

1954

NINA Rapport

Kvalitetsnorm for villaks: Nedskriving av tilstandsklasse i regulerte vassdrag med fraføring av vann

Anders Foldvik, Grethe Robertsen, Ola Ugedal, Eli Kvingedal og Line Sundt-Hansen



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er NINAs ordinære rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på engelsk, som NINA Report.

NINA Temahefte

Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. Heftene har vanligvis en populærvitenskapelig form med vekt på illustrasjoner. NINA Temahefte kan også utgis på engelsk, som NINA Special Report.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler og i populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Kvalitetsnorm for villaks: Nedskrivning av tilstandsklasse i regulerte vassdrag med fraføring av vann

Anders Foldvik
Grethe Robertsen
Ola Ugedal
Eli Kvingedal
Line Sundt-Hansen

Foldvik, A., Robertsen, G., Ugedal, O., Kvingedal, E. & Sundt-Hansen, L. 2021. Kvalitetsnorm for villaks: Nedskrivning av tilstandsklasse i regulerte vassdrag med fraføring av vann. NINA Rapport 1954. Norsk institutt for naturforskning.

Trondheim, mars 2021

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-4732-0

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Kjetil Hindar

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Tonje Aronsen (sign.)

OPPDRAUGSGIVER

Miljødirektoratet

OPPDRAUGSGIVERS REFERANSE

M-2004|2021

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Helge Axel Dyrendal

FORSIDEBILDE

Nordelva i Skjomenvassdraget. Denne elva er fraført en stor andel av vannføringa. © Anders Foldvik/NINA

NØKKEWORD

- Gytebestandsmål
- Laks
- Klassifiseringssystem
- Vannkraftregulering
- Vassdragsinngrep
- Kvalitetsnorm for ville bestander av laks
- *Salmo salar*

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor
Postboks 5685 Torgarden
7485 Trondheim
Tlf: 73 80 14 00

NINA Oslo
Sognsveien 68
0855 Oslo
Tlf: 73 80 14 00

NINA Tromsø
Postboks 6606 Langnes
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 04 00

NINA Lillehammer
Vormstuguvegen 40
2624 Lillehammer
Tlf: 73 80 14 00

NINA Bergen
Thormøhlens gate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Foldvik, A., Robertsen, G., Ugedal, O., Kvingedal, E. & Sundt-Hansen, L. 2021. Kvalitetsnorm for villaks: Nedskrivning av tilstandsklasse i regulerte vassdrag med fraføring av vann. NINA Rapport 1954. Norsk institutt for naturforskning.

Kvalitetsnorm for ville bestander av laks (*Salmo salar*) ble vedtatt ved kongelig resolusjon i 2013 med hjemmel i Naturmangfoldloven. Formålet med kvalitetsnormen er å bidra til at ville laksebestander ivaretas og gjenoppbygges til en størrelse og sammensetning som sikrer mangfold innenfor arten og utnytter laksens produksjons- og høstingsmuligheter. Kvalitetsnormen skal i utgangspunktet henvise til naturtilstanden. I kvalitetsnormen er det derfor vedtatt en delnorm som fastslår at gytebestandsmål og høstingspotensial skal nedskrives i tilfeller der inngrep, som fraføring av vann, har medført redusert produksjonskapasitet. Hvordan fraføring av vann påvirker lakseproduksjonen i en elv er hovedsakelig bestemt av hvor stor reduksjon i vanndekt areal fraføringen medfører. En vurdering av hvordan fraføring av vann påvirker vanndekt areal krever imidlertid kunnskap om forholdet mellom vannføring og vanndekt areal, noe som kun er kjent for et fåtall elver i Norge.

Som et første skritt i å utvikle metodikk som gjør det mulig å vurdere hvordan fraføring av vann påvirker lakseproduksjonen i norske elver, analyserer vi i denne rapporten sammenhenger mellom vannføring og vanndekt areal for strekninger fra 17 elver. Vannføring og vanndekt areal ble for hver elvestrekning standardisert til prosent av den vannføring og det vanndekte areal som tilsvarer breddfull elv. Disse sammenhengene ble kurvetilpasset en enkel funksjon for sammenheng mellom vannføring og vanndekt areal, og parameterestimater for hver elv ble funnet. Mulighetene for å forutsi formen på sammenhengen basert på egenskaper ved elvene ble undersøkt i og med at slik kunnskap er avgjørende for å kunne overføre metoden fra våre 17 utvalgte elver til elver hvor forholdet mellom vannføring og vanndekt areal er ukjent.

Den eneste elveegenskapen som hadde en signifikant forklaringsgrad på forholdet mellom vannføring og vanndekt areal, var hvor stor andel av elvestrekningen som bestod av sideløp. Ved å sammenligne observert sammenheng for hver elv med estimert sammenheng basert på de 16 andre elvene (jackknife-analyse), ble forskjeller i klassifisering i henhold til kvalitetsnormen undersøkt. Klassifisering basert på estimerte sammenhenger mellom vannføring og vanndekt areal var i stor grad lik klassifisering basert på observerte sammenhenger. Estimering av sammenhengen mellom vannføring og vanndekt areal ut fra sideløpsandel fremstår altså som et tilstrekkelig robust utgangspunkt for å klassifisere elver i henhold til kvalitetsnormen. For elver uten kjent forhold mellom vannføring og vanndekt areal kan et alternativ til estimering basert på sideløpsandel være å sammenligne flyfoto av disse elvene med flyfoto fra elver hvor det er kjente sammenhenger, og bruke parametere fra den av elvene med kjente forhold som har mest lik elvemorfologi.

Vi foreslår å bruke lavvannsindekser sommer og vinter som utgangspunkt for vurdering av nedskrivingsklasse, da dette er de mest biologisk relevante vannføringsmålene med tanke på hydrologiske flaskehalsen for lakseproduksjon. Estimater for uregulerte lavvannsindekser er mulig å skaffe for alle elver fra NEVINA, tilsvarende indikser for tilstand etter regulering kan trolig i de fleste tilfeller lages fra vannmålingsdata. Arealkompensasjon i form av laksetrapper kan enklest inkluderes ved å legge den prosentvise økningen i tilgjengelig areal på en gitt vannføring, direkte til prosent vanndekt areal etter fraføring.

Anders Foldvik, Grethe Robertsen, Ola Ugedal, Eli Kvingedal, Line Sundt-Hansen. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Postboks 5658 Torgarden, 7485 Trondheim. Epost: anders.foldvik@nina.no

Innhold

Sammendrag	3
Innhold	4
Forord	5
1 Innledning	6
2 Metode	8
2.1 Sammenheng mellom vannføring og vanndekt areal	8
2.2 Klassegrenser.....	14
2.3 Klassifisering.....	17
3 Oppsummering	21
4 Referanser	23

Forord

På oppdrag fra Miljødirektoratet har Norsk institutt for naturforskning (NINA) undersøkt metoder for å estimere reduksjon i produksjonsareal for laks som følge av fraføring av vann i regulerte vassdrag. Målet med arbeidet er å muliggjøre utvikling av enkle og robuste prosedyrer for å nedskrive tilstandsklasse i henhold til kvalitetsnormen for villaks. Vi takker for oppdraget og håper rapporten vil være nyttig i klassifiseringsarbeidet.

Trondheim, 29. mars 2021,

Anders Foldvik, forsker

Grethe Robertsen, prosjektleder

1 Innledning

Kvalitetsnorm for ville bestander av laks (*Salmo salar*) ble vedtatt ved kongelig resolusjon i 2013 med hjemmel i Naturmangfoldloven. Formålet med kvalitetsnormen er å bidra til at ville laksebestander ivaretas og gjenoppbygges til en størrelse og sammensetning som sikrer mangfold innenfor arten og utnytter bestandenes produksjons- og høstingsmuligheter. Kvalitetsnormen består av to delnormer: 1) gytebestandsmål og høstingspotensial og 2) genetisk integritet. I begge delnormene benyttes en femdelt skala til å klassifisere laksebestandene etter følgende inndeling: svært god, god, moderat, dårlig, svært dårlig (**tabell 1**).

Tabell 1. System for klassifisering av laksebestander etter kvalitetsnormen. Bestander klassifiseres i fem kategorier etter de to delnormene a) gytebestandsmål og høstingspotensial og b) genetisk integritet, som samles i en felles klassifisering. Målet er at bestandene minst skal ha god kvalitet – det vil si at bestanden plasseres innenfor en av de fire grønne rutene.

		Gytebestandsmål og høstingspotensial				
Genetisk integritet		Svært dårlig	Dårlig	Moderat	God	Svært god
	Svært dårlig					
	Dårlig					
	Moderat					
	God					
	Svært god					

Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL) har ansvaret for å klassifisere laksebestandene etter dette systemet hvert femte år, med start for perioden 2010-2014.

Kvalitetsnormen skal i utgangspunktet henvise til naturtilstanden. I mange vassdrag er det imidlertid gjort fysiske inngrep som medfører kronisk reduksjon i villaksbestandenes produksjonskapasitet. Gytebestandsmålene er beregnet ut fra dagens tilstand, det vil si etter eventuelle vassdragsinngrep. I kvalitetsnormen er det vedtatt at delnorm for gytebestandsmål og høstingspotensial skal nedskrives i tilfeller der inngrep har medført redusert produksjonskapasitet på grunn av fraføring av vann (Anon. 2011). Som en første forenklet tilnærming ble det foreslått at det antas proporsjonalitet mellom andel fraført vann og nedgangen i produksjon, og et system for nedklassifisering av måloppnåelse (**tabell 2**).

