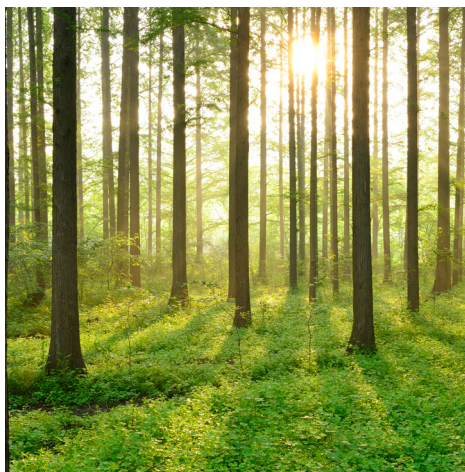


ECOPEAKING – PILOTSTUDIE OM KORTTIDSREGLERING

RAPPORT 2023:935



VATTENKRAFT

VATTENKRAFTENS
MILJÖFORSKNINGSPROGRAM



ECOPEAKING – PILOTSTUDIE OM KORTTIDSREGLERING

ÅSA WIDÉN, BIRGITTA MALM RENÖFÄLT,
JANI AHONEN, ROLAND JANSSON

Förord

Vattenkraften i Sverige ska omprövas och erhålla moderna miljövillkor, enligt den nationella prövningsplanen som beslutades av regeringen i juni 2020. I omprövningen och miljöanpassning av svensk vattenkraft är det angeläget att förstå och beskriva effekter av korttidsreglering för att kunna föreslå åtgärder i syfte att lindra korttidsregleringens miljöpåverkan.

De underlag som behövs för att beskriva korttidsreglering har tagits fram i det här projektet. Projektet har även tagit fram förslag på hur ett verktyg som kvantifierar korttidsreglering och dess effekter i olika lokaler kan vara utformat. Verktygen kan användas vid val av funktionella och kostnadseffektiva åtgärder för att minska korttidsregleringens effekter.

Rapporten har tagits fram av Åsa Widén, SLU, och Birgitta Malm Renöfält, Jani Ahonen och Roland Jansson, Umeå universitet, inom Vattenkraftens miljöforskningsprogram som verkar för ny kunskap och en ökad kompetens om åtgärder inför beslut om investeringar i vattenkraft. Programmet koordineras av Energiforsk och finansieras av Vattenfall Vattenkraft, Fortum, Sydkraft Hydropower, Statkraft Sverige, Skellefteå Kraft, Holmen Energi, Jämtkraft, Tekniska verken i Linköping, Varberg Energi, Mälarenergi, Karlstads Energi och Jönköping Energi.

Projektet har följts av programmets styrgrupp bestående av Birgitta Adell och Marco Blixt (Fortum), Erik Sparrevik (Vattenfall), Johan Tielman (Sydkraft Hydropower/Fortum), Linda Olofsson (Holmen), Susann Handler (Jämtkraft), Jakob Bergengren (Tekniska verken i Linköping), Angela Odelberg (Statkraft), Sandra Åström (Skellefteå kraft) och Olivia Langhamer (Havs- och vattenmyndigheten).

Bertil Wahlund, Energiforsk

Stockholm, februari 2023

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet och slutsatser. Styrgruppen har endast faktagranskat rapporten. Rapporten utgör inte Havs- och vattenmyndighetens vägledande material kopplat till vattenkraft och dammar eller åtgärder vid vattenflöden.

Sammanfattning

Vattenkraften bidrar med nära hälften av Sveriges elförsörjning och är en hörnpelare för landets välbefinnande. Den utgör ett viktigt bidrag till samhällets omställning till hållbar och förnybar energiproduktion i och med sin egenskap att vara fossilfri, förnybar energi samt ett viktigt tillskott till balans och reglerkraft. Balans och reglerkraft erhålls genom korttidsreglering, som beskrivs som förändringar av flöde och vattenstånd över kortare tidsperioder.

Produktionen av vattenkraft har orsakat en minskad artrikedom och abundans av vattendragsanknutna arter så som strömlevande fiskar, makrovertebrater, vattenväxter och strandväxter, genom att produktion och reglerbarhet leder till förändrade flödesmönster, samt att dammar påverkar spridning och transport av organismer, sediment och näring negativt. Dessutom har vattenkraften lett till en utarmning av mångfalden av olika organismers livsmiljöer genom stora förändringar i vattendragets morfologi, där framför allt forsar och strömsatta sträckor minskat avsevärt och de tidigare strandmiljöerna i hög grad har överdämts. Inför kommande miljöprövningar och anpassning av vattenkraft är det därför av betydelse att arbeta innovativt och hitta kostnadseffektiva åtgärdsförslag.

EcoPeaking är ett pilotprojekt där vi har studerat korttidsreglering i Umeälven, Ljungan och Lagans avrinningsområde. Syftet med projektet är att;

- Exemplifiera hur olika aspekter av korttidsreglering manifesteras på olika lokaler och belysa betydelsen av position i systemet, morfologi och andra lokala faktorer.
- utarbeta ett verktyg som beskriver omfattning (gradient) av korttidsreglering som kan ge hjälp vid val av åtgärder, med syfte att lindra miljöpåverkan orsakad av korttidsreglering.

Projektet har drivits av Umeå Universitet med finansiering från EnergiForsk utlysning HopE. Vi har synkroniserat projektet med andra pågående projekt som respektive deltagare har. Dessa projekt är VattenkraftsÅtgärder i ett framtida Klimat (VÅK, Statkraft) och Ljunganprojektet (Länsstyrelsen i Jämtland och Västernorrland). Resultaten från EcoPeaking har nu utmynnat i att vi startat forskningsprojektet EkoFall (finansierat av HÅVA, Energimyndigheten) där vi analyserar betydelsen av kvarvarande fallhöjder för biodiversitet och resiliens mot regleringspåverkan i 15 reglerade avrinningsområden i Sverige.

I projektet har påverkan från korttidsreglering beskrivits genom beräkningar av nolltappningstimmar, beräkning av fyra olika korttidsregleringsindex, korttidsregleringseffekter per timmar gällande flöde, vattenstånd och fallhöjd samt dess inbördes samband. I resultatet jämförs antalet nolltappningstimmar per år för alla tre avrinningsområden för olika typer av hydrologiska år uppdelat på torrår, blötår samt normalår. Antal nolltappningstimmar varierar från att helt saknas (Viforsen i Ljungan) till att omfatta 6152 timmar som mest i Lagans övre delar. Resultat från nedre belägna anläggningar i Lagan visar att korttidsregleringskonsekvenserna ökar vid nolltappning. Det innebär att vid

nolltappling kan negativa fallhöjder erhållas samt att samband mellan flöde och vattenstånd separerar vilket sannolikt skapar väldigt onaturliga hydrauliska habitat. Beräkningar av index visar på hög grad av korttidsreglering i alla tre vattendrag. I projektet ingår även en studie nedströms Viforsen i Ljungan med syfte att analysera om korttidsregleringseffekter avtar med avstånd från kraftverket. Resultatet från denna anläggning visar på att här avtar inte korttidsregleringseffekterna med avstånd samt att indexberäkningar visar på en påverkan från den korttidsreglering som sker i älven, trots att återreglering sker enligt dom.

Baserat på resultaten i projektet har vi tagit fram ett förslag på ett verktyg som uppskattar omfattningen av olika typer av korttidsreglering tillsammans med åtgärdsförslag samt en generell uppskattning av produktionspåverkan som åtgärden antas medföra.

I projektet har vi även gjort en litteraturstudie där vi analyserat vetenskaplig litteratur som behandlar effekter av korttidsreglering på organismgrupperna fisk, makrovertebrater, akvatiska makrofyter och strandvegetation. Sammanlagt utgjordes underlaget av 175 artiklar. Effekterna delades upp på negativ effekt, ingen effekt eller positiv effekt och vi tittade på effekter på habitat, biodiversitet, densitet och biomassa. Resultatet sammanfattas i denna rapport, och underlaget bifogas som en bilaga. Den absolut övervägande effekten på alla dessa aspekter för alla typer av organismer är att det blir en negativ påverkan från korttidsreglering. I ett antal fall kunde ingen effekt ses, och bara i tre fall, alla gällande fisk, kunde man se att korttidsregleringen hade en positiv påverkan. Ambitionen är att denna litteraturgenomgång skall resultera i en review-artikel med högre detaljnivå, där fokus även ligger på påverkan på ekologiska processer och viktiga abiotiska faktorer, samt ha åtgärdsfokus.

Sammanfattningsvis ser vi ett behov inför miljöarbetet och nationella prövningsplanen att gradera omfattning av korttidsreglering. Utan djupare kännedom om korttidsreglering och hur den påverkar miljön i varje enskilt fall kan det vara svårt att korrekt föreslå åtgärder som både ger miljönytta och är kostnadseffektiva. Vi har föreslagit olika aspekter på korttidsreglering som ett verktyg för att skapa en gradient av korttidsreglering kopplat till hur kraftverken körs. Det innebär att det är möjligt att utifrån vårt verktyg förstå hur mycket korttidsreglering ekosystemet utsätts för. För att till fullo förstå vad de olika korttidsreglerings-komponenterna gör med processer och organismer behövs mer forskning och testområden, eftersom om vi inte förstår deras respektive negativa påverkan kan vi inte kvantifiera klasserna användbart i en prioriteringsmodell. Slutligen ser vi att själva underlaget för bedömning av korttidsreglering bör utökas till att även omfatta morfologi, hydraulik och fallhöjdsstudier.

Nyckelord

Vattenkraft, Korttidsreglering, Fallhöjdsstudier, Omprövning, Miljöåtgärder, Verktyg

Summary

Hydropeaking, defined as rapid and frequent changes in flow to optimize hydropower production, is an increasingly common procedure affecting lotic habitats in riverine ecosystems.

EcoPeaking is a pilot project where we have studied hydropeaking events in the Ume River, Ljungan and Lagan catchment area. The aim of the project was to;

- give examples on how different aspects of hydropeaking manifest themselves in different reaches depending on the position in the system, morphology and other local factors.
- give practical cost-effective suggestions of measures
- develop a tool describing the gradient of hydropeaking that can assist in the selection of best technologies and cost-effective measures, with the aim to mitigate the environmental impact caused by hydropeaking.

In the project, the impact of hydropeaking has been described through calculations of zero-flow hours, calculation of four different hydropeaking indexes, hydropeaking effects per hour in terms of changed flow, water level and fall height and their interrelationships. Our results show a high degree of hydropeaking at all three catchments. In addition, we have analyzed remaining fall height and showed that almost all fall heights are utilized at the hydropower stations for electricity production, which results in an increase of hydropeaking events.

Based on the results of the project, we have developed a proposal for a tool that estimates the scope of different aspects of hydropeaking together with proposed measures and a general estimate of the production impact that the measure is assumed to entail.

Finally, we have done a literature-study with the aim to study hydropeaking effects on biological organisms. The effects were divided into negative effects, no effect or positive effect and we looked at effects on habitat, biodiversity, density and biomass. The results from 175 scientific articles are summarized in this report. The absolute predominant effect on all these aspects for all types of organisms is that there is a negative impact from hydropeaking.

In conclusion, we see a need for environmental assessments to rate the severity of hydropeaking. Our tool developed in the project could be a start to further investigate and understand the impact of hydropeaking and develop measures to mitigate negative effects.

Innehåll

1	Inledning	8
1.1	Bakgrund	8
1.2	Betydelsen av flöde för ekosystemen.	9
1.3	Aspekter av korttidsreglering	10
1.4	Syfte med projektet	10
2	Metoder	12
2.1	Beräkning av nolltappning	12
2.2	Beräkning av index	13
2.3	Utsättning av vattenståndsloggrar och inmätning av fallhöjd	16
2.4	Beräkning av vattenytans lutning i Lagan	17
2.5	Beräkning av flödesvariationer orsakat av korttidsreglering nedströms Viforsen i Ljungan	17
2.6	Fallhöjdsstudier	18
3	Resultat	20
3.1	Beräkning av nolltappning	20
3.2	Beräkning av index	22
3.3	Korttidsregleringseffekter i Lagan – fallhöjdseffekter i magasin utan fallhöjd	24
3.4	Korttidsregleringseffekter nedströms Viforsen i Ljungan	28
3.5	Fallhöjdsstudier	31
3.6	Verktyg	35
4	Litteraturstudie	38
4.1	Syfte	38
4.2	Sökstrategi	38
4.3	Kriterier för inkludering	39
4.4	Resultat	39
5	Diskussion och slutsats	44
6	Referenslista	47

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Vattenkraften bidrar med nära hälften av Sveriges elförsörjning och är en hörnpelare för landets välbefinnande. Den utgör ett viktigt bidrag till samhällets omställning till hållbar och förnybar energiproduktion i och med sin egenskap att vara fossilfri och förnybar energi. Vattenkraften bidrar både genom stor produktion och förmågan att kompensera för den tidsmässiga variationen i elproduktion från vind- och solkraft, genom att man momentant kan möta upp samhällets behov av el och därmed verka som balans- och reglerkraft, vilket skapar pålitlighet och flexibilitet i samhällets elförsörjning. Produktionen av vattenkraftsels har dock skett till priset av en minskad artrikedom och abundans av vattendragsanknutna arter så som strömlevande fiskar, makroinvertebrater, vattenväxter och strandväxter, genom att produktion och reglerbarhet leder till förändrade flödesmönster, samt att dammar påverkar spridning och transport av organismer, sediment och näring negativt. Dessutom har vattenkraften lett till en utarmning av mångfalden av olika organismers livsmiljöer genom stora förändringar i vattendragets morfologi, där framförallt forsmljöer och strömsatta sträckor minskat avsevärt och de tidigare strandmiljöerna i hög grad har överdämts.

Merparten av utbyggnaden av vattendragen skedde under en period då liten hänsyn togs till vilka eventuella skador som uppstod på ekosystemen, och i många fall finns inga krav på passagemöjligheter, spill till torrfårar eller ekologiskt anpassad reglering. Detta gör att, även om vattenkraften har en stor betydelse för en omställning till ett mer hållbart samhälle, så behöver åtgärder som lindrar de negativa miljöeffekterna implementeras för att möta kraven från t.ex. vattendirektivet, art- och habitatdirektiven och de nationella miljömålen. Därför skall svensk vattenkraft enligt 11 kap 28 § miljöbalken nu föras med moderna miljövillkor mellan år 2022 och 2040. Arbetet ska ske på ett samordnat sätt genom den Nationella Prövningsplanen (NAP), med fokus på att skapa största möjliga nytta för vattenmiljön och samtidigt säkra nationellt effektiv tillgång till vattenkraftsels. Huvudfokus när det gäller vattenmiljönytta är att uppfylla vattendirektivets krav och artskyddsbestämmelserna.

Enligt NAP:en ska olika miljöförbättrande åtgärder föreslås och prioriteras avrinningsområdesvis. För att kunna göra detta på ett effektivt och rättvisande sätt är det viktigt att förstå dels hur vattendragets organismer i avrinningsområdet har påverkats av regleringen; vilka arter saknas och vilka finns kvar, hur är vattendragets habitat påverkade, finns det värdekärnor med en bättre ekologisk status kvar i systemet? Det är också viktigt att förstå mekaniken bakom påverkan. Hur ser spridningsmöjligheter ut? Hur matchar det reglerade flödet de olika organismernas behov av t.ex. översvämningar, vattenhastigheter, stabilitet i basflöden, temperatur, etc. För att förstå det sistnämnda, samt utforma åtgärder för att lindra negativ miljöpåverkan från vattenkraften behöver vi kunna beskriva och kvantifiera flödesförändringen och dess effekter.

1.2 BETYDELSEN AV FLÖDE FÖR EKOSYSTEMEN.

Flödet i ett vattendrag varierar naturligt i tid och rum beroende på klimat och geomorfologi och det är just variabiliteten i vattenflödet som skapar de habitat som vattendragsanknutna organismer är beroende av (Poff m.fl.1977). Ur ett ekologiskt perspektiv är det alltså viktigt att förstå den naturliga, opåverkade flödesregimen för att förstå hur dessa system upprätthålls. Hur flödet varierar inom och mellan år styr allt från näringstillförsel och konkurrensförhållanden mellan arter, till att utforma vattendragets geomorfologi. De ekosystem som är knutna till rinnande vatten, både i själva fåran och på stranden, har under årtusenden anpassats till dessa naturliga variationer. De flesta vattendrag har även ett säsongsmässigt relativt förutsägbart flödesmönster, ett sk. "hydrologiskt fingeravtryck" (Puckridge m.fl. 1998), där olika flödesändringar inträffar vid liknande tidpunkter varje år, och där organismernas livshistoria är matchat med förändringar i olika hydrauliska faktorer så som förändringar i vattenhastighet och vattenstånd.

Kunskapen om hur viktig flödesregimen är och betydelsen av en helhetssyn och ett processbaserat synsätt för att förvalta rinnande vatten, har lett till att olika ekologiska flödesbehov, sk Environmental Flows (EF) karterats i vattendrag världen över för att på så sätt minimera påverkan på miljön. Detta uttrycks i Brisbanedeklarationen (Brisbane Declaration 2007, Arthington m.fl. 2018), vilken presenterar en global handlingsagenda för att möta det akuta behovet av att skydda och rehabilitera vattendrag, och är specifikt inriktad på vikten av att tillhandahålla dessa EF.

För att lindra effekterna av flödespåverkan inför man i fler och fler vattendrag globalt sett begränsningar för hur flödet får regleras och förändras, för att även tillgodose behoven hos de vattendragsanknutna ekosystemen. Men det är inte bara förändringar i det säsongsmässiga flödesmönstret som är viktigt. Även förändringar på kortare tidsrymder, så som dagar, timmar och minuter är viktigt att förstå. Jones (2013) betonar vikten av att inkludera korttidsreglering, sk "hydropeaking", i modeller för att fastställa miljöanpassade flöden och ekologisk reglering. Han noterar också svårigheten med att tillämpa modeller baserade på en helt naturlig flödesregim i hårt reglerade vattendrag. I många av dessa vattendrag skulle tillämpningen av EF-modeller och flödesföreskrifter baserade på endast begränsade avvikelser från ett naturligt flöde ha en så stor påverkan på socioekonomiska aspekter och energiproduktion att det inte kan anses genomförbart i närtid. Särskilt i system där försörjningen av vatten för kraftproduktion innebär en kraftig förändring av det säsongsmässiga flödesmönstret, skulle en ekologisk reglering som baseras på mindre avvikelser från den naturliga hydrografen innebära att produktionen av elkraft inte längre kan matchas mot behovet. Han föreslår ett tillvägagångssätt som ser korttidsreglerade vattendrag som "två floder i en": en definierad av ett minimiflöde och en definierad av högsta flöden. Båda dessa ytterligheter har specifika effekter på systemet, och ju större skillnad det är mellan maximalt och minimalt flöde och ju snabbare förändringshastigheten är, desto större påverkan på systemet och desto färre organismer kan klara av en sådan situation. Genom att flödet förändras på mycket kort tidsbasis förändras även det hydrauliska habitatet

1.3 ASPEKTER AV KORTTIDSREGLERING

Korttidsreglering tar sig i uttryck, och kan beskrivas på olika sätt. Ett vanligt sätt att beskriva intensitet av korttidsreglering är att använda "rise rate" och "fall rate", dvs. hur pass snabbt vattenståndet förändras. Snabba förändringar kan påverka många organismer negativt, och en vanlig åtgärd är att begränsa förändringshastigheten. Det är även vanligt att beskriva intensiteten av korttidsregleringen genom olika index som kvantifierar volym- och frekvensförändringar av svängningar per tidsenhet, dvs hur ofta sker förändringar från ett högre flöde till ett lägre, och vice versa, samt hur stora är förändringarna i volymen vatten som tillförs eller subtraheras vid en given plats under en given tidsenhet. I detta projekt använder vi oss av fyra sådana index (se avsnitt 2.2, tabell 2.1) för att beskriva förändringar över dygnet. I många anläggningar där korttidsreglering sker förekommer även perioder då ingen tappning sker, s.k. nolltappning. Hur frekventa och/eller långvariga dessa nolltappningstillfällen är, samt intensiteten i korttidsregleringen skiljer sig från anläggning till anläggning, och varierar även med efterfrågan hos marknaden och med tillgången på vatten (torrår, normalår och blötår).

En annan viktig aspekt att beakta när det gäller korttidsreglering, och som man inte fångar in genom att enbart använda sig av förändringshastigheter, index, och antal och varaktighet av nolltappningstimmar, är om det finns dammar som påverkar flödet både uppströms och nedströms. Finns detta så kan påverkan skilja sig åt jämfört med t.ex. om det inte finns någon damm nedströms. I dämningsområden med i princip ingen fallhöjd kvar kan normala samband mellan flöde och vattenstånd sättas ur spel; man kan ha höga vattenstånd men i princip stillastående vatten och nollflöden, och vice versa kan man ha perioder med höga flöden men där vattenståndet inte förändras nämnvärt, eller till och med i vissa fall och under kortare perioder kan sjunka. Detta var något vi uppmärksammade i arbetet med att beskriva Maximal Ekologisk Potential Umeälven, inom Umeälvsprojektet (Widén m.fl. 2016), samt i projektet Prio-KLIV (Widén m.fl. 2017, Renöfält m.fl. 2017), och är bakgrunden till att detta projekt uppstod. Exempel på ytterligare aspekter att beakta när man analyserar och kvantifierar korttidsreglering och dess effekter är om det finns fallhöjd kvar eller inte, och det finns strukturer som kan dämpa och mildra påverkan av korttidsregleringen.

1.4 SYFTE MED PROJEKTET

I arbetet med prövningsarbetet och miljöanpassning av svensk vattenkraft är det angeläget med verktyg och metoder för att;

- beskriva olika hur olika aspekter av korttidsreglering manifesteras.
- ge funktionella åtgärdsförslag.
- utarbeta ett verktyg som beskriver omfattning (gradient) av korttidsreglering som kan ge hjälp vid val av åtgärder, med syfte att lindra miljöpåverkan orsakad av korttidsreglering.

Syftet med detta projekt har varit att bidra till att utveckla sådana metoder och verktyg genom att undersöka vilka underlag som behövs för att beskriva korttidsreglering samt att ta fram förslag på hur ett verktyg som kvantifierar

korttidsreglering kan vara utformat. Projektet har en begränsad omfattning och kan ses som ett pilotprojekt för att utveckla metoder att arbeta med korttidsreglering. I projektet har vi detekterat och kartlagt ögonblicken då flöden och vattenstånd sker på ett sådant sätt att vi kan klassificera förändringen som avvikande mot det naturliga flödet dvs korttidsreglering. Vi har utgått från de olika aspekter vi beskriver i stycket ovan, och analyserat anläggningar i Lagan, Ljungan samt Umeälven. Vi har studerat tillfällen då flöden och vattenstånd separeras, hur mycket de separeras och när det sker samt vilka konsekvenser det har på vattenstånd och flöde. Vi har kvantifierat nolltappningshändelser och beskrivit och kvantifierat graden av korttidsreglering jämfört med oregrerade vattendrag att använda vedertagna index (Zimmerman m.fl. 2010). Vi har analyserat betydelsen av fallhöjd, och hur man kan arbeta med analyser av vattenytans lutning. Vi har även tittat på dämpningseffekter av ett reglerat flöde nedströms Viforsens kraftverk. Slutligen har vi gjort en litteraturöversikt över effekter av korttidsreglering på bottendjur, fisk, musslor och strandvegetation genom en litteraturstudie av vetenskaplig litteratur. Den presenteras i korthet i denna rapport samt att underlaget sammanställs i Bilaga 1, men syftet är att vidareutveckla den till en review-artikel som inte bara innefattar effekter på olika organismgrupper men även på ekologiska processer och abiotiska faktorer knutet till olika aspekter av korttidsreglering samt en analys av potentiella åtgärder kopplat till detta. I projektet har vi haft en stor samverkan med forskningsprojektet VÅK (VattenkraftsÅtgärder i framtida Klimat), som drivs av Umeå universitet tillsammans med Statkraft AB i Sverige och Statkraft A/S i Norge, Ljunganprojektet som drivits av Umeå Universitet och SLU i samarbete med länsstyrelserna Jämtland och Västernorrland, samt projektet EkoFall som drivs av SLU och Umeå Universitet inom Energimyndighetens utlysning HÅVA (Hållbar vattenkraft).

2 Metoder

Arbetets utfördes i tre avrinningsområden i Sverige; Umeälven, Ljungan och Lagan (Figur 1). Fokus har legat på anläggningar som tillhör Statkraft AB, då dessa ingått i projektet VÅK, men även anläggningar tillhörande andra verksamhetsutövare har ingått i projektet.



FIGUR 2.0. ARBETET I PROJEKTET GRUNDAR SIG PÅ DATA FRÅN ANLÄGGNINGAR SAMT MÄTNINGAR I UMEÄLVEN, LJUNGAN OCH LAGAN.

2.1 BERÄKNING AV NOLLTAPPNING

Vi har beräknat antalet nolltappningstimmar och dess varaktighet över ett hydrologiskt normalt, ett torrt och ett blött år för Umeälven, Ljungan och Lagan.

För Umeälven redovisas nolltappning för 2003 (torrrår), 2010 (normalår) och 2012 (våttår). Arbetet skedde inom Umeälvsprojektet (Widén m.fl. 2016, Widén m.fl. 2021) och användes som jämförelse mot nolltappningsdata i Lagan och Ljungan.

För Ljungan redovisas nolltappning för torrråret 2007, normalåret 2011 och våttåret 2012. Nolltappning har beräknats vid kraftverken Matfors, Skallböle, Nederede, Järnvägsforsen, Bursnäs, Turlinge, Rätan, Trångfors, Flåsjön, Torpshammar och

Leringsforsen. I de anläggningar som inte analyserats saknade vi flödesdata med timupplösning.

För Lagan redovisas data för 2007 (våtår), 2010 (normalår), 2013 (torrår).
Nolltappning för samtliga anläggningar förutom småskaliga anläggningar i biflöden har beräknats.

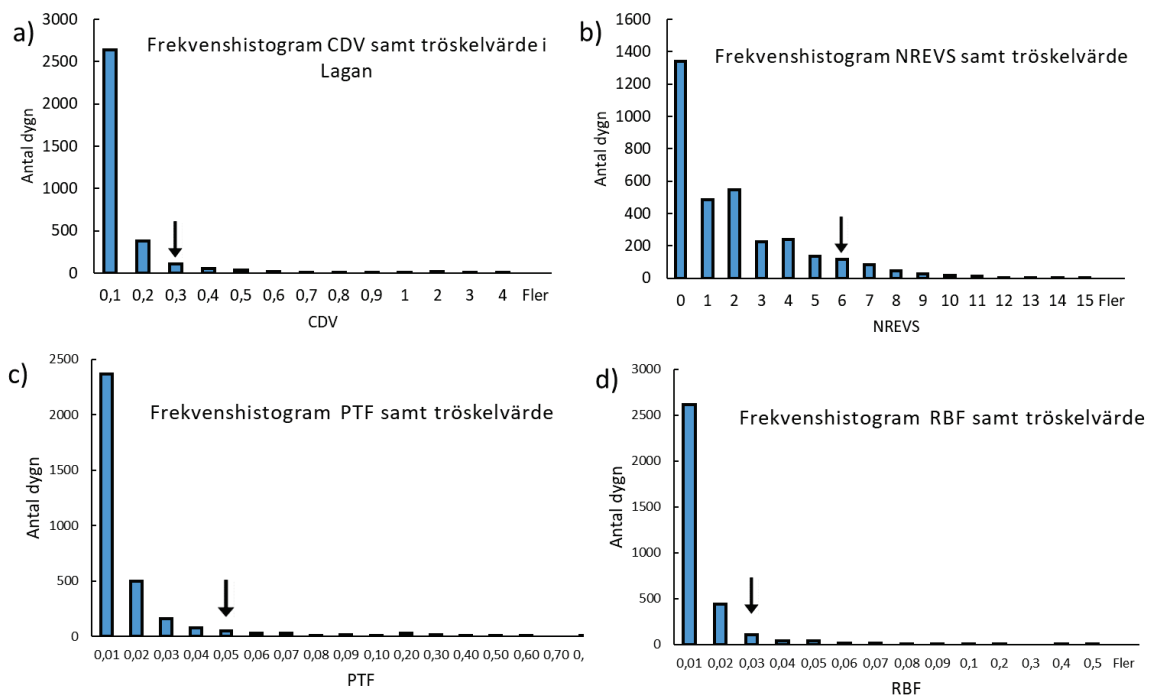
2.2 BERÄKNING AV INDEX

Vi har analyserat korttidsreglering genom att använda oss av fyra index som beskriver dygnsvariationer av flöden (Zimmerman m.fl. 2010). Index och beräkningsformler beskrivs nedan (tabell 2.1). Analyserna i Ljungan baseras på data för åren 2007, 2011 och 2012, vilket motsvarar ett hydrologiskt normalt år (2011), vått år (2012) och torrt år (2007). Analyserna i Lagan baseras på data för vååret 2007, normalåret 2010 och torråret 2013 för kraftverken Åby, Skeen, Skogaby, Karsefors och Laholm. För Ljungans kraftverk beräknades index för Matfors, Skallböle, Nederede, Järnvägsforsen, Bursnäs, Turinge, Rätan, Trångfors, Flåsjön, Torpshammar och Leringsforsen.

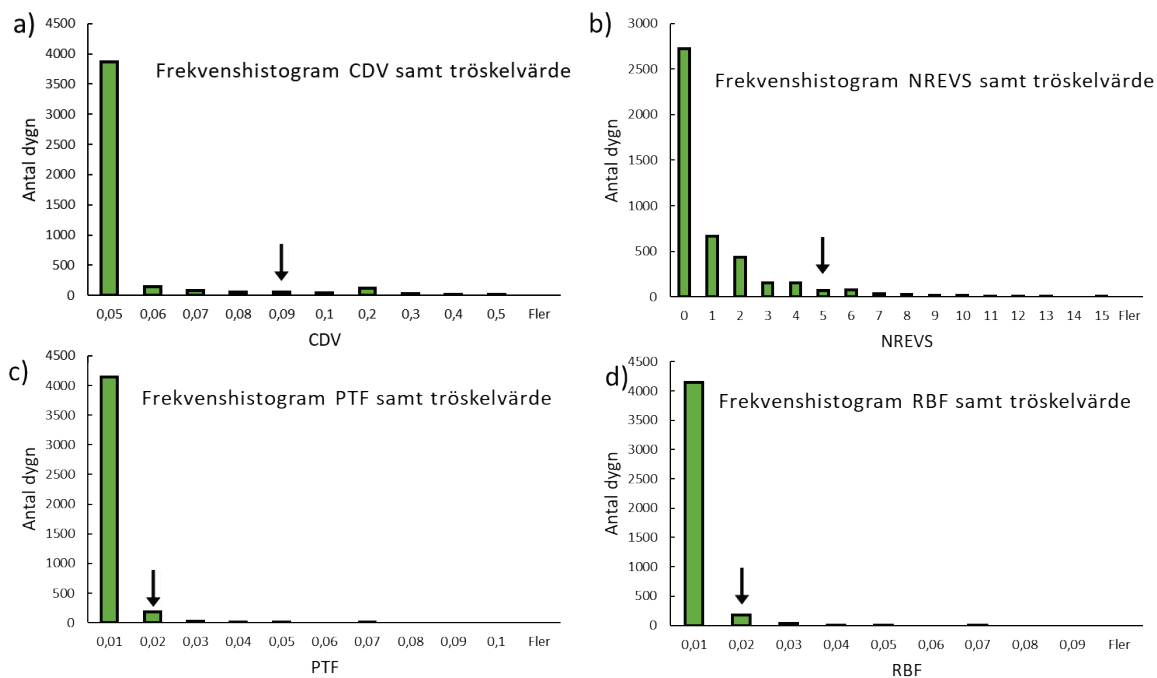
Oreglerade referensmätstationer som används för Ljungan vid beräkning av tröskelvärden för en naturlig variation är Gimdalsby, Sarasfors, Norrsjön och Storsillret och för Lagan Bröddebacken, Ellinge, Fryele och Heåkra. Tröskelvärden är satta så att värden ovan dessa endast förekommer undantagsvis och då på sin höjd under några enstaka dagar per år i oreglerade vattendag i avrinningsområdet. Frekvensfördelningshistogram baserat på sammanslagna data för samtliga stationer för de olika indexen i de oreglerade lokalerna samt tröskelvärden redovisas i figur 2.1 och 2.2 nedan.

TABELL. 2.1 BESKRIVNING AV INDEX FÖR ATT BERÄKNA INTENSITET AV KORTTIDSREGLERING.
EFTER ZIMMERMAN M.FL. 2010.

Beräkningsmetod	Formelbeskrivning	Referensmaterial
Richards-Baker flashiness index (RBF)	$R-B \text{ Index} = \frac{\sum_{i=1}^n 0,5((q_{i+1}-q_i)+(q_i-q_{i-1}))}{\sum_{i=1}^n q_i}$ där q står för flödet under aktuell timme och n för antalet mätvärden under analysperioden (24 timmar). Indexet visar det sammanlagda mätvärdet av flödesoscillationerna (summan av absoluta värden för förändringarna timme till timme i timvärden) dividerat med summan av timflödena för varje 24-timmarsperiod.	(Baker m.fl. 2004)
Procent av totalflödet (PTF)	$PTF = (\text{högsta timvärdet} - \text{minsta timvärdet}) / \text{summan av timvärdena för 24-timmarsperioden. Detta ger den dygnsvis procentandel som adderats eller subtraherats från totalflödet.}$	(Lundquist & Cayan, 2002)
Dygnsvariationskoefficienten (CDV)	Standardavvikelsen för dygnets timvärden dividerat med medelflödet för dygnet	(McKinney m.fl. 2001)
Reverseringar (NREVS)	Beräknar antalet gånger mätstationen registrerar växlingar mellan perioder av stigande och fallande timvärde n under dygnet.	(The Nature Conservancy 2007)



FIGUR 2.1. HISTOGRAM ÖVER REKVENSFÖRDELNINGARNA I OREGLERADE LOKALERNA I LAGAN FÖR A) CDV, B) NREVS, C) PTF SAMT D) RBF. PILEN MARKERAR TRÖSKELVÄRDET.



