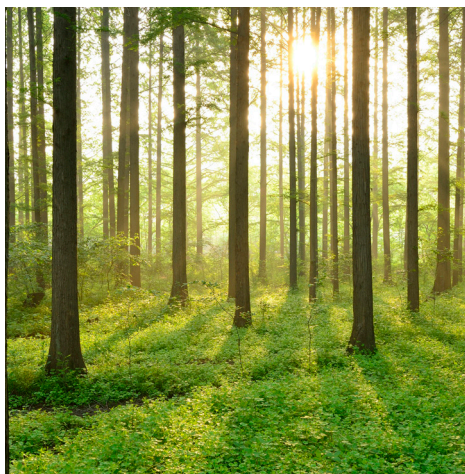


EKOLOGISK REGLERING

RAPPORT 2017:449



KRAFT OCH LIV I VATTEN



Ekologisk reglering

Metod för att beräkna produktionsförluster och
miljönytta i reglerade vattendrag

ÅSA WIDÉN

ROLAND JANSSON

BIRGITTA RENÖFÄLT

ERIK DEGERMAN

DAG WISAEUS

ISBN 978-91-7673-449-0 | © ENERGIFORSK november 2017 | Omslagsfoto: Åsa Widén

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Motivet för att genomföra projektet PRIO-KLIV var att ta fram en arbetsgång för hur arbetet med att genomföra miljöåtgärder inom vattenkraften kan bedrivas.

Projektet bedrevs inom programmet Kraft och liv i vatten (KLIV). Programmet bekostas av vattenkraftföretagen, Havs- och vattenmyndigheten samt Energimyndigheten. I KLIVs programgrupp, som följer verksamheten, finns även Vattenmyndigheterna representerade.

Projektet har renderat i tre olika Energiforskrapporter. Denna rapport beskriver en metod för att kvantifiera kostnader och miljönyttor för flödesrelaterade åtgärder. Förutom denna rapport finns två andra Energiforskrapporter:

- Energiforskrapport nr 429 "Identifiering av påverkan, åtgärdsbehov och åtgärdspotential i vattendrag påverkade av vattenkraft" (Renöfält m.fl. 2017) ger en översikt av olika möjliga miljöåtgärder i vattendrag påverkade av vattenkraft och hur dessa bidrar till att åtgärda resultaten från en analys av vilka ekosystem som försvunnit eller minskat i utbredning till följd av reglering, samt hur man kan prioritera mellan olika miljöåtgärder
- Energiforskrapport nr 430 "Evidensbaserade åtgärder för att restaurera ekologiska funktioner i reglerade vattendrag: vad finns i verktygslådan?" (Jansson m.fl. 2017) belyser mer i detalj hur olika åtgärder bidrar till att åtgärda resultaten från bristanalysen genom att utvärdera vilket vetenskapligt stöd det finns för åtgärdernas effektivitet.

Projektet har utförts av forskare på Umeå Universitet (UmU) samt Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). Roland Jansson var projektledare och huvudsakliga utförare i projektet var Åsa Widén, Birgitta Malm-Renöfält, Erik Degerman och Dag Wisaeus.

Forskningsprogrammets styrgrupp (programgrupp) bestod av Johan Tielman (ordförande), Uniper AB, Birgitta Adell, Fortum AB, Angela Odelberg, Statkraft Sverige AB, Richard Holmgren, Vattenfall vattenkraft AB, Niklas Egriell, Havs- och vattenmyndigheten, Ingemar Perä, Vattenmyndigheterna Bottenvikens vattendistrikt, Linn Sjöström (adj.) Energimyndigheten, Fredrik Brändström (adj.), Energimyndigheten, Sara Sandberg (adj.), Energiforsk, Fredrik Martinsson (adj.), Energiforsk. Suppleanter var Inger Poveda-Björklund, Havs- och vattenmyndigheten, Erik Sparrevik, Vattenfall vattenkraft AB, Åke Henriksson, Uniper, Åke Bengtsson, Vattenmyndigheten i Bottenhavets vattendistrikt, Marco Blixt, Fortum AB, Mikael Lindström, Statkraft Sverige AB och Ingela Lindqvist (adj.), Energimyndigheten.

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet och publiceringen innebär inte att Energiforsk har tagit ställning till innehållet.

Sammanfattning

Genomförande av ekologisk reglering har ofta förknippats med stora produktionsförluster och med osäkerheter om den ekologiska nyttan. Scenarier för ekologisk reglering av utbyggda vattendrag visar att det är möjligt att genomföra kostnadseffektiva flödesåtgärder där produktion av vattenkraft bibehålls samtidigt som miljöåtgärderna ger kvantifierbara ekologiska nyttor. Med exempel från Umeälvens avrinningsområde ges vägledning för hur ett metodiskt arbete med ekologisk reglering som kan användas i många typer av reglerade vattendrag kan genomföras.

Ekologisk reglering och managementfrågor är viktiga i reglerade vattendrag över hela världen. Frågeställningarna i Sverige är likartade de i andra länder och handlar ofta om avvägningen mellan ekosystemets behov av vattenflöde och ekosystemtjänster som vattendragen levererar till samhället. Samhället är beroende av vatten för t.ex. kraftproduktion, bevattning och processvatten i industrier, medan ekosystemen måste ha tillräckligt med vatten vid rätt tidpunkt för att möjliggöra bevarande av sin ekologiska integritet. Denna bestäms av vattenflöde, konnektivitet och kvaliteten och ytan av habitat som behövs för bevarande av vattendragens arter. I Europa och Sverige regleras dessa frågor genom ramdirektivet för vatten (2000/60/EG), som är implementerad i svensk lagstiftning genom förordning (2004:66).

Syftet med denna rapport är att förklara vad ekologisk reglering är och att föreslå praktiskt genomförbara åtgärder för ekologisk reglering. Det har varit viktigt att beskriva ett arbetssätt som i samverkan mellan olika intressenter i reglerade vattendrag resulterar i kostnadseffektiva scenarier och lösningar. Beskrivningar av realistiska och kostnadseffektiva åtgärder behövs som beslutsunderlag. Beslutsunderlag av hög kvalitet beskriver dessutom miljönyttor och produktionsförluster, vilket bidrar till att beskriva viktiga motstående intressen.

Scenarier för ekologisk reglering bör omfatta hela avrinningsområden. Ett sådant systemperspektiv innebär att man studerar konsekvenserna av ekologisk reglering för alla kraftverk i vattendraget. I mer naturliga vattendrag som ska uppnå miljö kvalitetsnormen God Ekologisk Status (GES) bör man sträva efter att flödena efterliknar naturliga flöden (Poff m.fl. 1997), även om ekologisk reglering innebär en avvikelse från naturliga flödesmönster. Vattendrag klassade som Kraftigt Modifierade Vatten (KMV) som inte kan uppnå GES ska istället uppnå miljö kvalitetsnormen God Ekologisk Potential (GEP). Där är det oftast inte realistiskt att återinföra naturliga flödesmönster. Istället införs restriktioner för variation i flöden och vattenstånd som innebär att kraftverken regleras för att uppnå ökad ekologisk nytta med minsta möjliga kraftproduktionsförlust. Restriktionerna arbetas fram med hänsyn till tekniska förutsättningar och vattenhushållning, vilket gör att påverkan på energiproduktionen minimeras. Vi använder begreppet "teknisk genomförbarhet" i betydelsen att kunskap om och förståelse av funktionen hos turbiner, dess verkningsgrad, dammar samt annan teknik är viktig, och att om man förstår när produktionsförlusterna uppstår är

dessas möjliga att undvika. Genom att sträva efter att undvika produktionsförluster och fokusera på vilka speciella flöden som skulle ge miljövinster, kan kostnadseffektiva förslag på flödesscenarier modelleras.

Metoden som vi beskriver förutsätter en fungerande samverkansprocess och användandet av en strukturerad managementmetod, som löper genom hela arbetet med ekologisk reglering. Modeller för ekologisk reglering konstrueras genom att identifiera vilka ekologiska funktioner som ska analyseras. Ekologiska funktioner kallas här "basfunktioner" och beskrivs med flödesintervaller (m^3/s) och vattenstånd (m) (Tabell 1). Basfunktioner kombineras till scenarier som körs i en datamodell. Datamodellen ger resultat för hydrologi, vattenstånd, produktionsförluster och slutligen miljövinster för varje scenario. Resultatet utgör beslutsunderlag för ekologisk reglering av avrinningsområdet.

Tabell 1. Beskrivning av exempel på basfunktioner som kan användas vid ekologisk reglering i ett vattendrag.

Basfunktion	Definition	Process alternativt organismgrupp som gynnas
Nolltappningsrestriktion	Lägsta tillåtna flöde genom turbin (minimitappning), nolltappningsförbud	Sedimentation, vattenhastighet, syresättning, förbättrad funktion i strömmande habitat
Spill i torrfåra eller omlöp	Säsongsanpassat flöde som spills till omlöp eller torrfåra	Konnektivitet, habitat
Spill i fiskväg	Vatten inklusive lockvatten till fiskväg under hela eller delar av året	Konnektivitet
Säsongsanpassade flöden	Flödesvariationen i systemet som efterliknar aspekter av naturlig flödesregim, t.ex. perioder med höga och låga flöden.	Samtliga processer, t.ex. vattenflöden och sedimentation, förutom konnektivitet
Vattenståndsanpassning	Anpassning av vattenstånden för att efterlikna naturlig vattenståndsvariation i ett dämningssområde, med bibehållna mellan dämningss- och sänkningsgränser.	Etablering och överlevnad av strandvegetation, reproduktion av fisk, evertrebrater
Naturlig flödesregim	Genom att systemet fräntas reglerförmåga återinförs naturliga flöden och vattnet rinner genom systemet utan lagring (avreglering).	Samtliga processer förutom uppströmskonnektivitet

Enligt metoden som beskrivs här, utvecklad i Umeälven ("Umeälvsmetoden") sker arbetet med ekologisk reglering i tre steg.

(1) Steg 1 är en nulägesanalys där data på hydrologi, tekniska förutsättningar för regleringen och naturvärden samlas in. Insamlat data och analyser ligger till grund för det fortsatta arbetet.

(2) I steg två delas avrinningsområdet upp i delområden med liknande hydrologi och problematik. För varje delområde väljs basfunktioner och vilka restriktionsintervall som ska gälla för varje basfunktion.

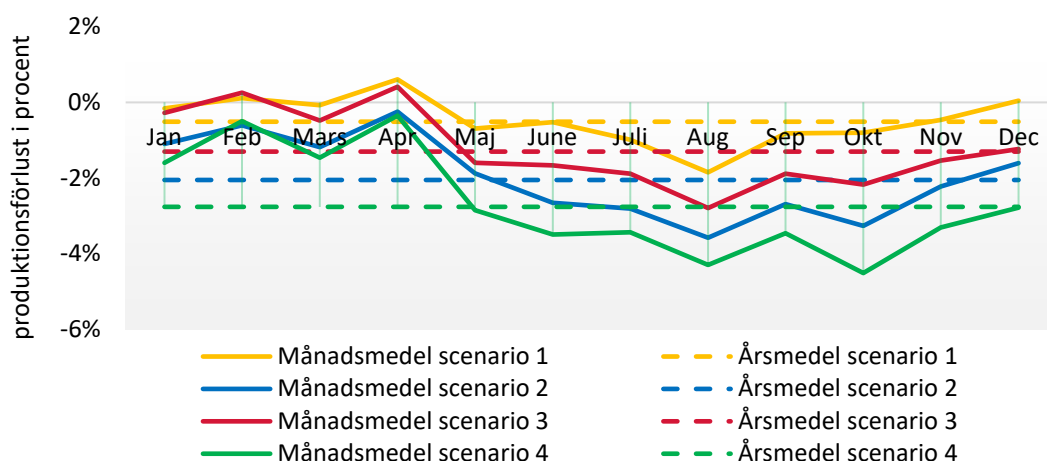
(3) I steg 3 sätts basfunktionerna samman till scenarier för alla delområden. Scenarier modelleras i ett optimerings/simuleringsprogram som möjliggör beräkning av produktionsförluster och nya ekologiska flöden för kraftverken.

I Umeälven modellerades ekologiska flöden med denna metod. Syftet med metoden var att ta fram kostnadseffektiva åtgärder (liten produktionsförlust) som ändå möjliggör viktiga ekologiska processer och funktioner i Umeälven. För att genomföra modelleringen användes mjukvaran ProdRisk. Totalt togs 31 scenarier fram, varav sex presenteras som exempel i Tabell 2.

Tabell 2. Scenarier för ekologisk reglering från Umeälven modellerade i ProdRisk.

Scenario	Kombinationer av basfunktioner som ingick i varje scenario
1	Nolltappningsrestriktion. Minimitappning genom turbin med en vattenföring motsvarande lägst MLQ
2	Nolltappningsrestriktion (>MLQ) + Tappning till fiskväg
3	Nolltappningsrestriktion (>MLQ) + Säsongsanpassad tappning till torrfåra och omlöp
4	Nolltappningsrestriktion (>MLQ) + Tappning till fiskväg + Säsongsanpassad tappning till torrfåra och omlöp.
5	Nolltappningsrestriktion + Säsongsanpassat flöde i huvudfåra.
6	Naturlig flödesregim. Avreglering av reglering.

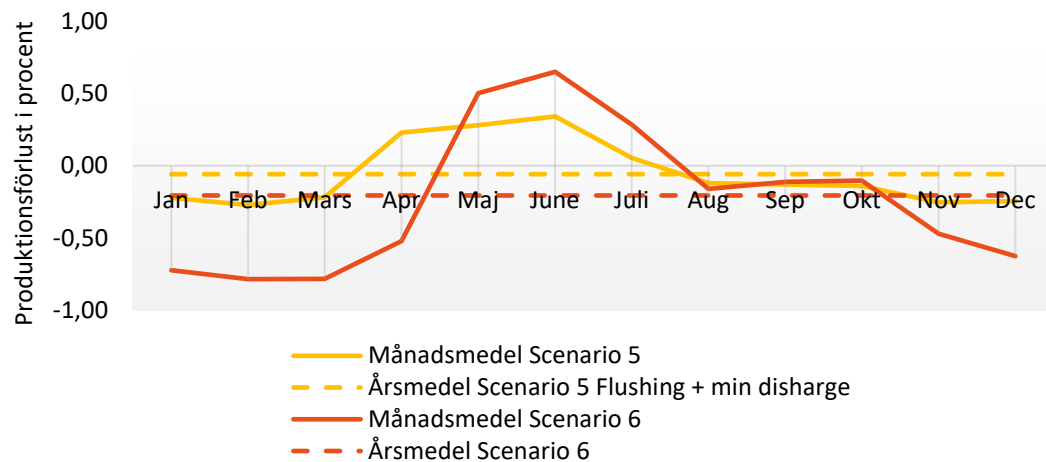
Åtgärdernas påverkan på balans- och reglerkraft har inte analyserats. Scenariernas påverkan på produktionsförlusten under olika delar av året exemplifieras med scenario 1, 2, 3 och 4 i Figur 1. Scenariernas resultat visar på produktionsförluster mellan 0,5 % till 2,8 % jämfört med nuvarande produktion.



Figur 1. Produktionsförlust redovisat som medelvärde per år och månad i procent av nuvarande produktion i Umeälven. Se tabell 2 för definition av de olika scenarierna.

Scenario 5, säsongsanpassad reglering av flöde, och scenario 6, strömkraftverk, ledde till större produktionsförluster med en större variation över året (Figur 2). Scenariet "naturlig flödesregim" ledde till en produktionsförlust på 30 % och

säsongsanpassat flöde till en produktionsförlust på 6 % (Figur 2) jämfört med nuvarande produktion.



Figur 2. Produktionsförlust redovisat som medelvärde per månad i procent av nuvarande produktion i Umeälven. Scenariot "naturlig flödesregim" ledde till en produktionsförlust på 30 % och säsongsanpassat flöde 6 %. Scenariot "säsongsanpassat flöde" kombinerades med minimitappning genom turbin motsvarande MLQ.

Utbyggnaden av vattenkraften på 1950- och 1960-talen i de stora älvarna skedde med liten miljöhänsyn. Älvarna byggdes ut med dammar i kaskad med utnyttjande av i stort sett all fallhöjd för att maximera produktionen, med stora ekologiska förändringar, t.ex. habitatförlust för strömlevande organismer, som följd.

Vid den normala produktionsplaneringen (produktionsoptimeringen) av vattenkraftsproduktionen allokeras oftast inget vatten till ekologiska flöden. Ekologisk reglering anses medföra stora produktionsbortfall och negativa effekter på balans- och reglerkraft, men om arbetet sker med hänsyn till förutsättningarna för vattenkraftsproduktion och görs på avrinningsområdesnivå kan ekologisk reglering genomföras med relativt liten produktionsförlust och ändå ge relativt stor ekologisk nytta.

Summary

Natural flows are important to maintain ecological integrity and self-sustaining productivity of river systems, as described by Poff *et al.*, (1997). The natural flow paradigm as a management method assume that limiting the degree of alteration from the natural flow baseline is the most efficient strategy to maintain biodiversity and ecological integrity. In contrast, Acreman *et al.*, (2014a) suggested that for heavily modified and managed river systems, designing a flow regime that could meet both ecological and ecosystem service requirements without reference to natural flow makes more sense.

Many river restoration projects aims at finding a balance between societies need for services such as energy and water for irrigation and industrial needs, and the need of riverine organisms for water flow producing connectivity and habitats. This conflict is reflected in legislation. The strategy used to find this balance is an important success factor in river restoration projects. Cost-effective environmental flow models with loss of services that are acceptable for society with the aim to maximize environmental benefits within the restrictions set by on-going resource exploitation are essential tools for ecosystem management in regulated rivers worldwide. Thus, there is an interest to develop and improve flow management methods to perform hydrological and morphological restoration of riverine ecosystems without giving up the services such as energy production provided by large dams.

Our report describes a method with the aim to find ecological and ecosystem service benefits with cost-effective measures. We used the heavily regulated Ume River as case study. We modeled 31 scenarios reflecting tow different paradigms. The natural flow paradigm is applicable in rivers with the aim to achieve Good Ecological Status (GES) according to the EU Water Framework Directive (WFD). The measures aiming for GES results in larger energy production losses, but on the other hand the environmental benefits are large. In contrast, the designer paradigm is applicable in rivers where the WFD aim is to achieve Good Ecological Potential. These measures entail small changes in flow and have the aim to maintain the current energy production. The scenarios are the result of considering technical constrains and to try to avoid that water is released through spill gates instead of going through the turbines in the power stations. By allowing production of energy and controlling the timing and amount of water through turbines, the regulated flow can also be used for ecological flow measures, providing environmental benefits for the freshwater ecosystem.

Innehåll

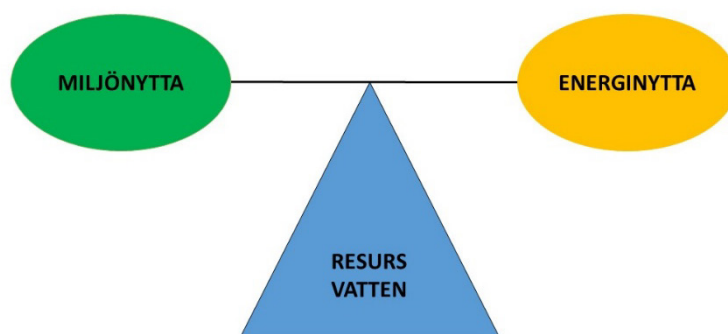
1	Introduktion	11
1.1	Bakgrund	11
1.2	Energinytta	12
1.3	Miljönytta	12
1.4	Mål med rapport och målgrupp	13
1.5	Rapportens begränsningar	13
1.6	Instruktioner till läsaren	14
2	Vad är ekologisk reglering i praktiken?	15
2.1	Definition av ekologisk reglering	15
2.2	Ekologiska värden i modellen	16
2.3	Förutsättningar	17
2.4	Ekologisk anpassning av vattinflöden	18
2.5	Förståelse för flöden och tidsupplösning	20
2.6	Exempel på ekologisk reglering	22
2.7	Spill vid sidan om turbin	25
2.8	Avreglering av reglerade vattendrag	26
2.9	Ekologisk risk och kvalitetssäkring	26
3	Karakteristiska data som beskriver avrinningsområdet	29
3.1	Gemensamt för hela systemet	29
3.2	Beskrivningar av karakteristiska data	30
3.2.1	Flöden samt deras fördelning över året, reglerat och oreglerat	30
3.2.2	Maximal och minimal turbinvattenförlust	30
3.2.3	Stationsverkningsgrader	31
3.2.4	Nolltappningsrapport	31
3.2.5	Dämnings- och sänkningsgränser samt nivåer i magasin	33
3.2.6	Torrflöden och omlöp	35
3.2.7	Tekniska fiskvägar	35
4	Umeälven, resultat ekologisk reglering	36
4.1	Metod i Umeälven	36
4.2	Teknisk genomförbarhet	37
4.3	Systemperspektiv – hela avrinningsområdet	40
4.4	Framtagning av scenarier i Umeälven	41
4.5	Analys av resultat	43
4.6	Sammanfattning	43
4.7	Basfunktion 1 och 2, nolltappningsrestriktion	44
4.8	Basfunktion 3 och 4: Spill i torrflöden samt i omlöp (Två alternativ).	47
4.9	Basfunktion 5 och 6: Spill i fiskväg (Två alternativ)	48
4.10	Basfunktion 7: Säsongsanpassade flöden (höga och låga flöden)	48
4.11	Basfunktion 8: Vattenståndsanspassning	49

4.12	Basfunktion 9: Naturlig flödesregim	50
4.13	Resultat scenarier Umeälven	52
4.14	Resultat för ett urval av scenarier	53
5	Tillvägagångssätt för att steg för steg ta fram scenarier för ekologisk reglering	70
5.1	Förberedelser	71
5.1.1	Avrinningsområdet.	73
5.1.2	Kartläggning naturvärden och miljö	73
5.1.3	Avstämning av flöden (reglerade kontra oreglerade) och regleringspåverkan (KMV)	73
5.1.4	Avstämning tekniska begränsningar och tekniska data	74
5.1.5	Vattenhushållningsbestämmelser	76
5.2	Analys av avrinningsområdet	76
5.3	Val av delområden för analys	77
5.4	Basfunktioner i avrinningsområdet (nya vattenhushållningsbestämmelser)	81
5.4.1	Basfunktion - Nolltappningsrestriktion	82
5.4.2	Basfunktion - Spill genom fiskväg, omlöp eller torrfåra vid sidan om turbin	83
5.4.3	Basfunktion – Säsonganpassade flöden	85
5.4.4	Basfunktion – Vattenståndsanpassning	87
5.4.5	Basfunktion – Naturlig flödesregim	89
5.5	Sätta upp modellen med moduler och skapa scenarier	91
5.6	Analys av resultat	91
5.7	Beräkning av miljönytta	93
5.8	Förenklade beräkningsformler	93
6	Diskussion och slutsats	95
7	Definitioner	98
8	Referenser	100
9	Förteckning över figurer och tabeller	104

1 Introduktion

1.1 BAKGRUND

Världens vattendragsekosystem utsätts för allt större påverkan genom t.ex. ökad vattenreglering, övergödning, spridning av invasiva arter och klimatförändringar (Gippel 2002, Malmqvist & Rundle 2002, Nilsson m.fl. 2005). Eftersom vattendragen och ekosystem bidrar med viktiga ekosystemfunktioner har det rests ökande krav på skydd och restaurering av vattendrag. I Europeiska Unionen (EU) tillkom Ramdirektivet för vatten år 2000 (2000/60/EG) för att möta behoven av bevarande av biologisk mångfald i sötvattenekosystem. Direktivet är infört i svensk miljölagstiftning genom "Förordning (2004:66) om förvaltning av kvaliteten på vattenmiljön". Vattendirektivet ställer krav på att EUs medlemsländer gör organiserade bedömningar och genomför åtgärdsplaner för inlandsvatten, grundvatten, övergångsvatten och kustvatten. Enligt vattendirektivet (European Commission Environment 2015) skall ekologisk reglering ingå bland de åtgärder som bedöms för att vattenförekomster påverkade av reglering för t.ex. vattenkraftsproduktion ska kunna uppnå miljökvalitetsnormerna "God Ekologisk Status" (GES), eller "God Ekologisk Potential" (GEP) i de fall vattenförekomsten är klassat som Kraftigt Modifierat Vatten (KMV). Målbilden är att ett vattendrag som ska uppnå GES ska återfå ekologiska strukturer och funktioner som liknar naturliga förhållanden. Ett vattendrag som är klassat som KMV kan inte återgå till något som liknar oreglerade förhållanden. Istället utgörs referensförhållande och målbild för KMV-vattendrag av förhållanden beskrivna av Maximal Ekologisk Potential (MAXEP), d.v.s. att alla miljöförbättrande åtgärder oavsett påverkan på energiproduktionen genomförs.



Figur 3. Avvägning mellan miljönytta och energinytta.

Den ekologiska regleringen ska utgöra en kompromiss mellan vad miljön behöver för att fungera (som det definieras av GEP och GES i vattendirektivet) och verksamhetsutövarens energiproduktion, som i sin tur styrs av samhällets behov av förnyelsebar energi. Avvägningen mellan miljönyttan och energinyttan är därför kärnan i arbetet med ekologisk reglering (Figur 3).

Det räcker inte alltid med att införa ekologisk reglering för att ett påverkat vattendrag ska uppnå GES eller GEP eftersom även konnektivitet och morfologi ofta är påverkad. Det kan ibland krävas en kombination av ekologisk reglering och morfologiska åtgärder för att ett påverkat vattendrag ska få ökad ekologisk funktion. Likaså kan restaureringsåtgärder av morfologin vara beroende av ekologisk reglering för att den genomförda åtgärden ska ha en positiv effekt på vattendragens ekosystem.

1.2 ENERGINYTTA

Vattenkraftens energinytta kan formuleras som samhällets behov av elproduktion. Vattenkraften är förnyelsebar, flexibel och har hög transmissionskapacitet. Sedan 1990-talet har fossila bränslens roll för klimatförändringar diskuterats i otaliga vetenskapliga artiklar och idag är det vetenskapligt belagt att CO₂ har stor påverkan på klimatet tillsammans med andra emissionsutsläpp. Klimatförändring är tätt sammankopplad med energiförbrukningen och cirka 80 % av utsläppen av växthusgaser kan relateras till energisystemet (Energimyndigheten 2016a). För att bromsa utsläppen och ställa om till en energianvändning med mindre miljöpåverkan är det viktigt att utnyttja förnyelsebar energi såsom vindkraft, solenergi och vattenkraft.

Med allt fler installationer av vindkraft och solkraft och andra tidsmässigt variabla energikällor ökar behoven av flexibla energikällor och hög transmissionskapacitet (Saarinen m.fl. 2015). Samtidigt förväntas elproduktionen i ökad utsträckning bli småskalig, med fler producenter och "smarta elnät" som minskar transmissionsbehovet. Vattenkraften är en energikälla som kan kompensera för den tidsmässiga variationen i vindkraftsproduktion och andra energikällor tack vare förmågan att på mycket kort tid förändra kraftproduktionen med ökad eller minskad tappning av vatten. Det framtida behovet av balans- och reglerkraft från vattenkraft är dock svår att prognostisera då vädret förväntas bli extremare, befolkningen större och energibehovet annorlunda (Bonjean Stanton m.fl. 2016). Inom Europa förväntas produktionen av förnyelsebar energi att öka i Norden samtidigt som den minskar i Sydeuropa (Bonjean Stanton m.fl. 2016), vilket ger frågan ytterligare komplexitet. Det är med andra ord en utmaning att väga vattenkraftens energinytta mot vattendragens miljönytta, och att ge energinyttan ett värde som kan vägas mot miljönyttan.

1.3 MILJÖNYTTA

Ekologisk reglering syftar till att bevara eller återskapa livsmiljöer för arter eller processer viktiga för ekosystemens funktion genom att återskapa naturliga flöden eller komponenter av sådana flöden (Church 1995, Englund & Malmqvist 1996, Rørslett & Johansen 1996, Stanford m.fl. 1996, Poff m.fl. 1997, King & Louw 1998, Robinson & Uehlinger 2008, Kondolf m.fl. 2014). Miljönyttan är möjlig att kvantifiera genom att jämföra reglerade, naturliga och ekologiska flöden samt genom att uppskatta hur stor yta som påverkas positivt genom återskapade funktioner och processer.

Dammar påverkar både akvatiska och terrestra organismer i flera stadier av deras livscykel i vattendragsekosystem genom att vattendragets flöde och den morfologiska utformningen av fåran förändras (Bunn & Arthington 2002). Dammar och begränsar transport av sediment och organiskt material (Ward 1995) och fragmenterar landskapet genom att förhindra spridning (Stanford m.fl. 1996, Jansson m.fl. 2000). Regleringens effekter beror på omfattningen av fragmentering och flödesförändring och kan variera från att vara liten (Hvidsten m.fl. 2015) till att leda till utrotning av vissa arter (Stevens m.fl. 1997, Konrad m.fl. 2011, Olden m.fl. 2014) och förlust av hela ekosystem (Fantin-Cruz m.fl. 2015). Vattendragsekosystems artsammansättning styrs bl.a. av vattenflöde (Poff m.fl. 1997) och vattentemperatur (Olden & Naiman 2010), och både dessa variabler förändras vid reglering. I förlängningen innebär det att om vi manipulerar flöde och/eller temperatur med syfte att förbättra miljön påverkas förekomsten av olika arter. Vattenkraftens fysiska infrastruktur med till exempel dammar, regleringsmagasin, tunnlar, torrfåror, kraftverk och vägar förändrar också landskapet och förändrar vattendragens sedimentdynamik. Samma processer påverkas av vattenkraft oavsett storlek på vattendraget (Jansson 2002; Bakken m.fl. 2012; Tullos m.fl. 2013), men effekterna kan variera i omfattning beroende på graden av avvikelse från naturliga vattenflöden (ofta avhängig lagringskapaciteten) (Nilsson m.fl. 2005; Lehner m.fl. 2011; McManamay m.fl. 2015) och utbyggnadsmodell avgör den areella omfattningen av olika typer av påverkan.

1.4 MÅL MED RAPPORT OCH MÅLGRUPP

Avsikten med denna rapport är att ge vägledning för att praktiskt kunna utarbeta realistiska och kostnadseffektiva modeller för ekologisk reglering för vattenförekomster som ska uppnå GEP eller GES. Vägledning ges dels genom att utförligt beskriva modellering av ekologisk reglering i Umeälven, men även genom att på ett mer generellt sätt beskriva de olika stegen vid arbetet med att ta fram scenarier för ekologisk reglering. Den tänkta målgruppen är främst myndigheter och verksamhetsutövare, men även naturvårdsorganisationer samt övriga berörda organisationer och personer.

1.5 RAPPORTENS BEGRÄNSNINGAR

Arbetet med att ta fram scenarier för ekologisk reglering är utfört i Umeälven. Umeälven har stor betydelse av för balans- och reglerkraft i svenskt energisystem. All fallhöjd används vid energiproduktion, vilket resulterar i ett system bestående av bl.a. dammar i kaskad, avsaknad av forsar och en hög grad av korttidsreglering. Det innebär att vid jämförelse med alla drygt 2000 kraftverk i Sverige är regleringen i Umeälven i första hand representativ för storskalig vattenkraft, d.v.s. de reglerade fjällälvarna från Luleälven i norr till Klarälven och Dalälven i söder. Principen för reglering är dock i stora drag detsamma för hela Sverige. En lokal anpassning av metoden för att ta fram ekologisk reglering som presenteras här måste ske för varje avrinningsområde eftersom graden och typen av reglering varierar mellan avrinningsområden. Även förekomsten av naturvärden, tekniska förutsättningar samt vilka miljömål som gäller för avrinningsområdet kopplat till GES och GEP har betydelse för utformningen av förslag på ekologisk reglering.

1.6 INSTRUKTIONER TILL LÄSAREN

Denna vägledning är en av tre rapporter i en rapportserie framtagen inom forskningsprojektet "Priokliv", som ett av tre forskningsprojekt i forskningsprogrammet "Kraft och Liv i Vatten". De två andra rapporterna från Priokliv-gruppen är "Identifiering av påverkan, åtgärdsbehov och åtgärdspotential i vattendrag påverkade av vattenkraft" (Renöfält m.fl. 2017) och "Evidensbaserade åtgärder för att restaurera ekologiska funktioner i reglerade vattendrag: vad finns i verktygslådan?" (Jansson m.fl. 2017). Den förstnämnda rapporten (Renöfält m.fl. 2017) beskriver en metod för att kartera naturvärden och restaureringspotential i avrinningsområden påverkade av vattenkraft, och hur man kan prioritera mellan möjliga miljöåtgärder. Den andra rapporten (Jansson m.fl. 2017) undersöker vilket vetenskapligt stöd det finns för att olika miljöåtgärder har den önskade ekologiska effekten.

Kapitel två i denna rapport beskriver vikten av och nyttan med att arbeta systematiskt med att ta fram modeller för ekologiska flöden, med samverkan mellan olika aktörer, utgående från ett managementverktyg. I kapitel tre beskrivs effekter av vattenreglering och innebörden av ekologisk reglering. I kapitel fyra anges vilka data som kan krävas för att beskriva ett reglerat avrinningsområde samt hur man med utgångspunkt från dessa kan utarbeta riktlinjer för att höja den ekologiska statusen. I kapitel fem illustreras processen med att utarbeta modeller för ekologisk reglering med exempel från Umeälvens avrinningsområde. I kapitlet förklaras hur ekologiska scenarier har modellerats och vilka hydrologiska restriktioner som satts för kraftverken. Kapitel sex beskriver på ett mer generellt plan hur man kan gå tillväga för att ta fram scenarier för ekologisk reglering i vattendrag med både småskalig och storskalig vattenkraft. Kapitlet beskriver ett tillvägagångssätt för att steg för steg beräkna ekologisk reglering och riktar sig till organisationer och personer som ska arbeta med ekologisk reglering praktiskt. Kapitel sju avslutar rapporten med ett kapitel om uppföljning av genomförda åtgärder. För att underlätta tolkning av olika begrepp avslutas rapporten med en lista med definitioner och terminologi, samt en förteckning över figurer och tabeller.

Sammanfattningsvis handlar ekologisk reglering om miljöanpassning av vattenkraft för att uppnå miljömål gällande bevarande av biologisk mångfald och ekosystemfunktioner, med hänsyn taget till klimatmål och att energiproduktionen ska vara förnyelsebar. I och med att man arbetar med sinsemellan motstående mål och intressen krävs ett metodiskt arbete för att ge kostnadseffektiva åtgärder. Arbetet med att ta fram åtgärder i ett reglerat vattendrag kan vara både tidskrävande, komplext och en social utmaning, och kräver ett holistiskt synsätt och samverkan mellan de olika intressenterna (Baron m.fl. 2002, Kingsford & Biggs 2012).

2 Vad är ekologisk reglering i praktiken?



Figur 4. Bredseleforsen i Juktån. Foto: Tina Hedlund.

2.1 DEFINITION AV EKOLOGISK REGLERING

Ekologisk reglering kan definieras som de åtgärder för att införa ekologiska flöden som genomförs i ett vattendragssystem där vattenflöden och vattenstånd är reglerade för att producera vattenkraft eller någon annan samhällsnytta. Ekologiska flöden och därmed ekologisk reglering definieras i EUs vägledning om ekologiska flöden (European Commission Environment 2015) på följande sätt:

Ecological flows are considered within the context of the Water Framework Directive (WFD) as “an hydrological regime consistent with the achievement of the environmental objectives of the WFD in natural surface water bodies as mentioned in Article 4(1)”.

Considering Article 4(1) of the WFD, the environmental objectives refer to: non deterioration of the existing status achievement of good ecological status in natural surface water body, compliance with standards and objectives for protected areas, including the ones designated for the protection of habitats and species where the maintenance or improvement of the status of water is an important factor for their protection, including relevant Natura 2000 sites designated under the Birds and Habitats Directives (BHD)2.

*Where water bodies can be designated as **heavily modified water bodies** and/or qualify for an exemption, related requirements in terms of flow regime are to be derived taking into account technical feasibility and socio-economic impacts on the use that would be affected*

by the implementation of ecological flows. The flow to be implemented in these water bodies is not covered by the working definition of ecological flow and it will be referred distinctively. These latter flows are to some extent addressed in the guidance document."

A careful assessment of the hydrological regime to be delivered should be carried out in the definition of good ecological potential together with the mitigation measures to improve the flow conditions; depending on the nature and severity of morphological alteration, the hydrological regime consistent with GEP may be very close to the ecological flows.

Similarly, an exemption under Article 4(5) can be justified with a significant hydrological pressure; this justification will require the definition of ecological flow and identification of the necessary measures to deliver it. The flow regime to be implemented in the water body should be the closest possible to ecological flow.

Enligt ramdirektivet för vatten skall alltså ekologisk reglering vara en del av det åtgärds paket som ska övervägas för att uppfylla de miljömål och miljö kvalitetsnormer som direktivet reglerar. Om undantag ska ske måste det finnas ett beslutsunderlag för undantaget, vilket innebär att beräkningar av ekologisk reglering är nödvändiga. Målet med ekologisk reglering är att vattendraget ska återfå funktioner och processer som i större utsträckning liknar naturliga vattendrag, med syftet att gynna och bevara organismer. Referensförhållandet för arbetet med ekologisk reglering är oftast ett vattendrag med naturlig hydrologi.

2.2 EKOLOGISKA VÄRDEN I MODELLEN

Processen för att ta fram modeller för ekologisk reglering syftar till att finna kompromisser mellan åtgärder för att öka den biologiska mångfalden eller förbättra vissa ekosystemfunktioner och produktion av energi. En viktig förutsättning är att ha ett systemperspektiv, d.v.s. att modelleringen sker för hela avrinningsområden. Detta för att kostnader och nyttor skall beskrivas på ett adekvat sätt. Rapporten ger därför beräkningsmodeller på energiförluster samt miljönytta för hela avrinningsområdet. Modellerna analyserar vattendragets totalflöde med målsättningen att maximera energiproduktion samtidigt som miljöskadorna begränsas genom att anpassa tappningen av vatten. Vattnet som rinner i älven kan vid vissa punkter gå två vägar i modellen: antingen genom turbin i kraftverk, eller utanför turbin som spill. Spillet kan ske dels planerat genom en fiskväg, ett omlöp eller en torrfåra, eller oplanerat som spill genom utskov. För att minimera produktionsförlusterna strävar vi alltid efter att vattnet i första hand ska gå genom kraftverkens turbiner. För att utarbeta modeller för ekologisk reglering behöver man ange restriktioner för regleringen som anges i form av värden för vattenstånd (meter över havet), flöden (m^3/s) samt tidpunkt när vattenståndet eller flödet ska råda. Några exempel på frågor som vi behöver svara på för att ange dessa restriktioner är:

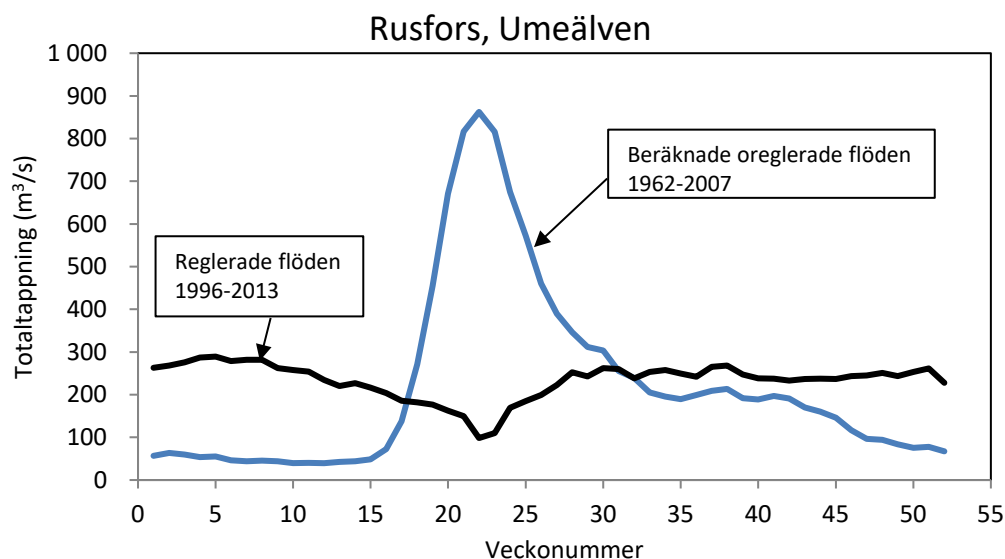
- Hur mycket får vattenståndet variera? Hur fort får variationen ske och vilka tider på året är möjliga att anpassa vattenstånden utan att det blir avsevärda produktionsförluster?
- Vilket är lägsta möjliga flöde för att ge naturvärden respektive kunna producera vattenkraft?

- Hur mycket kan flödet variera? Flödets förändringstakt?
- Vilka värden representerar höga flöden och låga flöden?
- Hur mycket vatten ska rinna i torrfårar och omlöp?
- Hur mycket vatten behövs till tekniska fiskvägar?

