik (red.) 2016: Klima i Norge 2100 - Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. Miljødirektoratet rapport nr. 2/2015. 2. opplag.
- Hauer, C. (2024). Flood risk mitigation strategies for Vosso / Norway – Hydrological analysis Appendix to the final report, commissioned by NORCE, 14 pp.
- Hauer, C., & Habersack, H. (2009). Morphodynamics of a 1000-year flood in the Kamp River, Austria, and impacts on floodplain morphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(5), 654-682.
- Hauer, C., Frangez, C., Jungwirth, M., Hofbauer, S., Muhar, S., Preis, S., ... & Habersack, H. (2006). River-morphologic changes at the Kamp river by the flood in 2002 and their meaning for flood protection and ecology. *Österreichische Wasser-und Abfallwirtschaft*, 58, 175-183.
- IPBES (2019): Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem

- Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio, H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B.
- Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., ... & Sherstyukov, B. (2014). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 1-28.
- Liu, Y., Yang, S. Q., Jiang, C., Sivakumar, M., Enever, K., Long, Y., ... & Yin, L. (2019). Flood mitigation using an innovative flood control scheme in a large lake: Dongting Lake, China. *Applied Sciences*, 9(12), 2465.
- Pulg, U., Barlaup B.T., Skoglund H., Velle, G., Gabrielsen S-E., Stranzl S., Olsen E. E., Postler, C., Lehmann, G. B., Wiers, T., Skår, B. Nordmann E., Fjeldstad, H.-P., Kroglund, F., Halleraker, J.H. LFI rapport 470 5. opplag. Tiltakshåndbok for bedre fysisk vannmiljø God praksis ved miljøforbedrende tiltak i elver og bekker. 2023. 5. opplag.
- Pulg, U., Hauer, C., Flödl, P., Postler C., Stranzl, S., Espedal, E.O, Bodin, C.L., Velle, G. 2022: Flom og miljø i et endret klima - innovative metoder for restaurering og bedre miljøtilstand. NORCE LFI rapport 458. Norwegian Research Center LFI, Bergen.
- Paasche, Ø. K. Engeland, E. Støren, J. Bakke, S.Neby, L. Li, J. Gullestad, K. Maisol Knudsen, F. M. Ekblom Johansson og M. Øksnes 2021: Hordaflom rapporten – Klima og flom. Online rapport NORCE Bergen. <https://hordaflom.norceresearch.no/>
- Senzimir, Jan, and Stefan Schmutz. 2018. 'Challenges in Riverine Ecosystem Management.' in Stefan Schmutz and Jan Senzimir (eds.), *Riverine Ecosystem Management: Science for Governing Towards a Sustainable Future* (Springer International Publishing: Cham).
- Sowińska-Świerkosz, Barbara, and Joan García. 2022. 'What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification', *Nature-Based Solutions*, 2: 100009
- Skog M, Jjunju E., Aurand K., Johannessen F., Aryal K. P., Gaut S., Haug Bjølstad O. C., Palmgren Eriksen J., Vabø I., Hauglum S., Holst K., Rekkavik I. (2020). Prosjektering av sikringstiltak mot flom i Vossovassdraget, SWECO Dokumentnr. 56816001-GEN-RAP-040 Rev.: 02
- Thorstad, E. B., Torbjørn Forseth, and P. Fiske. 2019. Klassifisering av tilstanden til 430 norske sjørretbestander 'TEMARAPPORT FRA VITENSKAPELIG RÅD FOR LAKSEFORVALTNING NR 7'. <http://hdl.handle.net/11250/2629316>
- Wilby, R. L., & Keenan, R. (2012). Adapting to flood risk under climate change. *Progress in physical geography*, 36(3), 348-378.
- Woodward, M., Kapelan, Z., & Gouldby, B. (2014). Adaptive flood risk management under climate change uncertainty using real options and optimization. *Risk Analysis*, 34(1), 75-92.
- WWF (2020) Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss. Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Switzerland.



Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI)

LFI ble opprettet ved Universitet i Bergen i 1969, og er nå en seksjon ved Norwegian Research Centre (NORCE). LFI gjennomfører forskning, overvåking, tiltak og utredninger innen ferskvannøkologi. Vi har spesiell kompetanse på laksefisk (laks, sjøaure, innlandsaure) og bunndyr, og på hvilke miljøbetingelser som skal være til stede for at disse artene skal ha livskraftige bestander. Sentrale tema er:

- Bestandsregulerende faktorer
- Gytebiologi hos laksefisk
- Biologisk mangfold basert på bunndyrsamfunn i ferskvann
- Effekter av vassdragsreguleringer
- Effekter av fiskeoppdrett, lakselus og rømming
- Bærekraftig klimatilpasning
- Forsuring og kalking
- Vassdragsmorfologi og habitattanalyser
- Vassdragsrestaurering
- Miljødesign og habitattiltak
- Effekter av klimaendringer
- Fiskepassasjer
- Gassovermetning