FIGUR 2.2. HISTOGRAM ÖVER FREKVENSFÖRDELNINGARNA I OREGLERADE LOKALERNA I LAGAN FÖR A) CDV, B) NREVS, C) PTF SAMT D) RBF. PILEN MARKERAR TRÖSKELVÄRDET.

2.3 UTSÄTTNING AV VATTENSTÅNDSLOGGRAR OCH INMÄTNING AV FALLHÖJD

Fallhöjdsmätningar -Lagan

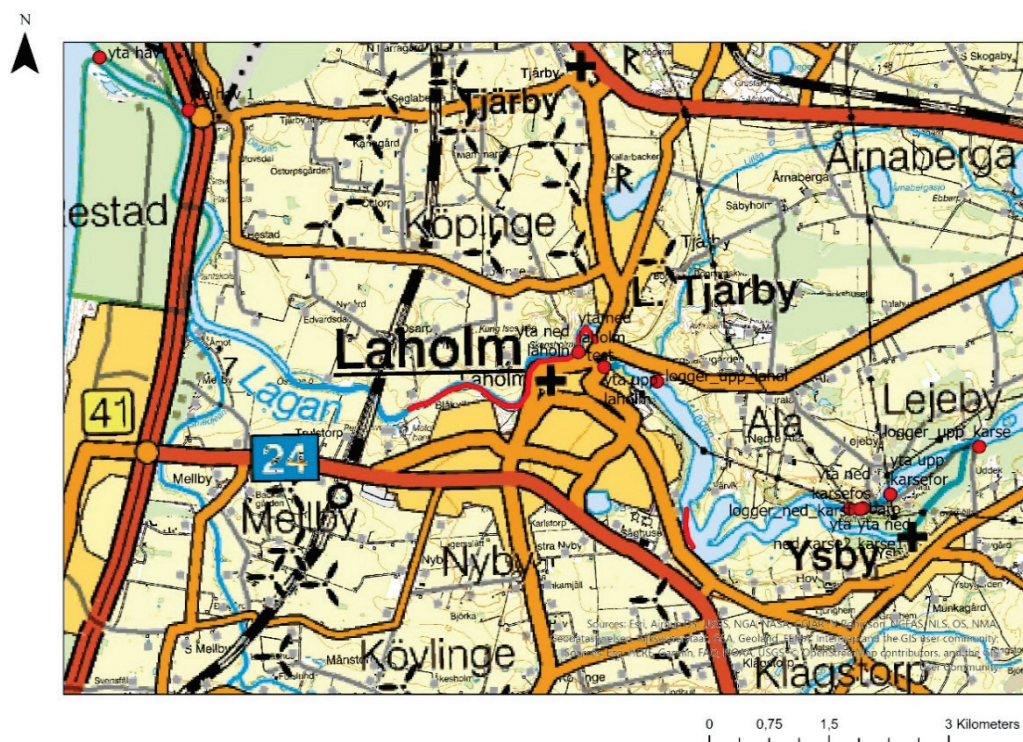
Ytan i meter över havet (RH2000) mättes på alla magasin med Real-time kinematic positioning (RTK) tillsammans med koordinater i SWEREF99 med koordinatprojektion 13.30 (SWEREF 99, projektioner | Lantmäteriet (lantmateriet.se). RTK-mätning i Lagan skedde från havet upp till Bro för att kartlägga eventuella kvarvarande fallhöjderna i magasinerna. Resultat från RTK-mätningar exporterades till ArcGIS-filer för analys.

Mätning av förändrad fallhöjd över tid - Lagan

Vattenståndsloggrar av märke Troll® placerades ut 2019-11-07 i vardera änden av Laholms och Karsefors dämningssområden och mätning skedde varje timme (Figur 2.3). Loggrarna lästes av 2021-05-18. Loggrarnas position mättes in med RTK för beräkningar av nivå på vattenyta (Tabell 2.2). Resultatet exporterades från loggrar till Excel för analys.

TABELL 2.2. POSITION AV VATTENSTÅNDLOGGERS I KARSEFORS OCH LAHOLMS DÄMNINGSOMRÅDE, SWEREF 99 MED PROJEKTION 13.15, RH2000.

Dämningsområde	Beskrivning	Northing	Easting	Position
Laholm	Logger_upp_Laholm	6265743	123117,5	7,95082
Laholm	Logger_ned_Karsfors	6264141	125671,3	8,06888
Laholm	Baro placerad i Laholm	6264144	125669,6	8,83135
Karsefors	Logger_upp_Karsefors	6264925	127159,4	33,58416
Karsefors	Logg_ned_Skogaby	6265323	128707,2	33,85229



FIGUR 2.3. RÖDA PUNKTER MARKERAR VATTENSTÅNDSLOGGRARNAS POSITION I LAGAN. RÖDA STRECKADE LINJER VISAR INMÄTNINGSPROFIL.

2.4 BERÄKNING AV VATTENYTANS LUTNING I LAGAN

Loggrar sattes ut som beskrivet i avsnitt 2.3 för att mäta ytan. För att beräkna fallhöjden beräknades höjd över havet direkt nedströms kraftverket i Skogaby och Karsefors och höjd över havet nedströms magasinet (direkt uppströms kraftverket) subtraherades. Resultatet i form av fallhöjdsmeter analyserades tillsammans med totalflöde för Laholms och Karsefors kraftverk. Syftet var att (1) kontrollera att mätning från loggrar och flöde korrelerade för att kvalitetssäkra loggermätningarna och (2) att studera flödets påverkan (driftsstrategin) på fallhöjd.

2.5 BERÄKNING AV FLÖDESvariationer ORSAKAT AV KORTTIDSREGLERING NEDSTRÖMS VIFORSEN I LJUNGAN

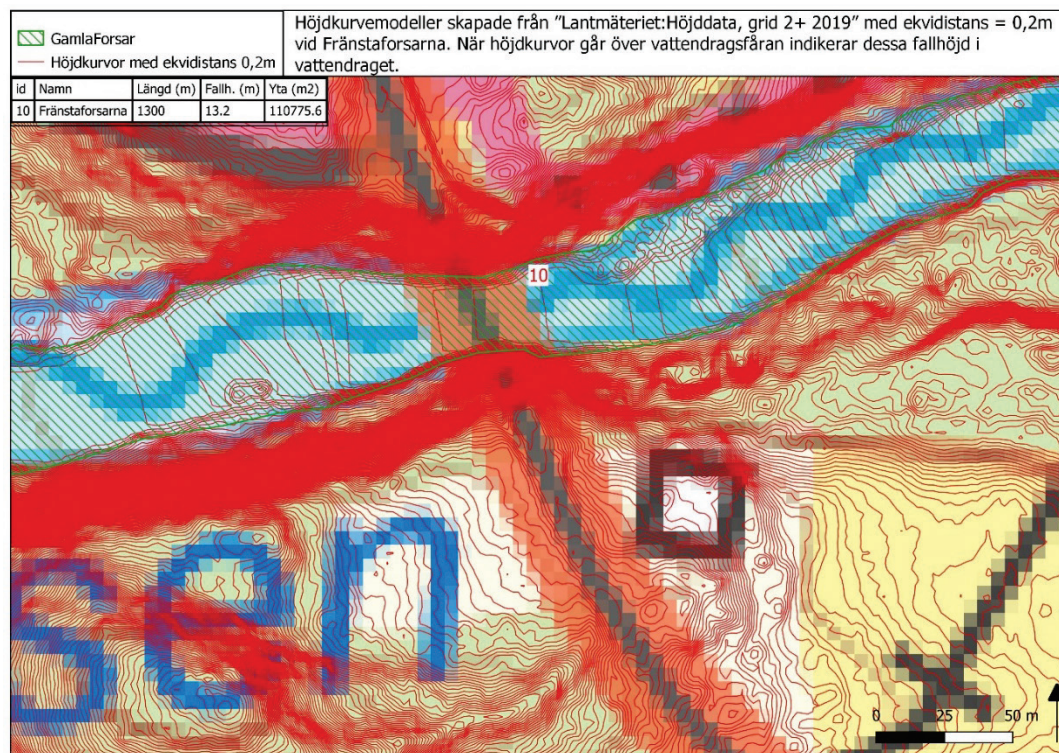
I ett examensarbete utförts vid Umeå Universitet (Eklund 2021) analyserades graden av flödesvariationer nedströms Viforsens kraftverk i syfte att undersöka hur väl det korttidsreglerade flödet som tas emot från uppströms liggande anläggningar återregleras nedströms Viforsen, enligt krav i gällande vattendom (deldom 1983 0125, VA15/75 DVA3), samt om det sker en nedströms dämpning av eventuella korttidsregleringseffekter i en gradient efter kraftverket. Enligt Miljöbalken är sträckan nedom Viforsen är skyddad från vattenkraftpåverkan då den utgör det enda återstående habitatet för lax i Ljungan. Återregleringen sker med hjälp av magasinet Marmen och Stöde, där gällande sänkings- och dämpningsgränser styr vilket utrymme det finns för återreglering. Data på

förändringar i vattennivån erhöles genom att placera ut tre tryckloggar som mätte vattenstånd på timbasis i en gradient nedströms Viforsens kraftverk, där den nedersta loggern placerades ca 15 km från kraftverket. Loggrarna mätte under perioden 2020-06-08 till och med 2020-10-09. För att studera i vilken grad Viforsen avviker från ett oreglerat vattendrag med avseende på flödesfluktuationer på kortare tidsintervall gjordes jämförelser av korttidsregleringsindex (PTF och CDV, se avsnitt 2.2) mellan Viforsen och jämförbar lokal i den oreglerade Vindelälven.

2.6 FALLHÖJDSSTUDIER

Som ett led i arbetet med analyser av flöde och vattenstånd inleddes ett metodutvecklingsarbete för att kartlägga kvarvarande fallhöjd i magasinerna i Ljungan och Lagan, eftersom avsaknad av fallhöjd i ett magasin möjliggör en mer omfattande korttidsreglering. Ett magasin med helt överdämd fallhöjd blir i stort sett en helt platt yta som minskar eller ökar i amplitud utan att vara beroende av flödets förändring. Kvarvarande fallhöjd är därmed av betydelse för dels för potentialen att korttidsreglera flöde och vattenstånd men även åtgärdspotentialen.

Kvarvarande fallhöjder analyserades med hjälp av ArcGIS i Lagan och Ljungan. Höjdkurvemodeller med ekvidistans 0,2 m baserat på "Lantmäteriet: Höjddata, grid 2+ 2019" skapades för Ljungans, Gimåns och Lagans huvudfårar. Dessa användes för att kvantifiera och lokalisera kvarvarande fallhöjd i vattendraget (Figur 2.4). Metodens upplösning på 0,2 m bedömdes vara detaljerad nog för att möjliggöra identifieringen av verklig fallhöjd i ett större vattendrag, utan att ge utslag för mindre ojämnheter i vattenytan och grov nog för att möjliggöra datahantering på avrinningsområdesnivå.



FIGUR 2.4. HÖJDKURVEMODELLER SKAPADE FRÅN "LANTMÄTERIET: HÖJDDATA, GRID 2+ 2019" MED EKVIDISTANS = 0,2M VID FRÄNSTAFORSARNA. NÄR HÖJDKURVOR GÅR ÖVER VATTENDRAGSFÅRAN INDIKERAR KURVORNA FALLHÖJD I VATTENDRAGET.

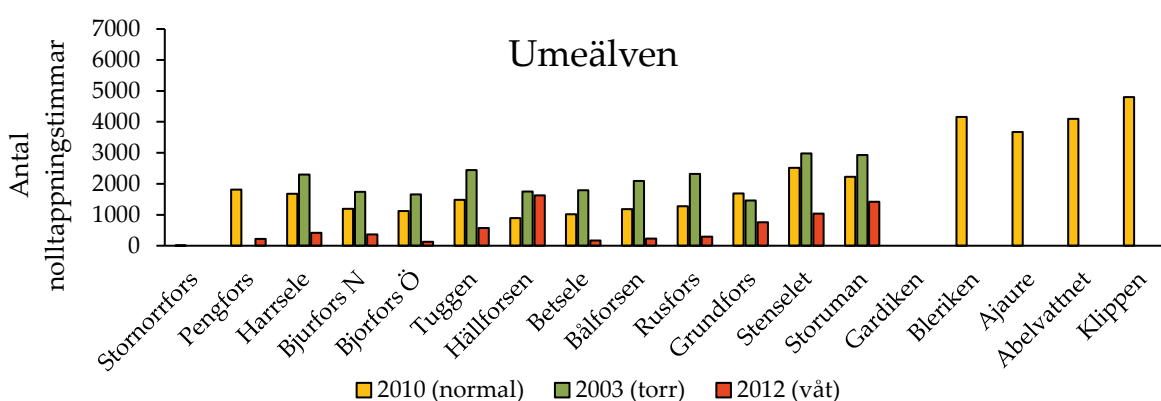
Höjd kurvemodellerna (Lantmäteriets höjddata, grid 2+ 2019) som ligger till grund för projektets fallhöjdsanalyser har validerats i fält under maj 2020 för Lagan och augusti 2021 för Ljungan. Validering av modellerade fallhöjder skedde med hjälp av en nätverks-RTK (Real-Time Kinematic) som är ett annat namn för relativ bärvägsmätning i realtid. Vid RTK-mätning krävs GNSS-mottagare som klarar av bärvägsmätning på flera frekvenser och även någon form av datalänk för överföring av RTK-data mellan mottagarna i realtid, till exempel radiokommunikation. Bruk av RTK möjliggör inmätning av centimeter-exakta värden och positioner om kommunikation finns med satellitsystem och datalänk. Valideringen innebar att vattenytans position mättes in vid början och slutet av sträckor med fallhöjd som var föremål för studien. Vid längre sträckor har fler inmätningar med RTK skett. Valideringsarbetet begränsades av t.ex. branta nipor eller tät vegetation som försämrade RTK-mottagarens satellitkontakt. Därutöver kan en för objektet representativ inmätningsspunkt vara svår att identifiera vid branta och smala objekt (<ca 5 m i bredd) då vattnet under sådana förhållanden tenderar att bli turbulent och vågigt. De insamlade mätningarna exporteras sedan som CSV-filer och som ArcGIS-filer för att underlätta jämförelse med modellerade fallhöjder.

3 Resultat

Korttidsregleringen är omfattande i alla tre avrinningsområden. I stort sett alla kraftverk utom Viforsen har nolltappning och snabba förändringar av flöde och vattenstånd. Vattenstånd kan vara låga när flöde är höga och vice versa. Dessutom separerar flöden och vattenståndsförändringen, vilket kan innebära att när flödet stiger och vattenhastigheten ökar, sjunker vattenstånden eftersom magasinet töms på vatten. Tillsammans representerar våra resultat tre dimensioner av korttidsreglering; (1) nolltappning samt start- och stopphändelser, (2) separering av flöde och vattenstånd samt att det visar på olika mönster av detta vid olika grader av flödesförändring, och (3) förändringar av kvarvarande fallhöjder från positiv fallhöjd till negativ fallhöjd (magasinen "lutar bakåt" vid vissa tillfällen). Den ekologiska responsen på korttidsreglering, indelat på negativ respons, ingen respons, eller positiv respons, presenteras i en litteraturstudie med fokus på fisk, akvatiska evertetrater, strandvegetation, akvatiska makrofyter samt påväxtalger.

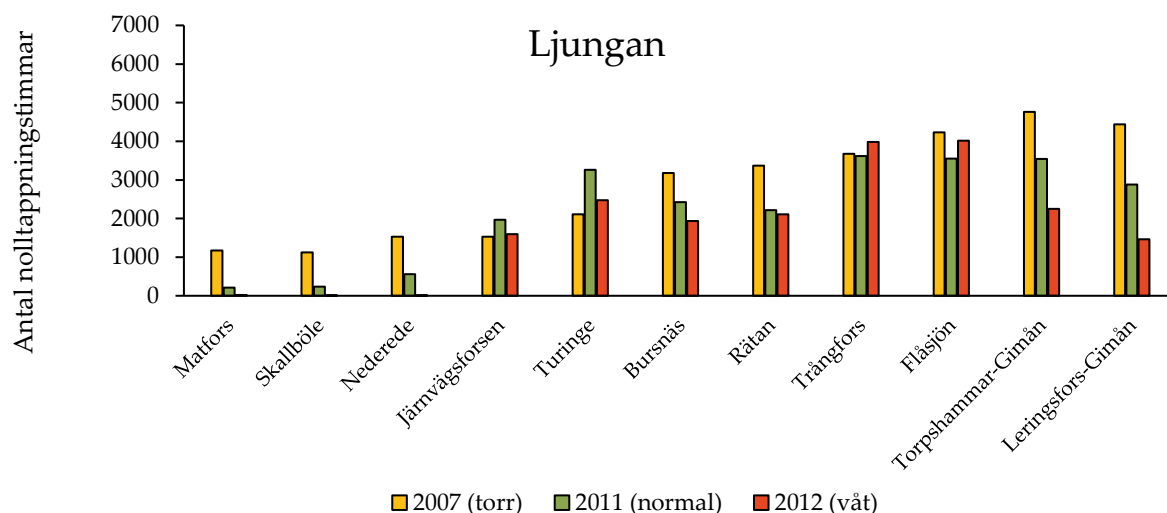
3.1 BERÄKNING AV NOLLTAPPNING

Nolltappning har beräknats för Umeälven, Lagan och Ljungan (Figur 3.1, 3.2, 3.3). Analyserna för Umeälven har publicerats i en vetenskaplig artikel (Widén m. fl. 2021). I Umeälven har Stornorrfor kraftverk endast 9 timmar med nolltappning, vilket är en effekt av ett inkommande flöde från den oreglerade Vindelälven straxt uppströms anläggningen. Annars har älvmagasinen i Umeälven ett mönster av nolltappning med många men korta nolltappningsperioder, medan regleringsmagasin ofta har långa perioder med nolltappning under våren (Figur 3.1). Det är dock stor skillnad på hur detta ser ut beroende på om man tittar på normalår, blötår eller torrår med en högre andel nolltappning under torrår.



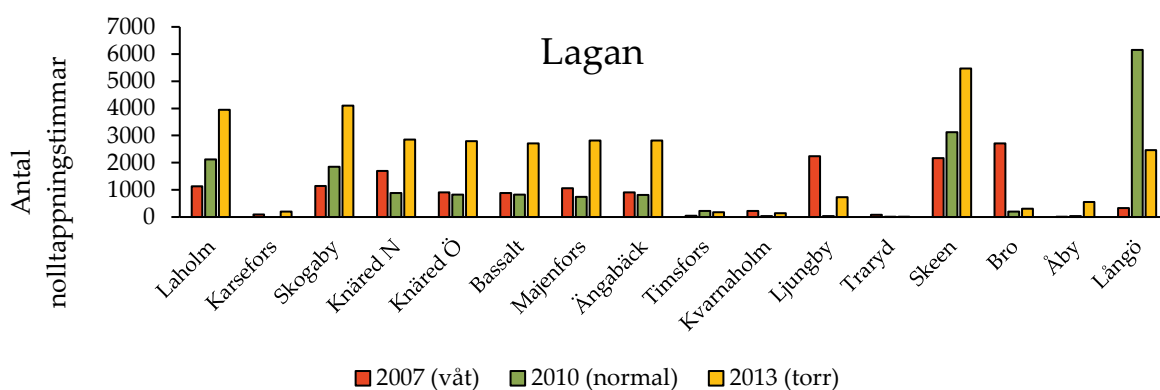
FIGUR 3.1. ANTAL NOLLTAPPNINGSTIMMAR PER ÅR FÖR KRAFTVERKEN I UMEÄLVEN. FÖR DE FYRA REGLERINGSMAGASINEN BLERIKEN, AJAURE, ABELVATTNET SAMT KLIPPEN FANNS ENDAST DATA FÖR NORMALÅR. FÖR KLIPPEN FINNS ETT MINIMITAPPNINGSKRAV.

Ljungan uppvisar liknande nolltappningsmönster som Umeälven med undantag för de nedre anläggningarna Viforsen (saknar nolltappning) samt Matfors och Skallböle, vilket orsakas av den återreglering som sker i Viforsens kraftverk (Figur 3.2).



FIGUR 3.2. ANTAL NOLLTAPPNINGSTIMMAR PER ÅR FÖR KRAFTVERKEN I LJUNGAN. DE KRAFTVERK SOM SAKNAS I FIGUREN ÄR RELATERAT TILL ATT VERKSAMHETSUTÖVARE INTE VARIT VILLIG ATT DELA MED SIG ATT TOTALFLÖDE FRÅN KRAFTVERKET PER TIMME.

Lagans kraftverk har en nolltappning på daglig basis med undantag för anläggningarna Karsefors, Timsfors, Kvarnaholm och Traryd. Regleringsmagasinen kopplat till kraftverken Skeen och Långö visar på omfattande nolltappning under hydrologiskt torra år (Figur 3.3).



FIGUR 3.3. ANTAL NOLLTAPPNINGSTIMMAR PER ÅR FÖR KRAFTVERKEN I LAGAN.

3.2 BERÄKNING AV INDEX

Beräkningar av korttidsregleringsindex har skett för anläggningar i Lagan och Ljungan. Tabell 3.1 och tabell 3.2 visar att flödesvariationerna inom dygnet vid kraftverken i Lagan och Ljungans kraftverk överstiger tröskelvärdena för de i avsnitt 2 beskrivna indexen mellan 1–361 dygn per år.

Tröskelvärdet överstigs i medeltal för Ljungan 47 dygn per år för RBF, 203 dygn för PTF, 219 dygn för CDV och 203 dygn per år för NREVS vid de analyserade reglerade mätstationerna och för Lagan 22 dygn per år för RBF 22,2, 153 dygn för PTF, 167 dygn för CDV och 154 dygn per år för NREVS. Resultaten vid de analyserade reglerade mätstationerna indikerar att korttidsregleringen är omfattande och vanligt förekommande i båda vattendragen, men att Ljungan har fler avvikelser från naturligt flöde enligt index. Indexet NREVS exemplifierar problemets omfattning på ett tydligt vis, då denna indikerar hur många skiften per dygn som vattenflödet uppvisar från sjunkande till stigande eller vice versa. Detta sker i princip inte mer än en gång om dagen även i undantagsfall i våra större vattendrag (Renöfält & Ahonen, 2013). De oreglerade referenslokalerna i denna analys finns i mindre vattendrag i Ljungans avrinningsområde med jämförelsevis större dygnsvariation i flöden och därför sattes tröskelvärdet till 5 sådana skiften per dygn. Detta innebär att vi på grund av bristen av referenslokaler av tillräcklig storlek sannolikt underskattar avvikelserna från naturliga vattendrag. Vid de reglerade mätstationerna överskreds detta i medel mer än varannan dag. Sammantaget medför detta sannolikt att vattennivåer och vattenhastigheter vid mätstationerna höjs och sänks i onaturlig omfattning och med onaturliga hastigheter, vilket inte bara medför en ökad risk för att organismer strandar eller spolas bort utan även riskerar skada en stor mängd ekologiska processer.

TABELL 3.1. ANTAL DYGN SOM DE OLIKA REGLERADE MÄTSTATIONERNA I LJUNGAN ÖVERSTIGER TRÖSKELVÄRDENA FÖR DE OLIKA INDEXEN UNDER VÅTÅRET 2012, NORMALÅRET 2011 OCH TORRÅRET 2007.

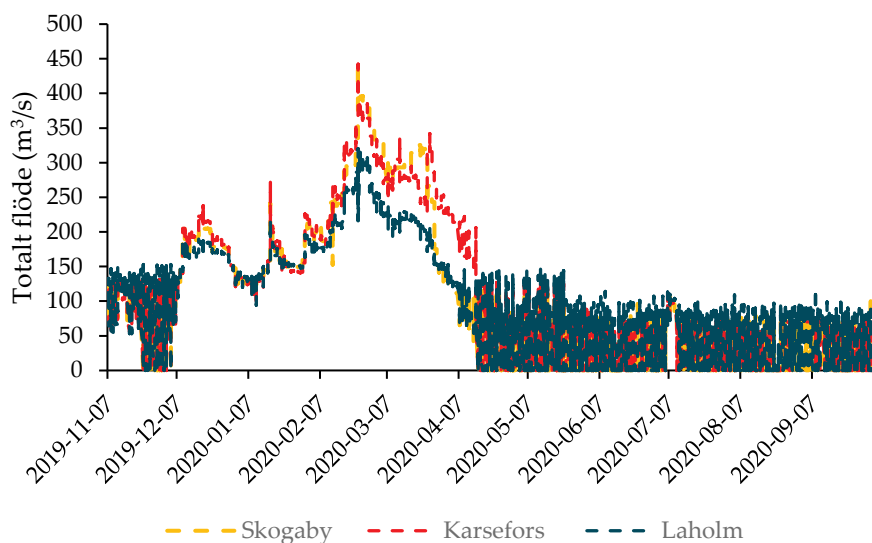
Kraftverk/år	RBF	PTF	CDV	NREVS
Flåsjön 2007	59	149	149	187
Flåsjön 2011	92	170	172	94
Flåsjön 2012	86	179	182	198
Trångforsen 2007	54	257	257	215
Trångforsen 2011	70	262	262	145
Trångforsen 2012	68	268	270	135
Rätan 2007	60	258	258	283
Rätan 2011	49	217	226	317
Rätan 2012	79	257	257	323
Turinge 2007	66	257	258	269
Turinge 2011	45	215	221	302
Turinge 2012	80	256	257	315
Järnvägsforsen 2011	24	220	233	289
Järnvägsforsen 2012	45	224	233	289
Bursnäs 2007	80	257	258	308
Bursnäs 2011	56	215	221	331
Bursnäs 2012	93	258	259	350
Nederede 2007	57	268	285	102
Nederede 2011	31	248	319	64
Nederede 2012	24	262	317	80
Skallböle 2007	65	218	229	331
Skallböle 2011	18	212	254	318
Skallböle 2012	12	140	206	321
Matfors 2007	65	221	243	217
Matfors 2011	16	215	255	359
Matfors 2012	10	136	199	361
Viforsen 2007	4	4	22	94
Viforsen 2011	7	5	30	94
Viforsen 2012	1	1	14	85
Leringen - Gimån 2007	21	129	144	4
Leringen - Gimån 2011	77	247	271	12
Leringen - Gimån 2012	56	178	198	4
Torpshammar-Gimån 2007	6	159	162	124
Torpshammar-Gimån 2011	18	295	297	168
Torpshammar-Gimån 2012	39	284	289	197

TABELL 3.2. ANTAL DYGN SOM DE OLIKA REGLERADE MÄTSTATIONERNA I LAGAN ÖVERSTIGER TRÖSKELVÄRDENA FÖR DE OLIKA INDEXEN UNDER VÅTÅRET 2007, NORMALÅRET 2010 OCH TORRÅRET 2013.

Kraftverk/år	RBF	PTV	CDV	NREVS
Åby 2007	0	13	49	354
Åby 2010	18	11	41	344
Åby 2013	7	3	12	351
Skeen 2007	24	122	127	31
Skeen 2010	37	170	176	8
Skeen 2013	16	259	256	0
Skogaby 2007	23	94	100	28
Skogaby 2010	22	168	189	86
Skogaby 2013	28	285	286	10
Karsefors 2007	28	101	132	215
Karsefors 2010	28	185	205	153
Karsefors 2013	22	297	317	110
Laholm 2007	24	103	117	271
Laholm 2010	33	189	198	282
Laholm 2013	23	295	306	73

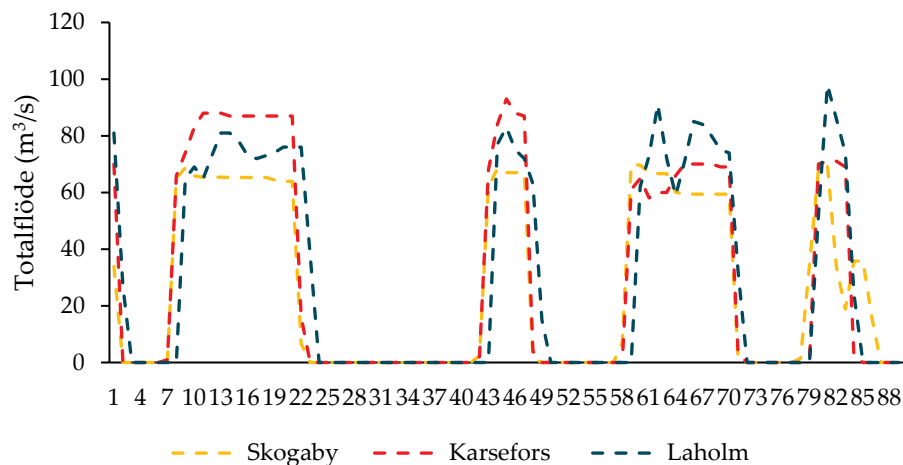
3.3 KORTTIDSREGLERINGSEFFEKTER I LAGAN – FALLHÖJDEFFEKTER I MAGASIN UTAN FALLHÖJD

Lagans kraftverk ligger i kaskad och flödets tappningsmönster följer med från kraftverk till kraftverk (Figur 3.4). Om t.ex. Skogsby har nolltappning så kommer de nedströmsliggande kraftverken att nolltappa eftersom dämningsområden uppströms kraftverken har liten lagringsvolym. Flöden får därför likartade i körningsmönstret när kraftverken ligger i kaskad och har begränsad lagringskapacitet (Figur 3.5).



FIGUR 3.4. TOTALFLÖDE PER TIMME FRÅN KRAFTVERK SKOGABY, KARSEFORS OCH LAHOLM UNDER PERIODEN 2019-11-07 TILL 2020-09-07.

Timdata 1/6 - 4/6 2020

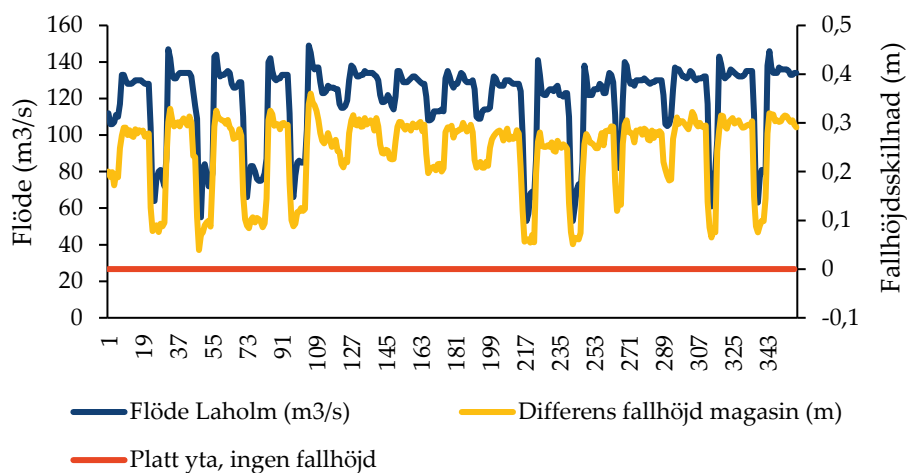


FIGUR 3.5. TOTALFLÖDE PER TIMME FRÅN KRAFTVERK SKOGABY, KARSEFORS OCH LAHOLM UNDER PERIODEN 2020-06-01 TILL 2020-06-04.

Magasinets vattenstånds rörelse vid olika flöden mätt i fallhöjdsförändring

Ytan på magasin i kaskad är också ofta utan fallhöjd och de kan därför anses vara "platta". Platta magasin är därmed magasin där all fallhöjd kan anses vara allokerade till kraftverksproduktion. Under normal drift då inga oplanerade högflöden sker, varierar lutningen i Laholmsmagasinet från att ytan är cirka 40 cm högre uppströms (flöden $> 50 \text{ m}^3/\text{s}$, Figur 3.6) till att dippa och luta uppströms med cirka 20 cm vid nolltappning (Figur 3.7). Fallhöjdförändringen är direkt relaterad till driftsstrategi av kraftverket. Därmed har man vid högre flöden en fallhöjd beräknad från nedströms ovanliggande kraftverk (Karsefors) till nedströmsliggande kraftverk (Laholm), från +0,4 meter till -0,2 meter vid nolltappning (Figur 3.7).

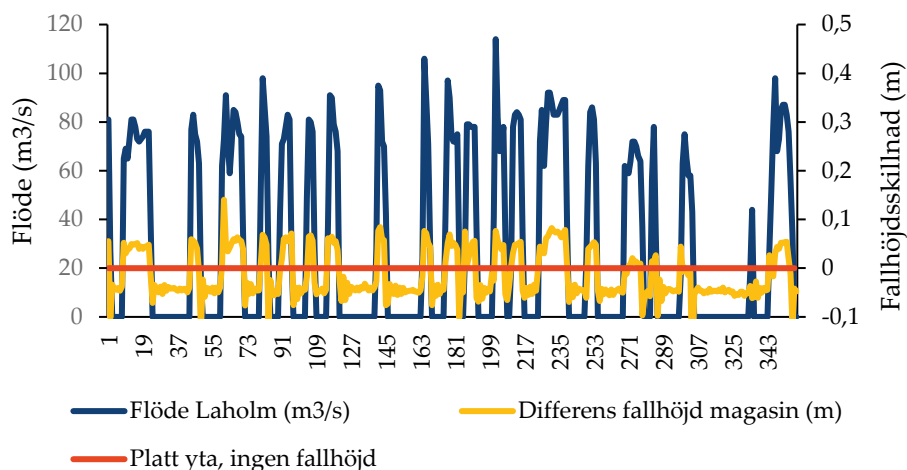
Ingen nolltappning 7/11-21/11



FIGUR 3.6. PRIMÄRAXEL VISAR TOTALFLÖDE PER TIMME MED GUL LINJE, SEKUNDÄRAXEL VISAR FALLHÖJDSSKILLNAD PER TIMME MELLAN ÖVRE OCH NEDRE BELÄGEN VATTENSTÅNDSLOGGER I LAHOLMSMAGASINET MED GRÖN LINJE OCH ORANGE LINJE MARKERAR NÄR YTAN ÄR HELT PLATT FÖR PERIODEN 7/11 2019- 21/11 2019. UNDER TIDSPERIODEN SKER INGEN NOLLTAPPNING.

I figur 3.6. ovan visar en period i Laholms magasin med totaltflöde (m^3/s) (blå linje) och röd linje visar hur fallhöjden (m) varierar med flödet. Utan nolltappning och med flöde överstigande $50 \text{ m}^3/\text{s}$ är fallhöjden positiv. Under perioden sker ingen nolltappning och flödet varierar mellan 50 och $145 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nolltappning 1/6-14/6

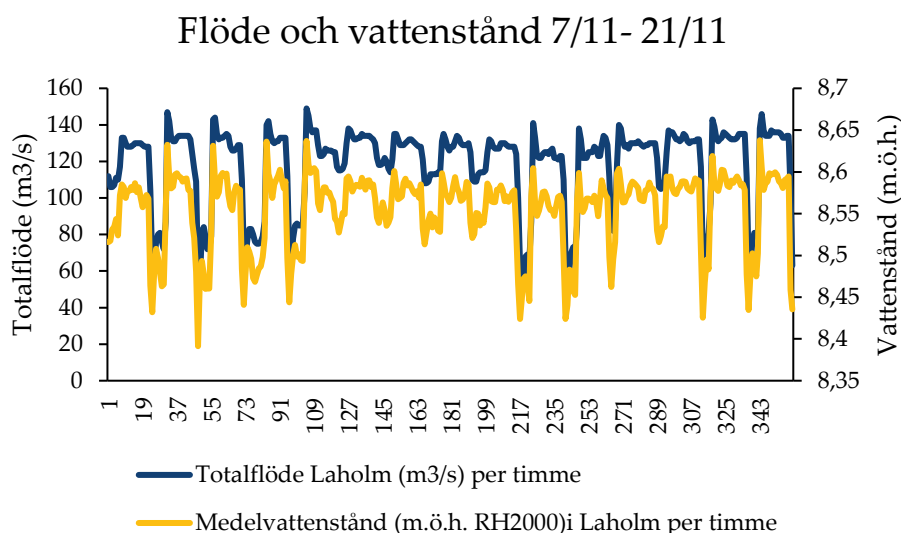


FIGUR 3.7. PRIMÄRAXEL VISAR TOTALFLÖDE PER TIMME MED GUL LINJE, SEKUNDÄRAXEL VISAR FALLHÖJDSSKILLNAD PER TIMME MELLAN ÖVRE OCH NEDRE BELÄGEN VATTENSTÅNDSLOGGER I LAHOLMSMAGASINET MED GRÖN LINJE OCH ORANGE LINJE MARKERAR NÄR YTAN ÄR HELT PLATT FÖR PERIODEN 1/6 2020 – 14/6 2020. UNDER TIDSPERIODEN SKER NOLLTAPPNING AV KRAFTVERKET VARJE DYGN.

Figur 3.7 visar timflöden och fallhöjdsförändring per timme för perioden 2020-06-01 till 2020-06-14 där driftstrategin för kraftverken har inkluderat nolltappning med vidföljande start och stopp. När turbinen stoppas minskar magasinets lutning (fallhöjd) och kan bli negativ. När turbinerna startas återskapas en ökad lutning på magasinet och fallhöjden är positiv igen. Under mätperioden sker detta på daglig basis.

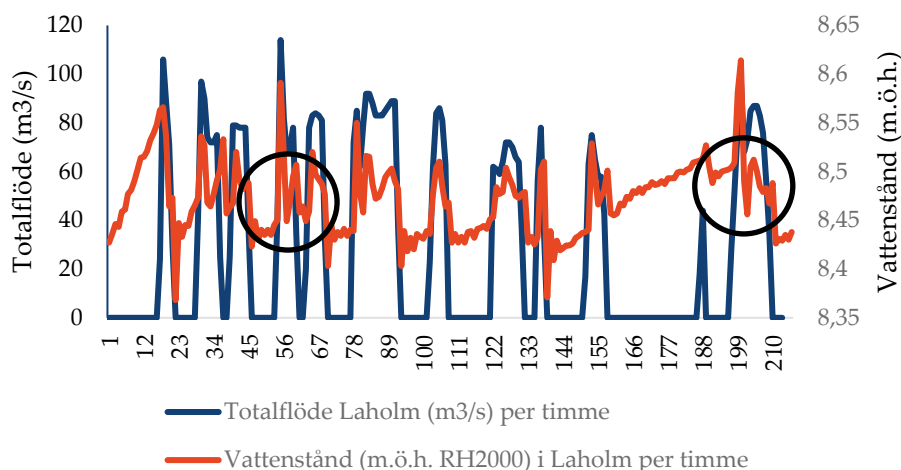
Magasinets vattenstånd vid olika flöden, separering

Flöde och vattenstånd mätt per timme har likartade mönster när nolltappningen inte sker (Figur 3.9). Ingen separering av vattenstånd och flöde kan detekteras då nolltappning inte sker. Vid nolltappning saknas flöde varför ytan ligger oftast i det närmaste helt stilla med en antydning till stigning initialt i nolltappningstillfället (Figur 3.9). När kraftverket startar sänks vattenytan initialt varvid en separering av flöde och vatten sker initialt för att plana ut inom en till två timmar. Effekten är dock marginell i Laholms dämningssområde.



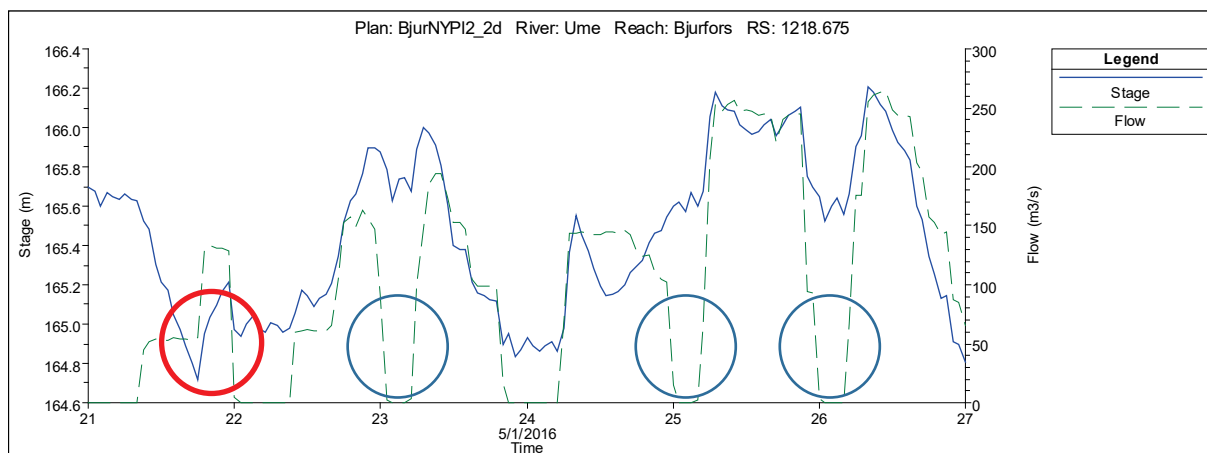
FIGUR 3.8. PRIMÄRAXEL VISAR TOTALFLÖDE PER TIMME MED GUL LINJE, SEKUNDÄRAXEL VISAR UPPMÄTT VATTENSTÅND PER TIMME I LAHOLMSMAGASINET MED BLÅ LINJE FÖR PERIODEN 7/11 2019- 21/11 2019. UNDER TIDSPERIODEN SKER INGEN NOLLTAPPNING.

Flöde vs vattenstånd 7/6- 14/6



FIGUR 3.9. PRIMÄRAXEL VISAR TOTALFLÖDE PER TIMME MED RÖD LINJE, SEKUNDÄRAXEL UPPMÄTT VATTENSTÅND PER TIMME I LAHOLMSMAGASINET MED ORANGE LINJE FÖR PERIODEN 7/6 2020 – 14/6 2020. UNDER TIDSPERIODEN SKER NOLLTAPPNING AV KRAFTVERKET. TILFÄLLEN DÅ FLÖDE OCH VATTENSTÅND SEPARERAR ÄR MARKERADE MED SVART RING.

Resultat från Umeälven visar även det på ett mönster där flödet och vattenstånd separerar under nolltappning, vilket liknar mönstret från Lagan (Figur 3.10). Separationen innebär att ytan stiger under nolltappning då flödet är noll och att en separation av flöde och vattenstånd sker vid korttidsreglering.



FIGUR 3.10. BLÅ LINJE MOTSVARAR VATTENSTÅND OCH GRÖN LINJE MOTSVARAR FLÖDE I UMEÄLVENS KRAFTVERK BJURFORS ÖVRE. RÖD RING. HÖGT FLÖDE OCH LÅGT VATTENSTÅND. BLÅ RING. NOLLTAPPNING OCH HÖGT VATTENSTÅND.

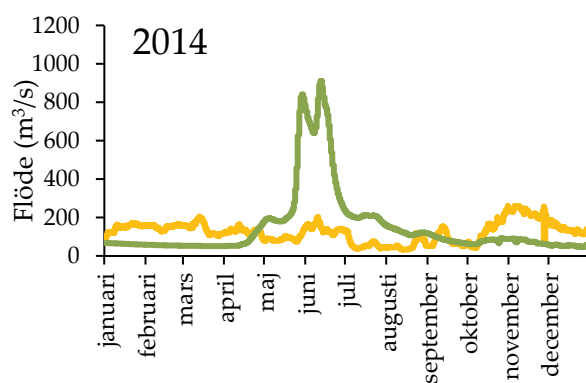
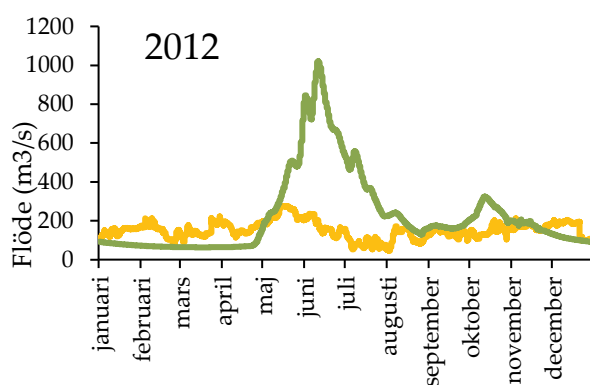
3.4 KORTTIDSREGLERINGSEFFEKTER NEDSTRÖMS VIFORSEN I LJUNGAN

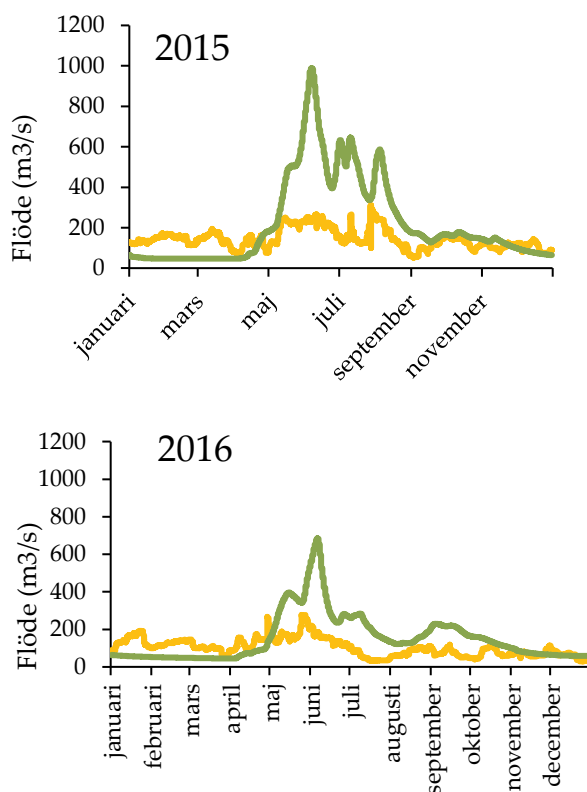
Viforsen i Ljungan skiljer sig avsevärt från den oreglerade Vindelälven både vad gäller frekvens och magnitud av fluktuationer trots att återreglering sker enligt dom. Exempelvis visar de två flödesindex som beräknades (PTF och CDV; se avsnitt 2) att det råder en signifikant skillnad i flödesvariationer över dygnet vid

samtliga år som undersöktes (Tabell 3.3). Viforsen hade ungefär tre gånger så stort PTF-index i medeltal per år jämfört med Vindelälven vilket tyder på att det i genomsnitt tas bort eller läggs till ungefär tre gånger så mycket vatten per dag. En annan konsekvens av Ljungans reglering av flödet genom Viforsen är att jämfört med den oreglerade Vindelälven var frekvensen i flödesfluktuationer betydligt större. Vindelälven har högre flödestoppar under vårfloden (Figur 3.11).

TABELL 3.3. JÄMFÖRELSE AV ÅRLIGT MEDELVÄRDET FÖR PTF SAMT CDV I VIFORSEN OCH VINDELÄLVEN ÅR 2012, 2014, 2015 OCH 2016.

Index	Lokal	Medelvärde 2012	Medelvärde 2014	Medelvärde 2015	Medelvärde 2016	<i>p</i>
PTF	Viforsen	0,0034	0,0029	0,0029	0,0029	<0,001
	Vindelälven	0,001	0,0011	0,0011	0,0009	<0,001
CDV	Viforsen	0,0264	0,0222	0,0232	0,0238	<0,001
	Vindelälven	0,0076	0,0083	0,008	0,0065	<0,001

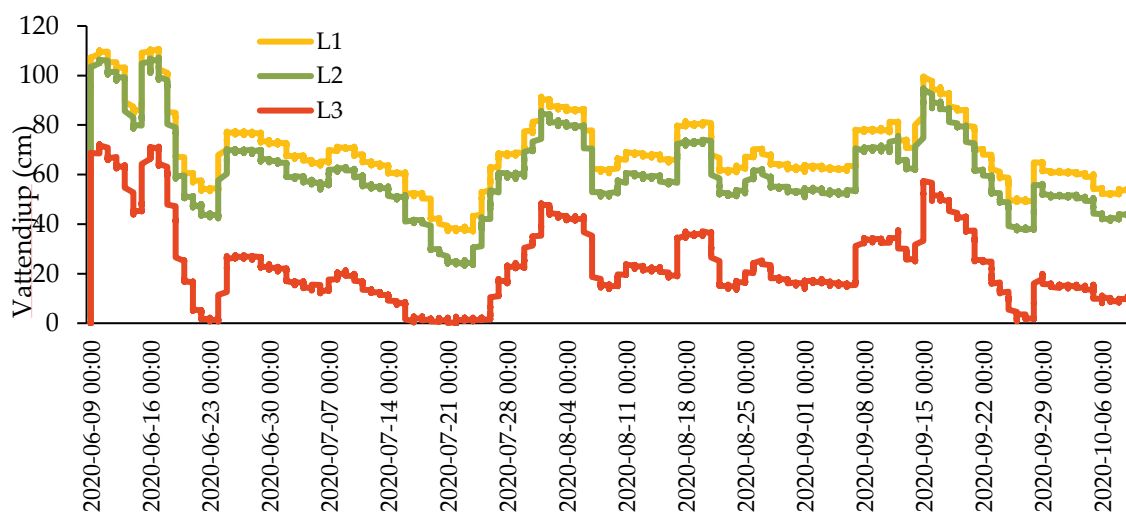




FIGUR 3.11. JÄMFÖRELSE AV HYDROLOGI (TIMDATA) FÖR VINDELÄLVEN VID GRANÅKER (GRÖN LINJE) OCH LJUNGAN VID VIFORSEN (GUL LINJE) FÖR ÅREN 2012, 2014, 2015 OCH 2016

Resultaten visade även på en stark korrelation mellan flöde och vattennivå på alla tre platserna nedströms Viforsens kraftverk, och att det inte fanns ekologiskt signifikant dämpning av fluktuationer i vattennivån nedströms Viforsen under den period som mätning skedde (Figur 3.12). Det är viktigt att säkerställa att den nuvarande frivilligt överenskomna minimitappningen på 30 m³/s matchar morfologin så att man inte riskerar torrlägga, eller skapa för små djup där laxmiljöer är belägna. Vidare är det viktigt att man samordnar restaureringsarbete i älven så att det anpassas till rådande minimitappningar. Lekbottnar och andra viktiga habitat bör mätas in med stor noggrannhet, t.ex. med en RTK och matchas mot avbördningskurvor.

Resultatet från gradientstudien av vattenståndsvariationer nedströms Viforsens kraftverk visar att det inte sker någon direkt dämpning av fluktuationerna i en nedströmsgradient. Om detta beror på att det saknas buffrande strukturer eller ej kan vi inte svara på, men våra resultat pekar på att vi behöver öka vår faktorer förståelse om hur långt nedströms i ett vattendrag effekterna av vattenståndsfuktuationer sträcker sig samt vilka faktorer som eventuellt skulle kunna buffra.



FIGUR 3.12. VATTENNIVÅFLUKTUATIONER PER TIMME VID LOKALERNA L1, L2 OCH L3 UNDER PERIODEN 2020-06-09 TILL OCH MED 2020-10-09 I VIFORSEN.

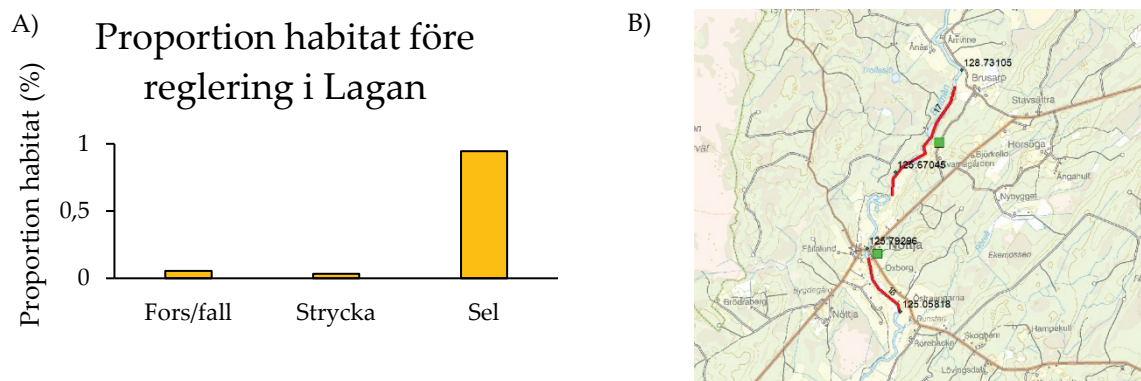
3.5 FALLHÖJDSSTUDIER

Korttidsreglering har en gradient från förändringar av flödet och/ eller vattenstånd till nolltappning, start och stopp och onaturliga samband mellan vattenstånd och flöde samt förändringar av fallhöjder som kan resultera i negativ fallhöjd.

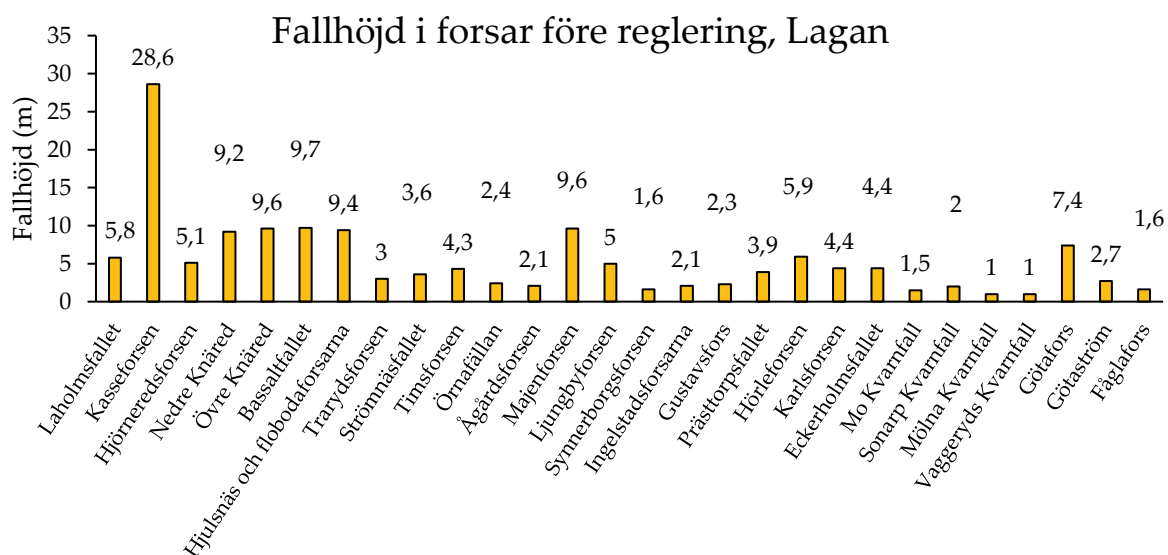
Resultat från Ljungan (Widén m.fl 2022) visar att om det finns fallhöjd kvar i avrinningsområdet, så är det totala värdet av naturvärden högre (Figur 3.16). Detta projekt (EcoPeaking) har varit grogrund för metoden att ta fram var fallhöjden finns genom att analysera utgår från GIS-baserade analyser av höjddatabasen och resulterade i det pågående projektet EkoFall (HÅVA, Energimyndigheten) som ett avknopningsprojekt från EcoPeaking.

Lagan

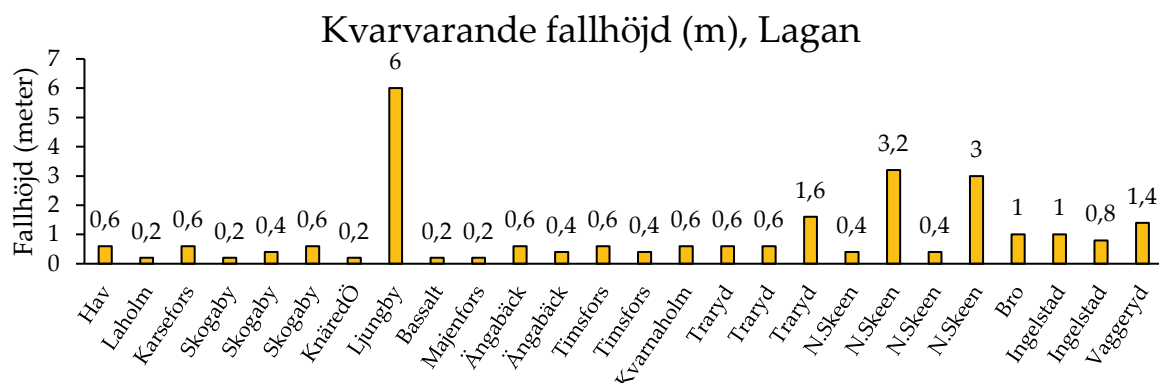
Resultaten från Lagan beskrivs i figur 3.13 och 3.14 och resultatet visar att Lagan saknar nästan all fallhöjd nedströms Traryd med undantag Ljungby. Övre delarna vid Skeen har kvarvarande fallhöjd efter reglering och forsarna innehåller både öring och flodpärlmussla.



FIGUR 3.13. PANEL A. PROPORTION AV HABITAT FÖRE REGLERINGEN I LAGAN MÄTT I VATTENDRAGSLÄNGD. LAGAN HADE FÖRE REGLERING EN NATURLIG KONCENTRATION AV FALLHÖJDER GENOM VATTENFALL. PANEL B. EXEMPEL PÅ FALLHÖJDSTRÄCKA I ÖVRE DELARNA AV LAGAN, NEDSTRÖMS ORTEN ÅMINNE DÄR FALLHÖJDEN FINNS KVAR OCH SAMTLIGA LOKALER HAR BESTÅND AV FLODPÄRLMUSSLA.



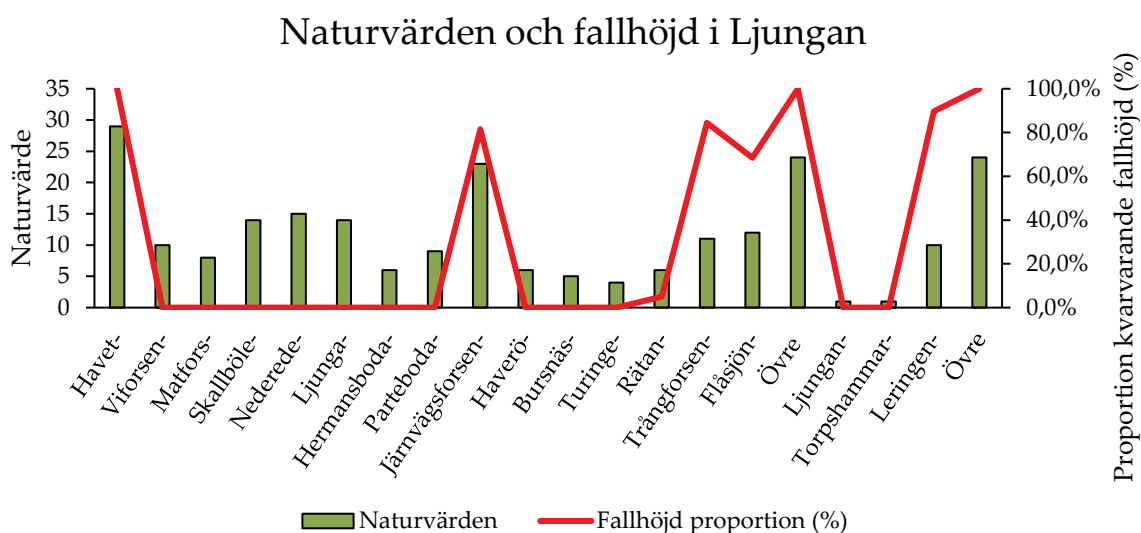
FIGUR 3.14. FALLHÖJD I FALLEN I LAGAN FÖRE REGLERINGEN AV LAGAN. I FIGUREN SAKNAS FALLHÖJDSMETRAR I STRÖMSTRÄCKOR, TOTALT 81 METER. DIREKTA JÄMFÖRELSE MOT KVARVARANDE FALLHÖJD ÄR DÄRFÖR INTE ALLTID MÖJLIGT.



FIGUR 3.15. KVARVARANDE FALLHÖJD I LAGAN GENOM ARCGIS-MODELLERING MED HÖJDDATABASEN SOM GRUND. DET KAN FINNAS FLERA FALLHÖJDER I SAMMA MAGASIN. FALLHÖJDER ÄR VALIDERADE MED RTK.

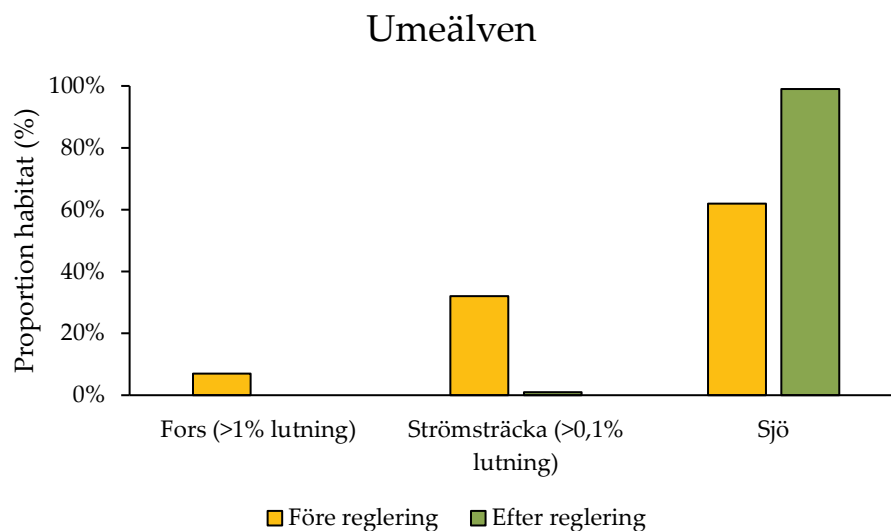
Ljungan

I Ljungan testades metoden att beräkna kvarvarande fallhöjd utifrån GIS-baserade analyser av Lantmäteriets nationella höjdmodell (Widén m.fl 2022). Fallhöjderna valideras i fält och naturvärden beräknades för avrinningsområdet (För metodik se Widén m.fl. 2022). Resultatet visar att magasin utan fallhöjd eller med relativt liten andel kvarvarande fallhöjd, med omfattande korttidsreglering har lägre naturvärden (Figur 3.16. Magasin med höga naturvärden har antingen hög andel med kvarvarande fallhöjd eller ligger uppströms den sista dammen och är således oreglerade).



FIGUR 3.16. SAMBAND MELLAN NATURVÄRDEN OCH FALLHÖJD I LJUNGAN. NATURVÄRDES BERÄKNINGAR UTFÖRDA AV ERIK DEGERMAN FRÅN LJUNGANRAPPORTEN (WIDÉN M.FL. 2022).

Fallhöjdsanalyser i Umeälven och där jämförelse gjordes mot oreglerade förhållanden visar att endast 0,1% av snabbflytande och strömmande vatten finns kvar efter reglering av älven (Figur 3.17).



FIGUR 3.17 PROPORTIONEN SNABBFLYTANDE OCH STRÖMMANDE HABITAT I UMEÄLVEN FÖRE OCH EFTER REGLERING.

3.6 VERKTYG

Korttidsreglering kan kvantifieras med hjälp av nedan faktorer beskrivna i tabell 3.4. Genom att inkludera faktorer som kvarvarande fallhöjd, ytans rörelse över magasinet samt samband mellan flöde och vattenstånd breddas vår förståelse hur korttidsregleringen påverkar vid en given plats. Bedömningarna av påverkan på vattenkraftsproduktion baseras på modelleringar i Umeälvens, Ljungans och Lagans avrinningsområden. Bedömningar på påverkan på balans- och reglerkraft är inte gjorda i dessa modeller. För att ytterligare beskriva påverkan och behov av åtgärder skulle även morfologiska faktorer så som strukturer som kan påverka buffringsförmåga till exempel vara bra att inkludera i ett verktyg. Åtgärder beskrivs som vattenhushållningsbestämmelser (VHB) kopplas till klasserna. Vetenskaplig evidens för att åtgärderna fungerar och med kvantifierade mått på nyttobeskrivningar saknas i dagens kunskapsläge, och är något som borde generera att fokus då vi vet att korttidsreglering medför en negativ påverkan på ekosystemen.

TABELL 3.4. KLASSER AV KORTTIDSREGLERINGSPÅVERKAN. BEDÖMNINGARNA AV PÅVERKAN PÅ VATTENKRAFTSPRODUKTION BASERAS PÅ MODELLERINGAR I UMEÄLVENS, LJUNGANS OCH LAGANS AVRINNINGSSOMRÅDEN. BEDÖMNINGAR PÅ PÅVERKAN PÅ BALANS- OCH REGLERKRAFT ÄR INTE GJORDA I DESSA MODELLER. VIKTIGT ÄR ATT VARJE ÅTGÄRD VID EN SPECIFIK ANLÄGGNING BEHÖVER FÖREGÅS AV MÄTNINGAR I FÄLT FÖR ATT FÖRSTÅ DE PLATSSPECIFIKA FÖRUTSÄTTNINGARNA FÖR ATT KUNNA ANVÄNDA VERKTYGET PÅ RÄTT SÄTT OCH GÖRA EN ADEKVAT BEDÖMNING AV DEN INVERKAN KORTTIDSREGLERINGEN FÅR. FÖR BERÄKNING AV PRODUKTIONSPÅVERKAN HÄNVISAR VI TILL WIDÉN M.FL. 2021, WIDÉN M.FL. 2022 SAMT WIDÉN M.FL. 2023.

Korttidsreglering klass – påverkansanalys	Ja/nej	VHB Åtgärd	Produktionspåverkan
1. Fallhöjd, kvarvarande (Ja eller nej)			
Procentuell kvarvarande fallhöjd jmf med oreglerade förhållanden per område mellan kraftverken som summeras upp på avrinningsområdet.		Avsänkning av magasinet dämningsgräns (Kan ske på helår eller säsong beroende på behoven hos ekosystemet och utrymme i vattenhushållning).	Åtgärden testad i simuleringsmodeller gjorda inom projektet VÅK för Lagan och bedöms ha jämförelsevis liten påverkan på årsproduktionen mått i GWh.
Fallhöjdförändring i magasin utan fallhöjd		Regler för undvikande av negativa fallhöjder	Åtgärden inte testad. Nolltappningsförbud modellerad i Umeälven, Ljungan och Lagan. Åtgärden bedöms ha jämförelsevis liten påverkan på årsproduktionen mått i GWh.

2. Flöde analys av olika hydrologiska år (timdata)		
• Förändring av flöde; Index – variabilitet i frekvens och magnitud, nolltappning	Regler för hur snabbt och när flödet varierar med koppling till naturliga flöden.	Åtgärden inte testad.
• Flödets förändringshastighet		
• Tidsmässig avvikelse (säsong)		
3. Vattenstånd analys av olika hydrologiska år (timdata)		
	Sänka av vattenytan (dämningsgräns)	Åtgärden testad i simuleringsmodeller gjorda inom projektet VÅK Lagan och bedöms ha jämförelsevis liten påverkan på årsproduktionen mätt i GWh.
• Förändring av vattenstånd,	Regler för hur snabbt och när ytan varierar.	Åtgärden inte testad.
• Hastighet,		
• Tidsmässig avvikelse		
4. Nolltappningshändelser (timdata)		
• Start och stopp (antal samt fördelning över året)	Nolltappnings-förbud	Nolltappningsförbud modellerad i Umeälven, Ljungan och Lagan. Åtgärden bedöms ha jämförelsevis liten påverkan på årsproduktionen mätt i GWh.
• Nolltappning (antal timmar, antal nolltappningar/år, fördelning över året)	Nolltappnings-förbud	Nolltappningsförbud modellerad i Umeälven, Ljungan och Lagan. Åtgärden bedöms ha jämförelsevis liten påverkan på årsproduktionen mätt i GWh.

5. Ytans rörelse över magasinet (timdata)	Hur platt är ytan? Lutning nedströms vs uppströms kopplas till flöde.	Nolltappnings-förbud. Förbud mot negativ fallhöjd	Nolltappningsförbud modellerad i Umeälven, Ljungan och Lagan. Åtgärden bedöms ha jämförelsevis liten påverkan på årsproduktionen mätt i GWh.
6. Samband mellan flöde och vattenstånd. Separation?		Nolltappnings-förbud. Förbud mot grad av separation	Nolltappningsförbud modellerad i Umeälven, Ljungan och Lagan. Åtgärden bedöms ha jämförelsevis liten påverkan på årsproduktionen mätt i GWh.

4 Litteraturstudie

För att få en översiktlig bild hur korttidsreglering påverkar organismer, processer och viktiga abiotiska faktorer knutna till vattendrag har vi gjort en litteraturöversikt i ämnet. Nedan sammanfattas studien översiktligt. En sammanställning av de ingående artiklarna finns i Bilaga 1 (Excelfil).

4.1 SYFTE

Syftet med denna litteraturstudie är att jämföra och syntetisera publicerade data för att undersöka vilka biotiska effekter kopplade till korttidsreglering som har rapporterats på fisk, makrovertebrater, akvatiska makrofyter och strandvegetation, samt att undersöka om det går att identifiera och kvantifiera olika aspekter av korttidsreglering kopplat till de effekter som redovisas.

Detta resulterade i följande frågeformulering;

1. Vilka biotiska responser för fisk, makrovertebrater, makrofyter och strandvegetation har rapporterats?
2. Vilka olika aspekter av korttidsreglering kan identifieras och kan man koppla det korttidsreglerade flödesmönstret till effekter på fisk, makrovertebrater, makrofyter och strandvegetation?

Vi har även under sammanställningens gång ökat ambitionen till att även koppla ekologiska processer och abiotiska faktorer till korttidsreglering, samt att i ett vidare steg analysera hur potentiella åtgärder används samt dess effektivitet. Målet är att producera en review-artikel i en vetenskaplig tidskrift. Detta redovisas dock inte i denna rapport då arbetet är pågående.

4.2 SÖKSTRATEGI

Relevanta studier identifieras genom sökning i databaserna Web of Science och Scopus.

Följande söktermer användes i olika kombinationer:

- Hydropeaking
- Fish
- Macrovertebrates
- Riparian vegetation
- Macrophytes
- Biodiversity
- Density

För att koppla ekologiska processer och abiotiska faktorer till korttidsreglering kompletterades analysen med sökningar av kombinationer av följande söktermer:

- Hydropeaking
- Water velocity
- Temperature

- Oxygen
- Sediment
- Clogging

För att analysera hur potentiella åtgärder riktade till att mildra effekten av korttidsreglering används samt dess effektivitet kompletterades analysen med sökningar av kombinationer av följande söktermer:

- Hydropeaking
- Mitigation
- E-flows
- Restoration
- Measures

Söktermerna kombinerades till följande sökfraser:

((("hydropeak*") and (fish* or riparian* or vegetation* or macroevertebrat* or macrophyt*) and (diversit* or densit*)))

((("hydropeak*") and (water* or velocit* or temperatur* or oxygen* or sediment* or clogg*)) ((("hydropeak*") and (mitigat* or e-flow* or restor* or measur* or environmental-flow*)))

((("hydropeak*") and (fish* or riparian* or vegetation* or macroevertebrat* or macrophyt*) and (diversit* or densit* or water* or velocit* or temperatur* or oxygen* or sediment* or clogg* or mitigat* or e-flow* or restor* or measur* or environmental-flow*)))

4.3 KRITERIER FÖR INKLUDERING

Artiklarna behövde möta följande kriterier för att tas med i det slutgiltiga steget i den systematiska genomgången:

- Relevanta ämnen: Korttidsreglering av i vattendrag som regleras för vattenkraftsproduktion.
- Intervention: Mått på respons hos fisk, makroevertebrater, makrofytter och strandvegetation.
- Resultat: mått på effekten av korttidsreglering på biodiversitet, biomassa och/eller abundans som kan kvantifieras som negativ, positiv eller ingen effekt.
- Typ av studier: Vetenskapligt granskade artiklar

Inga uppenbara potentiella felkällor identifierades.

4.4 RESULTAT

Totalt identifierades 175 artiklar som relevanta att inkluderas i genomgången. Av dessa behandlade 100 artiklar effekter på organismer och det är resultatet av dessa som sammanfattas i denna rapport. Övriga artiklar behandlar ekologiska processer och abiotiska faktorer utan tydlig organismkoppling och behandlas i en kommande review-artikel. Den absoluta majoriteten av de artiklar som rörde organismer behandlade effekter på fisk (79 st). Näst störst grupp var makroevertebrater med 12 artiklar. Fem artiklar behandlade effekter på

strandvegetation, tre på akvatiska makrofyter och en artikel behandlade effekter på påväxtalger.

För att bedöma vilken typ och intensitet av påverkan som korttidsregleringen motsvarade i de olika artiklarna så delade vi in den i åtta olika klasser utifrån den information som gavs om regleringen (Tabell 3.5). De olika klasserna speglar huruvida det fanns krav på minimiflöden, restriktioner på höjnings- och sänkingshastigheter, restriktioner på vattennivå, samt om nolltappningsperioder förekommer.

TABELL 3.5. KLASSIFICERING AV NIVÅ PÅ INTENSITET AV KORTTIDSREGLERING

Klass av korttidsreglering	Nivå av intensitet
N/A	Ej känt
A	Restriktioner på höjnings- och/eller sänkingshastighet, minimiflöden och restriktioner på vattennivå.
B	Restriktioner på höjnings- och/eller sänkingshastighet och minimiflöden
C	Minimiflöden och restriktioner på vattennivå
D	Minimiflöden
E	Restriktioner på vattennivå (sänkings- och eller dämningssgräns)
F	Inga restriktioner, men inga nollflödesperioder
G	Inga restriktioner och nollflödesperioder förekommer

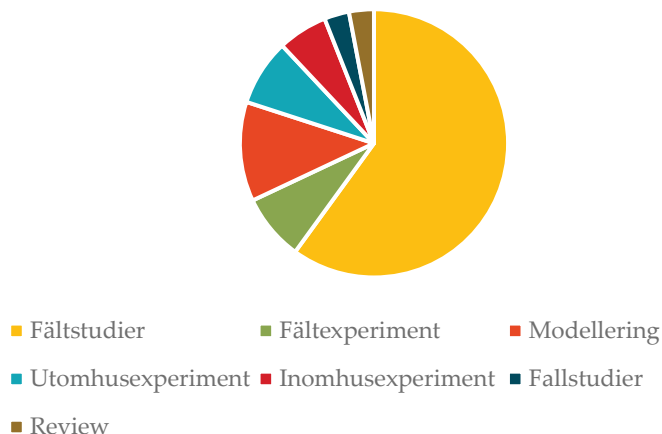
Vanligast var att det i studierna gällande alla organismgrupper förutom strandvegetation fanns någon nivå av minimitappning, följt av att det inte fanns några särskilda restriktioner förutom att nolltappningsperioder inte förekom för fisk och makrovertebrater, samt att det utifrån studien inte gick att klassificera intensiteten av korttidsregleringen för akvatiska makrofyter (Tabell 3.6). För strandvegetation fanns det i fyra av artiklarna inga restriktioner och nollflödesperioder förekom.

TABELL 3.6. FÖRDELNING AV ANTALET STUDIER I RESPEKTIVE KLAS AV INTENSITET AV KORTTIDSREGLERING (SE TABELL 3.5).

Organismgrupp	NA	A	B	C	D	E	F	G
Fisk	0	4	5	1	51	2	10	6
Makroinvertebrater	0	0	1	0	6	1	3	1
Makrofyter	2	0	0	0	1	0	0	0
Strandvegetation	0	0	0	0	1	0	0	4
Övrigt (epilithon)	0	0	0	0	1	0	0	0

Den absolut vanligaste typen av studier var fältstudier (ca 60%), följt av modellering (ca 12%, Figur 3.19). Detta mönster gällde alla organismgrupper (tabell 3.7. Skillnaden mellan fallstudier och fältstudier är att fallstudierna analyserade och sammanfattade resultatet av ett antal relaterade lokaler/fall, och fältstudierna enbart rörde en lokal.

Undersökningsmetoder



FIGUR 3.20. FÖRDELNINGEN AV UNDERSÖKNINGSMETODER I DE OLIKA ARTIKLARNÄ.

TABELL 3.7 TYPER AV UNDERSÖKNINGSMETODER UPPDELAT PÅ DE OLIKA ORGANISMGRUPPER.

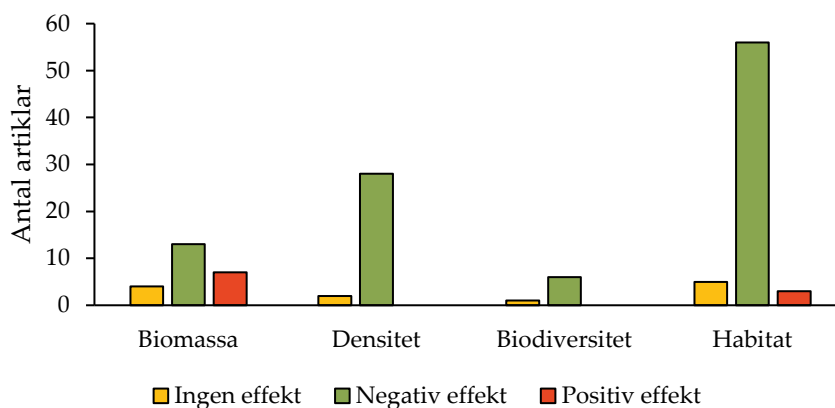
Undersökningsmetod	Fisk	Makrovertebrater	Makrofyter	Strandvegetation	Epiphyton
Fältstudier	45	9	2	3	1
Fältexperiment	6	1	1	0	0
Modellering	11	1	0	0	0
Utomhusexperiment	7	1	0	0	0
Inomhusexperiment	5	0	0	1	0
Fallstudier	3	0	0	0	0
Review	2	0	0	1	0

Effekter av korttidsreglering

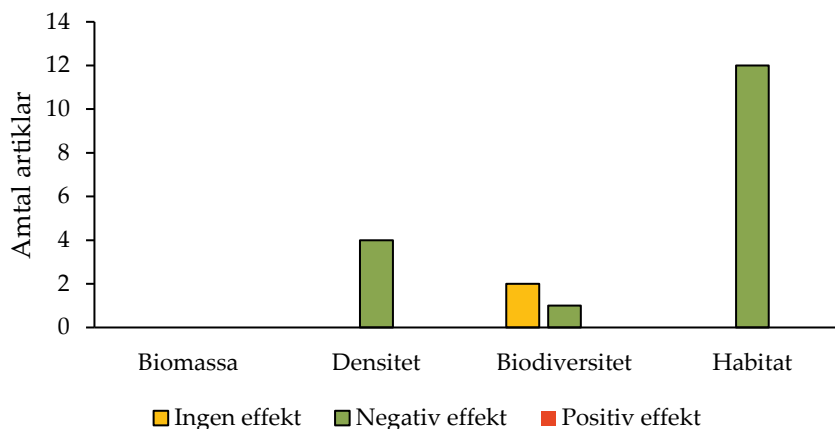
Vi delade upp effekterna som presenterades i artiklarna som påverkan på biomassa, densitet, biodiversitet och habitat. I flera fall så presenterades påverkan på flera av dessa faktorer och i vissa fall bara på enstaka. Framförallt så presenterades effekten på habitat för alla ingående organismgrupper (Figur 3.20), följt av densitet för fisk och makrovertebrater (Figur 3.20 a, b) och på biodiversitet för strandvegetation och akvatiska makrofyter (Figur 3.20c, d). För alla organismgrupper, och för alla faktorer (biomassa, densitet, biodiversitet och habitat), så var den absolut största påvisade effekten av korttidsreglering negativ (Se Bilaga 1). Endast för fisk visade vissa studier (totalt 8 st) en positiv effekt och då endast på biomassa i fem fall (Miller & Judson 2014; Bond m.fl. 2015; Finch m.fl. 2015; Bond m.fl. 2016; Boavida m.fl. 2020), i två fall kombinationen biomassa och habitat (Kelly m.fl. 2016; Kelly m.fl. 2017), samt i ett fall endast på habitat (Alexandre m.fl. 2016). I de fall där man såg en positiv effekt på fisk hade fem av studierna en minimitappning (kategori D), två stycken hade minimitappning samt en begränsning på höjnings- och sänkingshastighet (kategori B), och i ett fall fanns inga restriktioner men det förekom inte nolltappning (kategori F). Åtta av studierna för fisk visade på ingen påverkan (Vehanen & Lahti 2003; Robertson

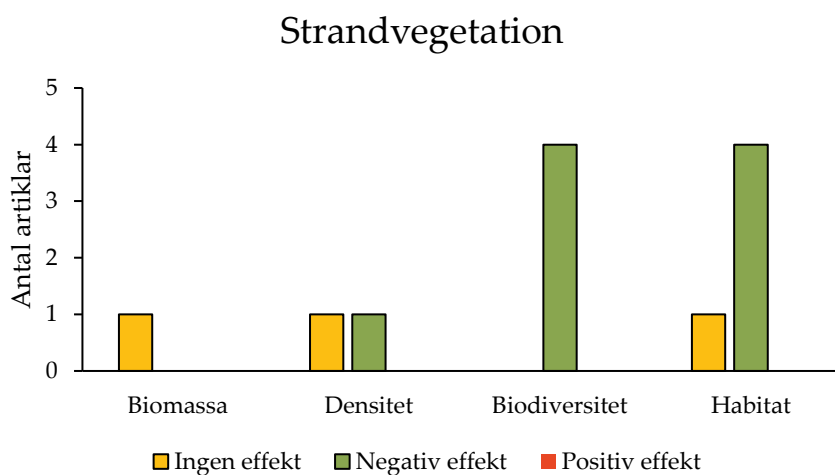
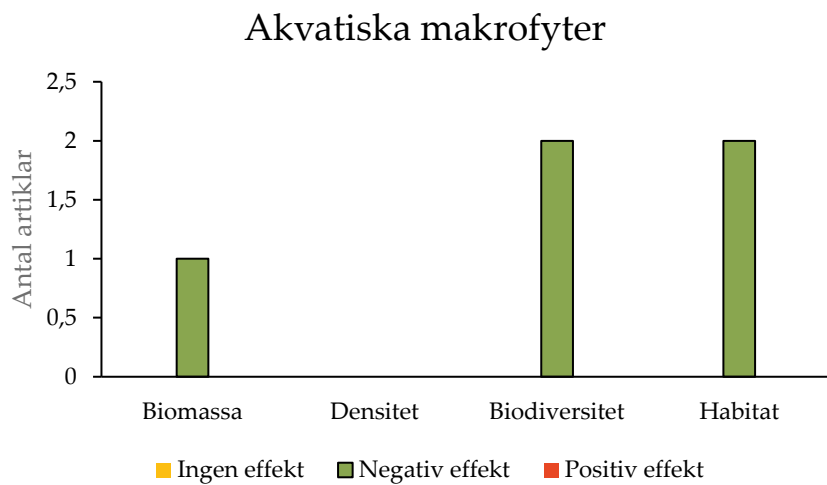
m.fl. 2004; Flodmark m.fl. 2006; Krimmer m.fl. 2011; Earley & Sammons 2015; Rocaspana m.fl. 2016; Earley & Sammons 2018; Baker m.fl. 2021). För makrovertebrater uppvisade alla tolv studier en negativ effekt på habitatkvalitet, samt fyra stycken även på densitet och en på biomassa (Figur 3.20 a, se Bilaga 1). Två av studierna visade ingen effekt på biodiversitet (Paetzold m.fl. 2008 (behandlar strandlevande makrovertebrater), Richard m.fl. 2014). Av dessa klassades en som restriktioner på vattennivå (sänkings- och eller dämningssgräns, kategori E), och en som inga restriktioner, men inga nollflödesperioder (kategori F) när det gäller intensiteten av korttidsreglering. Av de fem studier som berörde strandvegetation visade fyra stycken på negativa effekter på de studerade variablerna, och i ett av fallen sågs ingen effekt (Figur 3.20 X). Den studien var en laborationsstudie inomhus, där *Salix*-sticklingar utsattes för olika nivåer av reglering (Gorla m.fl. 2015). För akvatiska makrofytter uppvisade alla tre ingående studier en negativ effekt på de studerade variablerna, och den enda studie som behandlade påväxtalger visade även den negativ effekt på de studerade faktorerna.

Fisk



Makrovertebrater





FIGUR 3.21. EFFEKTEN AV KORTTIDSREGLERING PÅ A) FISK, B) MAKROEVERTebrater, C) STRANDVEGETATION OCH D) AKVATISKA MAKROFYTER. EFFEKTERNA DELADES UPP PÅ BIOMASSA, DENSITET, BIODIVERSITET OCH/ELLER HABITAT.

5 Diskussion och slutsats

De kommande omprövningarna för att förse svensk vattenkraft med moderna miljövillkor kommer att ställa höga krav hos alla inblandade i processen på kunskap, både om vilka ekologiska effekter nuvarande driftstrategi ger upphov till, vilket påverkanstryck som finns, hur behovet av åtgärder ser ut och vilken effekt eventuella åtgärder kommer att ha, samt hur dessa påverkar effektiv tillgång på vattenkraftsel. Alla dessa faktorer kommer att variera från anläggning till anläggning, och i detta projekt visar vi på behovet av att ha ett holistiskt synsätt när det gäller påverkan av korttidsreglering. Att enbart klassificera korttidsregleringen baserat på enkla index, eller utifrån höjnings- och/eller sänkingshastigheter, och formulera åtgärder utifrån detta utan att ta hänsyn till hur lokala faktorer påverkar hur det hydrauliska habitatet ser ut på en given plats riskerar att man föreslår åtgärder som inte får tänkt ekologisk funktion.

Vi ser genom detta pilotprojekt att det är omfattande korttidsreglering i Lagan, Ljungan och Umeälven och det finns skäl att tro att effekter av korttidsreglering påverkar många organismer och naturmiljöer i svenska vattendrag. Det finns inte heller tydliga gränser för hur omfattande korttidsreglering kan vara i ett magasin innan naturmiljön tar omfattande skada. Omfattande korttidsreglering skulle kunna indikera på att det kan få stor påverkan på energisystemet att miljöanpassa vattenkraften. I vårt arbete inom projekt VattenkraftsÅtgärder i ett framtida Klimat (VÅK) har vi sett att nolltappningsförbuden har små årsproduktionsförluster mätt i GWh. Men vi ser även i våra resultat att vi flyttar produktionen från tider med stora behov till tider med mindre, eg. påverkan på balans och reglerkraft. Det finns med andra ord inga åtgärder som är helt utan påverkan på energisystemet.

Verktyg och behovet av gradient på korttidsreglering

Lokala morfologiska faktorer och position i det reglerade systemet spelar roll för hur korttidsregleringen manifesteras och då i förlängningen vilken påverkan den får, och att det är viktigt att ta hänsyn till många olika aspekter för att adekvat beskriva korttidsreglering (Valentin m.fl., 1996; Hauer, Schober and Habersack, 2013; Bruder m.fl., 2016; Hauer m.fl., 2017).

Vi förslår att korttidsreglering delas upp kopplat till de olika körningsmönster som kraftverken har och har föreslagit vad vi kallar olika "klasser" av korttidsreglering (Tabell 3.4) som ett verktyg för att beskriva en gradient av korttidsreglering kopplat till hur kraftverken körs. Det innebär att det är möjligt att utifrån vårt verktyg förstå hur mycket korttidsreglering ekosystemet utsätts för. För att till fullo förstå vad de olika komponenterna i korttidsregleringen gör med processer och organismer behövs mer forskning och testområden, eftersom om vi inte förstår deras respektive negativa påverkan kan vi inte kvantifiera klasserna användbart i prioriteringsmodell. Viktigt är att varje åtgärd vid en specifik anläggning behöver föregås av mätningar i fält för att förstå de platsspecifika förutsättningarna för att kunna använda verktyget på rätt sätt och göra en adekvat bedömning av den inverkan korttidsregleringen får med systemperspektiv.

Genom att jämföra korttidsreglering i en reglerad älv med en oreglerad älv kan vi separera vad som är naturliga förändringar och vad som är regleringseffekter. Genom att använda vårt verktyg kan vi dela upp korttidsregleringen i klasser och tydliggöra omfattningen av korttidsregleringshändelser av olika slag. Verktöget pekar på att vi kan dela upp korttidsregleringens påverkan i olika typer av påverkan och därmed öka förståelsen över hur extrem vattenmiljön är för organismer. Tekniken som vi har använt för att studera flöden, vattenstånd och lokala morfologiska aspekter är relativt billig och enkel att använda. Den är därför möjlig att använda i de flesta vattendrag och kräver inte specialistkompetens.

Kopplingen mellan korttidsreglering och vattendragets organismer

Vi ser i vår litteraturgenomgång (Bilaga 1), att korttidsreglering har en genomgående negativ påverkan på vattendragens organismer. I den absoluta majoriteten av fall sågs en påverkan på habitatet och/eller en minskning av biodiversitet, densitet och biomassa. I de få fall där man såg en positiv, eller ingen påverkan så hade dessa oftast någon form av minimiflöden och/eller begränsningar på intensiteten i korttidsregleringen. Det är dock inte helt lätt att utifrån den befintliga vetenskapliga litteraturen enkelt kvantifiera vilken påverkan alla olika aspekter av korttidsreglering har. Vissa aspekter, som till exempel påverkan av höjnings- och sänkingshastigheter, har i viss mån kvantifierats i olika studier, men generellt sett behövs en bättre kvantitativ förståelse för kopplingen mellan hur korttidsregleringen påverkar det hydrauliska habitatet och hur olika organismer reagerar.

Att ha ett mer holistiskt synsätt på hur korttidsreglering manifesteras innebär att man har större möjlighet att först hur påverkan ser ut, brett över hela ekosystemet och dess ingående komponenter. Att allt för snävt titta på till exempel strandningsrisker för fisk riskerar att missa andra aspekter, som till exempel effekten av långa perioder av nolltappning och ett stillastående vatten. Olika typer av korttidsreglering kan antas ha olika påverkan på organismer och om vi inte har kunskap att bedöma vilken påverkan olika typer av korttidsreglering har på organismer är det svårt att besluta om nödvändiga åtgärder. Ungefär som en läkare som ställer diagnos på en patient som har symptom och att det är nödvändigt för läkaren att förstå vad det är som gör patienten sjuk, för att kunna ge rätt medicin. I ett reglerat vattendrag kan det vara så att en viss organismgrupp t.ex. strandvegetation, klarar flödesförändringen men inte vattenståndsförändringen och det motsatta skulle kanske kunna gälla för laxartade fiskar. Kanske är bottensubstrat viktigt för en annan organismgrupp och kanske behövs vissa vattenhastigheter för att upprätthålla sedimentationsprocesser som organismgruppen behöver för sin livscykel? Hur mycket förändringar tål då olika grupper och var går gränsen för överlevnad? Framtida forskningsprojekt behöver studera vad påverkan från korttidsreglering innebär för till exempel vattenhastighet, syresättning, fallhöjd och strömriktning. Vidare behöver vi studera vad dessa processmönster betyder för organismer i och längs vattendraget.

Hur går vi vidare?

Vi ser ett stort behov av att öka förståelsen hur korttidsreglering påverkar hydraulik och processer i reglerade vattendrag samt hur det påverkar olika

organismer i ett sammanhang med kunskap om kvarvarande fallhöjd. Påverkan behöver beskrivas med upplösning gällande specifika vattenstånd, flöden och deras inbördes relation i tid och rum. Förståelse kan fås genom att beskriva den reglerade hydrologin med hydraulik eftersom hydrologiska effekter kan få lite olika effekter på ekosystemet då morfologi och proportion av kvarvarande fallhöjd varierar. Det finns också ett behov av att förstå hur faktorer i den lokala morfologin påverkar effekten av korttidsreglering. Kan till exempel hög heterogenitet i fåran buffra mot skadlig påverkan? Vi behöver med andra ord sätta korttidsreglering i ett större sammanhang där vi inkluderar morfologi och fallhöjd. Tillsammans ger det oss information om bristanalys och potentiell restaureringspotential kopplat till naturvärden.

Slutsats

Gradering av korttidsreglering är ett viktigt inslag i processen mot ökad förståelse av vad korttidsreglering egentligen är och hur den påverkar flöden, vattenstånd och det hydrauliska habitatet jämfört med ett oreglerat vattendrag. Vi har föreslagit olika aspekter på korttidsreglering som ett verktyg för att skapa en gradient av korttidsreglering kopplat till hur kraftverken körs. Det innebär att det är möjligt att förstå hur mycket korttidsreglering ekosystemet utsätts för, vilket är ett verktyg i arbetet med att detektera åtgärder. För att till fullo förstå vad de olika komponenterna i korttidsregleringen gör med processer och organismer behövs mer forskning och testområden. Genom att förstå deras respektive negativa påverkan kan vi kvantifiera klasserna användbart i en prioriteringsmodell. Slutligen ser vi att själva underlaget för bedömning av korttidsreglering bör utökas till att även omfatta morfologi, hydraulik och fallhöjdsstudier.

6 Referenslista

- Alexandre, C. M., Almeida, P. R., Neves, T., Mateus, C. S., Costa, J. L., & Quintella, B. R. 2016. Effects of flow regulation on the movement patterns and habitat use of a potamodromous cyprinid species. *Ecohydrology*, 9: 326– 340.
- Arthington, A.H., Bhaduri, A., Bunn, S.E., Jackson, S.E., Tharme R.E., Tickner, D., Young, B., Acreman, M., Baker, N., Capon, S., Horne, A.C., Kendy, E., McClain, M.E., Poff, N. LeRoy, Richter, B.D. & Ward, S. 2018. The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows. *Frontiers in Environmental Science*, 6: 1–15.
- Baker, D. B., Richards, R. P., Loftus, T. T., & Kramer, J. W., 2004. A new flashiness index: characteristics and applications to midwestern rivers and streams. *Journal of the American Water Resources Association*, 40: 503-522.
- Baker, S.M. and Sammons, S.M. (2021), Persistence and Dispersal of Stocked Rainbow Trout in an Alabama Tailwater. *North Am J Fish Manage*, 41: 820-833.
- Boavida, I., Ambrósio, F., Costa, M.J., Quaresma, A., Portela, M.M., Pinheiro, A. & Godinho, F. 2020. Habitat Use by *Pseudochondrostoma duriense* and *Squalius carolitertii* Downstream of a Small-Scale Hydropower Plant. *Water*, 12: 2522.
- Bond, M. J., Jones, N. E., & Haxton, T. J. 2016. Growth and Life History Patterns of a Small-bodied Stream Fish, *Cottus cognatus*, in Hydropeaking and Natural Rivers of Northern Ontario. *River Res. Applic.*, 32: 721– 733.
- Bond, M.J. & Jones, N.E., 2015. Spatial distribution of fishes in hydropeaking tributaries of Lake Superior. *River Res. Applic.*, 31:120-133.
- Earley, L.A. & Sammons, S.M. 2015. Alabama Bass and Redeye Bass Movement and Habitat Use in a Reach of the Tallapoosa River, Alabama Exposed to an Altered Flow Regime. *American Fisheries Society. Symposium*, 82: 263-280.
- Earley, LA & Sammons, SM. 2018. Effects of hydropeaking operations on the growth of Alabama bass *Micropterus henshalli* and redeye bass *Micropterus coosae* in the Tallapoosa River, Alabama, USA. *River Res Applic.* 34: 918 – 926.
- Eklund, Robin, 2021. *Regleringens effekter på vattenståndsvariationer nedströms Viforsens kraftverk i Ljungan*. Examensarbete, 15 hp Kandidatprogrammet i miljö- och hälsoskydd, 180 hp Vt 2021, Umeå universitet, 23 s.
- Finch, C., Pine, W. E. & Limburg, K. E. 2015. Do Hydropeaking Flows Alter Juvenile Fish Growth Rates? A Test with Juvenile Humpback Chub in the Colorado River, *River Res. Applic.*, 31: 156– 164.
- Flodmark, L.E.W., Forseth, T., L'Abée-Lund, J.H. & Vøllestad, L.A. 2006. Behaviour and growth of juvenile brown trout exposed to fluctuating flow. *Ecology of Freshwater Fish*, 15: 57-65.
- Gorla, L., Signarbieux, C., Turberg, P., Buttler, A. & Perona, P. 2015. Effects of hydropeaking waves' offsets on growth performances of juvenile Salix species. *Ecological Engineering*. 77: 297-306,
- Jones, N.E. 2014. The dual nature of hydropeaking rivers: is ecopeaking possible? *River Res. Applic.* 30: 521-526.
- Kelly, B., Smokorowski, K.E. & Power, M. 2016. Slimy Sculpin (*Cottus cognatus*) annual growth in contrasting regulated and unregulated riverine environments. *Hydrobiologia* 768: 239–253
- Kelly, B., Smokorowski, K.E. & Power, M. 2017. Impact of river regulation and hydropeaking on the growth, condition and field metabolism of Brook Trout (*Salvelinus fontinalis*). *Ecol Freshw Fish*, 26: 666-675.

- Krimmer, A.N., Paul, A.J., Hontela, A. & Rasmussen, J.B. 2011. Behavioural and physiological responses of brook trout *Salvelinus fontinalis* to midwinter flow reduction in a small ice-free mountain stream. *Journal of Fish Biology*, 79: 707-725.
- Lundquist, J. D., & Cayan, D. R., 2002. Seasonal and Spatial Patterns in Diurnal Cycles in Streamflow in the Western United States. *Journal of Hydrometeorology*, 3: 591–603.
- McKinney, T., Speas, D. W., Rogers, R. S. & Persons, W. 2001. Rainbow trout in a regulated river below Glen Canyon Dam, Arizona, following increased minimum flows and reduced discharge variability. *North American Journal of Fisheries Management*, 21: 216–222.
- Miller, S.W. & Judson, S., 2014. Responses of macroinvertebrate drift, benthic assemblages, and trout foraging to hydropeaking. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71: 675-687.
- Paetold, A., Yoshimura, C. & Tockner, K. 2008. Riparian arthropod responses to flow regulation and river channelization. *Journal of Applied Ecology*, 45: 894-903.
- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., Sparks, R. E., & Stromberg, J. C., 1997. The Natural Flow Regime: A paradigm for river conservation and restoration N. *BioScience*, 47: 769–784.
- Puckridge J. T., Sheldon F, Walker K. F. & Boulton A. J. 1998. Flow variability and the ecology of large rivers. *Marine and Freshwater Research* 49: 55-72
- Robertson, M.J., Pennell, C.J., Scruton, D.A., Robertson, G.J. & Brown, J.A. 2004. Effect of increased flow on the behaviour of Atlantic salmon parr in winter. *Journal of Fish Biology*, 65: 1070-1079.
- Rocaspana, R., Aparicio, E., Vinyoles, D. & Palau, A. 2016. Effects of pulsed discharges from a hydropower station on summer diel feeding activity and diet of brown trout (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758) in an Iberian stream. *J. Appl. Ichthyol.*, 32: 190 - 197.
- Renöfält, B.M. & Ahonen, J., 2013. Ekologiska flöden och ekologiskt anpassad vattenreglering: Underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa möjliga teknik för vattenkraft. *Havs- och vattenmyndighetens rapport 2013:12*
- Renöfält, B.M., Widen, Å., Jansson, R., & Degerman, E. 2017. Identifiering av påverkan, åtgärdsbehov och åtgärdspotential i vattendrag påverkade av vattenkraft. *Energiforsk rapport 2017-429*.
- Richards, R. R., Gates, K. K., & Kerans, B. L. 2014. Effects of simulated rapid water level fluctuations (hydropeaking) on sensitive benthic species. *River Res. Applic.*, 30: 954– 963
- The Brisbane Declaration., 2007. "Environmental flows are essential for freshwater ecosystem health and human well-being," in 10th International River Symposium and International Environmental Flows Conference (Brisbane, QLD). Available online at: <https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/ELOHA/Pages/Brisbane-Declaration.aspx>
- The Nature Conservancy. 2007. *Indicators of Hydrologic Alteration Version 7 User's Manual*. The Nature Conservancy. Arlington, VA.
- Vehanen, T. & Lahti, M. 2003. Movements and habitat use by pikeperch (*Stizostedion lucioperca* (L.)) in a hydropeaking reservoir. *Ecology of Freshwater Fish*, 12: 203-215.
- Widen, Å., Jansson, R., Johansson, M., Lindström, L., Sandin, L., & Wiseaeus, D. 2016. *Maximal Ekologisk Potential i Umeälven*. www.umealven.se
- Widén, Å., Jansson, R., Renöfält, B.M., Degerman, E. & Wiseaeus, D. 2017. Ekologisk reglering. *EnergiForsk Rapport 2017:449*

- Widén, Å., Renöfält, B.M., Degerman, E., Wisaeus, D., & Jansson, R., 2021.
Environmental flow scenarios for a regulated river system: projecting catchment-wide ecosystem benefits and consequences for hydroelectric production. *Water Resources Research*, 58, e2021WR030297
- Widén, Å., Ahonen, J., Renöfält, B.M., Degerman, E. & Jansson, R. 2022. Ljungan inför miljöprövning av vattenkraften: naturvärden, flöden och strömhabitat samt möjliga miljönytto. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1633540&dswid=-4708>
- Widen, Å., Jansson, R., Ahonen, J., Malm-Renöfält, B. 2023. Lagan inför miljöprövning av vattenkraften (diva-portal.org) <https://umu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1725269>
- Zimmerman, J. K., Lechter, B. H., Nilsow, K. W., Lutz, K. A. och Malligan, F. J. 2010. Determining the effects of dams on subdaily variation in river flows at a whole basin scale. *River research and applications*, 26: 1246–1260.

ECOPEAKING – PILOTSTUDIE OM KORTTIDSREGLERING

Gradering av korttidsreglering är ett viktigt inslag i processen mot ökad förståelse av vad korttidsreglering egentligen är och hur den påverkar flöden, vattenstånd och det hydrauliska habitatet jämfört med ett oreglerat vattendrag. I rapporten föreslås olika klasser av aspekter på korttidsreglering som ett verktyg för att skapa en gradient av korttidsreglering kopplat till hur kraftverken körs och påverkan från lokala miljöfaktorer. Det innebär att det är möjligt att förstå hur mycket korttidsreglering ekosystemet utsätts för, vilket är ett verktyg i arbetet med att detektera åtgärder. För att till fullo förstå vad de olika komponenterna i korttidsregleringen gör med processer och organismer behövs mer forskning och testområden. Genom att förstå deras respektive negativa påverkan kan vi kvantifiera klasserna användbart i en prioriteringsmodell. Slutligen ser vi att själva underlaget för bedömning av korttidsreglering bör utökas till att även omfatta morfologi, hydraulik och fallhöjdsstudier.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk