

Petter Turmo

# Regulerte vassdrag

En review av fluvialgeomorfologisk teori relatert til utløpkanalers påvirkning av regulerte elvesystem.

Masteroppgave i geografi

Trondheim, Mai 2015

Veileder: Geir Vatne

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for samfunnsvitenskap og teknologiledelse  
Geografisk institutt



## Abstract

This thesis aims to look at the role in which fluvial geomorphology has on today's river management, and why such a perspective is considered important. Especially looking at the downstream alterations that occur in relation to hydroelectric power stations. Examples and literature are mainly taken from the UK, USA and Switzerland due to the lack of Norwegian literature. This is strictly a theoretical paper, researching and analysing articles to get a broader understanding on a fairly unknown subject. Conclusions from the thesis indicate that there is a need for fluvial geomorphology in river management, but in relations to Norway it seems to be in the stages of infancy. Further more studying needs to be undertaken if geomorphology is to get a foothold on the inside of the already well thriving interdisciplinary work that is being done. The review show that there is a clear and acknowledge fact among fellow fluvial geomorphologist as if to why this field of studies is important, but the Breaking of ground between engineering and biology of who are the primary decision makers in today's river management is sill a way ahead. Last but not least there is also a way ahead when it comes to assessing geomorphic methods and modelling to be used in estimations on downstream river change related to hydroelectric water regimes.



## Forord

Da er masteroppgaven ferdig og fem år ved NTNU er kommet til sin ende.

Først og fremst har veien vært lang og ikke uten en del humper og hull.

Temaet til denne oppgaven relaterer seg til regulerte vassdrag og nedstrømspåvirkninger fra utløp. Det å skulle skrive en oppgave om dette viste seg å være mer utfordrende enn først antatt. Høsten 2014 ble innledet med voldsom usikkerhet på veien videre, og en god del ferdig utført feltarbeid gikk i vasken. Løsningen viste seg etter vært som en åpenbaring, som følge av god veiledning.

Jeg vil med dette rette en stor takk til Geir Vatne som har hatt troen på meg hele veien, uten hans veiledning hadde jeg sikkert enda stått å kastet stein i en elv langt nord. Samtidig fortjener nære og kjære en god dose takknemmelighet for å ha hatt troen på meg fra dag én på universitetet. Takk til Statkraft ved Bjørn Grane som har stilt all relevant data fra deres prosjekt til disposisjon for masteroppgaven, det har vært til uvurderlig hjelp.

Trondheim, 06.05.15

Petter Turmo



## INNHALDSFORTEGNELSE

1.0 Introduksjon .....	1
1.1. Innledning og problemstilling .....	1
1.2 Valg av oppgave .....	2
1.3 Terminologi .....	2
1.3 Disposisjon og metode .....	5
2.0 Hydrologiske endringer .....	7
2.1 Endring i vannføring .....	8
2.2 Vanntemperatur og isforhold .....	10
2.3 Vannregimer fra Hydroelektriske stasjoner .....	10
2.3.1 Flushing Flow (FF) .....	10
2.3.2 Hydropeaks .....	11
2.3.3 Paleoflom (PF) .....	13
3.0 Geomorfologiske endringer .....	15
3.1 Typiske endringsforløp .....	15
3.2 Bevegelsesmønstre .....	17
3.3 Eksempel på endringsmodeller .....	18
3.3.1 Om studiet .....	25
3.3.2 Elven Fortun .....	26
3.3.3 Analyser og metodikk .....	26
3.3.4 Resultat .....	28
3.3.5 Kanalendring .....	29
4.0 Biologiske endringer .....	31
4.1 Biologi, forvaltning og geomorfologi .....	31
4.2 De økologiske endringer .....	32
4.2.1 Påvirkning på biotiske forhold .....	34
4.2.2 Vannføring .....	34
4.2.3 Vanntemperatur .....	35
4.2.4 Overlevelsesrate .....	35
5.0 Forvaltning .....	39
5.1 Det europeiske vanndirektivet .....	39
5.2 Forvaltning i Norge .....	41

5.2.1 Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).....	41
5.2.2 Et Norsk prosjekt.....	44
6.0 Geomorfologiens bidrag.....	47
6.1 Hva bidrar en geomorfolog med .....	47
6.2 Konnektivet, det viktigste bidraget?.....	50
6.2.1 Andre aspekter.....	51
6.2.2 Metoder for å kartlegge morfologiske endringer .....	52
7.0 Casestudie.....	55
7.1 Prosjektet Nye Nedre Røssåga, Statkraft Energi AS, Korgen.....	55
7.1.1 Feltarbeid og egenerfaring.....	56
7.1.2 Utløpet.....	56
7.1.3 Potensielle endringer .....	63
8.0 En geomorfologisk slutning .....	69
8.1 Geomorfologi innen hydrologi.....	69
8.2 Geomorfologi innen biologi .....	70
8.3 Geomorfologi innen forvaltning.....	71
9.0 Konklusjon .....	73
9.1 Forslag til fremtiden .....	74
Litteraturliste .....	75

## FIGURLISTE

FIGUR 1: FORENKLET FRAMSTILLING AV VANNKRAFT OG KRAFTPRODUKSJON, HENTET FRA STATKRAFT (2009).....	7
FIGUR 2: INNDELING AV DAMMER MED LAGRINGSKAPASITET PÅ OVER 1.3KM <sup>3</sup> HENTET FRA GRAF (2006). .....	9
FIGUR 3: GRAFEN VISER FLUKSJONER I VANNSTANDEN GJENNOM ET DØGN, PÅ GRUNN AV HYDROPEAKING. HENTET FRA CHARMASSON AND ZINKE (2011). .....	12
FIGUR 4: 6-STEGS INNSKJÆRINGSMODELL FOR KANAL UTVIKLING OVER TID (PIZZUTO, 2002). .....	20



FIGUR 5: VISER ENDRINGER NEDSTRØMS FRA VASSDRAG BASERT PÅ ULIKE UTSLIPPSREGIMER FRA BRANDT (2000).	25
FIGUR 6: FØR OG ETTER REGULERING (FERGUS, 1997).	28
FIGUR 7: GYTEFORHOLD UNDER HØY VANNFØRING OM HØSTEN, I ALTAELVA. PHOTO: LFI-UNIFOB V/BJØRN T. BARLAUP I JOHNSEN ET AL. (2011).	35
FIGUR 8: SAMME BILDET UNDER LAV VANNFØRING PÅFØLGENDE VÅR. LFI-UNIFOB V/BJØRN T. BARLAUP I JOHNSEN ET AL. (2011).	36
FIGUR 10: OVERSIKT OVER SJØFORSEN OG NEDRE RØSSÅGA, MED EKSISTERENDE OG PLANLAGT UTLØP. FRA KANSTAD-HANSEN, JENSSEN, AND NÆSS (2014).	55
FIGUR 11: PUNKT FOR HASTIGHETSMÅLINGER GJORT HØSTEN 2014 AV HYDRATEAM MED TILLATELSE FRA STATKRAFT.	57
FIGUR 12: PUNKT P10 SAMT PUNKT P9 HER AV BETYDNING FOR SJØFORSEN, P9 ER FRA DET GAMLE UTLØPET. RESTERENDE PUNKTER ER IKKE AV BETYDNING FOR OPPGAVEN. HYDRATEAM 2014, MED TILLATELSE FRA STATKRAFT.	57
FIGUR 13: MÅLINGER VED TERSKEL 9, FRA HYDRATEAM, MED TILLATELSE FRA STATKRAFT. MÅLINGENE VISER TVERRPROFIL OG WIRENS Plassering I KOORDINATSYSTEM.	58
FIGUR 14: MÅLINGER VED TERSKEL 10 FRA HYDRATEAM, MED TILLATELSE FRA STATKRAFT.	58
FIGUR 15: MÅLINGER TERSKEL SJØFORSEN FRA HYDRATEAM, MED TILLATELSE FRA STATKRAFT.	59
FIGUR 16: AKUSTISK DOPPLER-MÅLING VED WIRE 1, HASTIGHET 37,6 m <sup>3</sup> /s, FRA HYDRATEAM, MED TILLATELSE FRA STATKRAFT.	60
FIGUR 17: AKUSTISK DOPPLER-MÅLING VED WIRE 1, HASTIGHET 85.0 m <sup>3</sup> /s, FRA HYDRATEAM, MED TILLATELSE FRA STATKRAFT.	60
FIGUR 18: AKUSTISK DOPPLER-MÅLING VED WIRE 2, HASTIGHET 37.6 m <sup>3</sup> /s, FRA HYDRATEAM, MED TILLATELSE FRA STATKRAFT.	61
FIGUR 19: AKUSTISK DOPPLER-MÅLING VED WIRE 2, HASTIGHET 85.0 m <sup>3</sup> /s, FRA HYDRATEAM, MED TILLATELSE FRA STATKRAFT.	61
FIGUR 20: AKUSTISK DOPPLER-MÅLING VED WIRE 3, HASTIGHET 37.6 m <sup>3</sup> /s, FRA HYDRATEAM, MED TILLATELSE FRA STATKRAFT.	62
FIGUR 21: AKUSTISK DOPPLER-MÅLING VED WIRE 3, HASTIGHET 85.0 m <sup>3</sup> /s, FRA HYDRATEAM, MED TILLATELSE FRA STATKRAFT.	62
FIGUR 22: CASE 18 OG 19 MED UTGANGSPUNKT I CCHE-2D, FRA KANSTAD-HANSEN ET AL. (2014).	65

FIGUR 23: FLYFOTO SOM VISER FORSKJELL I "STRANDLINJE" MELLOM 1948 OG 2009. HENTET FRA (KANSTAD-HANSEN ET AL., 2014) .....	66
---	----

## Tabelliste

TABLE 1: VISER ENDRINGSFORLØPET BREDDE M(WIDTH), DYBDE M (DEPTH) OG KANALKAPASITET $M^2$ (CHANNEL CAPACITY) UNDER VANNFØRINGSREGIMET PÅ $80M^3S^{-1}$ I 1973 OG 1989 (FERGUS, 1997).....	29
TABLE 2: FORDELING AV NORSK VANNKRAFTPRODUKSJON ETTER PRODUKSJONSSTØRRELSE PÅ VANNKRAFTVERKENE FRA NVE (2014). .....	42

## LIGNINGER

LIGNING: A FRA PETTS AND GURNELL (2005) .....	18
LIGNING: B FRA FERGUS (1997).....	26
LIGNING: C FRA FERGUS (1997).....	27

# 1.0 INTRODUKSJON

## 1.1. Innledning og problemstilling

Damkonstruksjoner og elveregulering er noe som har stor effekt på vannveiene verden over. På tross av dette eksisterer det spesielt i Norge veldig lite fluvialgeomorfologisk data rundt hvordan slike inngrep påvirker elvesystemene.

Enkelte land skiller seg ut, spesielt Sveits, Storbritannia og USA. Her har det vært noe forskning på området, men felles for både fluvialgeomorfologien og andre faggrupper som biologer/økologer og ingeniører er at det ikke finnes en konkret felles interdisiplinær plattform for samarbeid.

Utgangspunktet gjennom flere hundre år har vært at de tekniske faggruppene innen industri og jordbruk har stått for en stor del av elveinngrepene og i nyere tid har den økte populasjonen lagt enda større press på bruken av fornybar energi.

Som en mulig årsak av historien, kan man si at forståelsen for konsekvensene slike inngrep har hatt med seg ofte har vært mangelfull og underrepresentert helt fram til mer moderne tid. Dette får gjerne en større betydning når man ser at det i dag i USA alene eksisterer rundt 75000 dammer og lignede inngrep.

De første studiene av miljøforringelse kom allerede tidlig på 1960-tallet i Nord-Amerika. Men ikke før 1980- og 90-tallet begynte slik type forskning å skape seg et fotfeste. Det er antatt at ulike elveinngrep før 1990 har vært en kraftig forringelse av biologiske habitat (Graf, 2006).

Masteroppgaven tar for seg å se nærmere på problemsstillingen rundt hvilken rolle fluvialgeomorfologien kan ha i dagens elveforvaltning relatert til regulerte vassdrag og hvordan det kan brukes som verktøy innen planlegging av utløpskanaler spesielt.

- Dette belyses blant annet gjennom å se på hva geomorfologien og hydrologien kan si om forventet endringsforløp nedstrøms fra utløpskanaler knyttet til kraftverk.

- Det vil også fokuseres på hvordan dagens vassdragforvaltning arter seg spesielt i Norge relatert til regulering.
- Oppgaven vil også prøve å fremheve dagens situasjon rundt hvordan biologi gjennom økologiske perspektiv er fremtredende i forvaltningen, samtidig som det belyses hvor avhengig og koblet dette er mot fluvialgeomorfologi.

## 1.2 Valg av oppgave

Ofte er det slik at hvis noen spør hvilken utdanning jeg har og jeg forklarer at det er naturgeograf med fordypning i geomorfologi, så får jeg mange undrende blikk. Ikke bare fra mannen i gata, men overraskende nok spesielt fra mennesker som jobber innen vannkraftindustrien. Under en sommerjobb i Statkraft ble det klart for meg at mangelen på kunnskap om mitt fagfelt var betydelig for å si det pent. Det som også ble klart var utrolig nok at forvaltningsinstitusjoner som Norges Vassdrag- og energidirektorat (NVE) ikke forsto hva min utdanning dreide seg om, spesielt overraskende var det at hydrologer og biologer ikke hadde en fjerneste anelse om hva mitt fagfelt omhandlet.

Ut fra dette følte jeg at mangelen på slik kunnskap burde la seg manifestere i en mastergrad, der man gikk gjennom litteratur og teori for å se hvilket bidrag vi som geomorfologer kan ha i området for vassdragsutbygging og forvaltning.

## 1.3 Terminologi

### Kjøreforhold

Kjøreforhold eller kjøremønster er den vannmengden som kjøres gjennom et kraftverk for å produsere strøm, og som over tid vil gi typiske og ofte gjenkjennbare trekk i vannføring.

### Vannføring

Relaterer se til mengden vann som passerer gjennom tverrsnittet i en gitt elvekanal, og hvordan kanalene er tilpasset til slike forhold.

Ofte i relasjon til dette har vi minimum- og maksimumsvannføring, dette blir også omtalt som høy- og lavvannføringsregimer. Et vannregime er enkelt og greit i denne oppgaven forstått

som én bestemt type vannføring relatert til og sammenlignet med en temporær gjennomsnittlig vannføring. Høy- og lavvannføring er derfor utgangspunkt basert fra et gjennomsnitt.

Høy- og lavstrømningskanaler er følgelig elveleier som er tilpasset enten et lavvannføringsregime eller høyvannføringsregime.

Vannføring er i denne sammenheng et bestemt mål som på engelsk referer til discharge og er målt som kubikkmeter per sekund  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$  (Q), sedimentkonsentrasjon (L) er mengden sedimenter som er tilstede i vannet for den gitte vannføringen. Videre snakkes det og om transportkapasitet (K) som forteller noe om hvor stor kapasitet en elv har til å bære med seg sedimenter under gitte vannføringsforhold.

### **Hyperkonsentrerte strømninger**

Dette er strømninger som på en eller annen måte blir ekstremt konsentrert over et bestemt og definert område, som lokalt kan gi voldsomme erosjonsforhold.

### **Flash Floods**

Kraftige og plutselige flommer som ofte oppstår som årsak av kraftig nedbør eller naturlig skapte demninger fra skognedfall eller snøpropper og isansamling som brister. Forekommer ofte på høst og vårparten.

### **Elvebanker**

Elvebanker kan være små øyer som er bestående av sand og eller vegetasjon ofte i ulike kombinasjoner av material og massesammensetning. Når det i denne oppgaven blir omtalt elvebanker kan det også bety sidene eller kantene på elvekanalen, men det vil bli gjort distinksjoner på dette i teksten.

### **Imbrikasjonsforhold**

Forteller om bunnforholdenes sedimentsammensetning og hvor motstandsdyktig det er mot vannets eroderende krefter.

### **Aggradering og degradering**

Aggradering er en prosess der det oppstår en introduksjon eller redistribusjon av sedimenter som avsettes nedstrøms i større elvesystem avhengig av transportkapasiteten til vannet. Følgelig er degradering prosessen som setter sedimenter i bevegelse kontra avsetning.

### **Biologi**

Hva angår biologi i dette kapitlet er det snakk om biotiske forhold, habitat og økologiske endringer.

Biotiske forhold er da de forholdene som omhandler organismer og dets aktivitet i et vassdrag, dette kan for eksempel være kamp om ressurser i begrensede områder eller hele elven.

Habitat er derimot de områdene hvor spesifikke arter trives best, og kan sammenlignes eller omtales som en form for ”gunstig bosted”.

Økologiske endringer er da de forholdene som omhandler endringer i biologien med fokus på forklaringene ovenfor, i dette tilfellet tilknyttet fluvialgeomorfologi og hydrologi.

### **Shield ratio**

Her er det snakk om muligheten fisk har for gyting i relasjon med bunnforholdene. Med andre ord er det snakk om hvor godt bunnforholdene er.

### **HEC-2 og CCHE-2D**

Strømningsmodeller som regner ut gjennomsnittlig vanndybde, hastighet og retning ut fra rutenett der hver rute beregnes gjennom parameterne nevnt over.

### **Tverrprofil**

Ett gitt tverrsnitt av en elv, som legger grunnlag for måling av vannføring, hastighet og lignende med akustisk doppler.

### **Granulometrisk analyse**

Også kalt pebble count, der prinsippet er å velge ut et representativt utvalg av steiner fra elvebunnen, for så å måle A-, B- og C-aksen. Dette tilsvarer lengde, bredde og tykkelse på steinen, som videre kan si noe om den generelle kornfordelingen i elven.

### **1.3 Disposisjon og metode**

Oppgaven er strukturert ut fra at den er teoretisk og litteraturbasert og dermed tar for seg en god del artikkelanalyser manifestert i review-form, og vil med dette framstå som selve resultatdelen der diskusjon vil forekomme noe underveis. Samtidig som det for helhetens skyld vil komme et oppsummerende og diskuterende kapittel i mot slutten av oppgaven, selv om det ikke er vanlig for review artikler å ha verken metode eller diskusjonskapittel. Samtidig vil det være eksempler hentet fra norske vassdrag, og ett mindre case basert på egne og andres feltstudier fra elven Røssåga i Nordland, i relasjon til utbyggingsprosjektet Nye Nedre Røssåga kraftverk til Statkraft.



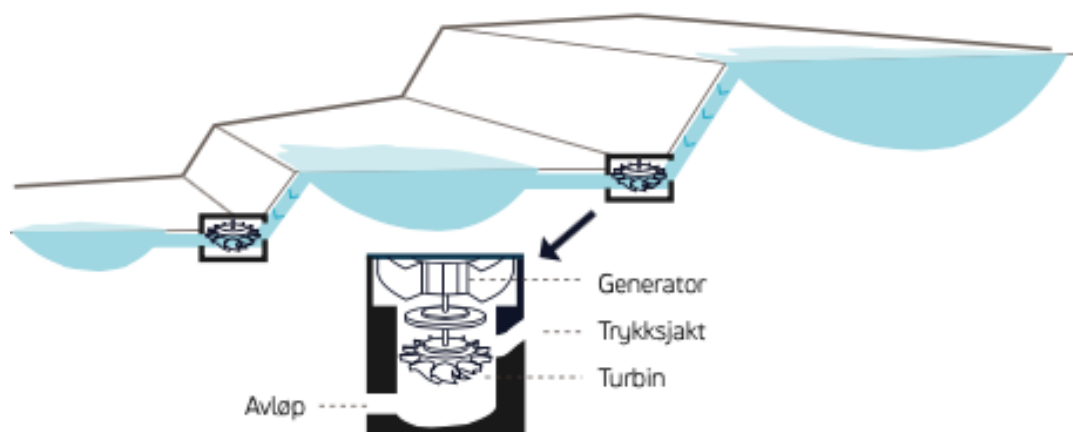


## 2.0 HYDROLOGISKE ENDRINGER

Dette kapitlet ser på de endringene som oppstår i vannføringen som følge av damkonstruksjon, med spesielt fokus på utløpskanaler, og de påfølgende scenarioer som oppstår under ulike kjøreforhold.

Nedenfor følger først en forklaring på prinsippet for vannkraft:

Vannkraft går ut på å utnytte den energien som oppstår fra rennende vann. Ofte er slike kraftverk koblet til større vannmagasiner som demmer opp elver og vann. Ofte er det i flere kraftstasjoner i ett og samme vassdrag som utnytter energien flere ganger.



**Figur 1: Førenklet framstilling av vannkraft og kraftproduksjon, hentet fra Statkraft (2009)**

I selve stasjonene føres vannet inn fra tunneler og setter turbinene i bevegelse. Turbinene driver i sin tur generatorer som i sin tur omdanner mekanisk energi til elektrisitet. Fordelen med et slikt system er at vannkraften i seg selv kan reguleres med å lagre eller tappe vann fra magasinene avhengig av etterspørselen kraftmarkedet har for elektrisk strøm (Statkraft, 2009).

Utløpskanaler er kanalene hvor vannet kommer ut etter at det har passert gjennom kraftverket. Vannet vil ofte ha mye energi og kapasitet langs dette kanalstrekket slik at det ofte kreves omfattende erosjonssikring i området. Vannet som kommer ut fra kraftstasjonene har også ganske ofte jevn temperatur. Dette manifesterer seg i kaldere vann om sommeren og følgelig

motsatt vinterstid, dette fører ofte til et mer næringsrikt innhold om sommeren mens det ofte er ustabile eller ingen isforhold i disse kanalene om vinteren.

## 2.1 Endring i vannføring

Det første som skjer i en elv er kanskje ikke overraskende en markant endring i den gjennomsnittlige normalvannføringen til et noe mer variabelt forhold. I tillegg kommer det en klar endring i mengden vann og hastigheten som oppstår, altså kubikkmeter per sekund, gjennom et bestemt tverrsnitt ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ). For å gi et konkret og tydelig eksempel fra Norge har vi Hallingdalselva. Her var de største flommene etter regulering nærmere  $300\text{m}^3\text{s}^{-1}$  lavere en målinger gjort før regulering (Tvede, 1993).

Et annet klart eksempel er fra Suldalslågen, her ble vannføringen halvert etter regulering fra  $0.8\text{ m}^3\text{s}^{-1}$  til  $0.4\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

Under vinterhalvåret vil isdekket også bli påvirket. Bunnis vil på sin side kunne alterere strømkonsentrasjonen til andre deler av elveleiet, dermed også potensielt øke vannhastigheten. Hvis en slik strøm konsentreres mot erosjonsutsatte områder i elvestrekket kan man få store endringer som vil endre hele eller deler av elvens strømninger under mange ulike vannføringer.

Blant de mer fremtredende artiklene på området hydrologiske og fluvialgeomorfologiske endringer finner vi fra USA, Graf (2006) stiller to spørsmål som er viktige i denne sammenhengen;

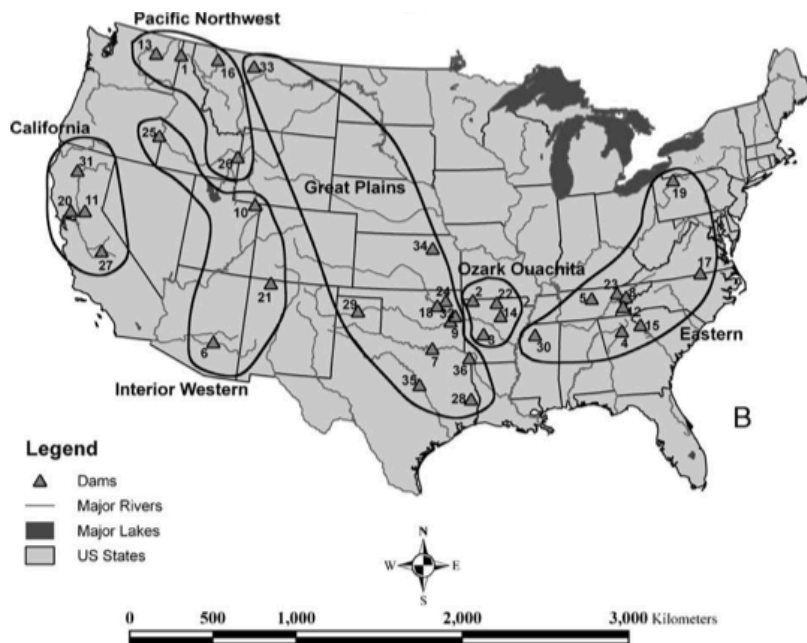
Hvilke forandringer fører store demninger (da utløpsregimer) med seg i henhold til elvens hydrologi?

Hvordan spiller en slik hydrologisk justering inn på nedstrøms geomorfologi i systemet?

Først og fremst tar ikke disse forskningsspørsmålene for seg annet enn store demninger som måles ut i fra en lagringskapasitet på over  $1.3\text{ km}^3$  med vann, men en god del av demningene hører til i områder som kan sammenlignes delvis med Norge, som vises i figur 2.

De nordvestlige delene av stillehavskysten samt østkysten har demninger som har tilsvarende like elver som i Norge, og ligger ganske høyt over havet, men studiet til Graf (2006) tar for seg mer overordnede endringer framfor konkrete case.

Samtidig når det i en slik artikkel er snakk om demninger er det relatert til utløp som ofte følger nedstrøms fra slike konstruksjoner eller en direkte del av disse, framfor lengre tunnelutløp som vi ofte ser i Norge, men morfologiske forandringer avviker ikke stort på bakgrunn av dette.



**Figur 2:** Inndeling av dammer med lagringskapasitet på over  $1.3\text{km}^3$  hentet fra Graf (2006).

Totalt viser de hydrologiske studiene gjort fra 36 store amerikanske demninger flere tydelige endringer som kan relateres til vannføringen (Graf, 2006).

De mest signifikante forandringen kan som nevnt tidligere relateres til den årlige gjennomsnittlige vannføringen. Her oppstår det klare forandringer i det som kalles gjennomsnittlig maksimumsvannføring eller høyvannføring.

I datasettet fra denne studien viser det seg at inngrepene reduserer maksimumsvannføringen med hele 67% i motsetning til forholdene i tilnærmet like uregulerte kontrollelver, og dets respektive målestasjoner.

Over en døgnperiode er de mest markante og største endringene oppe i hele 71% mens det over 30 dager jevner seg ut i en forskjell på rundt 25%. Dette viser en negativ trend i varighetene for slike former for høyvannføring (Graf, 2006).

## 2.2 Vanntemperatur og isforhold

Utløpsvann fra kraftturbiner har i følge Johnsen et al. (2011) spesielt i mer alpine områder som i Norge en merkbar endret temperatur i forhold til hva som ellers ville vært normalt. Sommerstid ser man at vannet er 1-5<sup>0</sup>C kaldere, mens det vinterstid er 0.5-2<sup>0</sup>C varmere en gjennomsnittstemperaturene.

Det kommer og frem at elvesystem med endret vannregime ofte har mer grunnvann en normalt, følgelig da relatert til lavere vannføring. Dette har på sin side også ført til lignende endringer i temperaturen, da grunnvann ofte har en effekt som det man finner i utløpsvann. På den ene siden hvis elvekanalen har en økt kobling mot grunnvannet vil det kunne skape elveleier som ofte er uten is eller delvis islagt om vinteren. På den andre siden kan elver med redusert vannhastighet potensielt få en raskere isproduksjon som årsak av raskere kjøling av vannet. Videre kommer det og fram at økt forekomst av grunnvann kan gi superkonsentrasjon (supersaturation) av CO<sub>2</sub> som igjen kan senke PH-verdiene, som dernest øker mobilisering av ulike metaller (Rosseland & Hindar, 1991). Hvis for eksempel CO<sub>2</sub> nivået er >12-15 mg CO<sub>2</sub>/L, vil dette være ugunstige leveforhold hos laksefamilien (Norton & Henriksen, 1983).

## 2. 3 Vannregimer fra Hydroelektriske stasjoner

Det kommer klart frem i flere studier spesielt fra 1960- og 70-tallet, at europeiske elver har endret seg drastisk relatert til utbygging. Nye vannregimer har blant annet ført til at 50.års flommer i Sentral-Europa har stagnert med nærmere 20% (Lauterbach & Leder, 1969). De største endringene oppstår som følge av alternerte vannstrømninger over ulike temporære skalaer.

Med utgangspunkt i Turmo (2013) ser oppgaven nærmere på ulike regimer som er aktuelle innen vassdragforvaltning i dag.

### 2.3.1 Flushing Flow (FF)

Flushing Flow (FF) er vannutslipp som skal etterligne flommer som ville oppstått i et naturlig miljø uten menneskelige barrierer. FF beregnes i følge Tena, Książek, Vericat, and Batalla (2013) ut fra tidligere registrerte flommer for at man skal prøve å skape et noenlunde naturlig utslippsregime til elvesystemet. FF har mange funksjoner, blant annet til å se på hvor

svakhetssoner i henhold til stabilitet og terskeloverskridelser oppstår nedstrøms. Målet er derimot ikke at det skal skapes ekstremt overdrevne hydrologiske og geomorfologiske effekter, man ønsker vannføringer som i størst mulig grad etterligner naturlige forhold (Tena et al., 2013).

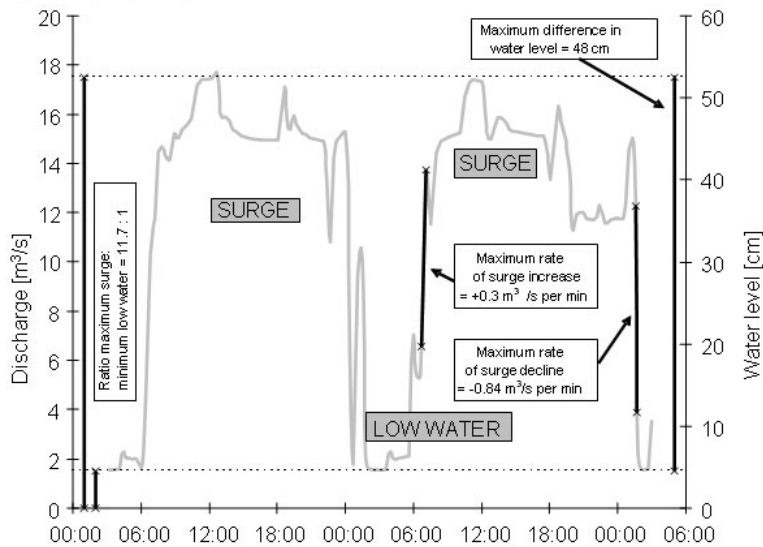
Laboratoriumsmodellering relatert til kunstige flommer har vist seg å kunne si noe om hvordan erosjon og sedimentasjonsrater vil opptre (Gregory, Benito, & Downs, 2008). Det har derimot vist seg å være problematisk å overføre dette til feltet da det ikke tar hensyn til *Hungry Water*-prinsippet fra Graf (2006). Prinsippet baserer seg på at vann som går gjennom kraftstasjoner ofte er sedimentfattige, som årsak av at det ofte avsettes bak demninger. Videre er modellering vanskelig fordi man ikke kan si noe om hvordan sedimentkilde og tilførselsforhold opprettholdes eller opprettes. Hydropeaks (HP) og paleoflomdata har heller ikke vært brukt i utformingen av lab-modelleringer.

Tena et al. (2013) konkluderer med at FF ikke har vist overdrevne geomorfologiske endringer, men at slike kunstige flommer er sterkt delaktig i å mobilisere det aktive laget i kanalen. Det sies derimot lite om hva som menes med dette. For det første er det vanskelig å forstå om det sammenlignes med pre- eller postregulering, med andre ord sies det ikke noe om hvilket utgangspunkt som brukes til sammenligning med de allerede eksisterende regulerte effektene.

### **2.3.2 Hydropeaks**

Hydropeaks (HP) er variasjoner i vanngjennomstrømning i regulerte vassdrag, ofte på daglig basis som årsak av etterspørsel på energi fra kraftmarkedet. Elven Rhone i Sveits har blitt undersøkt i henhold til effekten HP har i samhandling med elverehabilitering. Rehabilitering må her forstås som faktorer som skal bidra til å øke og bedre de biologiske forholdene nedstrøms fra inngrep. Da er både hydrologi og som nevnt biologi viktige variabler (Charmasson & Zinke, 2011). I figuren under kommer de ulike variasjonen tydelig fram.

**Surge characteristics:** the grey curve shows changes in the discharge rate (scale on left-hand axis) and water level (scale on right-hand axis) over time in a typical watercourse subject to hydropeaking.



**Figur 3: Grafen viser fluksjoner i vannstanden gjennom et døgn, på grunn av Hydropeaking. Til venstre ser man vannføringen ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Til høyre er vannstanden målt i cm. Hentet fra Charmasson and Zinke (2011).**

Hydropeaks er viktige i den forstand at de er kritiske i henhold til residualstrømninger, altså det vannet som trengs for å skape minimumsstrømninger for opprettholdelse av kritiske elvefunksjoner. Disse funksjonene går primært ut på gyteforhold til ulike typer fisk, og hvordan migreringsmønstret og mattilgangen påvirkes av HP.

Effekten av HP over tid vil variere med styrkeforholdet, altså vil høye surges (altså kunstig vannføringstopper i henhold til figur 3) alternert med lavvannføring over tid gi svakere motstandsdyktighet i alt fra elvebanker, habitater og fiskens generelle biomasse. Ofte er de lave residualstrømningene over lengre perioder et betydelig problem kontra de høye toppene (Fette, Weber, Peter, & Wehrli, 2007).

Både (Fette et al., 2007) og (Gumiero, Mant, Hein, Elso, & Boz, 2013) forklarer at mulige løsninger på residualstrømnings-problematikken kan være å utvide elvekanaler for å få bedre kontakt med grunnvannet slik at man får en mer forgrenet morfologi som igjen da muligens kan øke sedimentmobilisering og residualstrømningene.

### **2.3.3 Paleoflom (PF)**

Tidligere flommer alt fra 100 til 1000 år + er ofte ikke beregnet inn som faktor for hvordan en elv har sett ut under preregulering, og utviklingen av Hydropeaks er ofte ikke beregnet ut fra slike variabler. Ofte har derimot demninger fått en dimensjonering som skal tåle større flommer enn registrert. Her kommer en relativt ukjent vitenskap inn, nemlig paleoflom (PF). Dette er flommer som har skjedd lenge før man begynte å registrere flomtopper ved hjelp av målestasjoner, altså tidligere historiske flommer som man kan finne spor av i jordlag i nærhet til elven. Her kan man med hjelp av å se på jordlagene forstå hvor høyt flommer har stått og potensielt kan oppnås i framtiden (Gregory et al., 2008).

For det første kan slik informasjon ha betydning for rehabilitering av utløpskanaler og styring av FF og HP, hvis størrelsesforholdet tilsier at slik informasjon vil være nyttig og mulig i framtidige kjøremønstre.





### 3.0 GEOMORFOLOGISKE ENDRINGER

Som en naturlig sammenheng til hydrologiske endringer følger dette kapitlet opp med de geomorfologiske forandringene som oppstår som følge av endrede vannføringsregimer. Disse to kapitelene er sterkt knyttet sammen og er vanskelig å skille, men er av praktiske årsak delt slik.

Men først, hva er fluvialgeomorfologi og hva omhandler det?

Rundt 0,005% av vannet som eksistere på jorda er å finne i rennende vann, i størrelsesorden fra sik, bekker og elver. På tross av dette er rennende vann kanskje den viktigste prosessen når det kommer til erosjon, sedimentasjon og transporten av materiale fra land til hav. I snitt transporter elver opptil 19000 millioner tonn materiale per år, der 80% er faste stoffer mens de resterende 20% er oppløste stoffer.

Alle elver kan påstås å være et åpent geomorfologisk kretsløp. Der systemet får input fra skråninger, grunnvann og regn etc.

Langs elveløpet vil vannets karakter og adferd være avhengig av kontrollfaktorer oppstrøms. Dette kan være klima, nedslagsfelt, geologi og kanskje viktigst for denne oppgaven, den antropogene utnyttelsen i form av regulering (Sulebak, 2007).

Potensialet vannet har for å gjennomføre et "arbeid" er avhengig av gradienten til elven. Høydeforskjellen mellom to punkter i elven delt på avstanden vil gi oss fallet eller gradienten. Gradienten står for produksjon av kinetisk energi, som er den kraften som driver vannet nedover. Mesteparten av slik energi brukes til å overvinne friksjonen som oppstår mellom vannet og underlaget. Hvis vannet har et overskudd av kinetisk energi vil det starte en erosjonsprosess der sedimenter av ulike størrelse settes i bevegelse og blir en del i en større nedslipningsprosess.

Fluvialgeomorfologi er da den prosessen som omfatter de endrende og skapende landskapsprosessene som vannet fører med seg, som forklart ovenfor.

#### 3.1 Typiske endringsforløp

Det som kommer fram av de geomorfologiske resultatene fra Graf (2006) er følgende:

- At regulerte vassdrag har 32% større lavstrømningskanaler som gjenspeiler de typiske lavere hastighetene som oppstår.
- Høystrømningskanaler er 77% mindre i antall og er hele 50% mindre i størrelse kontra de uregulerte kontrollelve.
- Lavstrømningskanalenes sidebanker (altså langs elvebredden) er 68% sjeldnere, og 52% mindre i regulerte elver, kontra uregulerte.

En årsak til dette kan være at den temporære avstanden mellom maksimum- og minimumsvannføringer er mye mindre i regulerte vassdrag, noe som igjen fører til en komprimert sone hvor slike elvebanker kan oppstå. I tillegg må man også være klar over at demninger gjerne holder igjen mye finsedimenter som også vil virke hemmende på en slik utvikling.

- Videre er større elvebanker i kanalløpet 52% mindre fremtreden på grunn av manglende kontinuerlig høyvannføring som er nødvendig for dannelse og vedlikehold av slike banker.
- Til sist ser vi at elveøyer ikke skiller seg statistisk mye mellom uregulerte og regulerte elver, men at de typisk er mindre i de regulerte.

Over tid vil man på den ene siden se at elvekanalene vil fortsette å degradere, dette vil følgelig variere over tid og med avstand fra inngrepene. På den andre siden vil det over perioder kunne oppstå aggradering, for eksempel hvis elven treffer berggrunn eller andre grove bunnmatriser lengre ned i vassdraget.

## 3.2 Bevegelsesmønstre

I studier gjort av Williams and Wolman (1984) forklares det at materialet som først settes i bevegelse er nært utløpene fra begynnelsen, masseopptaket flyttes over tid lengre ned i elvekanalen. Videre kommer det og fram et denne typen materiale som og påvist i Graf (2006) ofte er avsatt som banker og sandavsetninger lengre nedstrøms.

Leopold and Wolman (1957) foreslår i sin studie at det første typiske geomorfologiske trekket man ofte vil se i en regulert elv, er en endring i kanalbredden. Etter en slik endring vil man se nye forhold i vannhastighet, dybde, gradient og ruhet.

Bakgrunnen for denne antagelsen er i følge Brandt (2000) at Leopold and Wolman (1957) gjorde observasjoner som tydet på at variablene som inkluderer vannhastighet, dybde, gradient og ruhet i mindre grad er styrt av vannføring (Discharge). Derfor foreslås det at elver med tilnærmet like vannmengder, men med varierende breddeforhold vil være nærmere koblet til sedimentkilder i og langs elven, og derfor oppstår en mer tydelig oppbygging av bunnforhold og elvebanker.

Williams and Wolman (1984) har gjort studier som for det første viser at alle elver tilknyttet strømproduksjon og regulering oppnår en kanalutvidelse. Derimot ser man for det andre at uregulerte og tilnærmet morfologisk like elver som de regulerte, er mye mer utsatt for en kanalinnsvævring med dypere løp.

Church (2002) påpeker i denne sammenheng at sideelver og bekker står for nærmere 75% av sedimenttilgangen til selve hovedvassdraget, og naturlig nok er disse ofte lokalisert oppstrøms fra demningene. Og som nevnt er demninger ofte gode sedimentfangere. Det var ikke før etter 1960 at man begynte å konstruere dammer på en slik måte at man hadde større rom får å fange slike sedimenter i selve damkonstruksjonen.

Sedimentfangere som dette vil ofte føre til kanaldegradering, fordi utløpene i de fleste tilfeller ikke er konstruert for å føre med seg sedimentene videre (Graf, 2006).

Det dannes ofte en forsterking (imbrikasjon) i elvebunnen der mye av det finkornede materialet forsvinner, og vi sitter igjen med en mer motstandsdyktig, grovkornet og steinete bunn nedstrøms.

Selv om det kan være degradering opp til flere kilometer fra selve damkonstruksjonen og utløpskanalene, finnes det også sedimenter som settes i bevegelse nedstrøms som årsak av energien det allerede sedimentfattige vannet fører med seg. Noe slippes også gjennom

demningene når de spyles ut overskuddet som blir liggende bak. Da er det også forståelig at de sedimentene som nevnes ovenfor også må avsettes en plass. Ofte kan det oppstå nye elvebanker nedstrøms der også selve elvebunnen kan tettes til av alt fra kornet sand til finere siltpartikler.

Avhengig av hvordan bunnforholdene er oppbygd i nærhet til utløp, kan det antas at man som årsak av det ovennevnte avsnitte vil se at mengde degradering kan skape endring i selve gradienten i store deler av den aktuelle kanalen. Hvis et utløp derimot renner over fast fjell med grovere materiale vil den verste turbulensen og kraften i vannet avta over slike terskler, det kan da tenkes at dette kan være med på å dempe de degraderende kreftene.

I følge Petts and Gurnell (2005) har det ofte vært fokus på bredde, dybde og helningsgrad relatert til en formel for vannstrømning og sedimentinnhold som har skapt grunnlag for geomorfologiske endringer. Ofte er det også snakk om en antagelse der man ser etter en balanse mellom form og prosess innen denne typen fluvialgeomorfologisk forskning.

#### **Ligning: A**

$$QS = flb D$$

Ligningen viser en funksjonen der Q er (Discharge) og forklarer vannføring, S (Slope) er kanalens helning, som igjen er en funksjon (F) av mengde bunnmateriale (lb) og dets diameter (D).

Denne typen tilnærming er skapt ut i fra antagelser om at bredde, dybde og helning vil avhenge og endres som følge av sedimentinnhold og vannstrømning. Med andre ord vil en kanal endre sitt løpsmønster hvis det oppstår endring i et vannregime (Petts & Gurnell, 2005).

### **3.3 Eksempel på endringsmodeller**

*“ALTHOUGH MANY WELL-ESTABLISHED CONCEPTS OF FLUVIAL GEOMORPHOLOGY ARE RELEVANT FOR EVALUATING THE EFFECTS OF DAM REMOVAL, GEOMORPHOLOGISTS REMAIN UNABLE TO FORECAST STREAM CHANNEL CHANGES CAUSED BY THE REMOVAL OF SPECIFIC DAMS”*

*(Pizzuto, 2002, p.1)*

Sitatet peker nærmere på damfjerning som et vanskelig modelleringstema, men gjerne kan overføres til utløpskanaler på bakgrunn av at det er veldig problematisk å gi en evaluering av alle effektene som følger med i disse prosessene. Men sett i lys av avsnittene over, og i likhet med damfjerning er det også ulike forandringer som følger med ulike vassdragsreguleringer. Her burde man også være oppmerksom på at dette kan gjenspeile seg i områder der effektkjøring fra én og samme kraftstasjon ofte varierer merkbart gjennom tid og rom slik at også denne typen av effektevaluering og eventuell modellering vil være utsatt for stadige endringsfaktorer.

Morfologien i elven vil som kjent utvikle seg i større eller mindre grad over den temporære skalaen. Pizzuto (2002) forteller om en 6-steps evolusjon (Figur XX) fra ustabilitet til stabilitet i situasjoner spesielt relatert til damfjernings-case. Dette handler primært om likevekt i naturlige system men kan være minst like viktig for regulerte vassdrag.

Steg 1 starter med at vinkelen på selve kanalen øker over dens likevektslinje, altså får vi en brattere kanal (vertikal endring) enn utgangspunktet, men innskjæringene (horisontal endring) har ikke startet, dermed er elvebankene ennå stabile.

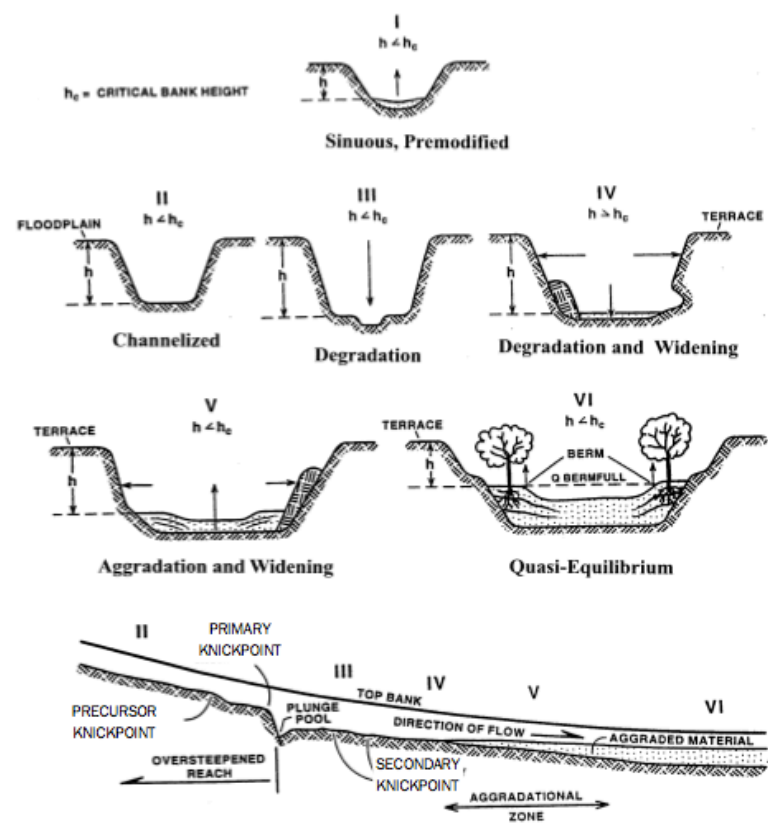
Under steg 2 kommer fasen der innskjæringene først initieres, som fører oss over i steg 3.

Steg 3 er der man opplever at innskjæringen begynner å eroderer elvebankene.

Når man får en slik erosjon som nevnt ovenfor førere dette med seg en økende sedimenttilgang som fører til nedstrøms aggradering, dette er da utgangspunktene for steg 4.

I steg 5 starter prosessen med at aggradering øker i den grad at områder av elven kan få nye banker som vegeteres.

Over tid utvikler dette seg til elvesletter som stabiliserer seg til nye elvekanaler, i en form for anastomose altså steg 6.



**Figur 4: 6-steps innskjeringsmodell for kanal utvikling over tid.  $H_c$  er en variabel som forklarer den kritiske høyden der elvebankkollaps inntreffer (Pizzuto, 2002).**

Strekningen (Reach-scale) som er utgangspunktet for figuren over, er definert som lengden til en elv eller bekk, som inneholder ett gitt antall riffle-pool sekvenser eller meandere, ofte målt som 10 til 30 ganger lengden av kanalbredden. Slike strekk brukes ofte for å dele inn områder for å se på spesifikke endringer i toppsjiktestruktur og morfologi (Pizzuto, 2002).

Framtredende for endringene som observeres i slike strekk er nedbryting av riffle-pools, overdekke av fine sedimenter i ellers grovkornede områder nedstrøms, samt endringer i selve elvebunnsformen og imbrikkasjonsforholdene.

I motsetning til naturlige forhold samt damfjernings-casen som Pizzuto (2002) beskriver, og mer i tråd med funnene til Graf (2006) og konklusjonene til Williams and Wolman (1984) og Leopold and Wolman (1957), har Brandt (2000) foreslått et 9-steps case. Dette caset tar for seg ulike scenarier som er typiske for regulerte vassdrag, og hvordan disse scenarioene virker inn på geomorfologien basert på forskjellige hydrologiske forhold.

Variablene som blir brukt i denne modellen er:  $Q$  (Vannføring/Discharge),  $L$  (Sedimentkonsentrasjon/Load) og  $K$  (som er elvas transportkapasitet).

Case 1:  $Q = L < K$ .

Hvis den gjennomsnittlige årlige normalvannføringen avtar med tid vil også kanalens kapasitet reduseres over tid, og hvis strømmingene over tid blir svak nok vil vannet foretrekke å renne gjennom de dypere mer utviklede delene av kanalseksjonen. Videre kan dette føre til at man får et vegetasjonsdekke der kanalen da blir liggende tørr, og vil kunne oppnå funksjoner lik en elveslette.

Når sedimentkonsentrasjonen ( $L$ ) er mindre en elvas transportkapasitet ( $K$ ), vil degradering kunne oppstå hvis toppsjiktet er veldig finkornet. Det er også mulig at strømmingene vil være for svake til å flytte på slikt materie. Hvis tilfellet er slik at finsedimenter kan eroderes vekk, vil man sitte igjen med et toppsjikt som er mye grovere en bunnmateriet. Dermed vil ofte erosjonsratene i slike tilfeller avhenge av koblingen mellom elvekanal og elvebankene. Har man en veldig godt vegetert elvebank og kohesjonsdyktig underlag og som nevnt grovt toppsjikt vil degradering være minimal.

Case 2: (lav)  $Q + L = K$

I dette tilfellet som med i case 1, vil lavere vannføring enn det årlige gjennomsnittet føre til at deler av elvekanalen blir lagt tørr, som fører til utvikling av terrasser og elvesletter.

Forskjellene fra case 1 er at sedimenttilførselen i elva er lik transportkapasiteten, da vil man kunne se at degradering og armering av elvebunnen er mer uvanlig, mens avsetningen langs hele elven vil være noe større. Typisk vil da riffles ikke skures like mye, og man ser gjerne også en større grad av innfylling i pools, mens elvestryk gjerne blir mer stabile.

Det som også er viktig å være klar over er at når flomtopper i dette scenarioet reduseres vil man muligens se en økning i sedimenttilgang fordi man spesielt i konfluenssonen, der to elver møtes, vil ha ulike bunnivå. Den ene elven vil ofte da begynne å justere seg til et nytt nivå, som igjen krever en oppstrøms erosjonsprosess gjerne hele veien opp til et eventuelt inngrep slik at elvesystemet tilpasser seg det nye forholdet. Man kan med andre ord oppleve at elven søker etter en ny likevektstilstand.

Case 3: (lav)  $Q = L > K$

Her vil man se at tverrprofilen i elva vil minske som årsak av en markant endring i bredde og dybdeforhold. Dette kommer som en konsekvens av at sedimenttilførselen har økt, mens vannføringen har avtatt.

På bakgrunn av at Q og L er lav, men allikevel større enn K, vil materiale bli avsatt og føre til aggradering, med muligheter for kanalmultiplisering og elvebank avsetning.

Ved slike avsetningsforhold vil man kunne se at de gamle kanalene blir mindre.

Aggraderingen vil være synlig, men hvor avsetningene vil foregå avhenger av hvor fin eller grov de transporterte sedimentene er.

I følge Brandt (2000) vil grovere sedimenter avsettes i elvebunnen mens finere sedimentere settes av langs elvekantene.

Ett problem med denne casen er at hvis man har flommer av ulike størrelser så vil mye av dette fanges opp av en demning.

Her vil man også over tid ha mulighet til å åpne flomsluser og slippe ut ekstra sedimenter som vil overgå kapasiteten til strømmingene og mye vil da avsettes i de øvre delene av elven, nært demningen. Denne casen virker derfor å være et scenario som er sterkt korrelert til flom, men som antagelig ikke er så "naturlig" under kraftstasjoners dagligdagse kjøreplan.

Case 4:  $Q = L > K$

I tilfellet der bare sedimentkonsentrasjonen avtar vil vi ikke se større endringer i kanalens bredde i forhold til vannføringen. Det som derimot kan skje er en endring i selve formen og plasseringen til kanalen. Når vann har overskudd av transportkapasitet som er typisk for dette caset, vil man se to typiske mekanismer, den ene er nedkuttende og eroderende kraft fra det rene vannet eller *Hungry Water* som Graf (2006) kaller det. Dette fører da til en innskrenkning og fordypning av kanalens elvebunn. Den andre mekanismen er undergraving av elvebanker som vil forårsake en utvidelse. Dette vil fungere som sedimentlagring helt til undergraving setter massene i bevegelse og vi får da et endret vannregime i henhold til case 4.

Brandt (2000) forklarer case 4 nærmere med å si at den enkleste form for degradering er erodering av banker. Over tid vil dette bli vanskeligere ettersom bunnen vil imbrikere seg, spesielt i elver med stor tilgang på grussedimenter. Toppsjiktets imbrikering fører ofte til at elven i stede for å grave seg ned, graver seg ut mot kantene helt til det oppstår et "erosion pavement" som er enda en form for imbrikering bare langs elvekanten. Da vil vannet hemmes



på bakgrunn av at det fine materialet er gravd ut og bare det grove står igjen som en friksjonsdemper.

Case 5:  $Q = L = K$

Vannføring (Q), sediment konsentrasjon (L) og transport kapasitet (K) opptrer likt. Dette er mer typisk for stabile elver uten demninger eller andre former for inngrep, eller der kjøremønsteret til kraftstasjonen er meget stabil over lengre tid. Et slikt scenario er ikke usannsynlig, men kan ikke påstås å være særlig representativt.

Det som kan skje hvis dette er det aktuelle regimet, er at vi ser større problemer med døgnvariasjoner hvor vi har konstant vekslning mellom uttørking og vanning av elvebanker som vil føre til ustabile forhold som fremmer erosjon. I tillegg vil elven kunne vandre fra side til side i kanalen alt avhengig av de ulike vannføringene som kjøres, noe som vil føre til punkterosjon fra ene siden av elven til den andre.

Case 6:  $Q = L > K$

Vannføringen (Q) er ikke forandret etter damoppsett og sedimentkonsentrasjonen (L) er større en transportkapasiteten (K). Slike scenarioer er noe som sjeldent er tilfellet i regulerte elver, på grunn av at sedimenter ofte er fanget bak dammen og kun slippes ut gjennom damspyling (Flushing) som skjer når lukene i selve demningen åpnes for å rense ut sedimenter som ligger fanget bak. Med mindre det da ikke er sedimenttilgang fra andre kilder.

Dernest vil en slik spyling kunne ha voldsomme effekter ganske langt nedstrøms fra demningen, samt at det vil kunne øke lokal erosjon.

Gjennom forskjeller i reisetid for vann og sedimentkonsentrasjonstopper, vil andelen av kanalavsetninger øke i nedstrøms retning. Effektene som kan oppstå er at elvebunnen heves og vi får avsetning over elvebanken. Hvis en elv får mer sedimenter en den tidligere hadde tilgjengelig, og at disse igjen avsettes, kan føre til problemer siden elven da ikke lengre har den morfologien som var tilpasset for å ta unna for aktuelle nye vannføringer.

Avhengig av elvens "personlighet" i henhold til vannføring og sedimenttransport vil man kunne se at den aktive kanalen enten vil krympe inn, eller utvide seg som årsak av bunnavsetning. Blir elven smalere vil den og bli dypere. Blir den derimot bredere så vil helningen øke og muligens avta i ruhet og kornstørrelse.

#### Case 7: (høy) $Q + L < K$

Når vannføringen øker, men har lavt sediment innhold, vil effekten trolig manifestere seg i et økt tverrsnittet i selve kanalen, gjennom erosjon av elvebunn og banker, men også som en årsak av den økende vannføringen i seg selv. Elveterrasser, pools og andre tidligere avsetninger vil erodere. Også riffles kan erodere, men antagelig og virke mer som sedimentfangere avhengig av den konkrete tilgangen. Det kan oppstå elvebunnsarmering hvis det tidligere underliggende materiale er grovere enn det eventuelt nydegraderte laget. I Canada har man i noen tilfeller sett at økning av tverrsnitt i kanalen er den mest vanlige effekten under slike forhold. Økt vannføring betyr derimot ikke nødvendigvis økt kapasitet. Det kan tenkes at dette er fordi det ofte er gjort tiltak for å bremse hastigheten på vannet, som dermed faktisk mister mye av transportkapasiteten og kompetansen som sådan.

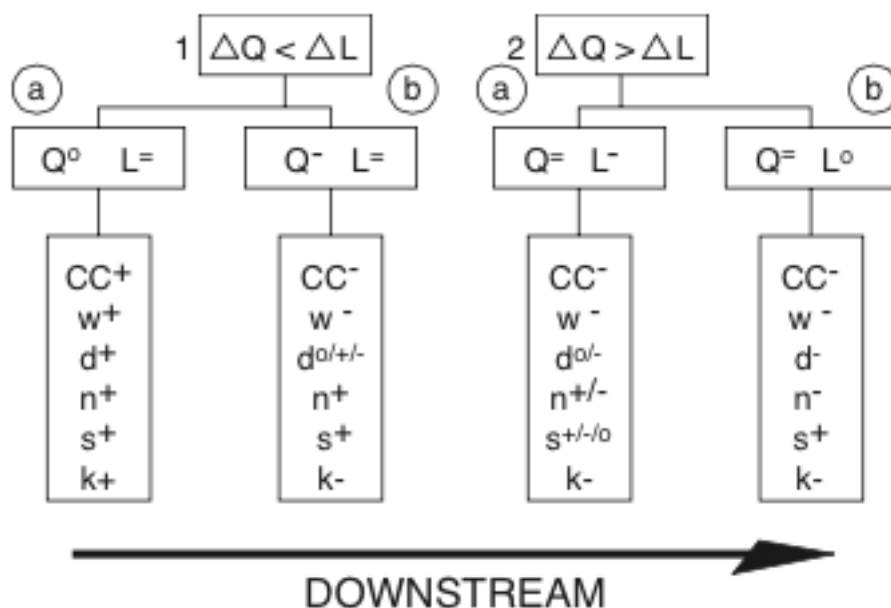
#### Case 8: (høy) $Q + L = K$

Som nevnt ovenfor vil vi se en økning i tverrsnitt når vannmengden øker. I dette tilfellet der sediment og kapasitet matcher vannføringen, burde man ikke forvente verken økt erosjon eller avsetninger, men heller balanse. Erosjon ved pools og avsetning ved riffles kan forventes, samt en overgang til mer planformet mønster relatert til høyere vannføring.

#### Case 9: (høy) $Q + L > K$

I case 9 ser man økt vannføring og overfylling av sedimenter i transport, et scenario som i likhet med case 6 kan påstås å være sjeldent, men kan oppstå som årsak av damspyling (Flushing). Igjen ser vi at tverrsnittet også her vil øke, og man vil potensielt få voldsomme avsetninger som vil kunne heve elvebunnen. Det har vært funn som indikerer at slike hyperkonsentrerte strømminger kan føre til voldsom erosjon som årsak av økt skuring, men dette vil avhenge sterkt av hvor motstandsdyktig elvebunnen er, samtidig som tilgangen på sedimenter må være tilstrekkelig (Brandt, 2000).

Figur 5 viser en modellering av de ovennevnte scenarioene.



Figur 5: Viser endringer nedstrøms fra vassdrag basert på ulike utslippsregimer fra Brandt (2000). Der Q og L representerer vannføring og Sedimentkonsentrasjon. Tallet 1 symboliserer nedgang i L, mens tallet 2 tar for seg endring i utslippsregimer. 1a og 2b tar for seg ekstremscenarier mens hele oppsettet (1a, 1b, 2a, 2b) representere en mulig sekvens av endringer i et elveløp nedstrøms av den regulerte delen av elven. Videre forklarer O (°) ingen markant endring, + er økning og følgelig – avtagning.

### 3.3 Et norsk eksempel: Elven Fortun

Som nevnt finnes det veldig få studier om dette mastertemaet fra norske eller nordiske forhold. Nedenfor kommer kanskje det mest relevante fluvialgeomorfologiske eksemplet fra Norden, som har et konkret og overførbar potensiale i henhold til de andre artiklene i denne masteroppgaven.

#### 3.3.1 Om studiet

I denne delen av oppgaven prøver jeg gjennom et konkret norsk eksempel å vise hvordan geomorfologisk arbeid fungerer i praksis.

Gjennom studiet til Fergus (1997) settes det opp typiske trekk relatert til regulering. For det første påpekes det markante endringer av flombildet, med en betydelig nedgang av gjennomsnittlig årlig normalvannføring. For det andre er det dermed også snakk om nedgang i sedimenttilgang.

Som modelleringen i blant annet Brandt (2000) og Pizzuto (2002) viser, ser vi også i denne studien at elver vil endre et sett av dimensjoner, som bredde, dybde, helning og endring i selve planformen.

Videre fra Fergus (1997) artikkel, underbygger studiet klart de endringen dammen fører med seg nedstrøm. Dette er forankret og ofte gjengitt i litteraturen, blant annet fra Williams and Wolman (1984), samt Graf (2006) der det er snakk om prinsippet *Hungry Water*. Vannet vil som årsak av å være sedimentfattig oppnå en større transportkapasitet, som igjen medfører sterkere energitilgang nedstrøms spesielt hva angår erosjon av elvebankene (langs sidene på kanalen).

### 3.3.2 Elven Fortun

Elven Fortun i Sogn og Fjordane er regulert i områder med mye brevann. Store deler av elvesystemets sideelver er ikke påvirket av reguleringen, Dette gjør at vannføring og sedimenttilgang fra disse områdene ikke er endret i større grad. Enkelte parseller av disse elvene er utsatt for kanalisering, som igjen har skapt store Flash Floods som ikke må misforstås med Flushing flows. Igjen ser man at dette har skapt flommer som ellers ikke ville oppstått, og hver vår må veiene i den tilhørende dalen ryddes for flommateriale (Fergus, 1997).

### 3.3.3 Analyser og metodikk

Det ble brukt en del analyser i Fortun for å oppdage endringene relatert til det hydrologiske regimet på den ene siden, og på den andre siden for å finne endringer i selve elvekanalens morfologi. Nedenfor kommer det fram av sitatet hvordan elven og vannføringen har vært overvåket gjennom flere år både før og etter reguleringen.

*“The discharge has been monitored in the Fortun River since 1918 at NVE gauging station 611-0. The series between 1918 and 1955 was used in the analysis of the pre-regulation discharge. In 1956 a change in the measuring profile occurred. Although discharge was measured until 1980, the series contains a number of major gaps. A discharge series for the post-regulation period was therefore constructed.*

*Multiplying the discharge series from the neighbouring catchment Mørkri with a dimensionless scaling factor and adding overspill data from the regulation dams did this. “*

(Fergus, 1997 pp, 453)

**Ligning: B**

$$\frac{\left(\sum_i^n A_i \cdot Q_i\right)_{Ytri^*}}{\left(\sum_i^n A_i \cdot Q_i\right)_{M\phi rkr}}$$

Over ser vi Ligning B som er brukt for å skape en vannføringsserie og flomfrekvensanalyse.  $A_i$  er området basert på konturene mellom årlig gjennomsnittsavrenning, mens  $Q_i$  er gjennomsnittlig spesifikk årlig avrenning mellom konturene.  $Ytri^*$  er nedstrømsområdet fra det regulerede vannskillet.  $M\phi rkr$  er nedslagsområdet nærmest  $Ytri$ , brukt som et ikke-regulert kontrollområde

I periodene 1973, 1989 og 1995 har 47 tverrprofiler med 40 meters avstand blitt brukt for å se på markante endringer i elveløpet. Permanente markører ble brukt i henhold til tverrprofilene for å se aktuelle endringer. Interpolasjon ble brukt for å belyse antatte endringer mellom målepunktene, noe som var ideelt på grunn av den tette plasseringen av profilene.

**Ligning: C**

$$\sum_i^n \frac{(Ap_i + Ap_{i+1})}{2} \cdot l_i$$

Ligning C viser at  $Ap_i$  er forholdet mellom aggradering og degradering ved profil  $i$  målt i  $m^2$ ,  $l_i$  er lengden mellom profil  $i$  og  $(i+1)$  målt fra de fastsatte markørene. Samtidig har det blitt brukt flyfoto fra områdene for å fastslå endringer i vegetasjonsdekket (Fergus, 1997).

Videre ble HEC-2 modellen brukt for å analysere vannstandsnivå.

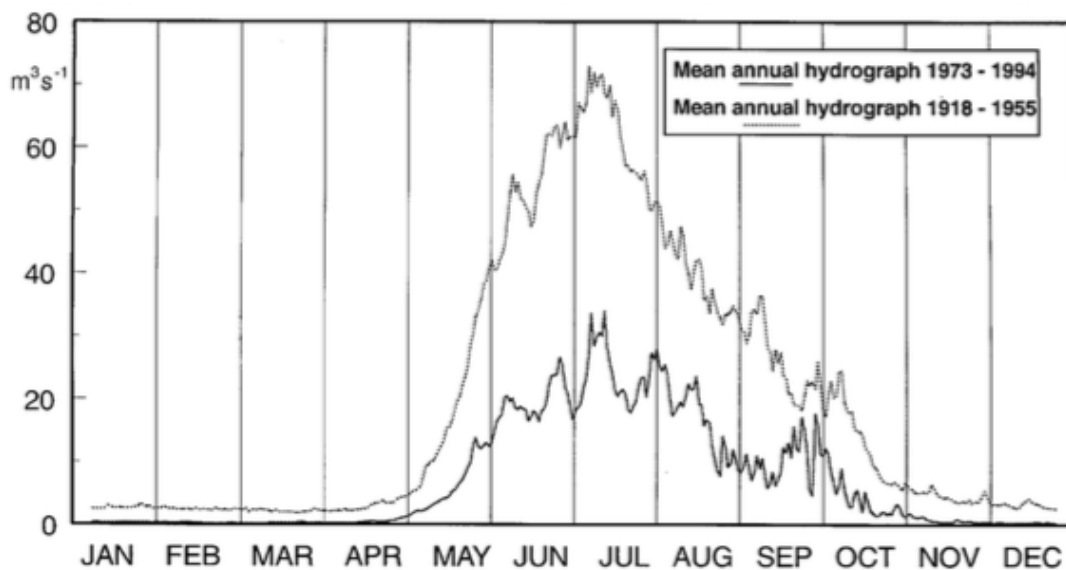
Vannstandsnivå måles i følge Fergus (1997) fra en kjent vannstandsverdi fra et kjent punkt ved utløpet av elven, så følger man bestemte tverrprofiler oppstrøms og gjennomfører samme måling, dette gjør man helt til man når det øverste nivået (i dette og mange andre tilfeller da et utløp).

Energitalet ble målt ved bruk av Mannings-ligning. Der Mannings  $n$  ble brukt på flommålinger fra 73 og 89 for å se på hvordan elvebunnens ruheten hadde endret seg over tid.

### 3.3.4 Resultat

Resultatene presentert i figur 6 fra Fergus (1997) viser at gjennomsnittlig årlig normalvannføring har falt med 35% sammenlignet med preregulering. Størst endring er målt i vårflopperperiodene, og noe mindre under høstfloppene.

Gjennomsnittlig årlig normalvannføring og flom har før regulering vært i størrelsesordenen mellom  $20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  og  $140 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  og etter regulering rundt  $7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  og  $86 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .



**Figur 6: Før og etter regulering (Fergus, 1997). Perioden 1918-1955 øverste graf, viser gjennomsnittlig årlig vannføring målt i  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$  over 12.mnd forløp. Den nederste grafen viser de samme målingen etter regulering i perioden fra 1973 til 1994.**

Flomfrekvensene i den regulerede delen av elven Fortun og i andre lignende vassdrag er sterkt påvirket av magasinet og ikke bare utløpet. Hvis magasinene er fulle spesielt under vår og høstflopper vil vannet ende opp med å gå i overløp.

Dette betyr at vannet vil strømme gjennom et flomløp designet for å ta unna for overskuddsvann. Selv om dette er noe kraftselskaper ikke ønsker, kan det til tider forekomme. Det som da skjer er at den tørrlagte eller reduserte delen av det gamle elveleiet vil aktiviseres for en kortere tidsperiode og vi vil da kunne se en økt sedimenttilførsel i elven, avhengig av avstand til utløpskanal.

### 3.3.5 Kanalendring

Fra 1973 og fram til 1989 ble det klart at 27000 m<sup>3</sup> med sedimenter hadde aggradert kontra 15000 m<sup>3</sup> som hadde degradert, altså en vesentlig forskjell på sedimentasjonsbalansen. Gjennom de fleste tverrprofilene har man sett en forhøyning av elvebunnen på mellom 0,5m til 1m. Noen målepunkter har opplevd degradering i større grad, og erosjon av elvebanker har vært tydelig.

Videre har også enkelte områder vært utsatt for en kombinasjon av aggradering og degradering i økende grad en ellers. Dette har ført til at vannet avsetter sedimenter i enkelte partier og samtidig øker erosjonen i andre deler av samme strekk, spesielt relatert til områder preget av høy sinousitet i elvekanalen. Vannet har dermed gitt grobunn for en forsterket avsetning/erosjon i henholdsvis inner- og yttersving.

Blant annet ser man at vegetasjon som var framtredden langs elvebanker basert på flyfoto på tidlig 60-tallet, hadde fram til tidlig 80-tallet trukket seg vesentlig tilbake og dermed økt muligheten for vannet å erodere i selve elvekanalen.

**Table 1: Viser endringsforløpet Bredde m (Width), dybde m (Depth) og kanalkapasitet m<sup>2</sup> (Channel capacity) under vannføringsregimet på 80m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> i 1973 og 1989 (Fergus, 1997). Under dybde 1989 skal 54.9 være en del av Kanalkapasitet, ikke dybde.**

Profile no.	1973			1989		
	Width (m)	Depth (m)	Channel capacity (m <sup>2</sup> )	Width (m)	Depth (m)	Channel capacity (m <sup>2</sup> )
1-41	36.9	1.7	62.7	39.2	54.9	
1-30	36.2	1.5	54.3	38.3	1.3	49.8
31-41	38.6	2	77.2	41.6	1.6	66.5

Kanalkapasitet og dybde har i følge tabell 1 opplevd en betydelig nedgang fra 73 og fram til 89. Mens breddeforholdet har økt. Ut i fra dette kan man anta at en mer stabil vannføring over tid, i kombinasjon med oppstrøms aggradering fører til at elvebankene er mer utsatt for erosjon en elvebunnen, da sistnevnte materialet har blitt relativt grovkornet i forhold til pre-regulerings forholdene.



## 4.0 BIOLOGISKE ENDRINGER

Denne delen av oppgaven ser nærmere på hvilke biologiske (herunder også økologiske) endringer som oppstår som følge av regulering. Det er ikke ment som en dybdestudie i biologi, men som en pekepinne på hvordan geomorfologi kan ha noe å si for tverrfaglig samarbeid og vassdragforvaltning.

En viktig komponent med sterk betydning innen dagens elveforvaltning er habitat og gyteforhold til fisk. I Norge er det blant annet spesielt fokus på laksefamilien.

Norges tilgang på vannkraft har over en 100.års periode hatt stor innvirkning på mange gode laksevassdrag. Mange har meninger om temaet, og det finnes ”ulike” fakta om slike forhold avhengig av hvem man spør, det betinger seg å være et meget betent og kulturelt relatert spørsmål på mange områder.

Opgaven vil i sin tur prøve å belyse noe av det den norske biologisk forvaltning fremmer og består av i dag, samtidig med fokus på hvordan fluvialgeomorfologi burde ha en rolle å spille i slik forvaltning.

### 4.1 Biologi, forvaltning og geomorfologi

For å konkretisere geomorfologi innen biologisk forvaltning starter vi først i Storbritannia. Her har det lenge vært en klar og tydelig geomorfologisk tilnærming spesielt relatert til tverrfaglig samarbeid, som for eksempel Newson, Sear, and Soulsby (2012) som fortrinnsvis er et samarbeid bestående av geomorfologer og biologer. Her nevner de blant annet en del kriterier som burde være oppfylt for å oppnå gode habitat for elvefisk og migrerende fisk:

*“• Good-quality spawning habitat providing substrate, cover and flow depths to support the construction and persistence of redds, within which the supply of oxygen and removal of wastes are maintained within a thermal regime that promotes and sustains development of incubating embryos, and where alevins are able to escape to nursery areas.*

*• Good-quality nursery and rearing habitat providing food, flow and thermal regimes sufficient to sustain growth with space to accommodate competition and sufficient cover to avoid predation.*

- *Smoltification and adult migration require access to and from the sea from rearing habitats that are within the energetic budget of individual animals. These include availability of deeper water habitats to regulate thermal regime and cover to avoid predation and to provide rest.*

- *Pattern (patches) of critical habitats (within the distances of movement of individual life stages).*

- *Refugia at all stages to permit survival during disturbance (floods, drought, pollution events, thermal maxima, predation). “*

*(Newson et al., 2012, p.491)*

For å være helt tydelig er dette kanskje en av veldig få slike oppgaver der man har klart å fremme en del kriterier basert på et økologisk fremmende samarbeid, og mange av artikkelforfatterne er kjente ”tungvektene” innen sine fagdisipliner, som også er hyppig referert til av andre. Det som også kommer fram av punktene over det er at legges mye fokus på hvordan et vassdrag burde se ut og hvordan det burde reagere på ulike scenarioer, dermed ser vi geomorfologi som en viktig variabel.

## **4.2 De økologiske endringer**

Ved å spille ballen videre fra Newson et al. (2012) ser vi nærmere på hvordan økologiske endringer blir påvirket av morfologien.

Fysiske og kjemiske faktorer spiller inn på habitatet i en elv. Mange elver har sett store endringer i disse faktorene som årsak av regulering. Den allerede nevnte elven Fortun, har som sagt opplevd en betydelig reduksjon i store flommer siden reguleringen i 1963, og som årsak av dette har opplevd store økologiske forandringer siden den gang. Som sett viste resultatet at elven hadde en betydelig reduksjon i størrelse og kapasitet i den øvre delen av det 1600 meter lange måleområdet nedstrøms fra utløpet.

For eksempel hadde den nevnte delen av elven oppnådd en elvebunnsøkning på 1.5 meter, mens den nedre delen hadde degradert i lateral retning, med opptil 30 meter innhugg i

elvebankene (Fergus, 1997). Dette vil naturlig nok skape nye morfologiske forhold, men også her vil vi se at habitatet for levende organismer vil forandre seg betraktelig, og gi helt andre forutsetninger for videre liv.

Mange studier innen fluvialgeomorfologien viser konsekvent til endringer som oppstår som årsak av den ofte nevnte reguleringen. Oppsiktsvekkende nok kan man tydelig se at mange av de sedimentære endringsforholdene nesten bestandig passer inn i mange av punktene som ramses opp av Newson et al. (2012). Selv om sistnevntes artikkel er konkretisert mot gyte og migrasjonsforhold kan man derimot ikke snakke om dette utelukkende fra geomorfologien, nedenfor følger noen andre eksempler.

I en studie fra Storbritannia kom det fram at Tummel elven i Skottland, har ulike erosjons og morfologiregimer avhengig av om sedimentforholdene er av kohesjon dyktig materiale (silt, leire, Etc.) eller ”uten kohesjon” (Sand, grus, stein o.l.). De største erosjonsratene ble observert i de elvebanken hvor man hadde et blandingsforhold mellom kohesivt og ikke-kohesivt materiale. De områdene som var dominerende kohesivt viste seg å være i likhet med erosjonssikrede områder (rip-rap) og berggrunn, de områdene som var minst erosjonsutsatt, med en prosentandel nærmere 1% som faktisk eroderte i nevneverdig grad (Winterbottom & Gilvear, 2000). Hvilken form for erosjon som er mest fremtredende kan derfor ha stor påvirkning på sedimentene som settes i bevegelse. Avsettelsen av slikt materiale vil igjen kunne endre bunnforhold i andre deler av elven som i sin tur vil kunne endre gyteforhold hvis de for eksempel sedimenterer ned grus og andre lignende bunnforhold.

Fra Sear, Newson, and Brooks (1995) kommer det fram at North Tyne elven i Storbritannia opplevde døgnvariasjoner på mellom 0 og 6m i vannstanden. Som årsak av dette, fant man geomorfologiske trekk som viste seg å ha ødeleggende effekt på riffle-pool sekvenser i kanalen. Pools aggraderte, og finere sedimenter tettet grusbunnen slik at gyteforholdene for fisk ble ødelagt. Samtidig fikk gytegroper et vegetasjonsdekke som igjen var med på å forringe forholdne ytterligere.

En generalisert sedimentologi av elvebunnen var av følgende karakter: Økning av finere sedimenter som dekket til grusbunn nedstrøms, og en overdrevet grovkorning nærmere utløpsområdet.

Dette er veldig konkrete eksempler på hvordan geomorfologien og geomorfologer som sådan har en kunnskap som i et tverrfaglig samarbeid ville kunne avdekke endringsforhold ikke bare

innen det biologiske/økologiske aspektet, men og som en generell pekepinn på elvens morfologiske endring.

#### **4.2.1 Påvirkning på biotiske forhold**

Det er mange faktorer som spiller inn når det kommer til gyte og levetilstand hos laksefamilien. Små organismer og mindre dyr som fisken lever av er av stor betydning for selve matkjedene (Hynes, 1970). Hvor gunstige slike forhold er, avhenger sterkt av de fleste faktorene som allerede er nevnt under delkapittelet ovenfor. Biotiske forhold fra regulerte vassdrag i Norge har opplevd store endringer, enkelte steder har det ofte oppstått en overvekst (hypertrophication) av alger som i Altaelva (Koksvik & Reinertsen, 2008). Dette er ofte som årsak av at vannføringen i lengre perioder blir for lav slik at vekstforholdene endrer seg drastisk. Spørsmålet man må søke svar på i slike tilfeller er om dette er situasjoner som kunne vært unngått, med en bredere og mer tverrfaglig samhandling, der geomorfologer kunne bidratt med kunnskap rundt residualstrømninger, konnektivitet og generell forståelse for de kritiske elvefunksjonene.

#### **4.2.2 Vannføring**

Det som fører til forringelse av biotiske forhold er ofte mange av de samme endringsmønstrene som geomorfologer jobber med, i denne delen prøver oppgaven å konkretisere de samme forholdene som ligger til grunn for endringene i geomorfologien og biologien.

Oftest ser man at regulering fører med seg en nedgang i artsmangfold, hvor det ofte er nedgang i tilgangen på mat. Man ser også at selve artssammensetningen forandrer seg nedstrøms fra utløpsområdene.

I følge Johnsen et al. (2011) er vannføring og hastighet de to viktigste variablene som fører med seg biologiske endringer i elven. Dette er fordi det er faktorer som styrer bunnsubstrat og Shield ratio mellom ulike bunntyper. I tillegg kan man se overvekst av alger og plankton hvis vannhastigheten blir betydelig svekket sammenlignet med normalforhold.

Vannstanden vil samtidig ha betydning for organismer som lett settes i bevegelse, da de ofte vil strande hvis vannføringen faller for lavt, og dermed tørker ut.

### 4.2.3 Vanntemperatur

Lavere temperaturer sommerstid vil ofte føre til en sterk reduksjon i den bentiske sonen like nedenfor utløp, som vil føre til at matfatet til laks og andre fisk degraderes betydelig. I tillegg kan dette føre til at brunørret ofte kan vandre lengre ned i en elv, en hva som er normalt, som igjen fører til økt konkurranse om tilgjengelige resurser (Johnsen et al., 2011).

Varmere temperaturer vinterstid har som tidligere nevnt kunnet føre til økt isgang. Slik is kan ofte føre til at vannretningen endres i ulike mønstre en hva som er normalt og dermed sette i gang allerede nevnte erosjonsprosesser i ugunstige områder, og vi kan se større morfologiske endringer som i sin tur kan påvirke elvens stabilitet samtidig som bunnforhold endres for dyrene som bruker elven til gyting og vandring.

### 4.2.4 Overlevelsesrate

Typiske trekk som oppstår som årsak av vannkraftutbygging og nedstrøms effekter fra utløp er en reduksjon i overlevelsesraten til egg og smolt på bakgrunn av at porer i bunnsubstratet tettes igjen (Shield Ratio). For det første vil det bli vanskeligere å finne gode gyteområder å legge eggene, og for det andre hvis eggene dekkes over av for mye finsedimenter vil det i sin tur være vanskelig for smolten å komme seg løs. Mangelen på oksygenrikt vann, og en økning i CO<sup>2</sup> har også vist seg å være problematisk.



**Figur 7: Gyteforhold under høy vannføring om høsten, i Altaelva. Photo: LFI-Unifob v/Bjørn T. Barlaup I Johnsen et al. (2011).**



**Figur 8: Samme bildet under lav vannføring påfølgende vår. LFI-Unifob v/Bjørn T. Barlaup I Johnsen et al. (2011).**

Begge figurene 7 og 8 viser en dødelighet på 100% for lakseegg. Her ser man at problemet relateres til vannføringen som er sterkt redusert slik at vannivået faller under den fastsatte minstevannføring som direkte konsekvens av strømproduksjon og tilgang på vann bak inntaket. Dette kan vi gjerne koble mot Hydropeaks avsnittet og mot Fette et al. (2007) som viser til at dette må kontrolleres i større grad slik at man klarer å holde residualstrømninger i gang under lavvannsføring. På denne måten kommer geomorfologi på nytt inn i bildet, da man har god forståelse og kan sette seg inn i den dynamiske forståelsen rundt vannets mulighet til å opprettholde et minimum av kritiske elvefunksjoner.

Det hersker altså ingen tvil om at manglende kompetanse rundt effektkjøring og store flommer fra utløpene vil forringe og føre til vedvarende negativ innvirkning på overlevelsesraten til smolt, hvis man har for snevert innsyn i elvefunksjonene.

Et annet problem som kan oppstå, som også nevnes i Johnsen et al. (2011), er at regulerte vassdrag ofte kan ha dårligere vannkvalitet nedstrøms fra de menneskelige inngrepene. Dette oppstår gjerne hvor man har tilløpselver eller bekker som kan være utløp knyttet til fabrikker, bondegårder og lignende. Her kan det ofte være høye konsentrater av enkelte stoffer som under en gjennomsnittlig årlig normalvannføring fra hovedelven ikke ville hatt særlig betydning, men som derimot vil få høyere og høyere konsentrering av potensielt giftige stoffer hvis denne vannstanden faller under kritiske nivå. Igjen stiller det seg et naturlig krav til forståelsen av kritiske elvefunksjoner. Det vi ser er at geomorfologer med sin kunnskap skal kunne hjelpe med å analysere og kartlegge et helhetlig bilde av selve elvesystemet slik at man kan gå inn å unngå at fysiske og kjemiske faktorer vil kunne skape større problem.

Det finnes selvfølgelig rutiner for dette i Norge, men her handler det om å formidle samt utnytte kunnskap lenge før og lenge etter at kraftverk settes i produksjon. Det handler om kartlegging, analyse og oppfølging som en del av et større og helhetlig bilde, med god kompetanse er altså ikke bare nødvendig for deler eller strekk av system, men den konnektive koblingen som elven er en del av.





## 5.0 FORVALTNING

Forvaltningen har mange aspekter over seg, og har lenge vært en arena der academia har stått tett opp mot arbeidsmarkedet. Denne delen av oppgaven tar for seg europeiske og norske forhold, og ser på hva som råder og styrer kontra den mer spesifikke tilnærmingen i biologivsnittet.

### 5.1 Det europeiske vanndirektivet

Det Europeiske vanndirektivet (WDF) har som overordnet formål å bedre vannkvaliteten og tilknyttede miljøforhold over hele Europa, gjennom et internasjonalt samarbeid og tverrfaglige institusjoner (EU, 2015)

I følge Orr, Large, Newson, and Walsh (2008) har direktivet tatt på alvor de utfordringen som elvehabitater står ovenfor i sin søken etter å oppnå god økologisk status i alle elver inne 2015. I lys av denne oppgaven, og hvordan geomorfologi stiller seg i et internasjonalt lys, ser man at WDF har stor fokus på biologi og habitat, i nær tilknytning til det de kaller hydromorfologi. Hvordan man skal tolke hydromorfologi er ikke helt enkelt. Først og fremst skiller det seg i vesentlig grad fra fluvialgeomorfologi ved at det den primært ser på endringer relatert til det hydrologisk regimet og vannet i seg selv, kontra den landformdannede prosessen som omhandler geomorfologien, der vannet kun anses som en av flere variabler som påvirker et større system. WDF tar også for seg flomproblematikken som et endrende klima vil føre med seg, samt hvordan framtidig regulering av vassdrag vil endre seg, men også her er mangelen på geomorfologiske aspekter tydelig.

Dessverre er ikke geomorfologien viet særlig stor plass i WDF, og nevnes kun som en indirekte enkeltstående variabel i den store sammenhengen. Geomorfologer flest er nok enig i at faggrenen har stor kompetanse på alt fra den store helheten og ned til de mange små variablene som virker på systemet. Videre kobler geomorfologien sammen disse variablene i et komplisert nettverk av prosess og årsaksforhold. På mange måter blir dette en kontrast mot vanndirektivet, som primært ser på økologi og biologi alene som de store faktorene som skal bidra til løsningen på problemet. Snarer må man kanskje tenke at god økologisk forvaltning oppstår gjennom et mer komplekst sett av tråder enn hva de selv antyder på sine hjemmesider, og de tekstene de legger ut i offentligheten. Slik det for mange kan oppfattes handler det om

ingeniører og biologer som også her skal sitte med ansvaret i samarbeid med lokalbefolkning tvers over Europa.

WDF har skapt typologier av ulike elver basert på hydromorfologiske og biologiske parameter. Eksempelvis har de sett til Storbritannia der man har 11 variabler for å karakterisere elvesystem, disse er basert på geologi, klima, vannkvalitet og kvantitative kontroller av biologiske fordelinger.

Mange av disse variablene er gode pekepinner på hvordan en elv kan se ut og vil oppføre seg. Et forklaringsproblem i følge Orr et al. (2008) kan derimot oppstå hvis man for eksempel skal forklare biologiske habitat under bestemte vannregimer. For det første finnes det ingen forklaring på hvorfor de eksisterer, hvor gjennomgående de er og hvordan de vil forandres under endrede vannregimer, og om de i det hele tatt kan eksistere i elver med bestemte kunstige utforminger.

Videre påpekes det også i Gilvear (1999) viktigheten av en romlig konnektivitet, som ikke tas hensyn til i WDF. Orr et al. (2008) går så langt i å påstå at all datainnsamling om biologiske faktorer ikke kan kobles sammen som årsak av dette, og vil dermed være ubrukelig.

Selv om geomorfologien i seg selv har svakheter relatert til dynamisk modellering ville man gjennom bruken av satellitt, flyfoto og GIS, i kombinasjon med feltundersøkelser, gjøre det mulig å skape gode elvetyper fra allerede eksisterende data. Blant annet ville man kunne se hvor semi-naturlige elvetyper forekommer slik at man letter kan sette i gang rehabiliteringsprosjekt i disse områdene. Det ville også potensielt kunne anslå sensitiviteten i elvesystemet relatert til endringer i ytre påvirkende krefter. Dette kunne også bidratt sterkt i restaureringsprosjekt og andre tiltak som kreves i utbygde elver.

Sear and Newson (2002) underbygger det Orr et al. (2008) legger frem, og tar også til ordet for økt bruk av geomorfologi innen WDF. Det kommer blant annet fram at fluvialgeomorfologi naturlig burde spille en meget viktig rolle i elv og vassdragforvaltning. Det nevnes tre viktige punkter for miljømessige endringer i Sear and Newson (2002) der de påpeker hvor viktig ”minnet” til en elv er og hvilken betydning dette har for hele systemet, med hjelp av geomorfologi.

*“Three definitions of environmental change may be defined as significant and therefore candidates for detection. These form the basis for the remaining assessment of detection, although the authors acknowledge that there are many others.*

*Large-scale synchronous changes in channel geomorphology;*

*Long-term, persistent changes in channel geomorphology;*

*Socially significant (risk-defined) changes in channel geomorphology.”*

*(Sear & Newson, 2002, p.18)*

Sitatet er bare med på å underbygge mye av det som allerede er sagt vedrørende en geomorfologisk tilnærming. Fordelene med storskala endringer i kanalers morfologi, lengre tidsaspekt vedrørende disse endringene, og risikoen slike endringer kan føre med seg.

## **5.2 Forvaltning i Norge**

### **5.2.1 Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).**

*”Nær all kraftproduksjon i Norge kommer fra vannkraft. Ved inngangen til 2014 var Norges vannkraftpotensial på om lag 214 TWh per år og i overkant av 60 % er utbygd.*

*Midlere årlig produksjon i det utbygde vannkraftsystemet utgjør 131,4 TWh, hvorav små kraftverk utgjør 9 TWh. Videre er det under bygging 1,5 TWh ny vannkraft og ytterligere 3,6 TWh har fått utbyggingstillatelse som er ikke realisert enda.”*

*(NVE, 2014)*

Norges vassdrag- og energidirektorat (NVE) er underlagt miljøverndepartementet som er det øverste organ for norsk vassdragforvaltning. NVE er i Norge, de som utøver og overvåker kraftprodusenter. Blant annet har NVE siste ord i om et kraftverk blir godkjent eller ikke, og overvåker hele utbyggingsprosessen.

Norge er et land med stort vannkraftpotensial som kommer til syne i sitatet ovenfor. I tabell 2 under ser man tydelig hvordan kraftproduksjonen i Norge fordeler seg rundt ulike typer

vannkraftverk, i tillegg illustrerer dette også meget godt hvor stor del av naturen som faktisk er påvirket av utbygging.

**Table 2: Fordeling av Norsk vannkraftproduksjon etter produksjonsstørrelse på vannkraftverkene fra NVE (2014).**

Kategori	Antall	Ytelse [MW]	Midlere årsproduksjon [TWh]
Under 1 MW	554	175	0,8
1-10 MW	587	1 989	8,3
10-100 MW	255	9 523	43,0
Over 100 MW	80	19 273	79,5
Pumper	26	---	-0,2
<b>Totalt</b>	<b>Kraftverk: 1476 Pumper: 26</b>	<b>30 960</b>	<b>131,4</b>

I 1985 ble *Samlet plan* ble lagt fram i stortinget for første gang (Miljødirektoratet, 2010).

Dette var og er en plan som hadde som formål å kontrollere utbyggingen av fremtidens vannkraftressurser i landet vårt.

Ut fra denne planen utarbeidet man en metodikk med tre kategorier som rangerte utbygginger etter lønnsomhet og konflikt interesser.

*”Kategori I: Prosjekter som kunne konsesjonsbehandles straks og fortløpende for å bidra til å dekke energibehovet.*

*Kategori II: Prosjekter som kunne nyttes til kraftutbygging eller andre formål, men prosjektene kunnen ikke konsesjonsøkes inntil videre.*

*Kategori III: Prosjekter som ikke var aktuelle for utbygging på grunn av meget stor konfliktgrad med andre brukerinteresser og/eller høye utbyggingskostnader.”*

(Miljødirektoratet, 2010)

Per dags dato er kategori II og III slått sammen. Videre ble det i 2005 vedtatt fritak fra konsesjonssøknader for utbyggingsprosjekt under 10mw. Etter 1995 falt ansvaret for oppfølging av samlet plan til Direktoratet for naturforvaltning (DN). Alle vedtak som gjøres i denne planen skjer i samråd med NVE og den aktuelle fylkesmannen. Samtidig er det viktig å være klar over at samlet plan ikke overskrider selve konsesjonsprosessen i seg selv.

Framover har stortinget gått inn for at planen skal fokusere mer på et system som tar hensyn til verdier i vassdraget, og eller avsnitt av vassdraget (Miljødirektoratet, 2010).

Det som er meget interessant som kommer frem i rapporten fra Miljødirektoratet (1984) er at det er viet mye plass til flom, erosjon, isgang, geologi og klima samtidig som forståelsen for landskapets utvikling ikke benevnes. Geomorfologi blir blant annet nevnt helt sist under faguttrykk, uten at det i seg selv blir brukt i noen sammenheng i selve rapporten.

Det som og er synlig er hvor lite fokus det var på biologi relatert til fisk og andre dyr på 1980-tallet, noe som tyder på at vi egentlig er en nasjon som er ganske ny og fersk innen miljøfag og dens forståelse, selv om vi er en gammel hydroelektrisk nasjon. Det vi i dag er klar over er at miljøperspektivet har fått et kolossalt stort fokus, derimot kan ikke det samme sies om geomorfologien. I denne sammenhengen er det også viktig å benevne at dette primært er noe som gjenspeiles spesielt i Norge .

NVE har tydelige ønsker om hvordan vassdrag skal forvaltes, blant annet er det iverksatt et program for Miljøbasert vannføring som i følge NVE skal ta hensyn til at mange forhold berøres som årsak av vannføring. Dette er blant annet biologi, økologi, hydrologi, estetikk, økonomi og sosiologiske forhold. Gjennom FoU-samarbeid ble første fase av dette programmet gjennomført mellom 2001 og 2005. Her stadfester de tydelig at hovedfokuset var på biologi og økologiske forhold knyttet til vannføring.

I andre fase mellom 2007 og 2012 har målet vært å tette kunnskapshull rundt de fysiske og biologiske konsekvensene som årsak av endret vannføring, og tiltak som kan virke avbøtende, samtidig som de utvikler verktøy for framtidige forvaltning (NVE, 2009).

Programmet i likhet med mye av det som er nevnt tidligere i oppgaven bærer preg av en oppbygging som først tar for seg det hydrologiske, og konkret vannførende endringer. Videre hopper det rett inn i miljøkonsekvenser som årsak av vannføring med fokus på biologi. Dette står dels i motsetningen til denne masteroppgaven, som er bygd opp etter hydrologi, geomorfologi og videre til biologi. Også her virker det at faget kommer til kort, selv om

prinsippene bak, naturlig nok er en del av slike program, kommer ikke kunnskapen til syne som årsak av manglende tilstedeværelse av fagpersoner med fluvialgeomorfologisk bakgrunn. Et spørsmål som ikke lett lar seg svare på, men som kanskje vil framstå som noe til ettertanke, er om geomorfologi er et manglende ledd, eller om det ikke har en utvidet plass i norsk forvaltning. For å belyse saken ytterligere vil delkapittelet nedenfor vise mer konkret et prosjekt som har sterkt fotfeste innen forskning, og viser hvordan veien videre kan bli seende ut i forvaltningsøyemed.

### 5.2.2 Et Norsk prosjekt

Norsk forskningsråd opprettet CEDREN-prosjektet (Centre for Environmental Design of Renewable Design) i 2009, som er et forskingsprosjekt mellom Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet (NTNU), SINTEF og Norsk institutt for naturforskning (NINA).

Dette prosjektet blir blant annet sponset av ulike vannkraftselskaper der formålet er å finne en ”grønn” og mer miljøvennlig strømproduksjon innen segmentet fornybar energi. Deres visjon er et internasjonal rammeverk for hvordan miljødesign og fornybar energi skal fungere i fellesskap.

Visjonen:

*"An internationally recognized research center for environmental design of renewable energy - integrating technology, nature and society."*

(CEDREN, 2009a)

CEDREN skal ivareta det lokale når de globale klimautfordringene skal løses. Prosjektet tar for seg teknisk og miljøvennlig utvikling av produksjon og drift av framtidig vann og vindkraft. Samtidig skal de bidra til at dette skal fungere på tvers av landegrenser. Ny kunnskap skal og forsterke både miljø og energipolitikk.

Innen dette prosjektet er det laget flere delprosjekter, tre av disse, henholdsvis HydroPEAK, EnviPEAK og EnviDORR, baserer seg i stor grad på vannkraft (CEDREN, 2009c).

HydroPEAK baserer seg i henhold til CEDREN (2009c) på hvordan etterspørselen for fornybar energi i form av vannkraft skal kunne balanseres den mer ustabile vindkraften i Europa. Dermed er det snakk om å finne miljøvennlige metoder for å kunne drive effektkjøring av kraftverk, slik at man på best mulig måte kan ivareta naturen.

EnviPEAK baserer seg i stor grad om det samme. Her er man derimot mer opptatt av å kunne si noe om miljøkonsekvensene som oppstår som følge av raske vannføringsendringer. Her er målet å skape et verktøy som skal kunne brukes til å analysere, forutsi og minimere negative konsekvenser som årsak av kjøremønstre fra kraftstasjoner.

*”Utviklingen av kunnskap vil foregå gjennom pilotstudier i vassdrag utvalgt etter diskusjoner mellom brukerne (kraftprodusentene og forvaltningen) og forskerne i EnviPEAK. Erfaringer fra pilotstudiene vil danne grunnlaget for generell og overførbar kunnskap til hele spekteret av regulerte vassdrag. EnviPEAK vil utvikle:*

*Kunnskap om effekter av variable drift av vannkraftanlegg*

*Kunnskap om avbøtende tiltak*

*Generaliserte verktøy for analyse av miljøeffekter og avbøtende tiltak*

*Retningslinjer for drift av ”effektkjøring” av kraftverk ”*

*(CEDREN, 2009c, p.7)*

Sist har vi EnviDORR som fokuserer på optimalisering av levetilstand til laks samtidig som man holder ved like eller optimaliserer effekten av strømproduksjon.

*”EnviDORR skal:*

*Samle de beste fagmiljøene på laks, hydrologi og kraftproduksjon*

*Utnytte de mange dataseriene innsamlet i ulike undersøkelser, eksisterende modeller og bygge nye modeller for teste ulike løsninger modellmessig.*

*Utvikle løsninger som gir mer kraft og mer laks både for eksisterende kraftanlegg, utvidelser og nye, og vise i demovassdrag at slike løsninger finnes”*

*(CEDREN, 2009c, p.8)*

CEDREN snakker mye om å samle faggrupper som er de beste i sitt felt. Prosjektet har et godt fotfeste innen akademia, men hvordan dette vil manifestere seg i kraftindustrien er enda for tidlig å si noe om. Fordelen med prosjektet er at man for første gang har fått til et utvidet samarbeid på tvers av faglige plattformer. Problemet er enda at disse faggruppene i stor grad basere på tekniske og biologiske utgangspunkt. Geomorfologi er nevnt både i HydroPEAK og i EnviPEAK, men utgangspunktet i rapportene er prinsippene som faget baserer seg på, altså endring i elvens morfologi, selve faggruppen virker ikke å være delaktig. På grunnlag av at prinsippet om morfologiske endringer er nevnt, men ikke faglig en del av prosjektene, støtter man på et problem der selv om man har biologer med på utviklingen, så vil man samtidig miste den konkrete forståelsen som geomorfologer besitter om sitt eget fag.



## 6.0 GEOMORFOLOGIENS BIDRAG

Hva sier litteraturen om geomorfologer, og hva kan de bidra med? Spesielt i kapitlene over har jeg prøvd å gi eksempler på hvor geomorfologer kan bidra innen en typisk biologisk vinklet forvaltningsstandard.

Med utgangspunkt i dette, og samtlige kapitler ovenfor, vil oppgaven nå se nærmere på hva geomorfologer mener er viktige punkt for bidrag gjennom sin egen faggruppe, og konkret hvordan og hvorfor det er viktig å inkorporere slik kunnskap.

### 6.1 Hva bidrar en geomorfolog med

Fra sin review ser Gilvear (1999) nærmere på rollen geomorfologi kan spille i framtidens elvekonstruksjon. Nærmere bestemt sees det på hvilken rolle denne naturgeografiske fagretningen kan spille inn på planlegging, implementering og postrelatert oppfølging av elveprosjekter.

Det nevnes blant annet fem nøkkelkontribusjoner Gilvear (1999) mener er viktig bidrag faggrenen kan tilføye spesielt innen vassdragsutbygging.

- Promoterer forståelsen av lateral, vertikal og nedstrøms konnektivitet i elvesystemet. Samt forholdet mellom elvens planform, profil og tverrseksjon.
- Fremheve viktigheten av å forstå den fluviale historien og kronologien over ulike tidsskalaer. Også det å anerkjenne rollene tidligere inaktive og aktive landformer/avsetninger kan fortelle oss om landskapsstabilitet.
- Rette søkelyset på geomorfologisk sensitivitet relatert til miljøforstyrrelser og endringer, spesielt hvis men ser en elv nært ett geomorfologisk vippepunkt (threshold) og den naturlige dynamikken i et område.
- Landformer og prosessers innvirkning i å kontrollere og definere fluviale biotoper. Dermed også opprettholde et økologisk fokus rundt elvekonstruksjon.

- Og sist er den største utfordringen som ligger i å aksepteres i en allerede dominerende ingeniør og biologivitenskaplig verden.

*River Health* lanseres som et begrep Wohl (2012) bruker for å forklare mekanismer som er med på å styre elvens kritiske funksjoner som tilnærmer seg mye av det samme som Gilvear (1999) ramser opp i sine punkter.

I tillegg har Wohl (2012) gått inn for å koble begrepet opp mot interdisiplinære samarbeid mer i tråd med Newson et al. (2012).

Å skape en grunnleggende forståelse mellom driver- og responsfaktorene i elver står høyt på *River Health* agenda. Ut fra dette er det og ønskelig å finne ut hvordan de ulike faggruppene karakteriserer ”naturlige” variabler, og hvordan avgjøre hva som er ”naturlige” forhold. Dette er først og fremst for å kunne skape en felles plattform der man kan jobbe mer tverrfaglig. Ønsket er en forenelig veiviser til vassdragsregulering og forebygge en degradering av *River Health* - prinsippet (Wohl, 2012).

Fette et al. (2007) forklarte samme problem som Wohl jobber mot, gjennom deres studie i elven Rhone i Sveits. Ingeniører og biologer klarte ikke utvikle gode vannføringsregimer, slik at en fullstendig elverehabilitering måtte til som en konsekvens av en dårlig forvaltning. Et annet eksempel fra Wohl (2012) ser på erosjonsrater etter utbyggingen av Hog Park Creek Watershed, Wyoming, USA. Disse erosjonsratene har økt voldsomt på tross av at ingeniører hadde jobbet hardt med erosjonssikring for å unngå at en økningen i vannføring ikke skulle ende i større degradering av materialer i selve kanalsystemet. Blant annet ble store steiner og ulike typer trekonstruksjoner tatt i bruk for å kontrollere spesielt elvebanker fra å erodere raskere og samtidig dermed klare å opprettholde biohabitatet i elven. Endringene dette medførte var derimot økt erosjon, større kanalutvidelse og generelt større biotop og massetap. Grunnen til dette var antagelig at fokuset var på å sikre antatt utsatte områder, og bare disse områdene. Hensyn til økt hastighet, og transportkapasitet/kompetanse som årsak av mangel på finkornet materiale gjennom de erosjonssikrede strekkene ble ikke gjennomført godt nok. Med andre ord løste ingeniøren problemene der de mest sannsynlig vil oppstå, men konnektivet oppstrøms som nedstrøms osv. ble ikke tatt med i beregningen.

Gregory et al. (2008) tar i kobling med avsnittet ovenfor for seg begrep som Hard vs. Soft engineering. Her er altså det typiske ”tekniske” ingeniørperspektivet sett på som utdatert og

gammeldags kontra det som nevnes i Wohl (2012) om en grunnleggende og felles plattform for forståelse av driver-responsvariablene i en elv.

I Gregory (2006) og Wohl (2012) gjenspeiles det mange utfordringer. Gregory (2006) i likhet med Gilvear (1999) ramser opp til fem punkter som menes å være av stor betydning innen elv og vassdragsutbygging relatert til bruken av fluvialgeomorfologi og geomorfologer som sådan.

- For det først har det alltid vært vanskelig å forutse naturlige hendelser. Blant annet vet man at ingen områder lik. Vi har for eksempel ulike klimasoner som kan endre modellene brukt i en elv fordi miljøresponsene er så ulike. Vi har og geologi, menneskelige inngrep osv. Ingen områder er iboende like selv om mange av prosessene kan gjenkjennes.
- For det andre opptrer feedback mekanismer over ulike skalaer, temporær som romlig. Fra deler av elven til hele elven, og videre ut i hele nedbørsfeltet. Det er viktig å ha kontroll over skalaen når det kommer til elvens responssystem. Forandringer som oppstår er ikke nødvendigvis en årsak av dagens klimaforhold, eldre miljøforhold kan ofte virke inn spesielt hvis en elv kan påstås å ikke være i likevekt (equilibrium).
- For det tredje tar dette punktet for seg hvordan terskelforhold og kanalsensitivitet vil forandre seg fra nåtid og inn i framtiden. Igjen er dette et stort usikkerhetsmoment med dagens klimaforandringer.
- For det fjerde ser man på inkorporering og bruken av geomorfologi i kanaldesign, som årsak av de ovennevnte punktene og usikkerheten disse fører med seg.
- Femte og siste del tar for seg den kulturelle forståelsen av vassdragforvaltning, det er både klart å tydelig at ulike faggrupper og mennesker generelt har ulike meninger og løsninger på problemene som oppstår.

*”Understanding the cumulative impact of natural and human influences on the sensitivity of channel morphodynamics, a relative measure between drivers for change and the magnitude*

*of channel response, requires an approach that accommodates spatial and temporal variability in the suite of primary stressors”.*

(Downs, Dusterhoff, & Sears, 2013, p.121)

Punktene over og sitatet forteller om områder der geomorfologer kan bidra som årsak av deres tilnærming til elvesystem i sin helhet, men også evnene til å gi inn på spesifikke områder å løse ting på tvers av ulike romlig og temporære skalanivå.

Fra Downs et al. (2013) kommer og et konkret eksempel fra Lower Santa Clara River i California. Her kom det blant annet fram at regulerte kanaler var meget sensitive når det gjaldt ”Drivers of change” med dette menes det i hovedsak vannføring og de nye endringene som følger.

Det finnes data fra 1930 frem til 1990 som viser en klar og tydelig gjennomgående geomorfologisk forandring i dette tidsrommet. Ulike tekniske inngrep er i dag plassert i elven for å dempe disse endringene. Som årsak av inngrepene er elven for det første ikke koblet til sin egen elveslette, som igjen har medført en smal kanalisering som gir vannet en voldsom økning i potensiell transportkapasitet, kontra den typiske kanalutvidelsen som det har vært snakk om i tidligere kapittel. Konstruksjoner som ofte er basert på oppbygging av stein og jordformasjoner vil dermed og kunne være farlig hvis de skulle gi etter under høy vannføring, spesielt for de omkringliggende områdene nedstrøms.

Forskningen til Downs et al. (2013) er også veldig klar på sin driver-responsmetodikk som lett kan relateres til det Graf (2006); Gregory et al. (2008) og Wohl (2012) fremhevet i tidligere avsnitt.

## **6.2 Konnektivet, det viktigste bidraget?**

Langsgående (longitudinal) koblinger i elvesystemet er endringer som skjer oppstrøms som igjen manifesterer seg i endringer nedstrøms eller omvendt. Slike endringer starter ofte over konsentrerte områder før de ”tar del” i resten av systemet. Gilvear (1999) påpeker i sin artikkel svakheter i arbeidet gjort av ingeniører, fordi deres arbeid er veldig områdebestemt relatert til byggkonstruksjoner. Det er slik at jobben som blir gjort i vassdrag ofte omhandler ”der og da”- problemer som kobles til et bestemt område av elven som styres etter en

forhåndsbestemt byggeplan, uten hensyn til hvilke effekter dette kan få oppstrøms fra inngrepet, men og spesielt nedstrøms.

Vertikale og laterale koblinger i en elv relaterer seg til endringene som oppstår i ulike tverrsnitt av elven. Hvis man får et alterert utslippsregime fra hydroelektriske stasjoner med mye sedimentfattig vann (Hungry water) vil man gjerne se store endringer i den hyporeiske sonen (Hyporheic) til elven. Da snakker man gjerne om en sone som er en del av selve elvebunnen og den permeable kontaktflaten mellom grunnvannet og selve elvevannet som renner over. En endring i slike soner kan som nevnt i biologikapitlet ha store konsekvenser for gyteforhold og lignende.

### **6.2.1 Andre aspekter**

Gilvear (1999) snakker om og om hvor viktig det er med en forståelse av den temporære skalaen når det kommer til kanalendringer. Ofte ser man på en elv som stabil og noe som ikke varierer særlig over tid, dette er veldig ofte uriktig og feil. En elv må ofte sees i lys av endringer som skjer over større tidsintervaller, gjerne hundrevis av år for å få konkrete innblikk i hvorvidt man kan snakke om stabile eller ustabile forhold relatert til en elvs likevekstilstand (Equilibrium).

Selvfølgelig er det ikke slik at vi kan bruke tidsskalaene likt i alle elvesystem, snarere er det slik at temporære endringer må analyseres fra elv til elv. Her kan man påstå at fluvial geomorfologer kan være viktige bidragsyter i den forstand at de kan gjøre nødvendige og viktige analyser av vassdrag i en pre-utbyggingsfase. Som Gilvear (1999) sier, handler det om lese landskapet fra fortid og inn i nåtid for å forstå prosessene som virker og har virket i elvekanalen.

I Gilvear (1999) konkluderes det med at framtidige elevprosjekt på 2000-tallet kan og bør nyte godt av å inkorporere geomorfologi som en del av utbyggingsfasen. På denne måten påstås det et man lettere kan oppnå det han kaller et mer miljøvennlig "Design With Nature". Per 2015 finnes det ikke særlig gode bevis på at framtidspredikasjonene fra Gilvear (1999) har slått til i særlig grad. Det Europeiske vanndirektivet hadde som mål å oppnå en forbedret elveforvaltning innen 2015. Mest av alt virker det som om at dette fokuset har vært på biotiske faktorer for hva en "sunn" og "naturlig" elv er, og spesielt i Norge kan det virke som at fluvialgeomorfologien i seg selv er blitt litt glemt i den store sammenhengen, dessverre.

## 6.2.2 Metoder for å kartlegge morfologiske endringer

Det finnes mange artikler som gjerne refererer videre til andre artikler og deres geomorfologiske funn nedstrøms i regulerte vassdrag.

Her ser oppgaven nærmere på hvilke metoder som ofte går igjen, og om det finnes fellesnevner på tvers av artikler og funnene som blir gjort. Det bør også være av interesse for fremtidig forskning inne dette feltet å se om man kan gjenskape en standard metodebruk for vassdragforvaltning og arbeidet som følger med kraftutbygging.

Konkrete bidrag fra en Geomorfolog, kan for eksempel være bruk av ny teknologi som GIS, GPS, flyfoto etc. Samt ulike typer hydrauliske modelleringer som kan oppnås ved bruk av Akustisk Doppler, GPR, HEC-2 simuleringer og andre teknikker som burde være viktige verktøy innen utbygging og oppfølging av for eksempel utløpskanaler.

Også et større fokus på vannstrømning, skjersstress og skjersspenninger kombinert med generelle geomorfologiske tilnærminger, som empiribaserte antagelser, elvebanker og bunnforhold, landskapsevolusjon samt størrelse og flomfrekvens-forhold vil også være viktige variabler i en helhetlig analyse.

En av utfordringene som geomorfologer står ovenfor er som nevnt at ting skjer over lengre tidsaspekt sammenlignet med andre fagfelt. Innen regulerte vassdrag er det viktig med analyser og målinger kanskje allerede før inngrepene blir gjort, slik at man under det nye regimet kan sammenligne og si noe om funnene. Dette er problematisk på mange områder. For det første har man i Norge ikke særlig lang fluvialgeomorfologisk tradisjon noe som gjør at teoretiske studier som min egen, ofte må hente litteratur og kunnskap fra USA og andre europeiske land, som da nødvendigvis vil sette begrensninger på overførbarheten til norske forhold.

På bakgrunn av dette kan man påstå at det er desto viktigere å gjøre målinger i nåtiden, slik at man har et større og bredere arkiv for fremtidig forskning.

For å konkretisere og eksemplifisere metodebruken ser vi blant annet i studiet av Warche river (oppdemt fra 1932) i Belgia at Assani and Petit (2004) har vært klar på bruken av

storskala kart i størrelsesorden 1:1000 og 1:1250 fra 1951 til 1966 samt flyfoto fra 1954, 71 og 84 i størrelse fra mellom 1:15 000 og 1:25 000. Samtidig har de og tatt i bruk over 100 målinger av tverrprofiler med en median intervall på 50 m, gjort i 1966.

Disse målingene ble gjennomført i en periode fra 1993 til 1997 slik at de kunne analysere de geomorfologiske endringene som fant sted og da sammenligne forholdene fra 1966.

Et annet aspekt de så nærmere på var granulometriske analyser (Pebble Counts) i ett kontrollstykke oppstrøms fra demningen kontra ett nedstrøms regulert område og brukte b-aksen til de største partiklene for å finne fram til elvens transportkompetanse.

Også Surian (1999) snakker om hvordan historiske kart og flyfoto er av viktighet for geomorfologiske analyser. Surian (1999) forholder seg i motsetning til Assani and Petit (2004) kun til kart og bildeanalyser når han gjennomgår endringene i Piave elven i Italia, som renner fra Dolomittene og ut i Adriaterhavet.

Det påstås at historiske analyser med bruk av kart og flyfoto er spesielt egnet for dette området fordi tilgangen og kvaliteten er god. I studiet brukes det kart fra så sent tilbake som 1833 med en skala på 1:86 400, og fra begynnelsen av 1900-tallet og opp til 1960 er skalaen 1:25 000, mens de nyeste flyfotoene som er brukt er fra 1980 og 83 i skala på 1:10 000 og fra 1990 og 1991 (1:20 000).

*“Information about historical river conditions from sources including stream flow gaging records, aerial photography, and topographic data has been widely used to understand the response of rivers to anthropogenic changes like flow regulation and bank armoring”*

*(Gendaszek, Magirl, & Czuba, 2012 p,259)*

Gendaszek et al. (2012) viser ovenfor til de typiske metodene som brukes for en geomorfologisk måling for endring av regulerte elveløp.

Det som kommer fram av en slik metodebruk er ofte todelt, det følger både fordeler og ulemper. For det første kreves det at det er tilgang på gode flyfoto over lengre tidsperspektiv, og at de samtidig er tilgjengelig for vitenskapelig bruk. Granulometriske analyser sier oss ofte noe om hvordan bunnmaterialet er strukturert og oppbygget, samt den eventuelle kapasiteten som har vært eller er til stede i elven. Dette er også mindre gunstig hvis man ikke måler alle

akser av et større utvalg av steiner, fordi vi teknisk sett ikke kan si særlig mye ut fra kun én akse.

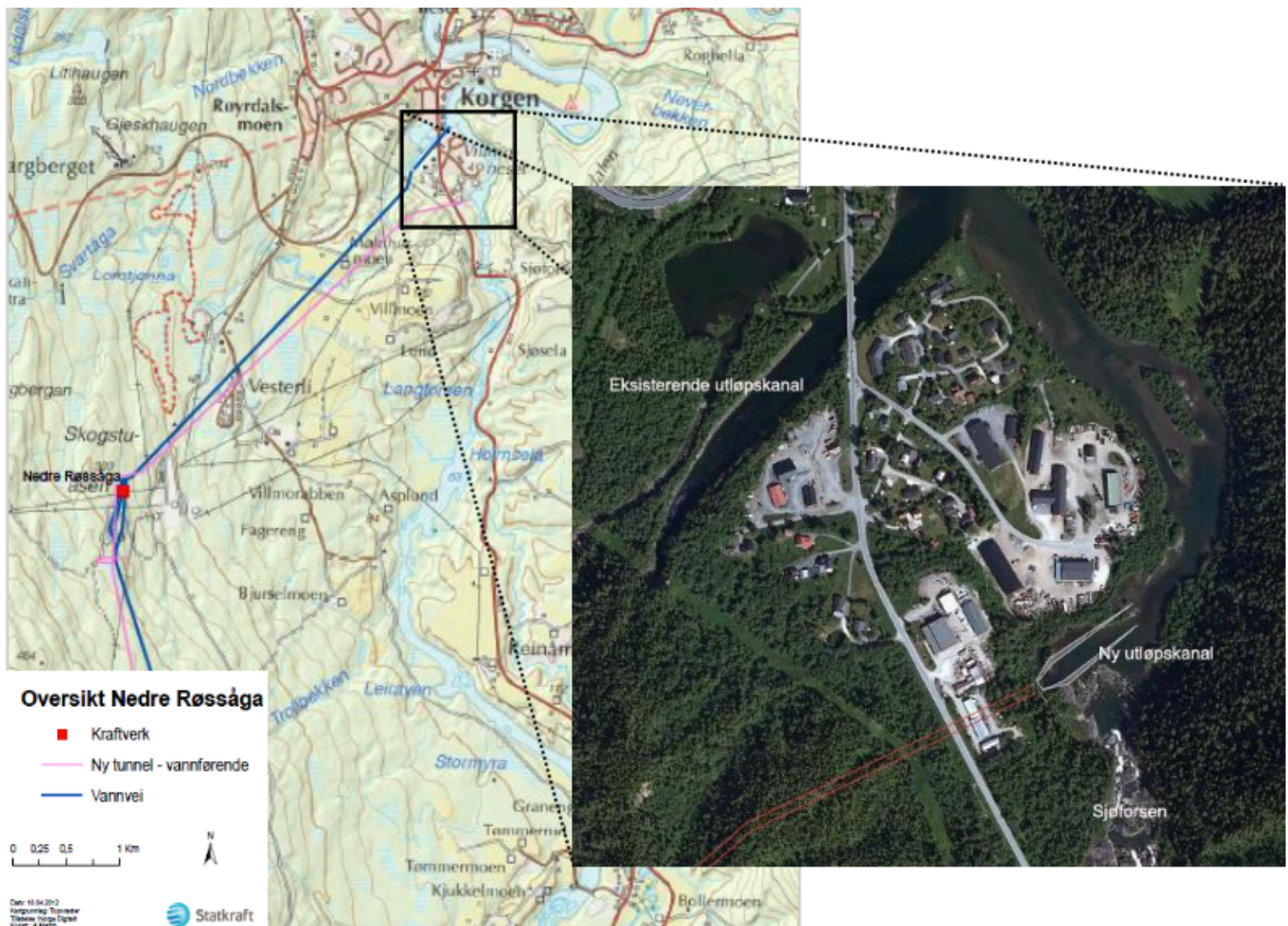
På den andre siden har vi mer moderne tverrprofilmålinger som er veldig gunstig til å si noe om hvordan selve bunnforholdet ser ut i topografisk forstand. Gjennom å se på endringer i disse målingen over tid kan det følgelig fortelle oss noe om hvordan bunnstrukturen påvirkes av vannet, og igjen de morfologiske endringene som fremtrer. Desto flere målinger desto mer informasjon om endringsforhold. Disse målingen blir for øvrig utført med en akustisk Doppler og gir innblikk i strømningsforhold, og hvordan dette eventuelt endrer seg fra normalvannføringer og flom.

Sist har vi og bruk av grunnpenetrerende radar som for eksempel vil si oss noe om leire og berggrunn i de underliggende lagene som ikke er synlige. I kombinasjon med freeze corer som tar ut nitrogenfryste kjerner av de øverste 50 til 100 cm av elvebunnen kan dette gi et godt og oversiktlig bilde av massesammensetning og potensielt erosjons utsatte områder. Man ser altså at bidragene er mange, men ofte tidkrevende og igjen er det en del variabler som må være tilfredsstilt før man kan se klare og tydelige indikasjoner på aktuelle forhold og områder.



## 7.0 CASESTUDIE

### 7.1 Prosjektet Nye Nedre Røssåga, Statkraft Energi AS, Korgen



**Figur 9: Oversikt over Sjøforsen og Nedre Røssåga, med eksisterende og planlagt utløp. Fra Kanstad-Hansen, Jenssen, and Næss (2014)**

Nye nedre Røssåga er et prosjekt der det bygges en ny tunnel i det regulerte Røssågavassdraget som ligger i Hemnes kommune i Nordland. Vassdraget er en del av Røssvatnet som etter oppdemning på 1950-tallet ble Norges nest største innsjø etter Mjøsa. I tilknytning til dette ble elven Røssåga betraktelig redusert. I henhold til den pågående utbyggingen ble den nye kraftstasjonene med tilknyttende tunnelutløp flyttet ovenfor det eksisterende utløpet med 500m regnet i avstand langs elven.

Det min oppgave da ønsket å se på var om min review av teori og lignende studier i kombinasjon med målinger gjort av innleide konsulenter i Statkraft kunne si noe om potensielle endringsforhold langs disse 500 meterne og terskelen hvor nytt vannregime og utløp møter det eksisterende Nedre Røssåga utløpet.

### **7.1.1 Feltarbeid og egenerfaring**

Selv har jeg hatt en liten uke med feltarbeid fra området, der det ble gjort en såkalt pebblecount samt grunnpenetrerende radar (GPR) som scannet elvekanten for å se etter grunnforholdene rundt 0.5 m til 1 m under grunnivået i elven. I tillegg til dette ble det gravd ut fem hull på rundt 50 cm i diameter og 50 cm dybde for å få en forståelse av bunns substratets oppbygging. For min del ble dessverre feltarbeidet ekstremt utfordrende grunnet en tidlig kuldeperiode i tilknytning til en tid med ekstra kraftig tidevann der man selv på fjæret sjø fikk en betydelig oppstuing av vann langt opp i elven. Dette var med på å kraftig amputere bruken av GPR som ikke tåler særlig kontakt med vann, slik utstyret er rigget.

Igjen gjorde nevnte vannivå det vanskelig å grave ut hull for studie av bunns substrat. Samtidig satt jeg igjen med inntrykket av at et slikt studie krever mer tid en bare ett år, og en enslig masterstudent. Men erfaringen og datatilgjengeligheten som Statkraft bidro med gjorde det mulig å gjennomføre et mindre casestudiet selv om min egen masteroppgave endte opp med å bli sterkt litteraturavhengig og teoretisk, enn hva som først var planlagt.

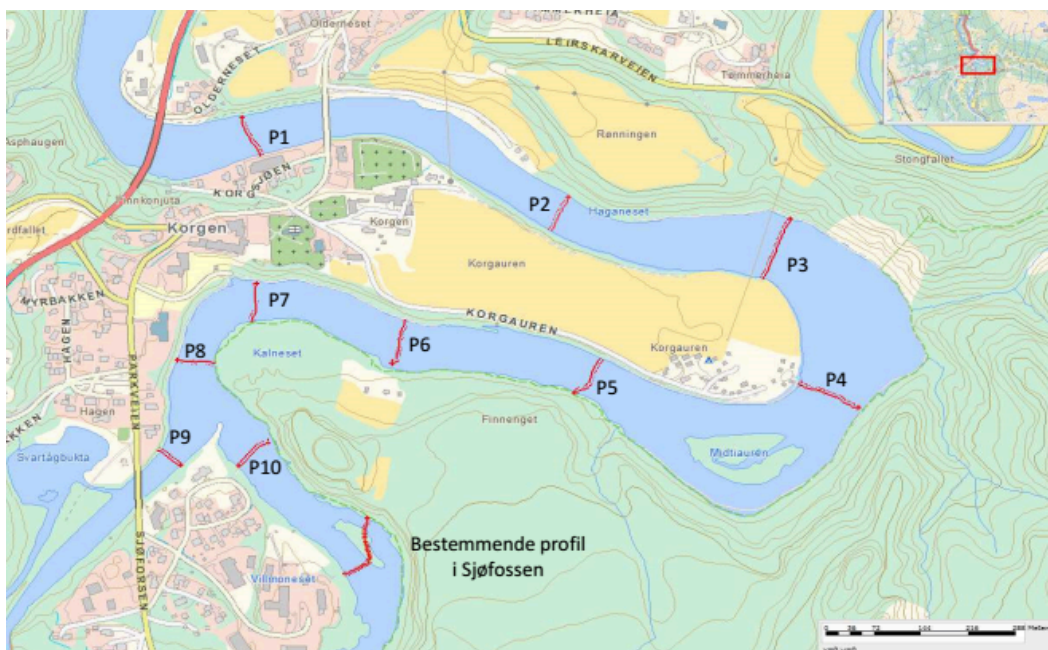
### **7.1.2 Utløpet**

Det nye utløpet vil ha vannmengder som tilsvarer ca. 35 og 85 m<sup>3</sup>/s under større effektkjøring, mens det trolig ikke vil falle under 15 m<sup>3</sup>/s som årsak av pålagt minstevannføring. Ut fra dette ble det høsten 2014 målt hastigheter i form av tverrprofiler i flere segment av elven.



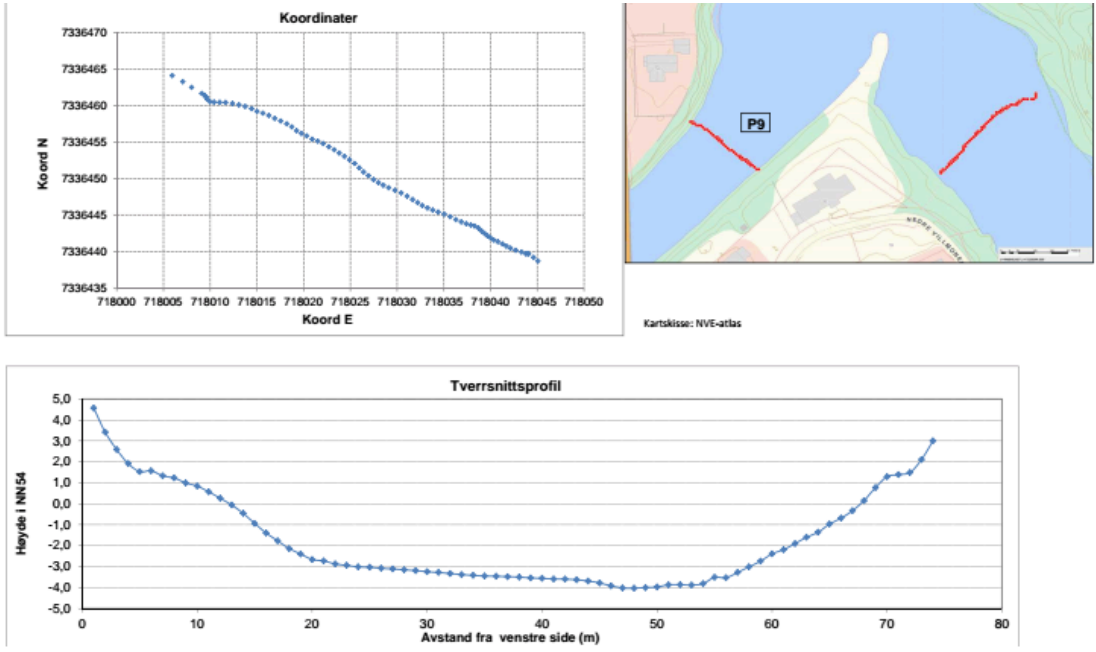
**Figur 10: Punkt for hastighetsmålinger gjort høsten 2014 av Hydrateam med tillatelse fra Statkraft.**

I tilknytning til områdene målt i Sjøfossen som vist i figur 11 er det også gjort målinger i andre deler av elven. Delen kalt Sjøfossen er det området som har vært mitt feltområde, resterende deler av elva vil derfor ikke bli belyst i denne oppgaven.

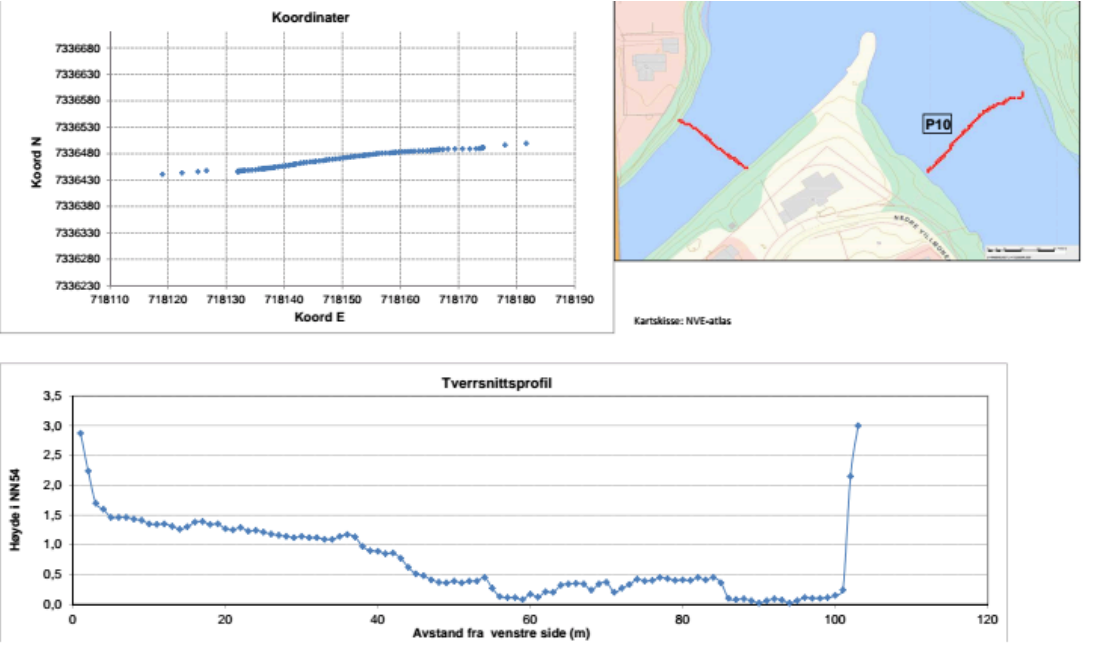


**Figur 11:**

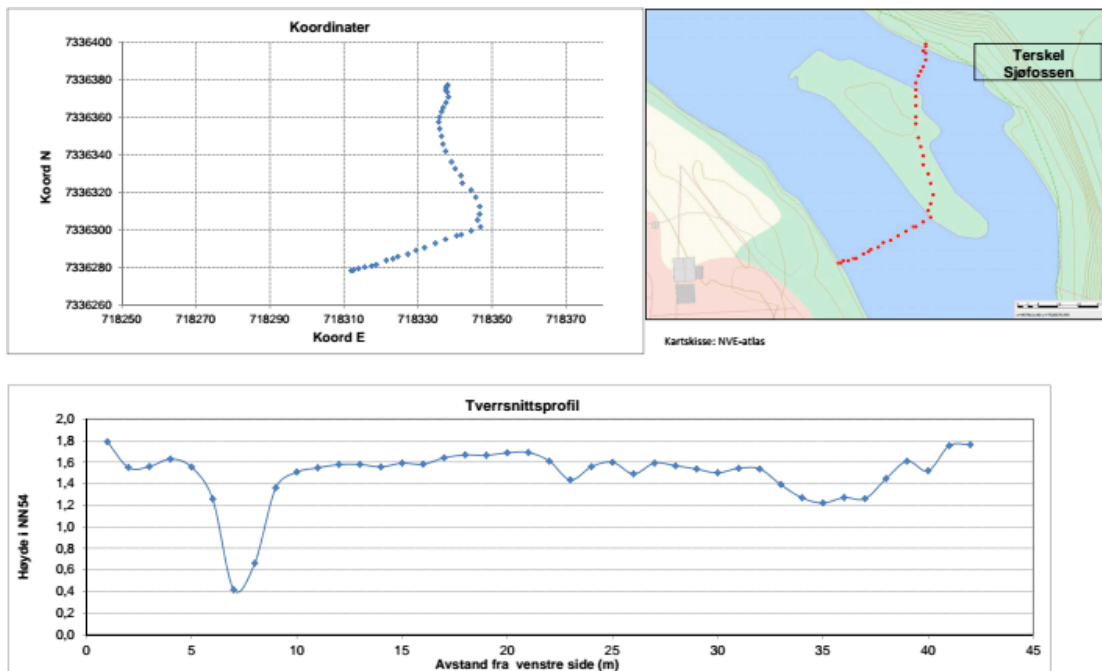
**Punkt P10 samt punkt P9 her av betydning for Sjøfossen, P9 er fra det gamle utløpet. Resterende punkter er ikke av betydning for oppgaven. Hydrateam 2014, med tillatelse fra Statkraft.**



Figur 12: Målinger ved terskel 9, fra Hydrateam, med tillatelse fra Statkraft. Målingene viser tverrsnittprofil og wirens plassering i koordinatsystem.



Figur 13: Målinger ved terskel 10 fra Hydrateam, med tillatelse fra Statkraft.



**Figur 14: Målinger Terskel Sjøfossen fra Hydrateam, med tillatelse fra Statkraft.**

Det som kommer fram fra disse tre målingene av tverrprofil er at Terskel P9 (eksisterende utløp) ligger vesentlig lavere og samtidig ut i fra felt observasjoner har en mer uniform geometri opp til sitt utløp.

Laveste nivå ved tverrprofil P10 er ved 0 m.o.h. Mens overgangen der Sjøfossen renner ut i Nedre Røssåga er på rundt -4 m.o.h. ut fra målingene i punkt P9. Dette betyr at vi får en brå overgang eller terskel mellom punkt P10 og P9. Grunnforholdene i dette området har dels mye siltholdig leire, og siltholdig sand mot sjøfossen. Radaren klarte ikke avdekke leire av erosjonsmessig betydning verken oppe ved Sjøfossen eller i strekket mellom terskel Sjøfossen og P10 (ca. 200 meter mellom punktene) men disse målingen kan som årsak av høyt vannnivå være av betydelig feilmargin.

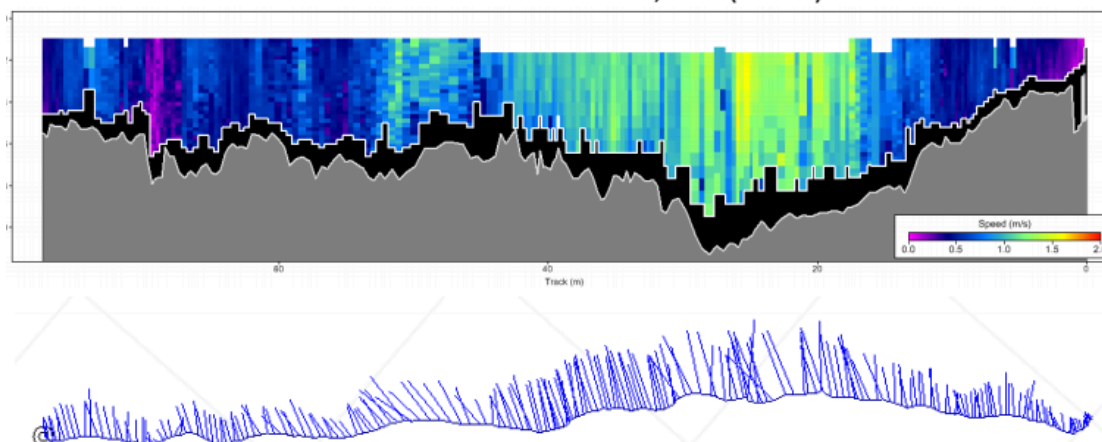
I tillegg vil utløpskanalen ligge på -1 m.o.h og vinkle ut og opp mot elveleiet. Her vil det trolig ikke oppstå sterke endringer da området er blitt vesentlig erosjonssikret med grovstein. Ruheten i elvebunnen som følger av sikringen vil antagelig dempe energien vannet vil ha for å sette materiale i transport.

Terskel Sjøfossen viser blant annet at dypeste punkt ligger på venstre side (sett oppover elven). Laveste nivå er her på 0.4 m.o.h som faller ca. 40 cm på 200 m ned til P10.

Videre viser målingen fra den akustiske doppleren følgende:

# Wire 1 - 37,6 m<sup>3</sup>/s målt 14.10.2014 kl. 14:25

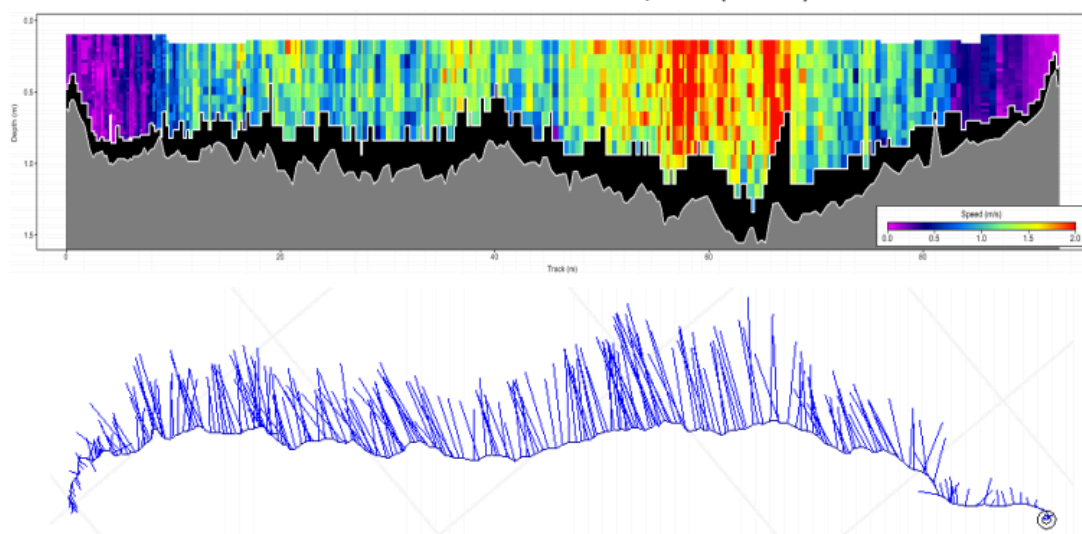
Vannstand nivellert til 2,05 m (NN-54) kl. 13:41



Figur 15: Akustisk doppler-måling ved Wire 1, hastighet 37,6 m<sup>3</sup>/s, Fra Hydrateam, med tillatelse fra Statkraft. .

# Wire 1 - 85,0 m<sup>3</sup>/s målt 15.10.2014 kl. 12:31

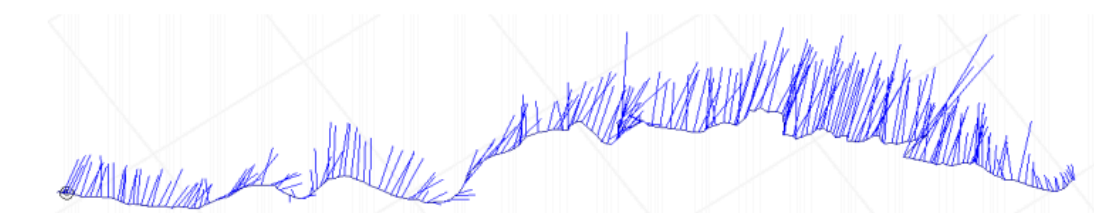
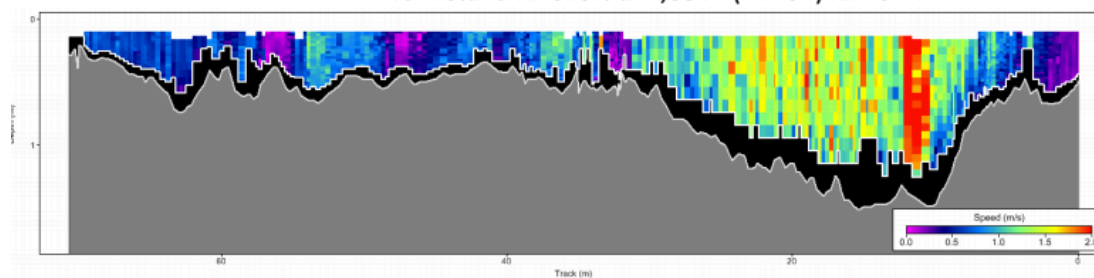
Vannstand nivellert til 2,41 m (NN-54) kl. 13:34



Figur 16: Akustisk doppler-måling ved Wire 1, hastighet 85.0 m<sup>3</sup>/s, Fra Hydrateam, med tillatelse fra Statkraft.

## Wire 2 – 37,6 m<sup>3</sup>/s målt 14.10.2014 kl. 16:05

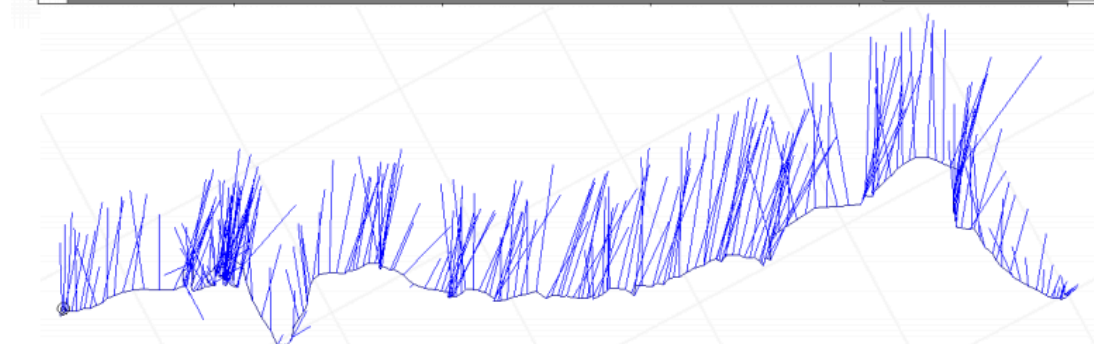
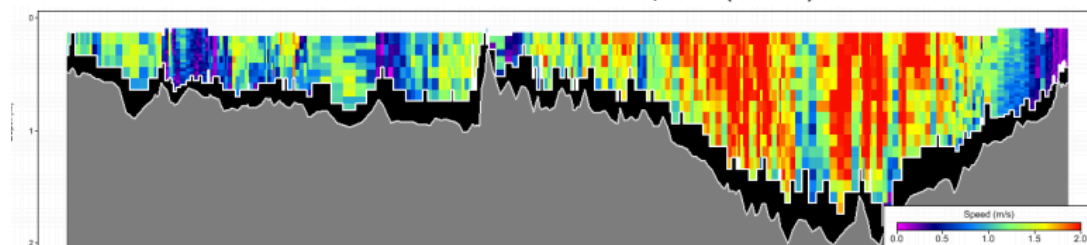
Vannstand nivellert til 1,88 m (NN-54) kl. 13:47



Figur 17: Akustisk doppler-måling ved Wire 2, hastighet 37.6 m<sup>3</sup>/s, Fra Hydrateam, med tillatelse fra Statkraft..

## Wire 2 – 85,0 m<sup>3</sup>/s målt 15.10.2014 kl. 12:55

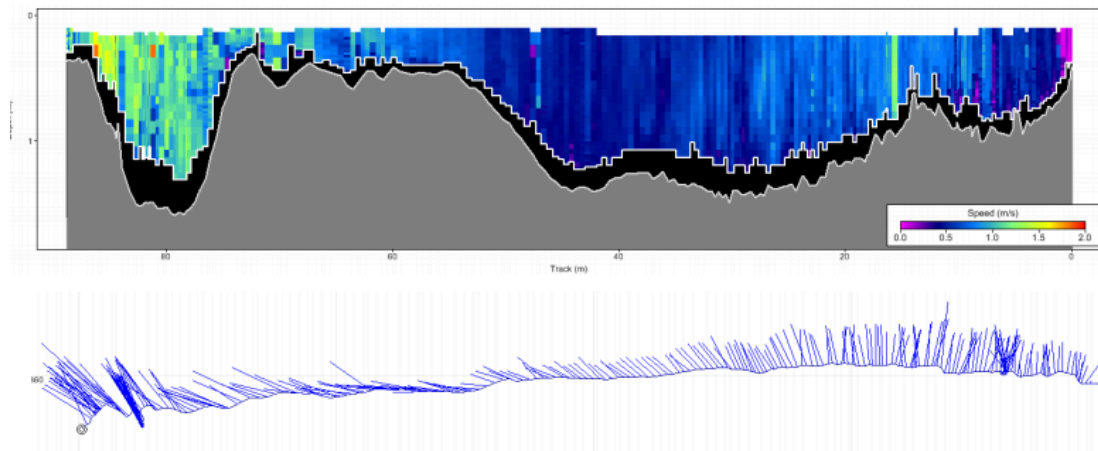
Vannstand nivellert til 2,42 m (NN-54) kl. 13:38



Figur 18: Akustisk doppler-måling ved Wire 2, hastighet 85.0 m<sup>3</sup>/s, Fra Hydrateam, med tillatelse fra Statkraft.

## Wire 3 - 37.6 m<sup>3</sup>/s målt 14.10.2014 kl. 15:14

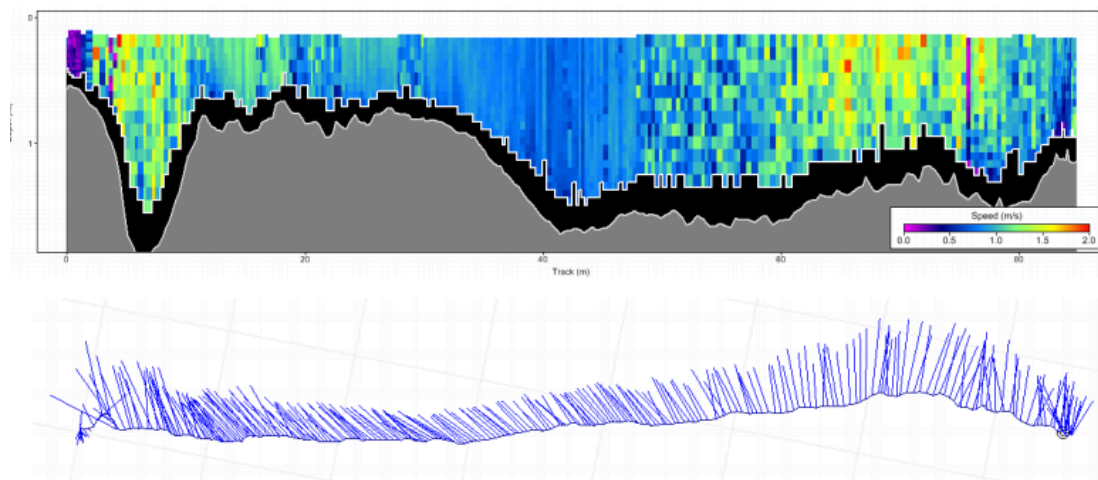
Vannstand nivellert til 1,78 m (NN-54) kl. 13:50



**Figur 19:** Akustisk doppler-måling ved Wire 3, hastighet 37.6 m<sup>3</sup>/s, Fra Hydrateam, med tillatelse fra Statkraft.

## Wire 3 - 85,0 m<sup>3</sup>/s målt 15.10.2014 kl. 13:07

Vannstand nivellert til 2,24 m (NN-54) kl. 13:42



**Figur 20:** Akustisk doppler-måling ved Wire 3, hastighet 85.0 m<sup>3</sup>/s, Fra Hydrateam, med tillatelse fra Statkraft.

Målingene viser tydelig en hastighetskonsentrasjon i dypålen til høyre i profilene, dette er da også høyre side av elven sett nedover. Følgelig vil også mengden vann være av størst konsentrasjon i dette området. I wire 3 (figur 20 og 21) ser vi et mer utspredd



hastighetsmønster som årsak av endret bunnprofil, denne profilen vil endre seg nedstrøms og bli mer lik wire 2 (figur 18 og 19) helt frem til P10.

### 7.1.3 Potensielle endringer

Hva kan man si om dette 500 m lange området og hvordan det vil utvikle seg i fremtiden? Ut i fra det som kommer frem i resten av oppgaven i kombinasjon med tverrprofilmålinger av området kan man få en ganske god idé over hvordan framtidige hydrologiske endringer vil fremtre. Det blir tilnærmet umulig å si noe eksakt om geomorfologiske endringer, men man kan komme med bestemte indikasjoner innen et visst rammeverk basert på funnene som allerede eksisterer.

Det som nevnes i Williams and Wolman (1984) er at kanaler med tilknytning til strømproduksjon og regulering ofte oppnår en kanalutvidelse, kontra uregulerte elver som vil få dypere og mer innsnevrede løp. Med utgangspunkt i modellen til Brandt (2000) er det tre scenarier som virker sannsynlige:

Case 7: (høy)  $Q + L < K$

Når vannføringen øker, og strømmen har lavt sediment innhold, vil effekten mest trolig manifestere seg i et økt tverrsnittet i selve kanalen, gjennom erosjon av enten elvebunn og banker eller begge. Elveterrasser, pools og andre tidligere avsetninger vil erodere. Også riffles kan erodere, men antagelig også virke mer som sedimentfangere avhengig av den konkrete tilgangen. Det kan oppstå elvebunnsarmering hvis det tidligere materiale er grovere enn det eventuelt øverste degraderte laget.

#### Case 8: (høy) $Q + L = K$

Som nevnt ovenfor vil vi se en økning i tverrsnitt når vannmengden øker. I dette tilfellet der sediment og kapasitet matcher vannføringen burde man ikke forvente verken økt erosjon eller avsetninger, men heller balanse. Erosjon ved pools og avsetning ved riffles kan forventes, samt en overgang til mer planformet mønster relatert til høyere vannføring.

#### Case 9: (høy) $Q + L > K$

I siste case ser man økt vannhastighet og overfylling av sedimenter i transport, et scenario som i likhet med case 6 kan påstås å være sjeldent, men kan oppstå som årsak av damspyling (Flushing). Igjen ser vi at tverrsnittet også her vil øke, og man vil potensielt få tydelige avsetninger som vil kunne heve elvebunnen. Det har vært funn som indikerer at slike hyperkonsentrerte strømminger kan føre til voldsom erosjon som årsak av økt skuring, men dette vil avhenge sterkt av hvor motstandsdyktig elvebunnen er samtidig som tilgangen på sedimenter må være tilstrekkelig (Brandt, 2000).

Utover mine antagelser kommer det også en tiltaksrapport fra Ferskvannsbiologen AS inn i prosessen. Dette er et samarbeid mellom sistnevnte bedrift, Norconsult og Statkraft, der følgende konklusjon foreligger:

#### *“Forslag til tiltak*

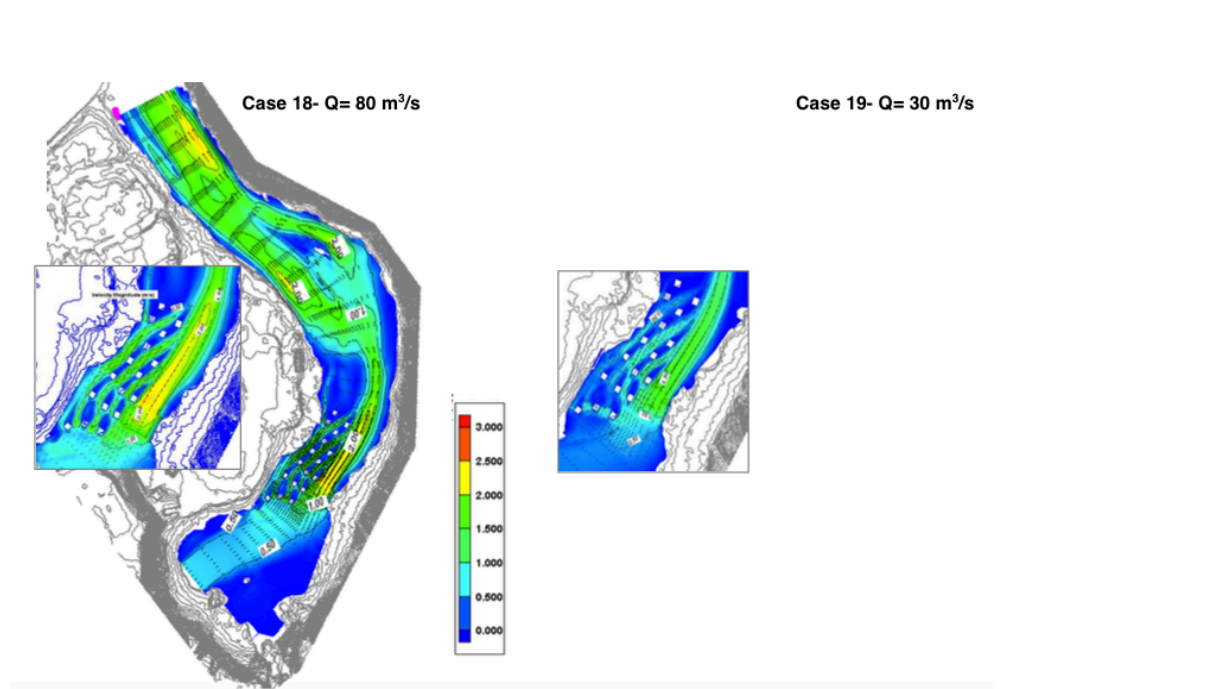
*Vurdert ut fra de beregninger som er gjennomført, hensyn til grad av tunge inngrep og ønska effekter for fisk, har vi kommet frem til at den beste løsningen for Sjøforsløpet vil være å ta utgangspunkt i case 18, men i tillegg fjerne/senke holmen midtveis ned i Sjøforsløpet og bryte opp strømforholdene i nedre del ved utlegging av noe stor stein. Den økte kompleksiteten i bunnssubstratet som dette forslaget vil innebære, antas å ville skape stor variasjon i vannhastigheter og en generell senkning av vannhastighetene spesielt ned mot bunnen. Tiltaket vil i liten grad endre elvas opprinnelige løp, og vil dermed redusere risikoen for erosjon i toppdekket og langs elvebreddene.*

*Tiltaket krever at dypålen som skal etableres som en forlengelse av utløpskanalen fra kraftverket plastres godt for å hindre erosjon. Det er også behov for å sortere bunnssubstratet*

langs øvre, venstre halvdel av elva. Dette er delvis utført i forbindelse med fjerning av skog og toppdekket, men bør videreføres ved bruk av bedre egnet utstyr. Utsortert finstoff bør fjernes fra elva. Det må også vurderes om det skal tilføres noe egnet bunnsubstrat (fra grustak på Bjuråmoen). Utlegging av stor stein og steingrupper er det viktigste enkeltelementet i foreslått tiltaksløsning. Her skal store, naturlige steinblokker, som i dag ligger inne på land øverst i elva, samt store steinblokker som ligger ute i fossekulpen der hvor utløpskanalen vil graves ut, flyttes ut i elva i henhold til prinsipp som fremgår av case 18. Det bør i tillegg legges ut store steinblokker /steingrupper i nedre halvdel av elva for å bryte opp strømningsbildet. “

(Kanstad-Hansen et al., 2014, p.15)

Case 18 i denne rapporten viser følgende, med utgangspunkt i strømningsmodellen CCHE-2D



**Figur 21:** Case 18 og 19 med utgangspunkt i CCHE-2D, fra Kanstad-Hansen et al. (2014). Her ser vi økte strømninger langs den høyre dypålen, men som samtidig fordeler seg noenlunde likt som tverrprofilmålingene fra Wire 3, men skiller seg noe fra wire 1 og 2.

Kombinerer man altså utvalgte case (7,8 og 9) med tiltaksrapporten og modelleringen fra Figur 22 ser vi at tilnærmingene til svar på endringsforhold beskrives litt forskjellig selv om målingene kan kombineres.

For å forklare dette nærmere kan man se at Kanstad-Hansen et al. (2014) i sin tiltaksvurdering snakker om at det ikke vil oppstå endringer i elvas originale løp. De vurderer det slik at

holmen nedenfor Sjøforsen må fjernes for å oppnå en større variasjon i bunn og strømningsforhold for å opprettholde en form for kompleksitet i bunnsubstratet.

I rapporten tar man også for seg erosjonssikring langs høyre del av dypålen for å opprettholde dens funksjon.

Det man kan si seg enig i er at elveløpet utad ikke vil endre seg, men hva som menes med dette er diffust. Er det snakk om elveleiet vi ser fra luften, altså hele kanalen slik den ligger i landskapet eller er det de endringene som oppstår ”innad” i elveløpet?

Ser man på elveløpet ”utad” vil det ikke oppstå særlige endringer, det vil også på grunn av erosjonssikring begrense seg noe ”innad” i løpet.

Ut fra litteratur og teori (Graf, 2006; Leopold & Wolman, 1957; Williams & Wolman, 1984; Wohl, 2012) skiller rapporten seg noe.



**Figur 22:** Flyfoto som viser forskjell i ”strandlinje” mellom 1948 og 2009. Hentet fra (Kanstad-Hansen et al., 2014)

Vi ser fra figur 23 at elven har endret seg drastisk som årsak av regulering. Ut fra bildene ser vi en morfologi som har en bredere og mer utviklet dypkanal, mot et mer forgrenet/anastomos bunnforhold slik det er i dag. Det er tydelig at det har skjedd en vesentlig oppsamling og aggradering av sedimenter slik dagens situasjon fremstår. Det som kan påstås er at en erosjonssikring langs høye kant av dypålen i kombinasjon med økt vannføring som er mer likt preregulering vil føre til en kanalutvidelse gjennom dypålen, som neppe vil bli dypere da erosjonskreftene vil ha mulighet til å sette bunnssubstratet langs venstre kant enklere i bevegelse. Petts and Gurnell (2005) forklarer tidligere i oppgaven at om vannregimet endrer seg vil kanalløpet endre seg. Det vil helt klart skje en forandring men den vil som årsak av utførte tiltak ikke bli lik 1948, men vi kan påstå følgende:

- Dypålen vil ikke bli dypere, men vil ha en begrenset utvidelse fra høyre mot venstre, sett nedover fra sjøforsen.
- Terskelen mellom det nye og gamle utløpet vil endre seg med at dypålen vil bli mer markant og ferdig utviklet en hva som framkommer av figur 23 (utgangspunkt 2009).
- I tråd med at vannhastigheten vil forbli lav, er det altså snakk om lavstrømningskanaler med stor  $m^3/s^{-1}$  kapasitet.
- Noe leire er avdekket i øvre del av sjøforsen mens det i nedre del består av en klar sand, grus og småsteinssammensetning. Dette er i dag meget tilslammet og ubrukelig for fiks. Reguleringen vil trolig i denne sammenheng være gunstig i og med at det vil aktivisere bunnssubstratet i et område som har vært brakk.
- Grunnet tilsig fra det originale elveløpet vil det også være tilgang på sedimenter, hvorvidt dette vil ha noen form for betydning vil være vanskelig å si noe om uten et mer konkret studie.



## 8.0 EN GEOMORFOLOGISK SLUTNING

Dette kapitlet har som formål å forene trådene fra hele oppgaven. Selv om studiet er reviewbasert vil det settes opp en diskusjonsformet avslutning.

### 8.1 Geomorfologi innen hydrologi

For det første kommer ikke fluvialgeomorfologisk litteratur utenom hydrologiske perspektiv. Ut fra typiske vannføringer som manifesterer seg som høy og lavvannføring og som er typisk for regulerte vassdrag basert ut fra et årlig gjennomsnittvannføring i tråd med Graf (2006) og annen forskning, ser man at vannet påvirker hvordan elvekanaler utformer seg.

Typiske trekk for regulerte elver er reduserte maksimumvannføringer som betraktes under segmentet høyvannføring. Som årsak er lavstrømningskanaler mer vanlige etter regulering enn før regulering. Slike kanaler har en geomorfologisk form der man ofte ser en forandring fra dypåler som har høy kubikk-kapasitet til mer utflatende og grunner løp.

På den ene siden kan dette muligens forklares ut fra at dypåler som ofte oppstår i uregulerte vassdrag har mer variert vannføring med tanke på kraftigere flommer og over tid jevnere årlig normalvannføring kontra for eksempel typiske hydropeaks. Det som da skjer er at elven tilpasser deler av elven til å ta unna for slike kraftige flommer, mens det i samme tverrsnitt også vil ha grunnere områder som vil fungere mer som hastighetsbuffer og friksjonsdempere under flom. Under de varmeste delene av somrene vil også disse områdene ligge tørr, mens dypålene opprettholder de kritiske elvefunksjonene gjennom kontakt med grunnvann og en kontinuerlig vannføring, med andre ord en naturlig tilpasning til residualstrømninger.

På den andre siden er det blant annet som beskrevet i Petts and Gurnell (2005) slik at en endring i vannregimet fører til endring i kanalens løpsmønster. Når man har effektkjøring i regulerte vassdrag, altså ulike former for Hydropeaks der man ofte ser kontinuerlig endring fra høy til lavvannføringstopper, men som enda kan sies å være langt fra nivået til et naturlig flomscenario og normalvannføring i prereguleringsperspektiv, kommer det frem at kanaler gjerne oppnår en kanalutvidelse. Det som kanskje ikke kommer særlig godt frem i litteraturen derimot, er hva som menes med en kanal, her er beskrivelsen fra geomorfologer sin side veldig diffus. Det er i noen tilfeller snakk om en endring i hele elvetverrsnittet mens det andre

ganger er snakk om endringer i en kanal innad i tverrsnittet. Tilbake fra denne digresjonen ser vi videre på kanalutvidelser. Ofte endrer vannet på faktorer som dybde, bredde og helningsgrad i henhold til utløpskanaler. Med bakgrunn i Brandt (2000) som modellerer ulike case ut fra ulike regulasjonsscenarioer ser vi at kanalutvidelse skjer i ulike former som er for vidstrakt for å diskutere i dybden, men illustrere poenget med å analysere fremtidens endringer og hvor krevende dette er. Ser vi igjen tilbake til Graf (2006) generaliserte endringsbeskrivelse og i tråd med bevegelsesmønstrene forklart fra Leopold and Wolman (1957); Williams and Wolman (1984) kan man prøve å anta at de typiske forholdene oppstår som årsak av at elven ikke lengre har en vannføring som klarer å opprettholde preregulert morfologi. Det som skjer kan være at vann som alternerer betydelig fra høy- til lavvannføring (ofte fra døgn til døgn) har større behov for å dempe både hastigheten og vannføringen, en større dypål kan tenkes å være ”for stor” da den er dimensjonert til andre forhold som ikke ganger det nye regimet. Det som skjer er at grunnere områder både vil ha mulighet til å ta unna for vannet, men også virke som en større friksjonsdemper og samtidig skape mer turbulente og ”ikke lineære” strømninger i bunnelaget til vannet. Dette vil blant annet være veldig typisk for sedimentfattig vann (Hungry water) som vil ha mye overskudd av energi, som igjen vil være med å påvirke erosjonskraften slik at vannet ikke vil ha like ”sandblåsende” effekt på omgivelsene enn hva som er tilfellet med uregulerte elver.

## **8.2 Geomorfologi innen biologi**

De fleste vil antagelig være enig i at det er mange variabler som påvirker økologiske forhold relatert til biologi. Bidraget fluvialgeomorfologi har, burde ut fra denne oppgaven gi en forståelse for hvorfor spesielt denne faggrenen burde være viktig innen slik forvaltning i kobling med hydrologi. Først og fremst er hydrologi i Norge veldig ingeniørteknisk, men å forvalte hydrologiske perspektiver gjennom fluvialgeomorfologi kan og bør være et viktig aspekt innen biologi.

For det første kommer det tydelig fram fra blant annet Johnsen et al. (2011); Norton and Henriksen (1983) at styringsmekanismene som ligger til grunne for opprettholdelse eller endringer av habitat og biotoper er direkte korrelert til vannføring, form og vannets sammensetning av forskjellige stoffer i alt fra mineraler og gasser, til plankton og alger.



Fra et fluvialgeomorfologisk perspektiv handler dette konkret om at økologi i form av biologiske habitat og biotoper ofte er sterkt knyttet til og utviklet på bakgrunn av hvordan morfologiske endringer har formet elvesystemet. For eksempel kan dette være hvordan vannet har sortert bunnssubstratet som igjen er en ekstremt viktig korrelasjon i henhold til gyteforhold.

Det er også slik at man som årsak av gyteforhold og økologi gjerne etterfyller grus i regulerte vassdrag for å opprettholde deler av elvestrekk som tidligere har vært dokumentert som gyteplasser, men som årsak av for eksempel finsedimentering ikke lengre kan brukes. Som følge av dette er det dermed ofte aktuelt å lage nye kunstige gytegroper. Her kan og burde fluvialgeomorfologien spille en meget sentral rolle i områdeutvelgelses og designprosess. Først og fremst kan det kartlegges hvilke områder som er mest utsatt for erosjon og eller silting, i kombinasjon med tilstrekkelige vannføring. Hvis slike kriterier må skapes fordi de ikke oppstår naturlig vil det for en geomorfolog være mulig å kunne designe slike områder i tråd med de rådende landskapsforhold og dets morfologiske historie.

For det andre vil dette føre til at geomorfologer har et stort fortrinn relatert til miljøforhold, og forbundet risiko basert på ulike scenarier.

I tråd med punktene over kan man med andre ord påstå at litteraturen som blir presentert kan stå for kontribusjoner som kan spille en rolle i planlegging, oppfølging og gjennomføring av både før- og etterscenarier relatert til kraftutbygging. Tverrfaglige plattformer innen dette arbeidsmarkedet og akademia vil kunne nyte godt av en unik forståelse av lateral og vertikal konnektivitet som kan bidra med en fornyet utforming av miljø og risikoanalyser. Dette kan være alt fra planlegging av flombeskyttelse til beregning av normalvannføringer opp mot det oppgaven kaller kritiske elvefunksjoner og residualstrømninger.

### **8.3 Geomorfologi innen forvaltning**

Geomorfologi som fagdisiplin jobber ofte innen holistiske rammer, og med tanke på romlige og temporære endringer burde dette gi et godt grunnlag for en utvidet og mer miljøsensitiv elveforvaltning der kapasitet, konnektivitet og driver-responsvariablene får større spillerom. Det er bred enighet om at tingenes tilstand i dag er for ingeniørvinklet. Forståelsen for en felles plattform står derimot sterkt innen den geomorfologiske fagkretsen, men på langt nær utenfor kretsen. (Gregory et al., 2008), (Wohl, 2012), (Newson et al., 2012), (Gregory, 2006).

Forvaltningen er dessuten også preget av at det i Norge helt siden miljø kom på agendaen har vært biologi som har vært rådende innen naturfag. Jobben videre vil altså gå ut på å bryte et regime som allerede står sterkt. Spørsmålet blir igjen om fluvialgeomorfologien blir et overflødig ledd eller et viktig fremtidig bidrag? Det som er helt sikkert er at faget har en meget viktig forståelse for delene og helheten, som igjen vil kunne ha stor betydning for fremtiden. Ofte ser man blant annet at problemer oppstår som en årsak av manglende kunnskap på flere områder der geomorfologer besitter betydelig kunnskap. Dette er forhåpentligvis noe som har kommet klart frem gjennom hele oppgaven. Vi snakker muligens om det manglende ledd kontra det overflødige.

## 9.0 KONKLUSJON

Ut fra oppgaven kan det konkluderes med at fluvialgeomorfologi og geomorfologen i seg selv kan spille en viktig rolle i fremtidens elveforvaltning. Det kommer frem at forståelsen for landskapsendrende prosesser er noe verken hydrologer eller biologer er godt innforstått med. Som fluvialgeomorfolog ville man Problemet er at det enda finnes for lite litteratur på området, spesielt i Norge.

Det mangler en viss gjennomslagskraft til å bryte gjennom overflaten til de mer tekniske og biologiske aspektet som styrer i dag.

Et viktig bidrag vil være flere oppgaver på alt fra master til doktorgradsnivå, der man må jobbe mer i samhandling med et arbeidsmarked framfor bare "ren" akademia.

En lettforståelig arbeidstilnærming som kan overføre akademiske perspektiv enklere inn i vannkraftindustrien. Videre må det også være fokus på samarbeid med institusjoner som NVE, der beslutningstakere sitter med stort ansvar for hydroelektriske utbyggingsprosjekt.

For å si noe spesifikk rundt rollen til geomorfologer er det klart at plattformen rundt et tverrfagligsamarbeid virker å være en ting for fremtiden, men mye jobb kreves før man kan si at man er i mål. For 20 til 30 år siden var til og med biologi av mindre betydning, dette viser at man gjennom konkrete bidrag og iherdig jobbing kan ta plass i forvaltningen som er rådende til en hver tid.

Videre håper jeg også at reviewbaserte oppgaver som denne ikke blir den siste. Målet var ikke en revolusjoner tekst, men en mulighet for å ta utgangspunkt i noe som var annerledes, som også sett bort fra tematikk kanskje kan gi en økt tilvekst av nye geografer som ser at naturgeografi og geomorfologi kan favne bredt og i ulike former og format.

## 9.1 Forslag til fremtiden

- Det må utvikles modeller som lett lar seg modifisere.
- Disse modellene må besitte en overførbarhet på tvers av ulike områder.
- Utvikling av en norsk standard for geomorfologiske elvetylogier under ulike forhold og medfølgende variabler.
- Et utvidet samarbeid med kraftprodusenter og andre forskning og utdanningsinstitusjoner som allerede har jobbet innen området lenge. Som samtidig besitter kunnskap som geomorfologer kan utvikle videre og modifisere ut fra sine prinsipper.
- Noe av det viktigste vil muligens være å promotere seg selv, og forklare hvorfor denne typen kunnskap er et manglende ledd. Om dette må starte allerede gjennom utdanningen mener jeg er helt essensielt. Fluvialgeomorfologistudenter må tørre å våge seg ut til større bedrifter, og tørre å ta del i prosjekter som krever våre løsninger.

## LITTERATURLISTE

- Assani, A. A., & Petit, F. (2004). Impact of Hydroelectric Power Releases on the Morphology and Sedimentology of the Bed of the Warche River (Belgium) *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, 133-143.
- Brandt, S. A. (2000). Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena*, 40, 375-401.
- CEDREN. (2009a). About CEDREN. Retrieved April 30, 2015, from <http://www.cedren.no/About-CEDREN>
- CEDREN. (2009c). CEDREN [Press release]
- Charmasson, J., & Zinke, P. (2011). Mitigation Measures Against Hydropeaking Effects (Vol. 1, pp. 51): SINTEF.
- Church, M. (2002). Geomorphic thresholds in riverine landscapes. *Freshwater Biology*, 47(4), 541-557.
- Downs, P. W., Dusterhoff, S. R., & Sears, W. A. (2013). Reach-scale channel sensitivity to multiple human activities and natural events: Lower Santa Clara River, California, USA. *Geomorphology*, 189, 121-134. doi: 10.1016/j.geomorph.2013.01.023
- EU. (2015). The EU Water Framework Directive - integrated river basin management for Europe. Retrieved April 27, 2015, from [http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index\\_en.html](http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html)
- Fergus, T. (1997). Geomorphological response of a river regulated for hydropower: River Fortun, Norway. *Regulated Rivers: Research & Management*, 13, 449-461.
- Fette, M., Weber, C., Peter, A., & Wehrli, B. (2007). Hydropower production and river rehabilitation: A case study on an alpine river. *Environmental Modeling & Assessment*, 12(4), 257-267. doi: 10.1007/s10666-006-9061-7

- Gendaszek, A. S., Magirl, C. S., & Czuba, C. R. (2012). Geomorphic response to flow regulation and channel and floodplain alteration in the gravel-bedded Cedar River, Washington, USA. *Geomorphology*, *179*, 258-268.
- Gilvear, D. J. (1999). Fluvial geomorphology and river engineering: future roles utilizing a fluvial hydrosystems framework *Geomorphology*, *31*, 229-245.
- Graf, W. L. (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology*, *79*(3-4), 336-360. doi: 10.1016/j.geomorph.2006.06.022
- Gregory, K. J. (2006). The human role in changing river channels. *Geomorphology*, *79*(3-4), 172-191. doi: 10.1016/j.geomorph.2006.06.018
- Gregory, K. J., Benito, G., & Downs, P. W. (2008). Applying fluvial geomorphology to river channel management: Background for progress towards a palaeohydrology protocol. *Geomorphology*, *98*(1-2), 153-172. doi: 10.1016/j.geomorph.2007.02.031
- Gumiero, B., Mant, J., Hein, T., Elso, J., & Boz, B. (2013). Linking the restoration of rivers and riparian zones/wetlands in Europe: Sharing knowledge through case studies. *Ecological Engineering*, *56*, 36-50. doi: 10.1016/j.ecoleng.2012.12.103
- Hynes, H. B. N. (1970). *The Ecology of Running Waters*. (Vol. 555). Liverpool: Liverpool University Press.
- Johnsen, B. O., Arnekleiv, J. V., Asplin, L., Barlaup, B. T., Næsje, T. F., Rosseland, B. O., . . . Tvede, A. (2011). Hydropower Development – Ecological Effects. In Ø. Aas, S. Einum, A. Klemetsen, & J. Skurdal (Eds.), *Atlantic Salmon Ecology* (pp. 351-385). Oxford, UK.: Blackwell Publishing Ltd.
- Kanstad-Hansen, Ø., Jenssen, L., & Næss, T. (2014). Habitatfremmende tiltak ved Sjøforsen ifbm. bygging av nye Nedre Røssåga Kraftverk (Vol. Del 1, pp. 1-19).
- Koksvik, J. I., & Reinertsen, H. (2008). Changes in macroalgae and bottom fauna in the winter period in the regulated Alta river in northern Norway. *River Research and Applications*, *24*, 720-731.
- Lauterbach, D., & Leder, A. (1969). The influence of reservoir storage

on statistical peak flows. *IASH Publ*, 85, 821-826.

Leopold, L. B., & Wolman, M. G. (1957). River channel patterns: braided, meandering and straight. *Geological Survey Professional Paper*, 282(B), 39-84.

Miljødirektoratet. (1984). Samlet plan for vassdrag: Hovedrapport (Vol. 1, pp. 240): Miljødirektoratet.

Miljødirektoratet. (2010, 2013). Samlet plan for vassdrag. Retrieved Februar 12, 2015, from <http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Vannforvaltning/Samlet-plan-for-vassdrag/>

Newson, M., Sear, D., & Soulsby, C. (2012). Incorporating hydromorphology in strategic approaches to managing flows for salmonids. *Fisheries Management and Ecology*, 19(6), 490-499. doi: 10.1111/j.1365-2400.2011.00822.x

Norton, S. A., & Henriksen, A. (1983). The importance of CO<sub>2</sub> in evaluation of effects of acid deposition. *Vatten*, 39, 346-354.

NVE. (2009). Program Miljøbasert vannføring. Retrieved Mai 1, 2015, from <http://www.nve.no/no/Vann-og-vassdrag/Vassdragsmiljo/Prosjekt-miljobasert-vannforing/>

NVE. (2014). Vannkraft. Retrieved Februar 12, 2015, from <http://www.nve.no/no/Energi1/Fornybar-energi/Vannkraft/>

Orr, H. G., Large, A. R. G., Newson, M., & Walsh, C. L. (2008). A predictive typology for characterising hydromorphology. *Geomorphology*, 100, 32-40.

Petts, G. E., & Gurnell, A. M. (2005). Dams and geomorphology: Research progress and future directions. *Geomorphology*, 71, 27-47.

Pizzuto, J. (2002). Effects of Dam Removal on River Form and Process. *BioScience*, 52(8), 683-691.

Rosseland, B. O., & Hindar, A. (1991). Mixing Zones – A Fishery Management Problem. In H. Olem, R. K. Schreiber, R. W. Brocksen, & D. B. Porcella (Eds.), *Internasjonal*

- Lake and Watershed Liming Practices* (pp. 161-172). Chelsea, Michigan: Lewis Publishers.
- Sear, D., & Newson, M. D. (2002). Environmental change in river channels: a neglected element. Towards geomorphological typologies, standards and monitoring *The Science of the Total Environment*, 310, 17-23.
- Sear, D., Newson, M. D., & Brooks, A. (1995). Sediment - related river maintenance: The role of fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20(7), 629-647.
- Statkraft. (2009). Vannkraft (pp. 2).
- Sulebak, J. R. (2007). *Landformer og prosesser*. Bergen: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.
- Surian, N. (1999). Channel Changes due to River Regulation: The Case of Piave River, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, 1135-1151.
- Tena, A., Książek, L., Vericat, D., & Batalla, R. J. (2013). Assessing the Geomorphic Effects of a Flushing Flow in a Large Regulated River. *River Research and Applications*, 29(7), 876-890. doi: 10.1002/rra.2572
- Turmo, P. (2013). Menneskelig påvirkning av elvesystemer: Med spesielt fokus på damkonstruksjoner og elveregulering i et fluvialgeomorfologisk perspektiv . *Naturgeografisk seminar, Semesteroppgave GEOG 3509* 1-19.
- Tvede, A. (1993). Hydrologi. In P. E. Faugli, A. H. Erlandsen, & O. Eikenæs (Eds.), *Inngrep i vassdrag; konsekvenser og tiltak – En kunnskapsoppsummering*. (Vol. 13, pp. 67-95): NVE-Publikasjon.
- Williams, G. P., & Wolman, M. G. (1984). Downstream effects of dams on alluvial rivers. *Geological Survey Professional Paper*, 1286, 1-83.
- Winterbottom, S. J., & Gilvear, D. J. (2000). A gis-based approach to mapping probabilities of river bank erosion: Regulated River Tummel, Scotland. *Regulated Rivers: Research & Management*, 16, 127-140.



Wohl, E. (2012). Identifying and mitigating dam-induced declines in river health: Three case studies from the western United States. *International Journal of Sediment Research*, 27(3), 271-287. doi: 10.1016/s1001-6279(12)60035-3