Det är en nödvändigt att i hela processen beakta vilka ekologiskt reglerade flöden och vattenstånd som ger en positiv effekt på ekosystemet. Vilken respons hos ekosystemet förväntas av restriktionerna, och hur ska den förmodade responsen uppskattas och senare beräknas vid uppföljning? I rapporten ger vi löpande exempel på vilka ekologiska effekter olika vattenhushållningsrestriktioner förväntas få. En god förståelse av de konsekvenser en åtgärd förväntas få är en förutsättning för ett lyckat arbete med att utarbeta restriktioner gällande flöden och vattenstånd.

2.3 FÖRUTSÄTTNINGAR

Vattenreglering definieras enligt Statens meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) som "åtgärder för ändring av vattenföringen i ett vattendrag eller avbördningen från en sjö (indirekt vattenståndet) till förmån för utvinnande av vattenkraft, vattenförsörjning och torrläggning".



Figur 5. Vattenföring i Umeälven vid Rusfors kraftstation. Blå linje visar beräknade oreglerade flöden per vecka. Svart linje visar uppmätta reglerade flöden per vecka. Beräknade flöden från ProdRisk.

I ett reglerat vattendrag är vanligtvis flödesvariationen annorlunda jämfört med ett opåverkat vattendrag (Figur 5). Vid opåverkade förhållanden karakteriseras en typisk norrlandsälv av låga vintervattenföringar, kraftiga vårflojder samt relativt höga flöden under försommar som sedan avtar under sensommar och höst. Efter reglering är vintervattenföringarna högre medan vårflojderna ofta är låga eftersom de används för att fylla upp älvens regleringsmagasin. Även sommar- och höstflöden kan vara måttliga jämfört med oreglerade flöden eftersom största möjliga vattenvolym ska sparas till vinterhalvåret.

För att anpassa elproduktionen till variationen i efterfrågan och som ett sätt att ytterligare öka det ekonomiska utbytet av vattenkraftproduktionen kan de säsongsreglerade flödena dessutom dygnsregleras. Det innebär att turbinerna kan stoppas under natten då elbehovet och elpriserna är låga. Tillrinningen sparas då i kraftverkens magasin för att tappas nästa dygn under dagtid då elbehovet är större. Sådan korttidsreglering kan innebära perioder med nolltappning nedströms kraftverken. I många fall kan korttidsregleringen ske på timnivå. Vattennivåerna kan förändras hastigt vid korttidsreglering av små magasin vilket orsakar skador både på miljö och på fiske.

Vattenstånden i ett oreglerat vattendrag följer flödet. Vid höga flöden stiger vattenstånden och stränderna svämmas över. I ett reglerat vattendrag är flöden och vattenstånd inte lika tydligt sammankopplade. Det innebär att vattenstånden inte behöver stiga när flödet ökar och att vattenståndet kan vara lågt medan flödet är stort och vice versa. Detta är viktigt att beakta när man bedömer miljönyttan av en flödesrelaterad åtgärd. Till exempel behöver åtgärden höglödestoppar inte med automatik betyda att man får förhöjda vattenstånd. Är det översvämningseffekten man är ute efter är det viktigt att åtgärden utformas utifrån värden för vattenstånd.

2.4 EKOLOGISK ANPASSNING AV VATTNFLÖDEN

En ekologisk anpassning av regleringen innebär att nya, "ekologiska" flöden införs där aspekter av den naturliga flödesregimen beaktas. Detta uppnås i första hand genom att en del av produktionen, d.v.s. flödet genom turbinerna, flyttas från en tidpunkt då det ger störst ekonomiskt utbyte till en tidpunkt då kraftvärdena är lägre men man istället uppfyller ekosystemets behov av ett visst flöde. I andra hand kan det innebära att vatten spills förbi kraftverk, t.ex. för att åstadkomma flöden som är högre än kraftverkets slukförmåga, eller allokera vatten till omlöp och fiskvägar.

På timnivå kan den ekologiska anpassningen innebära lägre tappning dagtid och högre tappning nattetid jämfört med nuvarande reglering. Den kan också innebära långsammare förändringar av vattenstånd och flöden samt att nolltappningar upphör eller begränsas genom att minimitappningskrav ställs. På säsongsnivå kan anpassningen innebära lägre vintertappningar. Vid kraftstationer där hela vårfloden idag används för återfyllning av magasinerna kan t.o.m. en liten vårflod införas.

Ekologisk reglering medför inte nödvändigtvis att vatten spills förbi kraftverkets turbiner. Minimitappningskrav sätts med fördel så att minimiflödet kan tappas genom kraftverkets lägsta turbinkapacitet och generera produktion, dock med nackdelen att den sker vid lägre verkningsgrad än vid optimal drift. När vatten ska tappas genom torrfårar, omlöp eller fisktrappor måste det dock spillas vid sidan av turbinerna.

En effekt av ekologisk reglering är att utrymmet för korttidsreglering ofta minskas, vilket kan påverka kraftverkets bidrag till balans- och reglerkraft. Produktionen styrs genom regler för *när* vattnet ska gå genom turbinen och med *vilken mängd*, samt med gränser och tidpunkter för *vattenstånd*. Regler eller restriktionerna

formuleras både i tillåtna intervall och i gränser. I vissa fall kan vattenståndsfluktuationernas hastighet begränsas.

Ekologisk reglering är en kompromiss mellan miljönyttan och energinyttan. Ibland antas att ekosystemet tål en viss påverkan, men att det finns en övre gräns för den toleransen, och det gäller att med ekologisk reglering se till att denna gräns inte överskrids. Om det stämmer, kan det vara så att den ekologiska regleringen måste ha en viss omfattning eller storlek för att komma på "rätt sida gränsen" och erhålla en miljönytta. I de åtgärder och exempel som beskrivs i denna rapport är det dock så att även små förändringar i riktning mot en mer naturlig flödesregim har en förväntad miljönytta.

I förslagen i denna rapport byggs modeller för ekologisk reglering genom att skapa ett regelverk (restriktioner) för vattenhushållningen för kraftverket, snarare än att styra flödet eller vattenstånden varje dag, timme, minut eller sekund. Inom det ramverket finns utrymme för vattenkraften att reglera med syfte att optimera produktionen och uppnå en fungerande vattenhushållning.

Reglerna beskrivs genom olika tillåtna intervall av flöden och vattenstånd som vi kallar basfunktioner (Tabell 1). Basfunktionerna anpassas specifikt till varje avrinningsområde och regleringsgrad med antagandet att ekologiska flöden ger förutsättningar för en hållbar vattenanvändning med fokus på att ekosystem ska ha vissa funktioner och erbjuda livsmiljö för vattendragsanknutna arter.

Basfunktioner innebär att vi föreslår begränsningar gällande flöde och vattenstånd som kan komma att utgöra nya vattenhushållningsbestämmelser om ekologisk reglering införs. Varje basfunktion motsvaras av en flödesaspekt som är en förutsättning för att ekosystemen i vattendraget kan upprätthålla sina funktioner, d.v.s. en "byggsten" som främjar en process, som i förlängningen gynnar olika organismgrupper. Basfunktionen kan bestå av regler för till exempel:

- lägsta flöde i vattendraget vid varje anläggning;
- anpassning av flödet säsongsmässigt gällande låga och höga flöden;
- begränsning av längden på nolltappningsperiod i timmar;
- mängd vatten i torrfåror eller omlöp (mätt som medelvärdet av flödet) vid olika tidpunkter på året (vi har räknat med två olika alternativ för att ge ett intervall);
- total mängd vatten (inklusive lockvatten) i fiskväg (mätt som medelvärdet av flödet) och vilken period av året fiskvägen bör vara vattenförande (vi har räknat med två olika alternativ för att ge ett intervall);
- vattenstånds begränsningar, d.v.s. att vattenståndet ska ligga på dämningssgräns, sänkningsgräns eller någon annan nivå under vissa tidsperioder.

Basfunktionerna kan kombineras till olika *ekologiska scenarier*. I resultatet för valda scenarier ges information om produktionsbortfall och miljönytta.

Tabell 1. Exempel på basfunktioner vid ekologisk reglering.

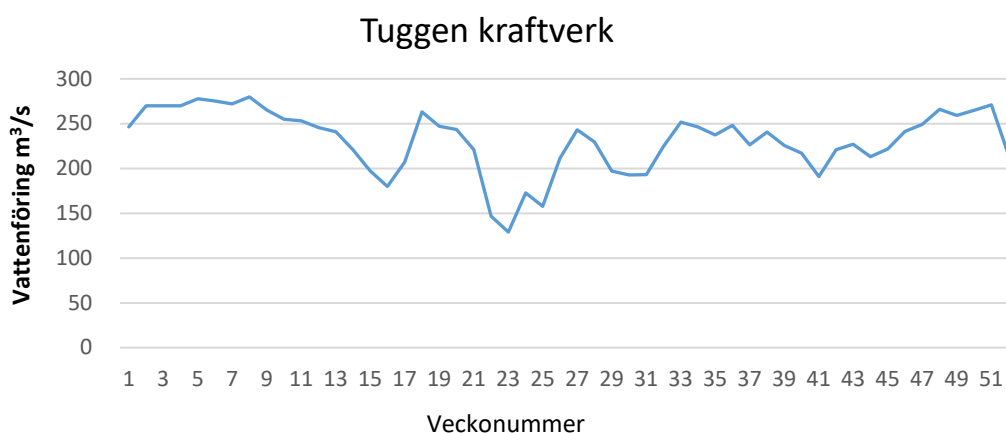
Basfunktion	Definition	Processer som gynnas
Nolltappningsrestriktion	Lägsta tillåtna flöde genom turbin (minimitappning)	Sedimentation, vattenhastighet, syresättning, förbättrad funktion i strömmande habitat
Spill i torrfåror eller omlöp	Säsongsanpassat flöde som spills till omlöp eller torrfåror	Konnektivitet, habitat för strömlevande organismer
Spill i fiskväg	Vatten inklusive lockvatten till fiskväg under hela eller delar av året	Konnektivitet
Säsongsanpassade flöden	Flödesvariationen i systemet som efterliknar aspekter av naturlig flödesregim t.ex. perioder med höga och låga flöden.	Flöde, sedimentation (samtliga processer förutom konnektivitet)
Vattenståndsanpassning	Anpassning av vattenståndet mellan dämningssgräns och sänkningsgräns i ett magasin för att efterlikna naturlig vattenståndsvariation.	Etablering och överlevnad av strandvegetation
Naturlig flödesregim	Genom att systemet fråntas reglerförmåga återinförs naturliga flöden och vattnet rinner allt eftersom i systemet utan lagringsförmåga (avreglering).	Flöde, sedimentation (samtliga processer förutom konnektivitet)

Vissa avrinningsområden med vattenkraft kan ha hårt reglerade biflöden med liten energinytta som inte är KMV och miljö kvalitetsnormen därför är GES. Sådana biflöden bör ha en hög grad av ekologisk reglering, vilket även kan gynna huvudfårans ekologi. Produktionen i biflöden anpassas till den tidpunkt då vattnet genom turbin gör mest nytta för ekosystemet. Biflöden som är oreglerade bör även tas i beaktning vid analys av flödespåverkan i älven, eftersom de kan gynna ekologiska flöden i vattendraget.

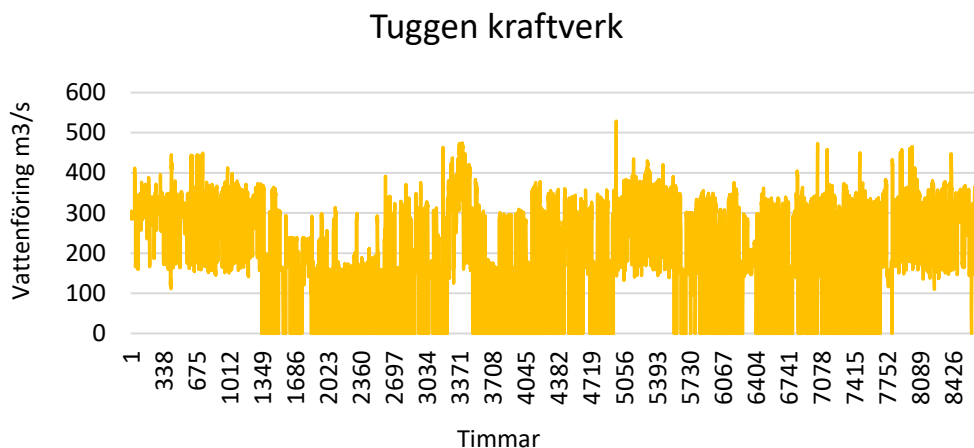
2.5 FÖRSTÅELSE FÖR FLÖDEN OCH TIDSUPPLÖSNING

Vid arbete med ekologisk reglering är det viktigt att ta hänsyn till hur flödet varierar på olika tidsskalor. För att ta fram ett regelverk för flöden och vattenstånd är det nödvändigt att arbeta med olika grader av tidsupplösning: I rapporten arbetar vi med medelvärden per timme, dag, vecka eller år. Medelvärdet kan dock dölja hydrologiska variationer på kortare tidsskala. Det är nödvändigt att förstå hur det modellerade hydrologiska medelvärdet kommer att bli i praktiken i vattendraget för att undvika att nya vattenhushållningsbestämmelser leder till nya miljöproblem, som till exempel en ökad korttidsreglering med ökade vattenstånds- eller flödesvariationer som följd. I Figur 6 visas t.ex. medelflöde per vecka beräknat på 46 år bakåt i tiden för Tuggens kraftstation i Umeälven. Veckomedelvärdet visar dock inte att flödesvariationerna sker snabbt och ofta med variationer från 0 m³/s

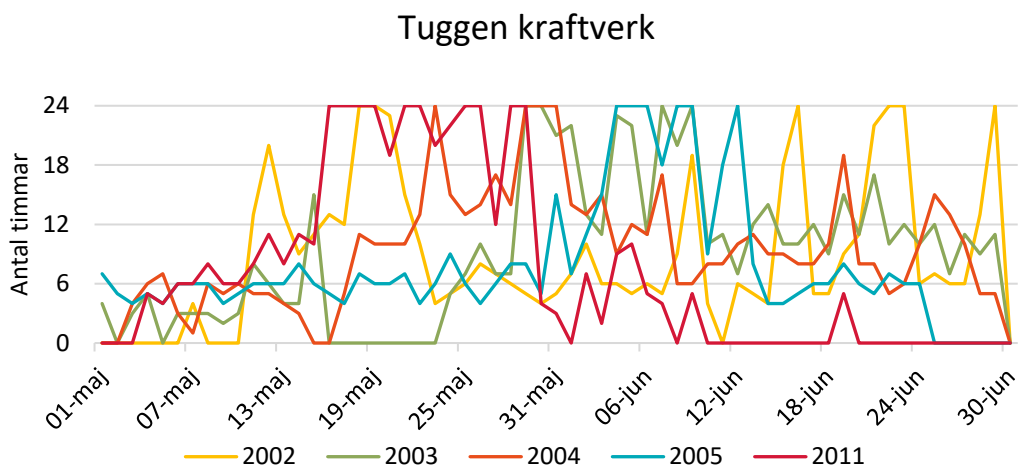
upp till ca 500 m³/s på kort tid (Figur 7). I många älvar är produktionen av energi störst på dagen eftersom behoven av energi då är större än på natten. Det innebär att det kan finnas behov av att lagra vatten på natten, vilket kan leda till att flödet helt stängs av. Sådana nolltappningsperioder mäts lämpligen timvis (Figur 8) och döljs om man använder medelvärden för längre tidsintervall. Exempelen illustrerar driftstrategin i ett älvmagasin vid storskalig vattenkraft med stora tappningsskillnader, men delar av driftsstrategin känns även igen i vid de mindre kraftverken.



Figur 6. Beräknad veckomedelvattenföring under 46 år vid Tuggens kraftstation i Umeälven.



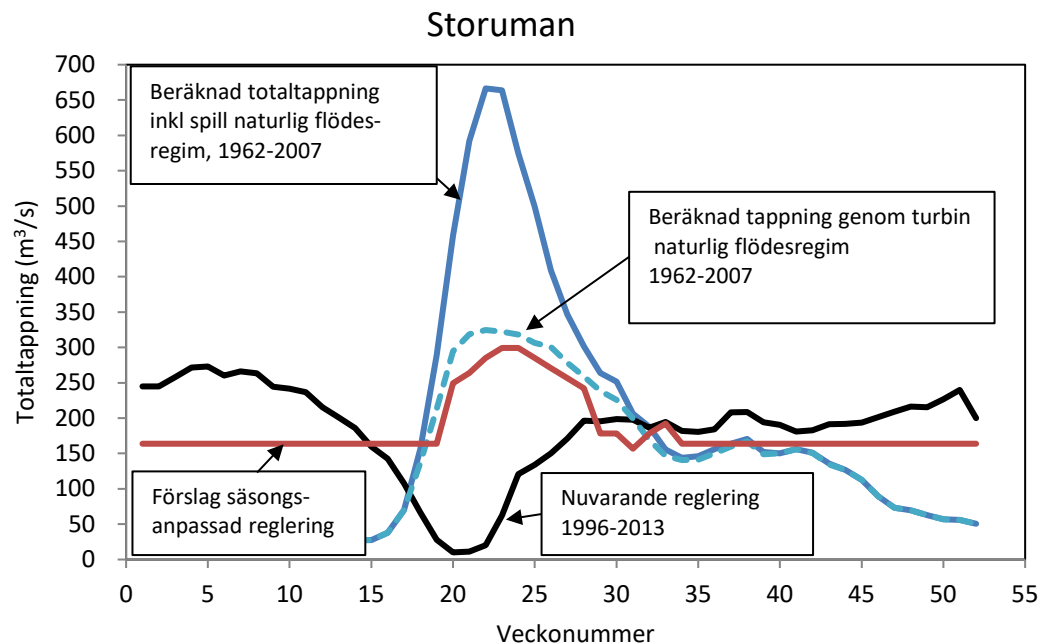
Figur 7. Uppmätt totalvattenföring per timme för 2010 i Tuggens kraftstation. 2010 representerar ett normalår.



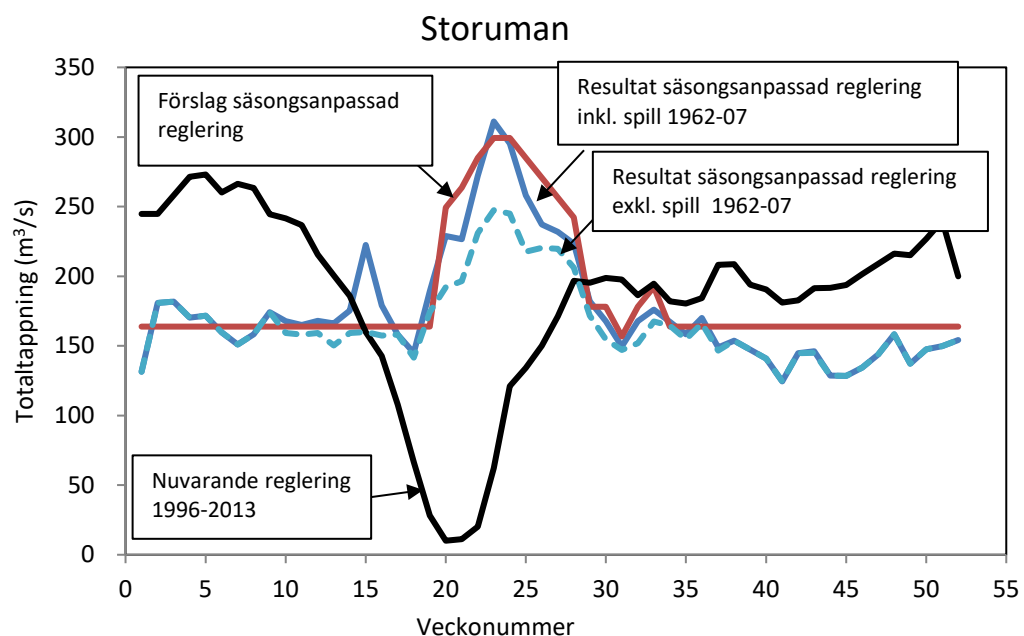
Figur 8. Uppmätt nolltappning per dygn med timdata i Tuggens kraftstation för perioden 1 maj till 30 juni under åren 2002, 2003 2004, 2005 och 2011.

2.6 EXEMPEL PÅ EKOLOGISK REGLERING

Regleringsmagasin har som funktion att lagra vatten som ska användas vid ett senare tillfälle då energibehoven, och därmed energipriset, är större. Detta ger negativa miljöeffekter på grund av dels stor vattenståndsamplitud (kan vara 10-tals meter) med avvikande vattenståndsfluktuationer jämfört med naturliga förhållanden. Regleringsvolymen i förhållande till tillrinningen är stor och det tar veckor eller till och med månader att fylla dem. I regel tappas inget eller lite vatten under vårflod och sommaren, medan det tappas mycket vatten under vintern. Korttidsreglering av dessa magasin, utöver säsongsregleringen, har dock obetydlig ytterligare miljöpåverkan då korttidsvariationerna ofta uppgår till endast några centimeter per dygn. Ett exempel på flöden med veckoupplösning före och efter reglering samt ett förslag på en kompromiss med ekologisk reglering visas för Storuman, ett regleringsmagasin i Umeälven som används för säsongsreglering (Figur 9, Figur 10).



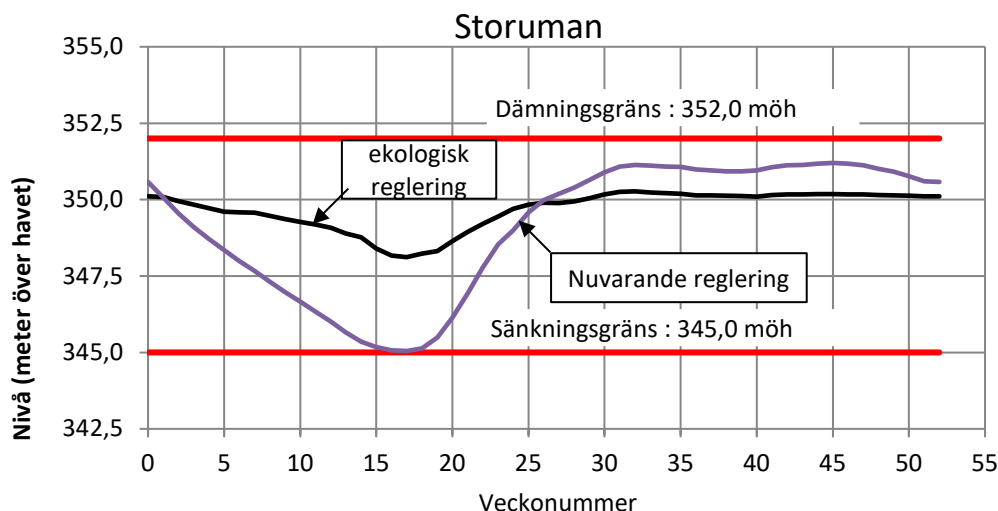
Figur 9. Exempel på naturlig flödesregim (blå linje), nuvarande reglering (svart linje) samt förslag på säsongsanpassad reglering (röd linje) för Storumans kraftstation, vid utloppet av Storumans regleringsmagasin, Umeälven. Flöden beräknade i ProdRisk med veckomedelvattenföring.



Figur 10. Resultat för scenario 25 i Umeälven. Säsongsanpassad reglering med totalvattenföring inklusive spill (blå linje), säsongsanpassad reglering totalvattenföring exklusive spill (blå streckad linje), nuvarande reglering (svart linje) samt förslag på säsongsanpassad reglering (röd linje). Flöden beräknade i ProdRisk veckomedelvattenföring.

Figur 13 visar ett exempel på ekologisk reglering där säsongsamplituden minskats betydligt jämfört med vid nuvarande förhållanden. Vid ekologisk reglering av ett regleringsmagasin är vattenståndet av stor betydelse då det kan innebära att

miljömålet är att minska amplitudintervallet (Figur 11). Genom att minska amplituden tvingar vi fram mer naturliga flöden eftersom lagringskapaciteten begränsas. Exemplet är från Umeälven med storskalig vattenkraft och åtgärden är inte realistisk då den skulle ge stora påverkan på balans- och reglerkraft.



Figur 11. Storumans regleringsmagasin, exempel på nivåvariationer vid ekologisk reglering. Röd linje motsvarar dämnings- och sänkningsgräns enligt vattendom. Svart linje motsvarar vattenstånd vid ekologisk reglering, lila linje motsvarar vattenstånd vid nuvarande reglering.

Älvmagasin är magasin som ligger i anslutning till kraftstationer, och som fylls och töms under loppet av ett eller flera dygn. De har liten volym i förhållande till tillrinningen. Korttidsreglering av älvmagasin, där vattenytan varierar mellan dämnings- och sänkningsgräns inom loppet av ett dygn, kan ge stor miljöpåverkan. Även flöden i ett älvmagasin varierar vilket illustreras av Figur 6, Figur 7 och Figur 8.

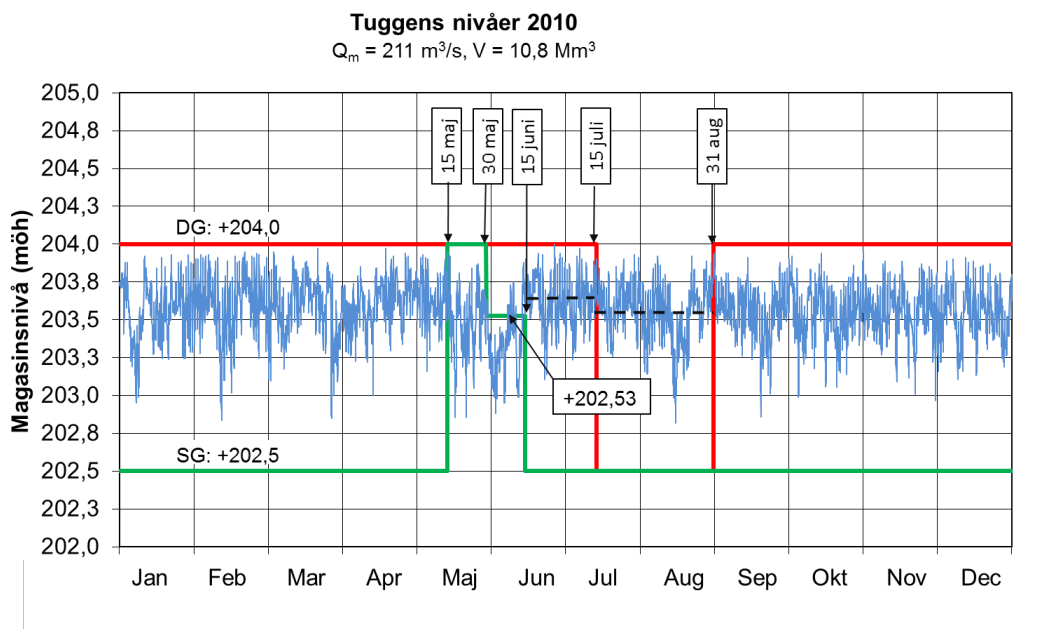
I älvmagasin kan den ekologiska regleringen uppnås genom att vattenståndsvariationernas amplitud begränsas under hela eller delar av året, samt genom att begränsa vattenståndens förändringstakt mätt i centimeter per timme. Tabell 2 visar ett förslag på restriktioner i vattenståndsvariation vid ekologisk reglering av ett älvmagasin där målsättningen är att mer vegetation ska kunna etableras på stränderna genom att vattenståndsvariationen anpassas till mer naturliga förhållanden under sommaren.

Tabell 2. Älvmagasin, exempel på vattenståndsrestriktioner vid ekologisk reglering.

Tidsperiod	Typ av reglering
31 augusti-14 maj	Fri reglering mellan dämnings- och sänkningsgränsen
15 maj-29 maj	Magasinet ligger konstant på dämningsgränsen
30 maj-14 juli	Fri reglering mellan dämningsgränsen och +203,53 möh
15 juli-14 juli	Succesiv avsänkning mot sänkningsgränsen
15 juli-30 augusti	Magasinet ligger konstant på sänkningsgränsen

Figur 12 visar uppmätta nivåer med timupplösning vid nuvarande förhållanden där vattennivån under hela året får variera fritt mellan dämningensgränsen 204,00 m över havet och sänkningsgränsen 202,50 m över havet. Dessutom visas regleringsgränserna enligt Tabell 2 efter det att ekologisk reglering införts. Sänkningsgränsen har då höjts till dämningensgränsen under perioden 15 maj till och med 29 maj (för att efterlikna en vårfloidsperiod) medan dämningensgränsen sänkts till sänkningsgränsen från 15 juli till och med 30 augusti (för att efterlikna låga vattenstånd i fritt strömmande älvar, vilka låter strandväxter växa till i frånvaro av överdämning).

Eftersom vattenstånd och flöde kan vara frikopplade varandra innebär det att vattenståndsåtgärder bör kombineras med ekologisk reglering av flödet i älvmagasin, t.ex. begränsning av nolltappning, att vatten spills vid sidan om turbin till torrfåror, omlöp eller fiskvägar eller säsongsanpassad reglering så att flödet liknar en mer naturlig flödesregim.



Figur 12. Älvmagasin, exempel på nivåvariationer vid ekologisk reglering. Sänkningsgräns (SG i figuren) 202,5 m över havet är lägsta nivå för vattenståndet och dämningensgräns (DG i figuren) 204 m över havet är det högsta tillåtna vattenståndet enligt vattenhushållningsbestämmelser.

2.7 SPILL VID SIDAN OM TURBIN

Vid ekologisk reglering tas hänsyn till totalflödet, d.v.s. både vatten som går genom turbin samt spill. Spill av vatten kan antingen ske planerat i till exempel en fiskväg eller släppas oplanerat genom utskov vid extrema tillrinningar. Vatten som inte går genom turbin påverkar givetvis också flödet, men spill kan vara svåra att beräkna och uppträder ofta vid andra tidpunkt av året jämfört med höga naturliga flöden. Oftast finns det inte någon regelbundenhet i när spillen uppstår, och beror till exempel på avställning av turbiner för underhåll eller höga oväntade nederbördsmängder. Därför kan spillen vara svåra att använda i miljösyfte. Ibland

kan dock spillet vara säsongsmässigt återkommande och kan då komma till nytta i ekologisk reglering.

Om analyser visar att det finns årligt återkommande spill kan det användas i till exempel en fiskväg eller torrfåra. Underhållsåtgärder som leder till spill kan också anpassas så att de om möjligt sker vid lämplig tidpunkt med tanke på vattenhushållning och ekosystemets behov. Hur ofta ett spill uppstår kan uppskattas genom att bedöma storleken på uppströms liggande magasin. Stora magasin innebär stor lagringskapacitet av vatten, vilket i sin tur minskar sannolikheten för spill.

Vatten som går förbi turbinen genom fiskvägar, omlöp och torrfåror kan påverka modellen för ekologisk reglering, men ofta är vattenmängden försvinnande liten jämfört med den reglerade vattenmängden genom turbin, och kan inte i sig ge upphov till nya flödesmönster med ekologiska effekter utanför fiskvägen, torrfåran eller omlöpet. För att maximera den ekologiska nyttan av flöden i torrfåra och omlöp bör de dock ha säsongsanpassade flöden som efterliknar naturliga flöden före reglering av vattendraget.

2.8 AVREGLERING AV REGLERADE VATTENDRAG

Om man återinför naturliga flöden i ett vattendrag sker en avreglering och flöden liknar därmed den naturliga variationen. Avreglering eller återinförande av naturliga flöden kan emellertid ibland innebära att det behövs en påverkansanalys av de dammar som finns i systemet.

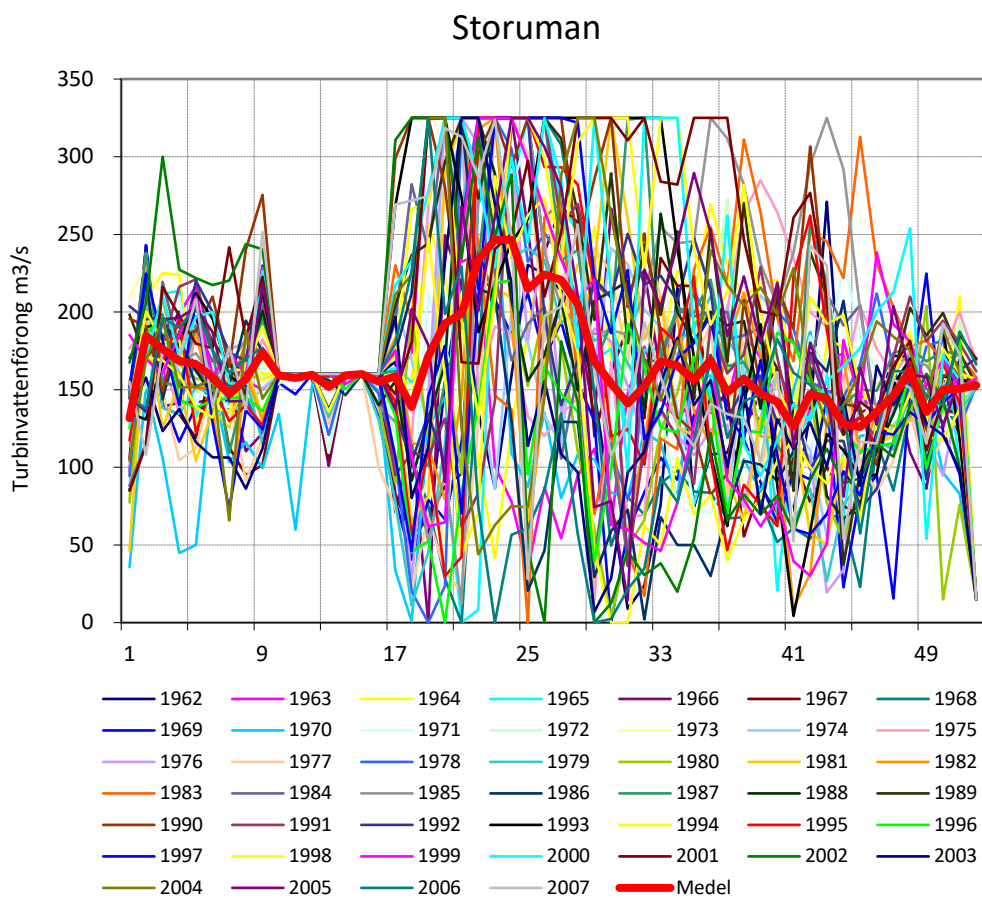
När dammarna byggdes skedde oftast en höjning av vattenstånden för att öka vattenlagringskapaciteten. Vid avreglering av flöde och återskapande av naturliga flöden är vattendragets fåra förändrad och oftast bredare än före byggnation av dammen. I sjöregleringsmagasin högst upp i systemet finns det möjlighet att släppa vatten i enlighet med naturlig avrinning genom att minska lagringskapaciteten (vattenstånd blir mer eller mindre konstanta). Men för dammar längre ner i systemet (älvmagasin) och älvfåran inte ges möjlighet att anpassa magasinet till naturlig storlek på fåran kan det bli problem att upprätthålla vattenstånd kopplat till vattendom. Väsentligt lägre vattenstånd i t.ex. städer eller nära bebyggelse kan anses som negativt. Likaså är beredskapen för större flöden under våren eller hösten inte längre bevarad och det kan innebära problem med t.ex. dagvattensystem, översvämningar eller dricksvattenbrunnar. För att behålla de reglerade vattenstånden kan det bli nödvändigt att "buffra" vatten under perioder med lägre vattenstånd eller att släppa vatten under senhösten då tillrinningen är stor. Det innebär att om man avreglerar flödet högst upp i systemet (regleringsmagasinen) krävs en konsekvensanalys av effekter nedströms. Det kan i praktiken bli nödvändigt att återreglera flödet nedströms för att klara infrastruktur och vattenhushållning.

2.9 EKOLOGISK RISK OCH KVALITETSSÄKRING

Med nya vattenhushållningsbestämmelser i ett vattendrag finns det en risk att flödena ändras så att ekosystemet tar skada, även om syftet är det motsatta. Situationen kan uppstå genom att det inom ett föreskrivet medelvärde för föden

finns utrymme för stor flödesvariation i ett kortare och längre tidsperspektiv, vilket kan innebära till exempel ökad korttidsreglering. Risken för sådana effekter är mindre vid beräkningar på timbasis än med modeller baserade på medelvärden.

Varje scenario är förknippat med en ekologisk risk. Hur väl denna risk kan beskrivas beror bland annat på vilken tidsupplösning de scenarier som ska beskriva konsekvenserna har. Genom att skapa fler scenarier och kombinera existerande scenarier ökar troligheten att riskerna med en specifik basfunktion kan identifieras.



Figur 13. Flödesvariation medelvärde per vecka under 46 år för flödet genom turbin i Umluspens kraftverk (Storuman) med tillåten nolltappning och inga restriktioner för korttidsreglering.

Figur 15 visar flödesvariationen i ett scenario med säsonganpassad reglering baserad på flödesmedelvärden per vecka för alla 46 år som scenariot är beräknat på. Variationen sträcker sig från 0 m³/s till mer än 350 m³/s och nolltappningsrestriktioner saknas. Den stora variationen samt låga flöden från vecka 17 i veckomedelvärde indikerar långa perioder av nolltappning. I vårt exempel (Figur 13) är scenariot beräknat med produktionsoptimeringsprogrammet ProdRisk (SINTEF). Effekten uppstår eftersom ProdRisk strävar efter att maximera produktionen utifrån de givna förutsättningarna, d.v.s.

vattenhushållningsbestämmelserna för ekologisk reglering. Nedan följer två exempel för att illustrera risken för att negativa ekologiska konsekvenser uppstår.

Exempel 1. Säsongsanpassade flöden i Umeälven. Beräkningarna skedde på veckomedelvärden. Vi tillät nolltappning och korttidsreglering. Utan analys med en modell som utnyttjar timdata visste vi inte om nolltappning och korttidsreglering skulle öka. Analysen visade att flödet under våren hade ökat i medeltal per vecka för alla 46 åren, men att störningen i form av nolltappning och korttidsreglering ökade oavsett om beräkningarna gjordes på basis av timme, dag, vecka eller år.

Exempel 2. Ett scenario för *minimitappning för att undvika nolltappning* var beräknad på basis av timdata. Modellen utgick från att vi tog bort nolltappningen i älven och att vi alltid hade en vattenrörelse motsvarande minst MLQ (medellågvattenföring, medelvärde av varje års lägsta dygnsvattenföring). Åtgärden innebar minskad korttidsreglering. När flödets storlek tillät det tappades vatten genom turbinerna och övrig tid spilldes vatten genom luckorna. Scenariot bedömdes ha låg risk för oväntade effekter eftersom det är genomarbetat med en modell som byggde på timdata.

3 Karakteristiska data som beskriver avrinningsområdet

Genom att samla in data på tekniska begränsningar erhålls en förståelse för funktionen i älvens energisystem. Kunskapen underlättar processen att ta fram kostnadseffektiva miljöåtgärder.

3.1 GEMENSAMT FÖR HELA SYSTEMET

Enligt Ramdirektivet för vatten, artikel 5, ska varje medlemsstat se till att det för varje avrinningsområde (<http://www.notisum.se/rnp/eu/lag/300L0060.htm>), utförs:

- en analys av dess karakteristika
- en översyn av konsekvenserna av mänsklig verksamhet
- en ekonomisk analys av vattenanvändningen

Det innebär att man ska samla in såväl naturvärdesdata som tekniska data, att det behövs en fördjupad förståelse av regleringskonsekvenser, samt utföra detaljerade analyser av vattenkraftsproduktionen i förhållande till ekonomi, hydrologi och energi. Metodbeskrivning av kartläggning av naturvärden beskrivs i rapport av Renöfält m.fl. (2017).

En typisk reglerad, svensk fjällälv rinner upp i fjällkedjan där den har stora regleringsmagasin som används för säsongsreglering, vilket innebär att vatten lagras under våren och sommaren för att tappas under höst och vinter. Längs älvens mellersta del finns ofta uppdämda sjöar vars regleringsvolym kan utnyttjas för dygns- och veckoreglering. I älvens nedre del är magasinens (älvmagasin) främsta uppgift att höja vattenytan och koncentrera fallhöjden, men regleringsvolymerna är vanligtvis små och räcker ibland endast för dygnsreglering. En reglerad älv består följaktligen av ett antal delområden som har liknande förutsättningar och som därför kräver likartade åtgärder för att den ekologiska statusen ska höjas. För att kunna dela in älven i delområden och förstå hur regleringen har påverkat avrinningsområdet måste varje kraftverk beskrivas med *karakteristiska data*. De åtgärder som kan användas för att höja den ekologiska statusen genom anpassningar av flöden och vattenstånd beskrivs därefter med ett antal *basfunktioner*.

För att det ska vara möjligt att modellera ekologisk reglering måste karakteristiska data samlas in, vidare behöver man dela upp avrinningsområdet i delområden och fatta beslut om värden för basfunktionerna. Den ekologiska regleringen beskrivs alltså med ett antal *basfunktioner* som kan kombineras till olika *ekologiska scenarier*.

Karakteristiska data som behövs för att beskriva varje kraftverk:

- Medelvattenföringen Q_{medel} (m^3/s) samt dess säsongsmässiga fördelning över året, reglerat och oreglerat
- Medellågvattenföringen MLQ (m^3/s) vid oreglerade förhållanden, se SMHI:s vattenwebb
- Maximal och minimal turbinkapacitet (m^3/s)

- Verkningsgradskurva för kraftstationen (%) för flöden mellan lägsta och högsta turbinkapacitet
- Nolltappningsrapport
- Dämnings- och sänkningsgränser (m över havet) med datum och nivåer för eventuella variationer
- Minimitappningar (m^3/s) genom och/eller bredvid turbin samt datum för eventuella variationer
- Övriga restriktioner enligt vattenhushållningsbestämmelserna, som till exempel maximal tappning under isläggningsskede eller nivå- och flödesbegränsningar för isvägar
- Intaget till kraftstationens placering i förhållande till vattennivå i magasinet (vid botten eller ytan). Ange nivåer
- Längder och lutningar av torrfåror och omlöp
- Magasinsvolym (Mm^3) samt magasinskurva som beskriver samband mellan vattennivå och regleringsvolym
- Fallhöjd, damm (m)
- Fallhöjd, fiskväg (m)
- Fallhöjd, turbin (m) (= stationens bruttofallhöjd)
- Flödets förändringstakt per timme
- Nivåer i magasin över året
- Nivåernas förändringstakt per timme
- Stationens betydelse för balans- och reglerkraft (relativt reglerbidrag, värde/klass)
- Dammsäkerhetsfrågor
- Översvämningsfrågor vid höga flöden enligt plan hos Länsstyrelserna (riskområden)
- Eventuella synpunkter angående tillsyn etc.

3.2 BESKRIVNINGAR AV KARAKTERISTISKA DATA

3.2.1 Flöden samt deras fördelning över året, reglerat och oreglerat

Medelvattenföringen (MQ , m^3/s) anges för perioden 1961-2010 eller längsta tillgängliga dataserie. Medellågvattenföringen (MLQ , m^3/s) är medelvärdet av de årslägsta oreglerade vattenföringarna. MLQ finns angivna i SMHI:s vattenwebb för modellerade data (SMHI).

För varje station ska reglerade och naturliga oreglerade medelflöden för en minst 10-20 år lång tidsperiod sammanställas i diagramform för att målbilden för den ekologiska regleringen ska kunna upprättas. Medelflödena baseras på dygnsflöden. Reglerade flöden erhålls från kraftstationsägaren, medan beräknade naturliga flöden finns tillgängliga på SMHI:s vattenwebb för tidsperioden 1999-2014. Ett exempel på flödenas fördelning över året redovisas i Figur 5.

3.2.2 Maximal och minimal turbinvattenföring

För varje station anges den maximala (Q_{max}) och minimala turbinvattenföringen (Q_{min}) i m^3/s . Den maximala turbinvattenföringen brukar betecknas som utbyggnadsvattenföringen. När tillrinningen är större än

utbyggnadsvattenföringen spills överskridande flöde. Den minimala turbinvattenföringen är det lägsta flöde som kontinuerligt kan tappas genom en turbin utan att skador uppstår. Denna är viktig att känna till vid bedömningen av produktionsförluster på grund av minimitappningar. Om minimitappningen överstiger den minimala turbinvattenföringen kan den tappas genom en turbin och produktionsförlusten blir då förhållandevis låg jämfört med om hela minimitappningen sker som spill.

3.2.3 Stationsverkningsgrader

Stationsverkningsgrader kan vara känsliga för verksamhetsutövaren att lämna ut och det kan därför ibland vara tillräckligt med en totalverkningsgrad samt lägsta och högsta verkningsgrad. För det mest tillförlitliga resultatet bör en kurva som beskriver stationsverkningsgraden i procent vid olika tappningar mellan minimal och maximal turbinkapacitet anges. Denna kurva behövs i senare produktionsberäkningar.

3.2.4 Nolltappningsrapport

Sammanställning av nolltappningar på timbasis bör göras under ett normalår, ett torrår och ett våår för att få en uppfattning om hur produktionsförlusterna fördelas om minimitappning ska ersätta nuvarande nolltappningsperioder. Nyttan av att ersätta nuvarande nolltappningsperioder med flöden motsvarande minst MLQ består i att vattenhastigheten ökar i vattendraget nedströms det aktuella kraftverket.

Timmar med nolltappning definieras i detta sammanhang inte som timmar med medelflödet $0 \text{ m}^3/\text{s}$ i kraftverkens tappningsrapporter eftersom den totala tidsperioden då nolltappning har skett då underskattas. När till exempel flödet $5 \text{ m}^3/\text{s}$ redovisas i en tappningsrapport innebär det inte att $5 \text{ m}^3/\text{s}$ har tappats kontinuerligt under den aktuella timmen. Istället har sannolikt ett betydligt högre flöde tappats under en del av timmen och nolltappning har rått under den resterande delen av den aktuella timmen.

Hur nolltappningar definieras i denna studie kan illustreras med ett exempel från Rusfors kraftstation. Denna station har en turbin med den maximala kapaciteten $450 \text{ m}^3/\text{s}$. Vid lägre tappningar än ca $120 \text{ m}^3/\text{s}$ blir verkningsgraden så låg att turbinen stängs (= lägsta turbinkapacitet). Detta innebär att när det registrerade medelflödet under en timme är större än $120 \text{ m}^3/\text{s}$ kan $120 \text{ m}^3/\text{s}$ ha tappats under en hel timme och det behöver inte ha förekommit någon nolltappning under denna timme. Om den registrerade timtappningen är $5 \text{ m}^3/\text{s}$ betyder det att turbinen kan ha gått $5/120$ av en hel timme, d.v.s. 2,5 minuter och att det varit nolltappning under 57,5 minuter.

Vid beräkningar av nolltappningsperioder vid Rusfors sätts gränsen för nolltappning vid $120/2 = 60 \text{ m}^3/\text{s}$. Vid flöden större än $60 \text{ m}^3/\text{s}$ antas att tappning har skett under en hel timme medan vid flöden mindre än $60 \text{ m}^3/\text{s}$ förutsätts nolltappning under en hel timme. Det antas att felen i längden tar ut varandra.

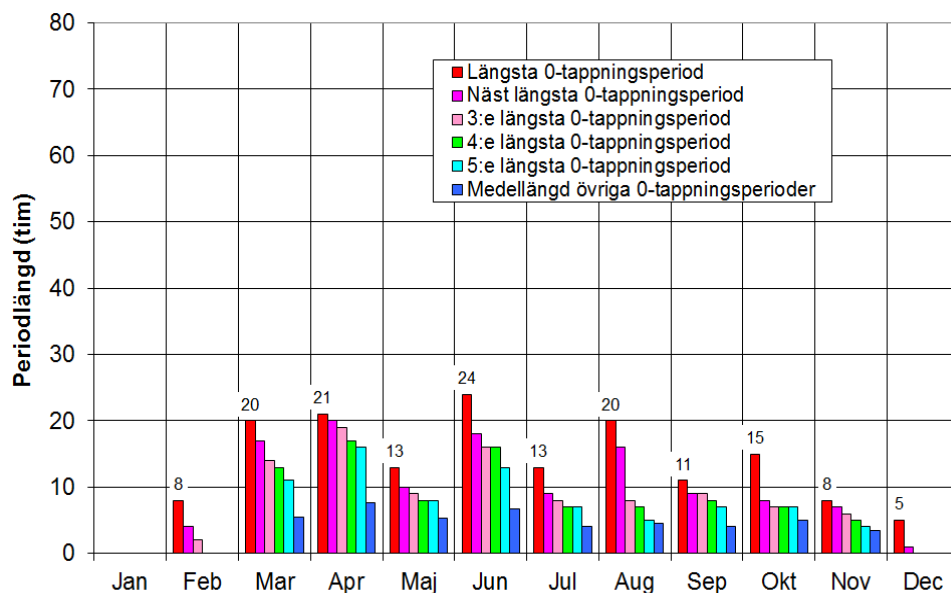
Nolltappningsperioder för normal-, våt- och torrår sammanställs. För att göra indelningen på torrår, våtår och normalår kan man använda SMHIs registrerade flöden eller medelvärden för flöde per år från verksamhetsutövare för en längre period.

Exempel: Vid Harrsele kraftstation som ligger strax uppströms Umeälvens sammanflöde med Vindelälven var medelflödet för åren 1960-2010 241 m³/s enligt Umeälvens Vattenregleringsföretag (Tabell 3). Med utgångspunkt från Tabell 3 var 2003 ett torrår och 2012 ett våtår medan 2010 var ett medelår.

Tabell 3. Medelflöden vid Harrsele kraftstation i Umeälven för åren 2003-2013 (SMHI).

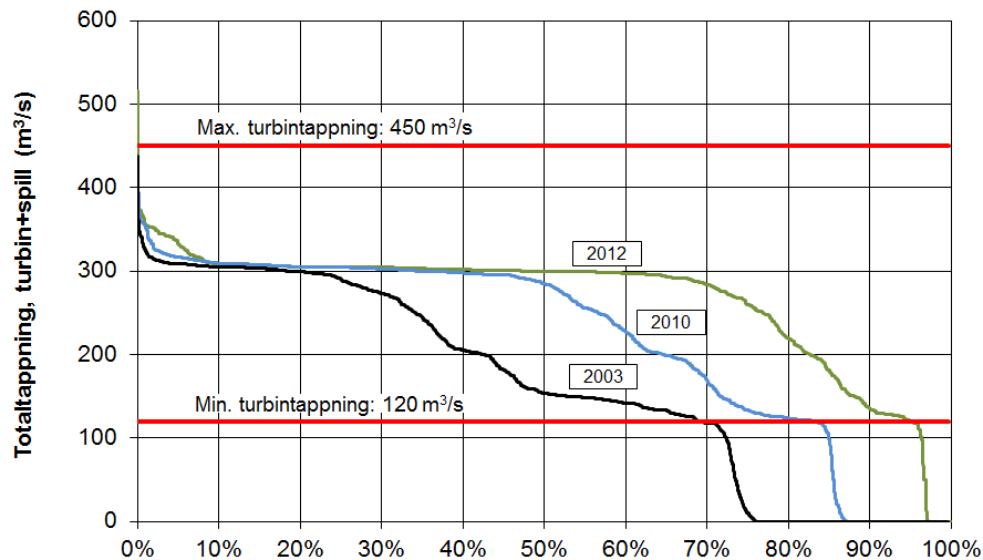
År	Medelflöde (m ³ /s)	År	Medelflöde (m ³ /s)
2003	179	2009	232
2004	263	2010	240
2005	279	2011	255
2006	186	2012	297
2007	248	2013	201
2008	227		

Nolltappningsperioder vid Rusfors kraftverk i Umeälven under normalåret 2010 visas i Figur 14.



Figur 14. Nolltappningsperioder vid Rusfors kraftstation i Umeälven under normalåret 2010. Lodrät axel visar antal timmar som det rädde nolltappning fördelat över månad (vågrät axel).

Totaltappningar, d.v.s. turbintappningar plus spill, sammanställs i form av varaktighetsdiagram för normal-, våt- och torrår. Av diagrammet framgår till exempel att under år 2010 rädde det nolltappning under ca 14 % av året i Rusfors kraftverk. Det framgår också att flödena aldrig översteg den maximala turbintappningen (Figur 15).



Figur 15. Varaktigheter av totaltappningar vid Rusfors kraftstation i Umeälven under torråret 2003, normalåret 2010 och våtåret 2012.

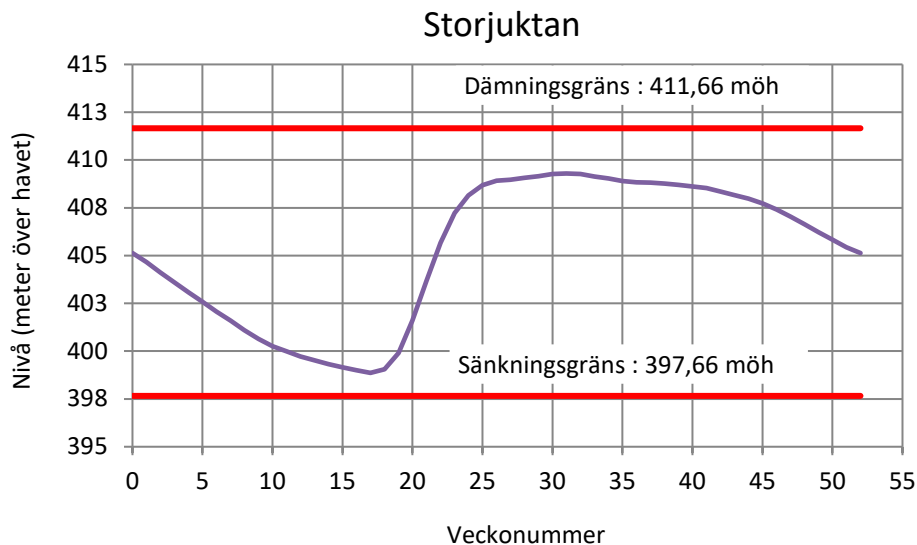
Minimitappningen $MLQ = 37,5 \text{ m}^3/\text{s}$ är betydligt lägre än den lägsta turbintappningen vilken är $120 \text{ m}^3/\text{s}$. Vattnet måste därför spillas bredvid turbinen. Vid stationer där minimitappningen MLQ är större än den lägsta tillåtna turbintappningen kan minimitappningen gå genom turbinen för att undvika spill. Det uppstår däremot en verkningsgradsförlust eftersom vattnet under nolltappningsperioder vid låga flöden tappas med låg verkningsgrad. Ett rimligt antagande är att verkningsgraden då är ca 8 % lägre än om vattnet tappats på vanligt sätt. Det uppstår dessutom en intäktsförlust. Eftersom nolltappningsperioderna vanligtvis är förlagda till natten är ett rimligt antagande att kraftvärdet då är ca $0,07 \text{ kr/kWh}$, vilket ska jämföras med dagtid då kraftvärdet är ca $0,30 \text{ kr/kWh}$.

3.2.5 Dämnings- och sänkningsgränser samt nivåer i magasin

Dämnings- och sänkningsgränsen betecknar den högsta och lägsta vattennivån som ett magasins vattennivå får variera mellan. Observera att i vissa fall kan dessa gränser variera över året. Dämnings- och sänkningsgränsen samt deras eventuella variationer anges i den aktuella kraftstationens vattenhushållningsbestämmelser.

Nivåer i regleringsmagasin

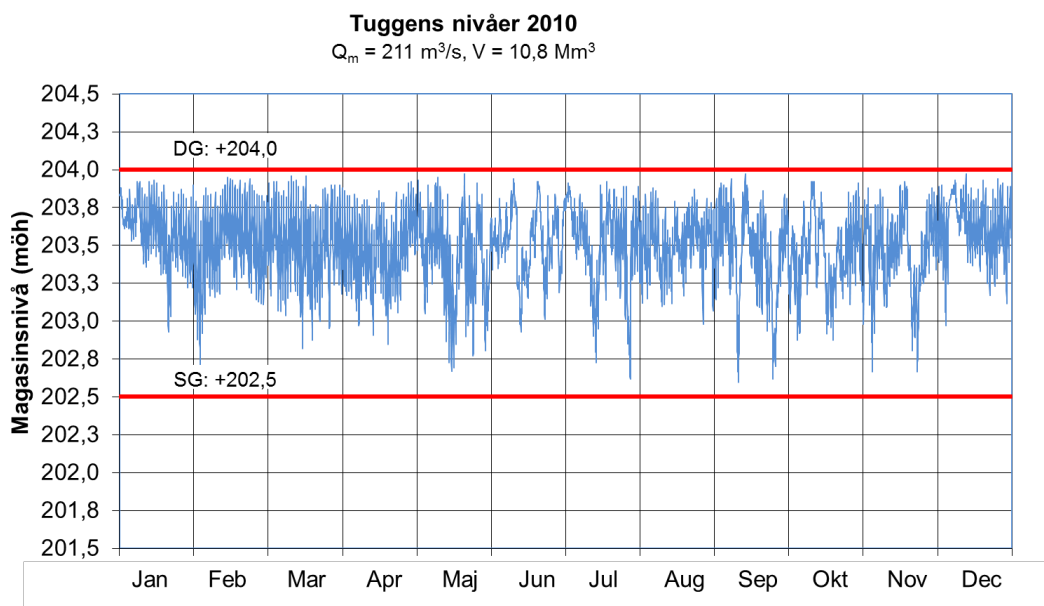
I regleringsmagasin är nivåförändringarna i regel långsamma. Vid redovisningen räcker det därför att redovisa nivåändringarna med dygns- eller veckoupplösning för en 10-20 år lång period (Figur 16).



Figur 16. Regleringsmagasinet Storjuktan i Umeälven; reglerade medelvattennivåer med dygnsupplösning under 46 år.

Nivåer i älvmagasin

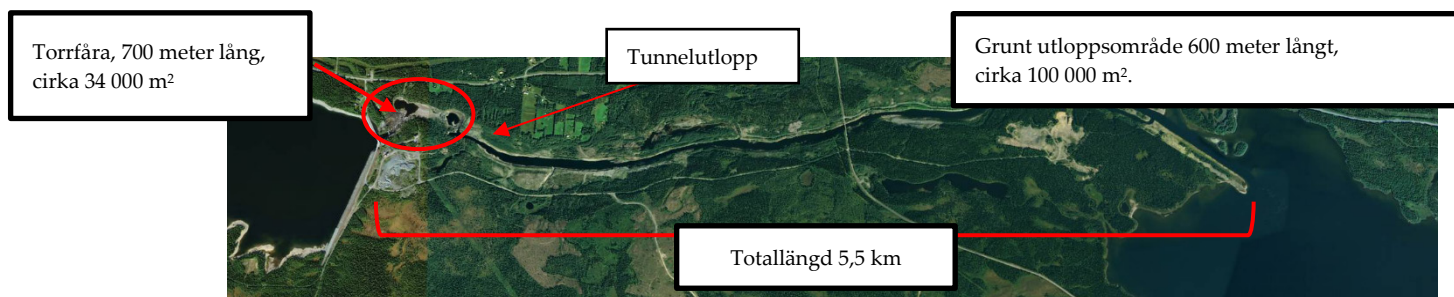
I ett älvmagasin kan vattennivåerna variera kraftigt under ett dygn på grund av korttidsregleringen (Figur 17). Ett sådant magasinets nivåförändringar beskrivs bäst med timvärden under ett enstaka år. För att få en uppfattning om hur detta varierar mellan år bör nivådiagram tas fram för ett normalår, ett våtår och ett torrår. Vattenståndets fluktuationer hastighet i meter per timme bör sammanställas månadsvis.



Figur 17. Älvmagasin uppströms Tuggens kraftverk i Umeälven, reglerade vattennivåer med timupplösning under ett enstaka år. DG = dämningsgräns i m över havet, SG = sänkingsgräns i m över havet.

3.2.6 Torrfåror och omlöp

Torrfåror och omlöp beskrivs med längd och lutning eller nivåskillnad, gärna även med översiktskarta (här från Google Maps) och detaljerade kartor. För att få ett åtgärdsunderlag behöver man även känna till hydrologin i torrfåran och ha kunskap om biflöden, eventuella spill, minimitappningar och dammregleringar samt potential för morfologiska restaureringsåtgärder. Biologiska inventeringar av fisk, bottenfauna, vattenväxter, substrat samt strandvegetation är värdefullt. Mätningar av fårans morfologi, flöden och vattenhastigheter kan även vara värdefulla om fåran ska modelleras med hydrauliska modellverktyg.



Figur 18. Exempel på översiktskarta över Ajaures torrfåra nedströms Ajauredammen i Umeälven.

3.2.7 Tekniska fiskvägar

Tekniska fiskvägar beskrivs med höjdskillnaden mellan uppströmsmagasinets dämningssgräns och lägsta nivån på vattenytan nedanför dammen samt det horisontella avståndet mellan dessa. Även dessa platser bör illustreras med en översiktskarta.

4 Umeälven, resultat ekologisk reglering

Inom projekt Umeälven inleddes arbetet med scenarier för ekologisk reglering. Metoderna för ekologisk reglering har vidareutvecklats inom KLIV-programmet och nya scenarier tagits fram som vi redovisar i nedan. Resultaten visar exempel på kostnadseffektiva flödesåtgärder där man får kumulativa miljönyttor genom att kombinera basfunktioner. Detta görs med hänsyn till tekniska begränsningar och analyser är utförda för hela avrinningsområdet. Flödesåtgärderna kräver dock fysiska restaureringsåtgärder i älvfåran för att erhålla förväntad nytta. Beräkningar av miljönyttor redovisas i Renöfält m.fl. (2017).

4.1 METOD I UMEÄLVEN

Inom projekt Umeälven, som pågick mellan år 2011 och 2015, beslutades om att konsekvensbeskriva effekter av ekologisk reglering på energi- och miljönytta (Widén 2015). Arbetet påbörjades i juni år 2014 och färdigställdes i en första version i mars 2015. Vid denna tidpunkt fanns det få vedertagna metoder och modeller i Sverige. Arbetet bedrevs därför som ett utvecklingsarbete gällande metod, modeller och verktyg. Efter det att Umeälvprojektet avslutades, fortsatte utvecklingsarbetet inom KLIV-programmet och nuvarande metod togs fram. Det finns därför vissa skillnader mellan arbetet i Umeälven och det tillvägagångssätt som vi presenteras här. Alla scenarier av ekologisk reglering är nya och modifierade inom KLIV-programmet.

I Umeälven har produktionspåverkan av olika ekologiska regleringsalternativ studerats genom beräkningar med produktionsoptimeringsprogrammet ProdRisk, utvecklat av SINTEF i Norge (www.sintef.no), vilket används för produktionsplanering av bl.a. Vattenfall och Statkraft. Alternativt beräknas effekten av förändrade tappningar och regleringar i ett vattendrag med simuleringsprogram. Ett sådant program behandlar varje kraftverk för sig. Det börjar med att reglera tillrinningarna till kraftverket högst upp i systemet, varefter det reglerade vattnet skickas ned till nästa kraftverk som tar hand om detta vatten samt tillkommande oreglerade lokaltillrinningar, varefter totaltillrinningen skickas vidare nedströms o.s.v. En ändring av regleringsförutsättningarna för ett magasin i nedre delen av en älv får då ingen påverkan på driftstrategierna i älvens övre kraftverk.

Ett produktionsoptimeringsprogram som ProdRisk betraktar alla kraftverk och magasin som ett system där tappningar och regleringar genom en optimeringsprocess automatiskt anpassas efter givna begränsningar så att det totala årliga ekonomiska utbytet av produktionen i vattendragets samtliga kraftverk blir så stort som möjligt. En ändring av till exempel vattenhushållningsbestämmelserna för ett magasin i vattendragets mellersta del påverkar då hur ProdRisk fördelar och reglerar vattnet i vattendragets samtliga kraftverk, även de som är belägna långt uppströms det aktuella magasinet.

När ett alternativ med ekologiska regleringar ska studeras ändras begränsningar och randvillkor i indata till ProdRisk så att önskade ekologiska tappningar och regleringsförhållanden uppnås. Med utgångspunkt från resultatet går det därefter att studera hur produktionen och därmed vattnet flyttats från en säsong till en annan samt hur dygnsfördelningar ändrats jämfört med nuvarande förhållanden. I arbetet i Umeälven har stor vikt lagts vid att säkerställa att föreslagna flödes- och regleringsåtgärder är tekniskt genomförbara.

Programvara för produktionsoptimering och simulering, ProdRisk

I Umeälven har ProdRisk-licens tillhörande Vattenfall använts för modellering av ekologisk reglering. Programmet utför optimering och simulering på lång och medellång sikt baserad på stokastisk dubbel dynamisk programmering (SDDP). ProdRisk tillåter schemaläggning inom ett geografiskt område förutsatt att inga interna transmissionsflaskhalsar finns, och har i Umeälven körts i ett marknadsläge där systemet i fråga är anslutet till en marknad, och marknadspriserna är givna för de närmsta tio åren enligt Vattenfalls prisprognos. SDDP möjliggör stokastisk optimering med ett stort antal magasin. ProdRisk kombinerar simuleringssystem och strategiberäkning för att hitta en optimal strategi för energiproduktion utifrån hydrologiska data samt vattenhushållningsregler. I korthet uppnås detta genom att dela upp det övergripande problemet i allt mindre optimeringsproblem, som löses genom att använda linjär programmering och samordning med hjälp av principen om Benders sönderdelning (Geoffrion & Graves 1974). Systembegränsningar kan behandlas lika i både systemsimulering och strategiberäkning. ProdRisk har en stokastisk tidsupplösning av en vecka, men tillåter att dela veckan i block med ner till en timmes tidsupplösning. Programmet kan även generera kopplade flödesvärden (eller genomsnitt) som kan tjäna som underlag för den operativa planeringen på kort sikt, vilket kan ge kontroll av flöden per timme.

Modelleringen med ProdRisk ger förslag på hur kraftverken kan köras med veckomedelvärden, olika för varje scenario. Modellerna bygger på hydrologiska historiska data, 46 år tillbaka i tiden och med prisprognos 10 år framåt i tiden. Naturliga flöden i modellen beräknas på faktiska reglerade flöden, som räknats om till naturliga. I modellen har vi lagt in villkor och bestämmelser. Varje scenario har egna vattenhushållningsbestämmelser som bygger på ovan nämnda basfunktioner. Alla körningar är utförda på medelflöden (m^3/s) per vecka. Syftet med de olika scenarierna och modellerna var att analysera olika kombinationer av hydrologiska anpassningar för att höja vattendragsekosystemens ekologiska status (ekologiska flöden) med hänsyn till vattenkraftsproduktion mätt i flöden (m^3/s), elkraftsproduktion (kWh), effekt (MW) samt intäkter (Mkr).

4.2 TEKNISK GENOMFÖRBARHET

Hänsyn till teknisk genomförbarhet togs tidigt i modellen för att resultatet skulle bli ett beslutsunderlag som är genomförbart i praktiken. Den traditionella metoden vid framtagande av ekologiska flöden och tappningar till fiskvägar är att utgå från de flöden och processer som ekosystemet anses behöva för att upprätthålla en specifik funktion eller förekomst av en/flera arter, utan att göra avvägningen om det är tekniskt möjligt ur ett anläggningsperspektiv. Det har ofta inneburit att

beräkningar gällande minimitappningar och eventuella ekologiska flöden gjorts för enskilda kraftverk. Bästa möjliga teknik gällande teknisk genomförbarhet och eventuella produktionsförluster beräknas i efterhand. Genom att ta hänsyn till tekniska begränsningar i ett tidigt skede i processen kan både energi- och miljönytta gynnas. Ibland kan det till och med innebära att det som är tekniskt genomförbart innebär ett högre flöde.

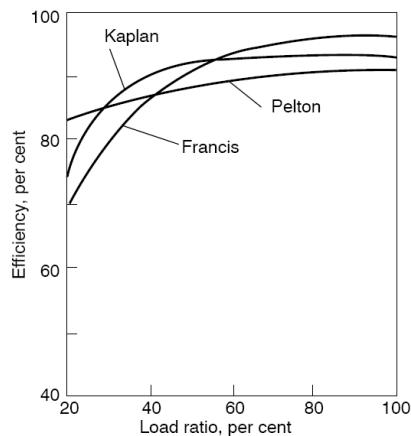
Lite vatten behöver inte vara det billigaste. Ibland är mer vatten billigare!

Detta påstående kan exemplifieras med Tuggens kraftstation där den lägsta turbinvattenföringen är 55 m³/s medan MLQ är 39,6 m³/s. Om 39,6 m³/s ska tappas kontinuerligt istället för nolltappningsperioder måste hela det flödet spillas. Om istället 55 m³/s tappas under dessa perioder kan flödet nyttjas för energiproduktion. Minimitappningen genom turbin sätts därför till 55 m³/s istället för MLQ om 39,6 m³/s. Produktionen kommer då att ske vid lägre verkningsgrad än vid normal produktion samt under natten då kraftvärdena är låga. Sammantaget är detta ändå billigare för kraftverksägaren än att spilla bort 39,6 m³/s vid sidan om turbin.

Umeälvsmodellen bygger på att hänsyn till teknisk genomförbarhet ska komma in tidigt i processen och att det även gynnar miljön på lång sikt. Genom att förstå de förutsättningar som kraftverken och tekniken ger kan ekologiska flöden bli lättare att kombinera med kraftproduktion. Det innebär inte att miljöns intressen ställs åt sidan. Kunskap om kraftverkens begränsningar gör att man kan sätta ett ramverk för ekologisk reglering så att största möjliga miljönytta erhålls per förlorad kWh och att dessutom påverkan på balans- och reglerkraft minimeras, d.v.s. både energi- och miljönytta optimeras. Detta tillvägagångssätt kan även anses falla väl in i ramarna för hur man skall beakta produktionspåverkan i vattendrag som klassats som kraftigt modifierade (KMV) enligt ramdirektivet för vatten. I dessa vattendrag skall hänsyn tas till den pågående verksamheten, och åtgärder får inte ge betydande negativ påverkan på verksamheten (European Commission Environment 2015). Ett krav är dock att noggranna analyser av möjliga produktionspåverkande åtgärder görs, för att hitta potentiella nivåer för ekologiskt flöde (European Commission Environment 2015). Ett antagande man gör vid detta tillvägagångssätt är att även om vissa tröskelvärden för flöden måste uppnås för att få en viss miljönytta, så har ändå en åtgärd som gör den hydrologiska regimen mer lik den naturliga alltid en miljönytta, d.v.s. man kan förvänta sig att den ekologiska statusen blir mer lik referensförhållanden.

Exempel på tekniska förutsättningar som är betydelsefulla för ekologisk reglering

1. Verkningsgrader.



Figur 19. Verkningsgradskurvor för kaplan-, francis- och peltonturbiner.

Kraftverk utrustade med kaplan- och peltonturbiner kan ha en brant och ganska lång verkningsgradskurva med relativt hög verkningsgrad över större flödesintervall (Figur 19). Francisturbiner har kortare flödesintervall med hög verkningsgrad. I Sverige är kaplan- och francisturbiner vanliga medan peltonturbiner är sällsynta. Kaplanturbiner används vid fallhöjder upp till 30 meter, francisturbiner vid fallhöjder mellan 10 och 300 meter medan peltonturbiner används vid fallhöjder större än 300 meter.

Av verkningsgradskurvorna framgår att när en minimitappning är så hög att den kan tappas genom turbinen istället för att spillas bredvid uppstår ändå en produktionsförlust beroende på att verkningsgraden vid till exempel 20% belastning av turbinens maxkapacitet är väsentligt lägre än verkningsgraden vid belastningen 70-100%.

- Kraftverk med hög fallhöjd producerar mer energi per kubikmeter vatten och har en större energiekvivalent (kWh/m^3) jämfört med kraftverk med lägre fallhöjd. Ekologisk reglering blir därför "dyrare" i dessa anläggningar.
- Kraftverk klarar inte att gå på "tomgång" och har alltid ett lägsta flöde för vad som kan gå genom turbin utan skador på turbin ($Q_{\min}$). Tappningar lägre än $Q_{\min}$ måste spillas, varför dessa tappningar om möjligt bör undvikas i scenarier för ekologisk reglering.
- Kraftverk med långa tunnlar och torrfåror har ofta en hög fallhöjd som orsak till konstruktionen. Spill i torrfåra från kraftverk med hög fallhöjd ger i enlighet med punkt 2 större produktionsförluster i kWh/m^3 än kraftverk med låg fallhöjd.
- Kraftverk med hög regleringsgrad och stora dämningssområden uppströms kraftverket har sällan spill.
- Kraftverk med regleringsmagasin med stor amplitud har ofta bottentappning medan kraftverk vid älvmagasin med en amplitud om 0,5-2 meter ofta har yttappning. Kraftverk med bottentappning kan ge upphov till låga vattentemperaturer nedströms (kallvattenförorening) under vår, sommar och höst medan kraftverk med yttappning kan leda till förhöjda temperaturer under vår, sommar och höst jämfört med oreglerade förhållanden.
- Älvmagasin med stora förändringar i vattendragets färd jämfört med före reglering kan behöva justeras vid införande av naturlig flödesregim.

Arbetet i Umeälven visar att genom att studera vad som är tekniskt möjligt utan att bygga om kraftverken och vilka flödesintervall som är mest fördelaktiga för produktionen är det möjligt att utveckla modeller för ekologisk reglering som har en lägre påverkan på produktionen jämfört med ett icke-dynamiskt arbete.

4.3 SYSTEMPERSPEKTIV – HELA AVRINNINGSOMRÅDET

Det är viktigt att modellerna omfattar hela avrinningsområdet. Ekologisk reglering i ett kraftverk påverkar både upp- och nedströms liggande kraftverk. I extrema fall kan produktionsförlusten och miljönyttan hänföras till olika kraftverk. Vid ekologisk reglering i ett systemperspektiv beräknas den totala förlusten för älven/systemet. En noggrannare analys visar oftast att man vinner produktion vid vissa kraftverk medan andra får förluster. Det innebär att om man inte modellerar hela avrinningsområdet kan produktionsförluster över- eller underskattas. En annan viktig aspekt med systemperspektivet är longitudinell hydrologisk kontinuitet. Vattnet ska rinna ner genom alla kraftverk och det är oundvikligt att en förändring vid ett kraftverk får konsekvenser för nedströms liggande kraftverk. Vidare behöver nedströmsliggande kraftverk en viss mängd vatten från uppströms liggande anläggningar för att flödesåtgärder ska kunna genomföras.

Exempel 1: Nolltappningsrestriktion genom turbin

Modellen med minimitappning genom turbin (nolltappningsförbud) är svår att genomföra för enstaka anläggningar i älvar med många kraftverk, eftersom älven har hydrologisk konnektivitet. Vi kan till exempel genomföra nolltappningsförbud i alla anläggningar nedströms systemets regleringsmagasin (i älvmagasin), vilket ger en halverad produktionspåverkan jämfört med om även regleringsmagasinen inkluderas. Men trots att man inte lägger in regler som föreskriver nolltappningsförbud i regleringsmagasinen tvingas dessa anläggningar att släppa vatten, eftersom nedströms liggande kraftverk med nolltappningsförbud behöver vatten för produktion. Det innebär att åtgärden påverkar alla kraftverk i hela älven. Miljönyttan med modellen består i ökad vattenhastighet, vilket gynnar strömlevande arter.

Exempel 2: Torrfåror med säsonganpassad minimitappning

Torrfåror antas få bättre ekologisk funktion om eventuell minimitappning anpassas till naturlig flödesregim. Under vårflod ökar tillrinningen från biflöden till huvudfåran och tillsammans med säsonganpassningen kommer flödet under vårflod öka. Det innebär att nedströmsliggande anläggningar tvingas att öka produktionen under vårfloden och ibland kan det även innebära spill genom utskov eller torrfåra/omlöp.

Information som arbetet i Umeälven tagit hänsyn till:

- Andelar av naturliga flöden som beräkningsgrund
- Tekniska förutsättningar och begränsningar
- Vattenhushållning
- Basfunktioner. Kombinationer av flödesåtgärder
- Interaktioner i avrinningsområdet. Innebörd av hydrologisk konnektivitet
- Varje åtgärds kvantitativa och kvalitativa miljönytta

- g. Produktionsförlust i avrinningsområdet mätt i kWh
- h. Effektförlust i avrinningsområdet mätt i MW
- i. Avvägning mellan miljönyttor och produktionspåverkan
- j. Vad produktionsförluster består av (Pris, verkningsgrad och spill)
- k. Kvalitetssäkring med timdata.

I Umeälven har det även utförts beräkningar på miljöanpassade vattenstånd i älvmagasin för vegetationsperioden 15 maj till 30 september med timupplösning. De miljöanpassade vattenstånden är inte modellerade med ProdRisk på grund av behovet av hög tidsupplösning. Beräkningarna gällande vattenstånd per timme utfördes för hand i Umeälvprojektet. Enligt de beräkningar som utfördes per timme för älvmagasin med korttidsreglering uppskattas produktionsförlusten till ca 1 % av produktionen, men tros bli lägre om vi kombinerar åtgärden med nolltappningsrestriktioner.

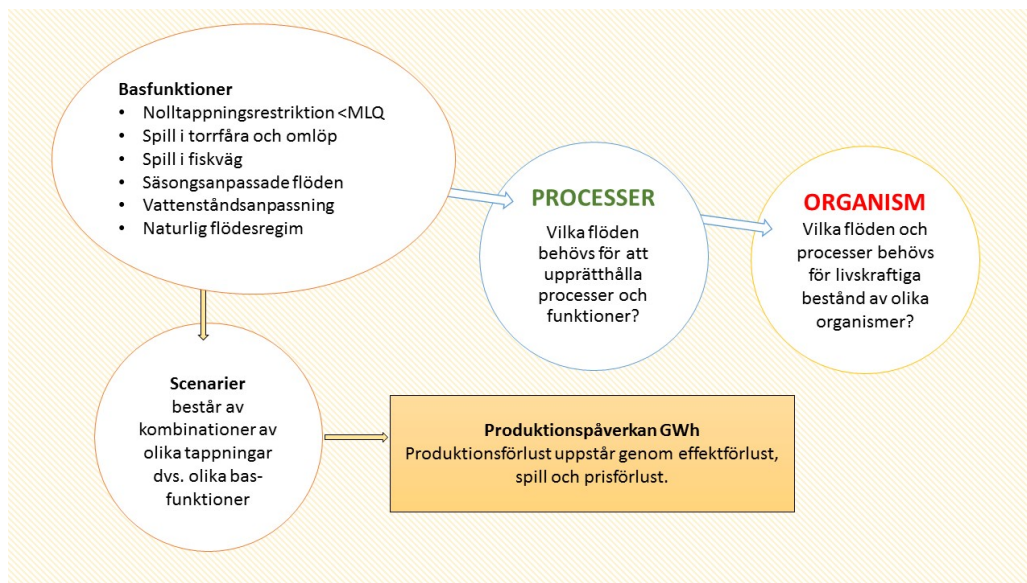
4.4 FRAMTAGNING AV SCENARIER I UMEÄLVEN

Framtagning och utveckling av modeller för ekologisk reglering skedde i samverkan med bland annat lokala organisationer, verksamhetsutövare, myndigheter och Umeå Universitet, som alla gavs tillfälle att delta och påverka. Specifika flöden och lösningar gällande fiskvägar, torrfåror och omlöp diskuterades i samverkan. Förutom vattenhushållningsbestämmelser och tekniska data såsom fallhöjder och lägsta turbintappning, behövdes vid produktionsberäkningar energiekvivalenter i kWh/m³ för varje kraftstation och P/Q-kurvor som angav samband mellan turbintappning (m³/s) och effekt (MW).

Det fanns teknisk information gällande enskilda anläggningar som kunde vara känsligt att dela mellan olika verksamhetsutövare, till exempel verkningsgradskurvor och energiekvivalenter, p.g.a. konkurrensregler. I Umeälven har därför anläggningar som ägs av Uniper (E.ON) och Statkraft slagits samman till en fiktiv anläggning i modellen. Övriga data som kunde bedömas som känsliga hade projektledare ansvaret för att de inte skulle spridas till obehöriga.

Scenarier bestående av kombinationer av basfunktioner

Scenarier (körningar) i ProdRisk bestod av olika kombinationer av basfunktioner (Tabell 4). Varje basfunktion motsvarades av en funktion som ekosystemet i vattendraget behöver för att upprätthålla sin funktion, d.v.s. en flödeskomponent som främjar en process, som i förlängningen gynnar olika organismgrupper (Figur 20).



Figur 20. Flödesschema över arbete med basfunktioner och scenarier.

Basfunktionerna bestod av regler för:

- lägsta flöde i vattendraget vid varje anläggning mätt i m^3/s
- mängd vatten i torrfåra eller omlöp mätt som medelvärdet av flödet (m^3/s) vid olika tidpunkter på året (två olika alternativ, för att ge ett intervall)
- total mängd vatten (inklusive lockvatten) i fiskväg mätt som medelvärdet av flödet (m^3/s) och vilken period på året fiskvägen bör vara vattenförande (två olika alternativ, för att ge ett intervall).
- begränsning av vattenståndsvariationen i älvmagasin vid olika tidpunkter under vegetationsperioden
- anpassning av flödet gällande höga och låga flöden

Basfunktioner och uppdelning på delområden för analys

Umeälven delades upp i två delområden där varje grupp har kraftstationer och magasin med likartad utbyggnad och produktionsmönster. Dessa analyserades både separat och tillsammans. Delområde A utgjordes av alla älvmagasin. Delområde B utgjordes av den resterande älven uppströms, men analyserades inkluderande hela älven (alla kraftverk). I ett avrinningsområde kan man välja de basfunktioner som anses vara relevanta att studera med tanke på ekosystem och de begränsningar som vattenkraftsutbyggnad ger upphov till. I Umeälven arbetade vi med nio basfunktioner (

Tabell 4). Val basfunktion skedde på grundval av en bristanalys av till exempel habitattillgång. I Umeälven ansågs t.ex. strömmande vatten i huvudfåran vara en brist. Basfunktionerna kombinerades på ett flertal sätt i varierande flödes- och tidsspektra i scenarier. För beräkningar och beskrivning av metoder se kapitel 6.

Tabell 4. Basfunktioner som användes vid modellering av ekologisk reglering i Umeälven.

	Basfunktioner i Umeälven	Miljönytta	Produktions- påverkan
1	Nolltappningsrestriktion Stensele-Stornorrfors. Tappning genom turbin motsvarande < MLQ & Q_{min} .	Sedimentation, vattenhastighet, syresättning	Liten
2	Nolltappningsrestriktion hela Umeälven. Tappning genom turbin motsvarande < MLQ & Q_{min}	Sedimentation, vattenhastighet, syresättning	Liten
3	Spill i torrfåra och omlöp alt. 1 under hela året med säsongsanpassning.	Konnektivitet	Medel
4	Spill i torrfåra och omlöp alt. 2 under hela året med säsongsanpassning.	Konnektivitet	Medel
5	Spill i fiskväg alt. 1 (3 % av MLQ) inkl. lockvatten under hela eller delar av året.	Konnektivitet	Medel
6	Spill i fiskväg alt. 2 (6% av MLQ) inkl. lockvatten under hela eller delar av året.	Konnektivitet	Medel
7	Säsongsanpassade flöden (vårflod och lägre vintertappning)	Flöde	Stor
8	Vattenståndsanpassning, Stensele-Stornorrfors. Höga vattenstånd under försommaren och långsamt sjunkande vattenstånd under sommaren t.o.m. 31/8.	Flöde, sedimentation	Liten
9	Naturlig flödesregim. Oreglerade flöden återinförs med reservation för dämningseffekter.	Samtliga processer förutom konnektivitet	Stor

4.5 ANALYS AV RESULTAT

För att avgöra påverkan på produktion jämfördes resultatet från olika scenarier med ett "business-as-usual"-alternativ, kallat "scenario 0". Scenario 0 var ett scenario i ProDRisk med nuvarande vattenhushållningsbestämmelser och representerade efter avstämning mot verkliga data från kraftverken nuvarande förhållanden. Produktionsförlusten beräknades genom att utfallet från de olika scenarierna med ekologisk reglering subtraherades från scenario 0. I arbetet i Umeälven kartlades även icke produktionspåverkande åtgärder som i sig kan ha en stor miljönytta. Många av dessa antas få en ytterligare ökad miljönytta om de kombineras med ekologiska flöden som till exempel nolltappningsrestriktion. I Renöfält m.fl. (2017) beskrivs utförligt behovet av både hydrologiska och morfologiska åtgärder samt vinsterna med åtgärds kombinationer.

4.6 SAMMANFATTNING

Umeälvsmodellens metod för beräkning av ekologisk reglering, kartläggning av åtgärder och naturvärden enligt maximal ekologisk potential innebär att man genom att kombinera olika åtgärder i analyser av ekologiska flöden kan fastställa vilken kombination av åtgärder som ger störst förväntad miljönytta i förhållande till produktionspåverkan. Arbetet sker under följande förutsättningar:

- Ekologisk reglering beräknas enligt Ramdirektivet för vattens definition, d.v.s. en hydrologisk regim som överensstämmer med miljömålen gällande naturliga vattenförekomster samt vattenförekomster klassade som KMV.
- Tekniska förutsättningar och genomförbarhet beaktas i ett initialt skede.
- Holistisk samverkansprocess med såväl lokalt boende som ett flertal vetenskapsdiscipliner representerade.
- Icke-försämringskravet i Ramdirektivet för vatten beaktas.
- Beaktande av EU:s Art- och habitatdirektiv (med Natura 2000 områden).

4.7 BASFUNKTION 1 OCH 2, NOLLTAPPNINGSRESTRIKTION

Basfunktionen begränsar det reglerbara flödesintervallet genom att föreskriva att ett lägsta flöde (MLQ) genom turbin skall råda (minimitappning). Lägsta turbinkapacitet synkades mot totalvattenföring i ProdRisk, d.v.s. vatten skulle räcka hela året och tillgodose vattenbehovet i nedströmsliggande anläggningar.

Basfunktion 1 innebar förbud mot nolltappning i alla älvmagasin nedströms Storuman samt att flödet i älven som lägst skulle vara MLQ. Basfunktion 2 innebar att förbud mot nolltappning infördes i hela Umeälven (även uppströms Storuman) samt att flödet i älven som lägst skulle vara MLQ. I Umeälven formulerades lägsta tillåtna flöde genom turbin enligt Tabell 5.

Tabell 5. Kraftverken i Umeälven med maximal och lägsta turbinkapacitet, MLQ samt lägsta tillåtna flöde i modell genom turbin.

Station	Maximal total turbin-kapacitet (m ³ /s)	Lägsta turbin-kapacitet (m ³ /s)	MLQ (m ³ /s)	Lägsta flöde i modell (m ³ /s)
Umluspen	330	50	21	50
Stensele	315	90	24	24 (spill)
Grundfors	350	40	25	40
Rusfors	450	120	37,5	37,5 (spill)
Bålforsen	310	50	40	50
Betsele	320	50	41	50
Hällforsen	340	30	42	30
Tuggen	480	55	40	55
Bjurfors Övre	450	40	44	40
Bjurfors Nedre	450	40	44	40
Harrsele	450	40	45	40
Pengfors	450	30	42	30
Stornorrfor	1045	80	72	80

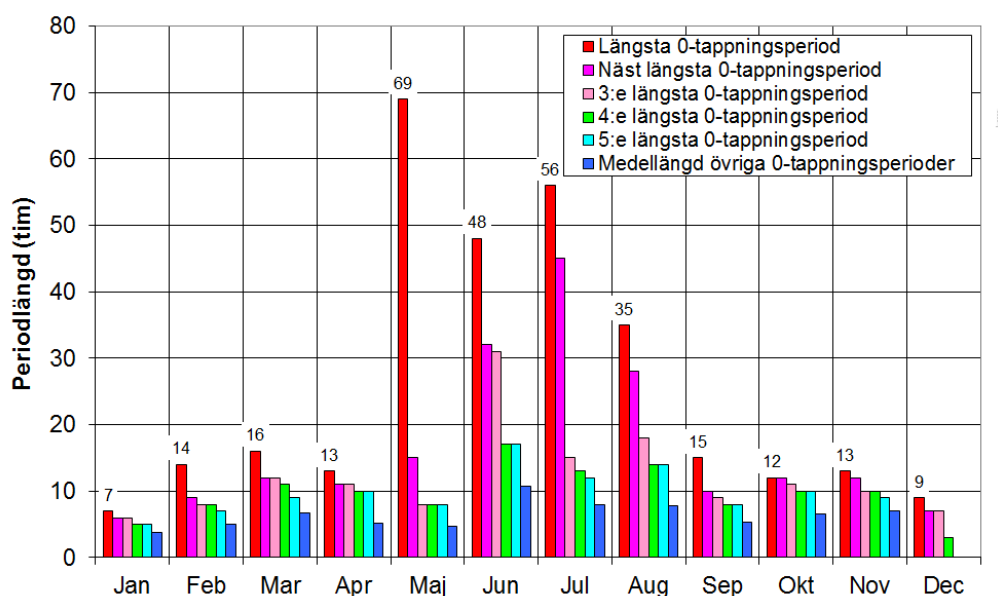
Produktionsförluster uppstår genom att tvinga fram produktion även vid tidpunkter då elpriset är lågt (natt) och att vi minskar det reglerbara intervallet för plötsliga flödesförändringar. När man minskar det reglerbara intervallet för flödesförändringar tvingar man fram produktion vid lägre verkningsgrader, som ger en lägre produktion (i GWh) jämfört med nuvarande reglering. Det reglerbara intervallet minskar till exempel vid Tuggens kraftverk från 0 – 480 m³/s till 55 – 480

m³/s. Det innebär i genomsnitt en minskning av reglerbart intervall med cirka 11 procent.

Genom att vi minskar flödesintervallet undviks all nolltappning över året. Fördelningen av nolltappningstimmar per månad och år redovisas för torråret 2003, normalåret 2010 och vååret 2012 (Figur 6, Figur 21). Produktionsförlusterna uppstår under de månader som idag har nolltappning.

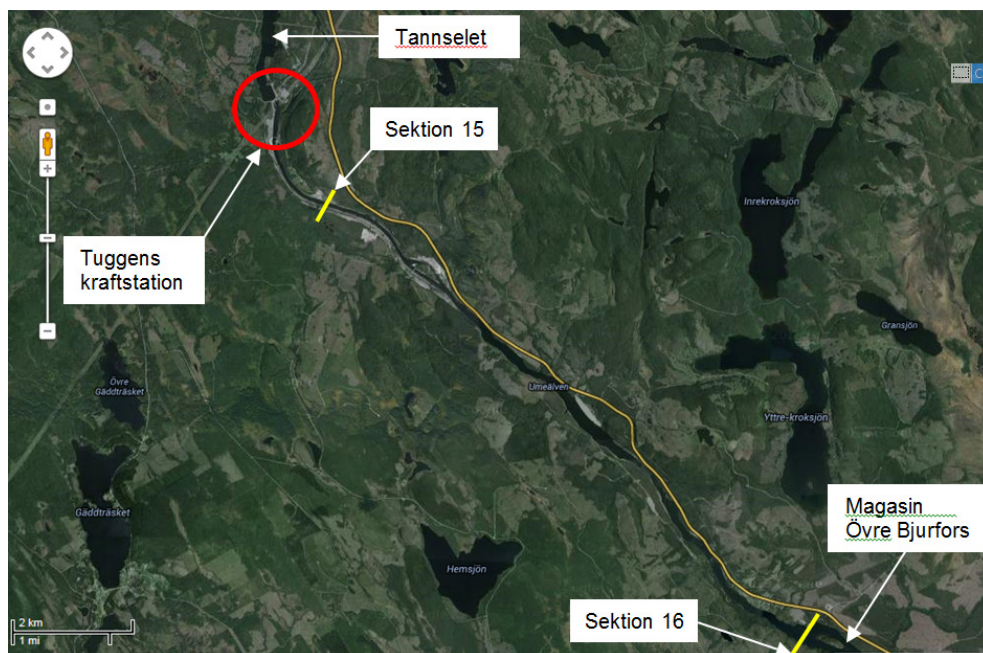
Tabell 6. Antal timmar med nolltappning i Tuggens kraftverk vid torråret 2003, normalåret 2010 och vååret 2012.

Nolltappning Tuggens kraftverk	År 2003	År 2010	År 2012
Antal timmar med nolltappning	2441	1422	573
Antal perioder	295	215	104
Längsta period (timme)	69	23	18

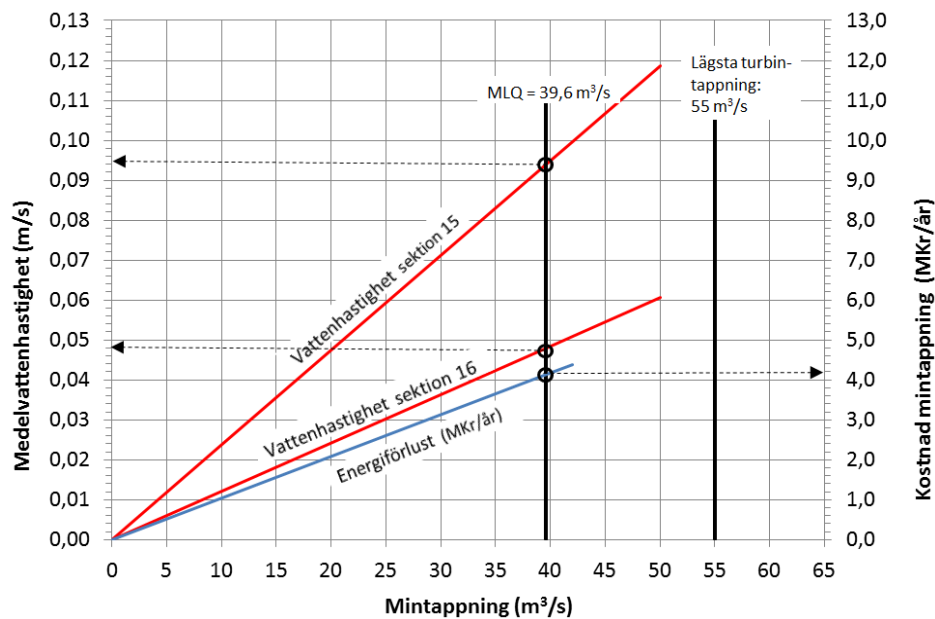


Figur 21. Nolltappningsperioder år 2003 som representerar ett torrt år i Tuggens kraftverk.

Vattenhastigheten uppskattades i olika sektioner nedströms kraftverken (Figur 22). Gränsvärden för vattenhastigheten sattes i relation till vad som krävs för att upprätthålla olika processer och vad olika organismer behöver för att finnas i hållbara beståndsstorlekar. Ett exempel på förändringen i vattenhastighet är nedströms Tuggens kraftverk där lägsta vattenhastighet förväntas bli minst 0,14–0,15 m/s i sektion 15 och 0,07 i sektion 16, att jämföra med 0 m/s under långa perioder idag (Figur 23).



Figur 22. Sektioner i Umeälven där vattenhastighet i relation till flöde uppskattades.



Figur 23. Beräknad vattenhastighet i relation till kostnad Mkr/år och minimitappning m³/s vid nolltappningsrestriktion.

Genom nolltappningsrestriktion och minimitappning genom turbin förväntas ett flertal åtgärder utan produktionspåverkan få ökad ekologisk nytta. Det kan vara åtgärder som ökar habitattillgången i strömfåran för arter som är anpassade till strömmande vatten.

4.8 BASFUNKTION 3 OCH 4. SPILL I TORRFÅRA SAMT I OMLÖP (TVÅ ALTERNATIV).

Innan det var möjligt att besluta om vilka flöden som skulle spillas i torrfåran behövdes ett beslutsunderlag. I Umeälven biotopkarterades alla torrfåror enligt den så kallade Jönköpingsmodellen (Halldén m.fl. 2002), elfiske utfördes om det fanns vatten i fåran samt bottenfaunaprovtagning utfördes i Gejmån, Juktån och Umluspen. Hydrologiskt dokumenterades om det fanns biflöden som mynnade i torrfåran, eventuella minitappningar enligt dom samt frekvens av oplanerat spill. I de biflöden som mynnade ut i torrfåran inventerades vägtrummor och vandringshinder. Även förutsättningar för torrfåran att fungera som omlöp (konnektivitet) undersöktes (d.v.s. förekomsten av populationer av vandringsfisk i magasinen uppströms och nedströms dammen). Åtgärden minimitappning till torrfåra inkluderade alltid en säsongsanpassning av minimitappningen till torrfåran samt en kombination av biotopåtgärder, vilket bl.a. leder till en anpassning av fårans bredd till minimitappningens storlek. I Umeälvprojektet har definitionen av torrfåra varit lite bredare än vad som är vanligt. I Grundfors är den gamla Umeälvsfåran helt torrlagd och delvis igenväxt (tre kilometer lång) och är belägen parallellt med nuvarande fåra. Där har möjligheten att konstruera ett tre kilometer långt omlöp runt kraftverket som kopplas samman med torrfåran undersökts, vilket totalt sett ger ett sex kilometer långt omlöp. I anslutning till Tuggens kraftverk finns en avstängd sidofåra (tre kilometer lång) runt kraftverket som representerar både torrfåra och omlöp. Ett prioriteringsunderlag med kostnader och nyttor av åtgärderna beräknades enligt (Pini Prato et al. 2011). Efter samverkan modellerades säsongsanpassad minimitappning med två alternativ, ett med lägre och ett med högre flöde (Tabell 7). Syftet var att få ett beslutsunderlag som visar hur ökat flöde påverkar produktionsförluster. I Juktån utfördes analyser separat med fem olika flödesalternativ motsvarande mellan 5 % och 20 % av medelflödet.

Miljönytta

1. Ökad konnektivitet i meter. (Biflöde relaterat huvudfåra).
2. Tillskapat/förbättrat habitat i m²

Tabell 7. Spill i torrfåra (m³/s och i procent) jämfört med naturligt flöde, alternativ 1 och 2.

Kraftverk	Flöde med säsongs- variation alternativ 1.	Procent av naturligt flöde alternativ 1.	Flöde med säsongs- variation alternativ 2.	Procent av naturligt flöde alt 2.
Gejmån	0,55 m ³ /s	5%	1,12 m ³ /s	10%
Klippen	0,95 m ³ /s	5%	1,54 m ³ /s	8%
Ajaure	2,48 m ³ /s	3%	4,96 m ³ /s	6%
Gardiken	3,35 m ³ /s	3%	6,70 m ³ /s	6%
Storjuktan	3,81 m ³ /s	12,5%	4,00 m ³ /s	13,1%
Umluspen	4,13 m ³ /s	3%	8,26 m ³ /s	6%
Grundfors	4,84 m ³ /s	3%	9,69 m ³ /s	6%
Tuggen	2,35 m ³ /s	1%	9,41 m ³ /s	4%
Stornorrfors	13,90 m ³ /s	3%	27,80 m ³ /s	6%

4.9 BASFUNKTION 5 OCH 6: SPILL I FISKVÄG (TVÅ ALTERNATIV)

Fiskvägar konsekvensbeskrevs i Umeälven med analys av produktionsförluster och ökad konnektivitet. Två alternativ för mängden vatten som ska spillas i fiskväg beräknades baserat på procent av MQ (

Tabell 8) och inkluderade lockvatten och klunkningar. Syftet med två alternativ var att få ett beslutsunderlag för att visa hur ökat flöde påverkade produktionsförluster vid olika spill i fiskväg. Fiskvägar i Umeälven är dock inte projekterade med avseende på byggnation eller exakt placering och utformning. Fiskvägar konsekvensbeskrevs på detta sätt vid alla anläggningar förutom där det fanns en torrfåra eller ett omlöp. Miljönyttan beskrevs som ökad konnektivitet i meter strömsträcka i huvudfåran, men biflöden räknades inte in i strömsträckan. Prioriteringsunderlag beräknades enligt Pini Prato m.fl. (2011).

Tabell 8. Flöde i fiskvägar (m³/s) per år inklusive lockvatten. Två alternativ med 3% respektive 6% av årsmedelflödet i fiskvägarna.

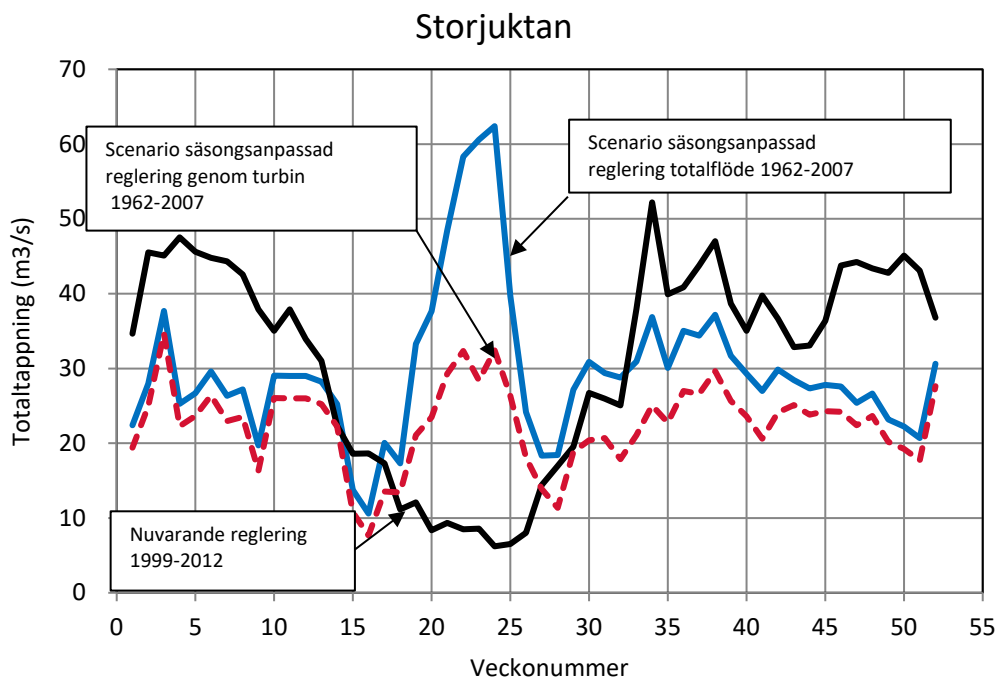
Kraftverk	3 % av årsmedel flöde Alt 1.	6 % av årsmedel flöde Alt 2.
Stensele	4,7 m ³ /s	9,4 m ³ /s
Rusfors	6,7 m ³ /s	13,4 m ³ /s
Bålfors	6,7 m ³ /s	13,4 m ³ /s
Betsle	6,7 m ³ /s	13,4 m ³ /s
Hällforsen	6,9 m ³ /s	13,8 m ³ /s
Bjurfors Övre	7,1 m ³ /s	14,2 m ³ /s
Bjurfors Nedre	7,25 m ³ /s	14,5 m ³ /s
Harrsele	7,4 m ³ /s	14,8 m ³ /s
Pengfors	7,4 m ³ /s	14,8 m ³ /s

Miljönytta

1. Ökad konnektivitet i meter.
2. Tillskapat/förbättrat habitat i m²

4.10 BASFUNKTION 7: SÄSONGSANPASSADE FLÖDEN (HÖGA OCH LÅGA FLÖDEN)

I Umeälven bedömdes inte basfunktionen vara rimlig ur produktionssynpunkt, men den kan vara det i avrinningsområden med lägre regleringsgrad och mindre nationell betydelse för energisystemet, i synnerhet i vattenförekomster som inte klassats som kraftigt modifierade och som därmed ska uppnå god ekologisk status (European Commission Environment 2015). Syftet var att få en säsongsvariation som efterliknade naturliga flöden, baserat på SMHs beräknade naturliga flöden. Veckomedelvärden sattes så att de skulle variera över året på ett sätt som liknade naturliga förhållanden, med hänsyn taget till vattnet skulle räcka till i övriga kraftverk i älven under hela året. Veckomedlen var inte återskapade flöden utan en kompromiss som innebär att det skedde en tidsförändring av flöden genom turbin som efterliknade naturliga säsongsvariationer. Säsongsanpassade reglering exemplifieras genom sjöregleringsmagasinet Storjuktan (Figur 24).



Figur 24. Figuren visar nuvarande tappning per vecka samt en föreslagen säsongsanpassning av tappningen som efterliknar en naturlig årstidsvariation. Tappningen i det föreslagna scenariet är uppdelat på vatten som går genom turbin samt totalflöde (turbin plus spill) under ett år för Storjuktans kraftverk. Flöden beräknades i ProRisk med värden för veckomedelvattenföring.

Miljönyttan består av att processer som vattenhastighet, sedimentprocesser, termoreglering och syresättning i större utsträckning efterliknar situationen i naturliga vattendrag. I basfunktionen tillåter vi både nolltappning och korttidsreglering, varför det kan finnas risk att dessa ökar i frekvens och omfattning, vilket skulle motverka syftet med åtgärden. I scenario 26 minskade risken för detta då vi kombinerade basfunktion 1 (nolltappningsrestriktion) och basfunktion 7 (säsongsanpassade flöden). Se tabell 4.

4.11 BASFUNKTION 8. VATTENSTÅNDSANSPASSNING

Beräkningar utfördes för ett scenario där vattenståndsfluktuationerna under vegetationsperioden styrs med regler för vilka nivåer som är tillåtna under olika perioder så att de efterliknar vattenståndsfluktuationer i fritt strömmande älvar. Detta gjordes för älvmagasinen nedströms Storuman. Syftet med studien av vattenståndsanpassningen var att undersöka potentialen för att älvmagasinens strandvegetation skall kunna återhämta sig och bli mer lik vegetationen i fritt strömmande älvar opåverkade av vattenkraft. I regleringsmagasin med stor amplitud medför åtgärden stora produktionsförluster, varför åtgärden inte undersöktes där.

Möjliga förändringar i vattenståndsväxlingar

Förslaget var utformat för att under vegetationsperioden, 15 maj till 31 augusti, efterlikna en naturlig vattenståndsregim i norra Sverige, med vårflood som

översvämmar hela stranden, följt av successivt lägre vattenstånd under senare delen av sommaren. Perioden är uppdelad i 4 perioder, var och en med en specifik vattenståndsregim. Under period 1 ligger vattenstånden på dämningssgräns, under period 2 tillåts variation mellan dämningssgräns och medelvattenstånd, under period tre från medelvattenstånd till sänkningsgräns och period 4 ligger vattenstånden på sänkningsgränsen. Beräkningarna utfördes för det hydrologiska medelåret 2010 som anses vara representativt för en längre period. Resultatet visar på ett produktionsbortfall värderat till 20,23 Mkr/år (Tabell 9). I procent av nuvarande produktion innebär miljöanpassade vattenstånd en produktionsförlust torrår om cirka 1 % av årsproduktionen.

Detaljerad metod för beräkning finns beskrivet i slutrapporten från Umeälvsprojektet (Widén m.fl. 2015). Miljönytta med åtgärden beskrivs i kvadratmeter återskapad strandvegetation enligt modell som beskrivs i slutrapporten från Umeälvsprojektet (Widén m.fl. 2015).

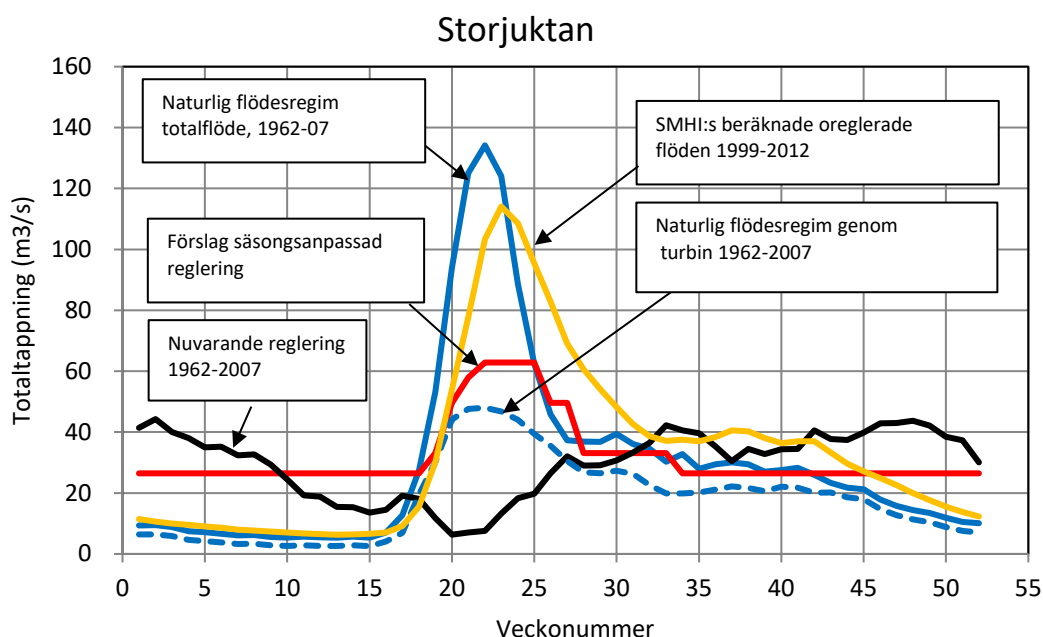
Tabell 9. Produktionsbortfall vid miljöanpassade vattenstånd. Kostnad i Mkr per år.

Anläggning	Period 1 15/5-31/5	Period 2 1/6-15/6	Period 3 16/6-15/7	Period 4 15/7-31/8	Totalt Mkr
Stenselet	0,01	0,00	0,00	0,14	0,15
Grundfors	0,18	0,05	0,00	0,62	0,85
Rusele	0,10	0,00	0,00	0,13	0,23
Bålforsen	0,58	0,03	0,24	2,14	2,99
Betsle, Hällforsen					
Tuggen	0,51	0,35	0,00	1,22	2,08
Bjurfors Övre	0,25	0,93	0,00	0,36	1,54
Bjurfors Nedre	0,27	0,19	0,07	0,67	1,20
Harrsele	1,91	0,56	0,00	3,2	5,67
Pengfors	0,46	0,08	0,00	0,76	1,30
Stornorrfors	0,17	0,05	0,30	3,70	4,16
Total	4,44	2,24	0,62	12,94	20,23

4.12 BASFUNKTION 9: NATURLIG FLÖDESREGIM

I Umeälven bedömdes inte basfunktionen "naturlig flödesvariation" vara rimlig ur produktionssynpunkt, men den kan vara aktuell i avrinningsområden med mindre nationell betydelse för energisystemet. I basfunktionen efterliknades kraftstationernas tappningar naturliga flöden före Umeälvens utbyggnad. Ingen lagring eller reglering av vattnet sker. Ingen korttidsreglering är möjlig i detta alternativ. Man avreglerar med andra ord Umeälven, men behåller dammarna (kraftverken). Samtliga flödesvariationer är naturliga med den avvikelse som morfologin i älvfåran efter regleringen ger. Modellen i ProdRisk innebär att samtliga magasinsvolymer i Umeälven sätts till 0 Mm³ reglerkapacitet i produktionsoptimeringsprogrammet. Det innebär att magasinerna alltid ligger på dämningssgränserna och att inkommande flöde till ett kraftverksmagasin tappas omedelbart, och att det flöde som överstiger kraftverkens maximala kapacitet genom turbin spills. Inget vatten kan magasineras och ingen säsongs- eller

korttidsreglering kan utföras. Vattnet tappas antingen genom turbiner eller också spillvägar. Produktionsförlusterna består dels av förluster genom ökat spill under höglödesperioder och dels av förluster på grund av utebliven säsongs- och korttidsreglering. Naturlig flödesregim exemplifieras genom sjöregleringsmagasinet Storjuktan (Figur 25).



Figur 25. Basfunktion 9, d.v.s. naturlig flödesregim i Umeälven exemplifierat med Storjuktan. Blå heldragen linje motsvarar naturlig flödesregim. Gul heldragen linje motsvarar beräknade naturliga flöden enligt S-hype (SMHI). Blå streckad linje motsvarar den andel av flödet som beräknas gå genom turbin. Svart heldragen linje beskriver nuvarande reglering. Röd linje visar det flöde som föreslås för säsongsanpassad reglering.

Genom att i princip reglera Umeälvens kraftverk som naturlig flödesregim låter vi vattnet rinna igenom allt eftersom det kommer och samtliga flödesfunktioner återskapas (Figur 25). Vårt scenario följer vattenhushållningsbestämmelserna. Det innebär att vi har utfört en konsekvensbeskrivning av återinförande av oreglerade flöden, men att det i praktiken inte innebär att naturliga vattenståndsvariationer återinförs. De av ProdRisk beräknade flödestopparna är något högre och de kommer tidigare än SMHI:s beräknade naturliga flöden (<http://vattenwebb.smhi.se/>). Anledningen är att SMHI antar att vattenståndsvariationer i Umeälvens sel och sjöar kan följa en naturlig dynamik när det kommer höga flöden, och därmed överskrida dämningssgränserna. Nivåhöjningarna har en dämpande effekt som inte finns i ProdRisk-modellen där det förutsätts att magasinerna ligger konstant på dämningssgränserna dygnet runt, året runt. Miljöytta beskrivs genom att samtliga naturliga flöden återställs.

4.13 RESULTAT SCENARIER UMEÄLVEN

Basfunktionerna kombinerades till scenarier enligt Tabell 10.

Tabell 10. Olika scenarier för ekologiska flöden i Umeälven bestående av olika kombinationer av basfunktioner (Tabell 4) samt produktionsförluster i GWh och MKR jämfört med scenario 0. * Ej beräknat med ProdRisk. PF=produktionsförlust. Basfunktionerna beskrivs i tabell 4.

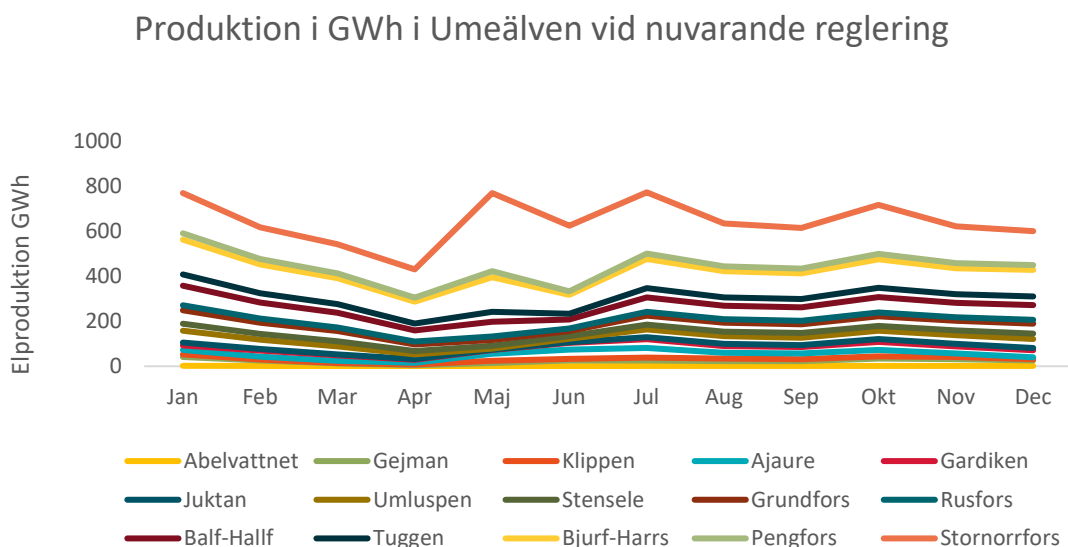
Scenario (kombination av basfunktion)	Scenario (Basfunktion)	PF GWh	PF %	PF MKR	PF %
Nolltappningsrestriktion nedströms Storuman (älvmagasin)	1 (1)	39,4	0,51%	15,15	0,7%
Nolltappningsrestriktion + spill i torrfåra alt 1	2 (1+3)	158,0	2,05%	48,26	2,2%
Nolltappningsrestriktion + spill i torrfåra alt 2	3 (1+4)	297,2	3,85%	88,59	4,0%
Nolltappningsrestriktion + spill i fiskväg 3% av MLQ	4 (1+5)	100,2	1,30%	31,80	1,4%
Nolltappningsrestriktion + spill i fiskväg 6% av MLQ	5 (1+6)	150,5	1,95%	47,45	2,1%
Nolltappningsrestriktion + anpassade vattenstånd	6 (1+8)	*	1,51%	*	
Nolltappningsrestriktion + spill i torrfåra alt 1 + fiskväg 3%	7 (1+3+5)	212,7	2,76%	64,91	2,9%
Nolltappningsrestriktion + Spill i torrfåra alt 2 + fiskväg 6%	8 (1+4+6)	410,7	5,33%	121,35	5,5%
Nolltappningsrestriktion + spill i torrfåra alt 1 + fiskväg 3% +anpassade vattenstånd	9 (1+3+5+8)	*	3,76%	*	
Nolltappningsrestriktion + spill i torrfåra alt 2 + fiskväg 6% +anpassade vattenstånd	10 (1+4+6+8)	*	6,33%	*	
Nolltappningsrestriktion + säsongsanpassade flöden	25 (1+7)	450,0	5,84%	177,89	8,0%
Nolltappningsrestriktion hela Umeälven	11 (2)	75,9	0,98%	27,01	1,2%
Nolltappningsrestriktion + spill i torrfåra alt 1	12 (2+3)	190,0	2,46%	59,57	2,7%
Nolltappningsrestriktion + spill i torrfåra alt 2	13 (2+4)	321,0	4,16%	96,09	4,3%
Nolltappningsrestriktion + spill i fiskväg 3% av MLQ	14 (2+5)	133,8	1,74%	44,23	2,0%
Nolltappningsrestriktion + spill i fiskväg 6% av MLQ	15 (2+6)	190,2	2,47%	59,58	2,7%
Nolltappningsrestriktion + anpassade vattenstånd	16 (2+8)		0,00%		
Nolltappningsrestriktion + spill i torrfåra alt 1 + fiskväg 3%	17 (2+3+5)	244,4	3,17%	74,40	3,4%
Nolltappningsrestriktion + Spill i torrfåra alt 2 + fiskväg 6%	18 (2+4+6)	432,2	5,61%	128,39	5,8%
Nolltappningsrestriktion + spill i torrfåra alt 1 + fiskväg 3% +anpassade vattenstånd	19 (2+3+5+8)		4,17%		
Spill i torrfåra alt 1	20 (3)	72,8	0,94%	19,90	0,9%
Spill i torrfåra alt 2	21 (4)	194,1	2,52%	54,20	2,4%
Spill i fiskväg 3%	22 (5)	24,5	0,32%	84,90	3,8%
Spill i fiskväg 6%	23 (6)	49,6	0,64%	169,50	7,6%
Anpassade vattenstånd	24 (8)	77,0	1,00%	20,00	0,9%
7 Säsongsanpassade flöden utan nolltappningsrestriktion	26	415,0	5,38%	163,00	7,4%
9 Återställda flöden	27	1586,0	20,57%	605,00	27,3%

4.14 RESULTAT FÖR ETT URVAL AV SCENARIER

Resultaten för varje scenario exporterades som en excelfil för analys. Excelfilen beskrev scenariots utfall för alla kraftverk i Umeälven, och bestod av produktionsvärden för alla anläggningar i systemet. Produktionsvärdet beskrevs som veckomedel för produktion (kWh), effekt (MW) och flöde (m³/s) genom turbin och spill förbi turbin för alla 46 år som scenariot beräknades på. Vidare erhöles data för att beräkna vattenståndsförändring samt produktionsvärde fördelade över fem olika prisintervall. För att beräkna utfallet jämfördes scenariernas produktionsutfall med scenario 0, som motsvarar nuvarande reglering. Produktionsförluster beskrivs nedan i GWh för att produktionsförlusten inte ska påverkas av olika prisintervall. Produktionsförlusterna varierar mycket mellan stationerna och mellan olika veckor under året. För att få ökad förståelse för vad som händer vid ekologisk reglering har vi i nedanstående exempel redovisat produktionsförluster och spill i detaljerade tabeller. I arbetet med beräkningar av olika modeller av ekologisk reglering har ingen hänsyn tagits till balans- och reglerkraft, men slutsatser om påverkan på dessa kan dras utifrån analyser av i vilken mån produktion flyttas tidsmässigt eller minskar.

Scenario 0. Nuvarande reglering i Umeälven

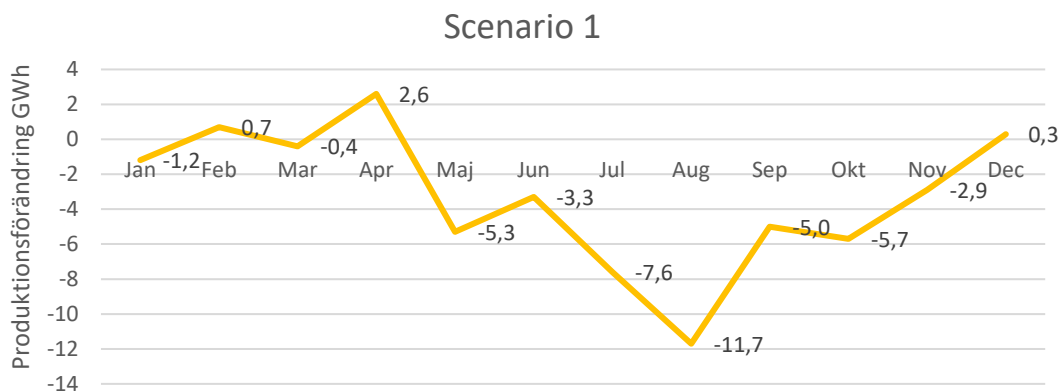
Scenario 0 motsvarar nuvarande förhållanden och produktion. Umeälvens kraftverk producerar i genomsnitt 7,7 TWh per år vilket ger in intäkt om ca 2,2 miljarder kr. Figur 26 beskriver hur produktionen fördelar sig över året för olika kraftverk och summan av totalproduktionen i hela Umeälven.



Figur 26. Nuvarande produktion ackumulerat i GWh för alla kraftverk i Umeälven fördelat per månad. Produktionen är beräknat medelvärde för 46 år (ProdRisk).

Scenario 1. Nolltappningsrestriktion genom turbin, nedströms Storuman.

Scenariot bestod av basfunktion 1 (Tabell 4). Alla älvmagasin nedströms Storumans kraftverk hade i scenariot en minimitappning med lägst MLQ genom turbin och utan nolltappning. Där lägsta turbinkapacitet var väsentligt högre än MLQ spilldes vattnet vid sidan om turbin. Modellen syftar till att vattnet i vattendraget aldrig ska stanna av och det alltid ska finnas ett flöde mätt i m³/s.



Figur 27. Förändring av elproduktion per månad mätt i GWh jämfört med nuvarande förhållanden, alternativ 0 för hela Umeälven.

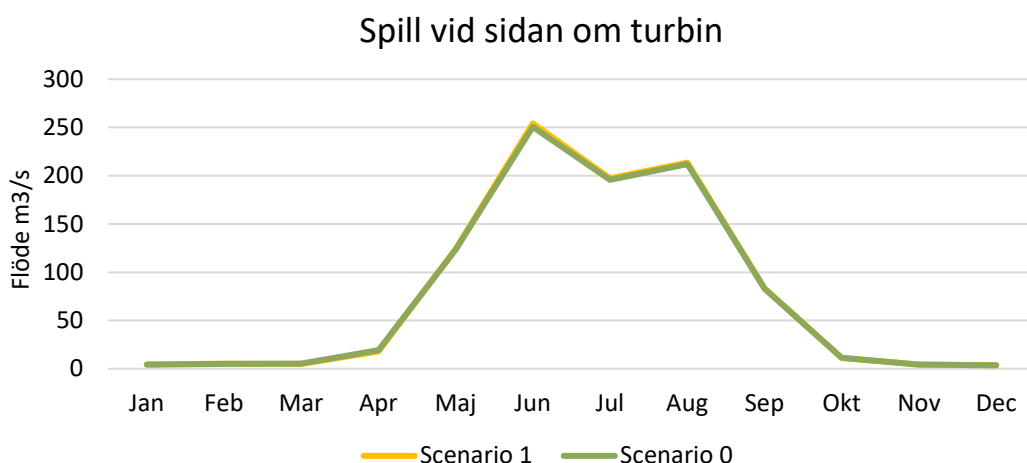
Produktionsförlust

Vid jämförelse med nuvarande produktion (alternativ 0) innebär scenariot en produktionsförlust om endast 0,5 % (39,42 GWh) för hela älven per år (Figur 27). Scenario1 innebär att det alltid finns en flöde i älven nedströms Storuman motsvarande MLQ eller mer. 70 % av produktionsförlusten uppkom under maj till september. Produktionsvinsten under februari till april uppstod eftersom ingen nolltappning skedde vilket innebär att kraftverket hela tiden producerade energi. Produktionsförlusterna berodde på (1) produktion under lägre verkningsgrad samt (2) spill. Dessutom tillkommer en intäktsförlust p.g.a. (3) försäljning av el till lägre pris då produktion flyttas till tidpunkter med lägre elpris (Tabell 11).

Tabell 11. Fördelning av produktionsförluster räknat i produktion (GWh) och intäktsbortfall (Mkr) för alla anläggningar vid scenario 1. Siffrorna anger skillnaden i produktion (GWh) mot situationen i Umeälven vid nuvarande reglering, se scenario 0.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Totalt
Abelvattnet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Gejman	0,8	0,7	0,8	-0,1	-0,3	0,2	0,7	-0,8	-1,0	-0,7	-0,3	-0,5	-0,5
Klippen	-0,4	-0,2	0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,0	0,3	-0,2	0,0	0,0	0,3	-0,2
Ajaure	-0,3	-0,3	0,0	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	-0,2	0,2	-0,2	0,3	0,2
Gardiken	0,5	-0,5	-0,3	-0,2	-0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,8
Juktan	-0,2	0,0	-0,1	-0,4	-0,1	-0,3	0,3	0,2	0,0	0,7	0,0	0,0	0,1
Umluspen	-0,2	-0,3	-0,2	-0,5	-0,2	-0,2	-0,2	0,8	0,3	0,2	0,0	-0,2	-0,5
Stensele	0,2	0,0	0,3	0,5	2,2	1,4	1,2	1,0	0,8	0,8	0,3	0,0	8,8
Grundfors	-0,2	0,2	0,2	0,8	2,9	1,8	1,7	1,3	0,7	1,2	0,5	0,0	11,1
Rusfors	0,5	0,3	0,5	1,0	1,1	1,4	1,2	1,0	0,3	1,0	0,7	0,2	9,2
Bålf.-Hållf.	-0,2	-0,2	-0,3	-0,7	0,2	-0,2	0,7	1,5	1,0	0,3	0,3	-0,2	2,4
Tuggen	0,2	-0,2	-0,2	-0,5	-0,2	-0,2	0,2	0,7	0,3	0,5	0,2	0,0	0,8
Bjurf.-Harrs.	0,3	0,3	0,2	-1,0	0,3	0,0	1,2	3,0	1,8	1,3	1,2	0,3	9,1
Pengfors	0,2	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,5	0,2	0,2	0,2	-0,2	0,5
Stornorrfors	-0,2	-0,5	-0,5	-1,7	-0,2	-0,7	0,2	2,0	0,8	0,0	0,3	-0,3	-0,7
Totalt	1,2	-0,7	0,4	-2,6	5,3	3,3	7,6	11,7	5,0	5,7	2,9	-0,3	39,4

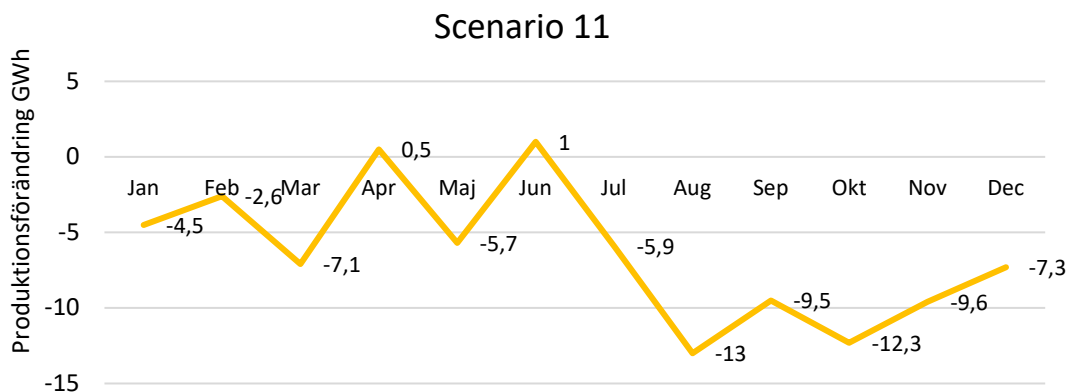
I scenariot leddes vattnet i första hand genom turbin vilket innebar att spill vid sidan om turbin ökade endast i liten omfattning jämfört med nuvarande reglering (scenario 0) (Figur 28).



Figur 28. Spill vid sidan om turbin per månad för hela Umeälven. Scenario 0 motsvarar nuvarande förhållanden och scenario 1 innebär nolltappningsrestriktion nedströms Storuman (delområde A).

Scenario 11. Nolltappningsrestriktion i hela älven

Scenariot bestod av basfunktion 2 (Tabell 4). Det innebar att alla kraftverk i Umeälven hade minimitappning med lägst MLQ genom turbin utan perioder med nolltappning. Där lägsta turbinkapacitet var väsentligt högre än MLQ spilldes vattnet vid sidan om turbin. Modellen syftar till att vattenrörelsen i vattendraget aldrig ska stanna av.



Figur 29. Förändring i produktion för hela Umeälven mätt i GWh jämfört med nuvarande förhållanden, d.v.s. scenario 0.

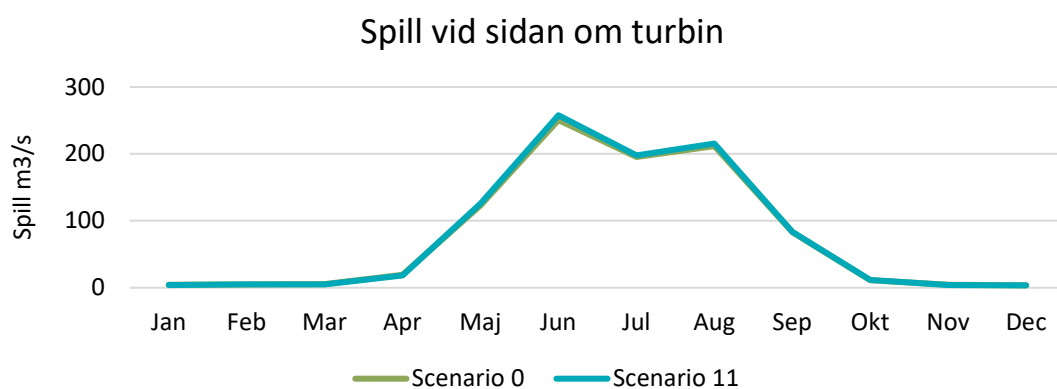
Produktionsförlust

I jämförelse med nuvarande produktion (alternativ 0) innebar scenariot en produktionsförlust om 1 % (75,9 GWh) för hela älven per år (Figur 29). 60 % av produktionsförlusten uppkommer under maj till oktober. Produktionsvinsten under april och juni uppstod eftersom ingen nolltappning skedde vilket innebar att kraftverket producerade energi hela tiden. Produktionsförlusterna berodde på (1) produktion under lägre verkningsgrad samt (2) spill. Dessutom tillkommer en intäktsförlust p.g.a. (3) försäljning av el till lägre pris då produktion flyttas till tidpunkter med lägre elpris. Alla anläggningar påverkades (Tabell 12).

Tabell 12. Fördelning av produktionsförluster mätt i produktionsbortfall (GWh) för alla anläggningar vid scenario 11. Differens i GWh jämfört med nuvarande reglering (scenario 0).

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Totalt
Abelvattnet	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,5
Gejman	1,5	2,2	2,7	0,3	-1,8	-0,2	0,5	0,7	0,7	2,7	1,8	1,3	12,4
Klippen	-0,5	-0,6	0,1	-0,4	-1,0	-0,3	-0,2	0,0	-0,2	0,7	1,0	0,4	-1,0
Ajaure	1,2	0,8	1,3	1,0	0,3	-0,2	0,2	0,3	0,5	1,3	1,5	1,8	10,2
Gardiken	2,2	1,5	0,2	0,3	0,0	-0,2	0,3	0,3	0,2	0,7	0,2	0,2	5,9
Juktan	-0,2	-0,3	0,0	-0,6	0,2	0,1	0,5	0,0	-0,2	0,7	-0,2	0,0	0,1
Umluspen	-0,3	-0,3	0,3	0,5	0,3	0,5	1,0	1,2	1,2	0,7	0,2	0,2	5,4
Stensele	0,0	0,0	0,5	0,5	2,4	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,5	0,2	8,8
Grundfors	0,0	0,0	0,5	1,0	2,9	1,2	1,5	1,3	0,7	1,2	0,7	0,5	11,4
Rusfors	0,3	0,3	0,5	0,8	1,3	1,1	1,2	0,8	0,5	0,8	0,7	0,3	8,7
Bålf.-Hällf.	-0,2	-0,2	0,0	-0,8	0,3	-1,0	0,2	1,3	1,2	0,3	0,3	0,3	1,8
Tuggen	0,0	-0,3	0,2	-0,3	0,0	-0,5	-0,3	0,7	0,3	0,3	0,3	0,5	0,8
Bjurf.-Harrs.	0,3	0,0	0,7	-1,0	1,0	-1,2	0,2	2,9	2,2	1,5	1,5	1,0	9,1
Pengfors	0,2	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,2	0,0	0,5	0,2	0,3	0,3	-0,2	0,8
Stornorrfors	0,0	-0,5	0,0	-1,5	-0,2	-1,2	-0,2	1,8	1,2	0,0	0,7	0,7	0,8
Totalt	4,5	2,6	7,1	-0,5	5,7	-1,0	5,9	13,0	9,5	12,3	9,6	7,3	75,9

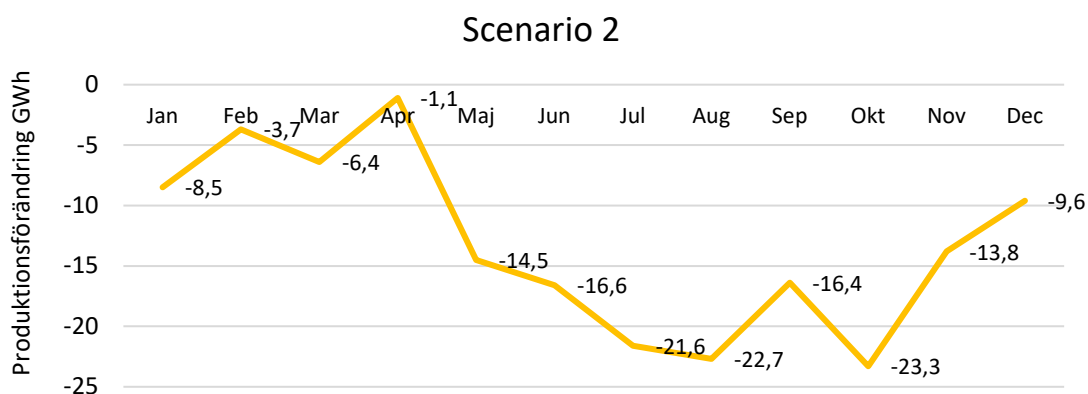
I scenariot leddes vattnet i första hand genom turbin vilket innebar att spill vid sidan om turbin ökade i endast liten omfattning jämfört med nuvarande förhållanden (scenario 0) (Figur 30).



Figur 30. Spill vid sidan om turbin för hela Umeälven. Scenario 0 motsvarar nuvarande förhållanden och scenario 11 nolltapplingsrestriktion för hela Umeälven.

Scenario 2. Nolltappningsrestriktion samt spill till torrfåra

Scenariot var en kombination av basfunktion 1 och 3 (Tabell 4). Det innebar dels att vi i scenariot införde nolltappningsrestriktion i alla älvmagasin, d.v.s. alla anläggningar nedströms Storuman (basfunktion 1), dels att vi införde basfunktion 3 som innebar att vatten skulle tappas med säsongsvariation i alla torrfåror i Umeälven under hela året. Scenariot syftade till att vattenrörelsen i vattendraget aldrig skulle stanna av, samt att skapa habitat i torrfåror och öka konnektiviteten.



Figur 31. Förändring av produktion för hela Umeälven mätt i GWh jämfört med nuvarande förhållanden, d.v.s. scenario 0.

Basfunktion 3 berörde Gejmån, Klippen, Ajaure, Gardiken, Juktan, Umluspen, Stornorrfors samt genom omlöp även Grundfors och Tuggens kraftverk genom att låta vatten gå i torrfåror nedströms kraftverken (Tabell 13). Tappning till torrfåran var säsongsanpassad med naturlig säsongsvariation. I arbetet förutsattes att torrfåran kommer att utgöra ett omlöp runt kraftverket och möjliggöra konnektivitet. De anläggningar som berördes av nolltappningsförbudet var alla kraftverk nedströms Storuman.

Tabell 13. Minimitappning med säsongsvariation (ej understigande minimitappning i nuvarande vattendom) till torrfårar.

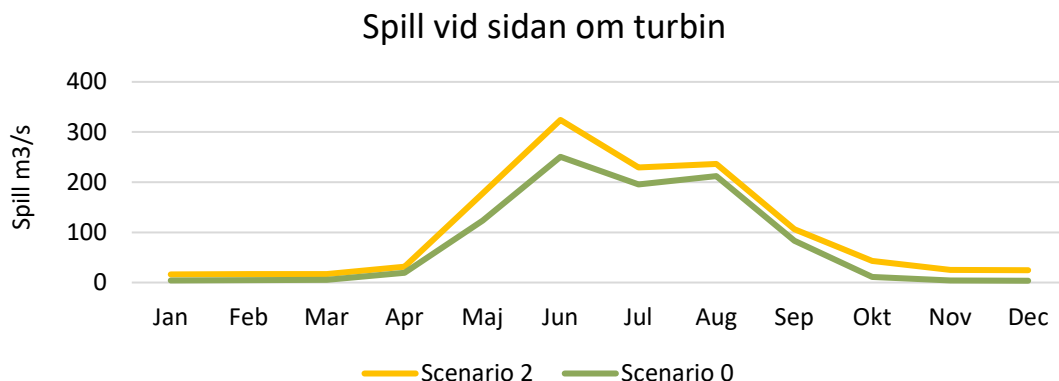
KRAFTVERK	MINIMITAPPNING MED SÄSONGSVARIATION (GENOMSNIITT PER ÅR, M ³ /S)	ANDEL AV MQ (%)
GEJMÅN/BLERIKEN	0,55 m ³ /s	5%
KLIPPEN/ÖVERUMAN	0,95 m ³ /s	5%
AJAURE	2,48 m ³ /s	3%
GARDIKEN	3,35 m ³ /s	3%
STORJUKTAN	3,81 m ³ /s	12,5%
STORUMAN (UMLUSPEN)	4,13 m ³ /s	3%
GRUNDFORS	4,84 m ³ /s	3%
TUGGEN	2,35 m ³ /s	1%
HARRSELE	4,67 m ³ /s	3%
STORNORRFORS	13,84 m ³ /s	3%

Analys av resultatet visade att spillet ökade i de flesta anläggningar i Umeälven på årsbasis, och alla anläggningar tvingades spilla vatten under vår, sommar och höst eftersom det kommer stora vattenmängder under den perioden (Tabell 14). Vattenmängder utöver normalt spill orsakades av att det spilldes vatten i torrfårorna enligt tabell 11 samt att det rådde nolltappningsförbud i Umeälven.

Tabell 14. Spill i Umeälven m³/s med detta scenario.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Medel
Abelvattnet	0,7	0,4	0,2	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Gejman	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7	2,2	1,8	0,7	0,6	0,5	0,3	0,3	0,7
Klippen	0,5	0,5	0,5	0,7	1,4	3,4	5,0	2,5	1,7	1,0	0,5	0,5	1,6
Ajaure	0,6	0,5	0,5	0,5	48,3	113,2	26,6	6,8	3,9	3,4	1,1	1,1	17,4
Gardiken	0,7	0,7	0,7	3,5	6,1	45,5	39,2	14,3	8,5	4,5	1,8	1,5	10,8
Juktan	3,0	3,0	3,0	3,9	7,2	10,3	7,7	9,8	6,7	4,5	3,0	3,0	5,4
Umluspen	1,2	1,4	1,5	1,5	40,0	24,5	15,2	14,3	6,8	3,7	2,2	2,2	10,0
Stensele	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	1,6	9,1	11,4	2,7	0,1	0,0	0,0	2,1
Grundfors	1,4	1,4	1,4	1,8	7,9	15,6	18,0	16,9	7,9	4,3	2,8	2,8	6,9
Rusfors	0,0	0,0	0,0	0,7	0,6	0,6	7,1	16,7	4,0	0,0	0,0	0,0	2,4
Bålf.-Hällf	0,1	0,8	1,2	7,1	4,1	3,5	18,3	25,9	8,9	1,5	0,3	0,0	6,0
Tuggen	0,8	0,8	0,8	1,3	4,3	6,6	10,0	18,0	6,3	2,2	1,5	1,5	4,5
Bjurf.-Harrs.	1,8	1,8	1,8	3,1	10,5	12,8	16,1	25,3	10,8	4,3	2,9	2,9	7,9
Pengfors	0,0	0,0	0,0	1,4	2,7	1,1	8,8	20,5	5,9	0,1	0,0	0,0	3,3
Stornorrfor	5,3	5,3	5,3	5,3	44,1	83,2	46,6	53,0	31,7	13,1	8,6	8,6	26,0

Spill av vatten ökade eftersom alla torrfårar har vatten under hela året, vilket också ökade produktionsförlusterna jämfört med scenario 0, 1 och 11 (Figur 32).



Figur 32. Spill vid sidan om turbin för hela Umeälven. Scenario 0 motsvarar nuvarande förhållande och scenario 2 nolltappningsregler samt spill i alla torrfårar.

Produktionsförlust

Vid jämförelse med nuvarande produktion (scenario 0) innebär scenariot en produktionsförlust om 2,05 % (158 GWh) för hela älven (Tabell 10).

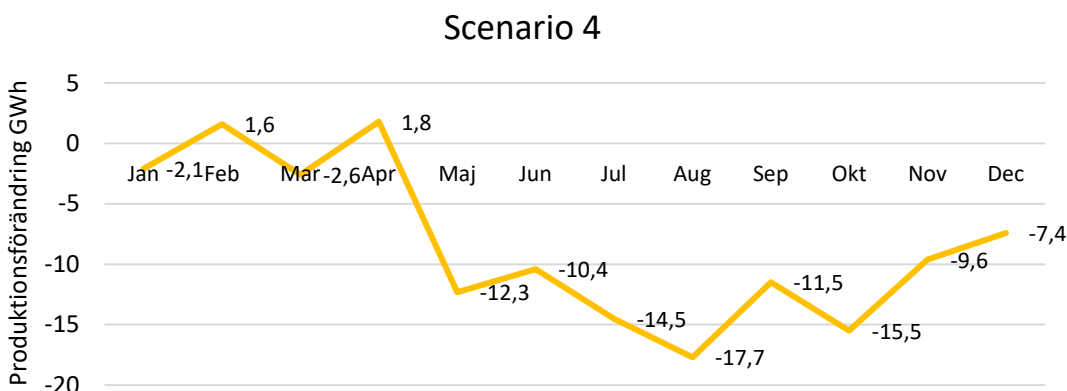
Produktionsförlusterna berodde på (1) produktion under lägre verkningsgrad samt (2) spill. Dessutom tillkommer en intäktsförlust p.g.a. (3) försäljning av el till lägre pris då produktion flyttas till tidpunkter med lägre elpris. Åtgärderna (basfunktion 1 och 3) medförde produktionsförluster i alla anläggningar i Umeälven (Tabell 15).

Tabell 15. Produktionsförlust (GWh) per anläggning och månad för scenario 2 jämfört med scenario 0.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Totalt
Abelvattnet	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,1
Gejman	-0,3	0,0	2,4	1,4	0,4	0,7	0,8	0,5	0,5	1,8	1,0	0,5	9,8
Klippen	0,0	-0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	-0,3	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1	0,5
Ajaure	0,2	0,0	0,0	0,5	0,8	0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,2	0,2	5,2
Gardiken	2,5	0,0	-0,2	-0,8	0,7	1,0	1,2	0,8	0,7	0,8	0,2	0,0	6,9
Juktan	0,0	-0,2	0,3	-0,2	0,8	0,9	0,9	0,3	0,3	0,7	-0,2	0,0	3,7
Umluspen	0,2	0,0	-0,2	-0,5	0,0	2,0	1,8	2,0	1,7	1,2	0,7	0,2	9,1
Stensele	0,0	0,0	0,3	0,3	2,1	1,5	1,7	1,5	1,2	1,0	0,5	0,2	10,2
Grundfors	0,3	0,3	0,5	1,2	3,5	3,5	3,7	2,7	2,0	2,2	1,3	1,2	22,5
Rusfors	0,2	0,3	0,3	0,7	0,7	1,0	1,2	1,2	0,7	0,8	0,7	0,2	7,9
Bålf-Hällf.	0,0	0,0	-0,2	-1,0	-1,5	-0,8	1,0	1,8	1,3	0,7	0,5	0,2	2,0
Tuggen	0,3	0,2	0,2	-0,2	-0,5	0,5	1,2	1,5	1,0	1,0	0,7	0,5	6,4
Bjurf.-Harrs.	1,8	1,2	0,8	-0,5	2,0	4,0	6,2	6,0	4,7	4,2	3,2	2,4	36,1
Pengfors	0,3	0,0	-0,2	-0,5	-0,7	-0,2	0,2	0,5	0,2	0,5	0,3	-0,2	0,3
Stornorrfors	3,0	2,0	2,0	0,5	5,9	2,0	1,5	2,9	1,5	7,2	4,7	4,2	37,5
Totalt	8,5	3,7	6,4	1,1	14,5	16,6	21,6	22,7	16,4	23,3	13,8	9,6	158,0

Scenario 4. Reglerad nolltappning samt spill till fiskväg

Scenario 4 var en kombination av basfunktion 1 och 5 (Tabell 2). Det innebar att nolltappningsförbud infördes i alla älvmagasin samt spill av vatten motsvarande 3% av MLQ i fiskvägar enligt tabell nedan. I modellen går vatten i fiskväg förbi kraftverken i Stensele, Rusfors, Bålforsen, Betsele, Hållforsen, Bjurfors Övre, Bjurfors Nedre, och Pengfors. I fiskvägen tappas 3 % av årsmedelflödet, inklusive lockvatten, och flödet varierade i de olika fiskvägarna från 4,7 m³/s till 7,4 m³/s enligt Tabell 16. Scenariot syftade till att vattenrörelserna i vattendraget aldrig skulle stanna av samt att skapa habitat och konnektivitet.

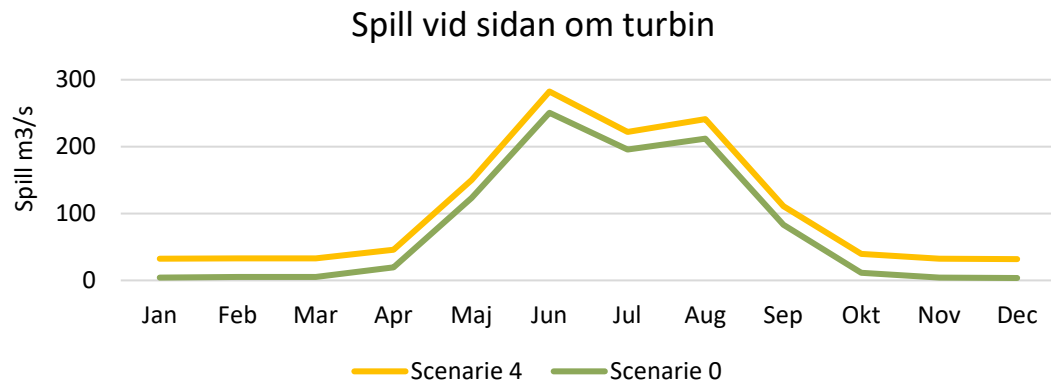


Figur 33. Förändring av produktion mätt i GWh per månad för hela Umeälven jämfört med nuvarande förhållanden (scenario 0).

Tabell 16. Minimitappning inkl. lockvatten i m³/s till fiskvägar i Umeälven.

Kraftverk	Minimitappning fiskväg inkl. lockvatten (m ³ /s)	Andel av MQ (%)
Stensele	4,7	3
Rusforsen	6,7	3
Bålforsen	6,7	3
Betsele	6,7	3
Hållforsen	7,0	3
Bjurfors Ö	7,2	3
Bjurfors N	7,2	3
Pengfors	7,4	3

Analys av resultatet visade att i de flesta anläggningar i Umeälven ökade spillet på årsbasis (Figur 33), och alla anläggningar tvingades att spilla under vår, sommar och höst. Vattenmängderna utöver normalt spill orsakades av spill till fiskväg enligt tabell 16 samt att det rädde nolltappningsförbud i Umeälven. Spill av vatten ökade jämfört med scenario 0, 1 och 11 eftersom det spills vatten i fiskvägarna under hela året, vilket också leder till en ökning av produktionsförlusterna (Figur 34).



Figur 34. Spill vid sidan om turbin i scenario 4 jämfört med scenario 0

Produktionsförlust

I jämförelse med nuvarande produktion (scenario 0) innebär scenario 4 en produktionsförlust om 1,3 % (1,0 TWh) per år (Tabell 17). Flödet i fiskvägarna antogs vara statistiskt under året. Det finns dock inget behov av att ha fiskvägarna öppna för fiskvandring under vintern, vilket skulle minska produktionsförlusten. Anläggningskostnader och teknisk lösning för byggnation av fiskvägarna är inte beräknade. Produktionsförlusterna berodde på (1) produktion under lägre verkningsgrad samt (2) spill. Dessutom tillkommer en intäktsförlust p.g.a. (3) försäljning av el till lägre pris då produktion flyttas till tidpunkter med lägre elpris.

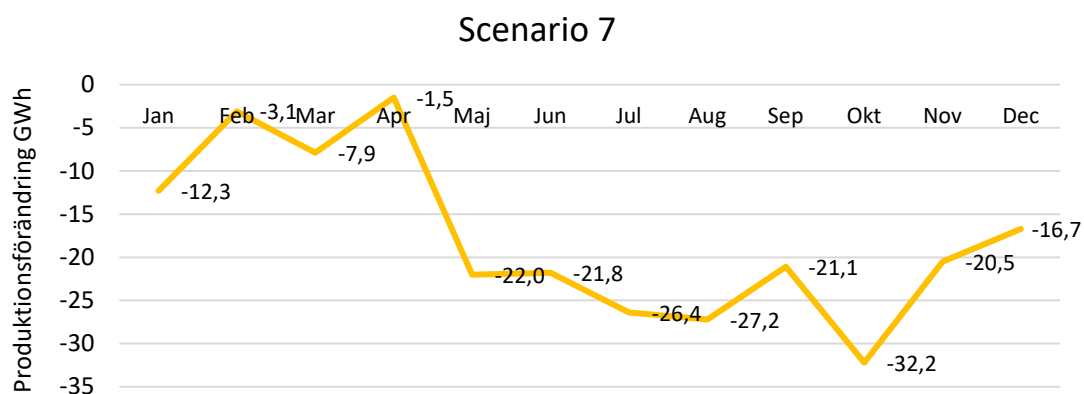
Tabell 17. Produktionsförlust (GWh) per anläggning och månad enligt scenario 4.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Totalt
Abelvattnet	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2
Gejman	0,5	1,2	1,5	0,4	-0,7	0,0	-0,2	-1,2	-0,8	0,0	-0,3	-0,5	-0,2
Klippen	-0,3	-0,1	0,0	0,1	-0,1	0,1	0,0	0,3	-0,2	0,2	0,0	-0,3	-0,3
Ajaure	0,0	-0,2	0,0	0,4	0,3	0,0	0,2	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,5
Gardiken	0,3	0,0	0,0	-0,8	-0,2	0,0	0,2	-0,2	-0,2	0,3	-0,2	0,0	-0,7
Juktan	0,2	-0,5	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	0,3	0,5	-0,2	0,7	0,0	-0,3	0,2
Umluspen	-0,5	-0,7	-0,3	-0,8	-0,2	0,2	0,2	1,2	0,8	0,5	0,0	0,0	0,3
Stensele	0,7	0,0	0,5	0,7	2,8	1,8	1,8	1,7	1,3	1,5	0,8	0,8	14,5
Grundfors	-0,5	-0,7	0,0	0,5	3,0	2,0	2,2	1,5	1,0	1,5	0,8	0,7	12,1
Rusfors	0,8	0,3	0,8	1,0	1,6	1,7	2,0	1,5	0,8	1,7	1,0	0,8	14,3
Bålf.-Hällf.	1,3	0,8	0,8	0,3	2,5	1,8	3,0	3,4	2,9	2,9	2,5	2,0	24,4
Tuggen	-0,5	-0,5	-0,5	-0,7	0,0	0,0	0,2	1,0	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0
Bjurf.-Harrs.	0,8	0,2	0,7	-0,5	2,5	1,8	3,0	4,7	3,4	3,5	2,9	2,5	25,5
Pengfors	0,5	0,2	0,3	0,2	0,7	1,0	0,8	1,2	0,8	1,2	0,8	0,7	8,4
Stornorrfor	-1,2	-1,7	-1,2	-2,4	0,0	0,0	0,8	2,4	1,2	0,8	0,8	0,7	0,3
Totalt	2,1	-1,6	2,6	-1,8	12,3	10,4	14,5	17,7	11,5	15,5	9,6	7,4	100,2

Scenario 7. Reglerad nolltappning nedströms Storuman samt spill till torrfårar och fiskvägar

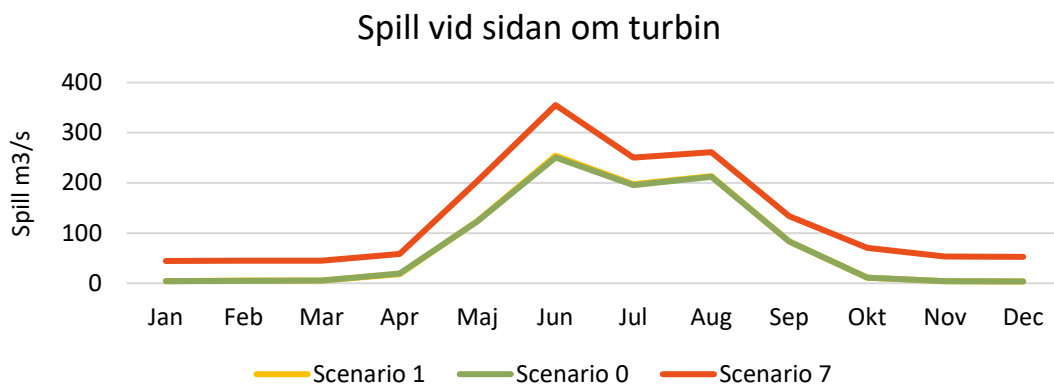
Scenario 7 bestod av basfunktionerna 1, 3 och 5 (tabell 2). Scenario 7 innebar att nolltappningsförbud införde nedströms Storuman, vatten spilldes i alla torrfårar enligt basfunktion 3, samt vatten spilldes till fiskväg enligt basfunktion 5.

Modellen syftade till att vattnet i vattendraget aldrig skulle stanna av samt att skapa habitat och longitudinell konnektivitet.



Figur 35. Förändring av produktion mätt i GWh jämfört med nuvarande förhållanden, alternativ 0 för hela Umeälven.

Spill av vatten ökade eftersom alla torrfårar och fiskvägar har vatten under hela året, vilken är den största orsaken till produktionsförlusterna ökar jämfört med scenario 0, 1 och 11 (Figur 36).



Figur 36. Spill (m³/s) i scenario 7 jämfört med scenario 1 och 0.

Produktionsförlust

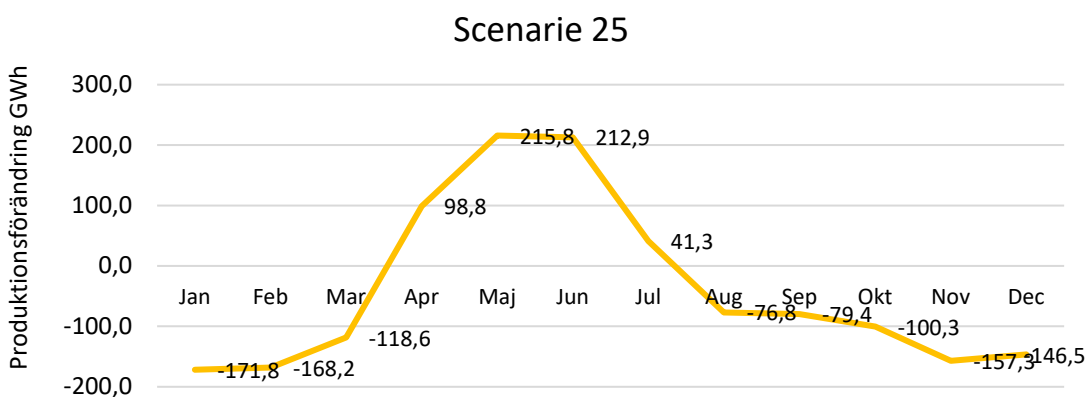
I jämförelse med nuvarande produktion (scenario 0) innebär scenario 7 en produktionsförlust om 2,75 % (0,21 TWh) (Tabell 18). Om fiskvägarna är stängda under 1/10 till 1/5 uppskattas produktionsförlusten att minska till 0,19 TWh (2,4 %). Scenario 7 innebär att älven alltid hade en vattenrörelse motsvarande MLQ eller mer, samt att alla torrfårar och fiskvägar var vattenförande. Samtliga anläggningar förutom Abelvattnet har longitudinell konnektivitet. Produktionsförlusterna berodde på flera faktorer: (1) Produktion under lägre verkningsgrad, (2) spill, (3) försäljning av produktion till lägre pris.

Tabell 18. Fördelning av produktionsförluster räknat i produktionsbortfall (GWh) och intäktsbortfall (Mkr) per anläggning. Differens i GWh mot Umeälven vid nuvarande reglering, se scenario 0.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Totalt
Abelvattnet	-0,1	-0,1	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,2
Gejman	0,0	-0,3	1,3	0,7	0,7	0,7	1,0	0,5	0,3	2,5	1,7	0,8	9,9
Klippen	0,6	-0,1	0,0	0,2	-0,3	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,3	-0,2	1,0
Ajaure	0,7	0,0	0,0	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,5	0,0	5,0
Gardiken	1,6	0,3	0,3	-0,7	0,5	0,8	1,3	0,3	0,7	1,0	0,2	0,0	6,5
Juktan	-0,3	-0,2	-0,1	-0,6	0,9	1,2	1,0	0,5	0,2	1,2	0,0	0,0	3,7
Umluspen	0,0	-0,5	-0,3	-0,7	0,2	2,0	1,8	2,0	1,8	1,3	0,7	0,5	8,9
Stensele	0,8	0,3	0,5	0,3	2,9	2,0	1,8	1,8	1,5	1,7	0,8	0,8	15,4
Grundfors	0,2	-0,2	0,5	0,7	3,9	3,9	4,0	2,9	2,0	2,2	1,3	1,3	22,7
Rusfors	0,8	0,3	0,7	1,0	1,1	1,2	1,7	1,3	1,0	1,7	1,2	0,8	12,9
Bålf.-Hällf.	2,0	1,2	1,2	0,3	1,0	0,8	2,9	3,7	3,0	3,0	2,7	2,2	24,0
Tuggen	0,0	-0,2	0,0	-0,7	-0,2	0,5	0,8	1,5	1,0	1,2	0,7	0,7	5,4
Bjurf-Harrs.	2,7	1,2	1,8	0,3	4,4	5,7	7,4	7,4	6,4	6,4	4,7	4,2	52,6
Pengfors	0,7	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,8	1,2	0,8	1,3	0,8	0,7	7,9
Stornorrfors	2,5	0,8	1,5	0,0	6,6	2,2	1,3	3,0	1,7	7,7	4,9	4,7	37,0
Totalt	12,3	3,1	7,9	1,5	22,0	21,8	26,4	27,2	21,1	32,2	20,5	16,7	212,7

Scenario 25. Säsongsanpassade flöden genom turbin med nolltappningsrestriktion

Scenario 25 bestod av basfunktionerna 1 och 7 (tabell 2) och innebar att nolltappningsförbud infördes nedströms Storuman samtidigt som perioder av höga och låga flöden återinfördes. Modellen syftade till att vattnet i vattendraget aldrig skulle stanna av samt att skapa en mer naturlig flödesregim. Då endast delar av flödet har återskapats har systemet lagringskapacitet och reglerförmåga kvar.



Figur 37. Total produktionspåverkan per månad vid scenario 25 jämfört med scenario 0 i Umeälven.

Produktionsförlust

Vid jämförelse med nuvarande produktion (alternativ 0) innebar scenariot en produktionsförlust om 5,8 % (450 GWh) för hela älven (Tabell 15).

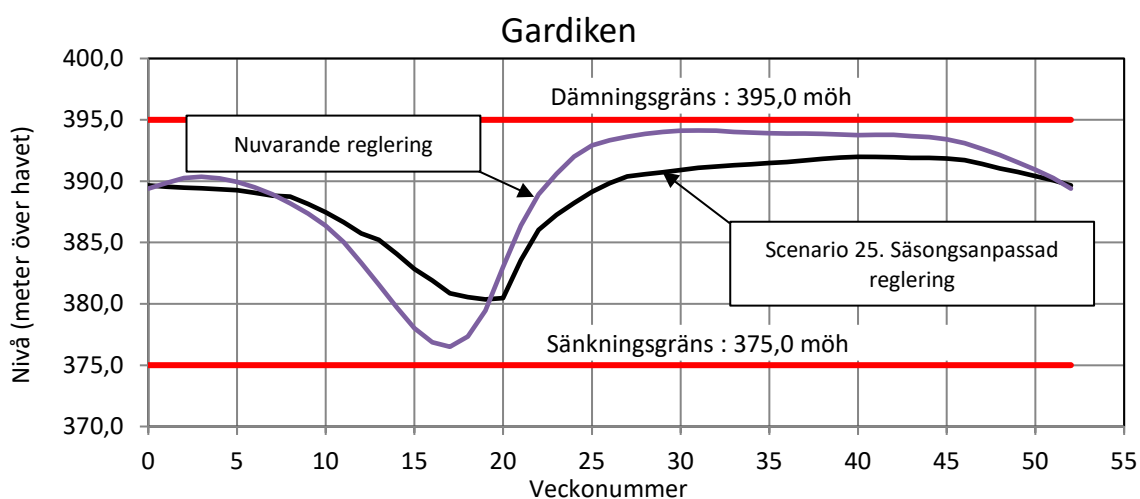
Produktionsförlusten under perioden augusti till mars var 1,0 TWh, medan under perioden april till juli gav scenariot en produktionsökning om 569 GWh.

Produktionsförlusterna berodde på: (1) Produktion under lägre verkningsgrad, (2) spill, (3) försäljning av produktion till lägre pris.

Tabell 19. Produktionsförluster i GWh för varje anläggning och månad i Umeälven vid scenario 25

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Totalt
Abelvattnet	-0,3	-0,3	0,1	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,2	0,6	0,2	-0,4	-0,5
Gejman	-3	-5,4	3,7	-7,6	-1,8	-0,3	0	2,2	4	11,3	5,2	-5,9	2,4
Klippen	-3,7	-5,6	-0,5	-2,9	2,2	-0,8	-0,7	0,5	1,3	5,8	4,6	-2,7	-2,5
Ajaure	-2,7	-4,4	0	-1,6	1,2	-0,2	0,5	0,8	1,7	5	3,7	-2,2	1,9
Gardiken	-7,5	4	4,5	-5,4	-5,7	2	5,2	7,2	7,6	8,7	9,2	7,1	37
Juktan	4,1	1,5	-2,7	-0,9	-5,5	-3,3	2,7	2,6	0	3,8	4,6	3,9	10,9
Umluspen	15,5	12,8	7,7	-6,2	-33,9	-24	-4,7	6	6,6	6,6	12,1	13,3	11,6
Stensele	10,1	9,4	5,9	-4,4	-13	-11,7	-2	4,2	4,2	4,7	7,6	7,9	22,9
Grundfors	18,3	18,3	11,6	-7,9	-25	-22,8	-4,4	6,6	6,7	7,2	13,1	14,8	36,5
Rusfors	7,9	7,2	4,4	-2,5	-7,1	-8,4	-1,2	3,2	2,9	2,9	5,5	5,7	20,5
Bålf.-Hällf	25,2	24,7	15,5	-11,6	-20	-26	-6,4	8,4	8,7	8,4	17,5	20,2	64,5
Tuggen	14,6	14,4	9,2	-6,6	-20	-22	-4,9	4,9	4,9	4,9	10,1	11,6	21,2
Bjurf.-Harrs.	45,4	44,5	28,9	-18,8	-51,2	-63,3	-12,6	14,8	15,1	14,8	30,9	35,8	84,2
Pengfors	8,2	7,9	5	-3,5	-8,2	-10,8	-2,4	2,7	2,7	3	5,9	6,2	16,8
Stornorrfors	39,8	39	25,2	-18,6	-27,6	-21,2	-10,4	12,6	12,9	12,6	27	31,4	122,8
Totalt	171,8	168,2	118,6	-98,8	215,8	212,9	-41,3	76,8	79,4	100,3	157,3	146,5	450

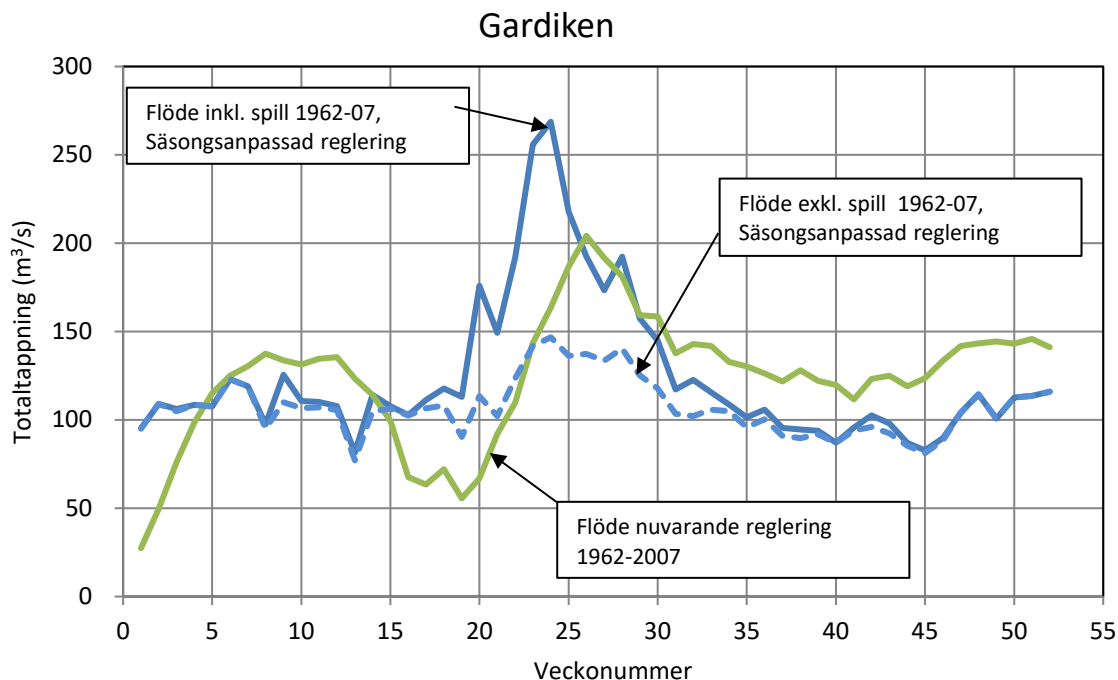
Vattenståndens amplitud i regleringsmagasinet Gardiken minskade med cirka åtta meter och reglerbart intervall var 12 meter (Figur 38) jämfört med nuvarande reglering om 20 meter. I Storuman och Storkjuktan skedde en motsvarande minskning av amplituden som nyttjades i magasinet.



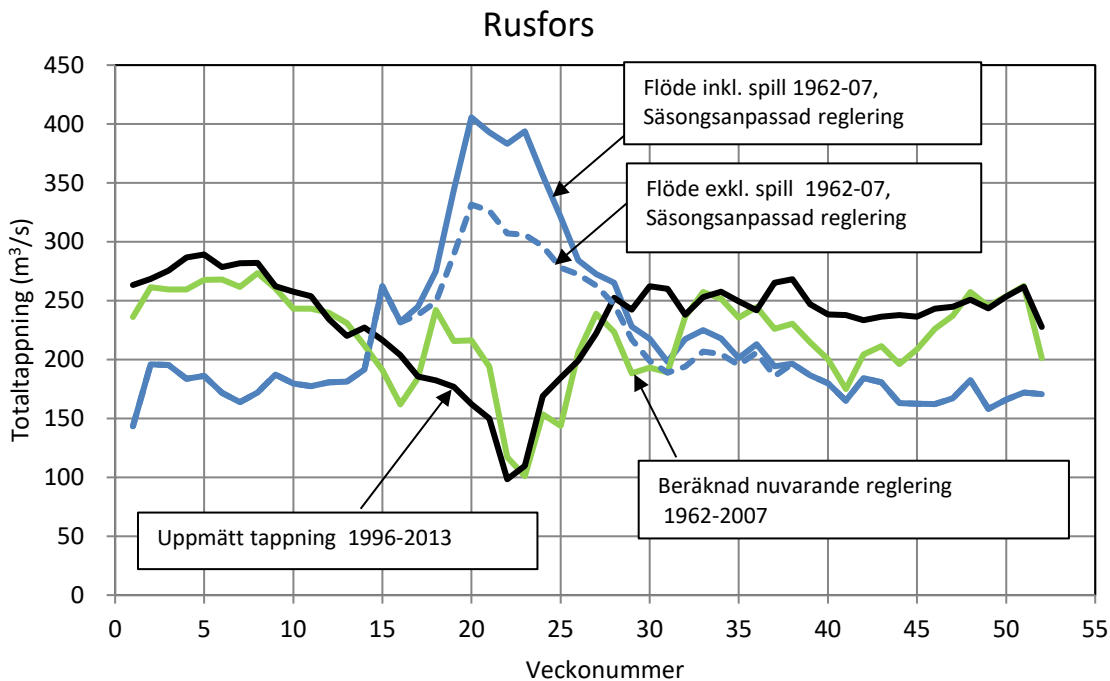
Figur 38. Vattenståndsförändring i regleringsmagasinet Gardiken vid scenario 25 jämfört med dagens reglering (scenario 0).

I scenariot skedde en flödesanpassning enligt Figur 39, Figur 40, Figur 39, och Figur 41, för att efterlikna naturlig säsongsvariation. Systemet har kvar lagringskapacitet och reglerförmåga varför korttidsreglering fortfarande är möjlig.

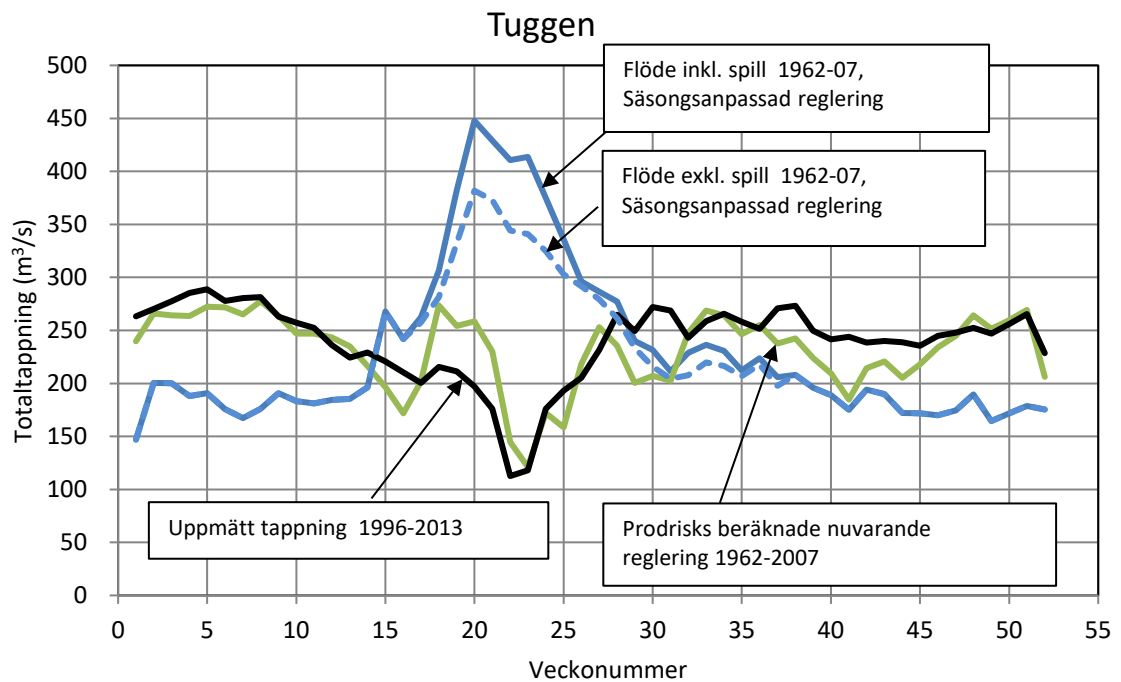
Eftersom höga och låga flöden (basfunktion 7) kombinerades med ett nolltappningsförbud (basfunktion 1) minskade det reglerbara flödesintervallet med MLQ i alla kraftverk med nolltappningsförbud.



Figur 39. Flödesförändring i regleringsmagasinet Gardiken vid scenario 25. Spill motsvarar mellanskillnaden mellan heldragen blå linje och streckad blå linje. Grön linje motsvarar reglerat flöde.



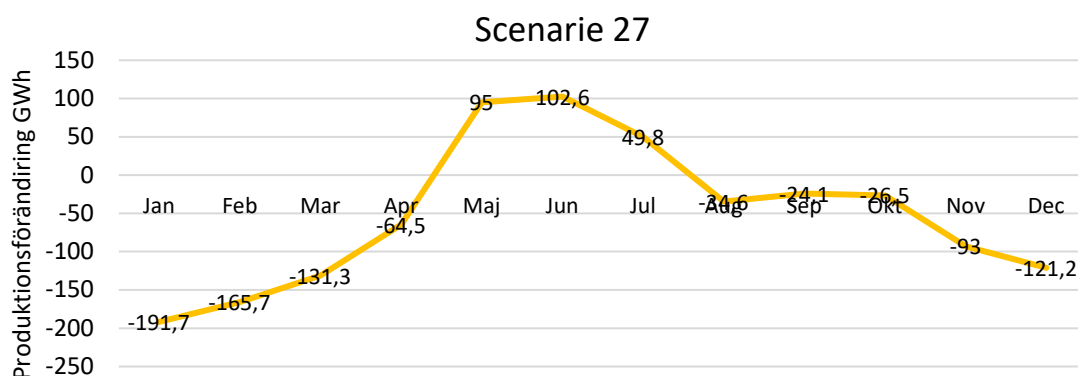
Figur 40. Flödesförändring i det kombinerade reglerings- och älvmagasinet Rusfors vid scenario 25. Spill motsvarar mellanskillnaden mellan heldragen blå linje och streckad blå linje. Svart och grön linje motsvarar reglerat flöde.



Figur 41. Flödesförändring i älvmagasin Tuggen vid scenario 25. Spill motsvarar mellanskillnaden mellan heldragen blå linje och streckad blå linje. Svart och grön linje motsvarar reglerat flöde.

Scenario 27. Alla flöden återställda till naturliga flöden

Scenario 27 bestod av basfunktion 9. Scenario 27 innebar att naturlig flödesregim återinförs. Vattnet kan inte lagras och rinner igenom alla kraftverk i samma takt som tillrinningen. Ingen lagringskapacitet eller reglerförmåga finns kvar i systemet. Regleringsmagasinen Storjuktan, Gardiken och Umluspen fråntas lagringskapacitet och vattenståndet ligger på dämningssgräns. Genom att regleringsmagasinen saknar lagringskapacitet tvingas nedströms- och uppströms liggande magasin att ha en liknande reglering.



Figur 42. Produktionsförlust (GWh) för hela älven per månad vid scenario 27.

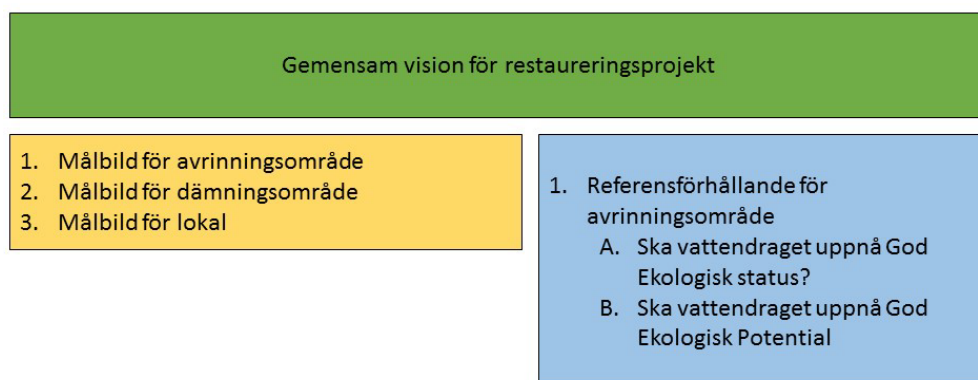
Ekologisk reglering med återställda flöden innebar höga flöden under våren samt låga flöden under vintern, som korrelerar med SMHI:s oreglerade flöden. Andelen spill vid sidan om turbin är störst under våren och försommaren.

5 Tillvägagångssätt för att steg för steg ta fram scenarier för ekologisk reglering

Kapitel sex riktar sig till läsare som praktiskt ska arbeta med ekologisk reglering och är en fristående stegvis beskrivning av hur man kan gå tillväga för att ta fram och konsekvensbeskriva scenarier för ekologisk reglering av vattendrag påverkade av vattenkraft. I avsnittet belyses det stegvisa och strukturerade arbetet som krävs, såväl som information om ekologiska och hydrologiska effekter av olika basfunktioner.

Här följer en beskrivning av hur man kan gå tillväga för att ta fram och konsekvensbeskriva scenarier för ekologisk reglering av vattendrag påverkade av vattenkraft. Arbetssättet är uppdelat på tre faser. Den första fasen är förberedelser som innebär att det ska finnas en projektgrupp för avrinningsområdet som arbetar med frågan, varpå insamling av data inleds, för att avslutas med en bred analys av avrinningsområdet. Nästa fas innebär att ta fram värden på basfunktioner och fatta beslut om vilka basfunktioner som arbetet ska omfatta. Basfunktionerna sätts av myndigheter och korresponderar med åtgärder i åtgärdsprogram kopplat till miljökvalitetsnormer. I fas tre inleds arbetet med mjukvaran som i det här fallet är ProdRisk. I arbetet med ProdRisk tar verksamhetsutövare huvudansvaret och levererar resultat till myndighet för analys. Analysen sker gemensamt för att underlätta tolkning.

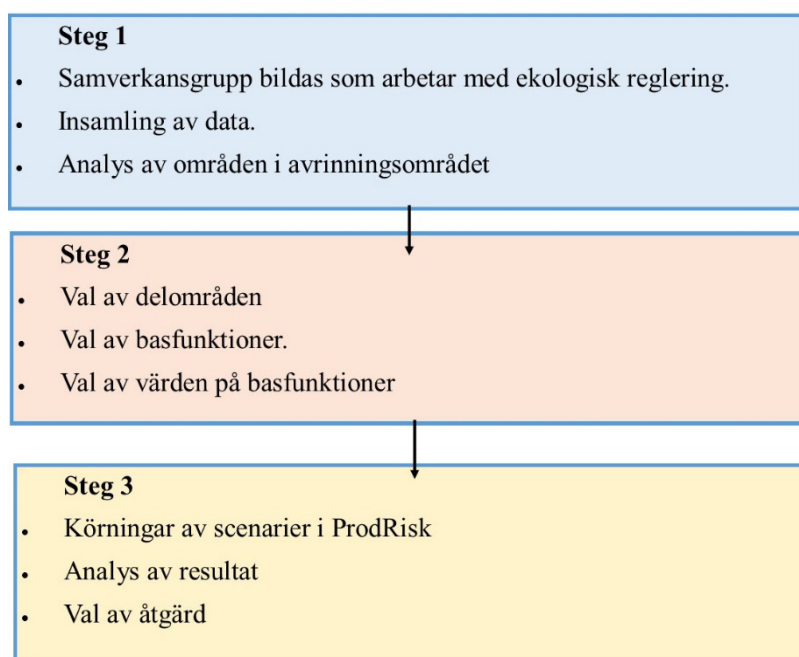
I ett restaureringsprojekt är det viktigt att man har en vision med arbetet samt beslut om vilka målbilder och referensförhållanden som gäller. Målbilder och referensförhållande kan variera beroende på skala, men även beroende på om vattendraget ska uppnå GES eller GES (Figur 43).



Figur 43. Vision, målbild och referensförhållande.

5.1 FÖRBEREDELSE

Förberedelsefasen innebär att samla in data om avrinningsområdet, till exempel naturvärden och tekniska data. För att klara den uppgiften behöver man arbeta i samverkan och ha ett systemperspektiv omfattande hela avrinningsområdet. Genom att vara noggrann i förberedelser underlättas arbetet med att ta fram största miljönytta med minsta möjliga produktionsförlust, vilket är grundtanken med att utföra modelleringar av ekologiskt anpassade flöden på avrinningsområdesnivå.



Figur 44. Flödesschema över arbetet med ekologisk reglering.

Systemperspektiv på avrinningsområdesnivå

För att få korrekta resultat gällande produktionspåverkan och hydrologi måste beräkningarna utföras för hela avrinningsområden. Det finns många skäl till varför systemperspektivet och avrinningsområdet är avgörande för arbetet med ekologisk reglering och nedan ges några exempel på orsaken.

- Helhetsperspektiv gällande inventering av naturvärden kopplat till bevarandefrågor enligt art- och habitatdirektivet. Vilka arter? Var? Behov av ekologisk reglering?
- Vattenhushållning i hela systemet måste fungera. Till exempel kan minimitappningsvillkoren i ett kraftverk påverka regleringen av hela vattendraget.
- Miljönytta. Till exempel kan miljönyttor uppstå i ett annat dämningssområde än där produktionsförlusten uppstår varför det är viktigt med ett systemperspektiv.

- Produktionsförluster. Nya ekologiska regleringar ger olika produktionspåverkan vid olika anläggningar och produktionsförlusterna varierar från produktionsvinst till produktionsförlust.

God kunskap om avrinningsområdet

För att fatta bra beslut om flöden och vattenstånd som ska modelleras är det viktigt att ha god kunskap om avrinningsområdets naturvärden, hydrologi, hydraulik, tekniska data rörande regleringen samt vattenhushållningsbestämmelser. Om det saknas kunskap om någon av dessa variabler kan det i värsta fall leda till beslut om vilka flöden och vattenstånd som beräkningarna ska utföras på som resulterar i ett svagt beslutsunderlag. Vilken kunskap som är tillräcklig varierar för olika avrinningsområden. Arbetet med ekologisk reglering kommer att variera mellan avrinningsområden. Det är nödvändigt att inse att basfunktioner och scenarier troligen måste justeras vid modellering av ekologiska flöden av olika avrinningsområden, och att arbetet är en lärandeprocess och ett utvecklingsarbete.

Samverkan

Samverkan mellan myndigheter, kraftproducenter, universitet, naturvårdsorganisationer samt lokalt aktiva längs vattendraget underlättar processen med beräkning av ekologisk reglering. Kunskap från ett flertal parter och discipliner är värdefullt! Genom samverkan säkerställer man att det finns både god kunskap om hur produktionsförluster undviks och om produktionsoptimering, samt vilka flöden och vattenstånd som behövs för att åstadkomma en miljöförbättring. Det kan i sin tur ge förutsättningar för en lösningsfokuserad process.

Referens och målbild

Syftet med ekologisk reglering är att vattenförekomsten ska förändras mot målbild och referens. Det är därför viktigt att tänka igenom vilka målbilder som finns för arbetet innan arbetets start. Målbilden för avrinningsområdet och delområden utgörs av övergripande mål som berör vattendragets ekosystem i stort. Mer detaljerade mål kan skilja sig åt mellan olika vattenförekomster längs vattendraget beroende på lokala förhållanden och påverkan. Målbilden kan definieras genom att använda sig av miljönyttor som kopplas till en organism eller en organismgrupp.

Exempel på aspekter av målbilder i dämningssområde eller vattenförekomst:

- Vattenhastighetsintervall lämpligt för harr under hela året.
- Syresättningsgrad lämplig för att öringrom ska kunna övervintra.
- Vattenståndsvariation anpassade för etablering av strandvegetation.
- Yta återskapat strömmande habitat för olika organismgrupper.

5.1.1 Avrinningsområdet.

Data som ska samlas in gällande avrinningsområdet:

- Schematisk översikt av avrinningsområdet (hydrologiskt nätverk, magasin, överledningar) som läggs in som skikt i programvara för geografiska informationssystem (GIS), t.ex. ArcGIS
- Betydelse i energisystemet för energiproduktion (Svenska kraftnät)
- Betydelse för balans- och reglerkraft (Svenska kraftnät)

5.1.2 Kartläggning naturvärden och miljö

Data som ska samlas in gällande naturvärden och miljö:

- GIS-lager med naturvärden
- GIS-lager med skyddade områden t.ex. Natura2000, naturreservat och nationalparker
- GIS-lager med kulturvärden
- Data från inventeringar av biologiska och kulturhistoriska förhållanden, t.ex. biotopkarteringar, elfisken och lämningar från flottningsepoken
- Torrfåror
- Potential för omlöp
- Utloppskanaler
- Strömsträckor
- Dammar i huvudfåra och biflöde med olika funktion och syfte
- Indikatorarter kopplade till art- och habitatdirektivet

5.1.3 Avstämning av flöden (reglerade kontra oreglerade) och regleringspåverkan (KMOV)

Beräkning av ekologisk reglering och värden för basfunktioner underlättas av kunskap om och förståelse av oreglerade flöden. Hydrologisk avstämning syftar till att jämföra naturliga flöden och reglerade flöden med syfte att analysera flödesavvikelsen, vilket betonas i Ramdirektivet för vatten (European Commission Environment 2015).

Flödesanalysen underlättas genom att arbeta med verktyg som t.ex. Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) (Richter m.fl. 1996) eller The Dundee Hydrological Alteration Method, (DHRAM) (Black m.fl. 2005). För detaljerad information gällande arbete med metoderna, se Renöfält m.fl. (2017). I vissa fall kan det vara tillräckligt med egna analyser i Excel. Det viktiga är inte verktyget (programvaran) utan att arbeta med naturliga flöden per kraftverk för att erhålla en förståelse vattendragets hydrologi före regleringen i jämförelse med nuvarande reglerade flöden, samt att arbeta med högupplöst data (dygns- eller, i förekommande, fall timdata).

När hydrologin förändras även förutsättningar för strömningsmekanik i vattendragen vanligen benämnt hydraulik, bl.a. genom att vattenhastighet och flöde förändras vid olika tidpunkter samt att fallhöjden är koncentrerad till placeringen av kraftverket. En annan betydelsefull faktor för hydraulik är förändrad morfologi genom reglering t.ex. kanalisering, muddring eller överdämning, vilket påverkar hur vattnet strömmar. Genom att utifrån hydrologi

och geomorfologi översätta den hydrologiska påverkan till påverkan på hydrauliskt habitat kan man uppskatta den sammanlagda hydromorfologiska förändringen.

Att tänka på vid arbete med hydrologi

1. Vilka kraftverk är klassade som kraftigt modifierade vatten (KMV)? Kraftverk klassade som KMV bör uppnå GEP medan övriga bör uppnå GES och bör därför ha en mer omfattande ekologisk reglering. Se Renöfält m.fl. (2017).
2. På vilket sätt är reglerade flöden förändrade jämfört med oreglerade flöden? Analysen kan göras genom att använda sig av Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) eller The Dundee Hydrological Alteration Method, (DHRAM). IHA och DHRAM delar upp flödet i fem olika grupper med olika egenskaper som tillsammans representerar vattendragets sammanlagda egenskaper som skapar vattendragets ekologiska karaktär (Tabell 20). Då IHA och DHRAM kvantifierar flödesförändringen mätt i m³/s kan resultatet användas för att kvantifiera mål och referens för arbetet med scenarier kopplat till ekologisk reglering. IHA och DHRAM tar endast hänsyn till hydrologi, vilket är korrekt då det är hydrologiska anpassningar genom turbin som ekologisk reglering handlar om.

Tabell 20. Grupper som beskriver vattendragets ekologiska karaktär enligt IHA- och DHRAM-modell.

Grupp 1. Magnitud av månatliga flöden
Grupp 2. Magnitud och varaktighet av årliga extremer
Grupp 3. När årliga extremer inträffar
Grupp 4. Frekvens och varaktighet av höga och låga flöden
Grupp 5. Grad och frekvens av flödesförändringar

5.1.4 Avstämning tekniska begränsningar och tekniska data

Tekniska begränsningar och data samlas in från verksamhetsutövare eller annan myndighet. Nedan följer en "check-lista" över data som kan behövas för att sätta villkor gällande flödesanpassningar. För förklaringar av begrepp, se kapitel 3.

När grunddata är kända sätts specifikationer och villkor (basfunktioner) för modellkörningen, t.ex. begränsningar av nolltappningar, storlek på minimitappningar som ska släppas genom respektive anläggning, och hur man fördelar spill mellan torrfåror och fiskvägar. Detta kommer att variera mellan olika avrinningsområden beroende på hydrografiska grundförutsättningar och hur regleringssystemet är uppbyggt. Detta moment behöver göras av en arbetsgrupp för respektive avrinningsområde eller en projektgrupp. Arbetet bör ske i samverkan med de parter som berörs.

a. Per dämningssområde

- Ägare
- Vattenförekomster som ingår
- KMV-klassning av vattenförekomst
- Normalproduktion/år

- Effekt
- Regler-, älvmagasin eller båda (funktion i systemet)
- Strömkraftverk: ja/nej
 - Om ja
 - Tar kraftverket emot reglerade flöden från ovanliggande kraftverk?
 - Förekommer nolltappning, finns tim- eller dygnsdata?
 - Finns det magasin med lagringsfunktion av vatten i älven?
 - Finns all fallhöjd kvar och är forsarna intakta (eller överdämda)?
 - Påverkar regleringen vattenstånden i vattenförekomsten?
 - Finns det data för att mäta regleringspåverkan (hydrologiskt och/eller morfologiskt)?
- Förekommer korttidsreglering – vattenstånd resp. flöden? Vattenstånds- eller flödesdata med timupplösning för båda.
- Förekommer nolltappning? Antal perioder och längd. Timdata behövs.
- Kartläggning av oplanerat spill genom utskov under 10 år. Timdata behövs.

b. Per anläggning

- Q_{medel} (m^3/s) Ange vilka år som verksamhetsutövaren ska lämna uppgift på.
- MLQ (m^3/s)
- Q_{max} turbin (m^3/s)
- Q_{min} turbin (m^3/s)
- Nolltappningsrapport per timme med data från torrår, våtår respektive normalår, för att ge en uppfattning om mellanårsvariationen.
- Magasinsvolym (Mm^3)
- Fallhöjd, damm (m)
- Fallhöjd, fiskväg (m)
- Fallhöjd, turbin (m)
- Turbintyp (francis, kaplan eller pelton)
- Antal turbiner
- Utbyggnadsvattenföring/turbin (m^3/s)
- Totalverkningsgrad för anläggning (%), vilken delas upp Q_{min} , Q_{max} , verkningsgradstoppen, flöden högre än Q_{max} , samt några värden där emellan)
- Gravitationskonstant (9,81 på våra breddgrader)
- Tunnel, omledning av vatten, längd (m)
- Regleringsgrad (%)
- Dämningsgräns (m över havet) (datum och meter)
- Sänkningsgräns (m över havet) (datum och meter)

- Minimitappning genom turbin enligt vattendom (datum och m³/s)
- Övriga villkor i vattendom, t.ex. platsspecifika villkor gällande vattenstånd och flöden, till exempel en viss vattenståndsnivå vid ett visst datum, eller ett visst högsta vattenflöde för att klara isvägar, tappningsbegränsningar vid isläggning)
- Hur tappas vattnet från magasinet, från botten eller från ytan? (Intag meter från dämningssgräns)
- Torrfåra, Ja/Nej (antal om flera)
- Torrfåra, längd (m)
- Torrfåra/omlöp, minimitappning (datum och m³/s)
- Minimitappning i fiskväg (datum och m³/s)
- Utloppskanal, längd (m)
- Betydelse för balans- och reglerkraft. (relativt reglerbidrag: värde/klass).
- Dammsäkerhetsfrågor
- Översvämningsrisker vid höga flöden enligt plan hos länsstyrelserna (riskområden).
- Eventuella synpunkter angående tillsyn, etc.

5.1.5 Vattenhushållningsbestämmelser

Vattenhushållningsbestämmelser regleras i vattendom och ger ett regelverk som styr hur kraftverken körs. Regelverken varierar mellan olika avrinningsområden och kraftverk. Samtliga vattenhushållningsbestämmelser samlas in och kopplas till kraftverk och vattenförekomst. Arbetet med ekologisk reglering och basfunktioner kan leda till nya vattenhushållningsbestämmelser.

Exempel på vattenhushållningsbestämmelse:

- Dämningssgräns och sänkningsgräns enligt vattendom
- Begränsning av vattenståndsvariation (korttidsreglering) enligt vattendom
- Minimitappning till torrfåra enligt vattendom
- Minimitappning genom turbin enligt vattendom
- Begränsningar av flöde vid isläggning enligt vattendom
- Maxtappning genom turbin enligt vattendom
- Frivilliga begränsningar och överenskommelser

5.2 ANALYS AV AVRINNINGSSOMRÅDET

I analysen av avrinningsområdet är geografiska informationssystem (GIS) och kartbilderna viktiga. I ProdBRisk-körningarna kommer varje kraftverk att vara en modul i modellen. I modellen utförs optimeringar och simuleringar med systemperspektiv, och output från modellen ger produktionsförändring mätt i produktion (kWh), effekt (MW), förändring av magasinvolym (km³) samt flöde (m³/s). Även om vi bara inför ekologisk reglering i till exempel ett kraftverk presenteras resultatet för hela avrinningsområdet, eftersom en flödesåtgärd oftast påverkar både nedströms och uppströms liggande kraftverk. Informationen om avrinningsområdet kan dokumenteras som lager i GIS-program med information

om överledningar, torrfåror, dammar, trummor, morfologiska åtgärder, tekniska och biologiska data i olika GIS-skikt. En export av GIS-lager från VISS, som uppdateras med specifika lager med kraftverksdata är behjälpligt (<http://viss.lansstyrelsen.se/>). Syftet är att öka förståelsen för avrinningsområdet och att lokalisera kraftverk och dammar med liknande funktion i systemet. GIS möjliggör att ta hänsyn till naturvärden och kulturvärden samtidigt som man analyserar tekniska begränsningar och produktionsförluster. En annan fördel med att arbeta med GIS som utgångspunkt är att det finns ett flertal applikationer som kan användas vid beräkning av miljönytta samt hydrauliska effekter i GIS, t.ex. GeoRas.

5.3 VAL AV DELOMRÅDEN FÖR ANALYS

I ett system kan det vara nödvändigt att olika anläggningar har olika nivåer av ekologisk reglering (basfunktioner). Därför är det första steget att dela upp avrinningsområdet i delområden med likartad reglering. Ett delområde kan vara till exempel:

- en sträcka av älven med likartad reglering
- alla älvmagasin med dygnsreglering nedströms ett regleringsmagasin med årsmagasiner
- de sista magasinerna före havet med likartad reglering
- reglerade biflöden
- områden som särskilts beroende på om miljö kvalitetsnormen är GES eller GEP
- områden med höga naturvärden

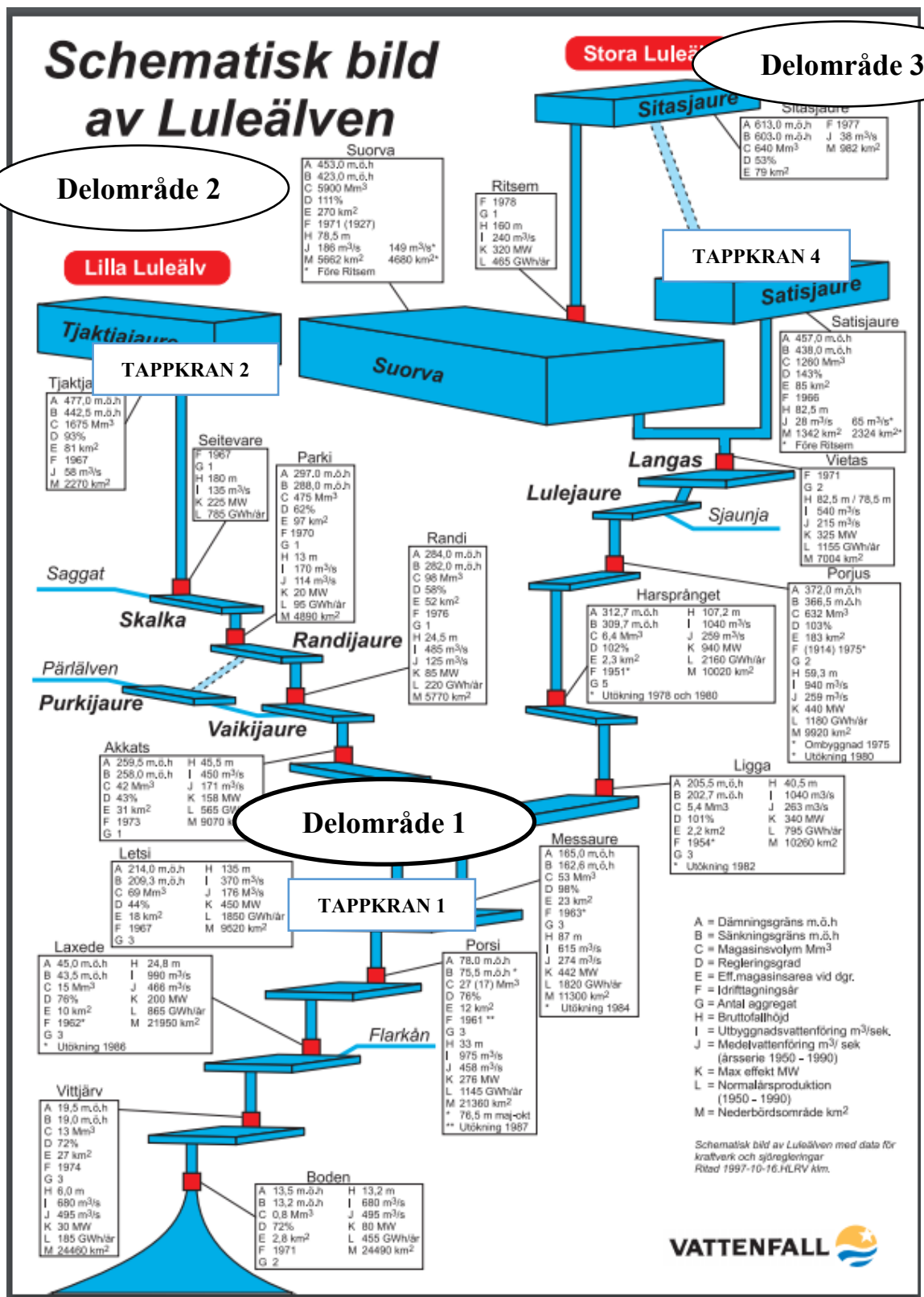
Uppdelningen i delområden behålls genom hela modelleringen för alla scenarier. Det är viktigt att fatta ett genomtänkt beslut för att slippa "börja om".

Olika grenar i avrinningsområdet som rinner samman

Ett avrinningsområde består ofta av flera olika grenar som rinner samman i huvudfåran på väg mot havet. Ibland är det en oreglerad del av avrinningsområdet men det kan också vara en reglerad del. Ibland kan det finnas överledningar av vatten från biflöden till huvudfåran till kraftverk "högre" uppströms i huvudfåran än biflodets naturliga utlopp för att öka flödet i kraftstationer i huvudfåran. De olika grenarna av avrinningsområdet kan vara reglerade på olika sätt och i olika omfattning. Det är därför nödvändigt att beräkna ekologisk reglering för varje gren separat men i ett systemperspektiv, d.v.s. för hela avrinningsområdet. När alla grenar är konsekvensbeskrivna så modelleras ett scenario för alla grenar samtidigt.

Älv- och regleringsmagasin

Ett reglerat avrinningsområde består av magasin med olika funktion i systemet, t.ex. älvmagasin med korttidsreglering som styr vattentillgången till kraftstationen och regleringsmagasin där vatten lagras mellan säsonger. Vissa dämningsområden kan ha funktion som både älv- och regleringsmagasin. Regleringsmagasinen med mycket vatten styr nedströmsliggande magasin hydrologisk genom att agera som en vattenkran som tappar vatten. Om vattenkranen stängs tvingas nedströmsliggande magasin att sluta producera, och omvänt, om kranen är helt öppen tvingas nedströmsliggande magasin att producera (eller öppna utskoven och spilla vatten) för att klara att hålla vattenstånden inom dämnings- och sänkingsgräns.



Figur 45. Schematisk bild av Luleälven.

Biflöden, reglerade

Biflöden kan vara reglerade i stor omfattning och ha sjöar med stor lagringskapacitet. Många reglerade biflöden som levererar vatten med säsongsvariation anpassat till regleringen påverkar huvudfåran, vilket innebär att biflöden bör läggas in i modellen om den ska vara rättvisande.

Biflöden, oreglerade

Oreglerade biflöden som levererar en större mängd vatten påverkar den reglerade huvudfåran eftersom det under perioder med höga flöden kommer mycket vatten. Biflödets vatten innebär att man måste hålla produktionen igång och omfattningen av korttidsreglering samt nolltappning minskar. Det är därför en god vana att ha kontroll på vilka oreglerade biflöden som finns i avrinningsområdet. Biflöden med oreglerade flöden påverkar huvudfåran positivt på så sätt att det är lättare att införa ekologiska flöden.

Exempel Luleälven

Den ekologiska reglering som beskrivs nedan skulle ge stora produktionsbortfall i Luleälven samt ha stor påverkan på balans- och reglerkraft, vilket gör att exemplet inte kan anses som realistiskt. De fyra sista magasinen i Luleälven är älvmagasin med likartade körningar och utgör delområde ett. Det är lämpligt att utföra en analys av dessa anläggningar som ett delområde. Genom reglering av dessa kraftverk kommer även ovanliggande anläggningar att påverkas, varför resultatet redovisas för hela Luleälven. Motsvarande bör sker för Lilla Luleälven (delområde 2) och Stora Luleälven (delområde 3).

Magasinen i delområde 1, regleras genom "tappkran 1", Letsi i Lilla Luleälven. Delområde 2, regleras genom "tappkran 2", Tjaktjajaure i Stora Luleälven.



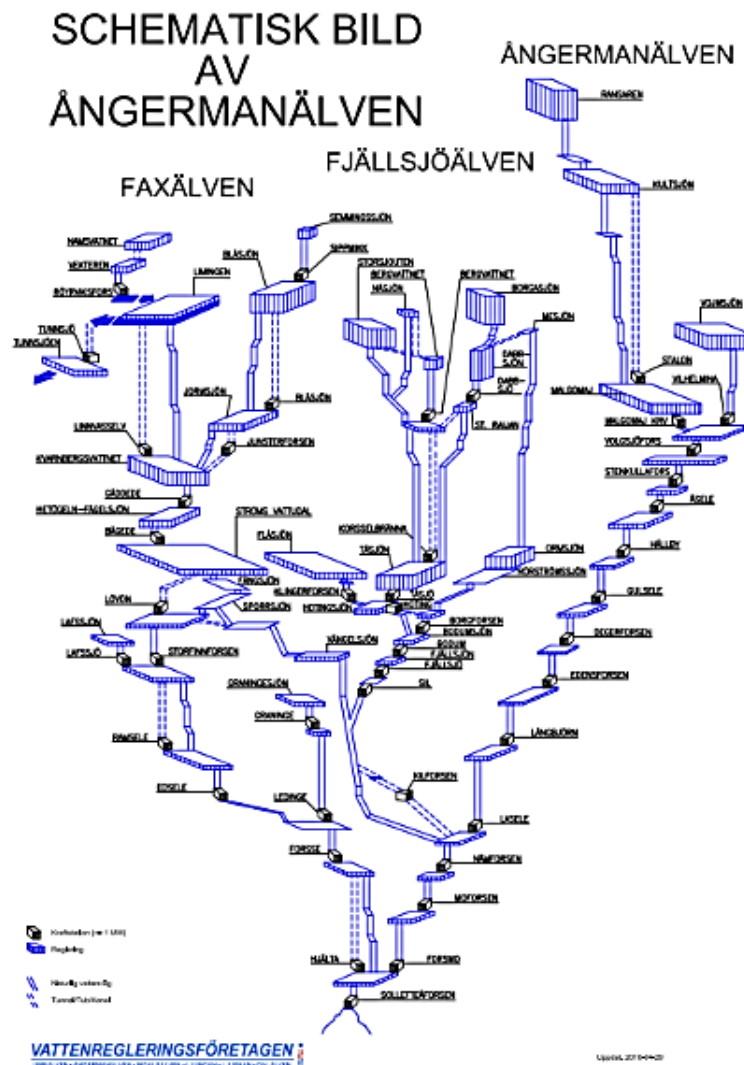
Delområde 3, regleras genom "tappkran 3 och 4", Suorva och Satisjaure (Figur 45). Det är viktigt att förstå vilka anläggningar som reglerar vattendraget. Om man minskar vattenflödet från till exempel Suorva och Satisjaure tvingar man fram en ökad reglering från Tjaktjajaure. Eller om man förändrar regleringen vid Letsi kraftverk får man en effekt både uppströms och nedströms. I Luleälvens avrinningsområde skulle ett fjärde område kunna vara

tänkbart och det är biflöden som är reglerade med småskalig vattenkraft. Genom att lägga in reglerade biflöden som egna moduler i modellen kan man studera hur en återställning till naturliga flöden av biflöden påverkar huvudfåran. Detta scenario är intressant i vattendrag som har många små reglerade biflöden och med sjöar med lagringskapacitet av vatten.

Exempel Ångermanälven

Ångermanälven är ett exempel på ett avrinningsområde med ett flertal sidogrenar som är reglerade i olika omfattning och kräver ett arbetssätt där man kan se konsekvenser separat för varje gren. I våra scenarier kör vi först varje område för sig och lägger sen ihop områdena så att vi får en samlad konsekvensanalys för avrinningsområdet. Oreglerade biflöden tas hänsyn till i analysen, men de ligger

inte som egna moduler eftersom de är oreglerade (d.v.s. de följer tillrinningen). Genom att arbeta med avrinningsområdet och bryta upp analysen i mindre delar samt att resultatet redovisas i för hela avrinningsområdet blir det möjligt att studera hur olika kraftverk påverkas av olika scenarier av ekologisk reglering i respektive delområde, vilket ger ett beslutsunderlag.



Figur 46. Karta över Ångermanälvens avrinningsområde. Källa: Vattenreglering.se.

5.4 BASFUNKTIONER I AVRINNINGSOMRÅDET (NYA VATTENHUSHÅLLNINGSBESTÄMMELSER)

Scenarier består av kombinationer av olika basfunktioner. Genom att upprätta ett flertal scenarier erhålls ett beslutsunderlag som ger en beskrivning av olika alternativ med varierande energi- och miljönytta. Innan man kan starta arbetet med beräkningar av ekologisk reglering, måste man beräkna vilka hydrologiska begränsningar som ska konsekvensbeskrivas för avrinningsområdet. Begränsningarna kallar vi för basfunktioner och dessa ska registreras i programvaran för att ge scenarier. Om ekologisk reglering genomförs kommer basfunktionerna ingå i framtida vattenhushållningsbestämmelserna. Våra modeller kan liknas vid en version av "Building Block Methodology" utvecklad i Sydafrika (King m.fl. 2008).

Basfunktioner (de hydrologiska begränsningarna) mäts i flöde (m^3/s) eller vattenstånd (m) för en viss tidsperiod enligt Tabell 21. Varje basfunktion som ska användas i scenarier måste ha ett värde mätt i meter eller m^3/s som kan varieras på många olika sätt för olika delar av vattendraget. Basfunktionens gränsvärden eller parametrar är specifika för kraftverket och dämningsområdet. Som exempel kan man införa begränsningar under olika delar av året eller med en mängd olika flöden och vattenstånd för olika kraftverk. Begränsningen av hur många scenarier som körs utgörs av tid och pengar, d.v.s. hur många scenarier som man kan modellera och hur många man har finansiering för.

I detta kapitel går vi igenom basfunktioner och dess funktion, val av värden, miljönytta m.m. Nedanstående arbetsordning för basfunktioner föreslås för avrinningsområdet:

1. Val av basfunktioner för respektive delområde och värden för dessa. Flera alternativ kan vara möjliga.
2. Körning av scenarier med basfunktion för delområden i ProdRisk eller motsvarande mjukvara med systemperspektiv.
3. Val av kombinationer av basfunktioner för fortsatt körning av scenarier.

Exempel

Vattendrag X har höga naturvärden och delar av vattendraget är klassat som Natura 2000-område. Hela vattendraget har en hydromorfologisk regleringspåverkan, om än med varierande omfattning. Vattendraget har vissa delar som är klassade som KMV som ska uppnå GEP, medan resterande delar av vattendraget ska uppnå GES. Vi beslutar därför att man behöver konsekvensbeskriva samtliga basfunktioner gällande hydrologi och produktionsförluster. I områden som ska uppnå GES särskiljs som delområden då det antas att dessa ska ha en större omfattning av ekologisk reglering. Även områden med höga naturvärden kan tänkas vara ett delområde. Ofta är områden som ska uppnå GES områden med höga naturvärden. Övriga delområden som ska uppnå GEP bör vara hydrologiskt likartade områden, d.v.s. att kraftverken körs på ett likartat sätt. För att kunna särskilja konsekvenserna för varje basfunktion utför vi beräkningar på varje basfunktion separat som scenario för varje delområde varpå vi börjar "lägga på" basfunktioner i olika kombinationer i olika scenarier. Resultatet är ett beslutsunderlag med cirka 20 till 25 scenarier med ett resultat som

visar på produktionsförluster mätt i kWh, Mkr och m³/s. I Tabell 21 beskrivs de föreslagna basfunktionerna.

Tabell 21. Föreslagna basfunktioner som reglerar flöden och vattenstånd.

	Basfunktion
A	Nolltappningsrestriktion (lägsta flöde genom turbin)
B	Spill i torrfåra och omlöp/biokanal, (konnektivitet och habitat)
C	Spill i fiskväg, (konnektivitet)
D	Säsongsanpassade flöden (höga och låga flöden)
E	Vattenståndsanpassning
F	Naturlig flödesregim

5.4.1 Basfunktion - Nolltappningsrestriktion

Syftet med basfunktionen är att undvika stillastående vatten genom att sätta en begränsning om lägsta tillåtna flöde. Genom nolltappningsrestriktion regleras det lägsta flödet (m³/s) genom turbin och i förlängningen lägsta tillåtna flöde i vattendraget. Nolltappningsrestriktion kan ske genom:

1. Nolltappningsförbud och att lägsta tillåtna flöde anges i m³/s.
2. Reglering av maximalt antal timmar som nolltappning får råda.
3. Reglering med lägsta flödet i m³/s i medel för en viss tidsperiod, till exempel per timme, dygn eller vecka.

Tappning ska i första hand ske genom turbin och anpassas efter det lägsta flöde (m³/s) som maskinerna i kraftverket kan köras på utan risk för skador ($Q_{\min}$). Där det inte är möjligt att låta vattnet gå genom turbin alla timmar under hela året beroende på att lägsta turbinkapacitet är för hög tappas vatten genom spilluckor alternativt spill i torrfåra, omlöp eller fiskväg.

Basfunktionen kan formuleras på flera olika sätt, beroende på ekosystemets behov i avrinningsområdet samt vad som är en realistisk förlust i energiproduktion. Till exempel kan man föreskriva regler som förbjuder nolltappning längre än ett visst antal timmar eller en viss mängd vatten som ska tappas under en viss tid. Det viktiga är att minimitappningen anpassas till lägsta turbinkapacitet, för att ge minimal produktionspåverkan samt att det finns nyttoberäkningar som styrker att vald mängd vatten fyller en ekologisk funktion, d.v.s. har en miljönytta. Effekten av åtgärden kan formuleras som:

1. Minskat reglerbart flödesintervall
2. Minskat antal nolltappningstimmar
3. Ökad vattenhastighet i olika sektioner

Lägsta flöde genom turbin bör stämmas av mot totalvattenföring, d.v.s. vattnet ska räckta hela året och vara tillräckligt för nedströms liggande anläggningar. Synkroniseringen mot totalflöde sker genom beräkningar/modellering.

Steg 1. Uppdelning av avrinningsområdet efter systemfunktion

I ett system kan det vara nödvändigt med olika regler vid olika anläggningar. Därför är det första steget att dela upp avrinningsområdet i delområden med

likartade regler för nolltappning (se avsnitt 6.3 ovan). Den uppdelning i delområden som väljs behålls genom hela modelleringen av alla scenarier för att få jämförbara resultat.

Steg 2. Nolltappningsberäkningar per timme för varje kraftverk

Sammanställ och redovisa antal timmar med nolltappning per dag och valt torrår, våtår och normalår för att redovisa mellanårsvariation. Detaljerad beskrivning av hur nolltappningsrapporten upprättas ges i Avsnitt 3.2.4 Nolltappningsrapport. Datat kan redovisas med olika figurer för enklare presentation. Tappningsrapport med redovisning av antal timmar med nolltappning kan erhållas från verksamhetsutövare.

Steg 3. Beslut om lägsta tillåtna flöde genom turbin

Nästa steg är att ta fram tabellen med angivna värden för $Q_{\min}$, MQ och MLQ samt nolltappningsanalysen enligt steg 2. Sätt ett värde för lägsta tillåtna flöde i vattendraget, alternativt längsta tillåtna nolltappningsperiod i timmar eller lägsta tillåtna vattenmängd genom turbin för en tidsperiod per kraftverk och delområde. Om önskad minimitappning understiger $Q_{\min}$ kommer anläggningen tvingas att spilla vattnet vid sidan om turbinen.

Sammanställ i tabellform lägsta tillåtna flöde mätt i m^3/s för varje anläggning. Om det finns avvikande perioder under året görs sammanställningen per vecka. Om nolltappning är tillåten men det finns en restriktion gällande antal timmar, eller en begränsning som anger minsta tillåtna vattenvolym under en tidsperiod, anges det på motsvarande sätt i tabellen. Tänk på magasinvolymen i en damm. Om det finns en nolltappningsrestriktion i en anläggning bör motsvarande restriktion införas i alla nedströms liggande anläggningar.

5.4.2 Basfunktion - Spill genom fiskväg, omlöp eller torrfåra vid sidan om turbin

I denna basfunktion spiller vi vatten med säsongsvariation förbi turbinerna i torrfåror och omlöp, vilket ger ekologiska nyttor som konnektivitet och möjlighet att återskapa habitat med strömmande vatten, vilket det råder stor brist på i reglerade vattendrag. I omlöpen och torrfåror kan habitat återskapas för t.ex. öring och andra strömlevande organismer. Med fiskvägar avser vi tekniska konstruktioner som i sig inte erbjuder ett nytt strömhabitat, utan bara är till för att öka fiskvandring.

Ekologisk reglering innebär att man strävar efter att reglera flödet genom turbin så att det efterliknar ett naturligt flöde i hela, eller stora delar av vattendraget. Vatten till fiskvägar och omlöp innebär spill och mängden vatten är ofta så liten att det inte bidrar till nya ekologiska flödesmönster på stor skala. Syftet med spillet är dock inte att skapa nya flödesmönster utan det primära är att återskapa en del av det habitat med strömmande vatten som förlorats vid reglering, eller att återskapa konnektiviteten via en fiskväg. Emellertid kan spill i ett flertal torrfåror och omlöp efter varandra, där spillet sker med säsongsvariation, påverka totalflödet så att flödesmönstret mer liknar det naturliga. Detta är i sig en god anledning att säsongsanpassa flödet, men den största nyttan är givetvis för omlöpet och

torrfåran i sig. Det behövs generellt en naturlig flödesregim för att initiera naturliga processer i ekosystemet. I fiskvägar där vattenmängden som rinner är begränsad och som kanske inte är i drift hela året är det primära syftet konnektivitet. Även här kan dock en säsongsanpassning av flödet vara viktig, framför allt för att initiera vandrings.

Valet av konnektivitetslösning är platsspecifik. Givetvis bör omlöp prioriteras eftersom de kan ge både konnektivitet och ett nytt strömhabitat. Vid stora fallhöjder, besvärlig brant terräng med mycket berg eller installationer kring dammen kan det vara nödvändigt att använda sig av en teknisk fiskväg. Är det enbart laxfisk eller andra goda vandrare som skall passera kan en teknisk fiskväg vara en godtagbar lösning.

Väl fungerande fiskvägar bör föra vatten under en stor del av året såvida inte fiskvägen är inriktad på en enskild art med väl kända behov. Ett vanligt problem är att det används för lite vatten i fiskvägen för att locka fisken till mynningen i tillräckligt hög utsträckning. Ofta behöver extra lockvatten användas för att få fisken att hitta fiskvägen, eller fiskvägarna eftersom det i breda vatten kan vara nödvändigt att ha flera fiskvägar, och vid behov även flera ingångar till fiskvägarna. En god placering av fiskvägens mynning kan minska behovet av lockvatten.

Omlöp och torrfåror bör, i likhet med naturliga vattendrag, ha en fastställd minsta vattenföring som är tillräcklig för att bevara sträckans habitatvärden. Om möjligt bör flödet säsongsanpassas, och följa vattendragets naturliga flödesmönster. Vid arbetet med basfunktioner gällande fiskvägar och omlöp/torrfåror är det en fördel att dela upp dem i en grupp som har säsongsanpassade flöden och en grupp som har en mer statisk tappning delar över året. Detta kan man läsa mer om i Havs- och vattenmyndighetens rapporter 2013:15 (Degerman m.fl. 2013) samt rapport 2013:11 (Näslund et al. 2013).

Steg 1. Val av kraftverk med torrfåror, omlöp eller fiskväg

I det här steget ska man välja vilka kraftverk som har torrfåror som bör ha minimitappning och vilka kraftverk som har förutsättningar för omlöp. Beslutsunderlag utgörs av inventering av torrfåror och miljön kring kraftverket, hydrologi och information från verksamhetsutövare gällande spill till torrfåra. Övriga inventeringar såsom elfisken (fiskförekomst), bottenfauna eller strandvegetation vägs in i beslutsunderlaget.

Steg 2. Val av säsongsanpassade flöden till torrfåror och omlöp

Det kan vara svårt att föreslå lämpliga flöden till en torrfåra eller omlöp. Beslutet kan underlättas av hydraulisk modellering av torrfåran och omlöpet för att konsekvensbeskriva hur mycket habitat olika flöden ger beroende på mållart eller organismgrupp. En annan lösning kan vara att dela upp flödet i ett flertal basfunktioner på lägre respektive högre flödesalternativ. Mer om detta kan läsas i Havs- och vattenmyndighetens rapport 2015:22 (Renöfält m.fl. 2015).

Steg 3. Val av flöden till fiskväg

I fiskvägar ska beslut om vattenmängd fattas samt vilka veckor per år som fiskvägen ska vara öppen och vattenförande. Det är svårt utan projektering att föreslå mängd vatten till en fiskväg och därför kan det vara bra att ha ett lägre och ett högre alternativ som täcker in den eventuella variationen.

Steg 4. Sammanställning

Sammanställ i tabellform per anläggning flöden per vecka för torrfåror, omlöp och fiskvägar för hela året. Tabellen kommer vid modellering att utgöra volymer av planerade spill för varje anläggning.

Effekten av åtgärden kan formuleras som:

1. Sträcka nytt habitat i meter tillgängligt för vandrande fisk
2. Ökad yta strömmande habitat alternativt ökad funktion i torrfåra

5.4.3 Basfunktion – Säsongsanpassade flöden

Reglerade vattendrag har ofta en tidsmässigt annorlunda säsongsvariation i flöden jämfört med ett oreglerat vattendrag, vilket är negativt för vattendragets ekosystem. Syftet med basfunktionen är att återskapa delar av det naturliga flödet och därigenom återskapa av processer och ekologiska funktioner i vattendraget (Ward 1995; Stanford m.fl. 1996; Poff m.fl. 1997; King & Louw 1998; Richter m.fl. 1998; Lytle & Poff 2004; Richter & Thomas 2007; Renöfält m.fl. 2010; Poff & Zimmerman 2010). Genom att bara sätta regler för höga och låga flöden lämnas ett utrymme för produktion och reglering. Basfunktionen ger regler för vilka flödesintervall som går genom turbin, beskrivet som medelvärde per vecka, fördelat över perioder (veckor) som flödesintervallen råder (Figur 9). Vad man gör i basfunktionen är att omfördela vatten på säsongsbasis, vilket i förlängningen innebär att man även flyttar tidpunkten för produktion. Vid återskapade höga och låga flöden flyttas produktion från vintern till våren.

När man inför till exempel höga flöden under en period, är man även tvungen att införa låga flöden under en annan tidsperiod för att vattenhushållningen ska fungera. Vattenvolymen i vattendraget är begränsad och det är absolut nödvändigt att vattenhushållningen fungerar för alla kraftverk i avrinningsområdet. Om man använder ett optimerings- eller simuleringsprogram som t.ex. ProdRisk för att konsekvensbeskriva effekten av ekologisk reglering framgår konsekvenser på vattenhushållningen i resultatet av modelleringen. Det är ett moment som förutsätter att man har historiska uppgifter på hydrologin i vattendraget. Det underlättar om man har arbetat med metoderna Index of Hydrological Alteration (IHA) eller Dundee Hydrological Regime Alteration Method (DHRAM) för att analysera vilka flödesfunktioner som saknas i vattendraget när man jämför naturliga och reglerade flöden. Data på oreglerade flöden kan laddas ner från SMHI:s vattenwebb eller så kan man återskapa oreglerade flöden med hjälp av modellen och reglerade flöden. För mer information, se Renöfält m.fl. (2017).

För att få en fungerande basfunktion utgår man från de anläggningar som har vattenlagringsfunktion av vatten (sjöregleringsmagasin). Genom att omfördela

vattnet mellan säsonger för dessa anläggningar så tvingas nedströmsliggande anläggningar att anpassa sig. Dessa kraftverk begränsas av att de är tvungna att ta det vatten som kommer från anläggningar uppströms samt vatten från biflöden. Som vi har nämnt tidigare är ofta flöden och vattenstånd frikopplade från varandra i en reglerad älv. Det innebär att när vi återskapar *delar av flödet* så behöver det inte innebära att vattenstånden anpassas och följer med för att anta ett mer naturligt mönster. Teoretiskt kan vattendraget ha höga flöden och låga vattenstånd samtidigt. Orsaken till att vattenstånd och flöden inte länkas samman är att vi endast återskapar delar av flödet, vilket kan innebära en lägre påverkan på lagringskapacitet och reglerförmåga. I ett vattendrag som har kapacitet att lagra vatten och reglera, kan man hålla isär vattenstånd och flöde. I de resultat som erhålls finns output på vattenstånd, och för att bedöma om åtgärden påverkar vattenstånden kan dessa analyseras. Svagheten med dessa vattenståndresultat är att vattenståndsförändringen kan presenteras som ett medelvärde per vecka och kan därigenom ge missvisande resultat. Det finns möjlighet att studera utvalda representativa veckor och därigenom erhålla resultat med högre upplösning, vilket minskar risken att korttidsregleringen ökar i ett scenario utan att det upptäcks. För att minimera den risken kan säsongsanpassade flöden i de vattendrag som har nolltappning kombineras med basfunktionen nolltappningsrestriktion. Det är tänkbart att syftet med åtgärderna är att erhålla både en flödes- och vattenståndsanpassning och i det fallet bör basfunktionen kombineras med basfunktionerna anpassning av vattenstånd och nolltappningsrestriktion.

Steg 1. Naturliga flöden per dygn

Naturliga flöden tas fram för alla anläggningar. Naturliga flöden kan vara (1) historiska data (2) data från SMHI (S-hype) eller (3) beräknade naturliga flöden från ProdBRisk.

Steg 2. Reglerade flöden per dygn

Reglerade flöden tas fram för alla anläggningar. Reglerade flöden erhålls i första hand från verksamhetsutövare och i andra hand från SMHI (S-hype).

Steg 3. Ekologisk behovsanalys

Analysen vilar på två moment. Det första momentet bygger på inventeringar av naturvärden samt analys av miljöproblem i avrinningsområdet. Naturvärdesinventeringar och miljöproblem kopplas till målbild och referensförhållanden för avrinningsområdet och vattenförekomster. Var behövs åtgärder? Vilka flöden behövs för att motsvara målbild? Det andra momentet består av en analys av naturliga och reglerade flöden och att studera flödesavvikelsen. Flödesavvikelsen relateras till målbild och kopplas till naturvärden samt miljöproblem.

Steg 4. Beslut om säsongsanpassade flöden

Säsongsanpassade flöden kommer att utgöras av olika flödesintervaller per dygn eller vecka för alla anläggningar i avrinningsområdet. För att få en korrekt beskrivning kopplat till vattenhushållning och nuvarande vattenhushållnings-

regler bör ProdRisk eller motsvarande mjukvara användas. Effekten av åtgärden kan formuleras som:

1. Minskat reglerbart flödesintervall
2. Minskad flödesavvikelse jämfört med naturliga flöden
3. Ökar vattenhastighet i olika sektioner
4. Restaureringsåtgärder som får ökad funktion, t.ex. en nedströms strömsträcka
5. I förekommande fall anpassning av vattenstånd
6. I förekommande fall restriktion av nolltappning.

5.4.4 Basfunktion – Vattenståndsanpassning

Syftet med anpassning av vattenstånd är att på olika tidsskalor anpassa vattenstånden i dämningsområdet så att de liknar naturliga vattenstånd inom ramen för vad olika organismgrupper och ekologiska funktioner behöver. Vattenståndsanpassning kan skilja sig åt för regleringsmagasin med stor amplitud och älvmagasin med liten amplitud. Anpassning av vattenstånd kan ske på olika tidsskalor beroende på vad man vill uppnå med anpassningen. I en oreglerad älv styrs vattenstånden av flödet, medan i en reglerad älv kan vattenstånden vara frikopplade från flödet. Vattenstånden i magasin styrs vid dammarna och balansen mellan inkommande vatten från uppströms liggande områden, plus tillrinning i magasinet, minus tappning från dammen, antingen till turbin i kraftverk eller som spill genom utskov.

Kraftverken är tekniskt konstruerade för vattenstånd liggande inom dämnings- och sänkingsgräns. För att intag, luckor och annan teknik ska fungera bör även miljöanpassade vattenstånd ligga inom dämnings- och sänkingsgräns. För åtgärder utanför dessa gränser bör utredning ske för att analysera om åtgärden är möjlig med nuvarande tekniska förutsättningar, men det är då nödvändigt med ny vattendom.

Miljöanpassning av vattenstånd kan innebära begränsningar av korttidsreglering i älvmagasin, vilket innebär produktionsbortfall eller åtminstone påverkan på tidpunkten för produktion. Begränsningarna i korttidsreglering innebär oftast att en ökad andel av produktionen sker under lägre verkningsgrad. Det kan också innebära att kraftverket inte kan ta in allt vatten som kommer uppströms ifrån och tvingas att spilla. I förlängningen kan minskad korttidsreglering även innebära minskad balans- och reglerkraft.

Det är viktigt att förstå att om man inför stora miljöanpassningar av vattenstånden kommer det även att påverka flödet. Flödet "tvingas" då att bli mer likt naturlig säsongsvariation eftersom lagringskapaciteten i magasinen minskar med ökade restriktioner på vattenståndsvariation. En annan aspekt gällande vattenståndsanpassning att tänka på är att vattendraget är morfologiskt förändrat vilket påverkar volymen i vattendraget samt förväntad effekt i form av hydraulik kommer att skilja sig från ett oreglerat tillstånd.

Vattenståndsanpassning införs i våra scenarier efter att nolltappningsrestriktion införts. Det innebär att åtgärden förutsätter att restriktioner av nolltappningen är gjorda, eftersom miljöanpassningen av vattenstånd i annat fall kan medföra att

omfattningen av nolltappning i vissa fall ökar, och i så fall ge upphov till ökade skador nedströms magasinet med miljöanpassade vattenstånd.

Vattenståndsanpassning i älvmagasin

I älvmagasin finns tre huvudproblem kopplade till magasinens vattenståndsväxlingar: Dels kan förändringen av vattenstånd ske för snabbt jämfört med en oregrerad älv, dels saknas en naturlig säsongsmässig vattenståndsvariation med till exempel höga vattenstånd under våren som långsamt sjunker under vegetationsperioden. Ett tredje problem kan vara stora överdämningar som resulterat i att till exempel att forsar och strömmande habitat har dämats över. Genom att sänka dämningens gräns till mer naturliga nivåer kan man i vissa fall återskapa dessa miljöer.

En dämning och reglering av vattendrag förändrar ofta vattendragets morfologi, varför åtgärden kan innebära att hänsyn bör tas till den förändrade morfologin samt att åtgärden bör kombineras med fysiska restaureringsåtgärder. Syftena med miljöanpassning av vattenstånd i älvmagasin kan vara tre:

1. Ändring av vattenstånden bör inte ske för snabbt med tanke på till exempel strandning av fiskyngel. Genom att studera vattenståndens förändringstakt i relation till strandens lutning är det möjligt att bedöma hur många centimeter per timme som är lämpligt som maximal gräns.
2. Vattenståndsväxlingarna kan anpassas genom att gränserna för högsta och lägsta vattenstånd anpassas för att mer likna naturlig vattenståndsvariation på veckobasis, månad och säsong med tanke på till exempel strandvegetation, fisk och sedimentationsprocesser. För att gynna etablering av strandvegetation och möjliggöra att hela ytan mellan dämning- och sänkningsgräns kan hysa strandvegetation (givet att det finns lämpligt substrat och iserosionen på vintern inte är för intensiv) hålls vattenstånden nära dämningens gräns under en period som motsvarar vårfloden i naturliga vattendrag, följt av en period med vattenstånd nära sänkningsgränsen under sommarens senare del. Genom att begränsa amplituden minskar det reglerbara amplitudintervallet, vilket innebär att även höjnings- och sänkningstakten kan minska. Åtgärden innebär att nuvarande dämning- och sänkningsgräns behålls, men att ytterligare begränsningar av tillåten vattenståndsvariation sker under perioder av året.
3. Vattenstånds begränsningar under våren för att undvika torrläggning av fiskrom.
4. Vattenstånden kan sänkas för att minska negativa effekter av regleringsöverdämning under hela året. Avsänkningen syftar till att exponera till exempel forsar eller strömsträckor som blivit överdämda och därmed åter kan bli strömmande. Åtgärden kan anses ha en relativt stor produktionspåverkan då den innebär en minskad reglerförmåga eftersom den reglerbara volymen minskar samt att man får en minskad fallhöjd vid kraftverket.

Miljönyttan för anpassade vattenstånd i älvmagasin kan kvantifieras genom:

1. Att ange den area som berörs av att reglera för maximal förändringstakt gällande vattenstånd i centimeter per timme.

2. Att ange den area inom dämning- och sänkningssgräns som berörs av anpassning av vattenståndet där det finns potential för nyetablering av strandvegetation eller annan vald organismgrupp.
3. Att ange arean med strömsträckor och forsar som berörs av nedsänkning av vattenstånd.

Frågor att beakta och arbeta med vid anpassning av vattenstånd:

1. Har vattendraget stor betydelse i energisystemet i Sverige?
2. Vilken miljö kvalitetsnorm ska uppnås? GEP eller GES?
3. Ska vattendragets flöden återställas till oreglerade flöden?
4. Vilka magasin har lagringsfunktion av vatten på säsongsbasis och med vilken amplitud? Upprätta lista med sjö- och älvregleringsmagasin med dämning- och sänkningssgränser.
5. Finns det infrastruktur eller områden där extra hänsyn bör tas?
6. Vilka vattenstånd önskas i meter över havet och för vilka tidsperioder?
7. Är det möjligt att rymma dessa vattenstånd mellan dämning- och sänkningssgräns?
8. Hur mäts miljönyttan och för vilken organismgrupp?
9. För beräkningar per timme, se slutrapport Widén m.fl (2015).

5.4.5 Basfunktion – Naturlig flödesregim

Det finns stor vetenskaplig kunskap om betydelsen av naturlig flödesregim (Ward 1995; Richter m.fl. 1996; Poff m.fl. 1997; King & Louw 1998; King m.fl. 2003).

Återskapande av naturlig flödesregim görs genom att göra en modell av avrinningsområdet och lägga in i förutsättningarna att vattendraget saknar lagringskapacitet och reglerförmåga. Naturlig flödesregim innebär att man låter vattnet rinna genom turbin utan reglering. All lagringskapacitet saknas och ingen korttidsreglering är möjlig. Det är viktigt att komma ihåg att dammar och kraftverk fortfarande finns kvar, varför en morfologisk effekt av reglering finns kvar.

Som vi tidigare har nämnt är oftast flöde och vattenstånd i stort sett helt frikopplade från varandra i ett reglerat vattendrag där större delen av fallhöjden använts för utbyggnad. Ett magasin kan till exempel ha höga vattenstånd under låga flöden. Ekologisk reglering handlar om att återinföra både naturliga flöden och vattenstånd. När man inför ekologisk reglering av vattenstånd som märkbart minskar lagringskapaciteten i vattendragets magasin, påverkas flödet så att det blir mer naturligt eftersom man har infört ett regelverk som omöjliggör lagring och reglering av vatten. Detta för med sig att när vattendragets kraftverk tappar sin förmåga att lagra och reglera vattnet kommer vattenföringsregimen att bli mer lik tillrinningen från nederbörd i magasinets avrinningsområde. Med andra ord kan man genom att antingen höja eller sänka vattenstånd till dämningssgräns eller sänkningssgräns, återinföra oreglerade flöden. Stora förändringar av lagringskapacitet och reglerförmåga kräver dock en påverkansanalys i systemperspektiv.

Ekologisk reglering sker genom vattenståndsanpassning av sjöregleringsmagasin

Sjöregleringsmagasin har som funktion att samla vatten som ska användas vid ett senare tillfälle då energibehoven är större, vilket ger två uppenbara negativa miljöeffekter i form av dels reglerade flöden, som även är ett problem i nedströmsliggande anläggningar, och dels stor amplitud gällande vattenstånd. Vattenlagringen ger ett mönster med reglerade flöden som innebär att lite eller inget vatten tappas under vårflod och sommaren, medan det tappas mycket vatten under vintern (Figur 10). I regleringsmagasin innebär åtgärden naturlig flödesregim att amplituden mellan dämning- och sänkningsgräns blir mindre eller tas bort varpå sjöregleringsmagasinets lagringskapacitet blir mindre eller förloras (Figur 11).

Vattenståndsanpassning av sjöregleringsmagasin genom att magasinet förlorar lagringskapacitet är den enklaste åtgärden för att återställa flöden både i regleringsmagasinet och i vattendraget. Åtgärden påverkar alla nedströmsliggande stationer så att dessa stationer tvingas att köra kraftverken på oreglerade flöden, under förutsättningen att även betydande biflöden har oreglerade flöden samt att anläggningar nedströms saknar god lagrings- och reglerkapacitet. Att tvinga fram vattenståndsanpassningar genom flödesreglering får inte samma effekt eftersom lagringskapaciteten är större i den reglerade älven jämfört med då vattendraget var oreglerat. Om alla större magasin minskar den reglerbara volymen erhålls både höga och låga flöden vid en för ekosystemet mer korrekt tidpunkt. Systemet förlorar sin lagringskapacitet och reglerförmåga vilket tvingar fram naturlig flödesregim.

I Sverige finns det dammar i städer där utrivning eller förändrade vattenstånd kan få effekter på infrastruktur, varför konstanta vattenstånd utan reglering kan vara aktuella. För storskalig vattenkraft är vattenståndsanpassning av regleringsmagasin en åtgärd med mycket stora konsekvenser för elproduktionen och anses därför i regel inte realistiska. Åtgärden kan dock vara realistisk i anläggningar med mindre betydelse i energisystemet nationellt och som ska uppnå miljö kvalitetsnormen GES.

Åtgärden att återställa naturlig flödesregim innebär:

1. att vattenstånden i sjöregleringsmagasin aldrig får understiga dämningssgräns eller överstiga sänkningsgräns (konstanta vattenstånd) som tar bort all lagringskapacitet med syfte att ekologisk reglering av flöden råder i hela systemet.
2. att dämning- och sänkningsgräns anpassas med syfte att nå ekologisk reglering.
3. att reglerade biflöden avregleras genom att de fråntas lagringskapacitet och reglerförmåga.

Miljönyttan för naturlig flödesregim genom anpassade vattenstånd i regleringsmagasin kan sammanfattas som:

1. att oreglerade flöden återställs (höga, låga flöden, förändringstakt samt vattenstånd)

2. strandområden inom dämning- och sänkningsgräns som berörs av anpassning av vattenståndet får ökad potential för etablering av strandvegetation.
3. Vissa strömsträckor och forsar berörs av nedsänkning av vattenstånd vilket möjliggör förbättrat hydrauliskt habitat i med positiva effekter på t.ex. vattenhastighet, temperatur och reproduktionsområden.

5.5 SÄTTA UPP MODELLEN MED MODULER OCH SKAPA SCENARIER

När grunddata är kända sätts specifikationer och villkor för modellkörningen, t.ex. begränsningar av nolltappningar, storlek på minimiflöden som ska släppas genom respektive anläggning, hur man fördelar spill mellan torrfårar och fiskvägar. Detta kommer att variera mellan olika vattendragssystem beroende på hydrografiska grundförutsättningar och hur regleringssystemet är uppbyggt. Detta moment behöver göras av en arbetsgrupp för respektive avrinningsområde, alternativt av en projektgrupp. Många uppgifter bör kunna hämtas från vattenregleringsföretaget för respektive system, om ett sådant finns. En del finns i Vattenfalls hydrologiska arkiv (VHI).

Specifikationer av indata till optimerings- och/eller simuleringsprogram (ProdRisk):

- Flödesdata (veckomedelvärden) för minst 20 år
- Dämning- och sänkningsgränser samt säsongrelaterade regleringsrestriktioner
- Magasinskurvor (beskriver volym vid olika nivåer)
- Minimitappningar genom turbin och förbitappningar vid sidan om turbin
- Maximala turbinvattenföringar
- Vattenhushållningsbestämmelser
- Kurvor som beskriver samband mellan tappning (m^3/s) och produktion (MW) samt beräknade energiekvivalenter $\text{kWh}/\text{m}^3\text{s}^{-1}$

5.6 ANALYS AV RESULTAT

Resultatet från de olika scenarierna jämförs med nuvarande förhållande, som här kallas för "scenario 0", för att avgöra påverkan på produktion mätt i kWh, MW, MKR och m^3/s . Scenario 0 är en körning i ProdRisk med nuvarande vattenhushållningsbestämmelser och representerar nuvarande förhållanden efter avstämning mot verkliga data från kraftverken. Ekologiska flöden ger förändrad tappning genom turbin så att tappningen tillsammans med eventuellt spill mer liknar oreglerade flöden. Resultatet redovisas med varierande upplösning i tid (timme, dygn, vecka, månad, säsong samt mellanårsvariation).

Avrinningsområdesperspektiv/Interaktioner mellan kraftverken

Studera vilken anläggning produktionsförlusten uppstått och var miljönyttan bedöms uppstå. Produktionsförlusten kan uppstå vid annan anläggning än dit nyttan hänförs.

Spill av vatten

Vatten som inte går genom turbin förknippas med produktionsförluster. När vattnet inte kan gå genom turbin orsakat av att det är för mycket vatten, reparationer eller annat, spills vattnet genom luckor. Eftersom spill inte går att planera kan det vara svårt att tillgodogöra sig spill vid beräkning av ekologisk reglering. Vid spill till fiskvägar och torrfåror är syftet en ökad miljönytta. Spillet i fiskvägen eller torrfåran är reglerat i vattenhushållningsbestämmelser som syftar till att en viss mängd vatten skall släppas vid en viss tidpunkt i fiskvägar, torrfåror eller omlöp.

Prisintervall

Före datorernas tid hade man dag- och natttaxa i Sverige. Kilowatttimmespriset var högre på dagen och lägre på natten. I dag finns motsvarande system om än lite mer förfinat, med den skillnaden att konsumenten inte längre har natt- och dagtaxa. Energisystemet använder sig av fem prisintervall och som fördelar sig tidsmässigt enligt tabell 22 nedan. Intervall 1 som är det högsta prisintervallet kan inträffa när som helst under dygnet när priset är lite högre än vanligt och varar 10 timmar per vecka. Förenklat kan man säga att prisintervall 2 och 3 inträffar på vardagar och oftast på dagen. Intervall 2 är 50 timmar lång per vecka samt intervall 3 är 60 timmar långt per vecka. Intervall 4 och 5 inträffar på natt och helg, då energibehoven är lägre. De är vardera 24 timmar långa per vecka. Våra scenarier bygger på alla fem prisintervall och Vattenfalls prisprognos per vecka tio år i framtiden.

Genom att vi studerar hur många kWh som är producerade inom respektive intervall för olika scenarier kan man skapa sig en uppfattning om förändringen i produktion mellan olika tidsintervall per vecka som översiktligt omfördelas till mellan dygn. Man kan även studera förändring i kronor eller m³/s i olika prisintervall. Förändringarna är små för varje tidsenhet, vilket innebär att det behövs en hög upplösning för att kunna bedöma om det har skett en "flytt" av produktionen i våra scenarier.

Sammanfattningsvis kan man se att i scenario 1 och 2 har vi inte flyttat produktionen i någon större omfattning. Det behövs med andra ord ganska stora flödesförändringar för att leda till en storskalig flytt. När man i de andra scenarierna börjar spilla vatten och åstadkomma större förändringar sker en flytt av produktion mellan prisintervallen i större omfattning i vissa kraftverk. Förändringen är större nedströms och i magasin med liten volym (lagringsförmåga). De är återigen viktigt med ett helhetsperspektiv och att förstå interaktioner mellan olika anläggningar.

Tabell 22. Produktion inom olika prisintervall. Antal timmar.

Intervall	Timmar	Andel	Dygn	Klockslag
1	10	0,06	1,43	Dag
2	50	0,30	7,14	Dag
3	60	0,36	8,57	Dag
4	24	0,14	3,43	Natt/helg
5	24	0,14	3,43	Natt/helg
	168	1	24	

Finjustera scenarier

- Kontroll mot verkliga reglerade flöden
- Kontroll av kritiska punkter gällande vattenhushållning
- Mellanårsvariation
- Kontroll mot prisintervall
- Kontroll mot timdataberäkningar
- Kontroll mot S-hype (tänk på upplösning i S-hype)

Tänkbara fel:

- Överledning som saknas eller är felaktiga
- Torrfårar med minimitappning
- Felaktigt inlagda vattenhushållningsbestämmelser
- Felaktiga verkningsgrader, dammhöjder, fallhöjder, Q_{min} , Q_{max} , Q

5.7 BERÄKNING AV MILJÖNYTTA

Metod och tillvägagångssätt vid uppskattning av nyttor för alla åtgärder finns beskrivet detaljerat med beräkningar i Renöfält m.fl. (2017). Vi har dock i denna rapport kopplat kvantitativa miljönyttor till varje basfunktion. I Umeälsarbetet kvantifierades alla areor som antingen bestod av nytt habitat eller förbättrat habitat. Metoden innebar att vi mätte alla påverkade areor i fält eller med hjälp av ArcGis. Fördelen med metoden är att man får jämförbar enhet, nackdelen är att det kan bli en underskattning av arean, samtidigt som det är svårt att kan förutsäga vilken kvalitet habitat kan få, samt att jämföra arean för olika arter, då dessa kan ha olika behov.

5.8 FÖRENKLADE BERÄKNINGSFORMLER

Det kan underlätta om det finns möjlighet att utföra förenklade beräkningar på verkningsgrader och produktionsförluster kopplat till ekologisk reglering. I Umeälsprojektet har analyser visat att förenklade beräkningar både kan ge under- och överskattningar, men viktigast av allt är att systemperspektivet går förlorat. Nedanstående formler kan således inte ersätta mer korrekta beräkningar med produktions- och simuleringsprogram, men förenklade beräkningsformler kan ge en uppfattning om rimligheten i olika åtgärder.

Beräkning av verkningsgrad

Modul nummer 3201, Abelvattnet
100.00

Eierprosent:

Type modul: Vannkraft

Datagruppe 6: Produksjon-vassf|ringskurve(r). Modul nummer 3201,
Abelvattnet

Referert til nominell brutto fallh|yde 15.00 (m)

Tom. uke	: Produksjon	(MW)	: 0.0	: 2.3	: 2.9	: Energiekvivalent	:
52	: Vassf ring	(m3/sek)	: 0.0	: 18.0	: 23.0	: 0.036	: kWh/m3

P (kW) = Effekt

H (m) = Fallhöjd

Q (m3/s) = Flöde, vattenföring

η i % = Verkningsgrad

g = Gravitationsfaktor

$$P = \eta * g * H * Q$$

$$\eta = P / (g * H * Q)$$

18 m3/s:

$$\eta = 2,3 * 1000 / (9,81 * 15 * 18) = 0,868 (=86,8\%)$$

23 m3/s:

$$\eta = 2,9 * 1000 / (9,81 * 15 * 23) = 0,857 (=85,7\%)$$

Beräkning av produktionsförlust vid spill i fiskväg eller omlöp

Q = flöde (minimitappning) m3/s = 5

H = fallhöjd produktion = 110

η i % = Totalverkningsgrad för stationen (Normalt 85 %)

t = antal timmar som minimittappning ska gå vid sidan om turbin = 500

g = Gravitationskonstant (9,81 på våra breddgrader)

$$Ef \text{ MW} = \frac{Q * H * g * \eta}{1000}$$

$$\text{Effektförlust } Ef \text{ MW} = 5 * 110 * 9,81 * 0,85 / 1000 \rightarrow \text{MW}$$

$$Pf \text{ GWh} = \frac{Ef \text{ MW} * t}{1000}$$

$$\text{Produktionsförlust } Pf = 0,42 * 500 / 1000 \rightarrow \text{GWh}$$

Beräkningsformler vattenstånd

Detaljerad stegvis beskrivning av hur man beräknar vattenståndsanpassning finns i Umeälvens slutrapport (Widén m.fl. 2015) under metodavsnittet. Rapporten kan laddas ner på www.umealven.se/rapporter.

6 Diskussion och slutsats

Ekologisk reglering berör alla reglerade vattendrag i Sverige. Nationellt har Sverige cirka 2000 kraftverk. Vissa av kraftverken kommer att bli föremål för ekologisk reglering som åtgärd. För att det inte ska bli missförstånd gällande budskapet i denna rapport, vill vi poängtera:

- Denna rapport ger inte vägledning gällande klassning, miljökvalitetsnormer eller vilka flödesanpassning specifika vattendrag behöver. Rapporten ger däremot vägledning för hur man kan arbeta för att ta fram ett beslutsunderlag, d.v.s. en metod för att ta fram ett beslutsunderlag.
- Ett beslutsunderlag kan innebära att vissa av scenarierna bedöms som rimliga, men även att alla scenarier bedöms som orimliga att genomföra.
- Bedömningen av om åtgärden är rimlig bygger förenklat på tre faktorer. Den första är att det faktiskt ska finnas en miljönytta med åtgärden. Den andra är om produktionsförlusten bedöms som rimlig, och det tredje att den har en acceptabel påverkan på balans- och reglerkraft.
- Vissa småskaliga kraftverk utan tillstånd kan bli föremål för utrivning som restaureringsåtgärd. Utrivning som åtgärd behandlas inte i denna rapport. KLIV-projekt EKOLIV rapporterar om dammutrivningar (EKOLIV, RAPPORT – Ekologiska och ekonomiska strategier för optimering av vattenkraftsrelaterade miljöåtgärder).

Vid utbyggnaden av vattenkraften på 1950- och 1960-talen i de stora älvarna togs liten miljöhänsyn. Älvarna byggdes ut med dammar i kaskad för att maximera produktionen och det ledde till att i stort sett all fallhöjd byggdes ut. Detta orsakade bland annat habitatförlust för strömlevande organismer, och älvarna bedömdes av många naturvårdare som totalskadade. Idag vet vi att det finns möjlighet att utföra miljöförbättringar genom fysiska åtgärder samt genom ekologisk reglering. Resultat från olika projekt i t.ex. Umeälven, Luleälven, Ångermanälven och Dalälven visar att man kan genomföra åtgärder som skapar habitat för vattendragsorganismer utan omfattande energiförluster.

Ett vattendrags ekosystem styrs av dess vattenflöden och det antogs tidigare att det bästa (enda) sättet att återskapa älvarnas ekosystem var att återskapa hela spektrat av naturliga flöden. Men att återskapa ett naturligt flöde genom ekologisk reglering ger stora produktionsbortfall och negativa effekter på balans- och reglerkraft. Åtgärden är därför inte trolig i de stora reglerade älvarna. Däremot kan det vara rimligt i mindre vattendrag, då dessa inte bidrar till energisystemet i samma utsträckning som de stora älvarna i norr. Åtgärder för ekologiska flöden kan tyckas onödiga i dessa system eftersom de ofta producerar energi på det vatten som rinner allt eftersom genom kraftverket. Ofta finns emellertid dammar i vattendraget som reglerar flödena. En annan aspekt gällande småskalig vattenkraft är att hela vattenhushållningen kan behöva en miljöanpassning för att undvika oönskade effekter under torra år, t.ex. extremt låga vattenstånd i sjöar (regleringsmagasin) högt upp i vattendraget. För att klara torra år och de utmaningar som det för med sig behövs ett konstruktivt arbete med ekologisk reglering i ett preventivt syfte: Man behöver använda sig av ekologisk reglering för att minimera risken för ekologiska skador vid förändringar i flöden. Genom att

arbeta med restriktioner gällande vattenstånd och flöden i samverkan mellan olika parter, kan man ta fram vilka flödes- och vattenståndsintervall som behövs för att inte tillfoga ekosystemet skada eller för att t.ex. trygga infrastruktur.

Infrastrukturen i samhället klarar kanske inte avreglering mot ekologisk reglering. Scenarierna ger en analys som svarar på vilka effekter en avreglering får under normala nederbördsår såväl som torra och blöta. Således är det nödvändigt med ett arbete i hela avrinningsområdet, samt att ta hänsyn till teknisk konstruktion, infrastruktur och samhällspåverkan, t.ex. kulturvärden. Arbetet kräver att det sker i samverkan och involverar ett flertal discipliner med syfte att skydda ekosystemen och ge förutsättningar för ökad biologisk mångfald.

I storskalig vattenkraft intar vi en annan hållning eftersom det är kraftverk som kommer att vara i drift många år i framtiden och som har en viktig roll i energisystemet. Man kan inte införa en mer naturlig flödesreglering med bibehållen energiproduktion. Lösningen är att genomföra en kombination av kostnadseffektiva åtgärder med fysiska restaureringsåtgärder samt ekologisk reglering med mindre förändringar av flödet. Syftet blir då att uppnå specifika ekologiska resultat som grundar sig på en flödesanalys. Scenarier för sådana flödesförändringar är svårare att ta fram och det uppstår en situation där man verkligen behöver veta vilka åtgärder som ger störst ekologisk nytta. Traditionellt har synen varit att flödesåtgärder med små förluster och stor nytta inte finns. Scenarierna vi tagit fram visar att om arbetet sker med bland annat hänsyn till teknisk genomförbarhet och på avrinningsområdesnivå, kan ekologisk reglering ge en relativt liten produktionsförlust med en relativt stor ekologisk nytta. Lösningen är banal i sin enkelhet: om vattnet rinner genom turbinerna minskar produktionsförlusterna. Vi kan därför säga med stor exakthet att flödet ska vara inom intervallet $Q_{\min}$ och $Q_{\max}$ för varje anläggning, eftersom vi då kan producera elektricitet på vattnet. Produktionsförlusten som uppstår är en verkningsgradsförlust samt en pridförlust orsakad av ökad produktion under t.ex. natten då priserna är låga. En annan aspekt är tidpunkten när produktionen sker, kopplat till när samhället behöver energin och när ekosystemet behöver ekologiska flöden. Samtliga scenarier genomförda i Umeälven förutom säsongsanpassad reglering, vårflodssimulering och naturlig flödesregim, ger störst produktionsförluster under sommarhalvåret, då vattendragsekosystemens behov av specifika vattenflöden och vattenstånd för att ge lämpliga miljöer för vattendragsarter är störst. Under vintern tillåts produktion utan restriktioner. Den säsongsmässiga anpassningen av ekologisk reglering är av stor betydelse i storskalig vattenkraft. Genom att de negativa effekterna för energisystemet uppstår under sommarhalvåret då behoven är som minst av balans- och reglerkraft, kan vi påverka minimeras: Under vinterhalvåret är balans- och reglerkraften opåverkad.

Vattenkraftens värde och reglerbidrag beskrivs av det relativa reglerbidraget för varje kraftverk i Sverige (Energimyndigheten 2016b). Det relativa reglerbidraget är ett mått på hur elproduktionen i ett vattenkraftverk följer nettoanvändningen, även kallat residuallasten. Det relativa reglerbidraget är i nuvarande utformning statistiskt över året och redovisar inte säsongsvariation (höst, vinter, vår och sommar) och saknar den upplösning som skulle ge jämförbarhet med ekologisk

nytta. Ekologiska värden och ekosystem är evolutionärt anpassade till flödets säsongsvariation och vilket inte omfattas av den ingenjörsutvecklade relativa reglerbidraget. Det är uppenbart att behovet av balans- och reglerkraft är lägre under sommarhalvåret, eftersom nettoanvändningen av energi är lägre.

En annan aspekt är att det relativa reglerbidraget är beräknat per kraftverk och att vi i arbetet med ekologisk reglering argumenterar starkt för att miljöarbetet bör ske i hela avrinningsområdet. Om det i ett vattendrag finns 20 kraftverk varav ett kraftverk har stor betydelse för nettoanvändningen av energi, ska alla kraftverk i det vattendragets undantas? Hur sker då bedömningen på anläggningar som ska uppnå GES, om anläggningar klassade som betydelsefulla i energisystemet är belägna både uppströms och nedströms? Eftersom vattnet ska genom alla anläggningar bör ekologisk reglering korreleras mellan anläggningarna och att frångå principen gällande avrinningsområde samt systemperspektiv leder till att åtgärder inte blir kostnadseffektiva.

Av dessa anledningar anser vi att det relativa reglerbidraget behöver utvecklas och ha en upplösning per vecka eller månad fördelat över året, samt att ett avrinningsområdesperspektiv inkluderas. Det relativa reglerbidraget bör konsekvensbeskrivas med en säsongsmässig upplösning redovisat med ett avrinningsområdesperspektiv för att ge ett ekologiskt korrektare resultat. En sådan metod skulle ha större chans att vinna acceptans.

Slutsatsen är att en analys av hela avrinningsområden behövs i alla vattendrag. I mindre och små vattendrag bör ekologisk reglering införas som beräknas utifrån vilken storlek på avvikelse från naturliga flöden som kan accepteras. I storskalig vattenkraft behövs ett mer detaljerat arbete för att hitta lösningarna på kostnadseffektiv ekologisk reglering där man väger miljönyttor mot kostnader. Lösningarna och åtgärderna kommer att variera mellan alla avrinningsområden, varför det inte är lämpligt att generalisera. Generaliseringar kan leda till att åtgärder blir onödigt kostsamma.

Det kan även vara olämpligt med förelägganden om ekologisk reglering i ett enskilt kraftverk, eftersom det innebär att man frångår principen om att genomföra åtgärder där de ger störst miljönytta, avrinningsområdesperspektivet och prioriteringsmodellen. Ett alternativ för domstolarna skulle kunna vara att förelägga ekologisk reglering baserat på ett beslutsunderlag för hela avrinningsområdet. I konklusion kan avrinningsområdesvisa planer för ekologisk reglering även vara ett verktyg i domstolsprocesser. I våra kontakter med kraftverksägare, myndigheter och miljöorganisationer förordar i stort sett samtliga en förändring av det juridiska systemet, vilket kan framstå som ogörligt, men eftersom det finns en vilja från i stort sett alla parter lyfter vi frågan då det finns en vinst för både energi- och miljönytta med en utveckling av hållningssättet.

7 Definitioner

Betydande påverkan	Med betydande påverkan avses sådan påverkan som, ensamt eller tillsammans med övrig påverkan, kan göra att en vattenförekomst inte når, eller riskerar att inte nå, god status eller potential eller om status försämras, eller riskerar att försämras från hög till god. Observera att detta inte är helt detsamma som begreppet "betydande miljöpåverkan" enligt miljöbalken (1998:808).
DG	Dämningsgräns (DG)
Dämningsområde	Den vattenyta som finns mellan två kraftverk
E omfördelad	Produktion som omfördelas till ej optimal tidpunkt (MWh)
E dygn	Produktion under ett dygn (MWh)
Ekologisk potential	Tillståndet hos en kraftigt modifierad eller konstgjord ytvattenförekomst, klassificerad i enlighet med bilaga V i direktiv 2000/60/EG och uttryckt såsom "maximal", "god", "måttlig", "otillfredsställande" eller "dålig". Förordning (2009:1108). God Ekologisk Potential utgör den ekologiska status som uppnås då alla rimliga åtgärder som inte har en väsentlig påverkans på verksamheten är genomförda i ett kraftigt modifierat vatten
Ekologisk status	Det ekologiska tillståndet i en naturlig ytvattenförekomst uttryckt som "hög", "god", "måttlig", "otillfredsställande" eller "dålig" status
Förlängd tidsfrist	Normalfallet enligt vattenförvaltningsförordningen är att angivna vattenkvalitetskrav ska kunna följas till december 2015. Enligt 4 kap. 9 § VFF finns möjlighet att skjuta på tidpunkten när kvalitetskraven ska kunna följas till senast december 2027. Om genomförda åtgärder inte hinner ge effekt i miljön p.g.a. naturliga förhållanden får längre tidsfrister medges
GEP	Förkortning för God Ekologisk Potential
GES	Förkortning för God Ekologisk Status
Gravitationskonstant	Konstanten G i Newtons formel $F=G \cdot m_1 m_2 / r^2$ för den gravitationella attraktionskraften F mellan två massor m_1 och m_2 belägna på avståndet r från varandra (9,81).
Kraftigt modifierade vatten	KMV. Vattenförekomster som har en väsentligt ändrad karaktär där de åtgärder som behövs för att uppnå God Ekologisk Status skulle omöjliggöra fortsatt drivande av en viss samhällsviktig verksamhet eller miljön i stort och därmed anses vara orimliga.
Kvalitetskrav – miljökvalitetsnorm	Kvalitetskrav är, enligt vattenförvaltningsförordningen, det svenska begreppet för ramdirektivets "miljökvalitetsmål", som är de mål som ska fastställas enligt direktivets artikel 4. Direktivets artikel 4 har genomförts genom 4 kap VFF. Vattenmyndighetens beslut om kvalitetskrav enligt 4 kap 2 § VFF är en miljökvalitetsnorm enligt 5 kap miljöbalken. Utgångspunkten för de kvalitetskrav som ska gälla är att bibehålla hög/maximal ekologisk status/potential och att bibehålla eller uppnå God Ekologisk Status/potential samt god kemisk status till 2015.
LLQ	Förkortning för lägsta lågvattenföring
Magasin	Se dämningsområde
Makrofytter	Vattenväxter
MEP	Förkortning för Måttlig ekologisk Potential
MAXEP	Förkortning för Maximal Ekologisk Potential
Miljökvalitetsnorm	Se kvalitetskrav
Miljökvalitetsmål	Av regering beslutade miljömål. Det svenska miljömålssystemet innehåller ett generationsmål, sexton miljökvalitetsmål och tjugofyra etappmål.
Mindre stränga kvalitetskrav	Utgångspunkten är att uppnå kvalitetskraven God Ekologisk Status eller God Ekologisk Potential samt god kemisk status. I vissa fall kommer dessa kvalitetskrav inte att kunna nås, utan

	undantag i form av mindre stränga kvalitetskrav kan behöva medges om förutsättningarna för sådana undantag är uppfyllda i enlighet med 4 kap. 10 § VFF, (artikel 4[5] RDV).
MLQ	Förkortning för medellågvattenföring
Målbild	Målbilden för Umeälvens åtgärdsarbete är de åtgärder som är praktiskt genomförbara enligt MAXMEP och Hav:s remissvägledning, tabell 4.
Naturliga förhållanden	Naturliga förhållanden innebär här sådana naturliga processer som leder till en tidsförskjutning innan en åtgärd kan få genomslag i miljön, d.v.s. att det blir svårare att uppnå kvalitetskraven i tid. Tidsfrister får medges om de naturliga förhållandena inte medger att kvalitetskraven klaras i tid
Referens	Naturlig vattenförekomst sjö/vattendrag som vattenförekomsten efter åtgärder bör sträva mot. Referens kan även motsvaras av MAXEP.
Regleringsamplitud	skillnad i meter mellan dämningssgräns och sänkningsgräns
Regleringsgrad	andelen av den totala årsvattenföringen som kan lagras i magasin/sjöar
Regleringsmagasin	Dämningsområde som har dämts över i syfte att skapa ett magasin för att lagra vatten, i större eller mindre omfattning.
SG	Sänkningsgräns (SG)
Småskalig vattenkraft	< 1.5 MW
Storskalig vattenkraft	> 1.5 MW
Strömkraftverk	Vanlig definition är att strömkraftverk är ett kraftverk saknar förmåga att lagra vatten i mer än 48 timmar.
Torråra	Alla naturliga vattendragssträckor som fått ett minskat flöde gentemot det ursprungliga oreglerade flödet genom omledning av vatten. Vi inkluderar alltså inte sträckor längs ett vattendrag som periodvis kan ha ett lägre flöde än normalt på grund av reglering, men där ingen omledning av vatten skett. Även artificiella kanaler utesluts. Dock har många av torråroarna modifierats geomorfologiskt i varierande grad av utbyggnadstekniska skäl.
Vattenförekomst	Ytvattenförekomst är den minsta enheten i vattenförvaltningen. En avgränsad och betydande förekomst av ytvatten, som kan vara till exempel hela eller delar av en sjö, å, älv eller kanal, ett vattenområde i övergångszonen eller ett kustvattenområde. Ett vattendrag, en sjö eller kustvattenområde kan bestå av flera ytvattenförekomster.
Verkningsgrad	En dimensionslös storhet som betecknar förhållandet mellan nyttiggjord och tillförd energi i ett system. Betecknas η .
V_{magasin}	Magasinsvolym mellan dämningss- och sänkningsgräns
Q_{medel}	Medelvattenföring 1960-2010 enligt Umeälvens Vattenregleringsföretag
$Q_{\text{max turbin}}$	Maximal tillståndsgiven turbintappning
$Q_{\text{min, turbin}}$	Lägsta möjliga turbintappning utan att skador uppstår i anläggningen
Älvmagasin	Ett dämningssområde mellan kraftverksanläggningarna liten lagringsfunktion av vatten. Älvmagasin har stor funktion för reglerförmågan och korttidsregleras, d.v.s. snabba för variationer av vattenstånd och flöde.

8 Referenser

- Acreman, M., Arthington, A.H., Colloff, M.J., Couch, C., Crossman, N.D., Dyer, F. *et al.* 2014. Environmental flows for natural, hybrid, and novel riverine ecosystems in a changing world. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12, 466-473.
- Bakken, T.H., Sundt, H., Ruud, A., & Harby, A. 2012. Development of small versus large hydropower in Norway comparison of environmental impacts. *Energy Procedia*, 20, 185-199.
- Baron, J.S., Poff, N.L., Angermeier, P.L., Dahm, C.N., Gleick, P.H., Hairston, N.G. *et al.*, 2002. Meeting ecological and societal need for freshwater. *Ecological Applications*, 12(5), pp.1247-1260.
- Black, A.R., Rowan, J.S., Duck, R.W., Bragg, O.M. & Clelland, B.E. 2005. DHRAM: A method for classifying river flow regime alterations for the EC Water Framework Directive. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15, 427-446.
- Bonjean Stanton, M.C., Dessai, S. & Paavola, J. 2016. A systematic review of the impacts of climate variability and change on electricity systems in Europe. *Energy*, 109, 1148-1159.
- Bunn, S.E. & Arthington, A.H., 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30, 492-507.
- Gippel, C. & Blackham, D., 2002. *Review of Environmental Impacts of Flow Regulation and Other Water Resource Developments in the River Murray and Lower Darling River System*. Final Report to Murray-Darling Basin Commission, Fluvial Systems Pty Ltd.
- Church, M., 1995. Geomorphic response to river flow regulation - case studies and time scales. *Regulated Rivers: Research & Management*, 11, 3-22.
- Degerman, E., Calles, O., Näslund I. & Wickström H. 2013. *Påverkan på strömlevande fisk av anlagda lugnvatten: underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa miljöteknik för vattenkraft*. Havs- och Vattenmyndighetens Rapport 2013:15.
- Energimyndigheten, 2016a. *Energiindikatorer 2016: uppföljning av Sveriges energipolitiska mål*. Energimyndigheten ER 2016:10.
- Energimyndigheten, 2016b. *Vattenkraftens reglerbidrag och värde för elsystemet*. Rapport från Energimyndigheten, Svenska kraftnät och Havs- och vattenmyndigheten ER 2016:11.
- Englund, G. & Malmqvist, B., 1996. Effects of flow regulation, habitat area and isolation on the macroinvertebrate fauna of rapids in north Swedish rivers. *Regulated Rivers: Research & Management*, 12, 433-445.
- European Commission Environment, 2015. *Ecological Flows in the Implementation of the Water Framework Directive*. CIS Guidance document 31.
- Fantin-Cruz, I., Pedrollo, O., Girard, P., Zeilhofer, P. & Hamilton, S.K. 2015. Effects of a diversion hydropower facility on the hydrological regime of the Correntes River, a tributary to the Pantanal floodplain, Brazil. *Journal of Hydrology*, 531, 810-820.
- Geoffrion, A.M. & Graves, G.W., 1974. Multicommodity distribution system design

- by Bender's decomposition. *Management Science*, 20, 822–844.
- Halldén, A., Liliegren, Y. & Lagerkvist, G., 2002. Biotopkartering - vattendrag: en rapport från regional miljöövervakning i Jönköpings län. Meddelande 2002:55, Länsstyrelsen i Jönköpings län.
- Hvidsten, N.A., Diserud, O.H., Jensen, A.J., Jensås, J.G., Johnsen, B.O. & Ugedal, O. 2015. Water discharge affects Atlantic salmon *Salmo salar* smolt production: a 27 year study in the River Orkla, Norway. *Journal of Fish Biology*, 86, 92–104.
- Idrissou, L., van Paassen, A., Aarts, N., Vodouhé, S. & Leeuwis, C. 2013. Trust and hidden conflict in participatory natural resources management: The case of the Pendjari national park (PNP) in Benin. *Forest Policy and Economics*, 27, 65–74.
- Jansson, R., 2002. *The biological cost of hydropower*. Rapport till Coalition Clean Baltic, CCB Report 2002:2.
- Jansson, R., Nilsson, C. & Renöfält, B., 2000. Fragmentation of riparian floras in rivers with multiple dams. *Ecology*, 81, 899–903.
- King, J., Brown, C. & Sabet, H., 2003. A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers. *River Research and Applications*, 19, 619–639.
- King, J. & Louw, D., 1998. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 1, 109–124.
- King, J.M., Tharme, R.E. & de Villiers, M.S., editors. 2008. *Environmental flow assessments for rivers: manual for the Building Block Methodology*, Report to the Water research Commission, Freshwater Research Unit, University of Cape Town.
- Kingsford, R.T. & Biggs, H.C., 2012. *Strategic adaptive management guidelines for effective conservation of freshwater ecosystems in and around protected areas of the world*. IUCN WCPA Freshwater Taskforce, Australian Wetlands and Rivers Centre, Sydney.
- Kondolf, G.M., Gao, X., Annandale, G.W., Morris, G.L., Jiang, E., Zhang, J., et al. 2014. Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: experiences from five continents. *Earth's Future*, 2, 256–280.
- Konrad, C.P. Olden, J.D., Lytle, D.A., Melis, T.S, Schmidt, J.C., Bray, E.N. 2011. Large-scale flow experiments for managing river systems. *BioScience*, 61, 948–959.
- Lehner, B. Liermann, C.R., Revenga, C, Vörösmarty, C., Fekete, B., Crouzet, P., et al. 2011. High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9, 494–502.
- Lytle, D.A. & Poff, N.L., 2004. Adaptation to natural flow regimes. *Trends in Ecology and Evolution*, 19, 94–100.
- 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.
- Malmqvist, B. & Rundle, S., 2002. Threats to the running water ecosystems of the world. *Environmental Conservation*, 29, 134–153.
- McManamay, R.A. Samu, N., Kao, S.-C., Bevelheimer, M.S. & Hetrick, S.C. 2015. A multi-scale spatial approach to address environmental effects of small

- hydropower development. *Environmental Management*, 55, 217–243.
- Nilsson, C., Lepori, M., Malmqvist, B., Törnlund, E., Hjerdt, N., Helfield, J.M. *et al.* 2005. Forecasting environmental responses to restoration of rivers used as log floatways: an interdisciplinary challenge. *Ecosystems*, 8, 779–800.
- Nilsson, C., Reidy, C.A., Dynesius, M. & Revenga, C. 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, 308, 405–408.
- Näslund, I., Deerman, E., Calles, O. & Wickström, H. 2013. *Fiskvandring – arter, drivkrafter och omfattning i tid och rum: underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa möjliga teknik för vattenkraft* Havs- och vattenmyndighetens rapport 2013:11
- Olden, J.D., Konrad, C.P., Melis, T.S., Kennard, M.J., Freeman, M.C., Mims, M.C., *et al.* 2014. Are large-scale flow experiments informing the science and management of freshwater ecosystems? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12, 176–185.
- Olden, J.D. & Naiman, R.J., 2010. Incorporating thermal regimes into environmental flows assessments: modifying dam operations to restore freshwater ecosystem integrity. *Freshwater Biology*, 55, 86–107.
- Pini Prato, E., Comoglio, C. & Calles, O., 2011. A simple management tool for planning the restoration of river longitudinal connectivity at watershed level: priority indices for fish passes. *Journal of Applied Ichthyology*, 27, 73–79.
- Poff, N.L., Richter, B.D., Arthington, A.H., Bunn, S.E., Naiman, R.J., Kendy, E. *et al.* 2010. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology*, 55, 147–170.
- Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D. *et al.* 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, 47, 769–784.
- Poff, N.L. & Zimmerman, J.K.H., 2010. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology*, 55, 194–205.
- Renöfält, B.M., Jansson, R. & Nilsson, C., 2010. Effects of hydropower generation and opportunities for environmental flow management in Swedish riverine ecosystems. *Freshwater Biology*, 55, 49–67.
- Renöfält B.M., Jansson, R. & Ahonen J. 2015. *Ekologisk återställning i helt eller delvis torrlagda fåror i anslutning till vattenkraftverk*. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2015:22.
- Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J. & Braun, D.P. 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, 10, 1163–1174.
- Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Braun, D.P. & Powell, J. 1998. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers: Research & Management*, 14, 329–340.
- Richter, B.D. & Thomas, G.A., 2007. Restoring environmental flows by modifying dam operations. *Ecology and Society*, 12, 12.
- Robinson, C.T. & Uehlinger, U., 2008. Experimental floods cause ecosystem regime shift in a regulated river. *Ecological Applications*, 18, 511–526.
- Rørslett, B. & Johansen, S.W. 1996. Remedial measures connected with aquatic macrophytes in Norwegian regulated rivers and reservoirs. *Regulated Rivers:*

- Research & Management*, 12, 509–522.
- Saarinen, L., Dahlbäck, N. & Lundin, U., 2015. Power system flexibility need induced by wind and solar power intermittency on time scales of 1–14 days. *Renewable Energy*, 83, 339–344.
- Stanford, J.A., Ward, J.V., Liss, W.J., Frissell, C.A., Williams, R.N., Lichatowich, J.A. *et al.* 1996. A general protocol for restoration of regulated rivers. *Regulated Rivers: Research & Management*, 12, 391–413.
- Stevens, L.E., Shannon, J.P. & Blinn, D.W., 1997. Colorado River benthic ecology in Grand Canyon, Arizona, USA: dam, tributary and geomorphological influences. *Regulated Rivers: Research & Management*, 13, 129–149.
- Tharme, R.E., 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, 19, 397–441.
- Tullos, D.D. Foster-Moore, E., Magee, D., Tilt, B., Wolf, A.T., Schmitt, E., *et al.* 2013. Biophysical, socioeconomic, and geopolitical vulnerabilities to hydropower development on the Nu River, China. *Ecology and Society*, 18, 16.
- Ward, J.V. & Stanford, J.A. 1995. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regulated Rivers: Research & Management*, 11, 105–119.
- Whitener, E.M. Brodt, S.E., Korsgaard, M.A. & Werner, J.M. 1998. Managers as initiators of trust: an exchange relationship framework for understanding managerial trustworthy behavior. *Academy of Management Review*, 23, 513–530.
- Widen, Å., Jansson, R., Johansson, M., Lindström, M., Sandin, L. & Wisaeus, D. 2015. *Maximal ekologisk potential i Umeälven*. Rapport från Umeälvprojektet.

9 Förteckning över figurer och tabeller

Figur 1.	Produktionsförlust redovisat som medelvärde per år och månad i procent av nuvarande produktion i Umeälven. Se tabell 2 för definition av de olika scenarierna.	6
Figur 2.	Produktionsförlust redovisat som medelvärde per månad i procent av nuvarande produktion i Umeälven. Scenariot "naturlig flödesregim" ledde till en produktionsförlust på 30 % och säsongsanpassat flöde 6 %. Scenariot "säsongsanpassat flöde" kombinerades med minimitappning genom turbin motsvarade MLQ.....	7
Figur 3.	Avvägning mellan miljönytta och energinytta.	11
Figur 4.	Bredseleforsen i Juktån. Foto: Tina Hedlund.	15
Figur 5.	Vattenföring i Umeälven vid Rusfors kraftstation. Blå linje visar beräknade oreglerade flöden per vecka. Svart linje visar uppmätta reglerade flöden per vecka. Beräknande flöden från ProdRisk.....	17
Figur 6.	Beräknad veckomedelvattenföring under 46 år vid Tuggens kraftstation i Umeälven.....	21
Figur 7.	Uppmätt totalvattenföring per timme för 2010 i Tuggens kraftstation. 2010 representerar ett normalår.....	21
Figur 8.	Uppmätt nolltappning per dygn med timdata i Tuggens kraftstation för perioden 1 maj till 30 juni under åren 2002, 2003 2004, 2005 och 2011.....	22
Figur 9.	Exempel på naturlig flödesregim (blå linje), nuvarande reglering (svart linje) samt förslag på säsongsanpassad reglering (röd linje) för Storumans kraftstation, vid utloppet av Storumans regleringsmagasin, Umeälven. Flöden beräknade i ProdRisk med veckomedelvattenföring.....	23
Figur 10.	Resultat för scenario 25 i Umeälven. Säsongsanpassad reglering med totalvattenföring inklusive spill (blå linje), säsongsanpassad reglering totalvattenföring exklusive spill (blå streckad linje), nuvarande reglering (svart linje) samt förslag på säsongsanpassad reglering (röd linje). Flöden beräknade i ProdRisk veckomedelvattenföring.....	23
Figur 11.	Storumans regleringsmagasin, exempel på nivåvariationer vid ekologisk reglering. Röd linje motsvarar dämning- och sänkningsgräns enligt vattendom. Svart linje motsvarar vattenstånd vid ekologisk reglering, lila linje motsvarar vattenstånd vid nuvarande reglering.....	24
Figur 12.	Älvmagasin, exempel på nivåvariationer vid ekologisk reglering. Sänkningsgräns (SG i figuren) 202,5 m över havet är lägsta nivå för vattenståndet och dämningssgräns (DG i figuren) 204 m över havet är det högsta tillåtna vattenståndet enligt vattenhushållningsbestämmelser.....	25
Figur 13.	Flödesvariation medelvärde per vecka under 46 år för flödet genom turbin i Umluspens kraftverk (Storuman) med tillåten nolltappning och inga restriktioner för korttidsreglering.....	27
Figur 14.	Nolltappningsperioder vid Rusfors kraftstation i Umeälven under normalåret 2010. Lodrät axel visar antal timmar som det rådde nolltappning fördelat över månad (vågrät axel).....	32
Figur 15.	Varaktigheter av totaltappningar vid Rusfors kraftstation i Umeälven under torråret 2003, normalåret 2010 och våtåret 2012.....	33
Figur 16.	Regleringsmagasinet Storkjutan i Umeälven; reglerade medelvattennivåer med dygnsupplösning under 46 år.....	34
Figur 17.	Älvmagasin uppströms Tuggens kraftverk i Umeälven, reglerade vattennivåer med timupplösning under ett enstaka år. DG = dämningssgräns i m över havet, SG = sänkningsgräns i m över havet.....	34

Figur 18.	Exempel på översiktskarta över Ajaures torrfåra nedströms Ajauredammen i Umeälven.	35
Figur 19.	Verkningsgradskurvor för kaplan-, francis- och peltonturbiner.	39
Figur 20.	Flödesschema över arbete med basfunktioner och scenarier.	42
Figur 21.	Nolltappningsperioder år 2003 som representerar ett torrt år i Tuggens kraftverk.	45
Figur 22.	Sektioner I Umeälven där vattenhastighet I relation till flöde uppskattades.	46
Figur 23.	Beräknad vattenhastighet I relation till kostnad Mkr/år och minimitappning m ³ /s vid nolltappningsrestriktion.	46
Figur 24.	Figuren visar nuvarande tappning per vecka samt en föreslagen säsongsanpassning av tappningen som efterliknar en naturlig årstidsvariation. Tappningen i det föreslagna scenariet är uppdelat på vatten som går genom turbin samt totalflöde (turbin plus spill) under ett år för Storjuktans kraftverk. Flöden beräknades i ProdRisk med värden för veckomedelvattenföring.	49
Figur 25.	Basfunktion 9, d.v.s. naturlig flödesregim i Umeälven exemplifierat med Storjuktan. Blå heldragen linje motsvarar naturlig flödesregim. Gul heldragen linje motsvarar beräknade naturliga flöden enligt S-hype (SMHI). Blå streckad linje motsvarar den andel av flödet som beräknas gå genom turbin. Svart heldragen linje beskriver nuvarande reglering. Röd linje visar det flöde som föreslogs för säsongsanpassad reglering.	51
Figur 26.	Nuvarande produktion ackumulerat i GWh för alla kraftverk i Umeälven fördelat per månad. Produktionen är beräknat medelvärde för 46 år (ProdRisk).	53
Figur 27.	Förändring av elproduktion per månad mätt i GWh jämfört med nuvarande förhållanden, alternativ 0 för hela Umeälven.	54
Figur 28.	Spill vid sidan om turbin per månad för hela Umeälven. Scenario 0 motsvarar nuvarande förhållanden och scenario 1 innebär nolltappningsrestriktion nedströms Storuman (delområde A).	55
Figur 29.	Förändring i produktion för hela Umeälven mätt i GWh jämfört med nuvarande förhållanden, d.v.s. scenario 0.	56
Figur 30.	Spill vid sidan om turbin för hela Umeälven. Scenario 0 motsvarar nuvarande förhållanden och scenario 11 nolltappningsrestriktion för hela Umeälven.	57
Figur 31.	Förändring av produktion för hela Umeälven mätt i GWh jämfört med nuvarande förhållanden, d.v.s. scenario 0.	58
Figur 32.	Spill vid sidan om turbin för hela Umeälven. Scenario 0 motsvarar nuvarande förhållande och scenario 2 nolltappningsregler samt spill i alla torrfåror.	60
Figur 33.	Förändring av produktion mätt i GWh per månad för hela Umeälven jämfört med nuvarande förhållanden (scenario 0).	61
Figur 34.	Spill vid sidan om turbin i scenario 4 jämfört med scenario 0.	62
Figur 35.	Förändring av produktion mätt i GWh jämfört med nuvarande förhållanden, alternativ 0 för hela Umeälven.	63
Figur 36.	Spill (m ³ /s) i scenario 7 jämfört med scenario 1 och 0.	63
Figur 37.	Total produktionspåverkan per månad vid scenario 25 jämfört med scenario 0 i Umeälven.	65
Figur 38.	Vattenståndsförändring i regleringsmagasinet Gardiken vid scenario 25 jämfört med dagens reglering (scenario 0).	66
Figur 39.	Flödesförändring i regleringsmagasinet Gardiken vid scenario 25. Spill motsvarar mellanskillnaden mellan heldragen blå linje och streckad blå linje. Grön linje motsvarar reglerat flöde.	67

Figur 40.	Flödesförändring i det kombinerade reglerings- och älvmagasinet Rusfors vid scenario 25. Spill motsvarar mellanskillnaden mellan heldragen blå linje och streckad blå linje. Svart och grön linje motsvarar reglerat flöde.	67
Figur 41.	Flödesförändring i älvmagasin Tuggen vid scenario 25. Spill motsvarar mellanskillnaden mellan heldragen blå linje och streckad blå linje. Svart och grön linje motsvarar reglerat flöde.	68
Figur 42.	Produktionsförlust (GWh) för hela älven per månad vid scenario 27.	69
Figur 43.	Vision, målbild och referensförhållande.	70
Figur 44.	Flödesschema över arbetet med ekologisk reglering.	71
Figur 45.	Schematisk bild av Luleälven.	78
Figur 46.	Karta över Ångermanälvens avrinningsområde. Källa: Vattenreglering.se.	80

TABELLER

Tabell 1.	Exempel på basfunktioner vid ekologisk reglering.....	20
Tabell 2.	Älvmagasin, exempel på vattenståndsrestriktioner vid ekologisk reglering.	24
Tabell 3.	Medelflöden vid Harrsele kraftstation i Umeälven för åren 2003-2013 (SMHI).	32
Tabell 4.	Basfunktioner som användes vid modellering av ekologisk reglering i Umeälven.....	43
Tabell 5.	Kraftverken i Umeälven med maximal och lägsta turbinkapacitet, MLQ samt lägsta tillåtna flöde i modell genom turbin.	44
Tabell 6.	Antal timmar med nolltappning i Tuggens kraftverk vid torråret 2003, normalåret 2010 och våtåret 2012.	45
Tabell 7.	Spill i torrfåra (m ³ /s och i procent) jämfört med naturligt flöde, alternativ 1 och 2.	47
Tabell 8.	Flöde i fiskvägar (m ³ /s) per år inklusive lockvatten. Två alternativ med 3% respektive 6% av årsmedelflödet i fiskvägarna.	48
Tabell 9.	Produktionsbortfall vid miljöanpassade vattenstånd. Kostnad i Mkr per år.	50
Tabell 10.	Olika scenarier för ekologiska flöden i Umeälven bestående av olika kombinationer av basfunktioner (Tabell 4) samt produktionsförluster i GWh och MKR jämfört med scenario 0. * Ej beräknat med ProdRisk. PF=produktionsförlust. Basfunktionerna beskrivs i tabell 4.	52
Tabell 11.	Fördelning av produktionsförluster räknat i produktion (GWh) och intäktsbortfall (Mkr) för alla anläggningar vid scenario 1. Siffrorna anger skillnaden i produktion (GWh) mot situationen i Umeälven vid nuvarande reglering, se scenario 0.	55
Tabell 12.	Fördelning av produktionsförluster mätt i produktionsbortfall (GWh) för alla anläggningar vid scenario 11. Differens i GWh jämfört med nuvarande reglering (scenario 0).	57
Tabell 13.	Minimitappning med säsongsvariation (ej understigande minimitappning i nuvarande vattendom) till torrfåror.	59
Tabell 14.	Spill i Umeälven m ³ /s med detta scenario.	59
Tabell 15.	Produktionsförlust (GWh) per anläggning och månad för scenario 2 jämfört med scenario 0.	60
Tabell 16.	Minimitappning inkl. lockvatten i m ³ /s till fiskvägar i Umeälven.	61
Tabell 17.	Produktionsförlust (GWh) per anläggning och månad enligt scenario 4.	62
Tabell 18.	Fördelning av produktionsförluster räknat i produktionsbortfall (GWh) och intäktsbortfall (Mkr) per anläggning. Differens i GWh mot Umeälven vid nuvarande reglering, se scenario 0.	64
Tabell 19.	Produktionsförluster i GWh för varje anläggning och månad i Umeälven vid scenario 25.	66
Tabell 20.	Grupper som beskriver vattendragets ekologiska karaktär enligt IHA- och DHRAM-modell.	74
Tabell 21.	Föreslagna basfunktioner som reglerar flöden och vattenstånd.	82
Tabell 22.	Produktion inom olika prisintervall. Antal timmar.	93

EKOLOGISK REGLERING

Här beskrivs hur produktionsförluster och miljönytta kan beräknas i reglerade vattendrag. För att bevara sin ekologiska integritet är ett vattendrag beroende av naturliga flöden och konnektivitet, det vill säga en möjlighet till spridning och fri passage för djur, växter, sediment och organiskt material.

Rapporten presenterar en metod för att ta fram scenarier för att införa ekologiska flöden i utbyggda vattendrag, så kallad ekologisk reglering med Umeälven som exempel. När man bygger dammar och kraftverk i ett vattendrag förändras den naturliga flödesdynamiken vilket ger stora förändringar jämfört med naturliga flöden. Dammarna orsakar även att forsar och strömsträckor däms över och att stränderna eroderar vilket leder till förluster av habitat.

Resultaten visar att med hjälp av bristanalys av flöden kan man återupprätta vissa flödesfunktioner utan betydande förluster för kraftproduktionen. Att helt återskapa naturliga flödesregimer medför dock stora produktionsförluster.

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