Tabell 2. System for nedskrivning av måloppnåelsesklasse for gytebestand gitt av reduksjon i vanndekt areal.

Netto reduksjon i vanndekt areal (%)	5-15	16-30	31-60	> 60
Antall klasser nedskrivning	1	2	3	4

Samtidig ble det påpekt at redusert vannmengde neppe var et godt mål for reduksjon i fiskeproduksjon og at dette derfor var et tema som burde utredes videre. Videre ble det foreslått at netto-reduksjonen skulle ta hensyn til kompensert areal gjennom bygging av fisketrapper som øker tilgjengelig gyte- og oppvekstareal for laks, mens arealtap som det var kompensert for ved bygging av terskler ikke skulle tas med, fordi terskelmagasin er dårlig egnet til lakseproduksjon (Fjeldstad mfl. 2012).

I 2017 ble 148 bestander klassifisert etter kvalitetsnormen (Anon. 2017) og i 2019 ble klassifiseringen supplert med 28 vassdrag (Anon. 2019), slik at 176 bestander nå er klassifisert etter kvalitetsnormen for perioden 2010 til 2014, men da uten å ta hensyn til naturtilstanden før eventuell

fraføring av vann. Etter planen skal klassifiseringen oppdateres hvert femte år. Av disse 176 vassdragene er 66 regulert for vannkraft. Fraføring av vann kan påvirke hele eller deler av lakseførende strekning, avhengig av utformingen av vassdragsinngrepet. På grunn av manglende kunnskap om inngrep som har redusert produksjonskapasiteten på grunn av fraført vann, har det til nå ikke blitt gjennomført noen nedjustering av klasser. I en vurdering av menneskeskapte påvirkningsfaktorer er imidlertid effekten av vannkraftregulering klassifisert (fra ingen til stor effekt), både med hensyn til reduksjon i produksjonskapasitet (fraføring av vann) og andre regulerings effekter (se Anon. 2018).

Fraføring av vann fra hele eller deler av den lakseførende strekningen medfører i de aller fleste tilfellene at vanndekt areal reduseres. Ofte er fraføringen kvantifisert i konsesjonsprosessen ut fra nedbørfeltets størrelse og avrenning, men dette gir bare en gjennomsnittlig effekt på vannføringen og sier ikke noe om nedgang i vanndekt areal. For å gjennomføre realistiske nedskrivninger av tilstandsklasse som følge av fraføring av vann i hele eller deler av et vassdrag er det avgjørende å ha kunnskap om størrelsen på produksjonsarealet som har gått tapt. Det vil si, hvor stor prosent av det vanndekte arealet som forsvinner som følge av en gitt prosentvis fraføring av vann. For å vurdere dette trengs mer kunnskap om sammenhengen mellom vannføring og vanndekt areal. Videre må det utvikles metoder for å beregne netto arealtap der arealkompensasjon i form av fisketrapper kan redusere tapet. Det må også vurderes hvordan kompensasjon ved hjelp av terskler skal håndteres.

I denne rapporten har vi sammenstilt publiserte data på sammenheng mellom vannføring og vanndekt areal fra delstrekninger i 17 norske elver. Vi analyserer om og hvordan en reduksjon i vanndekt areal med avtakende vannføring kan estimeres ut fra ulike karakteristika ved elvestrekningene. Deretter foreslår vi en prosedyre som gir tilstrekkelig presisjon til å kunne nedjustere klassifiseringen av laksebestander i vassdrag med fraført vann i henhold til grenseverdiene i kvalitetsnormen (se **tabell 2**).

2 Metode

2.1 Sammenheng mellom vannføring og vanndekt areal

For å framskaffe generell kunnskap om sammenhengen mellom vannføring og vanndekt areal i ulike elver med ulike tverrprofiler tok vi utgangspunkt i eksisterende data på forholdet mellom vannføring og vanndekt areal for strekninger i 17 elver (**tabell 3**). Alle elvestrekningene i dette datasettet er påvirket av regulering, men ikke nødvendigvis ved at de er fraført vann.

Tabell 3. Elvene som inngår i analysen, lengde (m) og gradient på strekninger med tilgjengelige data.

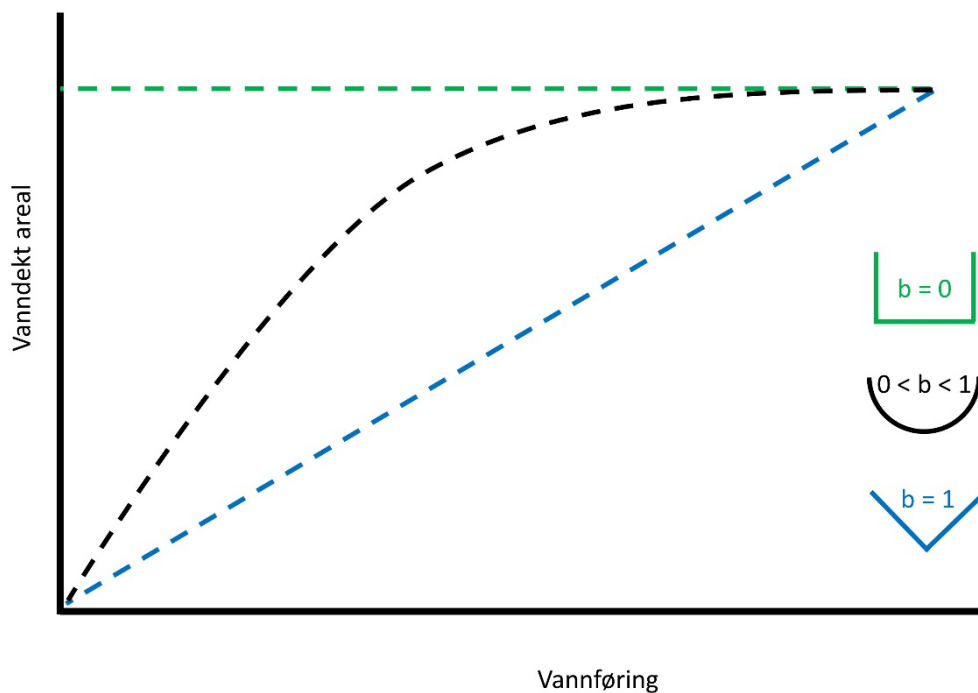
Elv	Lengde	Gradient	Kilde (vanndekt/vannføring)
Orkla*	13100	0.0078	NINA (upubl)
Stjørdalselva*	14456	0.0017	SWECO (upubl)
Nidelva	9031	0.0013	Juárez mfl. 2019
Lærdalselva	16019	0.0048	Alfredsen mfl. 2019
Aura	12222	0.0170	Forseth mfl. 2017
Altaelva	2975	0.0039	Forseth mfl. 1996
Skjoma**	11849	0.0028	Gjelland 2019
Mandalselva	4267	0.0034	Forseth mfl. 2019
Vetlefjordelvi	6046	0.0155	Hellen mfl. 2015
Goulåsjohka (Kåfjord)	5529	0.0080	Sandsbråten & Magnell 2017
Tokkeåi**	5180	0.0090	Stranzl mfl. 2019
Årøyelva	1217	0.0200	Skoglund mfl. 2019
Suldalslågen	22022	0.0030	Magnell mfl. 2004
Aurland (Vassbygdelva**)	4876	0.0392	Pulg mfl.2020
Surna*	18800	0.0013	Sundt mfl. 2006
Dirdalselva	4300	0.0237	Skoglund & Postler 2019
Årdalselva*	5018	0.0080	Skaugen 2000

* I Orkla er bare minstevannføringsstrekningen nedstrøms Bjørset inkludert, Stjørdalselva inkluderer kun strekningen i Meråker kommune, i Surna er bare strekningen nedstrøms utløp fra Trollheim Kraftverk inkludert og fra Årdalselva er strekningen nedstrøms Tveid inkludert p.g.a. ulike vannføringsregimer. ** Data fra flere delstrekninger slått sammen til en total for hver elv.

Vannføring og vanndekt areal varierer mye mellom de ulike elvestrekningene som inngår i datasettet og det var derfor nødvendig å gjennomføre en standardisering av dataene slik at de kunne sammenliknes mellom elver. For hver elvestrekning i analysen ble vannføring og vanndekt areal standardisert til prosent av den vannføring og det vanndekte areal som tilsvarende tilnærmet breddfull elv. Standardiserte vannføringer og vanndekt areal for hver elv ble tilpasset ligningen:

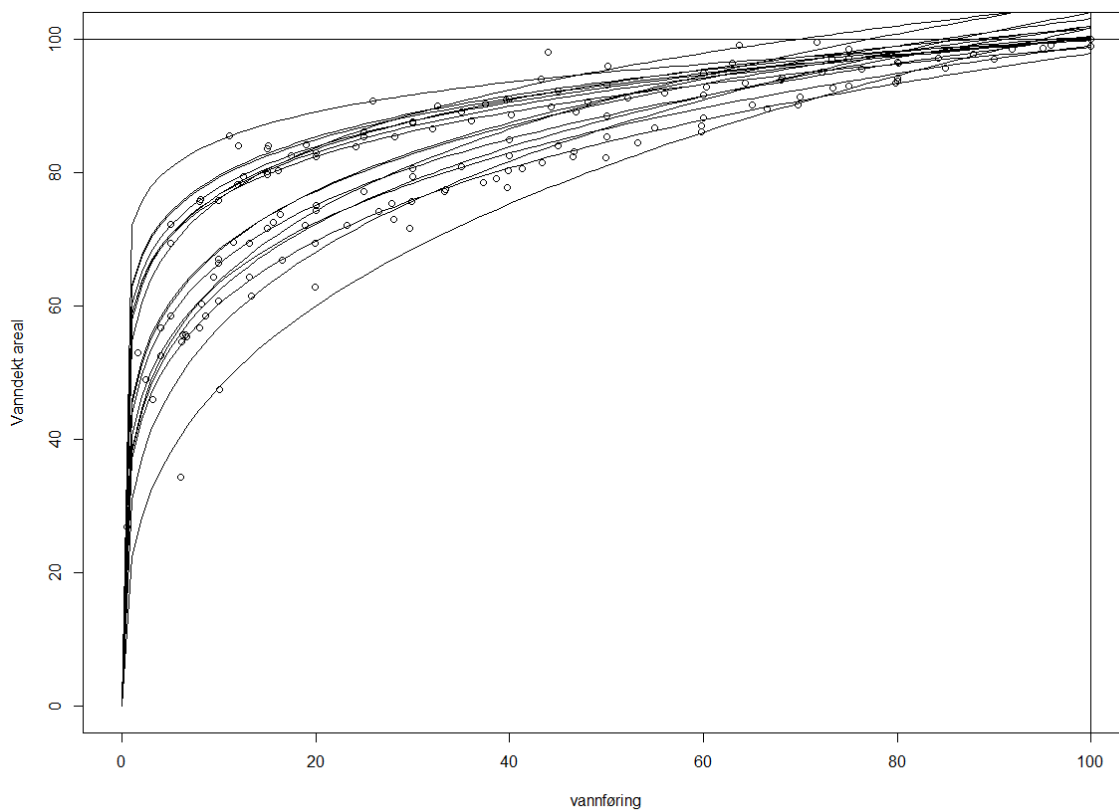
$$(1.) \quad A = a Q^b$$

Hvor A er vanndekt areal, a er en skaleringsparameter, Q er vannføring og b er en formparameter som beskriver tverrprofilen av elva (Petersen-Øverleir 2005) (**figur 1**).

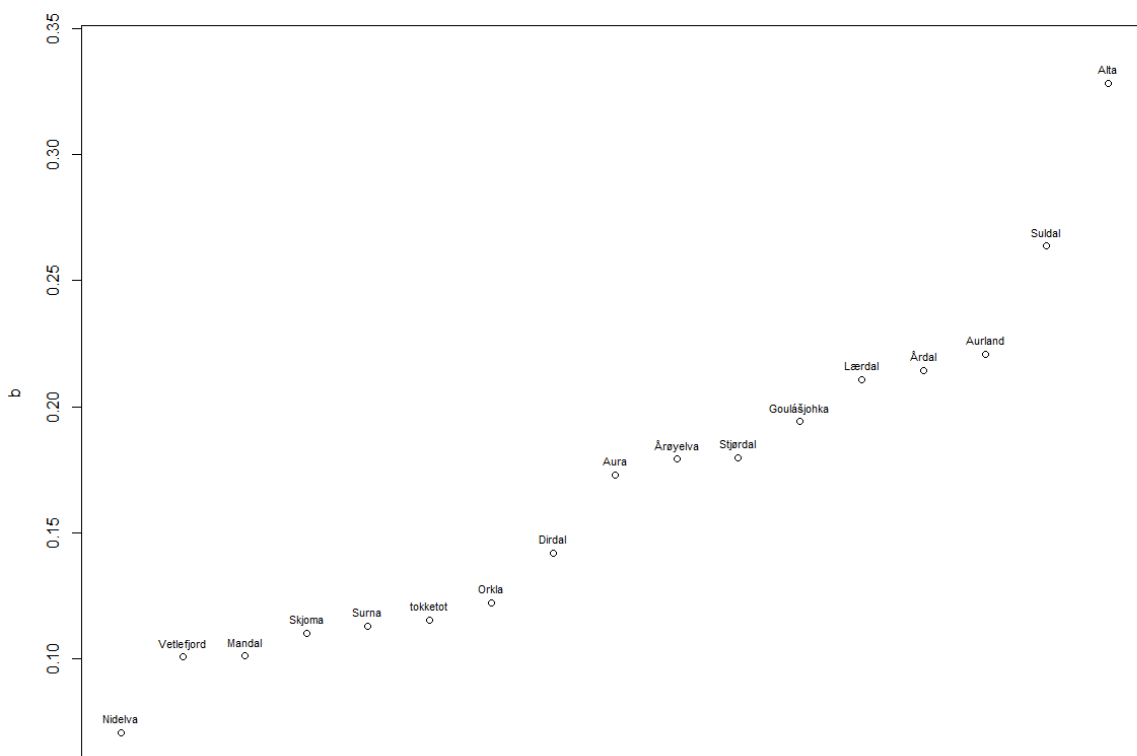


Figur 1. Illustrasjon av hvordan forholdet mellom vannføring og vanddekt areal ser ut for ulike b , og hvilke tverrsnittprofiler som tilsvarer de ulike b .

Forholdet mellom vannføring og vanddekt areal for strekninger fra de 17 elvene, samt tilpassinger i henhold til **ligning 1** er vist i **figur 2**. På grunn av ulikheter i vannføringsregimer mellom strekninger ble det for Surna bare brukt data nedstrøms utløpet av Trollheim kraftverk og for Årdalselva bare nedstrøms Tveid. For elver med data fra flere delstrekninger ble disse slått sammen til en total pr elv, dette gjelder Aurland (Vassbygdelva), Skjoma og Tokkeåi.



Figur 2. Forhold mellom vannføring og vanddekt areal (punkter) og kurvetilpassinger til **ligning 1** (linjer) for strekninger fra 17 elver. Vannføring og vanddekt areal er standardisert til prosent av den vannføring og det vanddekte areal som tilsvarer breddfull elv.



Figur 3. Estimert parameter b for de 17 elvene, sortert fra laveste til høyeste parameterverdi.

Kurvetilpassinger for **ligning 1** og parameterestimerer for a og b for hver elv ble funnet med funksjonen nls i R, som er en ikke-linær minste kvadraters metode. Parameterestimatene for b for de ulike elvestrekningene varierte fra 0.07 for Nidelva til 0.33 for Alta (**figur 3**). Før Suldalslågen ble inkludert i datasettet, skilte parameterestimatet for Alta seg så markant ut at forholdet mellom vanddekt areal og vannføring ble ettergått for å sjekke at det var riktig. Dette ble gjort ved å digitalisere vanddekt areal fra flyfoto på tre ulike vannføringer (Kista: 40.5, 70, 150 m³s⁻¹). Resultatet basert på digitaliserte flyfoto stemte godt med rapporterte verdier fra NINA rapport 392 (Flyfoto: 219760, 248265, 281602 m², fra rapport 392: 206387, 257005, 327507 m²), og verdiene fra NINA rapport 392 ble brukt i analysene.

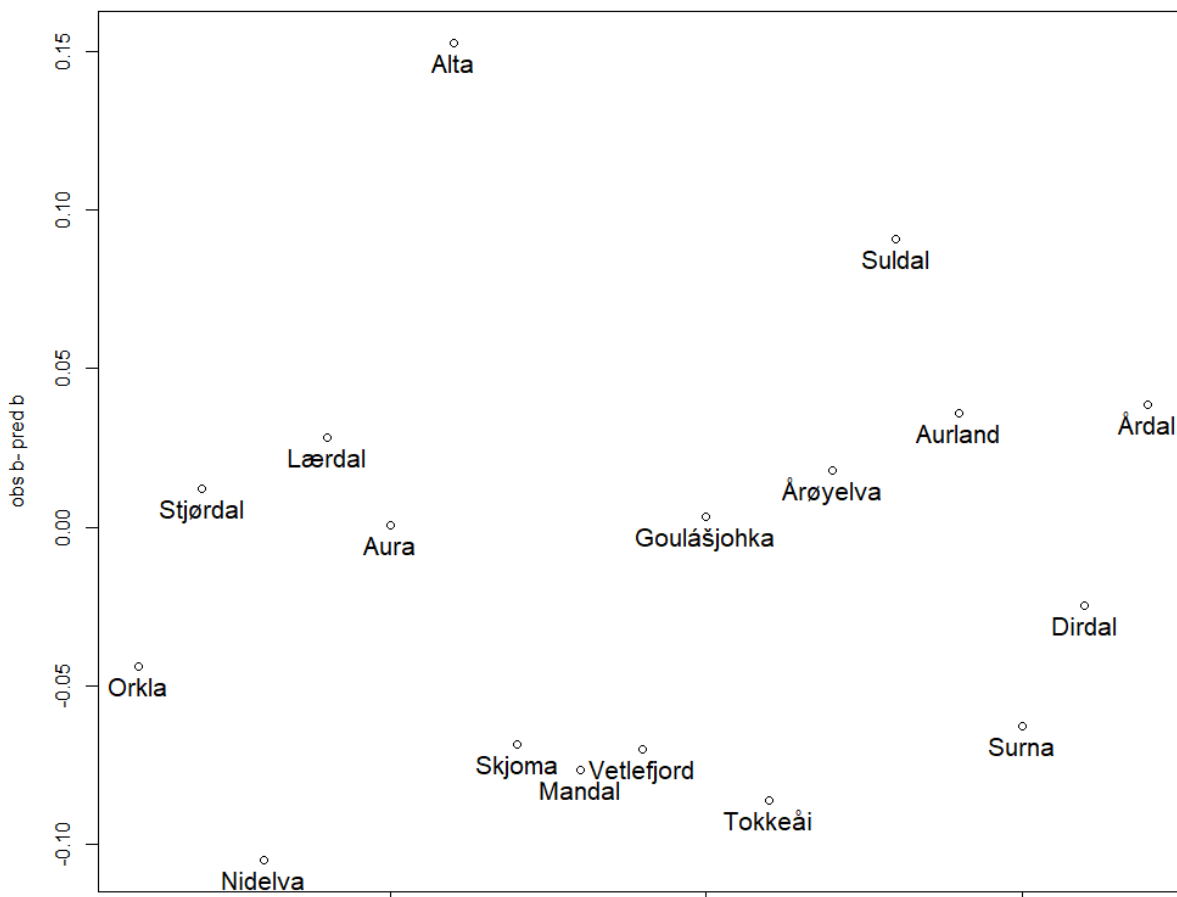
For å se om variasjonen i b mellom elver kan forklares av egenskaper ved elvene, og dermed kan brukes til å estimere b for elver uten data, ble gradient, lengde av sideløp mot elvas total-lengde, middelvannføring, forbygningsgrad og mengden terskler funnet for hver elv. Lengde av elvesegmentet langs hovedstrengen, samt lengden av eventuelle sideløp ble målt i flyfoto. Øyer med vegetasjon ble brukt som et kriterium for å definere sideløp. Antall terskler ble talt opp fra flyfoto. Forbygningsgrad er definert som total lengde av forbygninger langs elva delt på elvas totallengde. Lengden av forbygninger ble funnet ved å se på NVEs sikringsdatabase (NVE atlas) og på historiske flyfoto, dersom slike var tilgjengelige. Dette fordi elveforbygninger relatert til vei og jernbane, samt eldre forbygninger (ofte i forbindelse med jordbruk) ikke ligger i NVEs sikringsdatabase. For hver elv eller elvesegment ble gjennomsnittlig bredde beregnet som breddfullt areal delt på lengde.

Forholdet mellom b og egenskaper ved elvene ble undersøkt med linær regresjon uten interaksjoner mellom variablene. Variablene som ble inkludert var gradient (Δm høyde / m hovedløp), sideløpsandel (m sideløp / m hovedløp), forbygningsandel (m forbygning / m hovedløp), terskler (antall terskler / m hovedløp) og middelvannføring/elvebredde. Den siste variabelen har enheten m²s⁻¹ og vil være positivt korrelert med enten dybde eller vannhastighet. Dette betyr at for to elver med lik bredde hvor den ene har dobbel så høy vannføring som den andre, vil dybden og/eller vannhastigheten måtte være høyere i den med størst vannføring for at bredden skal kunne være lik (se Xu mfl. 2020). Modellseleksjon er basert på AIC, hvor variabler ble fjernet om $\Delta AIC > 2$. Dette resulterte i en modell (**tabell 4**) hvor alle variabler unntatt sideløpsandel ble tatt ut ($R^2 = 0.35$, $F = 9.50$, $P = 0.007$).

Tabell 4. Parameterestimat fra den endelige regresjonsmodellen som forklarer variasjon i b mellom elver.

Parameter	Koeffisienter	SE	t	p
Skjæringspunkt	0.12265	0.01954	6.277	1.48e-05
Sideløpsandel	0.21171	0.06868	3.083	0.00758

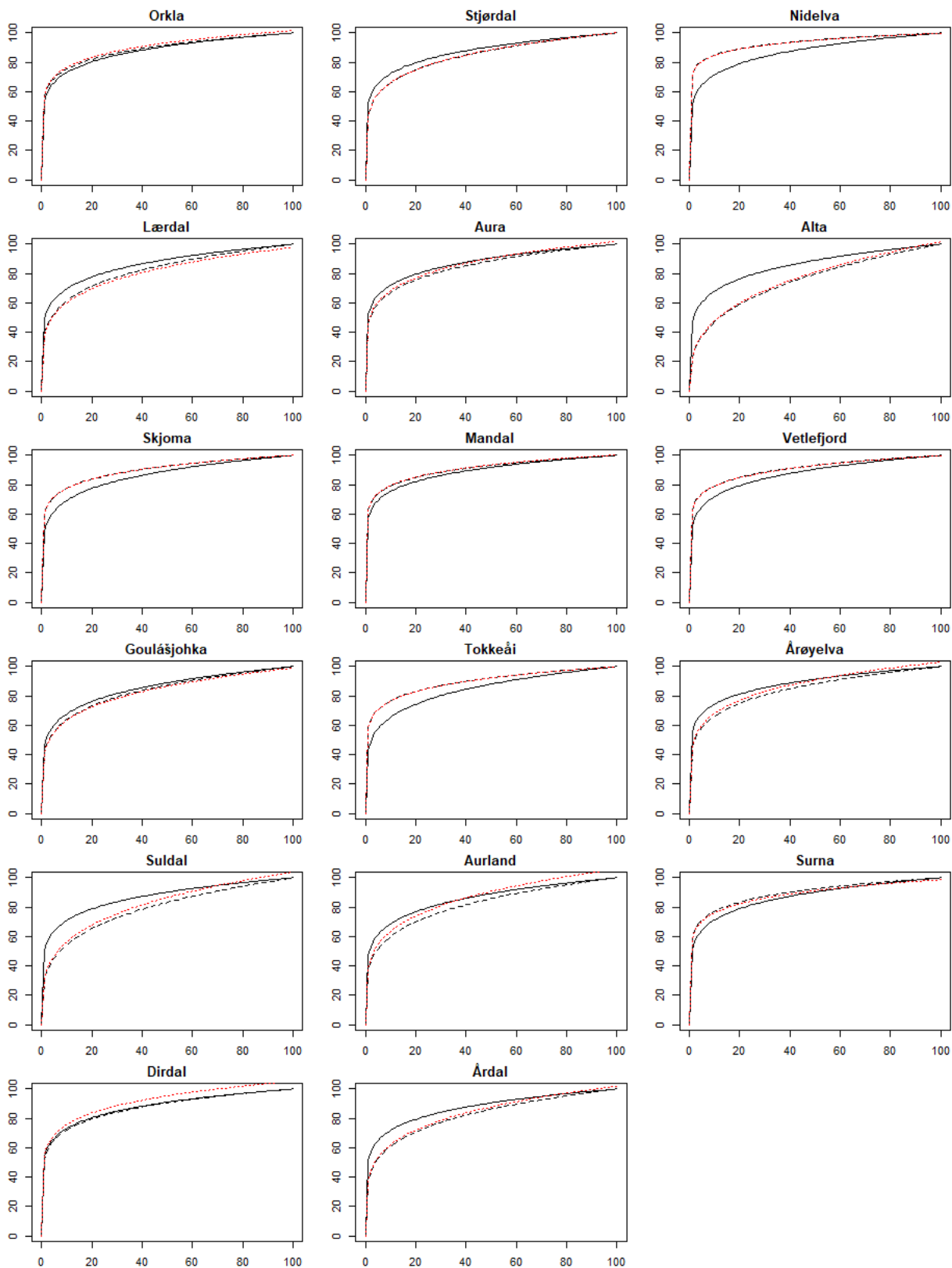
For å kunne si noe om overføringsverdien av dette resultatet uten å hente inn data fra nye elver, utførte vi en såkalt jackknife-analyse. I denne analysen undersøkte vi hvor nøyaktig parameteren b for en elv kan estimeres ut fra elvas sideløpsandel sammen med parameterestimerer fra regresjoner utført med bruk av data fra de andre elvene. Dette ble gjort for alle de 17 elvestrekningene ved å utelate hver av elvestrekningene fra datasettet etter tur og beregne nye koeffisienter basert på observert b og sideløpsandel fra de 16 andre elvestrekningene. Forskjellene mellom predikerte b -verdier basert på jackknife-analysen og estimat basert på observerte forhold mellom vannføring og vanddekt areal er vist i **figur 4**.



Figur 4. Forskjell mellom observert b basert på data fra elvene (**ligning 1**) og jackknife-estimat av b med inkludert effekt av sideløp (**ligning 2**).

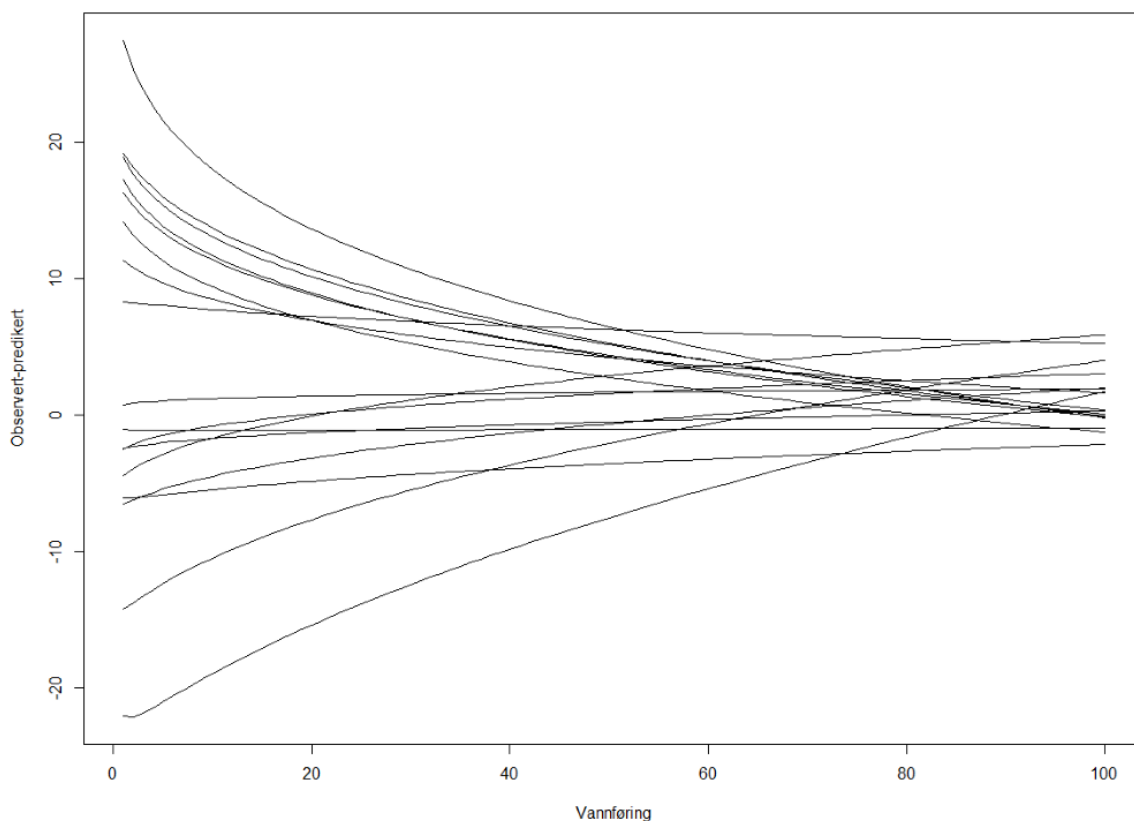
For å kunne sammenligne med den observerte sammenhengen for hver elv, setter vi skaleringsparameteren a for hver elv slik at arealet (A) blir 100 for vannføring (Q) 100 (**figur 5**). Fra **ligning 1** gir dette $a = 100^{b-1}$, hvor b er formparameteren (**figur 1**). Den skalerte formelen for sammenhengen mellom vanddekt areal og vannføring blir:

$$(2.) \quad A = 100^{1-b} Q^b$$



Figur 5. Finprikket rød linje er observert sammenheng mellom vannføring (x-akse) og vanddekt areal (y-akse) med parameterne a og b (ligning 1, som figur 2). Stipla svart linje er vanddekt areal basert på observert b tvunget gjennom 100,100 (ligning 2). Heltrukket svart linje er estimat av vanddekt areal beregnet fra predikert jackknife-estimat av b med elvas sideløpsandel (ligning 2).

Forskjellene mellom observerte og estimerte vanddekte arealer er relativt små og stabile (\pm ca. 7 prosentpoeng) ned til omtrent 50 % av breddfull vannføring. Ved 1 % av breddfull vannføring har forskjellen økt til \pm ca. 25 prosentpoeng (**figur 6**). Denne feilen er størst for Nidelva og Altaelva, der b overestimeres for Nidelva (vanddekt areal underestimeres ved lave vannføringer) og underestimeres for Altaelva (**figur 5**).



Figur 6. Forskjellen mellom verdier for standardisert vanddekt areal som funksjon av standardisert vannføring (estimert med a og b , **ligning 1**) og jackknife-estimert vanddekt areal (estimert med bare b , **ligning 3**).

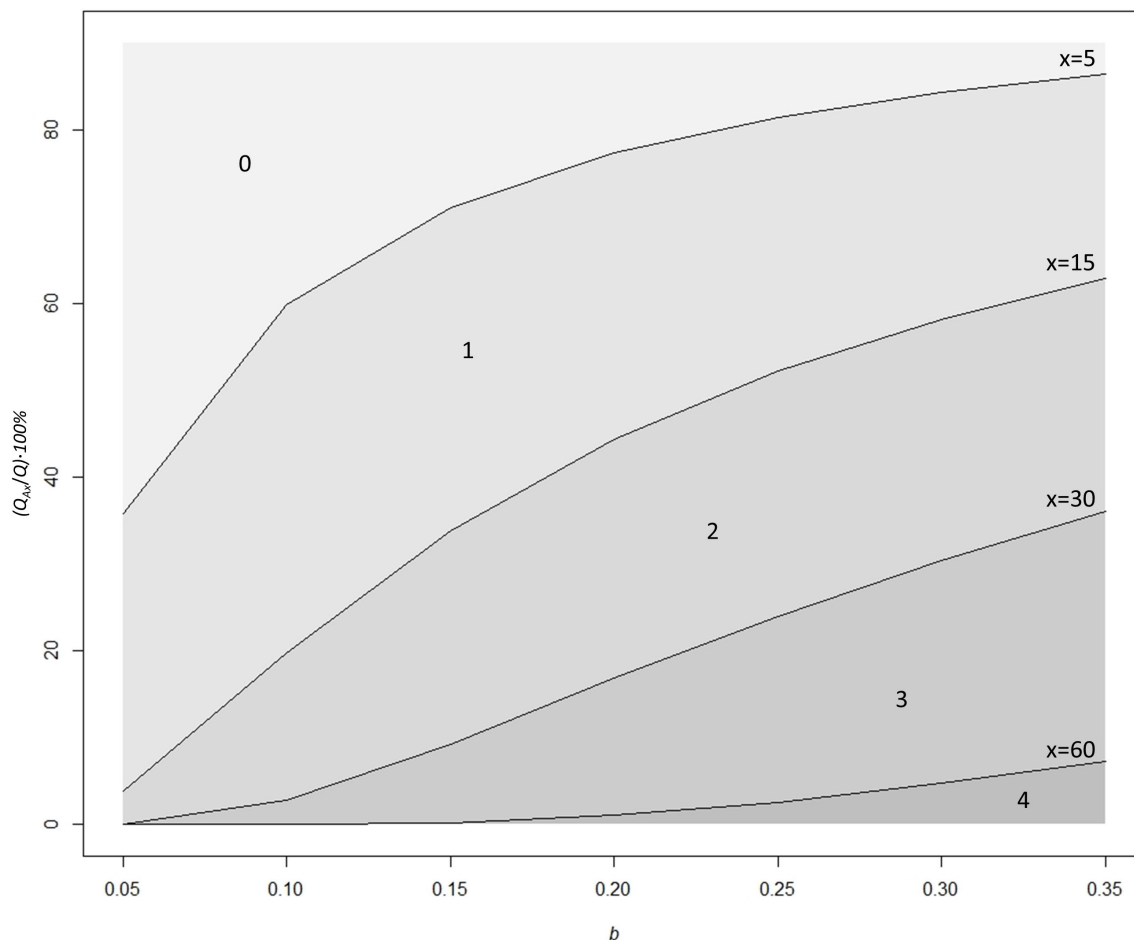
For å ytterligere vurdere overføringsverdien av denne framgangsmåten gjorde vi en tilleggstest med bruk av data fra Barduelva. Barduelva inngikk ikke i analysene over på grunn av at vi kun har verdier for vanddekt areal på to vannføringer ($2 \text{ m}^3\text{s}^{-1} = 54000 \text{ m}^2$ og $63 \text{ m}^3\text{s}^{-1} = 80000 \text{ m}^2$, Harby mfl. 2012). Elva er breddfull på $63 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ blir dermed 3.17 % av breddfull vannføring. Elvestrekningen er 1.61 km, har 89 m sideløp og har middelvanføring på $33.4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. For Barduelva blir estimatet for $b = 0.126$, basert på sideløps-andelen og parametere fra de andre elvene, og estimert vanddekt areal ved 3.17 % vannføring blir $100^{(1-b)} \cdot 3.17\%^b = 62.9\%$, noe som stemmer godt overens med observert vanddekt areal som er 67.5%.

2.2 Klassegrenser

Forholdet mellom en gitt referansevannføring (Q) og den vannføringa (Q_{Ax}) som gir en x % reduksjon i vanddekt areal, sammenliknet med arealet ved Q , kan uttrykkes ved:

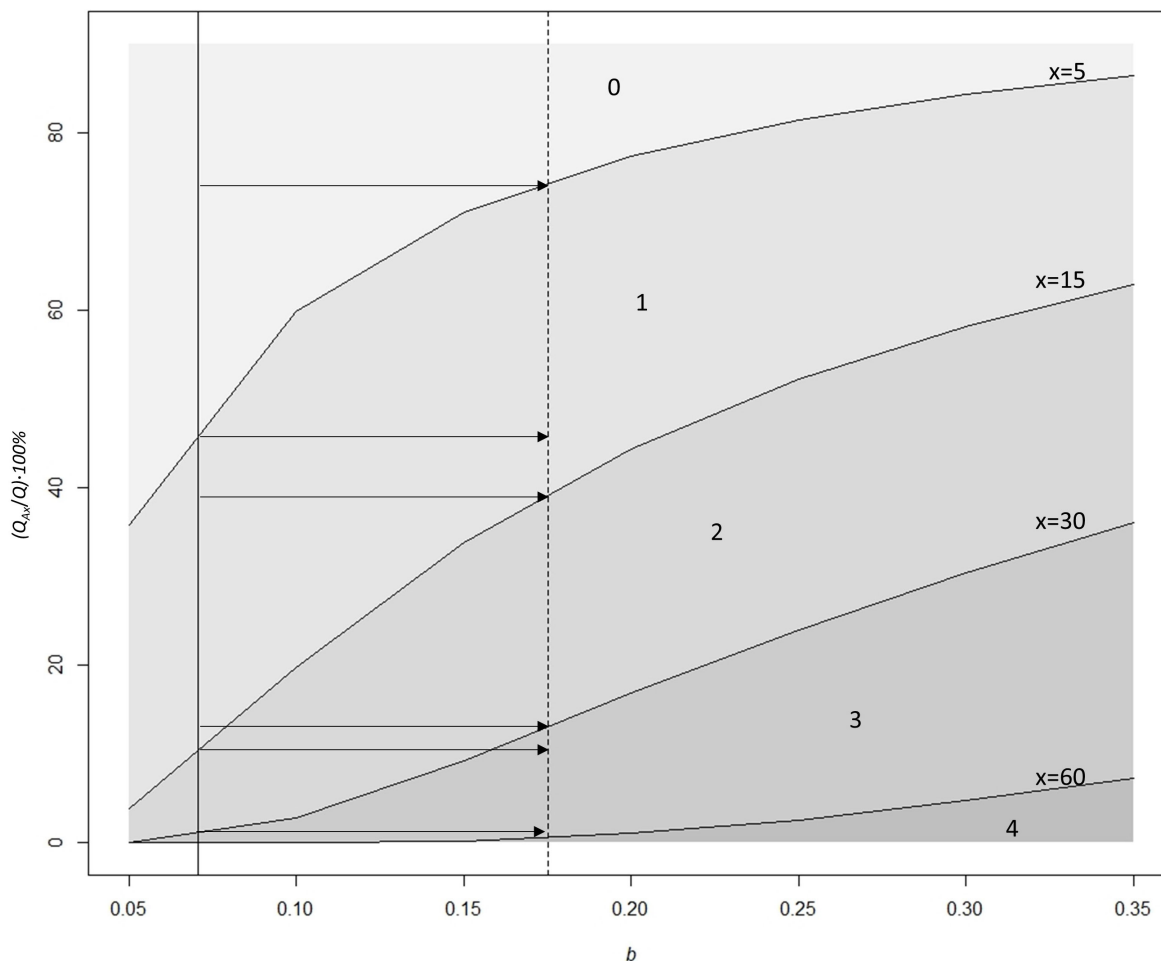
$$(3.) \frac{Q_{Ax}}{Q} = \sqrt{\frac{100-x}{100}}$$

Dette forholdet er uavhengig av hvilken vannføring og vanndekt areal en tar utgangspunkt i og gjør det enkelt å sammenligne hva klassegrensene (**tabell 2**) tilsvarer i prosentvise reduksjoner i vannføring for ulike b (**figur 7**).



Figur 7. Linjer viser det prosentvise forholdet mellom redusert vannføring (Q_{Ax}) og referansevannføring (Q_{ref}) for $x=5$, 15, 30 og 60 % reduksjon i vanndekt areal (x i **ligning 3**, klassegrenser **tabell 2**) og ulike verdier av formfaktoren b . Tall i hvert felt med ulike grånyanser indikerer antall klasser nedskrivning i henhold til **tabell 2**.

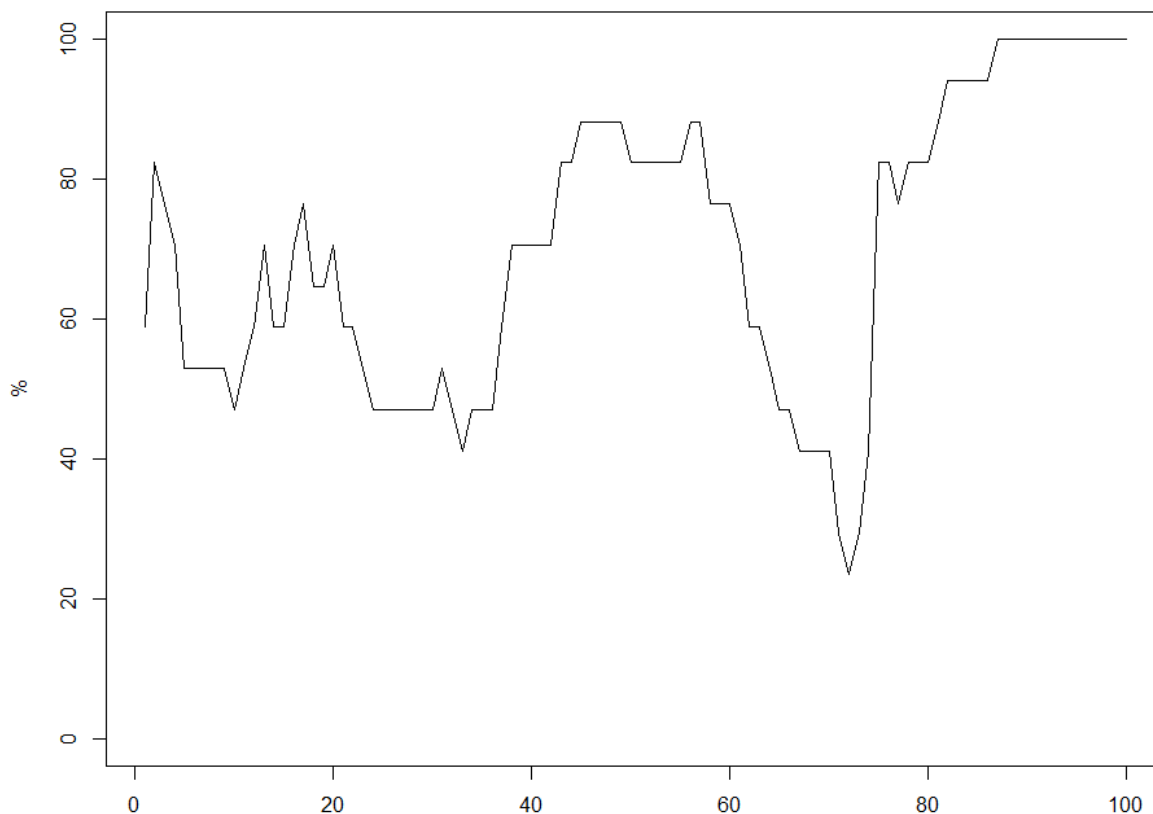
Fra **figur 7** kan en direkte lese ut hva en gitt feil ved estimering av b vil medføre av feil i klassifisering for ulike reduksjoner i vannføring. Dette er illustrert for Nidelva i **figur 8**.



Figur 8. Forskjell i klassifisering av Nidelva basert på observert verdi av b som er på 0.07 (heltrukket vertikal linje) og estimert verdi som er på 0.17 (stiplet vertikal linje). Pilene indikerer skifter i klassifisering. Linjer viser det prosentvise forholdet mellom Q_{Ax}/Q for $x=5, 15, 30$ og 60% reduksjon i vanndekt areal (x i **ligning 3**, klassegrenser **tabell 2**) og ulike verdier av b . Tall i hvert felt med ulike grånyanser indikerer antall klasser nedskrivning i henhold til **tabell 2**.

Nidelva er den elva hvor forskjell i observert og estimert b har størst konsekvens for klassifiseringen. Dette er den eneste elva med et intervall hvor forskjellen mellom observert og estimert tilsvarer mer enn en klasse (intervallet 13-10.5 %). Fra **figur 8** ser en basert på den observerte verdien av b at forholdet mellom Q_{Ax} og Q må ned til 46 % av en gitt vannføring (fraføring 54 %) før den skifter klasse fra 0 til 1. For den estimerte b skjer dette allerede ved 74% (fraføring 26 %). Mellom 46 og 39 % er klassifiseringa lik, og mellom 39 og 13 % er den observerte klassen 1 og den estimerte 2. Mellom 13 og 10.5 % er forskjellen i klassifisering størst, med den observerte klasse 1 og estimert klasse 3.

Hvordan eventuelle avvik mellom observert og estimert b påvirker nedskrivingsklassen for de 17 elvene ble undersøkt på samme måte som vist for Nidelva ovenfor ved å se på grensene mellom klassene i forhold til Q_{Ax}/Q , i hht. **ligning 3**. Andelen like klassifiseringer ved bruk av observert og estimert b øker med Q_{Ax}/Q , men andelen faller markert rundt de verdiene som tilsvarer klasseoverganger for gjennomsnitts b (ca. 74, 39, 13, 1, **figur 9**).



Figur 9. Andel (%) sammenfallende klassifiseringer for de 17 elvestrekningene (y-aksen) i henhold til tabell 2 ved bruk av observert og jackknife estimert b for $Q_{Ax}/Q * 100$ % (x-aksen). X-aksen viser vannføring som % verdier fra 1 til 100, hvor 1 tilsvarer 99 % fraføring av en gitt vannføring.

2.3 Klassifisering

Ved klassifisering av elvene må det tas stilling til hvilke reduksjoner i vanddekt areal som følge av regulering som er relevante med tanke på nedskrivning av tilstandsklasse. Data på endringer i vannføringsregime før og etter regulering kan være tilgjengelig som for eksempel total fraføringsgrad, årsmiddelvannføringer, laveste ukesmiddel og laveste 5-persentil. Hvilket av disse målene som er mest relevant for lakseproduksjonen vil variere mellom elver. Perioder med lite vanddekt areal vil kunne fungere som flaskehals for lakseproduksjon, siden de fører til høyere tetthet av ungfisk som vil kunne gi økt dødelighet og/eller redusert vekst. Ved analyse av slike hydrologiske flaskehals fokuseres det vanligvis på lavvannsperioder både om vinter og sommer.

Arealkompensasjon i form av laksetrapp kan enkelt inkluderes ved å legge den prosentvise økningen i tilgjengelig areal direkte til prosent vanddekt areal etter fraføring. Eksempelvis vil en 10 % økning i areal på grunn av laksetrapp i en elv nulle ut en 10 % reduksjon i areal på grunn av fraføring. Denne framgangsmåten forutsetter at tilført område gir en tilsvarende produksjon av laks som tapt areal ville gjort.

For å undersøke hvordan klassifiseringen slår ut klassifiserte vi elvestrekninger i fire elver som er fraført vann etter vannføringsmålene vi kunne finne før og etter regulering (tabell 5). Disse vannføringene er så brukt til å finne korresponderende vanddekt areal fra både den observerte sammenhengen for elva og den predikerte sammenhengen (jackknife, sideløp). Prosentvis nedgang i vanddekt areal for de ulike vannføringsmålene fra uregulert til regulert er beregnet. For elvene har vi middelvannføring og ulike lavvannsføringsmål (alminnelig lavvannføring $\approx Q_5$). Med

unntak av Skjoma, dekker de undersøkte elvestrekningene ikke hele anadrom strekning, og dermed vil klassifiseringen kunne avvike fra klassifisering når hele anadrom strekning inkluderes.

Tabell 5. Klassifisering av strekninger i fire elver som er fraført vann. Elvene er klassifisert med vannføringsdata før og etter regulering, med ulike vannføringsmål avhengig av hva som var tilgjengelig i rapporter. Alle vannføringsmål er gitt i m^3s^{-1} . Alminnelig lavvannføring er tilnærmet lik Q_5 . For vannføringsmålene før og etter regulering, er prosentvis endring i areal og klassifisering gjort både for observert sammenheng mellom vannføring og vanddekt areal (%Reduksjon areal obs, Klasse obs) og for jackknife-estimat (%Reduksjon areal pred, Klasse pred).

Aura	Middelvann	Alm. Lavvann	Abs. Laveste	
Ureg(1907-1950)	24.9	0.8	0.2	
Reg (1980-2004)	6.5	0.3	0.1	
%Reduksjon areal obs	20.7	16.3	16.7	
%Reduksjon areal pred	20.7	16.2	16.6	
Klasse obs	2	2	2	
Klasse pred	2	2	2	
Vassbygdelva	Middelvann	Q_5	Snitt min uke. vinter	Snitt min uke sommer
Ureg (1950-1970)	27.0	1.3	1.5	18.0
Reg (2003-2016)	3.9	0.5	0.4	2.0
%Reduksjon areal obs	34.8	20.1	25.7	23.8
%Reduksjon areal pred	26.8	15.1	19.5	21.4
Klasse obs	3	2	2	2
Klasse pred	2	1	2	2
Orkla*	Middelvann		Snitt min ukes vinter	Snitt min uke sommer
Ureg (1913-1980)	47.4		4.0	14.9
Reg (2007-2019)	19.6		4.5	11.9
%Reduksjon areal obs	10.2		-1.5	2.7
%Reduksjon areal pred	13.6		-2.1	3.7
Klasse obs	1		0	0
Klasse pred	1		0	0
Skjoma	Middelvann	Q_5	Q_5 Vinter	Q_5 sommer
Ureg (1913-1958)	29.3	1.7	1.6	3.8
Reg (2001-2018)	4.5	0.2	0.1	0.8
%Reduksjon areal obs	18.7	23.1	24.6	16.1
%Reduksjon areal pred	28.5	34.6	24.7	36.7
Klasse obs	2	2	2	2
Klasse pred	2	3	2	3

* I Orkla er bare minstevannføringsstrekningen mellom Bjørset og utløpet av Svorkmo kraftverk inkludert.

Med unntak av Skjoma ser prosentvis reduksjon av middelvannføring etter regulering ut til å være mye større enn reduksjonen for lavvannsmålene. Den større reduksjonen i middelvannføring skyldes at vår- og høstflommer kan utgjøre en relativt stor andel av den totale vannmengden. Elvestrekningen i Orkla har en reduksjon i vanddekt areal på 10-13 % basert på middelvannføring, men basert på gjennomsnittlig ukesminimum om vinteren (nov.- april) ser en økning i vanddekt areal og bare en liten reduksjon for tilsvarende for sommer (juni- sept.). Klassifiseringene for Skjoma og Vassbygdelva tar ikke hensyn til at elveløpet har blitt betydelig endret etter regulering med terskler og kanalisering.

I Aura har redusert vannføring etter regulering ført til at store deler av elva nå er utilgjengelig for laks. Et stryk som kun er passerbart ved høye vannføringer, har etter regulering aldri eller svært sjelden nok vann til at laks kommer seg opp. Dette medfører at tilgjengelig areal for laks i Aura i dag kun er 36 % av det opprinnelige. Situasjonen er motsatt i Skjoma hvor det er foretatt arealkompensasjon ved etablering av to laksetrappene. Disse laksetrappene har økt tilgjengelig areal for laks med 35 %. For både Aura og Skjoma er prosentvise endringer i areal basert på elvepolygoner fra N50 kartserien. Ved å inkludere disse endringene i tilgjengelig areal endres også klassifiseringen betraktelig (**tabell 6**). Aura endres fra nedskrivingsklasse 2 (**tabell 5**) til 4, uavhengig av vannføringsmål samt om klassifisering er basert på observert sammenheng eller estimert sammenheng. For Skjoma endres nedskrivingsklasse fra 2-3 til 0 uavhengig av hvilket vannføringsmål som benyttes.

Tabell 6. Antall nedjusteringsklasser for Aura og Skjoma basert på fraføring av vann (som i **tabell 5**) samt ekstra arealtap som følge av reguleringssskapt vandringshinder i Aura og arealkompensasjon i form av laksetrappene i Skjoma.

Aura	Middelvann	Alm. Lavvann	Abs. Laveste	
%Reduksjon areal obs	71.5	69.9	70.0	
%Reduksjon areal pred	71.5	69.8	70.0	
Klassejustering obs	4	4	4	
Klassejustering pred	4	4	4	
Skjoma	Middelvann	Q_s	Q_s Vinter	Q_s sommer
%Reduksjon areal obs	-16.3	-11.9	-18.9	-10.4
%Reduksjon areal pred	-6.5	-0.4	-10.3	1.7
Klassejustering obs	0	0	0	0
Klassejustering pred	0	0	0	0

Endringer i lavvannføringer kan også forekomme i regulerte elver uten fraføring av vann, og kan klassifiseres på samme måte som for elver med fraføring. En test på fire regulerte elver uten fraføring av vann ble utført (**tabell 7**). Disse hadde alle en økning i lavvannsindeksene etter regulering, og ville derfor ikke fått noen endring i nedskrivingsklasse. For alle disse elvene skyldes denne økningen at det er innført minstevannføringskrav etter regulering.

Tabell 7. Klassifisering av regulerte elver uten fraføring av vann. Elvene er klassifisert med vannføringsdata fra før og etter regulering, med ulike vannføringsmål avhengig av hva som var tilgjengelig i rapporter.

Altaelva		Vinter middel	Snitt min uke vinter	
Ureg (1972-1986)		14	9.6	
Reg (1988-2003)		29	21.7	
Nidelva		Q₅ Vinter	Q₅ sommer	
Ureg (NEVINA)		11	29.1	
Reg		30	30	
Stjørdalselva	Mid. vinter	Mid. sommer	Snitt min ukes vinter	Snitt min uke sommer
Ureg (mod)	25.6	41.6	5.0	6.7
Reg (1994-2016)	30.6	32.8	13.6	12.6
Suldalslågen		Snitt min ukes vinter	Snitt min uke sommer	
Ureg (1910-1960)		7.4	45.9	
Reg (1997-2019)		12.3	46.1	

3 Oppsummering

For å kunne klassifisere elver som er fraført vann i henhold til kvalitetsnormen, trengs kunnskap om sammenhengen mellom vannføring og vanndekt areal i de enkelte elvene for kunne bruke systemet for nedskrivning av måloppnåelsesklasse (Anon. 2011). Standardiserte forhold mellom vanndekt areal og vannføring fra de 17 elvene ser ut til å være et forholdsvis robust utgangspunkt for klassifisering av elver i henhold til kvalitetsnormen. Det vil være nyttig å kunne inkludere slike forhold fra et større antall elver for å se om en kan finne egenskaper ved elvene som i større grad enn i denne analysen kan brukes til å predikere formen på sammenhengen. Den eneste elveegenskapen i vår analyse som var signifikant for å forklare variasjonen i formparameteren (b) for sammenhengen mellom vannføring og vanndekt areal var andelen sideløp. Det at en vannmengde fordeles over to løp i stedet for ett, vil om tverrprofil, gradient og liknede er likt, føre til en dobling i tørrlagt areal for en gitt vannstandsreduksjon. Andelen sideløp forklarer ikke en veldig stor del av variasjonen i b (35 %). For elver uten kjent sammenheng mellom vannføring og vanndekt areal vil et alternativ til estimering av b kun basert på andel sideløp være å benytte flyfoto og subjektivt vurdere hvilken av elvene med kjent b den er mest lik i elvemorfologi.

Alle elvene som inngår i analysen vår har menneskeskapt inngrep som i større eller mindre grad påvirker forholdet mellom vannføring og vanndekt areal, med unntak av strekningen i Alta-elva. I de resterende elvene er morfologien påvirket av for eksempel utretninger, forbygninger, flomsikring og terskler. Forbygninger kan direkte og indirekte (via økt bunnerosjon) føre til endringer i elveprofil som også reduserer b . Arealkompensasjon i regulerte vassdrag i form av terskler gir økt vanndekt areal, men siden dette ofte vil være areal av lavere habitatkvalitet for laks har det vært ønskelig å håndtere dette. Terskler vil føre til at vanndekt areal ikke reduseres like mye ved en gitt vannføringsreduksjon og dermed til at b blir lavere. Siden terskler ikke inkluderes ved estimering av b , vil effekten av terskler heller ikke bli direkte inkludert i våre estimater av b . Elvene i denne analysen som har mange terskler, f.eks. Skjoma, har en estimert b som er høyere enn den observerte. Dette overestimerer effekten av en gitt vannføringsreduksjon, og reflekterer derfor heller ikke den arealkompensasjonen som har skjedd i form av terskler.

Sammenligning av klassifisering med observert og estimert b viser at feilen øker med fraføringsgraden og i nærheten av overgang mellom klassegrenser (**figur 9**). Det er også verdt å merke seg at for elver med b lavere enn 0.15 vil den prosentvise fraføringa av en gitt vannføring som skal til for å havne i klasse 4 måtte være > 99.7 % (**figur 7**). Det vil si at i de 8 elvene vi har data på som har $b < 0.15$ må ≈ 100 % av en gitt vannføring fraføres for at elvene skal havne i klasse 4. En kan vurdere om klassegrensen for klasse 4 bør justeres (>60 % reduksjon i vanndekt areal), siden den blir ekstremt smal (målt i Q) for lav b og dermed også sensitiv for små feil i verdiene av Q som brukes. Uavhengig av hvilken Q man har som utgangspunkt før en 60 % reduksjon av vanndekt areal, vil Q_{A60} ligge i området 0-5 % av breddfull vannføring hvor verdiene også er mest usikre (**figur 6**).

Ved klassifisering foreslår vi å bruke lavvannsindekser sommer og vinter som utgangspunkt for vurdering av nedskrivingsklasse. Dette er de mest biologisk relevante hydrologiske målene med tanke på hydrologiske flaskehals for lakseproduksjon. Estimater på uregulerte lavvannsindekser (før-situasjon) er mulig å skaffe for alle elver fra NEVINA, noe som gjør at en vil ha like førdata for alle elver. Tilsvarende lavvannsindekser for regulert tilstand må beregnes fra vannføringsdata. For de fleste elver vil det ikke være mulig å kunne si om det er lavvannsperioder på sommer eller vinter som har størst betydning. En mulig tilnærming ved ulik klassifisering basert på lavvannsindekser sommer og vinter, vil være å legge vekt på den som gir flest klasser nedskrivning.

Andre hydrologiske flaskehals for eksempel tørrlegging av gytegroper og for høy vannføring ved swim-up inngår ikke i denne klassifiseringa og vil kreve mer detaljerte gjennomganger. For elver med komplekse reguleringer, hvor ulike deler av lakseførende strekning er påvirket ulikt av regulering, vil det være mer arbeidskrevende både å sette seg inn i selve reguleringa samt å klassifisere basert på ulike reduksjoner i vanndekt areal i ulike deler av elva. Arealkompensasjon i form av laksetrapper vil også være mer komplisert å inkludere om arealet tilført er

annerledes påvirka av fraføring/regulering enn resten av elva og/eller har veldig ulik habitatkvalitet.

4 Referanser

- Alfredsen, K., Juárez, A., Limpens, E., & Sivakumar, A. 2019. Simulering av vassdekt areal i Lærdalselva. NTNU. Rapport B1-2019-5, 21 s.
- Anon. 2011. Kvalitetsnormer for laks – anbefalinger til system for klassifisering av villaksbestander. Temarapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 1, 105 s.
- Anon. 2017. Klassifisering av 148 laksebestander etter kvalitetsnorm for villaks. Temarapport nr 5, 81 s.
- Anon. 2018. Klassifisering av tilstand i norske laksebestander 2010-2014. Temarapport nr 6, 75 s.
- Anon. 2019. Status for norske laksebestander i 2019. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 12, 126 s.
- Fjeldstad, H.P., Barlaup, B.T., Stickler, M., Gabrielsen, S.E. and Alfredsen, K., 2012. Removal of weirs and the influence on physical habitat for salmonids in a Norwegian river. *River research and applications*, 28, pp.753-763.
- Forseth, T., Næsje, T., Jensen, A.J., Saksgård, L. & Hvidsten, N.A. 1996. Ny forbitappingsventil i Alta kraftverk: betydning for laksebestanden. NINA Oppdragsmelding 392: 1-28.
- Forseth, T., Berg, M. & Foldvik, A. 2017. Effekter på laks av ulike minstevannslipp i Aura. NINA Rapport 1324, 32 s.
- Forseth, T., Fjeldstad, H-P., Gabrielsen, S-E., Skår, B., Lamberg, A., Hedger, R., Kvingedal, E. & Havn, T. 2019. Miljødesign Mandalselva – samlet tiltaksplan og oppsummering. NINA Rapport 1691, 148 s.
- Gjelland, K. Ø. 2019. Vassføring og vassdekket areal i Skjomen. NINA Prosjektnotat 156.
- Harby, A., Bogen, J., Arnekleiv, J.V., Bakken, T.H., Bønsnes, T.E., Elster, M., Kutznetsova, Y., Saltveit, S.J., Sauterleute, J., Stickler, M. Sundt, H., Tjomsland, T. & Ugedal, O. 2012. Miljøkonsekvenser av raske vannstandsendringer. Rapport Miljøbasert Vannføring NVE, 1-2012. 79 s.
- Hellen, B.A., M. Kambestad, S. Kålås, H. Sægrov & J. Tverberg, 2015. Hydromorfologisk kartlegging av Vetlefjordelvi 2013-2015. Rådgivende Biologer Rapport nr 2139, 42 s.
- Juárez, A., Burman, A. & Alfredsen, K. 2019. Hydraulic models for Nidelva and Ume rivers. Unpublished HydroFlex Report.
- Magnell, J-P., Sandsbråten, K. & Kvambekk, Å. S. 2004. Hydrologiske forhold i Suldalsvassdraget. Sluttrapport prøvereglement. SWECO Suldalslågen - Miljørapport nr 38, 109 s.
- Petersen-Øverleir, A. 2005. A hydraulics perspective on the power-law stage-discharge rating curve. Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Oslo, Norway, NVE report no 5-05, 26 s.
- Sandsbråten, K. & Magnell, J-P. 2017. Vannlinjeberegninger i Kåfjordelva. SWECO Rapport nr 27575001-2, 16 s.
- Skaugen, T.E. 2000. Hydraulisk kartlegging av Årdalsvassdraget. Sluttrapport. Statkraft engineering Rapport nr SE 2000/19, 20 s.
- Skoglund, H. & Postler, C., 2019. Flaskehalsanalyse for fiskeproduksjon i Dirdalselva. NORCE, LFI Rapport 321, 38 s.
- Skoglund, H., Karlsson, S., Hagen, I.J., Wiers, T., Normann, E. & Postler, C., 2019. Fiskebiologiske undersøkelser i Årøyelva i perioden 2014-2018. NORCE, LFI Rapport 346, 66 s.
- Stranzl, S., Espedal, E. O., Christoph, P., Pulg, U., Flödl, P., & Hauer, C. 2019. Hydrologiske og hydrodynamiske forhold i Tokkeåi. NORCE. LFI Rapport nr 350, 61 s.
- Sundt, H., Halleraker, J. H., Alfredsen, K. T. & Svelle, K. 2006. Optimalisering av fiskeforhold og kraftproduksjon i Surna. Delrapport om elveklasser, vanddekket areal og hydrauliske forhold av betydning for laksefisk (ved ulike vannføringer og raske endringer fra samløp Rinna til Øye bru). SINTEF. Teknisk Rapport A6263.
- Pulg, U., Stranzl, S., Olsen, E. E. & Postler C. 2020. Vanddekt areal, habitatkvalitet og vannføring i Vassbygdelva. NORCE. LFI Rapport nr 379 LFI rapport nr 350, 22 s.

Xu, F., Coco, G., Zhou, Z., Townend, I., Guo, L. & He, Q. 2020. A universal form of power law relationships for river and stream channels. *Geophysical Research Letters*, 47, p.e2020GL090493.

Norsk institutt for naturforskning, NINA, er en uavhengig stiftelse som forsker på natur og samspillet natur–samfunn.

NINA ble etablert i 1988. Hovedkontoret er i Trondheim, med avdelingskontorer i Tromsø, Lillehammer, Bergen og Oslo. I tillegg driver NINA Sæterfjellet avlsstasjon for fjellrev på Oppdal, og forskningsstasjonen for vill laksefisk på lms i Rogaland.

NINAs virksomhet omfatter både forskning og utredning, miljøovervåking, rådgivning og evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og erfaring med både naturvitere og samfunnsvitere i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene, samfunnets bruk av naturen og sammenhenger med de store drivkreftene i naturen.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-4732-0

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger