



Rapport: 2018-02

Dalälvens korttidsreglering

Miljöeffekter och potentiell effektutbyggnad

Omslagsbild: Rossö kvarn, Bysjön, nedströms Näs kraftverk i Dalälven.
Foto: Mats Forslund

Rapporten kan laddas ner från Länsstyrelsen i Dalarnas läns webbplats:
www.lansstyrelsen.se/dalarna/publikationer

Ingår i serien Rapporter från Länsstyrelsen i Dalarnas län, ISSN: 1654-7691.

Rapport 2018-02

Dalälvens korttidsreglering

Miljöeffekter och potentiell effektutbyggnad

Anna Hedström-Ringvall Dalälvens vattenregleringsföretag, Claes Kjörk och Kent Pettersson Fortum, Christian Bostorp, Stefan Sandgren och Patrik Andreasson Vattenfall, Niclas Hjerdt SMHI, och Per-Erik Sandberg Länsstyrelsen i Dalarnas län



Förord

Vattenkraften svarar för 40–50 % av Sveriges årliga elproduktion. Vattenkraften är, särskilt på grund av sin reglerförmåga, en viktig del av dagens och framtidens förnybara energisystem. Ett kraftverks reglerförmåga är dess förmåga att öka eller minska produktionen beroende på variationen i efterfrågan. Detta förutsätter tillgång på vatten från uppströms liggande magasin. Genom att anpassa tappningarna ur vattenreglermagasinen, kan vattenkraften varje sekund förse elsystemet med rätt mängd energi i förhållande till samhällets varierande elbehov och övriga kraftslags aktuella produktionsförmåga. Behovet av reglerkraft bedöms öka i framtiden - i takt med ökad elproduktion från sol- och vindkraft.

Kraftverksdammar och vattenreglering förändrar förutsättningarna för djur och växter i och kring våra vatten. Dammar hindrar fiskar och andra arter att ta sig mellan sina lek- och uppväxtområden. Förändrade vattenflöden och vattennivåer utarmar strandmiljöer. Många vatten klarar inte Sveriges miljömål. Vattenkraften behöver anpassas för att klara aktuella miljökrav och bidra till Sveriges mål för både vattenmiljö- och energiområdet. Men båda målen kan inte uppnås i alla vatten - det behövs en väl avvägd prioritering. Dessutom behöver flera andra perspektiv beaktas vid planering av åtgärder.

2014 utarbetade Havs- och vattenmyndigheten tillsammans med Energimyndigheten en nationell strategi för åtgärder i vattenkraften (Havs- och vattenmyndighetens rapport 2014:14). I strategin tydliggörs att behovet av miljöåtgärder i vattenkraften behöver avvägas i förhållande till energinyttan och att de åtgärder ska prioriteras som ur ett nationellt perspektiv ger störst miljönytta i förhållande till påverkan på energisystemet. Samtidigt ska möjligheterna att behålla och stärka reglernyttan beaktas. Strategins planeringsmål för vattenkraftens miljöåtgärder, innebär att 2,3 % av vattenkraftens nuvarande elproduktion (motsvarande 1,5 TWh) kan tas i anspråk utan att orsaka väsentlig påverkan på dagens energisystem.

Sveriges vattendrag har i strategin delats in i sex grupper - med utgångspunkt från en övergripande avvägning mellan miljö- och energivärden. Dalälven hör till grupp tre, vilket innebär att det behövs fördjupade regionala analyser för att identifiera vilka åtgärder i vattenkraften som ger störst miljönytta i förhållande till påverkan på energisystemet.

Länsstyrelsen i Dalarnas län har i uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten att i samverkan med övriga länsstyrelser i nedre Dalälven och vattenkraftsbranschen, planera för ”Hållbar vattenkraft i Dalälven”.

Målsättningen för arbetet är att:

- Etablera en långsiktig regional samverkansprocess för Hållbar vattenkraft i Dalälven.
- Utveckla metoder för prioritering av miljöåtgärder mellan energi-, kultur- och miljövärden samt kommunicera erfarenheter med nationella myndigheter och andra län/områden.
- Ta fram en åtgärdsplan med de åtgärder som ger störst miljönytta i förhållande till påverkan på vattenkraften – både effekt och elproduktion.

Hållbar vattenkraft i Dalälven genomförs i projektform under 2015–18 med styrgrupp, projektgrupp och arbetsgrupper för olika arbetspaket. Ett tiotal delprojekt genomförs i syfte att sammanställa kunskap om Dalälvens vattenkraftssystem och dess påverkan på natur- och kulturmiljön samt utveckla arbetssätt och metoder för att avväga dessa värden med varandra. Delrapporter publiceras fortlöpande i Länsstyrelsen i Dalarnas läns rapportserie och kan laddas ner från hemsidan www.dalarnasvatten.se under fliken ”Hållbar vattenkraft i Dalälven”.

Rapporten ”Dalälvens korttidsreglering” har som syfte att

- beskriva Dalälvens nuvarande korttidsreglering och dess påverkan på vattenflöden och vattennivåer samt miljöeffekter i och längs Dalälven samt
- identifiera möjligheter att genom förändrade tappningar i befintliga kraftverk och regleringsmagasin öka Dalälvens samlade reglernytta. Vilket ligger i linje med energikommissionens bedömning av vattenkraftens utvecklingspotential.

Rapporten har utarbetats av en arbetsgrupp med representanter för Vattenregleringsföretaget, Fortum, Vattenfall, SMHI och länsstyrelserna. Statens geotekniska institut, Karin Odén och Per Danielsson, har medverkat med beskrivning av särskilt erosionskänsliga områden.

Per-Erik Sandberg

Projektledare Hållbar vattenkraft i Dalälven

Innehåll

Förord	2
Sammanfattning	7
Vattenkraftsystemet då och nu	12
Vattenkraften anpassas till ett föränderligt elsystem.....	12
Elanvändningen varierar timme för timme	13
Elproduktionen behöver anpassas till efterfrågan	14
Korttidsregleringen i praktiken under en vecka	19
Vattendragens flödesdynamik	22
Nederbörd - avrinning - tillrinning under året.....	22
Sjöar och naturliga förträngningars flödesdämpning	22
Nivåer och flöden i reglerade älvar	24
Klimatförändringar ger nya förutsättningar	27
Mer nederbörd ökar tillrinningen	27
Högre temperatur och mindre snö	27
Vattenflödesdynamiken förändras	29
Korttidsregleringens miljöeffekter	30
1 Regleringsmagasin.....	31
2 Strömpartier i reglerade biflöden - nedströms magasinen	32
3 Strömpartier i älvens huvudflöde - nedströms magasinen.....	34
4 Djupare älvsträckor med branta och finkorniga stränder.....	35
5 Svämplan i mellersta och nedre Dalälven	36
✓ Särskild erosionskänsliga områden/jordarter	38
Miljöanpassad korttidsreglering.....	39
Möjligheter för ökad reglernytta/elproduktion	43
Nya kraftverk och regleringsmagasin	43
Utveckling av befintliga kraftverk.....	43
Utveckling av befintliga regleringsmagasin.....	45
Pumpkraftverk	45
Ett samsamordnat vattenkraftssystem	46
Dalälvens vattenkraftssystem idag.....	48

Älvens stora regleringsmagasin och kraftverk	48
Små magasin och kraftverk i biflöden	49
Årsreglering och korttidsreglering	50
Dalälvens regleringsmagasin och kraftverk i samverkan	50
Produktionshöjande åtgärder i Dalälven	53
1 Årsregleringsmagasin	53
2 Mellanmagasin.....	57
3 Bättre nyttjande av befintliga turbiners effekt	62
4 Förbättrad körstrategi.....	63
Samlade potentialer för effektökning	65
Dalälvens nuvarande korttidsreglering - område för område.....	66
Trängslets korttidsreglering	69
Dagens korttidsreglering	70
Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik	74
Potentiella åtgärder för effektutbyggnad.....	75
Grådas korttidsreglering	76
Dagens korttidsreglering	77
Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik	82
Potentiella åtgärder för effektutbyggnad.....	83
Långhags korttidsreglering	84
Dagens korttidsreglering	85
Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik	90
Potent Potentiella åtgärder för effektutbyggnad	91
Avesta kraftverks korttidsreglering	92
Dagens korttidsreglering	93
Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik	101
Potentiella åtgärder för effektutbyggnad.....	102
Söderfors korttidsreglering	103
Dagens korttidsreglering	103
Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik	108
Potentiella åtgärder för effektutbyggnad.....	109

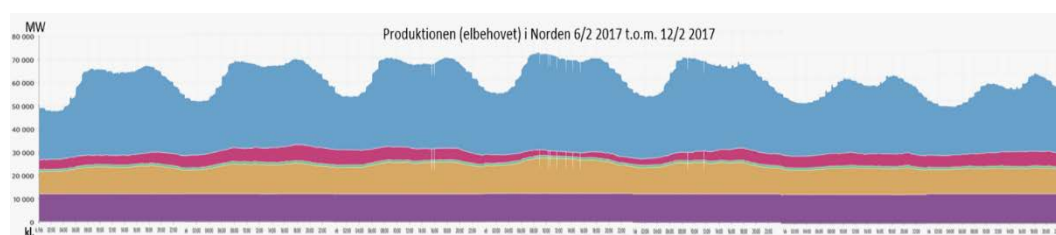
Untras korttidsreglering	110
Dagens korttidsreglering	111
Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik	113
Potentiella åtgärder för effektutbyggnad.....	114
Oreälven: Vässinkoski - Noppikoski - Furudal:s korttidsreglering ...	115
Dagens korttidsreglering	116
Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik	119
Potentiella åtgärder för effektutbyggnad.....	120
Västerdalälven: Horrmund:s korttidsreglering.....	121
Dagens korttidsreglering	121
Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik	124
Potentiella åtgärder för effektutbyggnad.....	124
Bilaga 1 Ökad elproduktion genom kraftverksrenovering	125
Bilaga 2 Osäkerheter i flödets förändringstakt	129

Sammanfattning

Samhällets elanvändning varierar mellan olika årstider och under dygnet. Elbehovet är störst under vintern och är generellt större dagtid än nattetid liksom under arbetsdagar i förhållande till helger.

Vattenkraftens roll och nytta i elsystemet

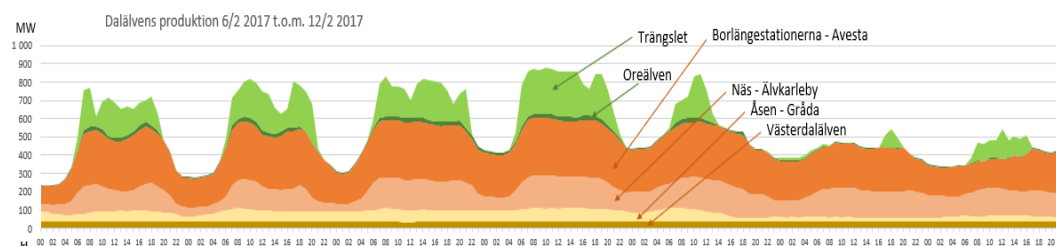
Vattenkraften kan genom sin förmåga att momentant öka och minska vattenflödet genom turbinerna snabbt anpassa produktionen till efterfrågan och övriga energislags varierande elproduktion. Vattenkraften är idag nödvändig för att balansera Sveriges elsystem. Se figur 1.



Figur 1. Elbehovet i Norden under en typisk vintervecka ("övre blå kanten") och olika energislags elproduktion. Lila fält är kärnkraft. Gult fält = kraftvärme. Rött fält = vind. Blått fält = vattenkraft.

Dalälvens vattenkraftssystem och korttidsreglering

I Dalälven med biflöden finns det fler än 110 regleringsmagasin och 130 kraftverk. Men det är ett begränsat antal större kraftverk i huvudflödet, som tillsammans med uppströms liggande stora regleringsmagasin, svarar för huvuddelen av älvens elproduktion och reglerkraft. Se figur 2 som visar hur olika grupper av kraftverk kan variera sin elproduktion under en vecka.



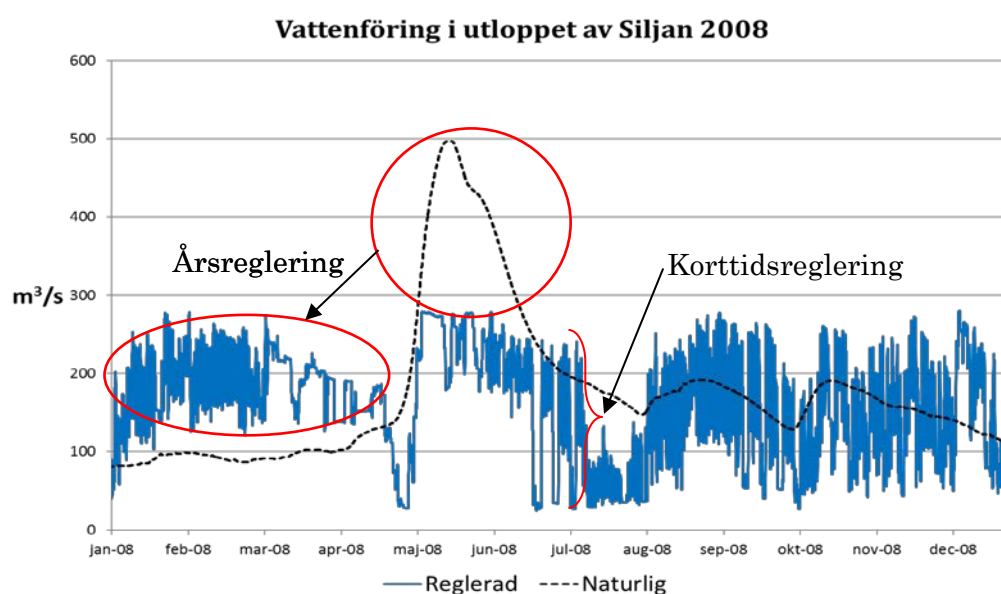
Figur 2. Dalälvens elproduktion under samma vintervecka som i figur 1. Produktionen är uppdelat i grupper av kraftverk med uppströms liggande korttidsregleringsmagasin.

Av Figur 2 framgår att de viktigaste korttidsregleringsmagasinen ligger i älvens huvudflöde. Trängslet (gröna fält) har störst förmåga att snabbt öka och minska sin produktion. Siljan regleras genom Gråda kraftverk för att förse Borlänge-Avesta (orange fält) och nedströms liggande kraftverk med optimalt flöde. Längre nedströms regleras kraftverken Långhag (Runn), Avesta (Hovran), Söderfors (Bramsöfjärden) och Untra

(Untrafjärden) i huvudflödet. Korttidsregleringen i Oreälven (Vässinkoski-Noppikoski) har hög reglerbarhet men förhållandevis små flöden och effekter.

Korttidsregleringens flödesförändringar.

Figur 3 visar hur Siljans avrinning, och därmed hela mellersta Dalälvens flöde, påverkas av Grådås års- och korttidsreglering. Årsregleringen ”flyttar”/lagrar vårfloden till nästa höst/vinter och korttidsregleringen varierar tappningarna mellan natt och dag i förhållande till efterfrågan på el.



Figur 3. Siljans års- och korttidsreglering i förhållande till naturliga flöden.

Vattendragens naturliga flödesdynamik

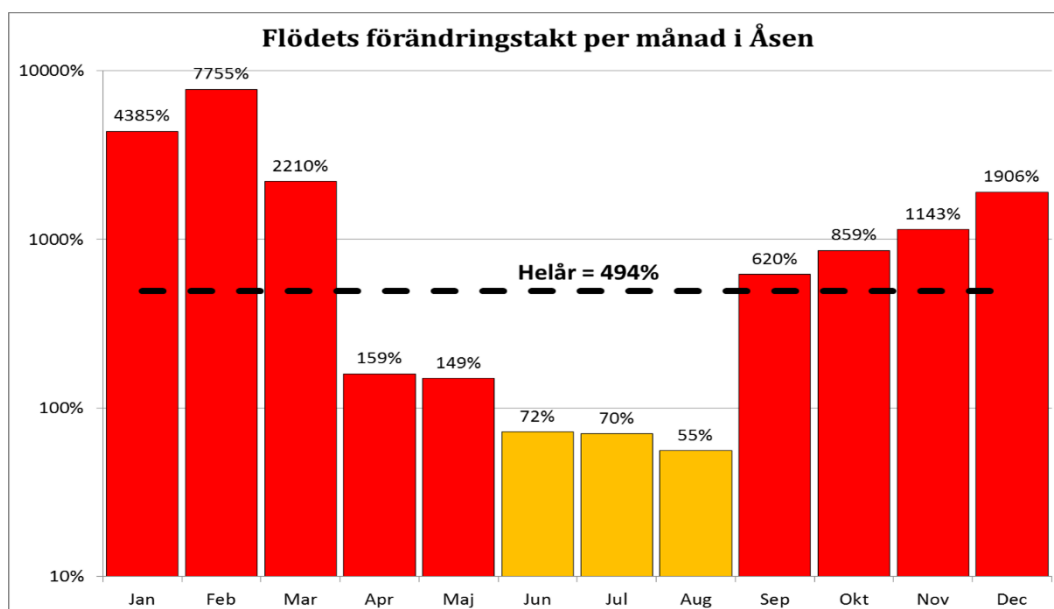
Vattenflödena i våra vattendrag varierar naturligt under året och mellan år beroende på topografi och markförhållanden, men framför allt väderförhållanden. De naturliga flödesvariationerna sker i allmänhet långsamt - åtminstone i älvars nedre lopp där flödet utjämnas över året.

I Dalälven finns flera smala/grunda partier som vid höga flöden ”stryper” flödet så att uppströms liggande sjöar och fjärdar tillfälligtvis översvämmas. Djur och växter i och längs älven är anpassade till dessa växlingar i vattenflöden och nivåer. Till exempel behöver svämlövskogar de störningar som våröversvämmningar ger upphov till. Vissa andra naturtyper är däremot beroende av stabilt sommarlågvattnet för att bibehålla artsammansättningen.

Korttidsregleringens miljöeffekter och åtgärdsbehov

Korttidsregleringens miljöpåverkan varierar beroende på regleringens omfattning och de lokala förutsättningarna i älven. Flödesvariationerna blir alltid mindre mot botten och längs stränder i förhållande till ytströmmen och variationerna klingar successivt av längs med vattendragen.

Korttidsregleringens miljöeffekter har i denna rapport bedömts kvalitativt för fem vanliga naturtyper och särskilt erosionskänsliga områden. Dessutom belyses behovet av att miljöanpassa dagens regleringar till de förhållanden som är mest känsliga i respektive naturtyp. Ett bra exempel på miljöanpassning är den återreglering och begränsade korttidsreglering som sker under juni – augusti i Åsens kraftverk (nedströms Trängslets kraftfulla korttidsreglering). Se Figur 4.



Figur 4. Indexet "Flödets förändringstakt" (baserat på timdata och uppdelat månadsvis) visar korttidsregleringens påverkan på flödet. OBS! Logaritmisk skala.

Potentialer för effektutbyggnad i Dalälven

Dalälvens vattenkraftverk och regleringsmagasin är redan idag väl koordinerade med varandra för att producera så mycket el som möjligt i förhållande till efterfrågan. Vid renovering av kraftverk finns dock en teknisk potential att öka elproduktionen med någon enstaka procent. Dessutom kan klimatförändringarna, med ökad avrinning under höst-vinter, bidra till ökad elproduktion.

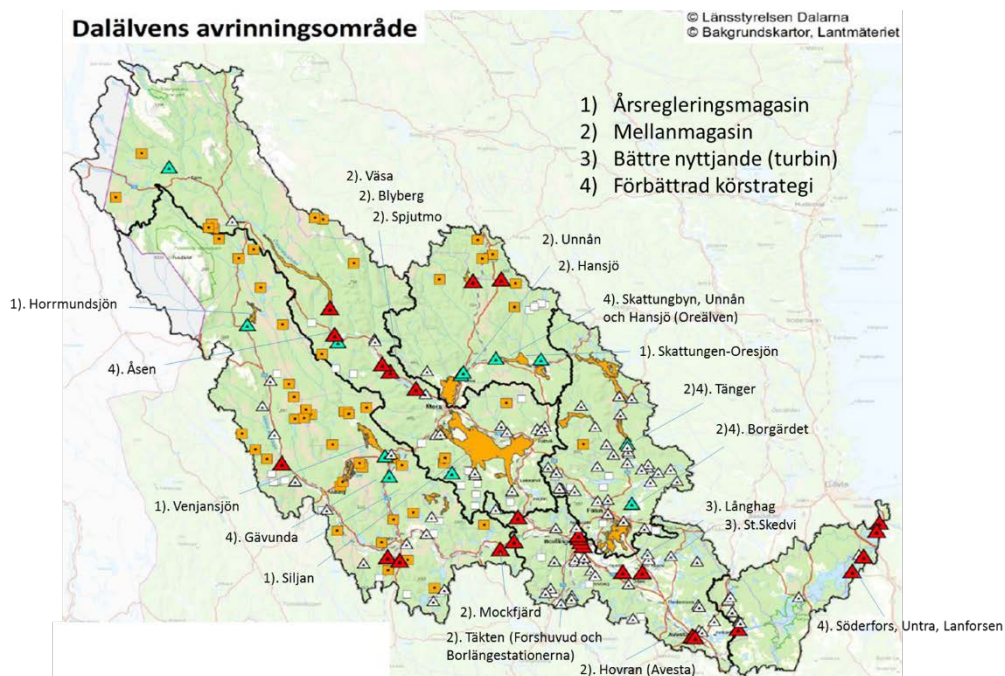
Denna rapport fokuserar på möjligheterna för effektutbyggnad och ökad reglerkraft i befintliga kraftverk och regleringsmagasin. Följande typer av åtgärder har studerats för de anläggningar som presenteras i Figur 5;

1. Öka regleringsmagasinens volym genom förändrade dämningssgränser.
2. Förändrade vattenhushållningsbestämmelser för mellanmagasin.
3. Bättre utnyttjande av befintliga turbiners effekt.
4. Förändrad körstrategi.

Analyserna visar att ökad magasinvolym (1) endast får betydelse de år vattentillrinningen är så hög att vatten behöver spillas bredvid turbinerna. Om dämningssgränsen i de Dalälvens fyra största magasinerna höjs med 10 cm så ökar den totala elproduktionen med mindre än 10 GWh/år, vilket ska jämföras med Dalälvens totala elproduktion på närmare 5 000 GWh/år. Reglervärdet av denna åtgärd är också begränsad.

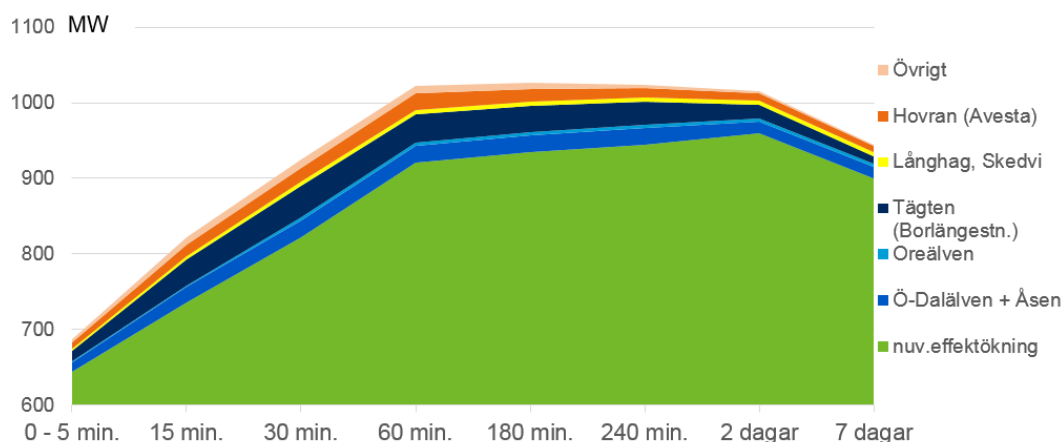
Förändrade vattenhushållningsbestämmelser för mellanmagasin (2) ger stor potentialen för effektökning i vissa kraftverksgrupper. För de studerade anläggningarna kan den snabba effektregeringen sammantaget öka med 5–10 % för Dalälven som helhet – från ca 900 MW till ca 1000 MW. Utan behov av investeringar i befintliga kraftverk och dammar.

För ett mindre antal kraftverk finns det andra typer av åtgärder för att öka energinyttan. Till exempel har Stora Skedvi kraftverk en högre teknisk utbyggnadsvattenföring (3) än vad som får nyttjas i befintligt tillstånd och tidvis spills vatten i utskoven – till ingen miljönytta. För Untra – Söderfors finns potential att koordinera korttidsregleringen för högre energinytta (4).



Figur 5. Kraftverk och magasin med potential att utveckla regleringen

Områden och magasin med möjlighet att förbättra ”tidsberoende effekttökning” i befintliga anläggningar i Dalälven



Figur 6. Potentialen för snabbare effekttäkning genom åtgärder i olika delområde.

I enlighet med Energikommisionens ställningstagande har analyser av den sammanlagda effekt- och energiökning i denna rapport avgränsats till åtgärder i befintliga anläggningar. Beräkningarna visar att åtgärder för mellanmagasin (grupp 2) har störst utvecklingspotential och kommer att få stor betydelse för kraftsystemet. Se Figur 33.

Omprövning för moderna vattenhushållningsbestämmelser

Fler av de åtgärder som analyserats i denna rapport ligger i mellersta Dalälven dvs området från Gråda till Näs. I detta område finns också behov av att miljöanpassa korttidsregleringen, framför allt sommartid. Därmed uppkommer goda förutsättningar för en win-win situation dvs. att genom förändrade vattenhushållningsbestämmelser både öka miljöhänsynen och sammantaget få en ökad effekt (framför allt snabbare effekttäkning).

Men att ompröva vattenhushållningsbestämmelserna för så stora områden är en komplicerad process som berör tusentals sakägare och kan aktualisera en rad andra regleringseffekter, utöver miljöaspekter, som erosionsskador. Med så många sakägare och frågor att utreda kan omprövning av tillstånden bli en komplicerad process som tar många år att genomföra. Frågan är hur ”moderna miljövillkor” ska kunna beredas rationellt för dessa områden?

Korttidsregleringen område för område

Avslutningsvis redovisas i rapporten nuvarande korttidsreglering och dess påverkan på vattenflöden och vattennivåer för åtta kraftverk/delområden.

För respektive delområde redovisas också potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesförändringar. Se rapporten ”Dalälvens naturvärden” (Länsstyrelsen i Dalarnas län 2018:0x) och de effekthöjande åtgärder som analyserats i denna rapport.

Vattenkraftssystemet då och nu

Under de senaste 25 åren har flera förändringar skett som påverkar hur vattenkraften används idag.

Vattenkraften anpassas till ett föränderligt elsystem

Före avregleringen av elmarknaden hade vattenkraftsproduktionen en tydligare koppling till elanvändningen och säsongsplaneringen av vattenkraften följde en belastningskurva som motsvarade det förväntade elbehovet i landet vecka för vecka.

Varje elbolag hade ett ansvar för att leverera el till sina kunder och det genomfördes med egen elproduktion eller affärer mellan enskilda bolag. Om vintern blev lång och kall var det viktigt att vattnet i magasinen räckte hela vintern. Tog vattnet slut innan vårfloden tog fart kunde det innebära mycket kostsamma affärer för att säkerställa att elleveranserna kunde hållas. Därför var det mycket viktigt att alla magasin var välfyllda under hösten innan kylan kom.

När magasinerna på hösten var välfyllda ledde det till ökad risk för höga tappningar och vattenflöden nedströms om det regnade mer än normalt. Med fyllda magasin fanns inget annat att göra än att öppna luckorna och släppa ut det vatten som inte turbinerna förmådde sluka.

Den stora utbyggnaden av vindkraft är den andra stora förändringen som påverkar hur vattenkraften körs idag. För några årtionden sedan var vindkraft något unikt i landskapsbilden, där verkens generatoreffekt i bästa fall var runt 150 kW när det blåste hårt. Då hade vindkraften ingen påverkan på hur vattenkraften kördes.

För 25 år sedan var också förbindelserna med utlandet betydligt färre. Förändringar skedde oftast över en längre tid och läget var förutsägbart på kort sikt. Störst betydelse hade det om de norska vattenmagasinen var välfyllda. De förbindelser som fanns med Finland och Danmark hade mindre betydelse före avregleringen, än vad de har idag.

Idag efter avregleringen och med ökad andel vindkraft är förutsättningarna förändrade. Produktionsplaneringen för att upprätthålla en balans mellan produktion och elanvändning är marknadsbaserad. Vattenkraftens ägare har inte samma ansvar för att vattnet ska räckta hela vintern och gör då ofta valet att inte fylla upp magasinerna lika högt under hösten som tidigare. Med mindre vatten i regleringsmagasinen ökar möjligheterna att magasinera det vatten som inte turbinerna slukar - i stället för att släppa ut det genom luckorna (spill). Även om produktionen under vintern då minskar något ökar den totala produktionen påtagligt och ger en ökad nytta av reglermagasinen.

Magasinen kan även tömmas tidigare under vintern eftersom det inte finns samma risker med att produktionen blir liten mot slutet av vintern. Det innebär att nivån i magasinen och även flödet i vattendraget är lågt någon vecka tidigare innan vårfloden startar. En sen vårflod kan innebära låga nivåer under längre tid än tidigare under slutskedet av vintern.

Vindkraften mäts numera i MW i stället för kW och större och mindre vindkraftsparker finns över hela landet. Vindkraftens varierande produktion gör att behovet av vattenkraftsproducerad el varierar från dag till dag. I kombination med en betydande ökning av utlandsförbindelser både åt söder och öster förstärks det varierade behovet. Tysklands utbyggnad av solkraft har till exempel en märkbar inverkan på hur vattenkraften regleras i Dalälven.

Sammanfattningsvis har vattenkraftens målbild förskjutits från en hög produktion under vinterhalvåret till en flexibel produktion under hela året. Elbehovet är fortfarande störst under vintern, men variationen inom varje årstid är idag mycket större, vilket innebär ett ökat behov att variera tappningen genom vattenkraftverken under alla årstider.

Elanvändningen varierar timme för timme

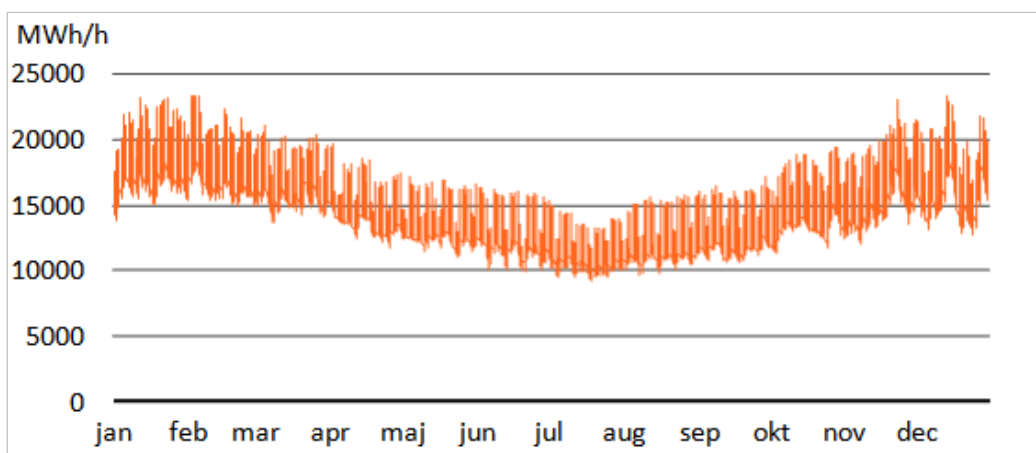
Samhällets elanvändning och därmed behovet av elproduktion varierar under dygnet och mellan olika årstider. Se kapitlet "Vattenkraftens roll i Sveriges elsystem" i rapporten "Dalälvens vattenkraftssystem – energiproduktion och reglerkraftnytta samt påverkan på vattenflöden och nivåer" (2017:03) för mer information.

Elanvändningens variation över året

Elanvändningen varierar mellan årets månader. Figur 7 visar hur Sveriges totala elanvändning per timme varierar över året. Det taggiga mönstret beror på att elanvändningen också varierar från timme till timme, vilket förklaras mer ingående i följande avsnitt.

Orsaken till de stora variationerna mellan den kalla och varma årstiden är främst elanvändningen för uppvärmning. Till mindre del beror skillnaden på att industrin minskar sin produktion sommartid och att antalet timmar med dagsljus är färre under vintern.

Elanvändning är upp mot tre gånger så hög vintertid (ca 25 000 MWh/h) som sommartid (ca 8 000 MWh/h). Det innebär också att det behöver produceras tre gånger så mycket el vintertid. Figur 7 visar hur Sveriges totala elanvändning varierar över årets alla timmar.

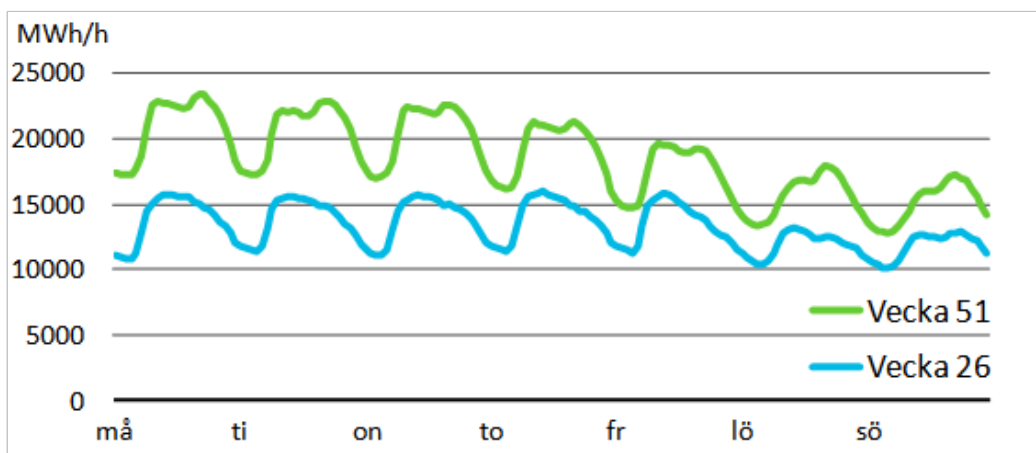


Figur 7. Sveriges totala elanvändning över årets alla timmar (MWh/h).

Vecko- och dygnsvariation i elanvändningen

I Figur 8 redovisas typiska veckor med högst respektive lägst timvis elanvändning under samma år. Här framgår dygnsprofilen över veckan i sju tydliga pucklar för veckans dagar, med störst elanvändning morgon och kväll. I slutet av veckan förändras pucklarnas utseende när det är helg och ledigt från arbeten och skolor. Skillnaderna mellan dag och natt minskar under helgerna, ”pucklarna” blir flackare.

Här syns också skillnaden på användningsnivåer mellan sommar och vinter. Högsta värde vintertid når en nivå på över 25 000 MWh/h medan låga värden sommartid går ned emot 8 000 MWh/h.



Figur 8. Sveriges totala elanvändning en vintervecka och en sommarvecka (MWh/h).

Elproduktionen behöver anpassas till efterfrågan

I ett elkraftssystem måste det alltid vara balans mellan produktion och förbrukning. En obalans påverkar kraftsystemet momentant och reducerar

förmågan att möta samhällets krav på leveranssäkerhet. Mycket stora avvikelser medför att produktionsanläggningar behöver kopplas bort eftersom anläggningar kan skadas av obalanser. Det hela kan resultera i en så kallad "black-out", ett storskaligt strömavbrott. De två senaste tillfällena när Sverige drabbades av en black-out var 1983 och 2003. Då var över en miljon elkonsumenter utan el.

Användningen av el varierar hela tiden och i Sverige används uteslutande vattenkraften för att balansera systemet. Förbrukningen varierar inom flera tidsintervall från sekund, dag/natt, vecka/helg och säsong sommar/vinter. I takt med att etableringen av vindkraft har ökat i Sverige utnyttjas också vattenkraftens reglerförmåga för att kompensera för vindkraftens variation.

Lagringskapaciteten av el är dessutom mycket begränsad. Det finns idag lösningar med batterier tillgängliga på marknaden men kapaciteten är fortfarande mycket liten i förhållande till vattenkraftens reglerförmåga. Idag varierar förbrukningen med som mest 6 000 MW mellan dag/natt i Sverige, vilket motsvarar 40 % av vattenkraftens totala tillgängliga produktionskapacitet.

Anpassning av elförbrukning efter tillgång på produktion

Energiomställningen ger en ökning av väderberoende elproduktion (vind) och en reduktion av styrbar elproduktion (kärnkraft). Det finns tre alternativa vägar att bibehålla balansen i systemet efter denna förändring:

- Reglera mer med befintlig reglerbar produktion (vattenkraft)
- Utöka och öka utnyttjningsgraden av transmissionskapacitet till angränsande länder
- Anpassa elförbrukningen efter tillgång på väderberoende elproduktion

Naturligtvis kan det vara aktuellt och mest effektivt med en kombination av de tre punkterna ovan.

Idag är kravet på leveranssäkerhet från samhället på el mycket högt. Det finns ett stort värde i att själv kunna styra sin förbrukning efter sitt eget behov. El är en råvara som handlas i timenheter, således 24 olika prisavsnitt per dygn. Användningen inom respektive dygn är alltid högre på dagen än på natten eftersom att vi använder mer el när vi är vakna. Priset är därför oftast högre på dagen än på natten. Men prisskillnaden är idag inte så stor att det finns tillräckliga incitament att flytta användning från högpristimmar till lågpristimmar.

Det finns en stark opinion mot höga elpriser, men det är sällan som elpriserna är så höga under en längre tidsperiod att privatkunders månadskostnad påverkas kraftigt. Senast det förekom var under vintrarna 2009 och 2010 och orsakades då av låg tillgänglighet av kärnkraft och hög elanvändning. Inom samhällssektorer med hög elanvändning; hushåll,

industri, offentlig verksamhet och transport finns det skilda krav på hur flexibel elanvändningen kan vara.

Sedan år 2012 finns det möjlighet för privatkonsumenter att ha ett rörligt elpris med timupplösning. Konsumenten har då möjlighet att anpassa sin elförbrukning efter elpriset för att minimera kostnaden. Men fram tills idag har det inte varit vanligt att konsumenter ansluter sig till rörligt elpris. Det är främst konsumenter med uppvärmning av egen bostad med värmepump som valt rörligt elpris, eftersom det då relativt enkelt finns en uppsida. Stor prisvariation mellan hög- och lågpristimmar samt effektiva system för att hantera anpassningen av elanvändningen är en förutsättning för att få till en mer flexibel användning.

Samhällets ökade behov av el under dagtid är starkt relaterat till våra levnadsmönster och det behövs tydliga drivkrafter i form av prisskillnader för att påverka denna variation under dygnet. Idag behöver den storskaliga svenska vattenkraften varje morgon och kväll anpassa tappningarna och därmed den samlade elproduktionen upp mot 40 % av den totala kapaciteten.

Marknaden för fysisk elhandel - Nordpool spot

Den fysiska elproduktionen i Norden bestäms för nästkommande dygn genom en spot auktion kl. 12:00. Samtliga producenter lämnar då in bud för sin produktion uppdelat per prisområde och timme. Produktionen prissätts efter respektive produktionsanläggnings rörliga marginalkostnad. Vilken intäkt behöver respektive kraftverk för att inte göra en förlust? Eftersom elmarknaden är konkurrensutsatt är buden baserade på den rörliga marginalkostnaden, dvs kostnaden för att producera utan att göra varken vinst eller förlust. Marginalkostnaden varierar mellan produktionsslag och anläggningar - där förenklat vind har lägst kostnad (nästan noll) och små gasturbiner (som endast utnyttjas som reserv) har högst kostnad.

Samtliga konsumenter, även privatkonsumenter via sitt elhandelsbolag, lämnar också in sina köp-bud för respektive prisområde och timme. Elhandlaren gör en förbrukningsprognos för sina kunder för varje timme baserat på historik och temperatur.

Spot auktionen tar också hänsyn till överföringskapacitet mellan prisområden i Norden. Vilket innebär att tillgänglig kapacitet utnyttjas för att flytta produktion mellan prisområden för att utjämna elpriset. Det är också en koordinering med elmarknaderna i centrala Europa för att hantera flödet på transmissionskapaciteten mot kontinenten. Finns det ett överskott på billig vindkraft i Tyskland överförs den till Sverige om det finns tillgänglig transmissionskapacitet. Figuren nedan redovisar prisområdena i Norden med överföring mellan prisområden och till kontinenten.

Elanvändningen är inte konstant under en hel timme, den ändras t.ex. så fort en person tänder en lampa. Svenska kraftnät ansvarar därför för att hålla balansen inom respektive timme med hjälp av reglerkraft. I Sverige utgörs reglerkraften uteslutande av vattenkraft eftersom vattenkraften kan tillhandahålla denna funktion till lägst kostnad. Det finns idag inte så stor tillgång på andra produktionsanläggningar i Sverige som kan tillhandahålla reglerkraft. Det finns tre typer av reglertjänster som SvK upphandlar för att fullgöra sitt uppdrag:

- FCR, automatisk reglering för att hantera små avvikelser, t.ex. små förändringar av förbrukning.
- FRR-A, semi-automatisk för att hela tiden avlasta den utnyttjade FCR så att det alltid finns kapacitet tillgängligt.
- FRR-M, manuell reglering för att kompensera för stora avvikelser, t.ex. när kraftverk inte fungerar, eller stora avvikelser för förbrukning- eller vindprognos.

Den reglerförmåga som den Svenska vattenkraften bidrar med utnyttjas både av spotauktionen och de reglertjänster som SvK upphandlar. En grov uppskattning är att spotauktionen allokerar 90 % av vattenkraftens reglerarbete och reglertjänsterna övriga 10 %.

Import och export

De första överföringsförbindelserna mellan Sverige och kontinenten byggdes i början 90-talet, d.v.s. före avregleringen av elmarknaden i Sverige. Syftet var att öka leveranssäkerheten och minska de samhällsekonomiska kostnaderna för energiförsörjning. Hur mycket el som överförs beror bland annat på ledningarnas kapacitet och tillgången på elproduktion på respektive sida av förbindelsen.

Om det till exempel finns ett överskott på billig vindkraft i Tyskland överförs den till Sverige. De medför då att elpriset ökar i Tyskland och reduceras i Sverige. Vindkraften tränger undan den dyrare kraft som hade ersatt vindkraften från Tyskland.

Olika energislags möjligheter att variera elproduktionen

Olika typer av elproduktion har skilda möjligheter att öka och minska sin elproduktion i förhållande till samhällets behov. En produktionskällas förmåga att reglera produktionen benämns vanligtvis med reglerförmåga.

Kärnkraft

Reglering med kärnkraft är varken resurseffektivt eller snabb. Sveriges kärnkraftverk är konstruerade för en kontinuerlig produktion. Det finns dock möjlighet att reducera produktionen med upp mot 70 %. Men för vissa kraftverk kan det sedan ta upp till en vecka att öka produktionen tillbaka till maxproduktion. Det påverkar också bränsleekonomin, eftersom bränslet i reaktorn inte bränns ut fullständigt.

Kraftvärme

Reglering med kraftvärme är snabbt och resurseffektiv om det finns möjlighet att lagra/buffra uppvärmt vatten, d.v.s. växla mellan el- och värmeproduktion. Produktionsanläggningen måste därför vara konstruerad för att kunna reglera elproduktionen, vilket ger högre investeringskostnad. De kraftvärmeverk som idag finns i Sverige är uteslutande optimerade efter värmeproduktion och el är en biprodukt. Om elpriset är lägre än kraftverkets rörliga kostnad är det möjligt att avstå från elproduktionen.

Vind och sol

Vind och sol producerar el i förhållande till vindstyrka och solinstrålning. Reglering med vind och sol är snabb men inte resurseffektivt eftersom det endast är möjligt att minska produktion men inte omfördela produktionen till andra tidpunkter. I Danmark förekommer det idag att stora vindkraftparker reglerar ner på uppdrag från den danska transmissionsoperatören p.g.a. nätbegränsningar.

Gasturbiner

Reglering med gasturbiner är snabbt men inte speciellt resurseffektivt och ger ökade CO₂ utsläpp. Utnyttjandetiden för existerande gasturbiner är idag mycket liten, de används bara i undantagsfall. Vilket medför en hög investeringskostnad i förhållande till användningstid. Gasturbiner är bra för att tillgodose samhällets behov av leveranssäkerhet men ska endast användas i bristsituationer av både kostnads- och miljöskäl.

Vattenkraft

I Sverige svarar vattenkraften för nästan allt behov av reglerbar elproduktion (ofta benämnt med balans- eller reglerkraft). Jämfört med andra typer av elproduktion är det relativt billigt och resurseffektivt att reglera med vattenkraft. Vattenkraften kan snabbt reglera vattenflödet genom turbinen för att anpassa elproduktionen och magasinens kapacitet att lagra vatten är stor. Vattenhushållningsbestämmelserna har från början utformats för att vattenkraften ska kunna tillgodose det prognostiserade behov av reglerkraft.

Reglering med vattenkraft är både resurseffektivt och snabbt. Jämfört med andra existerande typer av elproduktion; vind, sol, kraftvärme, kärnkraft och gasturbiner är reglering med vattenkraft mest effektivt.

Det finns idag inget effektivt alternativ i Sverige för det kontinuerliga reglerarbete som vattenkraften dagligen gör, produktionen anpassas kontinuerligt efter förbrukningen och vindkraftens variation.

Korttidsregleringen i praktiken under en vecka

Korttidsreglering behövs för att under vecka, dygn, timme och minut balansera det aktuella behovet av elkraft.

Veckoreglering planeras för att optimera tillgången på magasinsvatten till veckodagar med störst elbehov, vanligtvis vardagar. Behovet av vattenkraft beror bl.a. av elanvändningen, tillgången på elproduktion från övriga energislag som sol och vind samt export och import i det nordiska elsystemet.

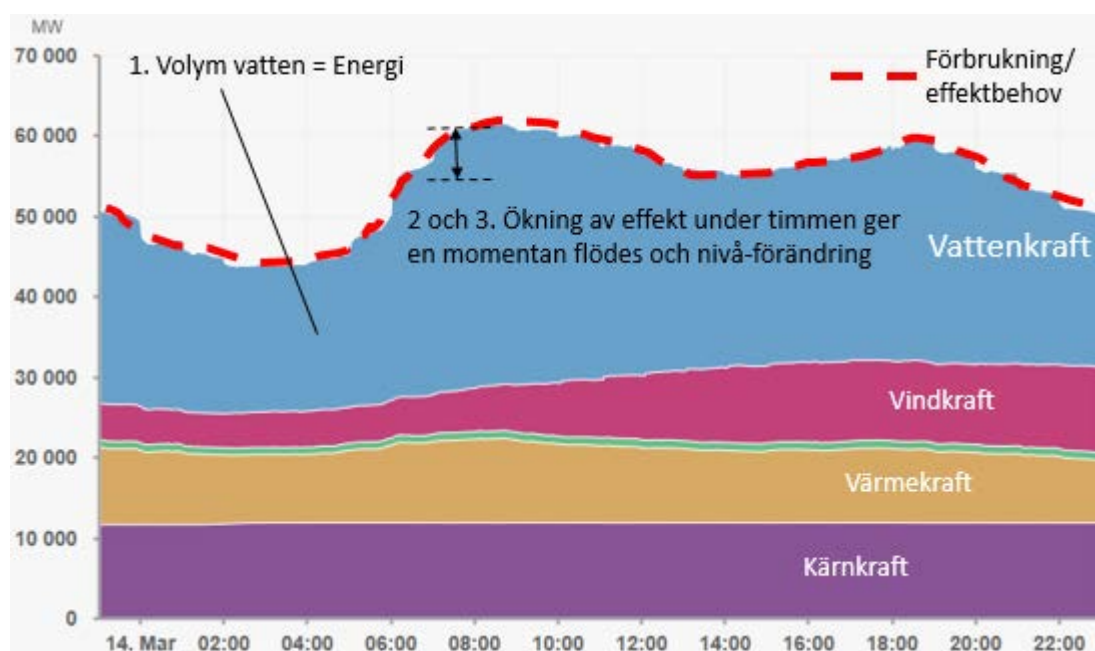
Dygnsregleringen utgår från veckoregleringens utfall av dygnsvolym. Varje veckodag planeras i huvudsak mot varje enskild timmes effekt och energibehov. Det är viktigt att alla timmars prognoserade elbehov blir planerad med rätt mängd produktion för att skapa balans i elsystemet.

Produktionsvolymerna handlas genom bud på en "spotmarknad". Efter affärens "avslut" får varje kraftproducent ansvar för att uppfylla sin sålda produktionskvot för den aktuella timmen. Produktionsvolymerna för denna tim-handel planeras och bestäms dagen innan aktuell leveransdag. "NordPool" är den huvudsakliga marknadsplatsen där det även handlas elkraft per timme under innevarande dygn ("Elbas").

Effektreglering är ett sätt att momentant korrigera elbalansen för att bibehålla en stabil elkvalité (50 hertz frekvens). Svenska Kraftnät (SVK) är den myndighet som hanterar marknaden för upp och ned-reglering när obalanser mellan förbrukning och produktion uppstår. Sådana initierade effektåtgärder kan innebära att ett eller flera kraftverk omedelbart måste startas eller kraftigt öka flödet, för att åstadkomma en ökad produktion och ge mer effekt. Eller det motsatta då lasten understiger produktionen.

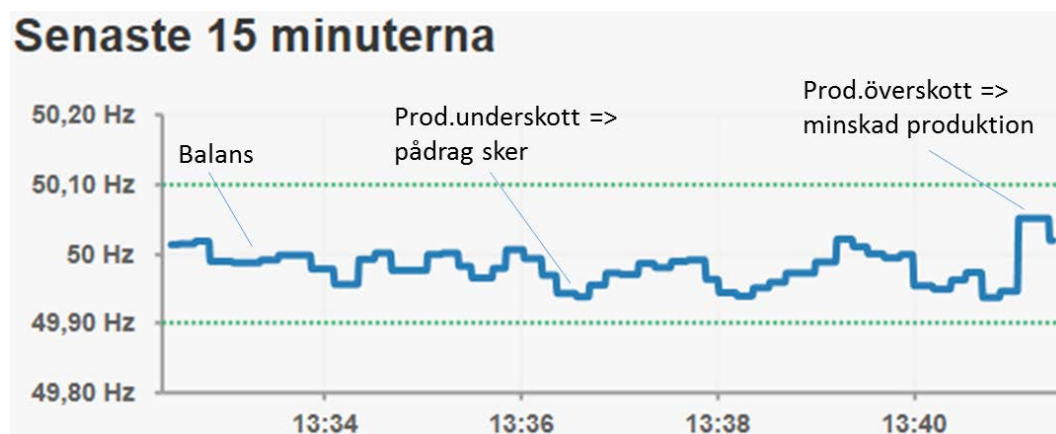
Vid aktiv korttidsreglering påverkas/ förändras följande parametrar:

1. **Magasin.** Energi skapas av den effekt man genererar över tid (1MW effekt under en timme = 1MWh energi). Under ett dygn då energibehovet varierar kan vattennivån i ett magasin både öka och minska, beroende på behovet av produktion
2. **Flöden.** Flödeshastighet uppströms och nedströms ett kraftverk varierar. Är kraftverket stoppat är vattenflödet genom turbinen 0 m³/s. Hastigheten ökar vid effektpådrag och minskar vid sänkning av effekten
3. **Nivåer.** Det sker kortvarig nivå-förändring av vattenytan närmast uppströms och nedströms kraftverket. Eller vid det övre, första kraftverket i en serie av kraftverk vid effektpådrag samt vid minskning av effekt



Figur 10. Förbrukning/effektbehov i balans med de olika kraftslagen i det nordiska elsystemet. Data och grundbild från SVK's hemsida "kontrollrummet" 2017-03-14.

Förutom dessa timvisa och effektbaserade regleringarna sker även frekvensstyrda, automatiska regleringar på minut och sekundnivå (primärreglering). Denna reglering sker med redan startade, inkopplade kraftverk, med syftet att hålla nätet i balans (50,00 Hz). Storleken på dessa regleringar innebär oftast mindre justeringar av vattenflödet (+/- ca.10–20% från aktuellt driftflöde) och knappt märkbara nivåförändringar. Eftersom syftet med primärregleringen är att balansera frekvensen mot 50,00 Hz blir regleringen ett "nollsummespel" ur elproduktionssynpunkt.



Figur 11. Frekvensvariationen över 15 minuter. Data och grundbild hämtad från SVK's hemsida "kontrollrummet".

Vattendragens flödesdynamik

Målsättningen med detta avsnitt är att ge en grundläggande förståelse för hur vattenflöden och vattennivåer i våra vattendrag varierar i både långa och korta tidsperspektiv i såväl oreglerade som reglerade vattensystem.

Nederbörd - avrinning - tillrinning under året

Vattenflödena i våra vattendrag varierar naturligt beroende på en rad olika faktorer, under året och mellan år, samtidigt som dynamiken skiljer sig åt från källflödena till ner till älvarnas mynningsområden i havet.

Huvuddelen av nederbörden passerar mer eller mindre ytligt genom marken medan en viss del bildar grundvatten innan det strömmar ut i vattendragen. I källflödena är oftast marken mer kuperad och jorden grovkornig varför nederbörden snabbare når vattendragen än längre ner i vattensystemen som omges av flacka och finkorniga marker. Flödesvariationerna är således naturligt mycket snabbare i små källflöden.

Klimatet styr hur stor del av nederbörden som avrinner till vattendragen – och när. Sommartid avdunstar huvuddelen av nederbörden – både genom växternas upptag av vatten och direkt förångning. Flödena i våra vattendrag sjunker då och tidvis kan det bli mycket låga flöden.

Om vinterns nederbörd faller som snö, blir tillrinningen till vattendragen mycket liten – fram till snösmältningen. Vintertid är det inte ovanligt att de allra minsta bäckarna torkar ut och bottenfryser. Vilket tvingar fisk och andra djur att vandra nedströms för att återvända under våren. Felaktigt lagda vägtrummor, som utgör vandringshinder, kan då vara förödande och utarma de allra minsta bäckarna i hela vattensystem.

Väder och vind varierar mellan år varför den verkliga tillrinningen till våra vattendrag och vattenflödena i dessa varierar än mer sett över en längre tidsperiod. Till exempel så uteblir vårfloden vissa år medan det andra år kan bli översvämningar under sommaren

Sjöar och naturliga förträngningars flödesdämpning

Snabba flödesförändringar som uppkommer till följd av variationer i den naturliga tillrinningen eller vattenkraftens regleringar kommer succesivt att jämnas ut (dämpas) längs med älven.

Sjöutlopp

I oreglerade sjöars utlopp finns en tröskel som dämmer upp vattennivån uppströms och därmed bildat själva sjön. Utloppets bredd och djup i olika tvärsektioner påverkar hur snabbt vattnet kan passera och därmed även hur sjöns nivå varierar under året beroende på variationer i tillrinningen.

Älvarnas mer lugnflytande och djupare partier, ”sel,” har också trösklar i bottenstrukturen som dämmer upp vattenflödet.

I en uppdämd sjö kan den naturliga tröskeln vara borttagen genom muddring av utloppet i kombination med att nivån har höjts genom dämning. Flödena är då beroende av hur tappningen styrs genom turbiner och utskov. När sjönivån sjunker mot den lägsta tillåtna nivån är det vanligt att tappningen måste minskas på grund av naturliga begränsningar i vattendraget, även om rensningar genomförts för att öka flödet genom kraftverket.

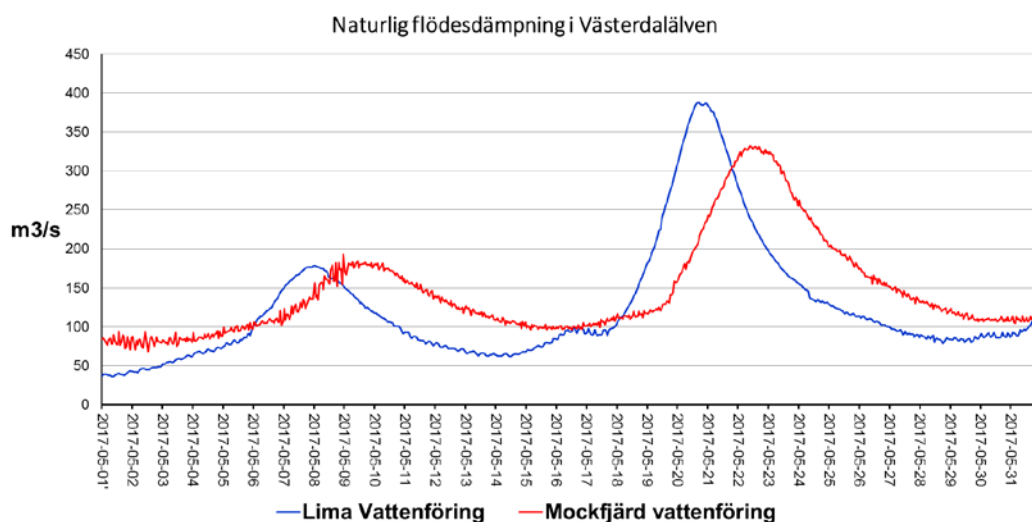
Naturliga förträngningar

I Dalälven finns flera smala/trånga sektioner (”flaskhalsar”) som får stor påverkan på både flödet i älven nedströms och vattennivån uppströms. Störst påverkan har Siljans utlopp som har en kraftigt dämpande effekt på flödet i älven nedströms.

Andra trånga sektioner som har stor påverkan är Våbäcksforsen nedströms Runns upplopp i Dalälven som vid höga flöden dämmer upp nivån i Runn. Utloppet ur Hovran är mycket grunt och dämmer upp nivån i sjön redan vid normala flöden i älven. I nedre Dalälven finns ett flertal trånga sektioner och den som ger störst påverkan är Gysinge vid utloppet av Färnebofjärden.

Långa älvsträckor

Även i älvsträckor utan sjöar och trånga sektioner kommer vattenflödet vid kraftig nederbörd långt upp i älvens tillrinningsområde att succesivt dämpas och jämnas ut längs älven. Denna dämpning är naturlig och beror på att älven breder ut sig och flödet bromsas upp. I Västerdalälven är till exempel flödestoppen i Lima ofta högre än i Mockfjärd. Trots att tillrinningsområdet till Mockfjärd är mycket större, med många tillflöden på sträckan mellan Lima och Mockfjärd.



Figur 12. Det tar ca 2 dygn för vattnet att rinna från Lima till Mockfjärd.

Nivåer och flöden i reglerade älvar

Kraftiga flödesförändringar, såsom vid korttidsreglering eller längre perioder med låg vattenföring, påverkar strömningen i älven och förhållanden för de organismer som lever i den. Älvar och rinnande vatten har dock en viss inneboende tålighet som fördröjer och dämpar effekten av flödesförändringar. Det går därför inte jämföra en älv med ett slutet system, där responsen är omedelbar och fullständig vid en flödesförändring.

Uppströms och nedströms kraftverk finns dock andra mekanismer i älven med en utpräglad ”tröghet” i responsen. Man kan grovt klassificera dessa tröghetseffekter i hydrauliska och hydrologiska mekanismer. De senare beror på älvens samspel med det omgivande avrinningsområdet, t.ex. utbyte med grundvattenmagasin. Störst betydelse har normalt den hydrauliska responsen till flödesförändringar – som framför allt beror på två faktorer:

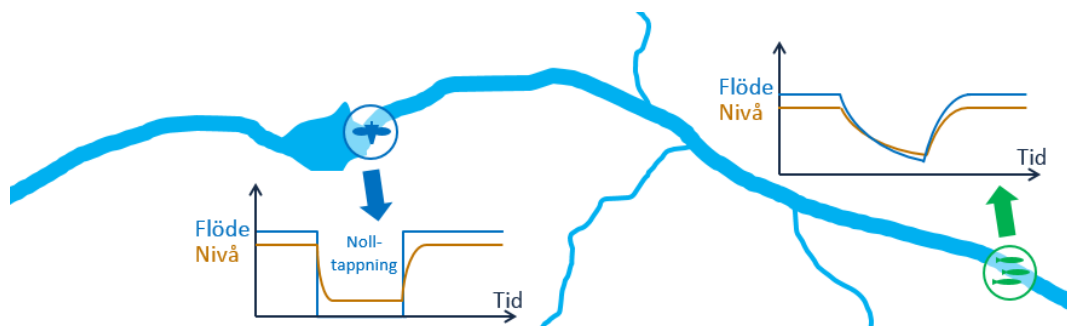
- Flödesförändringar påverkar både den genomströmmade tvärsnittsarean (som ökar eller minskar) och flödes hastigheten. Tappningsförändringen fördelas mellan dessa bägge faktorer beroende på älvens karaktär.
- Magasinseffekter som utjämnar flöden över tiden.

Nedan redogörs för hur dessa faktorer dämpar påverkan längs en älv när ett kraftverk genomför plötsliga tappningsförändringar.

Tröghet vid snabba flödesförändringar såsom korttidsreglering

I direkt anslutning till ett vattenkraftverk är påverkan på själva flödet i stort sett omedelbar, vid en förändrad tappning genom turbinerna. Nivån svarar också relativt snabbt men med en tydlig fördröjning då samspelet med övriga förhållanden i älven har en påtaglig påverkan.

Av Figur 13 framgår principiellt hur flödesförändringen fortplantas nedströms när ett kraftverk plötsligt genomför nolltappning under en begränsad tid.



Figur 13. Exempel på hur vattenflöde och vattennivå (blå respektive brun kurva) förändras nedströms ett kraftverk med nolltappning under en viss tid.

En viss sträcka nedströms kraftverket (grön symbol) har flödesförändringen dämpats och är inte lika plötslig. Detta är ett generellt förhållande i alla vattendrag, där dämpningens storlek beror på avståndet från kraftverket och älvens hydrauliska förutsättningar. Allmänt gäller följande;

- Avsänkingshastigheten (flöde och nivå) är utdragen och avtar med tiden. Riktigt låga nivåer och flöden dröjer därför. Det finns således en viss tålighet inneboende i alla vattendrag innan kritiskt låga värden uppstår.
- Återhämtningen vid ökad tappning (nolltappnings slut) sker snabbt. Förhållanden nära kritiska låga värden kan därför snabbt återhämta sig vid flödesökningar.

Ett väldokumenterat exempel är sträckan nedströms Porsi kraftverk i Luleälven som LTU har studerat i en matematisk modell där vattenföringen i kraftverket momentant strypts från 500 till 100 m³/s. Drygt tre timmar senare är flödet fortfarande 200 m³/s (dubbelt den nya turbinvattenföringen) 8 km nedströms kraftverket. Sträckan nedströms Porsi bedöms ändå vara relativt snabb i responsen då den saknar sjöar, svämområden och liknande element som skapar stor dämpning i vattensystemen.

Tröghet vid långvariga flödesförändringar som årsreglering

Även långvariga flödesförändringar uppvisar en dämpning i responsen. Även här beror storleken på dämpningen på de lokala förhållandena i älven. För enkelhets skull belyses här ett vattendrag med följande hydrauliska egenskaper:

- "Naturliga förhållanden" råder. Detta är ett hydrauliskt begrepp för ett öppet vattendrag i jämvikt, d.v.s. ett jämnt strömmande vattendrag.
- Vattendraget är "hydrauliskt brett". Det betyder att vattendragets bredd är minst tio gånger större än dess djup, vilket oftast är fallet i naturliga strömvattendrag.

Dessa förutsättningar speglar förhållanden som är vanliga, speciellt för strömsträckor, där dämpning inte är så uttalad. Det är också dessa sträckor som är mest intressanta som strömvattenbiotoper.

En långvarig reduktion av kraftverkets tappning med 90% får under dessa förhållanden följande påverkan på älven nedströms:

- Vattenflödet (m³/s) från kraftverket minskar direkt till 10 %.
- Effekten fördelas i älven på de bägge faktorerna flödeshastighet och genomströmmande area (till exempel: $1 - 0,25 \times 0,4 = 90\%$)
- Den genomströmmade arean (våta arean) minskar då till 40%.

- Hastigheten behåller i detta fall 25% av sitt ursprungliga värde så länge den nya tappningen består. Här avses medelhastigheten över hela vattendraget.
- Bottenhastigheten minskar dock bara med 50%. För bottenhastighet är "friktionshastighet" den mest gängse termen. Det är hastigheten mycket nära botten på en nivå där de största stenarna befinner sig. Friktionshastigheten relaterar också direkt till stabilitet och transport av sediment och är den parameter som bäst beskriver den "bortspolande kraften" som har stor direkt och indirekt betydelse för bland annat bottenlevande organismer.

En flödesreduktion med 90% ger således kraftigt förändrade förutsättningar för älven och dess djur och växter, men inte fullt så stor som det reducerade flödet kan antyda. Den påverkan som beskrivs i punkterna ovan skall ses som ett exempel, eftersom lokala förhållanden påverkar de angivna värdena såväl uppåt som nedåt. Vid kraftig dämning ger t.ex. tappningsförändringen större påverkan på flödet och mindre på den våta arean.

Vid motsvarande kraftig flödesökning (som är vanligt vid korttidsreglering under dygnet) uppstår motsvarande dämpande fenomen. Med samma antaganden som ovan innebär en flödesökning med 10 ggr att djupet ökar med i storleksordningen en faktor 4, flödes hastigheten med 2,5 och bottenhastigheten bara 2 ggr. I detta exempel har det antagits branta strandlinjer.

Sammanfattning av vattendragens dämpning

Sammanfattningsvis beror dämpningen av reglerade flöden nedströms kraftverk på flera faktorer.

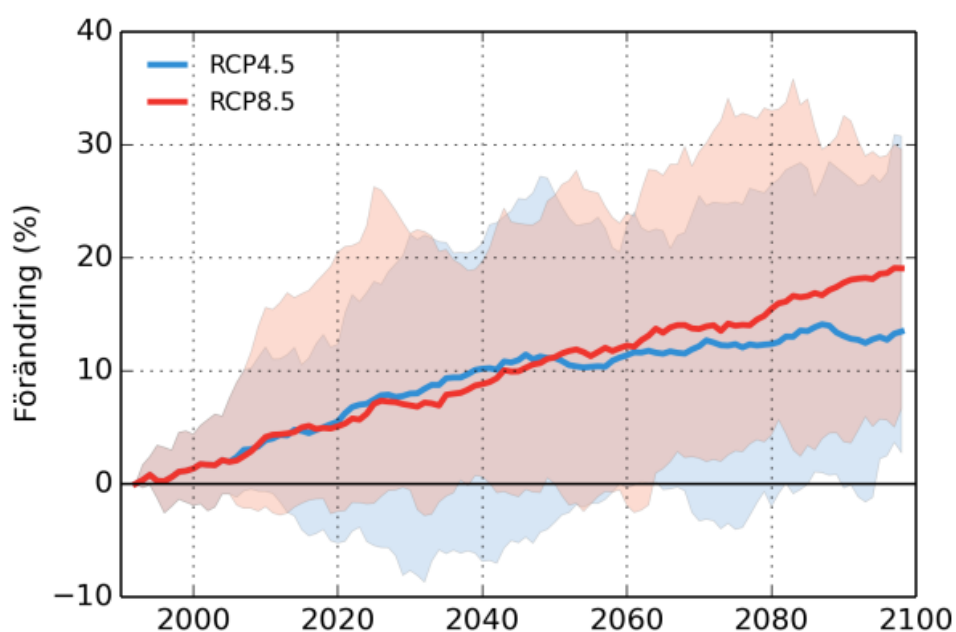
- Förekomst av *sjöar och större vattenytor* ger en mer effektiv dämpning jämfört med rena älvsträckor.
- Dämpningen ökar generellt med *avståndet* nedströms, men även regleringens *frekvens* har betydelse för hur snabbt dämpningen sker.
- En högfrekvent reglering (som korttidsreglering) dämpas ut betydligt snabbare än en lågfrekvent reglering (som vecko- eller säsongsreglering).
- Dämpningen är generellt mer effektiv vid låga flöden än vid höga flöden, men miljöpåverkan kan fortfarande vara större vid låga flöden eftersom grunda områden då riskerar att torrläggas.
- En korttidsreglering uppströms en större sjö ger betydligt snabbare dämpning nedströms jämfört med korttidsregleringen uppströms en längre älvsträcka.

Klimatförändringar ger nya förutsättningar

I detta avsnitt ges en översiktlig bild av hur klimat och vattenflöden i Dalälven kan förändras fram till nästa sekel, enligt bland annat SMHI:s regionala klimatanalyser (2015) som redovisar förändringar i temperatur, nederbörd och vattenflöde för ett tiotal platser i Dalälven. Se rapporterna "Dalälvens vattenkraftssystem" (2017:03) och "Ekologiskt anpassad årsreglering" (2017:09) för fördjupad information.

Mer nederbörd ökar tillrinningen

I ett framtida klimat väntas nederbörden öka. Figur 14 visar hur den totala årsmedeltillrinningen till Dalälven kommer att öka med upp mot 15–20% fram till nästa sekel.



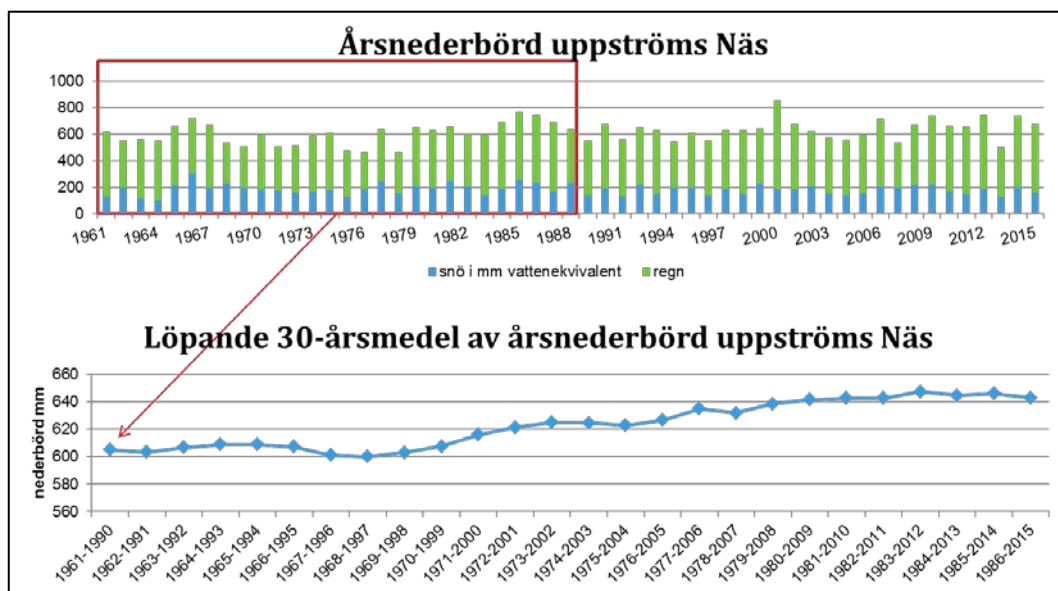
Figur 14. Förändrad total årsmedeltillrinning i Dalälven vid Älvkarleby. RCP 4.5 och 8.5 är två alternativa utsläppsscenarier – där 8.5 har större utsläpp av växthusgaser.

Analyser av nederbördens förändring från 1961 till 2016 som SMHI redovisat i rapporten "Ekologiskt anpassad årsreglering" visar att nederbörden redan ökat med mer än fem procent under denna tidsperiod. Se Figur 15.

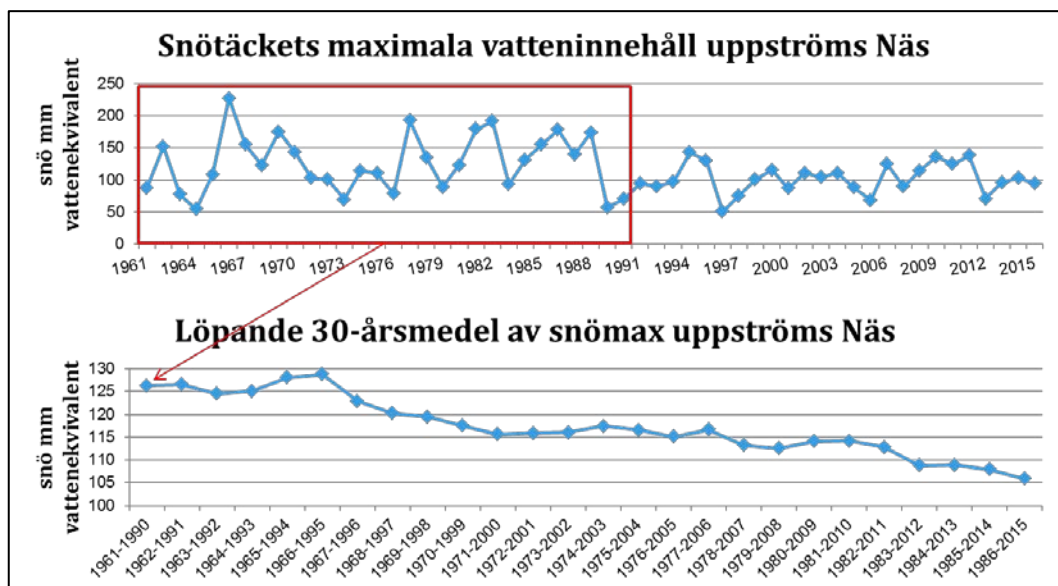
Högre temperatur och mindre snö

SMHI:s regionala klimatanalyser visar att årsmedeltemperaturen kommer att öka med minst två grader i Dalälvsområdet fram mot seklets slut. Ökningen är störst under vintern i norra delen av området och det blir vanligare att vinterns nederbörd faller som regn istället för som snö.

De analyser av nederbördens och snömagasinets förändring från 1961 till 2016 som SMHI redovisat i rapporten ”Ekologiskt anpassad årsreglering” visar att årsnederbörden ökat samtidigt som snömagasinets vatteninnehåll redan idag minskat med i storleksordningen 16 %. Se Figur 15 och Figur 16.



Figur 15. Årsnederbörden uppströms Näs 1961-2015 och dess fördelning i regn och snö (överst), samt löpande 30-årsmedel av årsnederbörden (nederst). Röd ruta visar hur värden i det övre diagrammet relaterar till ett medelvärde i det nedre diagrammet.

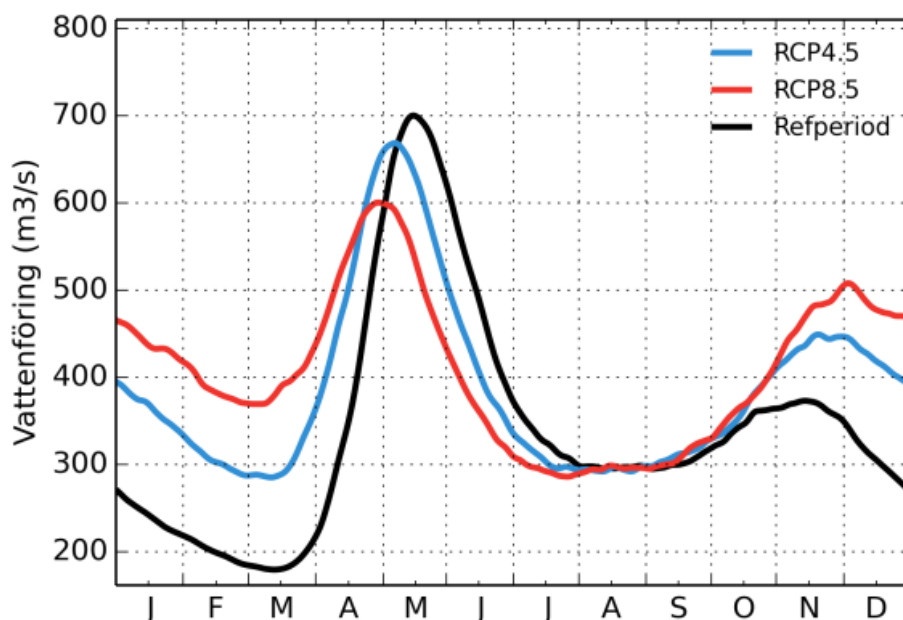


Figur 16. Snötäckets maximala vatteninnehåll uppströms Näs 1961-2015 (överst) samt resulterande 30-årsmedelvärden (nederst). Röd ruta visar hur värden i det övre diagrammet relaterar till ett medelvärde i det nedre diagrammet.

Vattenflödesdynamiken förändras

Tillrinningen till sjöar och vattendrag följer en naturlig årsflödedynamik men skillnaderna mellan olika år är stora - beroende på variationer i nederbörd, temperatur, snötäcke, markfuktighet och avdunstning. När nu temperaturen stiger och den vintertid tangerar gränsen för om nederbörden faller som snö eller regn får det i sin tur stort genomslag på tillrinningens årsdynamik.

SMHI:s klimatanalyser visar på en gradvis omfördelning av flödet över året. Vårfloden tidigare läggs och tillrinningen under vinter och höst ökar. I Figur 17 visas hur flödena förändras under olika årstider vid Älvkarleby i Dalälven. Beräkningarna avser modellerad tillrinning utan vattenreglering.



Figur 17. Den totala tillrinningens årsdynamik för Älvkarleby i Nedre Dalälven. Figuren visar modellberäknad oreglerat flöde. Svart linje representerar referensperioden 1963-1992 och de övriga linjerna representerar framtidsperioden 2069-2098.

Klimatförändringarna och vattenkraftens årsreglering påverkar Dalälvens naturliga flödedynamik i samma riktning - så att vattenflödena blir högre under senhöst-vinter samtidigt som vårflödena minskar. Dessa bägge effekter förstärker således varandra.

Den förändrade årsflödesdynamiken påverkar förutsättningarna för djur och växter i älven och längs Dalälvens stränder. Särskilt inom "svämplanet" dvs. alla flacka strandområden som naturligt översvämmats under våren.

Korttidsregleringens miljöeffekter

Korttidsreglering innebär att flödet genom kraftverksturbinerna förändras förhållandevis snabbt (under kort tid) för att anpassa elproduktionen till både samhällets varierande behov av elenergi (mellan dag och natt samt vardagar och helgdagar) och tillgången på elenergi från övriga kraftslag som har begränsad reglerbarhet.

Målbild för analyser och bedömningar i detta kapitel är en typisk dygnsreglering med låg tappning nattetid och hög tappning dagtid och där tappningsförändringarna upp respektive ner på morgon och kväll sker relativt momentant dvs. inom en timme. Se till exempel Figur 28 som visar tappningen från Gråda kraftverk (Siljans utlopp) där flödena under dygnet varierade mellan 25 och 250 m³/s år 2008.

Flödesförändringar ger samtidigt mer eller mindre påtagliga variationer i vattennivåer nedströms kraftverket så att strandlinjen i grunda områden kan förflytta sig åtskilliga meter under ett dygn.

Hur långt nedströms i vattendragen variationer i flöden och vattennivåer fortplantar sig beror på vattendragets karaktär. Generellt så utjämnas variationer succesivt längs älven och inte minst vid trånga älvsektioner och sjöar/fjärdar som påtagligt dämpar flödesvariationer.

Flödesförändringarna kommer att variera mellan huvudströmmen i en älvs mittsektion och strandområdena liksom på skilda djup. Som beskrivits i tidigare kapitel ”bromsar” en skrovlig botten eller strandlinje naturligt upp flödena så att flödesvariationerna i dessa viktiga mikromiljöer inte blir så kraftiga som i ytströmmen.

I detta kapitel presenteras en kvalitativ bedömning av hur känsliga följande typområden i Dalälven är för korttidsregleringens påverkan på vattenflöden och vattennivåer samt effekter på erosion, biologisk mångfald och friluftsliv.

1. Regleringsmagasin
 2. Strömpartier i reglerade biflöden – nedströms magasinen
 3. Strömpartier i Dalälvens huvudflöde – nedströms magasinen
 4. Djupare älvsträckor med branta och finkorniga stränder – nedströms magasinen
 5. Svämplan i mellersta och nedre Dalälven – nedströms magasinen
- ✓ Särskild erosionskänsliga markområden/jordarter

För respektive typområde bedöms flödes- och nivåförändringars påverkan på erosion, fiske och övrigt friluftsliv samt inte minst olika parametrar kopplat till biologisk mångfald som fiskbestånd, strandhabitat (under vattenytan) och naturtyper i svämplanet (ovan normalvattennivån). Påverkan och effekt bedöms i en kvalitativ skala, stor – måttlig – liten, där tyngdpunkten i bedömningen ligger på biologisk mångfald.

Målsättningen med dessa bedömningar är att särredovisa känslighet och effekter för specifikt korttidsreglering. Det innebär att "referensförhållandet" är de flödes- och nivåvariationer som uppstår till följd av både den naturliga variationen i tillrinning mm och den "normala" årsreglering som idag förekommer i alla vatten som är aktuella för korttidsreglering i Dalälven.

Beskrivningen av respektive område inleds med en kort bedömning av årsregleringens effekter. I praktiken kan det dock vara svårt att särskilja dessa bägge regleringseffekter.

1 Regleringsmagasin

Beskrivningen/bedömningen är generell för både älvens stora magasin och små regleringsmagasin i Dalälvens biflöden. Med undantag av nedre Dalälvens fjärdar som har en helt annan karaktär.



Figur 18. Venjansjön tidigt på våren innan sjön fyllts upp.

Årsregleringarnas miljöeffekter

Magasinen har oftast en årsregleringsamplitud på ca 2 meter och i vissa fall 3–5 meter. Normalt är magasinen fyllda i början av hösten för att sedan succesivt sänkas av till undre regleringsgräns (sänkningsgräns) i mars för att sedan fyllas upp vid vårflod och ha förhållandevis stabil nivå under sommaren. Årsreglering innebär också att vatten sparas från blötare perioder under sommar och höst för att nyttjas under torrare perioder. Denna magasinering har dock betydligt mindre volym än vinterns årsreglering.

Biotoperna i strandzonen (under normalvattennivå) är kraftigt påverkade av årsregleringen, med lägre biologisk produktion än i oreglerade vatten. Vilket i sin tur påverkar födotillgången för fiskbestånden. I de fall magasinet inte hinner fyllas upp till normalvattennivå i samband med vårflod upplever kringboende ofta problem med båtbyggor etc.

Påverkan av korttidsreglering

Om magasinen också korttidsregleras innebär det en nivåförändring på upp mot någon cm per dygn, både sommar och vintertid.

Dessa nivåförändringar orsakar förhållandevis liten påverkan på erosion, fiske och övriga nyttjandevärden i magasinen, liksom även på biotoper och fiskbestånd i och omkring vattnet.

Känsligheten för korttidsreglering bedöms sammantaget vara ”låg”.

2 Strömpartier i reglerade biflöden - nedströms magasinen

Detta typområde är ett 3–10 meter brett och några decimeter djupt strömmande vatten med lämpliga biotoper för bland annat öring.

Områdestypen är vanligt förekommande i hela Dalälvens avrinningsområde, fränsett biflöden till nedre Dalälven. Endast en mindre andel av magasinen i biflödena har en utpräglad korttidsreglering under dygnet för att anpassa tappningarna i förhållande till elmarknaden. Vanligare är dock plötsligt förändrade tappningar med intervaller på några dagar/veckor beroende på en mer ”ojämn körning”. Vilket kan ha flera orsaker som att flöden och nivåer inte fjärrövervakas eller att tappningar måste anpassas manuellt på platsen. Ofta i kombination med sämre tillgång till långsiktiga flödesprognoser.



Figur 19. Ryssån nedströms dammen vid Ryssjön.

Årsregleringarnas miljöeffekter

I Dalälvens biflöden finns ett hundratal mindre årsregleringsmagasin. Tappningarna från dessa följer samma årsrytmik som de stora magasinerna dvs. högre flöden vintertid nedströms magasinerna än vad som är normalt samtidigt som vårflödena blir svagare/kortvarigare.

Det är inte ovanligt att äldre vattenhushållningsbestämmelser medger nolltappning eller mycket låga flöden under sommaren vilket starkt begränsar förutsättningarna för fisk och övrigt liv i dessa vatten eftersom en stor del av vattenarealen tidvis blir torrlagd.

Det är vanligt att mindre årsregleringsmagasin utan kraftverk i direkt anslutning endast manövreras via manuella luckor. Det innebär att tappningsändringar genomförs relativt sällan och de förändringar som då görs blir relativt stora i förhållande till vattendragets vattenflöde. Reglering under sommar och höst är ofta inriktade på att hålla nivån i sjön konstant.

Påverkan av korttidsreglering

Om uppströms liggande magasin korttidsregleras (dygnsreglering) innebär det att vattennivån i strömpartier varierar så mycket att stora vattenarealer torrläggs. Vilket innebär att dessa områden utarmas på djur och växter. Vattens totala produktion är beroende av den areal som aldrig torrläggs - utan ständigt har strömmande vatten.

Korttidsregleringens påverkan är störst vid låga vattenflöden. Under förutsättning att minimitappningen är tillräcklig får korttidsreglering under normal- och högvattenflöden, en mer ”måttlig” miljöpåverkan - under förutsättning att tappningsförändringarna inte sker allt för snabbt.

Erosionseffekterna bedöms vara små. Fisket påverkas negativt vid snabba flödesförändringar.

I mindre vattendrag är de naturliga flödevariationerna, både mellan år och under året, påtagligt större än i nedre Dalälvens huvudflöde. Det innebär större utmaningar för ägare av dessa anläggningar att anpassa tappningarna till aktuella väder- och klimatförutsättningar. De tekniska förutsättningarna att ”mjukt” anpassa flödena kan också vara begränsade. I sämsta fall blir tappningsförändringarna mer av karaktären ”start – stopp”. Idag är det inte ovanligt att det tidvis uppstår situationer då nolltappning blir ett faktum under sensommaren. Både års- och eventuell korttidsreglering i små vattendrag ställer höga krav på utförandet för att bli godtagbara.

Känsligheten för korttidsreglering bedöms sammantaget vara ”hög”.

3 Strömpartier i älvens huvudflöde - nedströms magasinen

Typområdet är femtio till hundra meter brett med ett varierande djup mellan någon decimeter till ett par meter. Med lämpliga biotoper för öring och harr. Dessa områden är vanligt förekommande i till exempel Österdalälven.



Figur 20. Österdalälven nedströms Spjutmo kraftverk.

Årsregleringarnas miljöeffekter

I Dalälvens huvudflöde finns ett dussintal större regleringsmagasin som styr Dalälvens årsflödesdynamik. Tappningarna från dessa magasin styrs så att det samlade flödet i älven nedströms ligger inom utbyggnadsvattenföring för alla kraftverk ända ner till havet. Det innebär att flödena i dessa områden är högre vintertid än vad som är normalt samtidigt som vårflödena är lägre och kortvarigare. Högvattenflödenas eroderande effekt uteblir vilket gör att bottenarna slammar igen och blir olämpliga för bland annat romkläckning.

Nolltappning förekommer inte i Dalälvens huvudflöde och lågvattenflödena ligger oftast på samma nivå som MLQ, men vissa torrår som 2016 kan flödet tidvis vara lägre (ca 60 m³/s i mellersta Dalälven). Även vid lågvattenflöden "fyller flödet upp" huvuddelen av älvfåran varför arealförlusten av strömbiotoper är liten vid lågvatten. De få outbyggda strömbiotoperna i huvudvattendraget är dock ofta skadade genom olika typer av rensningar, som försämrat habitatet för framför allt större fisk.

Påverkan av korttidsreglering

Om uppströms liggande magasin korttidsregleras så minskar den samlade arealen strömvatten endast i mindre utsträckning. Flödesförändringarna innebär dock en ökad stress för fisk och bottendjur som utsätts för ständigt fluktuerande vattenflöden.

Erosionseffekterna bedöms vara små. Fisket påverkas negativt eftersom det tidvis blir höga flöden som försvårar fisket och att den samlade produktiva arealen minskar.

Korttidsregleringens påverkan är störst vid låga vattenflöden under sommaren då den biologiska aktiviteten är som störst. Under förutsättning att minimitappningen är tillräcklig får korttidsreglering under normal- och högvattenflöden, en mer ”måttlig” miljöpåverkan. Dock under förutsättning att tappningsförändringarna inte sker allt för snabbt.

Känsligheten för korttidsreglering bedöms sammantaget vara ”måttlig” – ”hög” (sommartid).

4 Djupare älvsträckor med branta och finkorniga stränder

Typområdet är ett förhållandevis djupt och mer lugnflytande älvparti med branta stränder av mer finkornigt material. Områdestypen är vanligt förekommande i mellersta Dalälven.



Figur 21. Österdalaälven i Gagnef, nedströms Gråda kraftverk. Foto Magnus Hagström.

Årsregleringarnas miljöeffekter

I Dalälvens huvudflöde finns ett dussintal större regleringsmagasin som styr Dalälvens årsflödesdynamik. Tappningarna från dessa magasin styrs så att det samlade flödet i älven nedströms ligger inom utbyggnadsvattenföring för alla kraftverk ända ner till havet. Det innebär att flödena i dessa områden är högre vintertid än vad som är normalt samtidigt som vårflödena är lägre och kortvarigare. Många strandbrinkar är erosionskänsliga. Skred förekommer i anslutning till både älven och sidoraviner.

Erosionen under vårflödena har sannolikt minskat, men kunskap om erosionens omfattning och sedimenttransporter längs älven både före och efter årsregleringen är begränsad. Kunskap om hur fiskbestånd och fisket påverkas av regleringen är också bristfällig. Det idag jämnare vattenflödet över hela året upplevs sannolikt som positivt av friluftslivet kring vattnen.

Påverkan av korttidsreglering

Eftersom större uppströms liggande magasin korttidsregleras kommer flödesförändringarna att fortplanta sig förhållandevis snabbt och långt neröver i systemet. I dessa områden sker den kraftigaste korttidsregleringen i Dalälven - med betydande flödesvariationer under dygnet. Flödet kan variera mellan 100 och 300 m³/s under samma dygn. Vattenytan kan då variera upp till några decimeter varje dygn. Men den vattentäckta arealen är förhållandevis konstant under året.

Vissa områden riskerar att påverkas av ökad stranderosion. Vissa olägenheter kan uppkomma för friluftslivet och fisket. Det saknas idag kunskap om hur bottenfauna och fiskbestånd påverkas av flödesvariationer.

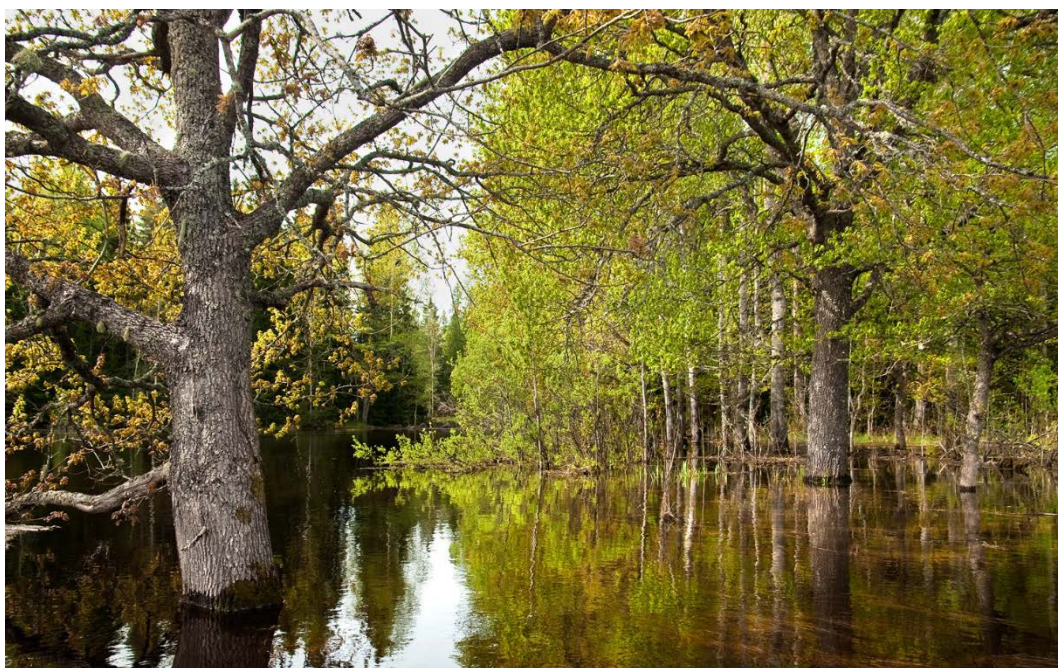
Känsligheten för korttidsreglering bedöms sammantaget vara ”låg”. Jfr dock ”Särskilt erosionskänsliga områden” nedan där känsligheten är högre.

5 Svämplan i mellersta och nedre Dalälven

Dessa typområden har översvämmats så regelbundet att det naturligt bildats ett flertal specifika översvämningsberoende naturtyper. De kan vara både trädbärande (olika typer av svämskog) och mer öppna marker vilka ofta historiskt brukats för slätter och bete. Se de bägge bilderna nedan. Detta är en vanligt förekommande naturtyp längs mellersta och nedre Dalälven.



Figur 22. Rossö kvarn i Bysjön vid lågvatten 2016. Foto Mats Forslund.



Figur 23. Svåmlövskog i Båtfors. Foto Gillis Aronsson, Upplandsstiftelsen.

Årsregleringarnas miljöeffekter

I Dalälvens huvudflöde finns ett dussintal större regleringsmagasin som styr Dalälvens årsflödesdynamik. Tappningarna från dessa magasin styrs så att det samlade flödet i älven nedströms ligger inom utbyggnadsvattenföring för alla kraftverk ända ner till havet. Det innebär att flödena i dessa områden är högre vintertid än vad som är normalt samtidigt som vårflödena är lägre och kortvarigare.

Vattenkraftens årsreglering har påtagligt förändrat årsflödesdynamiken så att det idag är sällsynt med kraftiga (höga och långvariga) vårflooder som är en förutsättning för att bibehålla översvämningsberoende naturtyper och områden, framför allt längs mellersta och nedre Dalälven. På sikt riskerar dessa naturtyper nu att "försvinna" och omvandlas till mer triviala naturtyper. Sedimenttransport från uppströms liggande områden (erosion från område 4 ovan) är viktiga för att bibehålla dessa miljöers karaktär.

Påverkan av korttidsreglering

När uppströms liggande magasin korttidsregleras så innebär det att vattennivån och strandlinjen vid framför allt låg- och normalvattenflöden tidvis varierar påtagligt under dygnet och mellan enskilda dagar. Påverkan blir således mest frekvent i de naturtyper som ligger nära älvens strandlinje, bland annat svåmängar. Vattennivåförändringarna innebär uppenbara olägenheter för friluftslivet som har svårt att nyttja bryggor etc. Fisket påverkas också.

I svämplanen finns vissa naturtyper som är beroende av stabila lågvattenperioder för sin långsiktiga fortlevnad – bland annat så kallade ävjebroddssamhällen. Korttidsregleringen påverkar också vårlekande fiskar vars rom/yngel riskerar att torka in – men det är osäkert om detta i sig påverkar bestånden negativt.

Känsligheten för korttidsreglering bedöms sammantaget vara ”måttlig” men för vissa naturtyper ”hög”.

✓ **Särskild erosionskänsliga områden/jordarter**

Erosion är en naturlig process som i alla tider format landskapet och skapar viktiga miljöer för olika växter och djur. Men om vattenhastigheten ökar på grund av vattenreglering blir dock inte erosionen en naturlig del av de ursprungliga morfologiska processerna i vattendraget.

Erosionskänsliga jordarter finns på i stort sett hela sträckan mellan Leksand och Avesta. Sträckan mellan Hedemora och Avesta karaktäriseras av branta siltslänter med förutsättningar för erosion som kan leda till ras och skred. Historiskt har det förekommit skred med stora samhällskonsekvenser i detta område och även i sanddynsområdena i Mora.



Figur 24. Erosionskänsliga områden längs Dalälven vid Husby år 2008.

Årsregleringarnas miljöeffekter

Erosion, ras- och skredrisker längs Dalälven är ofta kopplade till erosion vid höga vattenflöden. Vattenkraftens årsreglering minskar generellt frekvensen och varaktigheten av höga flöden, vilket då även bör minska risken för erosion och skred.

Men vattenkraftens flödesregleringar kan endast i marginell utsträckning begränsa de allra kraftigaste översvämningarna vilket gör att den samlade risken för ras och skred torde vara relativt oförändrad.

Påverkan av korttidsreglering

Det är inte vattenflödet (m^3/s) i sig som orsakar erosion utan det är vattnets hastighet (m^2/s) och den kraft (bottenskjuvspänning) som vattenhastigheten orsakar. När bottenskjuvspänningen överstiger sedimentens/jordmaterialets motståndskraft (kritisk bottenskjuvspänning) så uppkommer erosion, det vill säga lossgöring och transport av jord- (och sten-) partiklar.

Om vattenhastigheten blir tillräcklig hög kommer strandbrinken successivt att erodera vilket i sin tur kan leda till ras och/eller skred. I de fall det finns skyddande växtlighet eller det har utförts erosionsdämpande åtgärder blir effekterna mindre - under förutsättning att de motstår den aktuella vattenhastigheten.

Är vattendragets tvärsnittsarea (den våta arean) stor, blir vattenhastigheten och därmed erosionen mindre. Om däremot vattendragets tvärsnittsarea är liten, till exempel i en trång sektion, kommer fluktuationerna i hastighet bli större vid olika flöden, vilket innebär större förutsättningar för ökad erosion.

Är vattendraget meandrande kommer ytterkurvorna att erodera mer på grund av en högre vattenhastighet och i innerkurvorna kommer sediment att ackumuleras på grund av en lägre vattenhastighet. Meanderbågarna flyttar sig successivt nedströms i landskapet. Meandrande vattendrag förekommer ofta i flacka slättlandskap där vattenhastigheten är låg och där jordlagren består av finkorniga jordar (silt och lera).

Mer information om Dalälvens erosionskänslighet finns på SGI:s hemsida: <http://www.swedgeo.se/globalassets/kartor/erosionskartor/erosionskartor-vattendrag/dalalven.pdf>

Korttidsregleringens påverkan på erosionskänsliga jordarter bedöms vara måttlig.

Miljöanpassad korttidsreglering

I ovanstående kapitel bedömdes översiktligt miljöpåverkan av den idag ”frekvent” förekommande dygnsregleringen med ökad tappning på morgonen och motsvarande avsaknad av tappning på kvällen. En reglering som tidvis

förekommer under hela året – beroende på tillgången på vatten i de aktuella magasinen samt elmarknadens tillgång och efterfrågan på el.

Hydromorfologiska kvalitetsfaktorer

Kvalitetsfaktorn flödets förändringstakt används inom vattenförvaltningen för att belysa korttidsregleringens samlade omfattning och påverkan på ekosystemen. Nedströms de stora korttidsregleringsmagasinen i Dalälven är denna kvalitetsfaktor generellt så påverkad att den indikerar dålig status.

Faktorn i sig ger dock inte någon vägledning för hur eventuella åtgärder bör utformas dvs hur regleringen kan anpassas för att begränsa miljöpåverkan. Ofta används målbegrepp som ”en mer naturanpassad reglering” vilket indikerar generella åtgärder. Eftersom den samlade reglerförmågan är en så viktig samhällsfunktion blir generella åtgärder ”svaga” – och får begränsad biologisk nytta.

För att få en mer funktionell avvägning mellan miljö- och energinytta bör åtgärder i större utsträckning inriktas på särskilt känsliga områden och skräddarsys för varje områdes specifika biologiska flaskhalsar. Därmed kan också reglerförmågan bibehållas så hög som möjligt, sett över hela året.

Alternativa regleringars miljöpåverkan

En mer fördjupad analys av miljöeffekter behöver ”bena ut” hur alternativa utföranden av korttidsreglering påverkar miljön.

Det norska forskningsprogrammet CEDREN har tagit fram ett förslag till bedömningsmatris för att belysa korttidsregleringens påverkan på strömvatten och sårbarhet för framför allt lax - med fokus på utvecklingen från rom till smolt (referens NINA Temahäfte 62, maj 2016). Vissa av dessa kriterier är relevanta även för andra fiskbestånd och arter men ”poängsättningen” behöver förändras för inlandsförhållanden samt kompletteras med fler kriterier. Det har inte varit möjligt att genomföra en sådan detaljerad analys inom Hållbar vattenkraft i Dalälven.

Här identifieras dock några faktorer som kan användas för att belysa miljöpåverkan vid alternativa utföranden av korttidsreglering och som kan användas som underlag för specifika åtgärder i syfte att anpassa korttidsregleringen till varje områdes känslighet och miljöförutsättningar. Dessa faktorer behöver vidareutvecklas för att ge ett bredare och mer detaljerat bedömningsunderlag. Samt kompletteras med platsspecifika undersökningar inför större åtgärders genomförande.

Flödesförändringars storlek och lågvattenflöde

Hur många m³/s och kanske än mer relevant % som tappningarna förändras (upp respektive ner) är avgörande för nedströmspåverkan (vattenflöde och vattennivå). Nivån för lågvattenflöden behöver också ses i kombination med minimivattenföring. En tillräckligt hög minimitappning så att huvuddelen av

nedströms liggande älv-/bäckfåror är vattenfyllda och har strömmande vatten under hela året är en biologisk grundförutsättning.

Flödets förändringstakt

Hur snabbt flödet förändras (framför allt vattenytan sjunker) kan vara avgörande för fiskars möjlighet att förflytta sig från områden som håller på att ”torka ut”. Det är särskilt relevant i grunda strömmande vatten som är reproduktionsområden för laxfisk. Flödets förändringstakt behöver ses i kombination med flödesförändringens storlek och inte minst lågvattenflöde eftersom påverkan då är störst. Åtgärder kan inriktas på att minska förändringstakten och då särskilt för tappningsminskningar.

Frekvens

Anger hur ofta korttidsreglering förekommer. Generellt så är de biologiska effekterna i de närmaste lika stora om korttidsreglering genomförs varje dygn eller tex vart 10:e dygn. Denna faktor är således av mindre betydelse – regleringen styrka och omfattning under olika årstider är generellt av större betydelse för de flesta arter/biotoper.

Årstid och målarter

Dessa faktorer har sannolikt den största potentialen för miljöanpassning av korttidsregleringar. Olika arter/habitat/biotoper har specifika miljökrav varför det är viktigt att specificera målsättningen för åtgärden och därefter anpassa tappningarna under bestämda årstider. Samtidigt behöver det beaktas att en särskild flödesdynamik är nödvändig för att initiera vissa biologiska processer, som fiskars vandring både upp- och nedströms.

Här ges några exempel på åtgärder;

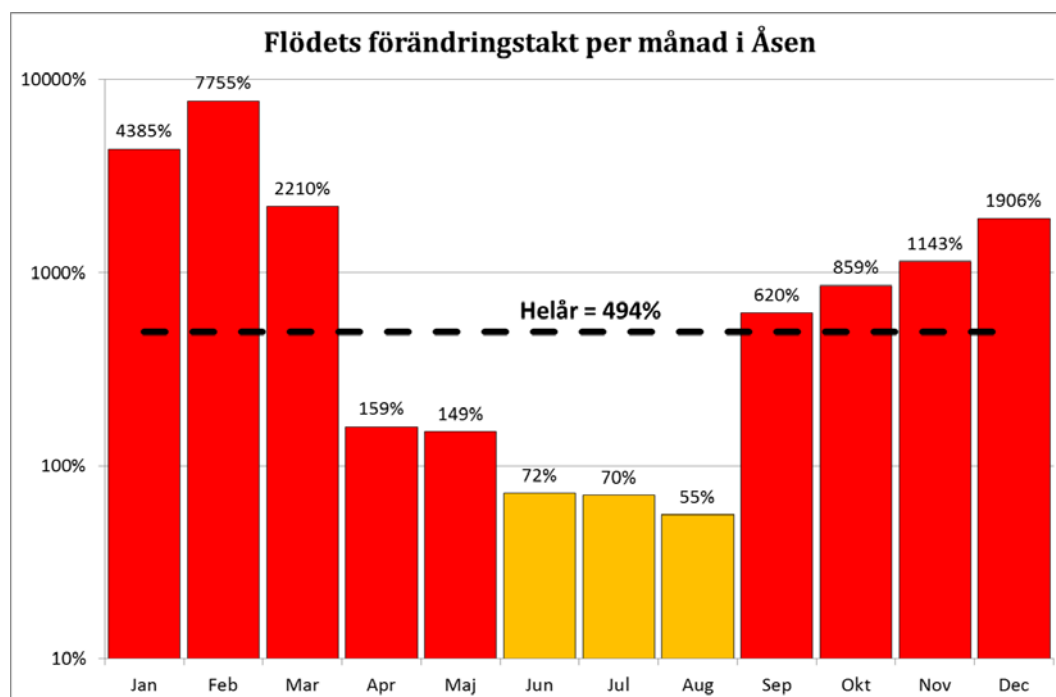
- Naturtypen ”Ävjebroddssamhällen” som förekommer sparsamt längs Dalälven är beroende av ett långvarigt stabilt lågvatten under sommaren för att dess specifika arter ska kunna gro och etableras i strandzonen.
- Påverkan på fisket kan begränsas om korttidsregleringen anpassas till fiskesäsongen och kanske helt undviks under sommarperioden.
- Snabba och stora flödeförändringar i små rinnande vatten bör undvikas under lågflödesperioder – både sommar och vinter.
- I rinnande vatten finns det möjlighet att genom plötsligt ökad tappning stärka fiskars upp- respektive nervandring under specifika årstider. Tappningarna kan då samtidigt anpassas för att under dessa tider ge viss reglernytta.
- Korttidsregleringen bedrivs enbart inom ett högre flödesintervall för att säkerställa en stabil minimitappning så att huvuddelen av vattenfåran ständigt är vattenfylld, vilket säkerställer produktion av bottenfauna samt överlevnad av rom/yngel.

Återreglering

Års- och korttidsreglering av stora magasin med hög fallhöjd ger stor energinytta i form av dels reglerkraft för att balansera elsystemet och dels

hög elproduktion - samtidigt som det ger stor påverkan på vattendragets flödesdynamik och naturvärden. Korttidsregleringens påverkan kan dock begränsas påtagligt om ett nedströms liggande kraftverk (med visst magasin) anpassar sin reglering så att flödesvariationen dämpas och jämnas ut under dygnet/mellan dygn.

I Dalälven är Åsens kraftverk, nedströms Trängslet, ett bra exempel på en sådan återreglering. Trängslet får variera sin tappning mellan 0 och 270 m³/s medan Åsens kraftverk, sedan kraftverkets byggdes 1963, har en fastställd minitappning under hela året på 21 m³/s vilket är i nivå med MLQ. Under sommarperioden juni – augusti får Åsen överhuvudtaget inte bedriva korttidsreglering. Dessa villkor i vattenhushållningsbestämmelserna har tillkommit för att skydda Österdalälvens höga natur- och nyttjandevärden. Jfr Figur 25 där miljöindikatorn ”flödets förändringstakt”, som är ett mått på korttidsregleringens omfattning, redovisas månadsvis (baserat på timdata). Se utförlig beskrivning i rapporten ”Dalälvens vattenkraftssystem”, 2017:03.



Figur 25. Flödets förändringstakt nedströms Åsens kraftverk i Österdalälven. OBS Logaritmisk skala.

Möjligheter för ökad reglernytta/elproduktion

I detta kapitel presenteras på vilka sätt vattenkraftens samlade elproduktion och reglernytta kan öka i ett vattensystem. Vattenkraftens särskilda styrka är att fortlöpande anpassa elproduktionen till samhällets behov och efterfrågan, varför beskrivningen fokuseras på ökad reglerkraft. Vilket även överensstämmer med energikommissionens slutsats att ” Vattenkraftens utbyggnad ska främst ske genom effekthöjning i befintliga verk med moderna miljötillstånd”.

Här redovisas generella åtgärder – potentialerna för åtgärder i Dalälven redovisas längre fram i denna rapport. Det finns en rad olika åtgärder som kan öka vattenkraftens reglernytta och elproduktion, som till exempel renovering av enskilda kraftverks tekniska komponenter. Men den kanske största potentialen ligger i att samordna dimensionering och drift av hela vattendragens regleringsmagasin och kraftverk.

Klimatförändringarna kommer att förändra vattenkraftens förutsättningar. I Dalälven (se tidigare kapitel) kommer dessa förändringar i sig att leda till en ökad elproduktion, på minst 10 %, framför allt under höst/vinter.

Nya kraftverk och regleringsmagasin

Huvuddelen av de större outbyggda vattendragen och strömpartierna är skyddade enligt miljöbalken för bland annat vattenkraftsutbyggnad. Nya vattenkraftverk och överledning av vatten mellan vattensystem har mot den bakgrunden inte analyserats i denna rapport. Se även Energikommissionens ställningstagande.

Utveckling av befintliga kraftverk

Vattnets lägesenergi är själva ”bränslet” i vattenkraftverken varför tillgången på vatten i uppströms liggande magasin har en avgörande betydelse för möjligheterna att öka vattensystemets samlade reglernytta.

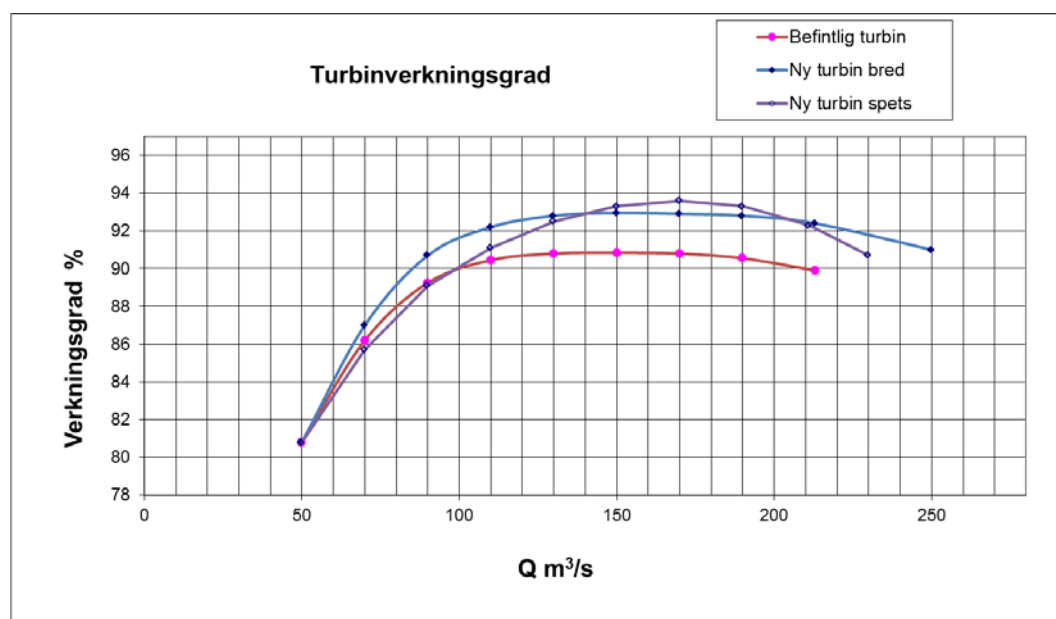
Renovering av kraftverk - tekniska beståndsdelar

Vattenkraften i Sverige är till största delen utbyggd och svarar idag för nära hälften av den genererade elen. Många anläggningar faller successivt för åldersstrecket och i förnyelsearbetet måste anpassningar till dagens/framtidens förutsättningar göras. Avskrivningstiden för ett vattenkraftverk är normalt 40 år.

I de förnyelseprojekt som genomförts de senaste 15 åren har verkningsgraden kunnat ökas med upp till 4 % och i många fall har turbinens bästa verkningsgrad förskjutits mot ett högre flöde. Den högre verkningsgraden leder till att vi får mer energi av samma volym vatten. Om vi vill öka reglernytan måste vi utöka kraftverkets område som produktionen kan

varieras inom, dvs. området mellan min respektive maxproduktion. Ett annat sätt är att öka uthålligheten som min- respektive maxproduktion kan hållas.

Valet av turbin avgör vilken nivå vi får på verkningsgraden och hur brett körområde som kan tillåtas. Ett brett körområde får vi på bekostnad av lägre toppverkningsgrad. Det enskilda kraftverkets förutsättningar ligger till grund för val av turbin.



Figur 26. Verkningsgrad för alternativa turbiner.

Mindre åtgärder som förbättring av ytjämnhet och minskat läckage ökar verkningsgraden med upp mot 0,1–0,2 %. Moderna generatorer med lägre förluster ger oss delar av procent. I vissa fall kan en förändring av sugröret öka energiuttaget. En bra kombination mellan löphjul och ledskovlar minskar förlusterna och här kan det finnas upp till en procent att tjäna, speciellt om fallhöjden varierar. Se bilaga 1 för fördjupad beskrivning.

Högre effekt och förändrade vattenhushållningsbestämmelser

Reglernytan för ett kraftverk kan ökas på två olika sätt:

1. Öka kraftverkets förmåga att producera el vid varierande flöden.
2. Öka uthålligheten som min- respektive maxproduktion kan hållas.
Denna uthållighet ökas genom ökade magasineringsmöjligheter av vatten.

Det behövs omfattande investeringar i kraftverk och dammar samt förändrade tillstånd för att dimensionera om ett kraftverk. I allmänhet är det endast möjligt att finansiera i samband med att kraftverket renoveras.

Utveckling av befintliga regleringsmagasin

En större regleringsvolym i befintliga magasin gör att hela systemets vattenhushållningsförmåga ökar och möjliggör både högre elproduktion och omfördelad produktion mellan tidpunkter med hög respektive låg efterfrågan.

Ökad regleringsvolym

För att öka kraftverkens förmåga att under längre tid köras på min- respektive maxproduktion behöver magasinerna ovan- respektive nedströms kraftverket få större volym. Större magasin direkt uppströms ett kraftverk gör att kraftverket kan producera under längre tid utan att magasinet fylls på från kraftverket uppströms och frihetsgraden ökar. Likaså medför ett större magasin nedströms att frihetsgraden ökar.

Större lagringsmöjligheter högt upp i systemet (årsregleringsmagasin) gör det möjligt för flera nedströms liggande kraftverk att under en längre tid hålla en högre eller lägre produktion än vad aktuell tillrinning skulle möjliggjort.

Lagringskapaciteten kan ökas antingen genom att höja dammen och tillåta en högre dämningssgräns eller genom att under vissa årstider som sommartid tillåta en lägre vattennivå och sänkningsgräns i magasinet. I bägge fallen kan det uppstå olägenheter för kringboende och miljön.

Förändrade vattenhushållningsbestämmelser

Om det finns begränsade lagringsmöjligheter i kraftverksmagasinen kan förändrade bestämmelse för korttidsreglering i större uppströms liggande sjömagasin öka nedströms liggande kraftverks reglernytta.

Mot bakgrund av att investeringskostnaden är hög och det är en omfattande process att få tillstånd att öka magasinvolymen är det svårt att hitta ett positivt business-case för dessa åtgärder. Den totala magasinvolymen har inte ökat i något avrinningsområde i Sverige efter att den storskaliga vattenkraften byggdes ut mellan 1920–1960 talet.

Pumpkraftverk

Ett pumpkraftverk används för att jämna ut över- respektive underskott av elproduktion mellan olika tidpunkter - medan den totala elproduktionen minskar. Traditionellt har pumpkraftverk använts för att öka elproduktionen under dagtid när efterfrågan är stor och sedan pumpa tillbaka vattnet upp i magasinet under nätter när efterfrågan är låg. Pumpkraft fungerar mycket bra i elsystem som domineras av kraftkällor med kontinuerlig produktion under hela dygnet. På kontinenten finns relativt många pumpkraftverk.

Prisskillnaden mellan natt och dag behöver vara 20–40 öre/kWh för att pumpkraftverk med dygnsreglering ska vara lönsamt. Prisskillnaden i prisområde 2 i Sverige var 2016 cirka 5,8 öre/kWh. Det saknas därmed marknadsförutsättningar att bygga nya pumpkraftverk i Sverige.

Utbyggnaden av solceller har i Tyskland reducerat lönsamheten för pumpkraftverk eftersom solceller också producerar när efterfrågan är som störst (dagtid). Utbyggnaden av vindkraft bidrar också till att reducera lönsamheten för pumpkraftverk eftersom produktionen från vindkraft generellt varierar slumpvis och har ett längre variationsmönster mellan låg respektive hög produktion – ofta 2–3 dygn.

I Sverige finns idag tre kraftverk med pumpfunktion i drift i Klarälven (Letten 36 MW, Kymmen 55 MW och Eggsjön 0.6 MW). De två största ägs av Fortum medan Eggsjön ägs av Tåsan kraft (Karlstad kommun 60 % och Fortum 40 %). Letten används för säsongsreglering genom att pumpa upp överskottsvatten från Klarälven. Förutom prisskillnaden mellan pump- och produktionstillfälle ger det även ökad produktion i alla kraftverk i nedre Klarälven. Kymmens pump används i huvudsak för dygns-/korttidsreglering. Eggsjön används för att omfördela vatten mellan två magasin uppströms Tåsans Kraftverk, vilket ökar möjligheten att flytta vatten från vårfloden till nästa vinter.

I Umeälven fanns tidigare ett mer renodlat större pumpkraftverk i drift mellan 1979–1995 (Juktan 335 MW). Vattenfall bedömde att det inte var lönsamt att driva anläggningen vidare efter elmarknadens avreglering, varför det byggts om till ett vanligt kraftverk.

Ett samsamordnat vattenkraftssystem

Vid produktionsplaneringen för ett enskilt kraftverk i ett avrinningsområde måste hänsyn tas till alla vattenhushållningsbestämmelser och den totala elproduktionen i avrinningsområdet. Ofta finns villkor på minimivattenföring eller vattennivåer vid enskilda platser som måste uppfyllas. Vattenföringen måste därför anpassas i hela avrinningsområdet för att uppfylla dessa villkor. Samtidigt behöver vattenhushållningen, i framför allt älvens årsregleringsmagasin, planeras så att älvens totala elproduktion är som störst när behovet är som störst, oftast dagtid vardagar.

Magasinsstorleken inom ett avrinningsområde varierar kraftigt. Vissa magasin kan tömmas på 6–12 månader medan andra på bara ett par timmar. Vattenföringen måste planeras och koordineras så att det alltid finns rätt mängd vatten i respektive magasin för att både maximera produktionen när behovet är som störst och uppfylla vattenhushållningsbestämmelserna.

Det tar minst 24 timmar för vattnet att rinna från de högst belägna säsongsmagasinen ned till det lägst belägna kraftverken i Sveriges älvar. Ofta finns det mindre magasin längs vägen med liten lagringskapacitet varför frihetsgraderna för hur dess elproduktionen kan varieras är mindre. För att optimera reglerförmågan behöver vattenhushållningsbestämmelserna samordnas för hela avrinningsområdet.

Reglerförmågan för ett helt avrinningsområde påverkas av vattenhushållningsbestämmelser och gångtider mellan kraftverk. Finns det

krav på minvattenföring kan inte produktionen stoppas under lång tid även om efterfrågan på el är låg. Varierar utbyggnadsvattenföringen i ett avrinningsområde kan inte produktionen maximeras under en längre tidsperiod, t.ex. vid hög efterfrågan. Speciellt om utbyggnadsvattenföringen är lägre mitt i ett avrinningsområde.

En kraftproducent strävar alltid efter att planera produktionen i hela avrinningsområdet för att maximera nyttan av elproduktionen. En utmaning är att prognostisera när behovet är som störst. I praktiken genomförs detta i olika tidssteg.

- Anpassa magasinsnivåerna inför vårflood genom att utnyttja prognoser för vårflooden. T.ex. snömängder och när snösmältningen startar.
- Kontinuerliga veckoplaner för att bedöma hur stora magasinsvolymerna ska utnyttjas under nästkommande vecka. För detta används bland annat temperatur-, vind- och tillrinningsprognoser.
- Detaljerade planer för nästkommande dygn med en upplösning på timnivå.

Beroende på antalet ägare i avrinningsområdet genomförs produktionsplaneringen på två olika sätt:

- I ett avrinningsområde med endast en ägare planeras produktionen av ägaren, t.ex. Vattenfall i Luleälven.
- I ett avrinningsområde med flera ägare, som Dalälven, planeras produktionen med hjälp av ett så kallat "regleringsföretag". Regleringsföretaget har till uppgift att jämkta produktionsönskemål mellan respektive ägare. I praktiken genomförs detta genom att ägare lämnar sina produktionsönskemål för nästkommande dygn. Regleringsföretaget fastställer sedan de faktiska produktionsvolymerna efter förutbestämda regler.

Dalälvens vattenkraftssystem idag

Dalälvens vattenkraftssystem består idag av ett 15-tal större regleringsmagasin och ett hundratal mindre i sidoflödena samt ett femtiotal större vattenkraftverk i huvudflödet och lika många mindre i biflödena. Se Figur 27.

Dalälvens vattenkraftssystem presenteras mer utförligt i rapporten 2017:03 ”Dalälvens vattenkraftssystem – Energiproduktion och reglerkraftnytta samt påverkan på vattenflöden och vattennivåer”.

Älvens stora regleringsmagasin och kraftverk

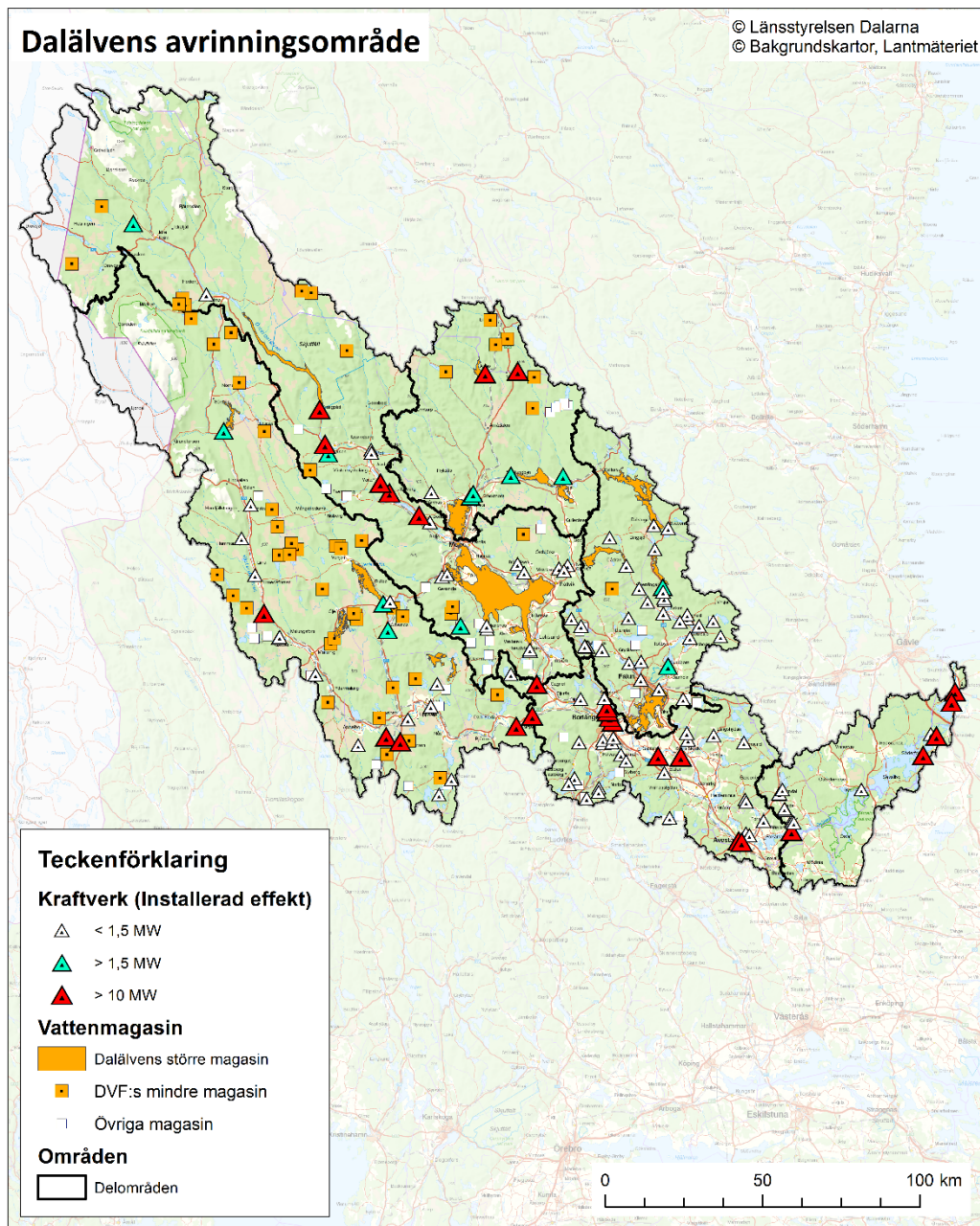
Älvsträckan Trängslet - Älvkarleby är vattenkraftssystemets pulsåder med Siljan som kraftsystemets hjärta. I Gråda kraftverk anpassas hela tiden tappningarna från Siljan i förhållande till Västerdalälvens ”oreglerade” vattenflöde för att optimera vattenflödet till alla nedströms liggande större kraftverk som har en utbyggnadsvattenförlust på 400–500 m³/s. Siljans reglering stöds i sin tur av Trängslets reglering och i viss mån de mindre magasinerna i Oreälven.

Trängslet är Dalälvens enskilt viktigaste regleringsmagasin och kraftverk. Regleringsvolymen är 880 miljoner m³, fallhöjden 142 meter och den årliga elproduktionen 650 GWh. Siljan har en regleringsvolym på 660 miljoner m³. Siljan korttidsregleras för att öka reglerkraftnyttan i de nedströms liggande kraftverken. Långhag, Avesta och Söderfors kraftverk bidrar ytterligare till att stärka älvens korttidsreglering.

De större kraftverken i huvudflödet svarar för huvuddelen av Dalälvens elproduktion på närmare 5 TWh/år och reglerkraftsnytta. Kraftverken i Österdalälven, Mellersta Dalälven och Nedre Dalälven svarar för över 80 % av älvens elproduktion. Dalälven bidrar med ca 8 % av Sveriges totala vattenkraftsproduktion som är ca 65 TWh/år.

Tabell 1: Dalälvens elproduktion och installerad effekt i huvudflöde och biflöden.

	Regleringsvolym		Elproduktion GWh/år		Installerad effekt MW	
	Huvudflödet	Biflöden	Huvudflödet	Biflöden	Huvudflödet	Biflöden
Österdalälven	1538	56	1151	35	413	12
Oreälven	155	27	113	3	31	1
Västerdalälven	0	385	409	84	88	20
Runns tillflöden	280	65	72	9	15	4
Mellersta Dalälven	125	>30	1655	19	329	6
Nedre Dalälven	27	5	1251	1	249	0,4
Totalt	2125	568	4651	151	1125	43



Figur 27. Dalälvens vattenkraftverk och regleringsmagasin.

Små magasin och kraftverk i biflöden

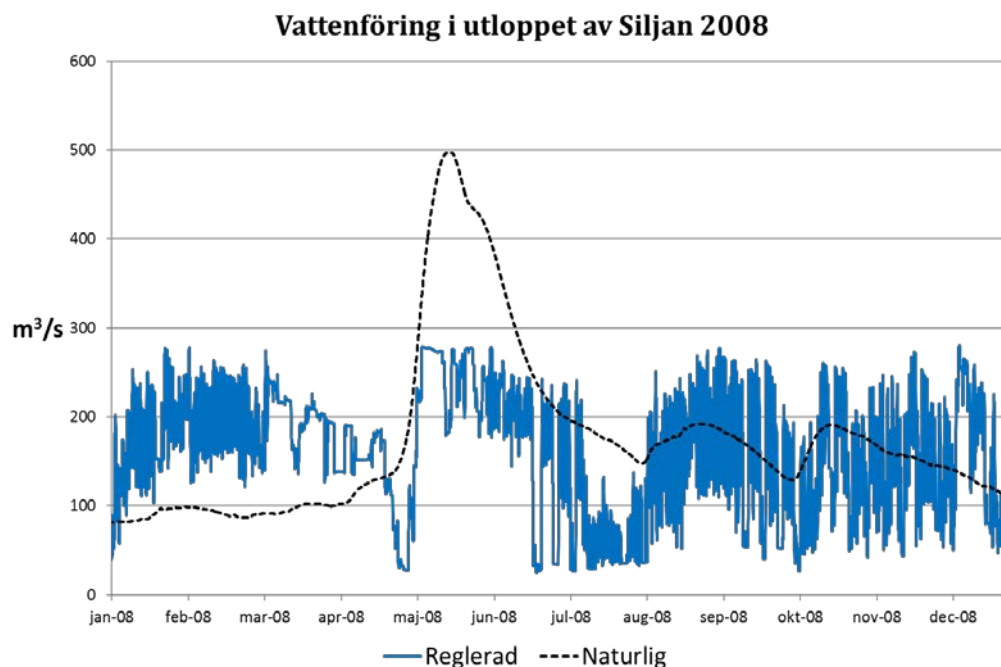
I Dalälvens mindre biflöden är de naturliga flödevariationerna, både mellan år och under året, påtagligt större än i Dalälvens huvudflöde. Det innebär större utmaningar för ägare av dessa anläggningar att anpassa tappningarna för att både optimera elproduktionen och uppfylla miljövillkor i form av minimitappningar.

De tekniska och praktiska förutsättningarna att hela tiden ”mjukt” anpassa flödena kan också vara begränsade. Tappningsförändringarna kan då istället mer få karaktären av ”start – stopp”.

Årsreglering och korttidsreglering

Figur 28 visar hur vattenkraftens regleringar förändrat Dalälvens naturliga flödesdynamik. Den blå linjen visar tappningen från Gråda kraftverk, dvs Siljans utlopp, under ett normalår idag och den svarta streckade linjen visar en modellberäkning av det naturliga flödet (utan reglering) samma år.

Av figuren framgår dels hur årsregleringen sparar vårflodens vatten i magasinen till nästa höst/vinter då flödena är betydligt högre än normalt och dels att korttidsregleringen ger frekventa och stora variationer i vattenflöde, under hela året.



Figur 28. Reglerad och naturlig vattenföring vid Gråda kraftverk i utloppet av Siljan för 2008. Bilden visar både årsregleringens och korttidsregleringens flödesförändringar.

Årsregleringens miljöeffekter och potentiella miljöåtgärder redovisas mer utförligt i rapporten 2017:09 ”Ekologiskt anpassad årsreglering”. Den här rapporten behandlar korttidsregleringens energinytta och miljöeffekter.

Dalälvens regleringsmagasin och kraftverk i samverkan

Vattenkraftens elproduktion och reglerkraft uppnås genom en kombination av regleringsmagasinens vattenhushållning och vattenkraftverken där vattnets lägesenergi omvandlas till elenergi.

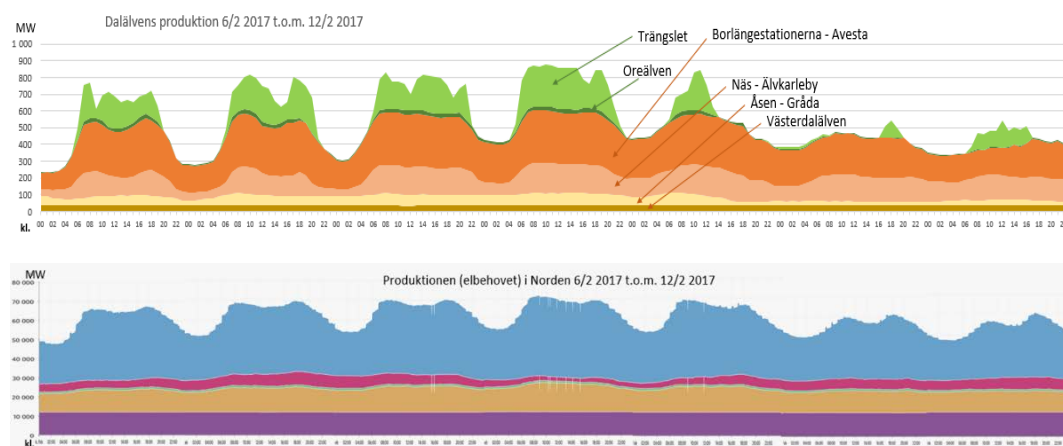
Dalälvens olika ”älvgrenar” regleras utifrån olika förutsättningar.

Trängslet, i övre delen av Österdalälven, har en stor reglerkapacitet och dess elproduktion kan i stort sett planeras fritt utifrån rådande behov utan att på kort sikt påverka älvens övriga produktion och flöden. Denna mycket flexibla regleringen är möjlig pga. den återreglering som sker i Åsens kraftverk, nedströms Trängslet. I Åsen sker sedan en begränsad, mer flödesanpassad dygnsreglering med särskilda miljöhänsyn sommartid. Oreälvens övre del är mycket väl anpassad för korttidsreglering, medan den nedre delen saknar kortsiktig flexibilitet. Västerdalälven och dess biflöden saknar i stort sett helt korttidsreglering, fränsett det mindre biflödet från Horrmundsjön.

I Gråda kraftverk anpassas tappningarna från Siljan i förhållande till Västerdalälven för att optimera flödet i Dalälven för bästa produktionsnytta i Borlänge kraftverken Forshuvud, Kvarnsveden, Bullerforsen och Domnarvet. Innan vattnet når havet korttidsregleras flödet i Långhag, Avesta, Söderfors och slutligen Untra som ger störst effektpåverkan för Älvkarleby kraftverk.

Dalälvens reglernytta i ett nationellt perspektiv

Om man studerar elproduktionen under en ”normal” vintervecka i februari ser man tydligt mönstret av Dalälvens korttidsreglering och vilka områden/kraftverksgrupper som bidrar till regler nyttan. Jämförs detta reglermönster med kraftbehovet i Norden under samma vecka så följer Dalälvens produktion mycket väl Nordens elproduktion som samtidigt motsvarar behovet av el. Se Figur 29.



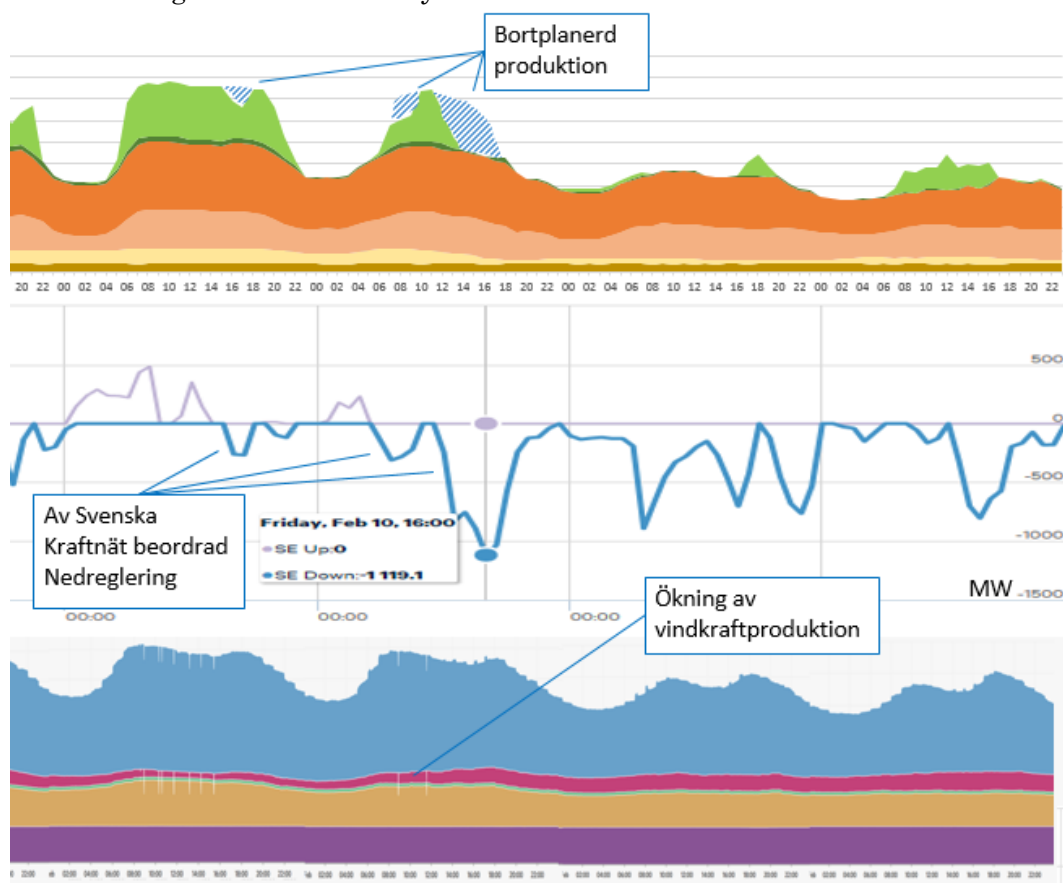
Figur 29. Veckoprofil av produktionen i Dalälven under en vintervecka (uppdelad på kraftverk eller grupp av kraftverk), att jämföra mot hela Nordens elproduktion motsvarande vecka, indelad i kraftslagen vattenkraft, vindkraft, värmekraft och kärnkraft. Jfr även figur 10.

Måndag morgon ökas Nordens effekt (elproduktion) från knappt 50 000 MW till ca 66 000 MW. Vilket är en ökning med 16 000 MW på ett par timmar, där vattenkraft svara för den största delen (viss reglering sker också med värmekraft). Under denna tid regleras samtidigt Dalälven upp från 250 MW till 775 MW, vilket är en effekttökning på 525 MW (ca. 3,3% av Nordens aktuella reglerbehov). Av figuren framgår också att den största och snabbaste

regleringen sker i Trängslet, Oreälven, ”Borlängestationerna” och nedre Dalälven (Untra-Älvkarleby). Österdalälven, från Åsen och nedströms är trögare i sin reglering medan Västerdalälvens, reglering inte märks alls i diagrammet (Horrmundsvalla, längst upp i systemet). Tittar man istället på en veckas elproduktion under vår, sommar eller höst kan höga flöden i bl.a. Västerdalälven ofta försämma förutsättningarna för korttidsreglering i älvens nedre delar. Eftersom tappningen från bland annat Gråda då anpassas för att undvika spill i kraftverken längs mellersta och nedre Dalälven. Dessutom tillåter inte tillstånden för vissa kraftverk korttidsreglering vid högre flöden.

Vattenkraftens balansering av elsystemet

En annan mycket viktig funktion för korttidsregleringen är att motverka momentan obalans i elsystemet. Under exempelveckan i Figur 30 är det sannolikt att en något felaktig vindprognos under grundplaneringen är en bidragande orsak till att det tidvis under torsdag och fredag uppstod överproduktion och obalans i elsystemet – tydligast efter lunch på fredagen. Det då uppkomna produktionsöverskottet måste snabbt regleras genom att vissa vattenkraftverk helt eller delvis stannas. I det här fallet har bl.a. Trängslet stannats och därmed bidragit till denna ”nedreglering” och återställning av balansen i elsystemet.



Figur 30. Exempel på reglering där SVK beordrat nedreglering av produktion och bl.a. Trängslet blivit aktiverad för minskad produktion under Fredagsdygnet.

Produktionshöjande åtgärder i Dalälven

Många kraftverk och älvsträckor i Dalälven är redan idag väl anpassade för korttidsreglering och reglerkraft. Men det finns både fysiska förutsättningar och vattenhushållningsbestämmelser som begränsar möjligheterna att anpassa dagens regleringar till delvis nya behov som stödjer elsystemet.

De förslag till åtgärder och förändrade regleringar som beskrivs i detta kapitel förutsätter nästan genomgående uppdaterade miljötillstånd med reviderade vattenhushållningsbestämmelser.

1 Årsregleringsmagasin

Den totala årsregleringsvolymen i Dalälvens sjömagasin är ca 2 700 miljoner kubikmeter vatten (Mm³). Denna vattenvolym beräknas ge en elproduktion på totalt 1 360 GWh i nedströms liggande kraftverk, ner till havet. Ett 15-tal större magasin står för ca 90 % av den totala magasinvolymen.

Sannolikt kommer på sikt flera mindre årsregleringsmagasin med begränsad lönsamhet och stor lokal miljöpåverkan att rivas ut vilket minskar den totala årsregleringsvolymen. Reglerbar volym i alla mindre magasin uppskattas till runt 300 Mm³, men det är osäkert hur stor del av denna volym som faktiskt nyttjas idag. En målsättning i ”Hållbar vattenkraft Dalälven” är att den samlade reglerförmågan i Dalälvens kraftverk ska bibehållas eller ökas. Mot den bakgrunden är det angeläget att studera möjligheten att ersätta förlorad volym genom utökad lagringskapacitet i befintliga större magasin samt möjligheten att öka den samlade reglerförmågan.

För att en ökad lagringskapacitet skall leda till faktisk nytta krävs att det finns tillräckligt med tillrinnande vatten. Ett sätt att värdera om en större regleringsvolym leder till ökad nytta är att se på magasinets regleringsgrad. Om ett magasin har en hög regleringsgrad innebär det att en stor del av årets tillrinning redan idag kan lagras och då ger ökad magasinvolym begränsad nytta. Den största nyttan uppnås i magasin med låg regleringsgrad och i större magasin där en ökad regleringsamplitud ger en stor volymökning.

I Svärdsjövattdragets tre största magasin; Amungen, Balungen och Ljugaren är regleringsgraden idag hög och befintlig magasinsskapacitet kan inte nyttjas fullt ut alla år. I Österdalälven och Oreälven har Trängslet respektive Vässinjärvi skapats genom dämning av älvfåran och bägge dessa magasin har en relativt hög regleringsgrad. Vårflod får i de allra flesta år plats och det är sällan som magasinet nyttjas fullt ut. Ökad regleringsvolym i Skattungen-Oresjön och Orsasjön-Siljan bedöms dock ge viss regleringsnytta.

I Västerdalälven, vid Mockfjärd innan sammanflödet med Österdalälven är regleringsgraden låg, endast 8 %. Den lagringskapacitet som finns är fördelad på ett stort antal mindre magasin i biflöden och det är varken praktiskt eller ekonomiskt genomförbart att öka lagringskapacitet i de små

magasinen. Av de lite större befintliga magasinen i Västerdalälvens biflöden har Flaten och Snese en hög regleringsgrad och kan inte nyttjas fullt ut alla år. En utökad regleringsvolym bedöms i Västerdalälven främst göra nytta i Venjansjön och Horrmundsjön.

I vissa magasin begränsas regleringsvolymen sommartid av en ”sommarsänk- ningsgräns”. Den vattennivå som av närboende anses vara en bra nivå för fiske och friluftsliv ligger dock inte sällan på en ännu högre nivå än den legala gränsen. Kraftbolagen beaktar dessa synpunkter i sin planering vilket innebär att medelnivån sommartid oftast ligger högre än de formella sänkingsgränserna. Torra perioder i kombination med ett stort kraftbehov kan dock medföra behov av ökad tappning vilket ger lägre vattennivåer.

Potentiella åtgärder

I första hand bedöms ökad regleringsvolym i följande fyra magasin bidra till ökad korttidsregleringsnytta.

- a) Skattungen-Oresjön har en relativt låg regleringsgrad. Här begränsas lagringskapaciteten sommartid både av en sommarsänkings- och en sommarlämningsgräns. Den senare ligger 35 cm lägre än vinterns lämningsgräns. Om det var möjligt att använda denna nivå året runt skulle lagringskapaciteten sommartid öka med en volym som motsvarar en elproduktion i nedströmsliggande kraftverk på 4,5 GWh.
- b) Vid höga flöden stiger Siljans nivå relativt ofta över den övre regleringsgränsen på 161,78 m. Tappning ska då följa en naturlig avbördningskurva. Om det samtidigt är högt vattenflöde i Västerdalälven leder det till spill i nedströms liggande kraftverk. Om Siljans övre regleringsgräns höjs medför det att tappningarna kan hållas lägre en längre period och spill eventuellt undvikas. Genom att höja den nivå till vilken Siljan kan lämnas inför vinteravsänkning ökar också den volym som kan nyttjas vintertid. Eftersom Siljan är så stor, ger en sådan nivåhöjning en stor volymvinst. Om den övre regleringsgränsen höjs med 10 cm ökar elproduktionen ned till havet med 12 GWh.
- c) Uppströms Venjansjön och Öjesjön i Vanån/Ogströmmen finns ett flertal mindre magasin. Öjesjöns regleringsvolym nyttjas inte fullt ut alla år och i Venjansjön finns en sänkingsgräns som inte får understigas om vårfloden förväntas bli liten. Om vissa mindre magasin försvinner uppströms behöver Öjesjöns årsavsänkning nyttjas i större utsträckning. För Venjansjön finns en sommarsänkingsgräns som ger relativt liten reglerbar volym sommartid. Vid kraftiga regn uppstår snabbt spill. Om Venjansjöns lämningsgräns höjs med 10 cm ökar magasinvolymen, uttryckt i producerad elenergi med 1,6 GWh.

- d) I övre delen av Västerdalälven är Horrmundsjön det enda större regleringsmagasinet. Om dämningsskänken här kan höjas 10 cm ger det en ökad vattenvolym om 1,4 Mm³ vilket motsvarar 1,0 GWh i elproduktion ned till havet.

Totalt motsvarar dessa fyra scenarier ca 1/6 av vattenvolym i Dalälvens mindre regleringsmagasin (se ovan).

Potentiell nytta

Den extra vattenvolym som kan sparas genom dessa åtgärder motsvarar sammanlagt teoretiskt ca 19 GWh elproduktion i kraftverken nedströms de aktuella magasinerna. I praktiken kommer dock nyttan att variera mellan olika år. Om det en gång per år är spill i alla stationer nedströms respektive magasin samtidigt som hela den utökade magasinensvolym kan nyttjas så att det då lagrade vattnet kan användas för produktion vid senare tidpunkt skulle det ge en ökad elproduktion på 19 GWh. Potentiellt kan denna situation uppstå flera gånger per år. Det är dock mer sannolikt att det inte är varje år som det är spill i alla nedströms liggande kraftverk samtidigt som magasinerna fylls varför den ökade elproduktionen i genomsnitt blir lägre.

Ökad magasinensvolym i Siljan, Venjansjön och Horrmundsjön innebär samtidigt en potentiell möjlighet att varje år flytta 15 GWh i produktion från sommarperiod till vinterperiod. Beroende på det aktuella årets prisbild och vattentillgång är det dock inte säkert att denna möjlighet nyttjas varje år.

Den potentiella nyttan av att öka magasinenskapacitet i dessa fyra sjöar har beräknats genom att göra en optimering i Fortums veckoplaneringssystem. Produktion i Vattenfalls stationer har lagts till genom att använda veckoflöden från optimeringsverktyget och "produktionsekvivalent" (producerad MW per vattenvolym m³/s). Beräkningar har genomförts för ett "normalår".

I Tabell 2 redovisas resultatet från optimeringen dvs hur mycket elproduktionen i hela Dalälven beräknas öka genom dessa fyra åtgärder.

Enheten "Dygnsenheter" (DE) i tabellen är en av kraftbolag och regleringsföretag mycket användbar enhet för vattenvolym. En dygnsenhet är den vattenvolym som ges av ett flöde om 1 m³/s under ett dygn. Enheten gör det enkelt att t.ex. beräkna hur lång tid det tar att fylla upp, resp. tappa ur ett magasin vid olika flöden.

Om ett magasin har 300 DE (till exempel Horrmundsjön) kan det teoretiskt tappa ett konstant flöde på 300 m³/s under ett dygn innan det blir tomt.

Om man däremot, som normalt i Horrmund, tappar 10 m³/s räcker vattnet i magasinet över 30 dygn (300 DE/10 m³/s = 30 dygn).

Tabell 2. Optimering av ett "normalår" med 10 cm högre dämningssgräns (Dg).

Magasin	Nivå	Totalvolym DE dygnsenheter*	Ökad volym i DE från dagens Dg. - nivå	Resultat; ökad produktion i GWh**
Horrmund- sjön	Dg. 441,14 m (lokal skala)	300 DE	Dg. +10cm = 114,24 m => 316 DE (+16DE)	Normalår: +0,11
Venjansjön	Dg. 97,11 m (lokal skala)	1588 DE	Dg. +10cm = 97,21 m => 1628 DE (+40DE)	Normalår: +1,25
Siljan- Orsasjön	Dg. 161,78 m (RH00) ***	7613 DE	Dg. +10cm = 161,88 m => 8043 DE (+430DE)	Normalår: +/-0,0
Skattungen- Oresjön	6,85 m Sommar Dg (lokal skala)	829 DE	SDg. +10cm =6,95 m => 965 DE	Normalår: +1,25

* Dygnsenhet: En dygnsenhet är vattenvolymen given av flödet 1m³/s i ett dygn.

** Total elproduktion i alla kraftverk nedströms magasinen.

*** Övre regleringsgräns.

Beräkningen i Tabell 2 indikerar endast en mycket liten ökning av elproduktion. Den sammanlagda energivinsten från summan av dessa fyra höjningar av dämningssgränserna understiger 3 GWh/år. Det bedöms dock som en underskattning då Dalälven i detta fall modellerats mot ett antaget "normalår" i vilket det inte ingår högre, oförväntade flödesperioder.

Optimering görs också med "facit i hand", där kommande flöden redan är kända och magasinen sänks av i förväg så att vattnen får plats, vilket inte alltid är möjligt i praktiken.

Eftersom modelleringar av den här typen kan underskatta värdet av ökat volyminnehåll i ett magasin (speciellt för "normal" eller "torr"-år) studerades också mervärdet för ett magasin med ökat volyminnehåll genom analys av historiska flöden. Totaltappningen ur Siljan för åren 2003 till 2016 valdes som beräkningsexempel. Medelspill under denna tidsperiod var ca. 24 m³/s per timme, under de ca. 400 timmar per år då spill uppstod. Det innebär att spillet uppgår till ungefär 400 DE i genomsnitt per år (vilket enligt tabell 2 motsvarar +10 cm i Siljan). Om detta spill uppstår under en flödesperiod när Siljan är fylld och det samtidigt är spill i kraftverken nedströms Siljan och till havet så blir produktionsförlusten av spillet ca. 11 GWh. Vilket skulle kunna undvikas med 10 cm högre nivå i Siljan.

Ett utökat magasin i Siljan-Orsasjön, med 430 DE, skulle dock under 2006 ändå ha medfört ett stort spill och förlust av ca. 25 GWh. Det året uppgick spillet, enbart under hösten, till 1520 DE. Hösten 2014 spilldes det ännu större volymer, då förlusten uppgick till närmare 30 GWh. Dessa bägge år (2006 och 2015) får stor inverkan på det medelvärde av spill på 400 DE som tas fram ur denna serie av 14 år. Energinyttan av ett större magasin verkar statistiskt bara finnas vart tionde år.

Som en sammanfattning av dessa analyser kan sägas att under vissa år med högflödessituationer kan höjda dämningssgränser med + 10 cm i dessa fyra magasin ge stor nytta. Under dessa tillfällen (vart tionde år?) kan energivinsten sannolikt bli ca. 8–13 GWh per år (Siljan 7–11 GWh, övriga 1–2 GWh).

Dessutom skapas möjlighet till lagring av vatten för större flexibilitet i älven, då kraftverken inte nödvändigtvis behöver producera fullt dygnets alla timmar. Under år med normala flöden ligger vinsten i ökad elproduktion uppskattningsvis runt 3–5 GWh, där möjligheten till extra lagring även då ger nytta för flexibilitet och korttidsreglering.

För att fullt ut ta till vara på vattenvolymer i de höga flöden som uppstår i genomsnitt vart tionde år måste dämningssgränser (magasinsvolymen) dock höjas betydligt mer än tio centimeter.

I denna inledande analys har vi inte beaktat andra konsekvenser som eventuella ökade skador runt sjön eller behov av dammförstärkning. I analysen har vi inte heller fullt ut lyckats kvantifiera den nytta som ges av höjda dämningssgränser i de fyra magasinerna. Det finns sannolikt tillfällen då en högre dämningssgräns i Siljan ger en ökad buffert som minskar spill eller ger möjligheten att mer effektivt optimera produktionen i kraftverken nedströms Gråda. Att ta fram data, analysera och hitta dessa tillfällen är dock en tidskrävande uppgift.

För att gå vidare med denna typ av åtgärd krävs fördjupade analyser. För att fullt ut analysera nyttan med ökad magasinvolym behövs ett optimeringsprogram som klarar att optimera ett helt år med tidsupplösning på timnivå.

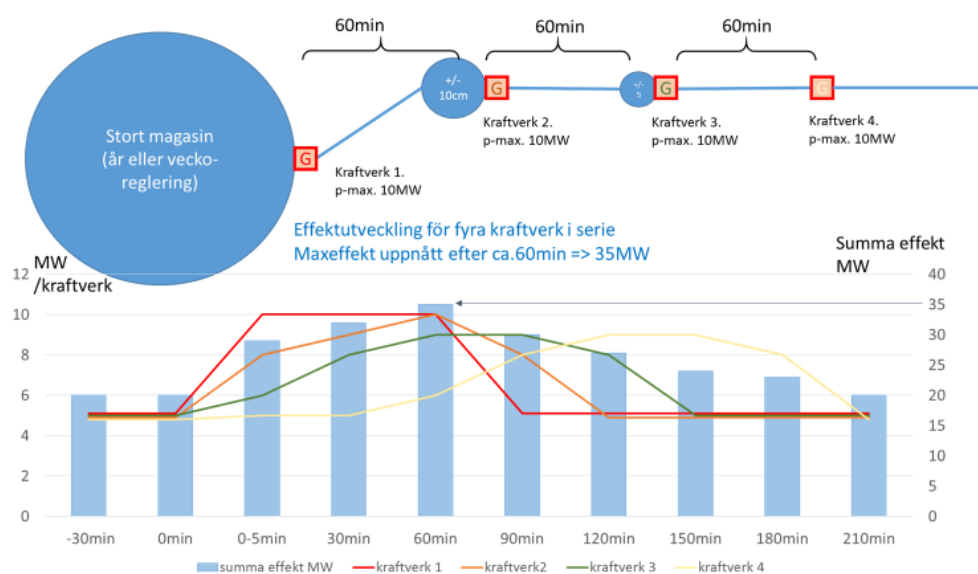
2 Mellanmagasin

Möjligheten till korttidsreglering av kraftverksmagasin och mellanmagasin, som Runn och Hovran, fyller en viktig funktion i vattenkraftssystemet genom att möjliggöra ökad tappning och elproduktion i kraftverk nedströms - innan vattnet hinner fram från motsvarande tappningsökning i kraftverken uppströms. Det ger totalt sett en snabbare och större effektereglering (både upp och ner) av en hel grupp kraftverk.

Nuvarande tillstånd medger en viss regleringsamplitud i mellanmagasinen, men den får inte alltid nyttjas för korttidsreglering. Det finns en stor

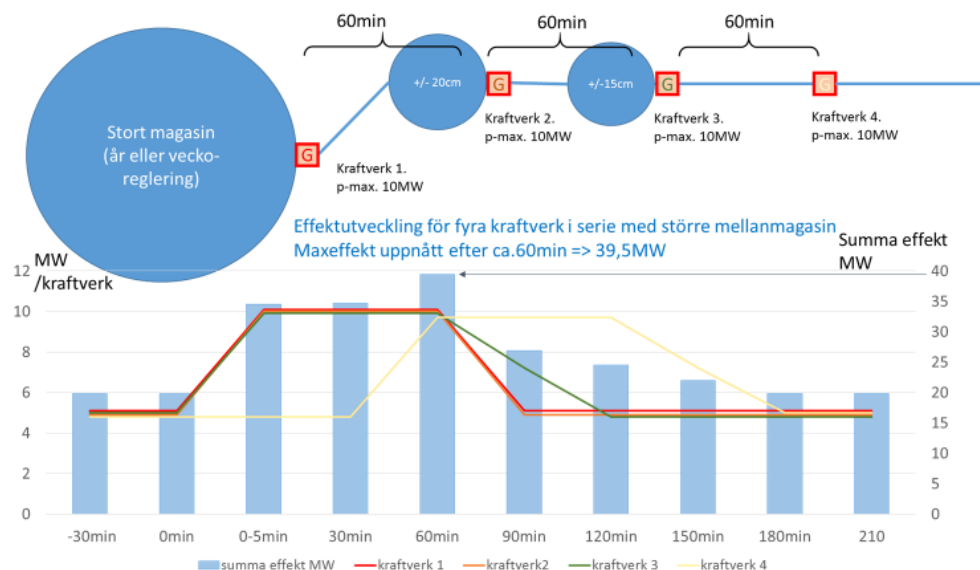
potential i att öka den snabba effektregeringen i Dalälven om vattennivån får variera något mer än idag under dygnet i kraftverks- och mellanmagasin.

I figur X presenteras ett typexempel på ett kraftsystem med ett större årsregleringsmagasin och nedströms liggande kraftverk i serie med mindre magasin där det finns tillstånd för att variera vattennivån med 5–10 cm. I figuren redovisas också hur snabbt de fyra kraftverken kan öka sin effekt – totalt upp till 35 MW efter 60 minuter.



Figur 31. Effektökning för en grupp kraftverk med liten reglerbar vattenvolym i mellanmagasinen.

I figur Y har regleringsvolymen utökats på de bägge mellanmagasinen och korttidsreglering tillåts inom de angivna intervallen (20 respektive 15 cm). Kraftverken förändras inte i detta exempel - utan enbart magasinerna och dess reglering. Nu kan effekten på kraftverken längre ner regleras upp och ner mycket snabbare. Kraftverk fyra når sin maxeffekt en timme tidigare vid en uppreglering. Maxeffekten för hela gruppen kraftverk som, uppnås efter 60 minuter ökar nu till 39,5 MW



Figur 32. Effektökning för en grupp kraftverk med större reglerbar vattenvolym i mellanmagasinen.

Fortum och Vattenfall har i detta kapitel identifierat ett flertal potentiella åtgärder vilka kan förbättra reglerförmågan i ett tjugotal magasin, kraftverk och grupper av kraftverk, utan att ombyggnad av anläggningar behöver ske.

Österdalälven

Väsa

Vattennivån i Väsamagasinet regleras idag mot en av vattendomstolen fastställd dämningssgräns (227,5 m), med möjlighet att av drifttekniska skäl sänka vattenståndet med 25 cm.

Om tappningen från Väsa överstiger tillrinningen med 50 m³/s sjunker nivån i magasinet med ca. 10 cm i timmen. Eftersom "gångtiden" på vattnet mellan Åsen och Väsa är 4–5 timmar (beroende av vattenföring) behövs tillstånd för sänkning av magasinet med upp mot 50 cm för att möjliggöra en samtidig effektuppgång i Åsen, Väsa, Blyberg och Spjutmo.

Blyberg

Blyberg har ett förhållandevis litet magasin som regleras mot en av domstolen fastställd regleringsgräns. Om tillståndet möjliggör en tillfällig avsänkning på 20 cm från dagens dämningssgräns ger det goda förutsättningar för Blyberg att anpassas till Väsa och Spjutmo för att kompensera för "gångtiden". Se även Väsa.

Spjutmo

Spjutmosjön är redan idag ett relativt stort magasin (15 TE/cm vilket betyder att vattennivån sjunker ca. 3,3 cm per timme om tappningen är 50 m³/s högre än tillflödet), men kraftverket får idag inte korttidsregleras. Om det blir tillåtet att sänka av magasinets nivå med ca. 5–10 cm ger det goda förutsättningar att anpassa Spjutmos tappning till Väsa och Blyberg för att kompensera för ”gångtiden” mellan kraftverken. Se även Väsa.

Sammantaget kan förändrade villkor för reglering av Väsa, Blyberg och Spjutmo enligt ovanstående beskrivning möjliggöra en snabbare effektreglering på totalt ca 14 MW i förhållande till dagens förutsättningar.

Oreälven

Unnån

Om korttidsreglering tillåts i Skattungbyns kraftverk (Se avsnittet ”Förbättrad körstrategi”, punkt 4 nedan) behövs ett något större regleringsmagasin vid Unnåns kraftverk för att kompensera för ”gångtiden” på vattnet från Skattungbyn (2,5 – 3 timmar)

Hansjö

Även Hansjö kraftverk behöver då ett något större regleringsmagasin för att kompensera för ”gångtiden” på vattnet från Skattungbyn och Unnån (2,5 – 3 timmar). Se vidare avsnittet ”Förbättrad körstrategi”, punkt 4 Skattungbyn (Oreälven) nedan.

Sammantaget skulle dessa åtgärder i nedre Oreälven öka flexibiliteten och den momentana reglerbarheten med ca. 4 MW.

Västerdalälven

Mockfjärd

Mockfjärd används idag för primärreglering dvs balansering av frekvensen (50,00Hz). Denna nytta kan förstärkas om det lilla befintliga magasinet vid kraftverket tillåts att användas med en viss avvikelse/nivåförändring i förhållande till den fastställda regleringsgränsen.

Svärdsjövattnedraget

Tänger

Viss potential finns men ej analyserad i detalj i denna rapport.

Borgärdet

Viss potential finns men ej analyserad i detalj i denna rapport.

Mellersta Dalälven

Täkten – Dalälven uppströms Forshuvuds kraftverk

Vattnets gångtid från Gråda till Forshuvud är ca. 2,5–3 timmar. Vattennivån i Täkten, dvs magasinet/lugnvattenområdet uppströms Forshuvud ska idag enligt fastställda villkor hållas på en konstant nivå mot en ”reglergräns”.

Uppgång/ökning av produktion i Forshuvud sker idag ca. en timme innan vattnet från Gråda når kraftverket. Viss avvikelse mot reglergränsen sker varje morgon. Magasinet återfyllas sedan under dagen och kvällen. Tillstånd för en viss regleringsamplitud i Täkten möjliggör en momentan reglerökning/minskning på 35 - 45MW i de fyra Borlänge kraftverken.

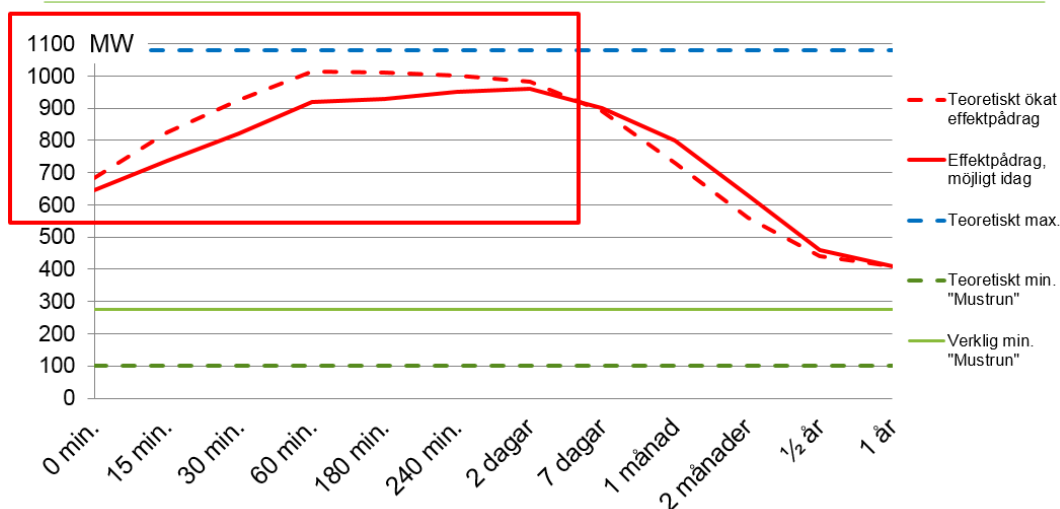
Hovran

”Gångtiden” på vattnet från Långhag till Avesta är ca. 4,5 timme. Ökad produktion i Avesta sker idag ca. 1,5 – 2 timmar innan vattnet från Långhag når Hovran. Under morgonen avsänks därför Avestas magasin (Hovran) med 10 till 15 cm, för att sedan återfyllas under dagen och kvällen. En större reglervolym i Hovran ger bättre förutsättningar för att optimera produktionen i Avesta mot förbrukningen på ”morgontoppen”. Det kan ge en reglerökning på ca. 20 MW.

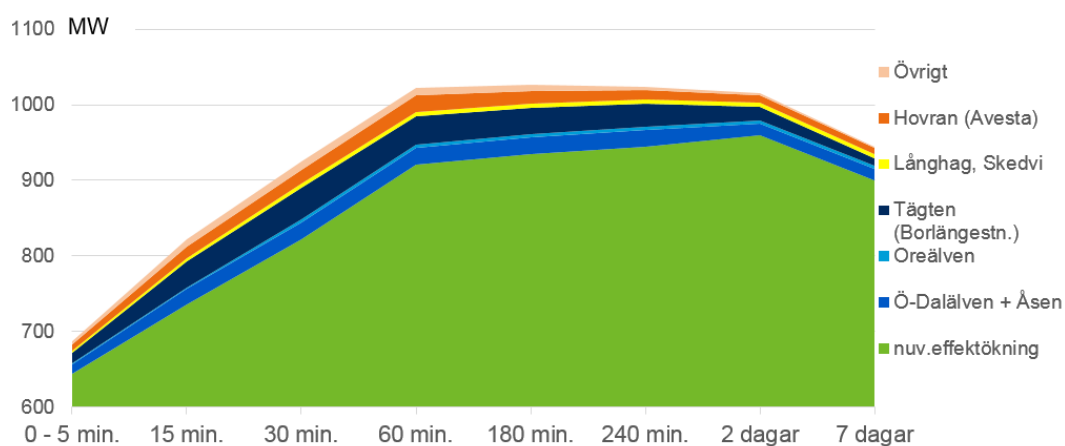
Sammanfattning för alla delområden

I Figur 33 visas den momentana effektökning som alla ovanstående redovisade åtgärder för mellanmagasin kan ge för hela Dalälven. Den undre bilden (förstoringen) visar dessutom hur mycket de olika åtgärdsområdena bidrar med. Hovran (mellersta Dalälven), Täkten (mellersta Dalälven) och Österdalälven inklusive Åsen är de åtgärder som har de största potentialerna för effektökning.

Tidsberoende effekttökning i befintliga anläggningar i Dalälven



Områden och magasin med möjlighet att förbättra "tidsberoende effekttökning" i befintliga anläggningar i Dalälven



Figur 33. En samlad bild för hela Dalälven som visar hur förändrade vattenhushållningsregler i Fortums och Vattenfalls befintliga anläggningar kan öka möjligheten till snabbare effekttökning. Den nedre bilden visar ökad reglervolym av de åtgärder som presenterats under punkten 2 "Mellanmagasin".

3 Bättre nyttjande av befintliga turbiners effekt

Vissa kraftverk i Dalälven har idag turbiner och tekniska maxflöden som är större än vad som får nyttjas i gällande tillstånd. Vid dessa kraftverk finns således möjlighet att ändra tillstånden så att befintlig turbinkapaciteten kan nyttjas för ökad flexibilitet och elproduktion.

Långhag och Stora Skedvi

Idag har Stora Skedvi kraftverk i en teknisk maxgräns på 440 m³/s - som dock inte får nyttjas eftersom dagens miljötillstånd endast medger en maximal tappning genom turbinerna på 400 m³/s. Vid högre flöde tappas detta vatten idag via utskov som spill. Tillstånd för att nyttja upp till 440 m³/s ger både högre elproduktion och möjlighet att öka effekten med ca. 2 MW.

Om Skedvi får tillstånd att korttidsreglera upp till 440 m³/s bör det koordineras med att vattenhushållningsreglerna för Långhags kraftverk ändras i syfte att tillåta korttidsreglering upp till 440 m³/s även i detta kraftverk. Möjligheten att reglera ökas då med ytterligare ca. 4 MW.

4 Förbättrad körstrategi

Här redovisas potentiella åtgärder med förändrad/förbättrad körstrategi för kraftverk där möjligheten till korttidsreglering begränsas i nuvarande tillstånd samt vissa andra tekniska eller specifika problem som fallförluster.

Gävunda

Potential för Johannisholm och Gävunda finns men har ej analyserats.

Åsen

Korttidsreglering är idag inte tillåtet under juni – augusti. Om korttidsreglering tillåts även sommartid, med samma regler som vintertid, så ger det möjlighet att reglera upp kraftverket med ca. 8 MW. Tillsammans med Väsa, Blyberg och Spjutmo möjliggör det en snabbare effektregering på totalt ca 50 MW.

Vid vissa tillfällen under året begränsas Trängslets korttidsreglering av dagens villkor för hur Åsen får regleras. Möjlighet till friare reglering av Åsen skulle tidvis möjliggöra en snabbare effektregering i hela Österdalälven med upp mot 150 MW.

Skattungbyn

Skattungen är idag ett årsregleringsmagasin. Om magasinet även kan användas för korttidsreglering ökar det flexibiliteten och reglerbarheten i Oreälvens tre nedre kraftverk (Hansjö, Unnån och Skattungbyn). För att nyttja denna reglerbarhet behöver då turbinvattenföringen utökas i Skattungbyns kraftverk.

Tängar och Borgärdet

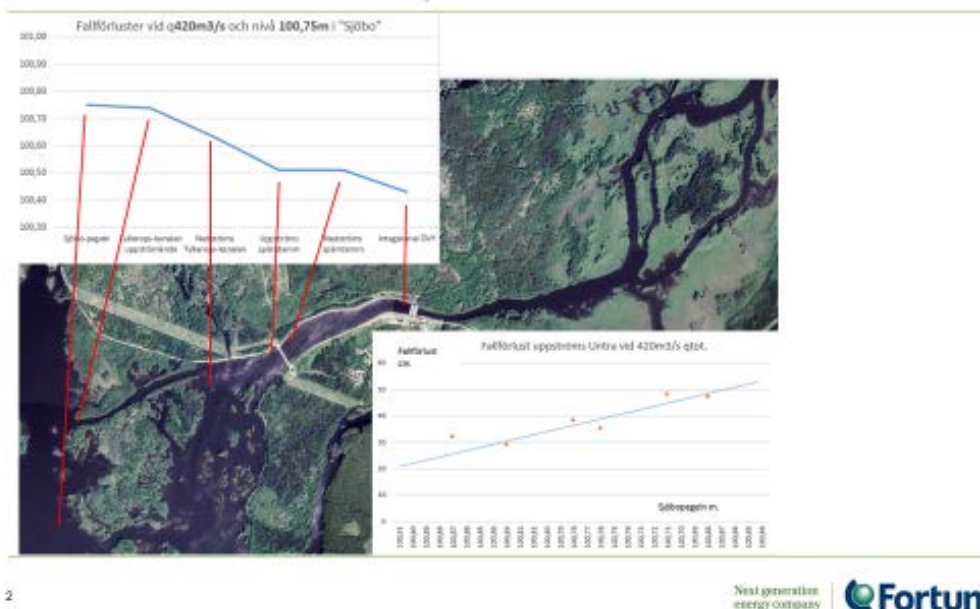
Potential finns men har ej analyserats.

Untra – Söderfors

Vid tappning genom Untra kraftverk ökar fallförlusten med flödet. I takt med att Untras magasin sjunker (vid dygnsreglering) ökar höjdskillnaden, och därmed fallförlusten, mellan "Sjöbopegeln" (dompegel närmast, nedströms Söderfors kraftverk) och pegeln närmast Untras intagsgrindar. Det orsakas bl.a. av förträngningar i sjön och kanaler före intagskanalens början. För att minimera nivåförlusterna behöver uppströms liggande områden breddas och/eller muddras för att göras djupare. Dessa åtgärder är kostsamma och i dagsläget inte ekonomiskt motiverade - samtidigt som de tillfälligtvis kan ge negativ påverkan på omgivande natur (grumling, uppläggningsytor, transportvägar mm.).

En alternativ åtgärd, för att minska fallförlusten, är att alltid hålla vattennivån vid Sjöbopegeln högre än dagens nivå och låta korttidsregleringen ske i Söderfors kraftverk, med dess ovanliggande fjärdar och magasin. Untra och övriga, nedströms liggande kraftverk, kommer då att följa Söderfors reglering. Untrafjärden hålls då på en jämn, hög nivå (exempelvis 100,85 m) vilket minskar fallförlusten utan större kostnad eller fysiskt ingrepp. Vinsten av denna åtgärd är en ökad elproduktion på drygt 3 GWh/år.

Minska fallförlusten i Untra, alt.1



Figur 34. Minskade fallförluster i Untra.

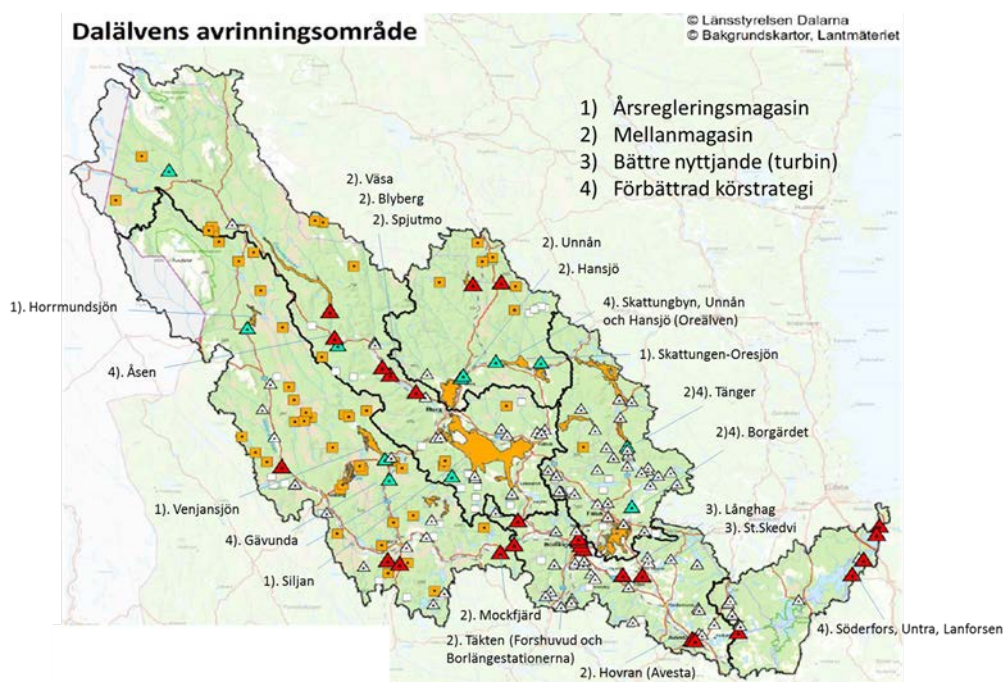
Samlade potentialer för effektökning

För att uppnå större energi- och effektökning i Dalälven behövs stora förändringar i vattenkraftssystemet och stora nyinvesteringar. Nya större magasin ger förutsättningar för ökad elproduktion och ombyggda kraftverk med ökat turbinflöde och fallhöjd ger högre effekt. Större turbinkapacitet ger ökad elproduktion vid höga flöden men nyttan är framförallt högre effekt med möjlighet att omfördela elproduktionen till de tider då behovet är som störst.

Utan nya magasin kommer elproduktionen, på årsbasis, att vara i stort densamma som idag. I enlighet med Energikommisionens ställningstagande har analyserna av den sammanlagda effekt- och energiökning i denna rapport avgränsats till åtgärder i befintliga anläggningar. I detta kapitel har möjligheterna för ökad elproduktion och effekt bedömts för de kraftverk och magasin som framgår av Figur 35.

Behovet av flexibilitet i regleringar är idag stort och det kommer sannolikt att öka, i takt med mer vind och sol i elsystemet. I denna rapport redovisas möjligheterna till ökad elproduktion och inte minst effekt för hela Dalälven..

Beräkningar visar att redovisade åtgärder för grupp 2 dvs. ”mellanmagasin” har en betydande potential för att ge snabbare effektregering (både upp och ner) vilket får stor betydelse för kraftsystemet. Se Figur 33.



Figur 35. Kraftverk och magasin där det finns potential att utveckla regleringen.

Dalälvens nuvarande korttidsreglering - område för område

I de efterföljande kapitlen redovisas de åtta kraftverk med regleringsmagasin som idag korttidsregleras i Dalälven, de villkor som styr regleringarna för dessa kraftverk samt hur vattenflöden och vattennivåer påverkas i upp- respektive nedströms liggande magasin och älvavsnitt. Översikt av områdesindelningen framgår av Figur 36.

Påverkansområde

För respektive delområde redovisas en karta med det kraftverk som korttidsregleras och de nedströms liggande kraftverk som får samma flödesrytmik samt de magasin och delområden av älven som påverkas av flödes- och nivåförändringar. Notera att flöden och nivåer i flera delområden påverkas av såväl uppströms som nedströms liggande korttidsregleringar. Dessa regleringar är i allmänhet är synkroniserade med varandra.

Regleringsmagasin

För respektive regleringsmagasin som korttidsregleras redovisas en tabell med regleringsamplitud, reglervolym (mellan högsta och lägsta regleringsnivå), om magasinet års- respektive korttidsregleras samt energiinnehåll. Det senare är ett mått på reglervolymens samlade elproduktionen - om hela vattenvolymen passerar genom alla nedströms liggande kraftverksturbiner, ända ner till havet.

Vattenhushållningsbestämmelser

För vissa kraftverk citeras dessa bestämmelser "ordagrant" (vad gäller korttidsreglering) medan de för andra kraftverk beskrivs mer i löptextform eftersom bestämmelser i äldre beslut inte är så enkelt formulerade och ibland återfinns i flera delvis överlappande beslutsdokument.

Det är ett omfattande arbete i sig att för de större kraftverken gå igenom alla tillstånd och identifiera de nu gällande villkoren och inte minst vilket faktaunderlag och vilka miljöaspekter som legat till grund för fastställda villkor. En sådan ansats har genomförts för Långhag och en preliminär slutsats är att dessa idag 70 år gamla domar inte fyller kraven för moderna miljövillkor och inte heller möjliggör reglering för optimal energinytta.

Korttidsregleringen i praktiken och dess påverkan på flöden/nivåer

I detta avsnitt ges en mer praktisk beskrivning för hur de aktuella kraftverken och dammarna regleras – med hänvisning till diagram med flöden och magasin snivåer för två "typiska" korttidsregleringsveckor – en vinter och en sommarvecka 2012.

Dessa båda figurer ska endast ses som exempel – flödesvariationerna mellan olika år och veckor är stora. Jfr t.ex. de tre figurerna för Avestas korttidsreglering somrarna 2015, 2016 och 2017 som representerade en blöt

sommar, en mer normal sommar och en mycket torr sommar (2017). Notera att dessa tre år inte ska tolkas som en trend för tappningsförändringar eller miljöeffekter.

Hydromorfologiska kvalitetsfaktorer visar påverkan

Regleringarna förändrar flödesdynamiken under året och ger högre vinterflöden, lägre vårflooder och snabba korttidsförändringar. Inom vattenförvaltningen bedöms vattens ekologiska status med stöd av indikatorer och undersökningar samtidigt som normer (mål) fastställs och åtgärdsbehov identifieras. SMHI har tagit fram kvalitetsfaktorn ”Flödets förändringstakt” för att kvantitativt beskriva korttidsregleringar styrka och påverkan på den naturliga flödesdynamiken.

Flödets förändringstakt mäter hur korttidsregleringen påverkar flödets förändring i vattendrag och ger i allmänhet höga index om det frekvent förekommer snabba, onaturliga flödesförändringar. För att beräkna flödets förändringstakt jämförs först flödesförändringar mellan två intilliggande dygn eller timmar, både för den reglerade vattenföringen och för den beräknade oreglerade vattenföringen. Därefter summeras skillnaderna över en längre tidsperiod (1 - 10 år) och summan av nuvarande flödesförändringar divideras med motsvarande summa för den modellerade oreglerade vattenföringen. Resultatet blir en genomsnittlig avvikelse i flödets förändringstakt från ett hypotetiskt oreglerat tillstånd, uttryckt i procent.

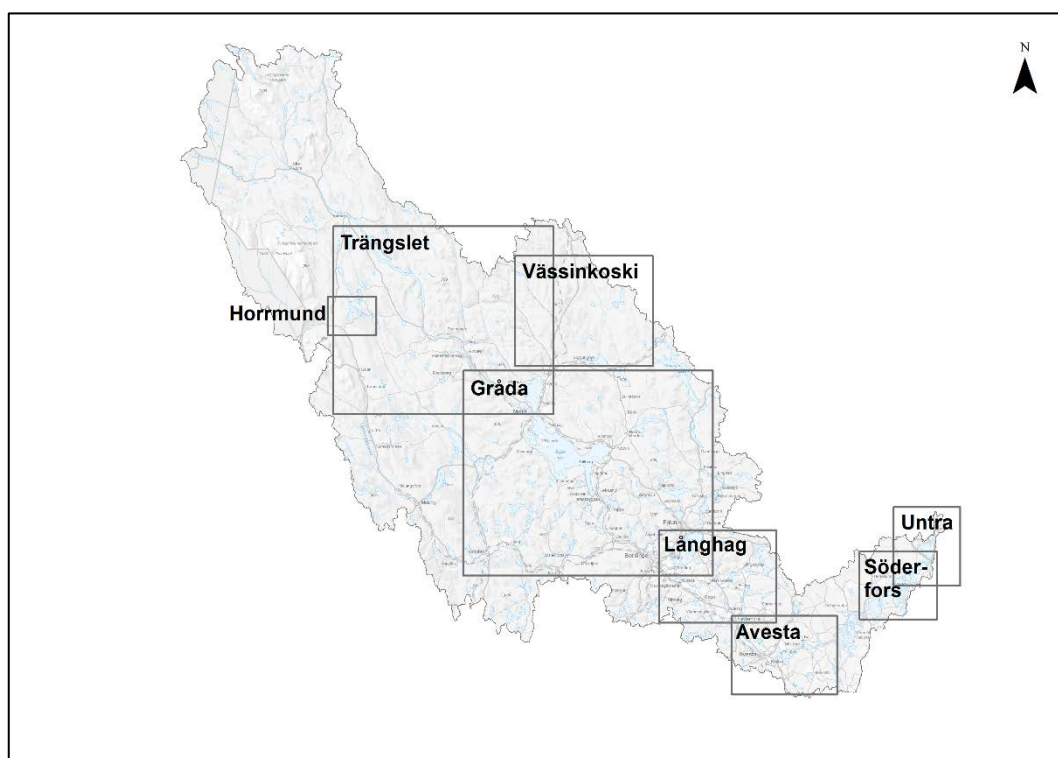
I denna rapport redovisas flödets förändringstakt i figurer med transekter för varje delområde vilka belyser hur korttidsregleringen dämpas och avklingar neröver i systemet. I respektive figur redovisas två olika index - baserat på dygnsmedelvärden respektive timvärden. Dessa figurer visar tydligt hur stor skillnad indexet får beroende på dataunderlag. Dygnsmedelvärden ger en bristfällig beskrivning av korttidsregleringens omfattning och hur mycket de faktiska tappningarna varierar under dagen. Indexet baserat på dygnsmedelvärden speglar framför allt tappningsvariationer på veckonivå dvs mellan vardagar och helger. Notera att indexen i figurerna redovisas i en logaritmisk skala dvs. de verkliga variationerna är mycket större än vad bilden ger sken av.

När det oreglerade tillståndet har små flödesförändringar kan regleringar orsaka stora procentuella avvikelser för denna parameter. Idag (2017) används enligt föreskriften (HVMFS 2013:19) dygnsdata för normsättning inom vattenförvaltningen. Nationellt diskuteras dock att även timdata ska få användas för beräkning av flödets förändringstakt eftersom korttidsreglering i allmänhet utförs inom dygnet.

Ett genomsnittligt värde som beräknats av flera års data säger inget om hur regleringar varierar under året. Ett sätt att åskådliggöra variationerna under året är att beräkna flödets förändringstakt för varje enskild månad. För varje delområde presenteras en figur med månadsupplösning för vattenområdet

nedanför respektive kraftverk som korttidsregleras. Notera att regleringarna i allmänhet ger mindre påverkan på flödena under vårfloden.

Miljöns känslighet för korttidsreglering varierar under olika årstider varför månadsupplösning baserat på timdata ger ett bättre underlag för att bedöma miljöpåverkan och åtgärdsbehov. Tillståndet för korttidsregleringen i Åsens kraftverk är sannolikt det enda exemplet i Dalälven på ”miljöanpassad korttidsreglering”. Vilket framgår av indexet i Figur 25.



Figur 36. Översikt av delområdesbeskrivningar med de kraftverk som korttidsregleras namngivna. Rutorna ger en översiktlig bild av respektive kraftverks influensområde, både upp- och nedströms.

Trängslets korttidsreglering

Trängslets regleringsmagasin och kraftverket togs i drift 1959. Fallhöjden är 142 meter och regleringsamplituden 35 meter. Den höga fallhöjden, den stora regleringsamplituden och möjligheten till korttidsreglering hela året mellan 0 och 275 m³/s gör Trängslet till Dalälvens viktigaste regleringsmagasin, inte minst för korttidsreglering.

Trängslets korttidsreglering återregleras i Åsen som även har särskilda anpassningar av sin reglering under juni – augusti. Åsens korttidsreglering under vintern påverkar även de nedströms liggande kraftverken Väsa, Blyberg och Spjutmo. Gångtiden från Åsen till Väsa är ca fyra timmar och sedan är det ytterligare någon timme ner till Spjutmo.

Tabell 3. Trängslets vattenregleringsmagasin.

Regleringsmagasin	Regleringsamplitud meter	Reglervolym miljoner m ³	Regleringsstrategi År / Korttid	Energiinnehåll GWh
Trängslet	35	880	År + Korttid	696



Figur 37. Kraftverk och magasin som direkt berörs av Trängslets korttidsreglering.

Dagens korttidsreglering

Trängslet – Åsen bör betraktas som en samlad kraftverksanläggning som kombinerar hög energinytta med miljöanpassning av flödet under sommaren.

Vattenhushållningsbestämmelserna sätter ramarna för regleringen

Trängslets tappningen får regleras fritt mellan 0 och maximal tappning genom turbinerna (275 m³/s). Vattenflödesförändringarna återregleras dock i Åsens kraftverk.

Vattenhushållningsbestämmelserna i Åsen ger förutsättningarna för hur Trängslet kan regleras. Minimitappningen i Åsen är 21 m³/s. Tappningen från Trängslet kan vara noll i några dygn innan Åsens regleringsmagasin är tömt. Under tiden 1 juni till 31 augusti får inte Åsen korttidsregleras och tappningsändringar i Åsen får tidigast utföras 72 timmar efter föregående ändring i motsatt riktning. Ökningen eller minskningen kan då ske i flera etapper. Tappningen i Trängslet kan korttidsregleras även när ingen korttidsreglering sker i Åsen - eftersom nivån i Åsens magasin tillåts variera upp till 3,5 m.

Korttidsregleringen i praktiken

Trängslet korttidsregleras i någon form varje dag. Återregleringsmagasinet i Åsen gör det möjligt att ha 0-tappning i Trängslet några dygn, t.ex. en helg, beroende på hur hög tappningen från Åsen är. Ett fyllt magasin i Åsen motsvarar en tappning från Åsen på ca 110 m³/s under ett dygn dvs vattnet räcker väl till att klara minimitappningen utan återfyllning från Trängslet under en helg. Omvänt ger ett tomt magasin i Åsen möjlighet till mycket hög tappning från Trängslet, t.ex. i början av veckan, innan Åsens magasin är fullt och Åsen behöver spilla.

När korttidsreglering är tillåten i Åsen kan Trängslet regleras fritt upp till en medeltappning motsvarande det som turbinen i Åsen klarar att sluka. Friheten innebär att Trängslet regleras mot flera marknader för elkraft, elspot för kommande dygn, elbas för innevarande dygn, och regleringar för att hantera balansen under innevarande timma.

Trängslet levererar även reglerstyrka till elnätet för att hålla frekvensen stabil på 50 Hz. Frekvensregleringen innebär att Trängslet tidvis är i drift natt och helg. Sett till behovet av effekt och energi skulle Trängslet mycket sällan köras nattetid, men detta görs regelbundet för att täcka landets behov av produktion som kan regleras på sekunder.

Säsongsregleringen styr hur mycket vatten som finns tillgängligt över en vecka. Under våren är Trängslet i drift ett fåtal timmar under dagen. Hög tappningen från Trängslet samtidigt som tillrinningen från snösmältningen är hög nedströms Trängslet skulle leda till spill i flera av kraftverken i Österdalälven och även längre nedströms och det vill man oftast undvika.

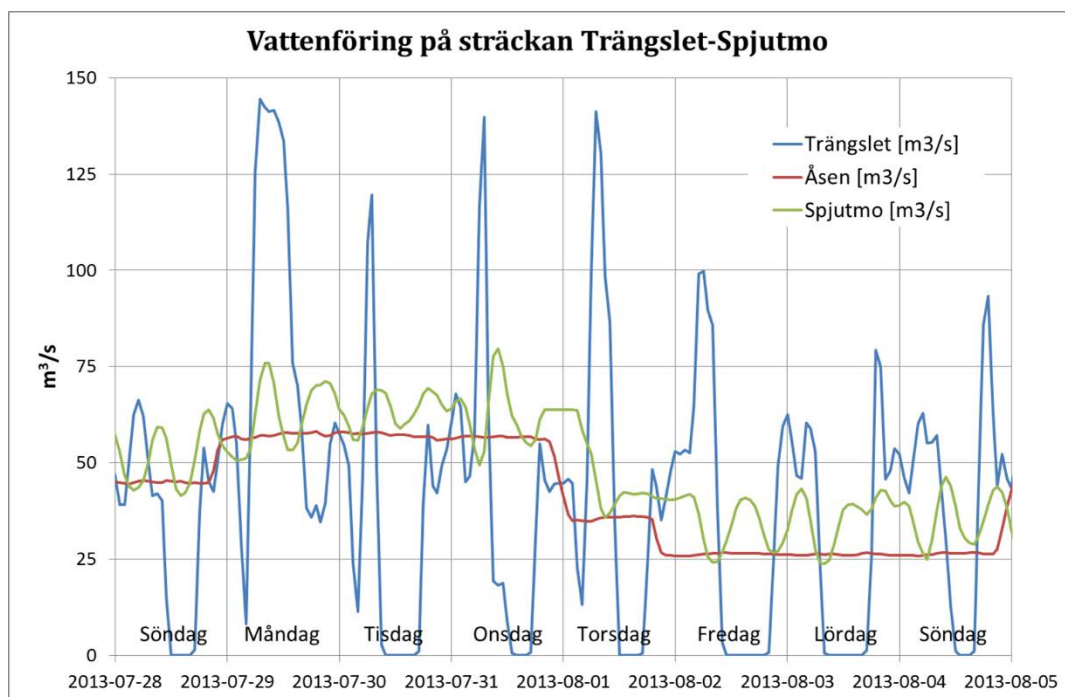
Under sommaren när korttidsreglering i Åsen är förbjuden finns det en bestämd mängd vatten utifrån den tappning som gäller för Åsen att fördela över de timmar under veckan där behovet är som högst. Eftersom Trängslet används på flera marknader samtidigt sker en ständigt förändrad planering för att hålla vattenhushållningsbestämmelserna i Åsen och för att tillgodose aktuellt behov av elkraft.

Hösten är den tid då tappningen varierar mest. Det är stor skillnad mellan olika år hur mycket vatten det rinner till och detta styr hur många timmar som Trängslet kan vara i drift. Trängslets magasin bör inte sänkas av mer än att tappningen kan hållas tillräckligt hög från Åsen under vintern för att det inte ska uppstå isproblem i Österdalälven. En tabell med luft och vattentemperaturer ger lägsta tappning i Åsen. När det är 1,8 grader i vattnet och -10 grader i luften bör minsta tappningen från Åsen vara 45 m³/s. Sjunker vattentemperaturen till 1,5 grader och lufttemperaturen till -20 grader gäller 82 m³/s som lägsta tappning. Vid långvarig sträng kyla behövs tappning dygnet runt från Åsen, vilket också påverkar tappningen från Trängslet. Detta är oftast inget problem eftersom låga temperaturer ger en hög efterfrågan på elkraft, men det kräver en god planering redan under hösten för att kunna hantera lägre perioder med kyla.

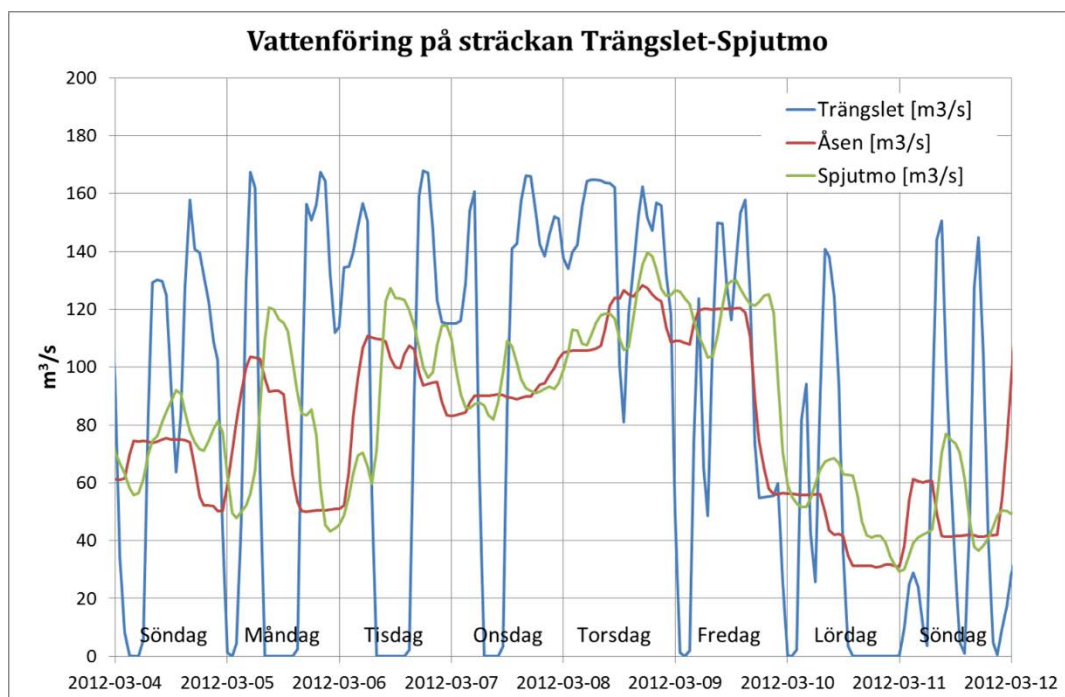
Påverkan på vattenflöden och vattennivåer längs älven.

Vattenflödena från Trängslet varierar påtagligt under dygnet medan de utjämnas i Åsen så att nedströms liggande kraftverk ner till Spjutmo oftast får samma flöderytmik som Åsen.

I figurerna nedan visas två typiska veckor med korttidsreglering – en sommarvecka och en vintervecka. Variationerna i medelflöde mellan olika veckor och inte minst mellan olika år är dock stora varför figurerna ska ses som typexempel. Som redovisats ovan sker ingen korttidsreglering i Åsen under juni – augusti däremot kan flödena stegvis trappas upp resp ned. Veckoreglering med lägre tappningar under helgerna syns tydligt i bägge diagrammen – åtminstone för kraftverken mellan Åsen – Spjutmo.



Figur 38. Korttidsregleringen på sträckan Trängslet - Spjutmo under en sommarvecka.



Figur 39. Korttidsregleringen på sträckan Trängslet - Spjutmo under en vintervecka.

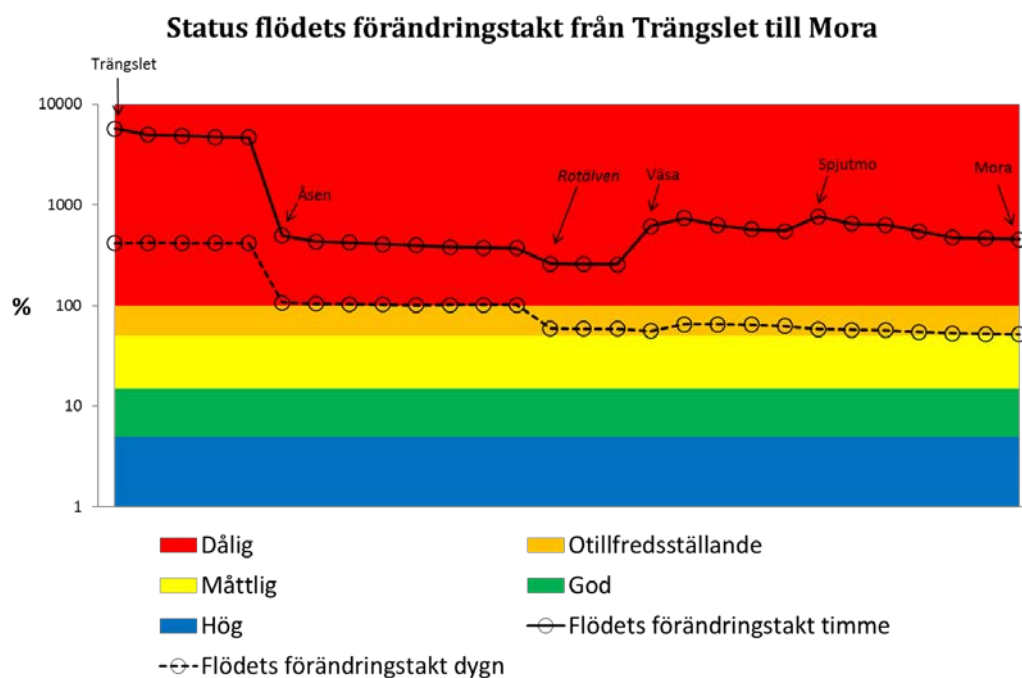
Hydromorfologiska kvalitetsfaktorer – flödets förändringstakt

Inom vattenförvaltningen bedöms vattnens ekologiska status med stöd av indikatorer och undersökningar samtidigt som normer (mål) fastställs och åtgärdsbehov identifieras. SMHI har tagit fram kvalitetsfaktorn ”Flödets förändringstakt” för att kvantitativt beskriva korttidsregleringars styrka och påverkan på den naturliga flödesdynamiken.

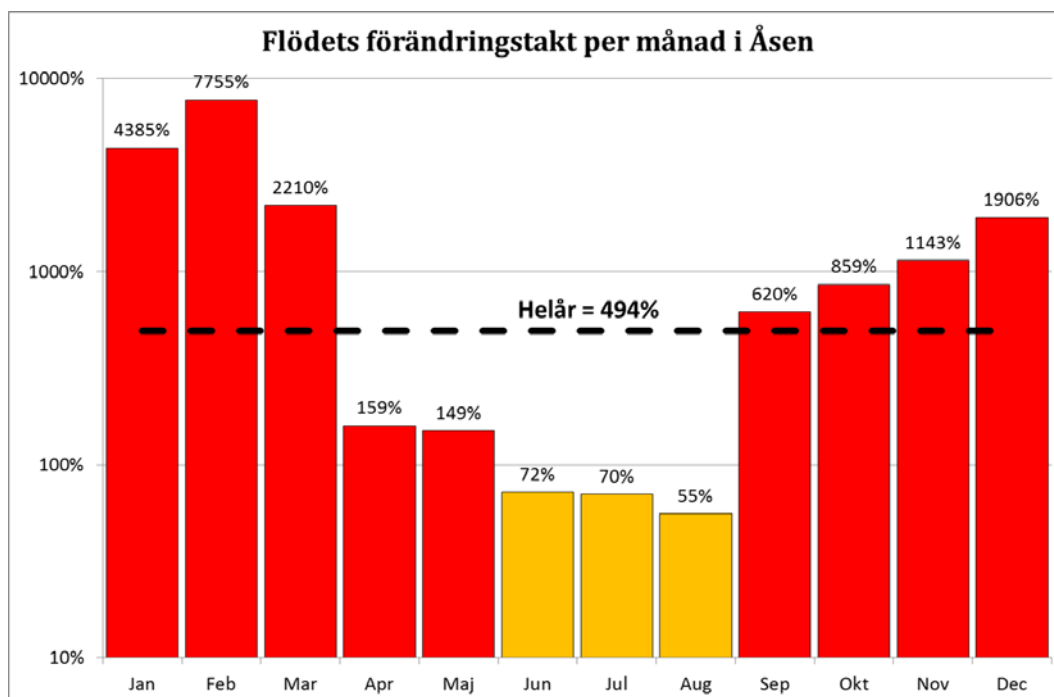
I Figur 40 visas förändringen av denna kvalitetsfaktor längs älvsträckan från Trängslet till Spjutmo. Notera att påverkan minskar vid Åsens återreglering.

I Figur 41 presenteras denna kvalitetsfaktor uppdelat på månader vilket belyser flödesförändringens storlek respektive månad i relation till den naturliga variationen. Notera den logaritmiska skalan. Av figuren framgår att denna indikator påvisar en betydligt mindre avvikelse från de naturliga under perioden juni – augusti vilket stämmer väl överens med att Åsen inte får korttidsreglera under denna tidsperiod.

Indikatorn visar att flödesförändringarna är särskilt stora i förhållande till de naturliga under februari som naturligt har extremt lågt och stabilt flöde men idag tvärt om är den månad då kraftverken regleras som mesta aktivt.



Figur 40. Flödets förändringstakt på sträckan Trängslet - Mora.



Figur 41. Flödets förändringstakt per månad nedströms Åsen. OBS Logaritmisk skala.

Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik

I rapporten "Dalälvens naturvärden och åtgärdspotentialer" presenteras de områden i och längs Dalälven som har höga internationella och nationella naturvärden samtidigt som de är i behov av miljöåtgärder kopplat till vattenkraftens påverkan.

Före vattenkraftens utbyggnad orsakade Österdalälven återkommande översvämningar i den nedre delen av älven uppströms Orsasjön vilket har skapat vissa områden med svämberoende strandnaturtyper, främst fuktängar, älvängar och svämlövskog. Nedströms Trängslet fanns ett stort antal forsar som till stor del nu är överdämda. Av det ursprungliga vattendraget är ca 280 ha överdämda. Endast en tredjedel av resterande 47 km vattendrag nedströms Trängslet har lämpliga biotoper för uppväxt av öring. Vattennivån varierar upp och ner under dygnet på grund av korttidsreglering.

Inom det område som påverkas av Trängslets reglering är följande nationellt värdefulla naturområden påverkade av års- och korttidsreglering:

- Österdalälven från Kyrkbyn i Älvdalen och uppströms till Åsen är naturreservat, identifierade som värdefullt vatten och riksintresseområde för naturvården.
- Alderängarna är N2000-område och naturreservat

- Morafältet är identifierat som särskilt värdefullt vatten och riksintresseområde för naturvården
- Större delen av Österdalälven upp till Åsen inklusive ovanstående områden är identifierade som värdefulla vatten och riksintresseområden för naturvården.
- Siljansöringen är identifierad som en riksintressant öringstam

Potentiella miljöåtgärder för vattenkraftens påverkan på flödesdynamiken i dessa områden innefattar miljöanpassning av års- eller korttidsreglering.

Förutsättningarna för ekologiskt anpassad årsreglering av hela Dalälven nedströms Siljan har analyserats i rapporten 2017:09 ”Ekologiskt anpassad årsreglering för Dalälven”. Denna åtgärd gynnar en lång rad svämberoende områden längs hela älven. För vissa naturfåror/kvillområden är det möjligt att genomföra lokala miljöåtgärder för att få en naturligare flödesdynamik.

Behovet av och förutsättningarna för miljöanpassad korttidsreglering behöver utredas vidare för respektive delområde av Dalälven. Lämpligen i samband med motsvarande fördjupade studier för de energiåtgärder som redovisas nedan.

Potentiella åtgärder för effektutbyggnad

I kapitlet ”Produktionshöjande åtgärder i Dalälven” tidigare i denna rapport redovisas följande energiåtgärder i detta område för att öka elproduktionen, effekten och/eller möjligheterna för snabb effektreglering.

- Om vattenhushållningsbestämmelserna för kraftverksmagasinen i Väsa, Blyberg och Spjutmo förändras så att dessa kraftverk får en mer koordinerad tappning så möjliggörs en snabbare effektreglering på totalt ca 14 MW.
- Om korttidsreglering tillåts även sommartid i Åsen, med samma regler som vintertid, ger det möjlighet att reglera upp kraftverket med ca 8 MW. Tillsammans med Väsa, Blyberg och Spjutmo möjliggör det en snabbare effektreglering på totalt ca 50 MW.
- Vid vissa tillfällen under året begränsas Trängslets korttidsreglering av dagens villkor för hur Åsen får regleras. Möjlighet till friare reglering av Åsen skulle tidvis möjliggöra en snabbare effektreglering i hela Österdalälven med upp mot 150 MW.

Grådas korttidsreglering

Gråda kraftverk har Siljan som regleringsmagasin för års- och korttidsreglering. Grådas korttidsreglering koordineras med vattenföringen i Västerdalälven för att möta behovet av kraft i de fyra kraftverken som ligger i Borlänge och påverkar även hur regleringsmagasinet i Runn används för Långshags korttidsreglering.

Tabell 4. Siljans vattenregleringsmagasin.

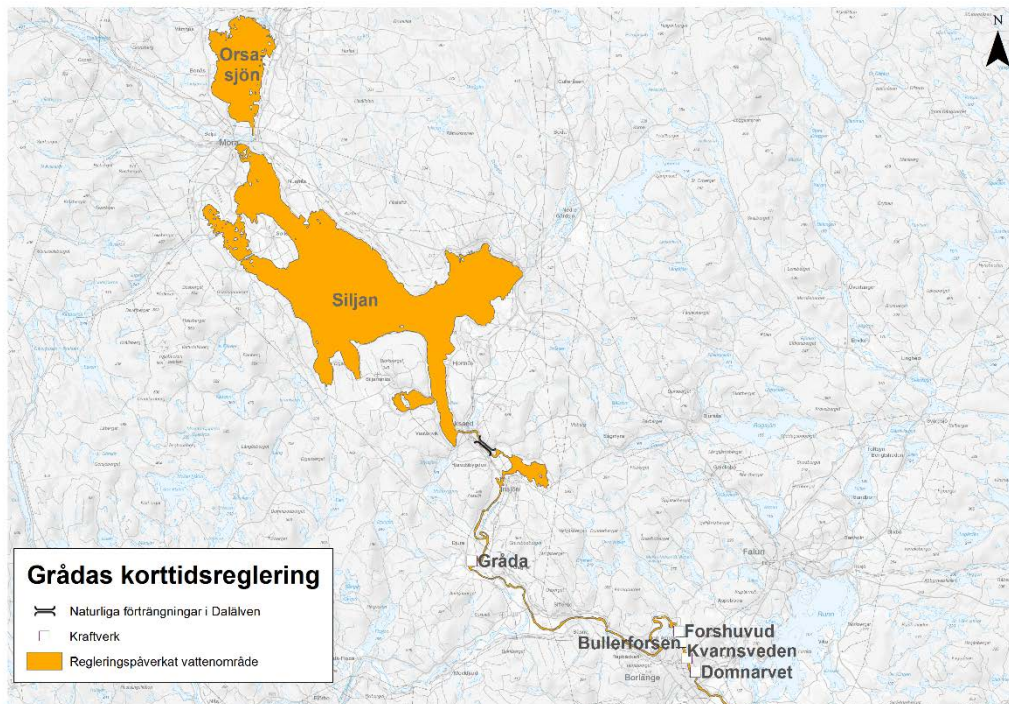
Regleringsmagasin	Regleringsamplitud meter	Reglervolym miljoner m ³	Regleringsstrategi År / Korttid	Energiinnehåll GWh
Siljan	1,88	658	År + Korttid	211

Från Siljans utlopp vid Leksand till Gråda är det ca 23 km vattenvägen. På sträckan uppstår fallförluster som ger lägre nivå vid dammen i Gråda än nivån i Siljan. Nivåskillnadens storlek är beroende av tappningen i Gråda och nivån i Siljan. Ökat flöde (ökad tappning i Gråda) ger större nivåskillnad och låg nivå i Siljan minskar den våta tvärsnittsarean (älven blir smalare och grundare) vilket också ger större fallförluster. När Siljans nivå är under +161,00 m måste tappningen i Gråda begränsas för att inte erosionsskador ska uppstå i älven, på grund av höga vattenhastigheter.

Korttidsregleringen påverkar hur stor fallförlusten blir och gör att nivån på sträckan mellan utloppet och Gråda kraftverk varierar mer under dygnet än vad nivån i Siljan gör. Fallförluster uppstår dock oavsett om Gråda korttidsregleras eller inte.

Vid höga flöden begränsar älvens trånga sektion utflödet ur Siljan och tappningen från Gråda måste då följa bestämmelserna i vattendomen. Under dessa tidsperioder utförs ingen korttidsreglering.

Forshuvud, Kvarnsveden, Bullerforsen och Domnarvet, som ligger ca 4 mil nedströms Gråda har inga egentliga regleringsmagasin utan deras tappning följer Grådas tappning inklusive Västerdalälvens flöde. Gångtiden för vattnet från Gråda till Forshuvud är omkring 3 timmar, beroende på hur hög tappningen är.



Figur 42. Kraftverk och magasin som direkt berörs av Grådas korttidsreglering.

Dagens korttidsreglering

Siljan är ett av Dalälvens första anlagda regleringsmagasin och sjön har reglerats i nästan ett århundrade.

Vattenhushållningsbestämmelserna sätter ramarna för regleringen

1919 ansökte ägarna av kraftverken i Dalälven nedströms Siljan om att få anlägga en damm vid övre Grådafallet (Marielund) för att säsongreglera vattnet och då främst ta tillvara på den höga tillrinningen under vårfloden och nyttja detta vatten när tillgången på vatten är lägre. Dom meddelades 1924 och gav tillstånd att reglera Siljans nivå mellan +9,97 m och 11,85 m i det lokala höjdsystemet. Dessa nivåer motsvarar de gränser som gäller idag på +159,90 m och 161,78 m i rikets höjdsystem 1900 (RH00).

1947 ansökte Stora Kopparbergs bergslags aktiebolag "Bergslaget" om tillstånd att anlägga ett kraftverk i Grådaforsen med samma rätt till reglering av Siljan, som utövades vid dammen vid Marielund - 1500 m uppströms platsen för det "nya" kraftverket. Den 22 november 1947 meddelade domstolen Bergslaget tillstånd att anlägga Gråda kraftverk med samma rätt till dämning som vid dammen vid Marielund. Sedan mars 1950 sker regleringen av Siljan vid Gråda kraftverksdamm.

1951 tillkommer rätt till korttidsreglering av tappningen från Gråda. Kraftverksägaren får under kortare perioder och i den mån skada därigenom icke uppstår för ovan- eller nedanliggande rättsägare variera tappningen efter sitt behov inom ramen för den av regleringsföretaget angivna medeltappningen.

I samband med att tillstånd på 1950-talet gavs för reglering vid Trängslets kraftverk ansökte ägarna till kraftverken nedströms Siljan, som hade rätten att reglera avrinningen ur Siljan, tillstånd för års- och flerårsreglering av Siljan med rätt att ytterligare sänka vattnet i Siljan ned till +159,40 m.

Den 27 februari 1964 beslutade domstolen om nya vattenhushållningsbestämmelser för Grådas reglering. Men någon ny sänkingsgräns för Siljan blev inte fastställd, utan som tidigare gäller nivån +159,90 m som lägsta tillåtna nivå.

De nya vattenhushållningsbestämmelserna från 1964 innebär att:

1. Vattenståndet i Siljan inte får avsänkas under +159,90 m och inte dämjas över +161,78 m om inte annat gäller enligt punkterna nedan.
2. Vattenståndet vid Gråda kraftverk får inte höjas över nivån +161,78 m
3. Under vårflodspåfyllningen ska Gråda regleras så vattenståndet i Siljan, med beaktande av vårflodens förväntade storlek och minimivattenföringen enligt punkt 6 samt hänsyn till regleringens ändamål och motstående intressen – så snart som möjligt stiger till +161,00 m. Vid vattenstånd mellan +161,00 m och +161,78 m ska tappningen vid Gråda hanteras så att större överdämningar i Siljan undviks, men tappningen får inte vara högre än 293 m³/s.
4. När nivån i Siljan är över nivån +161,78 m ska tappningen vid Gråda följa den i vattendomen införda tabellen. Förenklat innebär denna att tappningen vid Gråda ska vara 293 m³/s när nivån är +161,78 m och sedan ökas med 2 m³/s för varje centimeter som Siljan stiger. Exempelvis ska tappningen vara 334 m³/s när nivån är +162,20 m och 433 m³/s om nivån är +162,50 m. Samma tabell följs vid både stigande och sjunkande nivåer så länge nivån är över +161,78 m. Tappningsändringar vid nivåer under +161,78 m ska göras på ett sådant sätt att skada eller olägenhet inte uppkommer.
5. Tappningen ska ökas till 293 m³/s så fort nivån i Siljan riskerar att överstiga +161,78 m.
6. Vid Gråda ska alltid tappas minst 25 m³/s.
7. Bestämmelser för flottningen och har igen funktionen längre
8. När nivån under vårfloden stigit till +161,00 m får denna vattennivån inte sjunka under 161,00 m före 15 augusti och fram till 1 november gäller +160,20 m som lägsta nivå.
9. Från 10 januari till vårflodens början får nivån inte stiga mer än 20 cm om Siljan är isbelagd.

10. Vid avsänkning under vintern får nivån inte understiga +160,40 m den 1 februari (svårt att få ihop med punkt 8) och +160,15 m den 1 mars.
11. För Trängslet gäller med hänsyn till nivån i Siljan:
När vattenståndet i Siljan under tiden 1 maj till 30 juni är lägre än +161,00 m, ska tappningen som medeltal per vecka vara minst
 - a) 50 m³/s eller tillrinningen om den är lägre - när vattenståndet i Trängslet är lägre än +406,00 m.
 - b) 25 m³/s mer än vid Gråda eller tillrinningen om denna är lägre - när vattenståndet i Trängslet är högre än +406,00 m.

Anm: Denna punkt har tillkommit för att säkerställa att nivån i Siljan når +161,00 m enligt punkt 8.

12. SMHI ska kontrollera att bestämmelserna ovan följs.

SMHI granskar årsvis hur regleringen av Siljan genomförs. Kontakter mellan regleringsrättsinnehavaren sker vid behov under året och en årlig avstämning görs där man träffas och går igen eventuella händelser som kan vara avvikelser mot tillståndet. Avvikelser rapporteras till Länsstyrelsen.

Korttidsregleringen i praktiken

Tappningen från Gråda korttidsregleras för att anpassa flödet från Österdalälven till det oreglerade flödet i Västerdalälven för att uppnå önskat totalt flöde i Dalälven efter sammanflödet. Denna anpassning görs både under dygnet och mellan veckans dagar och mellan olika veckor och är en kombination av korttidsreglering och säsongreglering.

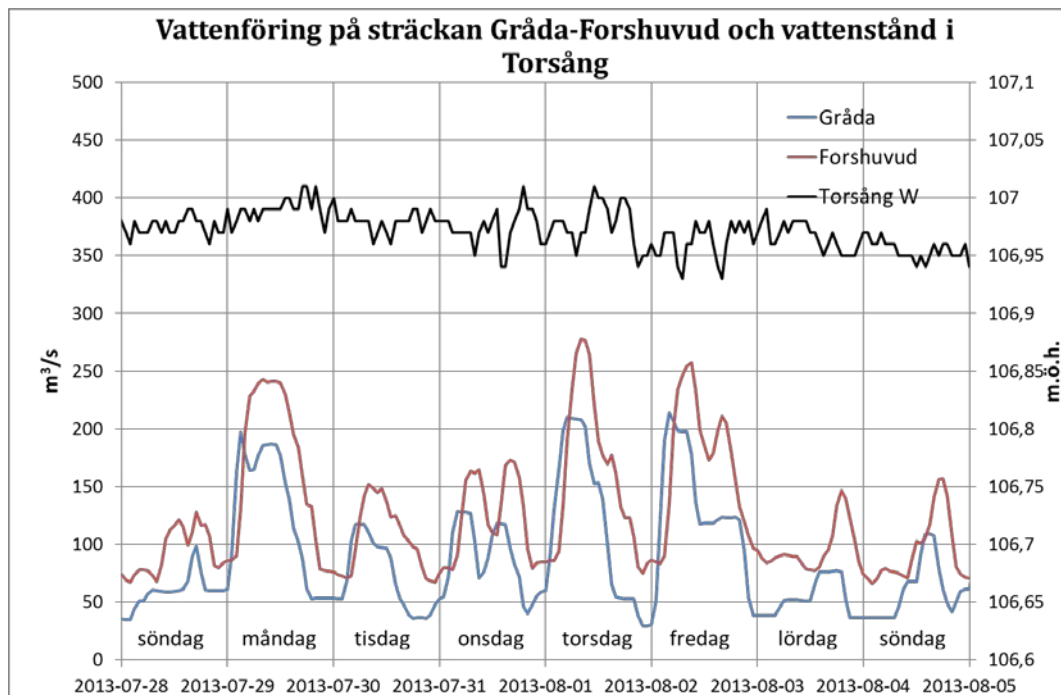
Den totala fallhöjden i de fyra kraftverken i Borlänge är över 42 m vilket gör att nyttan av korttidsregleringen är betydligt större här än enbart sett till produktionen i Gråda med 12 m fallhöjd.

För att möta behovet av elproduktion ändras tappningen i Gråda några timmar tidigare så att flödesförändringen når till kraftverken i Borlänge vid önskad tidpunkt. Praktiskt betyder detta att tappningsuppgångar ofta sker mycket tidigt på morgon, ofta före klockan fem. Avtrappningen genomförs oftast sent på eftermiddagen för att minska flödet i Borlänge på kvällen när behovet av elkraft avtar.

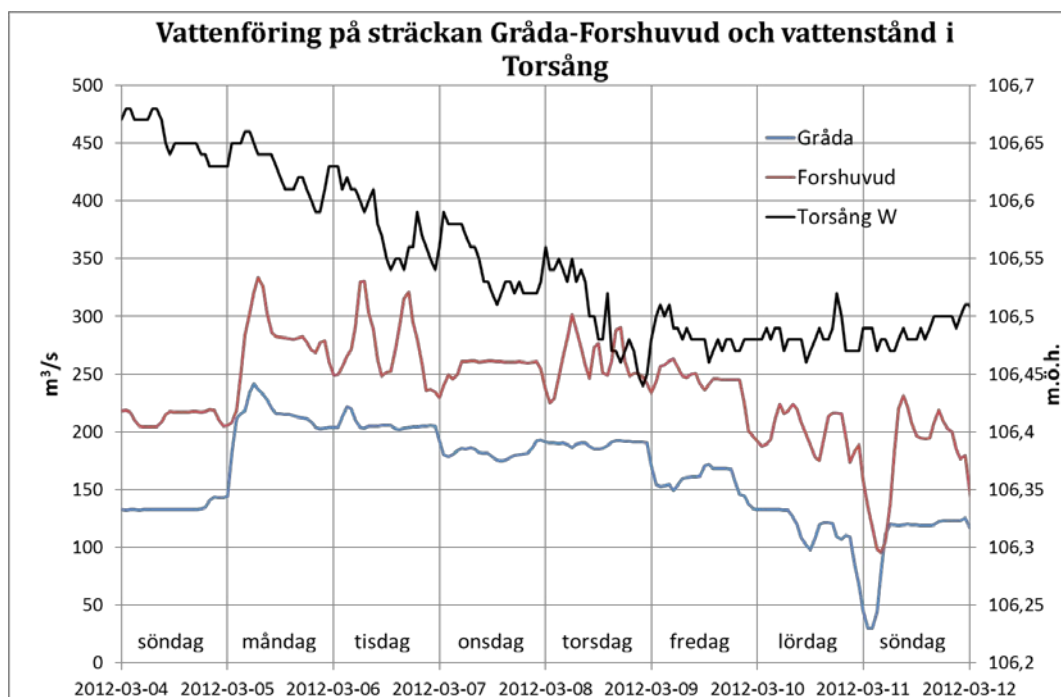
Påverkan på vattenflöden och vattennivåer längs älven.

I Figur 43 och Figur 44 visas två typiska veckor med korttidsreglering – en sommarvecka och en vintervecka. Denna vintervecka hade Gråda en konstant hög tappning under måndag - fredag medan tappningen sommarveckan hade en mer ”normal” korttidsregleringsvariation.

Variationerna i medelflöde mellan olika veckor och inte minst mellan olika år är dock stora varför figurerna ska ses som typexempel. I figurerna redovisas även vattennivån i Torsång (Runns utlopp).



Figur 43. Korttidsregleringen på sträckan Gråda - Forshuvud under en sommarvecka.

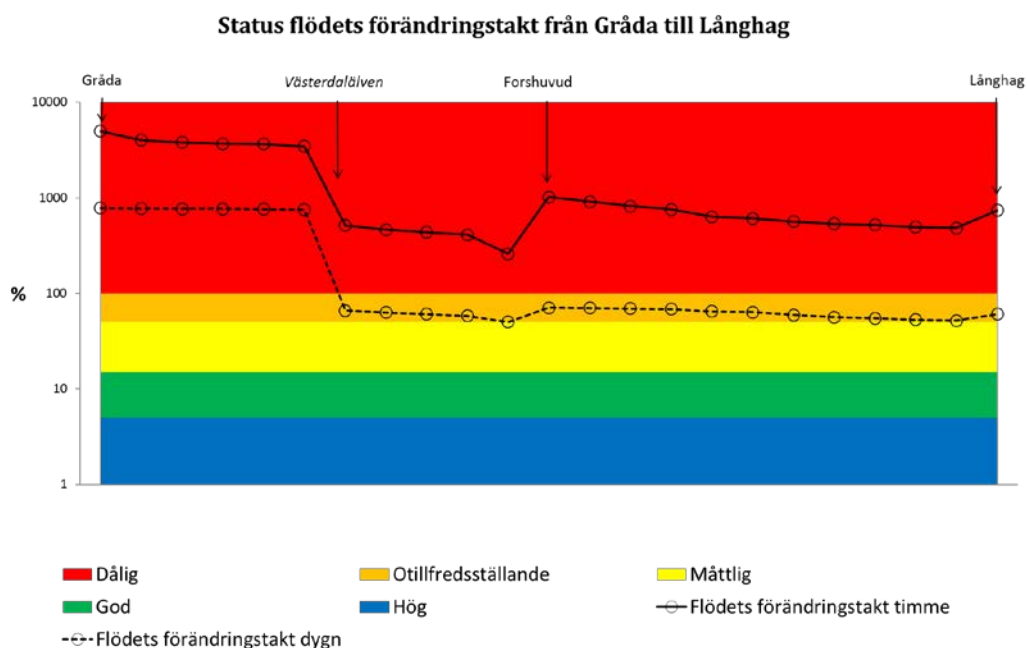


Figur 44. Korttidsregleringen på sträckan Gråda - Forshuvud under en vintervecka.

Hydromorfologiska kvalitetsfaktorer – flödets förändringstakt

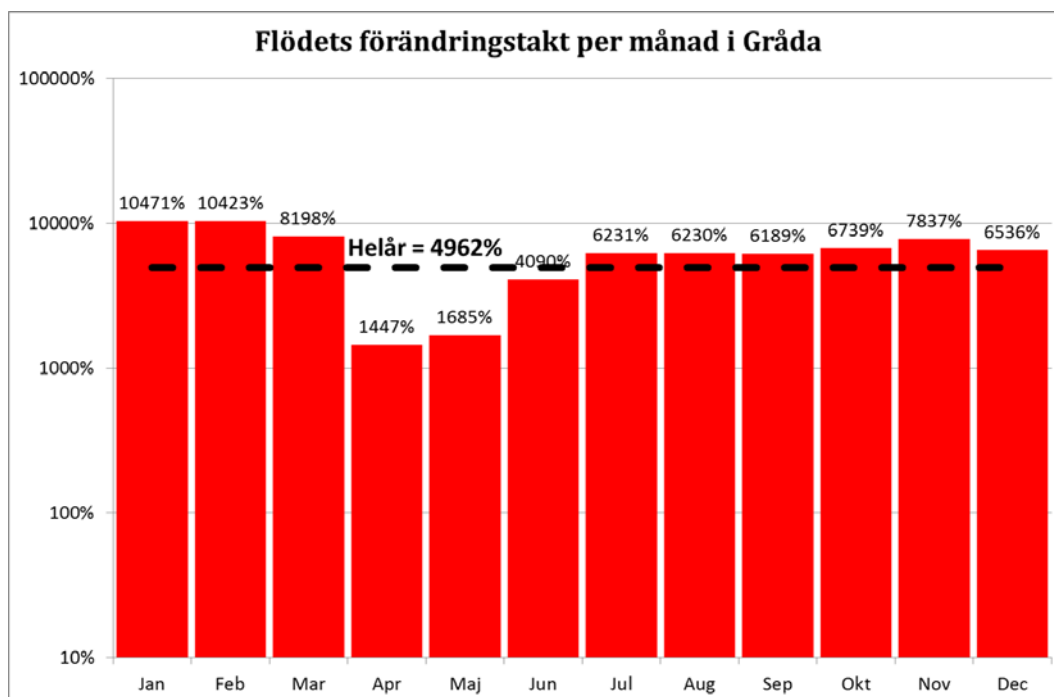
Inom vattenförvaltningen bedöms vattnens ekologiska status med stöd av indikatorer och undersökningar samtidigt som normer (mål) fastställs och åtgärdsbehov identifieras. SMHI har tagit fram kvalitetsfaktorn ”Flödets förändringstakt” för att kvantitativt beskriva korttidsregleringars styrka och påverkan på den naturliga flödesdynamiken.

I Figur 45 visas förändringen av denna kvalitetsfaktor längs älvsträckan från Gråda till Långhag. Indikatorn visar att flödesförändringen är mycket stor nedströms Gråda medan den efter sammanflödet med Västerdalälven blir någon mindre, men är ändå mycket tydlig. Notera att skalan på Y-axeln är logaritmisk.



Figur 45. Flödets förändringstakt på sträckan Gråda - Långhag. OBS Logaritmisk skala.

I Figur 46 presenteras denna kvalitetsfaktor uppdelat på månader vilket belyser flödesförändringens storlek respektive månad i relation till den naturliga variationen. Av figuren framgår att indikatorn är påtagligt förändrat under hela året – dock lite mindre under vårfloden som inte helt kan regleras bort utan ger ett mer naturligt inslag med konstant höga flöden.



Figur 46. Flödets förändringstakt per månad nedströms Gråda. OBS Logaritmisk skala.

Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik

I rapporten ”Dalälvens naturvärden och åtgärdspotentialer” presenteras de områden i och längs Dalälven som har höga internationella och nationella naturvärden samtidigt som de är i behov av miljöåtgärder kopplat till vattenkraftens påverkan.

Före vattenkraftens utbyggnad orsakade Österdalälven återkommande översvämningar runt Orsasjön och Siljan vilket har skapat mindre områden av svämberoende strandnaturtyper, främst fuktängar och svämlövskog. Nedströms Siljan fanns vid ett flertal forsar som nu är överdämda och inte längre hyser några internationella och nationella naturvärden. Vattennivån varierar upp och ner under dygnet på grund av korttidsreglering.

Inom det område som påverkas av Grådas reglering är följande nationellt värdefulla naturområden påverkade av års- och korttidsreglering:

- Lindänget är ett N2000-område som ligger vid Orsasjöns östra strand.
- På Sollerön i Siljan finns N2000-områdena Agnmyren och Norrviken. Hela området Siljan-Orsasjön är identifierat som riksintresseområde för naturvården och värdefulla vatten.
- Siljansöringen och Hansjööringen är identifierade som en riksintressanta öringstammar

Potentiella miljöåtgärder för vattenkraftens påverkan på flödesdynamiken i dessa områden innefattar miljöanpassning av års- eller korttidsreglering.

Förutsättningarna för ekologiskt anpassad årsreglering av hela Dalälven nedströms Siljan har analyserats i rapporten 2017:09 "Ekologiskt anpassad årsreglering för Dalälven". Denna åtgärd gynnar en lång rad svämberoende områden längs hela älven. För vissa naturfåror/kvillområden är det möjligt att genomföra lokala miljöåtgärder för att få en naturligare flödesdynamik.

Behovet av och förutsättningarna för miljöanpassad korttidsreglering behöver utredas vidare för respektive delområde av Dalälven. Lämpligen i samband med motsvarande fördjupade studier för de energiåtgärder som redovisas nedan.

Potentiella åtgärder för effektutbyggnad

I kapitlet "Produktionshöjande åtgärder i Dalälven" tidigare i denna rapport redovisas följande energiåtgärder i detta område för att öka effekten och potentialen för korttidsreglering.

- Om Siljans dämningssgräns höjs en decimeter blir det möjligt att under år med höga flöden spara mer vatten i Siljan och sammantaget minska spillet i alla nedströms liggande kraftverk, ner till havet. Beräkningarna visar att det ger ca 12 GWh ökad elproduktion dessa år, vilket dock endast inträffar med några års mellanrum. Dessutom möjliggörs omfördelning av i storleksordningen 10 GWh från en säsong med överskott till underskott i förhållande till elbehovet.
- Om mellanmagasinet "Täkten" dvs kraftverksmagasinet uppströms Forshuvud får möjlighet till viss reglering så ökar möjligheterna för momentan effektereglering i de fyra Borlängekraftverken med 35–45 MW.

Mot bakgrund av att korttidsregleringen i Gråda, Långhag och Avesta är samordnade så bör vattenhushållningsbestämmelserna för alla dessa och mellanliggande kraftverk ses i ett sammanhang. Det finns förutsättningar för att genom anpassad korttidsreglering öka både energi- och naturvärden längs mellersta Dalälven.

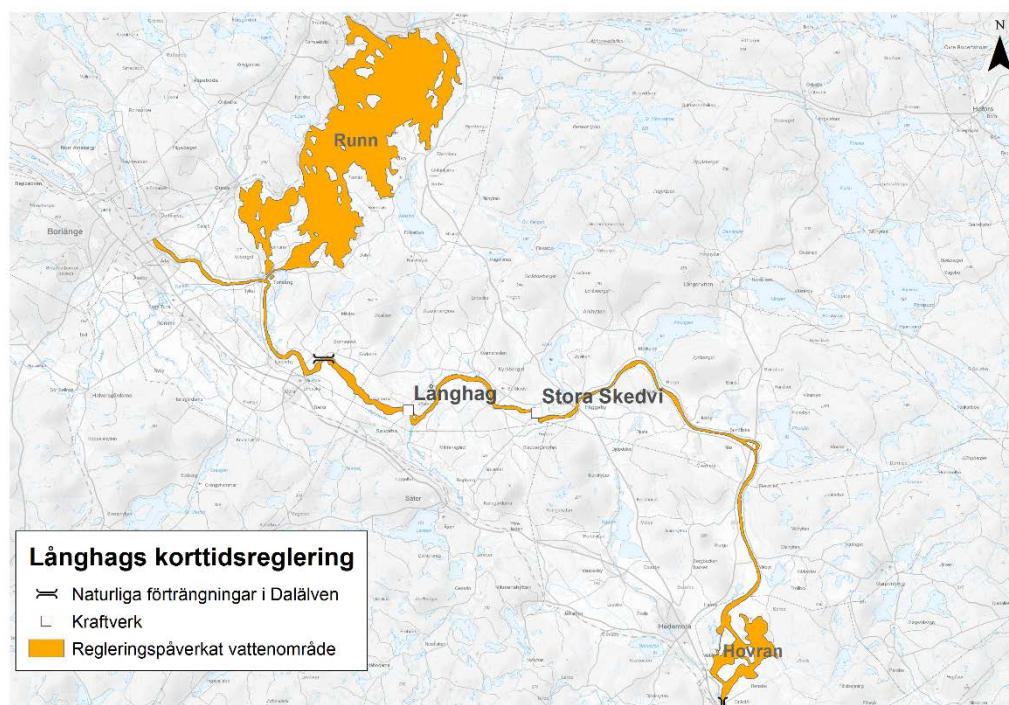
Långhags korttidsreglering

Långhags kraftverk har Runn som regleringsmagasin för års- och korttidsreglering. Långhags korttidsreglering är koordinerat med Grådas reglering så att bägge kraftverken får samma tappningsdynamik, vilken under ett normaldygn ger ökat flöde på morgonen och återgång till lägre flöde på kvällen.

Runn utjämnar vattnets gångtid mellan Gråda och Långhag varvid Runns vattenyta sjunker på förmiddagarna för att senare återfyllas under kvällen. Men när flödet från Västerdalälven är högt och den totala tillrinningen dagtid är högre än 400 m³/s blir förhållandet det omvänt. Under dagtid fylls Runn på av den högre tappningen och under natten tappas mer vatten i Långhag för att Runn ska sjunka för att ånyo kunna fyllas upp nästa dag.

Tabell 5. Långhags regleringsmagasin - Runn.

Regleringsmagasin	Regleringsamplitud meter	Reglervolym miljoner m ³	Regleringsstrategi År / Korttid	Energiinnehåll GWh
Runn	1,95	117	År + Korttid	24



Figur 47. Kraftverk och magasin som direkt berörs av Långhags korttidsreglering.

Mellan Runn och Långhag ligger Våbäcksforsen som är en trång sektion. Vid höga flöden stiger älvens nivå uppströms forsen så mycket att Dalälvens vatten strömmar in i Runn.

Stora Skedvi kraftverk, som ligger tio kilometer nedströms Långhag har inget eget regleringsmagasin utan dess tappningar följer Långhag. Långhags reglering påverkar älvens vattennivå ner till och med sjön Hovran.

Dagens korttidsreglering

Här beskrivs kort vilka ramar befintliga tillstånd ger och hur regleringen planeras under året.

Vattenhushållningsbestämmelserna sätter ramarna för regleringen

Tillstånd att bygga Långhags kraftverk beviljades 1904 men kraftverket färdigställdes först 1939, efter det att den ursprungliga ansökan reviderats. Stora Kopparbergs bergslags aktiebolag, "Bergslaget", ansökte 1943 (AD 110/1943) om tillstånd att vid vattenföring understigande 400 m³/s få genomföra dygns- och veckoreglering för all framtid vid Långhags kraftverk.

Efter flera provotider och skaderegleringar under det efterföljande årtiondet samt sökandes revidering av ansökan fastställde vattendomstolen slutliga villkor för regleringen 1954. I domskälen anges att korttidsregleringen kan omfördela ca 15 GWh elproduktion per år från helg/natt till vardag vilket betingade ett kapitaliserat värde av ca 4,5 miljoner kronor och att det i förhållande till dess stora värde inte finns något hinder mot regleringen från enskilda eller allmänna intressen.

Under samma tidsperiod hade ägarna till de bägge kraftverken i Avesta storfors, Avesta Järnverk och Alby nya kloratfabrik ansökt om och beviljats tillstånd för korttidsreglering. Villkor och vattenhushållningsbestämmelser samordnades för Avestakraftverken och Långhag – Skedvi i enlighet med ett särskilt träffat avtal mellan dessa ägare.

I enlighet med Bergslagets reviderade ansökan daterad 12 augusti 1953 beviljade Vattendomstolen den 30 juni 1954 (AD 110/1943) bolaget tillstånd för att för all framtid vid Långhags kraftverk utöva dygns- och veckoreglering vid vattenföringar underskridande 400 m³/s under tiden 1 oktober – 30 april och 380 m³/s under tiden 1 maj – 30 september med iakttagande av att vattenytan vid Torsång inte varierade mer än 20 cm under loppet av en vecka och att vattenståndet vid Torsång inte översteg höjden 107,05.

Noteras kan att vattenhushållningsbestämmelserna för Långhag inte innehåller någon nedre flödesnivå för korttidsreglering. Den övre gränsen, 380/400 m³/s, var sannolikt kraftverkens dåvarande utbyggnadsvattenföring. Se nedan.

Bakgrund till dagens vattenhushållningsbestämmelser

I äldre domar kan det vara svårt att tolka domskäl/motiv till beslutade villkor. Yrkanden och beredningen av enskilda och allmänna skador samt genomförda kompensationsåtgärder ger dock indirekt en bild av vilka samhällsförhållanden och motiv domstolen haft som underlag för beslut om vattenhushållningsbestämmelsernas utformning.

I en deldom för Långhag 1949 noterades att ”Verkningen av den begärda regleringen för all framtid vore uppströms Långhags kraftverksdamm icke av större omfattning.” Och att de skador och olägenheter som noterats (till exempel merarbete för hägnader och ökad erosion) var svåra att särskilja från uppdamningen i sig och fick behandlas gemensamt.

Förhållandena nedströms var mer komplicerade med Skedvi kraftverk, flera idag rensade forssträckor som Myckelbyforsen, sjön/selområdet Hovran och de 40 kilometer nedströms liggande två kraftverken i Avesta storfors. Dessa bägge kraftverk, som ägdes av Avesta järnverk och Alby nya kloratfabrik, låg på vardera sidan av älven. Skedvi kraftverk saknar regleringsmagasin varför dess tappningar följer Långhags tappningar. Vattennivån i Hovran påverkas av både Långhags och Avestas korttidsregleringar.

I domstolsprocessen under 1940-talet påtalades flera olika typer av korttidsregleringsskador. Till exempel; olägenheter för flottningen och flottbåtars framförande, sämre förutsättningar för vintervägar och då särskilt i strandlinjen, fiskeskador framför allt på vårlekande fiskar som gädda, stranderosion, problem med färgöverfarter och brofästen, merarbete för stängsling av betesfällor och försvårad avledning av avloppsvatten. Flera skador ersattes eller kompensades. De påtalade skadorna synes inte ha föranlett någon anpassning av villkoren för regleringen.

I vattendomstolens tillstånd för korttidsregleringen beskrivs i detalj, som villkor för Långhags korttidsreglering, det avtal om regleringens praktiska utförande som tecknats mellan Bergslaget och de bägge bolagen som ägde kraftverken i Avesta storfors. Den högst flödesnivån inom vilken korttidsreglering blev tillåten (380 respektive 400 m³/s beroende på årstid) var sannolikt anpassad efter de berörda kraftverkens utbyggnadsvattenföring och fyllde således funktion som skälig hushållning med vattentillgångar och fördelning av elproduktion mellan olika bolag. Noteras kan att idag ägs alla dessa kraftverk av Fortum.

Sammanfattningsvis indikerar domarna att de villkor som idag är styrande för Långhags korttidsreglering och indirekt även regleringarna i Gråda och Avesta synes ha sin grund i förhållanden som idag inte längre har samma aktualitet som för 70 år sedan. Samtidigt som det underlag om påverkan på framför allt allmänna intressen som domstolen hade tillgång till inte hade den utformning som idag behövs för prövning av moderna miljövillkor.

Korttidsregleringen i praktiken

Korttidsregleringen förändrar älvens flöden nedströms Långhag med upp mot 250 m³/s under ett dygn och 100 m³/s under en timma. Variationen är störst vid låga dygnsmedelvattenföringar och minskar i takt med att medelflödet ökar, för att bli noll när korttidsregleringen upphör vid flöden överstigande 380/400 m³/s.

Långhags tappningsförändringar påverkar även det uppströms liggande regleringsmagasinet, Runn. Vattenståndsvariationerna i Runn är idag 5-15 cm under en typisk sommarvecka och 15-20 cm under övriga årstider.

Vintertid kan snabba tappningsförändringar ge problem nedströms Skedvi kraftverk där älven är smal med branta stränder som gör att vattennivån varierar kraftigt vid tappningsförändringar. När isen följer med upp och ned kan det orsaka skador på bryggor som ligger kvar under vintern. Isens nötning kan också påverka naturmiljön och risken för erosion.

Drygt 5 km nedströms Skedvi kraftverk finns några forsnackar i älven där det kan bildas isproppar när det är kallt under en längre tid. Ispropparna bromsar upp vattenflödet och dämmer upp vattennivån uppströms isproppen. När det finns större isproppar i älven behöver korttidsregleringen begränsas eftersom regleringar då kan förvärra de problem ispropparna orsakar.

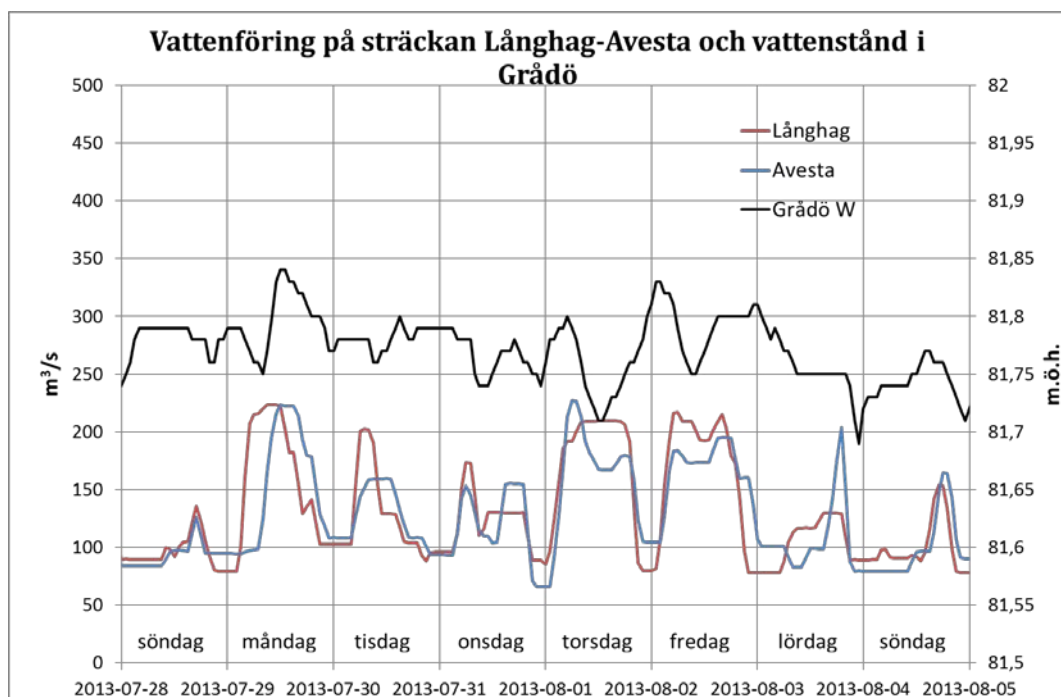
Påverkan på vattenflöden och vattennivåer längs älven.

Korttidsregleringarna i Gråda, Långhag och Avesta samordnas och ger därför samma vattenflödesdynamik i Dalälven mellan Siljan och Näs. I figurerna nedan visas två typiska veckor med korttidsreglering – en sommarvecka och en vintervecka. Variationerna i medelflöde mellan olika veckor och inte minst mellan olika år är dock stora varför figurerna ska ses som typexempel.

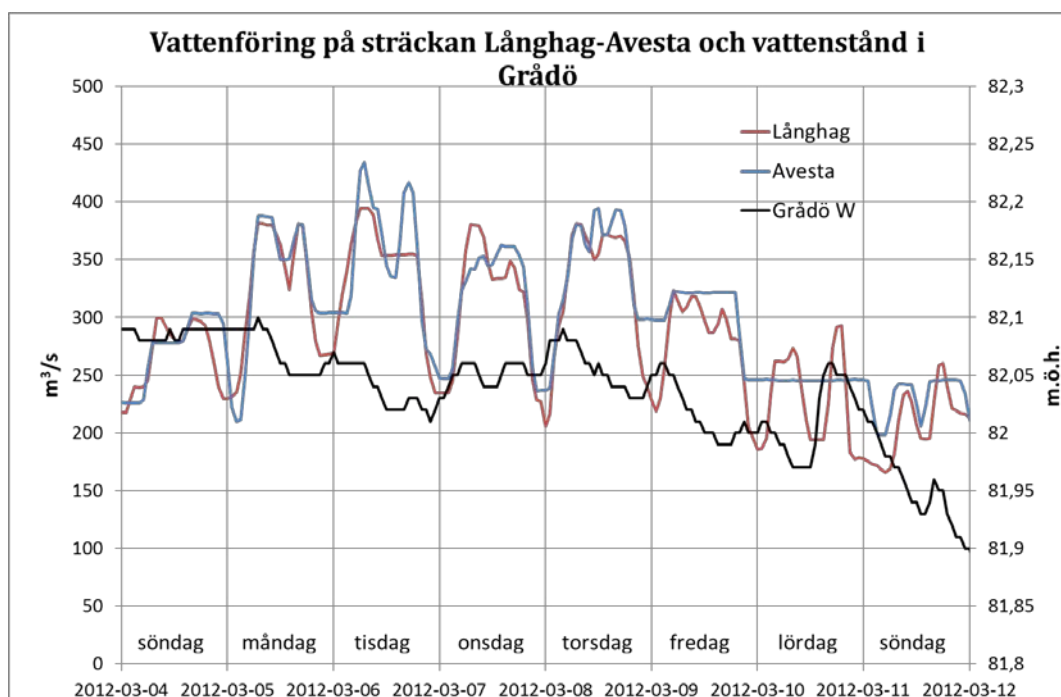
De mellanliggande magasinerna Runn och Hovran används för att jämna ut tappningarna och gångetiden mellan kraftverken. Nivån i dessa magasin kan bero på både uppströms och nedströms regleringar – vilket framgår av Figur 48 och Figur 49 för Långhags och Avestas tappningar samt dess effekter på vattennivån i Hovran (mätt vid pegeln i Gråda).

Hovrans vattennivå sjunker när Avestas tappning ökar på morgonen, men magasinet i Hovran återfylls senare under dagen till ursprunglig nivå - när dels vattnet hinner fram från Långhag och dels Avestas tappning minskar på eftermiddagen.

Under normala flödesnivåer varierar vattennivån i Hovran ca 20 cm varje dygn under sommaren och upp mot 30 cm under en vecka. När Dalälvens vattenflöde tillfälligtvis överstiger 500 m³/s kommer nivån i Hovran att stiga till följd av det trånga utloppet vid Gråda och nivån i sjön kan då variera upp mot en meter under en vecka.



Figur 48. Korttidsregleringen på sträckan Långhag - Avesta under en sommarvecka.

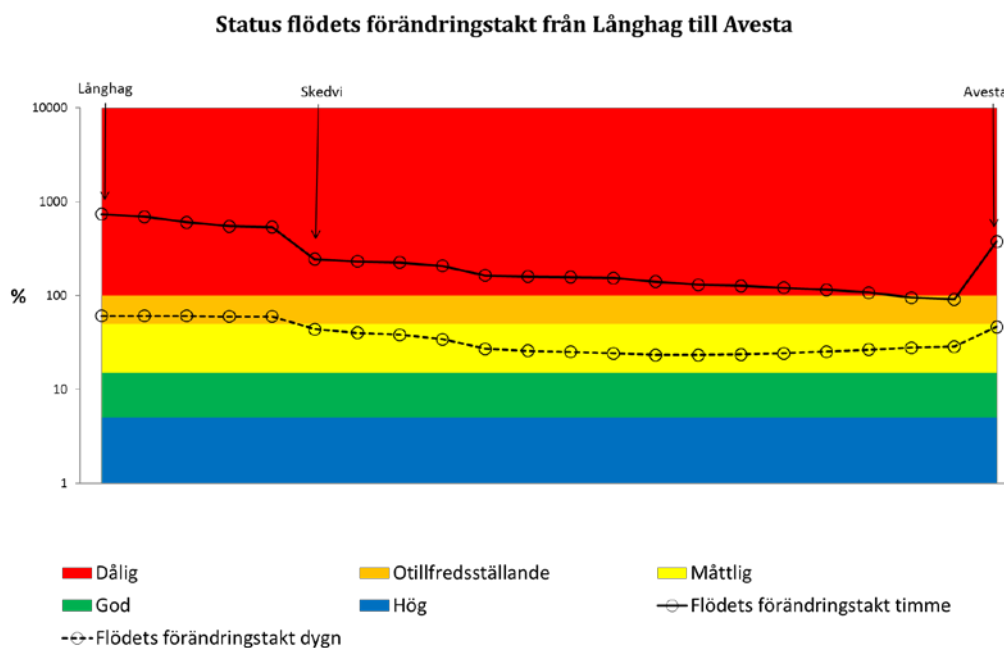


Figur 49. Korttidsregleringen på sträckan Långhag - Avesta under en vintervecka.

Hydromorfologiska kvalitetsfaktorer – flödets förändringstakt

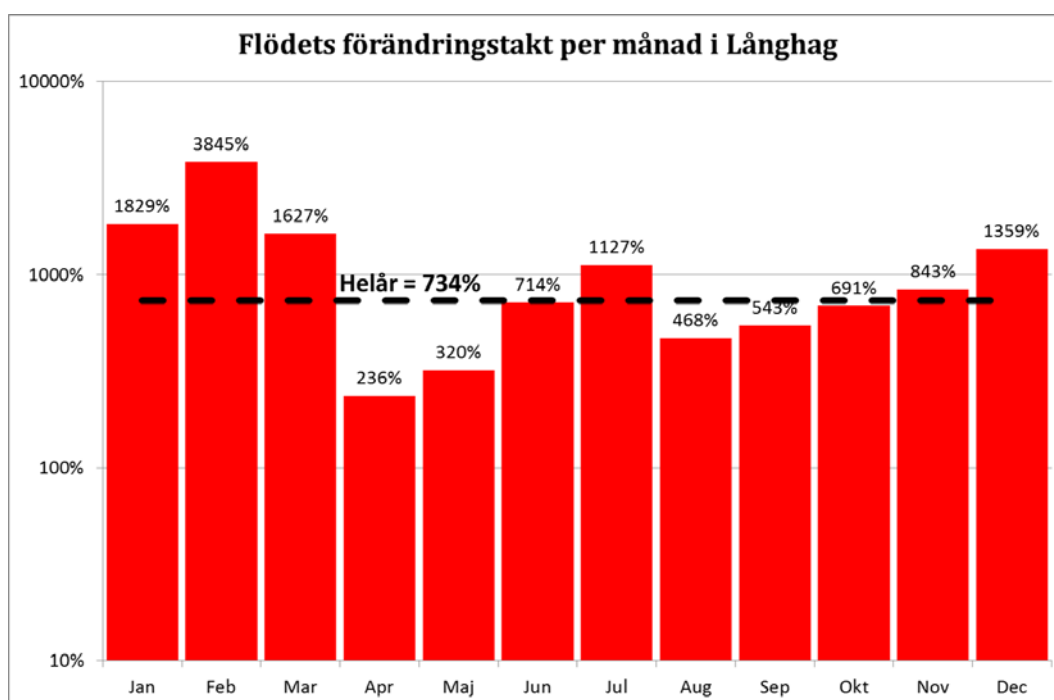
Inom vattenförvaltningen bedöms vattnens ekologiska status med stöd av indikatorer och undersökningar samtidigt som normer (mål) fastställs och åtgärdsbehov identifieras. SMHI har tagit fram kvalitetsfaktorn ”Flödets förändringstakt” för att kvantitativt beskriva korttidsregleringars styrka och påverkan på den naturliga flödesdynamiken.

I Figur 50 visas förändringen av denna kvalitetsfaktor längs älvsträckan från Långhags kraftverk ner till Avesta. Indexet för flödets förändringstakt ökar något vid Långhag för att därefter succesivt avta neröver efter tillförsel av ”oreglerade” tillflöden och dämpning längs älven. Indexet med timupplösning indikerar dock stor flödesvariation och dålig status på hela sträckan.



Figur 50. Flödets förändringstakt på sträckan Långhag - Avesta. OBS Logaritmisk skala.

I Figur 51 presenteras denna kvalitetsfaktor uppdelat på månader vilket belyser flödesförändringens storlek respektive månad i relation till (% av) den naturliga variationen. Notera den logaritmiska skalan. Av figuren framgår att sommarens korttidsreglering ger en förhållandevis stor flödesvariation.



Figur 51. Flödets förändringstakt per månad nedströms Långhag. OBS Logaritmisk skala.

Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik

I rapporten "Dalälvens naturvärden och åtgärdspotentialer" presenteras de områden i och längs Dalälven som har höga internationella och nationella naturvärden samtidigt som de är i behov av miljöåtgärder kopplat till vattenkraftens påverkan.

Före vattenkraftens utbyggnad fanns ett flertal forsar med mellanliggande flacka strandområden som ofta översvämmades långa perioder under vårfloden och skapade de svämberoende strandnaturtyper i form av fuktängar, älvängar och svämlövskog som utgör grunden för områdenas höga naturvärden. Idag är forsarna överdämda eller rensade och det är ovanligt med långvariga våröversvämmningar - medan vattennivån varierar upp och ner under dygnet på grund av korttidsreglering.

Inom det område som påverkas av Långhags reglering är följande nationellt värdefulla naturområden påverkade av års- och korttidsreglering:

- Runn med N2000-området Kyrkbyttjärn och naturreservatet Runns norra öar.
- Torsångsområdet Stora och Lilla Holmsjöarna samt Kårtyllasjöarna där Holmsjöarna är riksintresseområden och N2000-områden.

- Hovranområdet upp till Amungen som både är riskintresseområde för naturvärden och Ramsarområde. Vissa delområden i Hovran som Lilla Älvgången och Stackharen är dessutom N2000-område.

Potentiella miljöåtgärder för vattenkraftens påverkan på flödesdynamiken i dessa områden innefattar miljöanpassning av års- eller korttidsreglering.

Förutsättningarna för ekologiskt anpassad årsreglering av hela Dalälven nedströms Siljan har analyserats i rapporten 2017:09 "Ekologiskt anpassad årsreglering för Dalälven". Denna åtgärd gynnar en lång rad svämberoende områden längs hela älven. För vissa naturfåror/kvillområden är det möjligt att genomföra lokala miljöåtgärder för att få en naturligare flödesdynamik.

Behovet av och förutsättningarna för miljöanpassad korttidsreglering behöver utredas vidare för respektive delområde av Dalälven. Lämpligen i samband med motsvarande fördjupade studier för de energiåtgärder som redovisas nedan.

Potentiella åtgärder för effektutbyggnad

I kapitlet "Produktionshöjande åtgärder i Dalälven" tidigare i denna rapport redovisas följande energiåtgärder i detta område för att öka effekten och potentialen för korttidsreglering.

- Om en större regleringsamplitud tillåts i Hovran så möjliggör det en samtidigt effektökning på ca 20 MW i Avestakraftverken.
- Om Långhag och Stora Skedvi kraftverk får tillstånd att korttidsreglera upp till flödesnivån 440 m³/s så ger det en effektökning på ca 6 MW.

Mot bakgrund av att korttidsregleringen i Gråda, Långhag och Avesta är samordnade så bör vattenhushållningsbestämmelserna för alla dessa och mellanliggande kraftverk ses i ett sammanhang. Det finns förutsättningar för att genom anpassad korttidsreglering öka både energi- och naturvärden längs mellersta Dalälven.

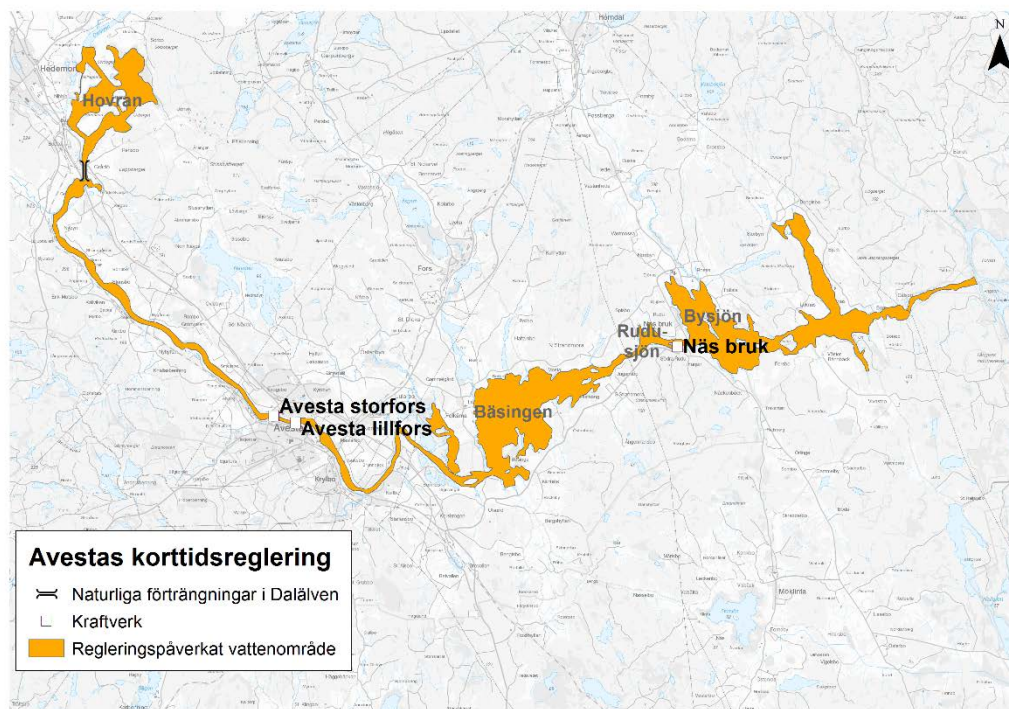
Avesta kraftverks korttidsreglering

Avestas korttidsreglering påverkar Dalälvens flöde och nivåer upp till och med Hovran samt nedströms till Färnebofjärden. Näs kraftverk drivs som ett strömkraftverk med konstant vattennivå omedelbart uppströms kraftverket. Avestas korttidsreglering fortplantar sig, med några timmars fördröjning, till Näs kraftverk som då tappar motsvarande flödesvariation som Avesta.

Avestas korttidsreglering dämpas succesivt ut längs älvens många fjärdar och trånga sektioner så att flödesvariationen är i stort sett utjämnad i Färnebofjärden.

Tabell 6. Hovrans regleringsmagasin.

Regleringsmagasin	Regleringsamplitud meter	Reglervolym miljoner m3	Regleringsstrategi År / Korttid	Energiinnehåll GWh
Hovran	0,60	7,5	Korttid	0,1



Figur 52. Kraftverk och magasin som direkt berörs av Avestas korttidsreglering.

Dagens korttidsreglering

Här beskrivs kort vilka ramar befintliga tillstånd ger och hur regleringen planeras under året.

Vattenhushållningsbestämmelserna sätter ramarna för regleringen

I vattendomen från 1954-02-24 finns följande villkor för vattenhushållningen.

Sänkningsgräns och dämningssgräns

Enligt vattenhushållningsbestämmelserna begränsas rätten att variera nivån i Hovran när medelvattenföringen överstiger 300 m³/s (från 1 maj).

”I det vattenmagasin som uppkommer genom dämningen finner vattendomstolen vattnet skäligen icke böra sänkas under viss gräns. Denna gräns bör lämpligen bestämmas till + 81,66 m vid Grådö pegel.

I fråga om dämningen ha Avestaverken därvid anhållit att medelst dammen få hålla vattnet vid Grådö pegel uppdämt, under tiden maj-september till + 81,91 m i ett höjdsystem vars 0-punkt antages sammanfalla med havets medelvattenyta (rikets normalnollplan) och under annan tid av året till höjden + 82,26 m i nyssnämnda höjdsystem med iakttagande av att, då vattenståndet vid Grådö pegel på grund av vattenföringen överstege begärd dämningshöjd, vattenståndet vid pegeln skulle, till förekommande av dess stegring över den mot vattenföringen svarande höjden, hållas i viss relation till vattenföringen vid Långhags kraftverk på sätt som framgår av följande dämningstabell”:

Tabell 7. Dämningstabell för kraftverket i Avesta vid flöden mellan 381 – 1582 m³/s.

Vattenmängd, m ³ /s: Vattenstånd, +:	381 81,92	399 81,97	418 82,02	437 82,37	456 82,42	476 82,47
Vattenmängd, m ³ /s: Vattenstånd, +:	514 82,26	517 82,27	538 82,32	560 82,37	582 82,42	602 82,47
Vattenmängd, m ³ /s: Vattenstånd, +:	622 82,52	666 82,62	687 82,67	708 82,72	730 82,77	752 82,82
Vattenmängd, m ³ /s: Vattenstånd, +:	775 82,87	797 82,92	821 82,97	844 83,02	868 83,07	892 83,12
Vattenmängd, m ³ /s: Vattenstånd, +:	917 83,17	942 83,22	967 83,27	993 83,32	1019 83,37	1045 83,42
Vattenmängd, m ³ /s: Vattenstånd, +:	1072 83,47	1099 83,52	1127 83,58	1154 83,63	1183 83,68	1211 83,73
Vattenmängd, m ³ /s: Vattenstånd, +:	1240 83,78	1269 83,84	1299 83,89	1329 83,94	1359 83,99	1390 84,04
Vattenmängd, m ³ /s: Vattenstånd, +:	1421 84,10	1453 84,15	1484 84,20	1517 84,26	1549 84,31	1582 84,36

Korttidsregleringen i praktiken

Den viktigaste parametern för om och hur korttidsreglering genomförs är vattenflödet i Dalälven. Korttidsreglering utförs upp till ett vattenflöde i

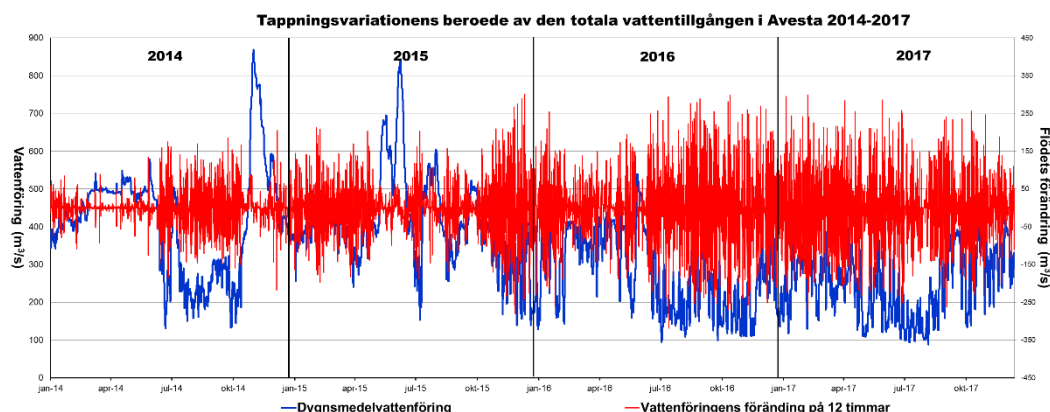
älven på ca 400 m³/s. Under tiden 1 maj till 30 september dock endast upp till ett något lägre flöde enligt vattendomen.

I huvudsak samplaneras Avestas korttidsreglering med motsvarande regleringen i Långhags kraftverk. Hovran används då för att kunna öka tappningen i Avesta samtidigt som i Långhag och då nyttja magasinets vatten under de ca 5 timmar det tar för vattnet att rinna från Långhag till Hovran. Hovrans nivå sjunker då under förmiddagen. När tappningen sedan minskas på kvällen vid bägge kraftverken sker motsvarande höjning av Hovrans vattennivå under de ca fem timmar det tar för vattnet att rinna från Långhag till Hovran.

Under vintern tillåts en större nivåvariation i Hovran och det möjliggör att tappningen i Avesta kan variera mer under dygnet. I praktiken är det dock under dessa tidsperioder inte någon större skillnad i flödesvariationen eftersom det oftast är en högre medelvattenföring under höst och vinter jämfört med under sommaren. Vilket begränsar möjligheterna för korttidsreglering.

Beroende på vattentillgången kan Avesta korttidsreglering innebära tappningsvariationer på upp mot 300 m³/s under ett dygn. Förändrade tappningar genomförs dock tidvis - även om ingen korttidsreglering genomförs - men då följer tappningarna tillrinningens förändringar. Den stora skillnaden vid höga flöden är att tappningen då inte ändras upp och ned under samma dygn utan har långsammare förlopp.

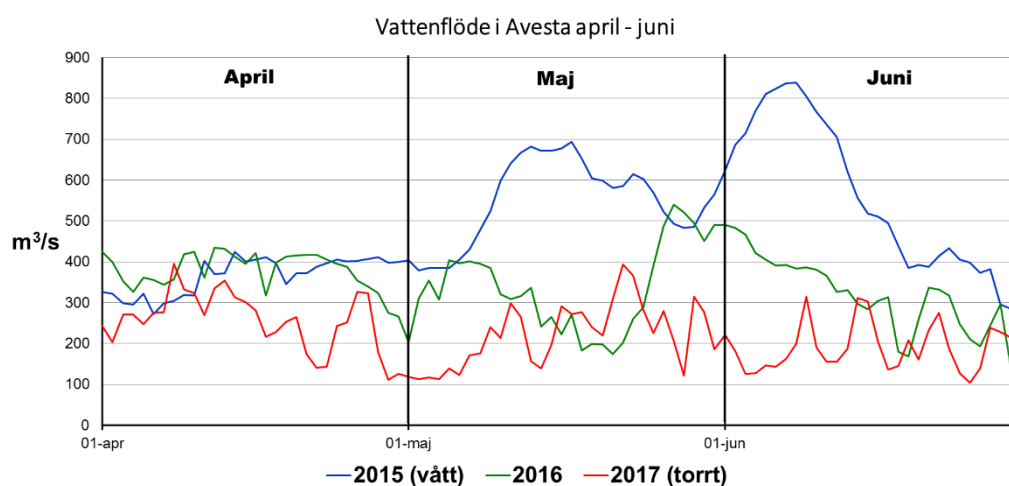
Figur 53 visar hur tappningen förändras under 12 timmar från januari 2014 till oktober 2017. Noteras ska att bägge åren 2016 och 2017 har varit år med mindre nederbörd än normalt och därmed lägre vattenflöden generellt. Det ger större utrymme för att bedriva korttidsreglering i Avesta, vilket framgår tydligt i diagrammet.



Figur 53. Avestas korttidsreglering beskriven som flödesvariation +/- m³/s under 12 timmar (röd linje) i förhållande till Dalälvens dygnsmedelvattenflöde (blå linje).

När dygnmedelvattenföringen i älven överskrider 380 m³/s under maj – september och 515 m³/s övrig tid ska tappningen i Avesta hanteras enligt dämningstabellen i vattendomen och korttidsregleringen upphöra.

Figurerna nedan jämför tappningarna från Avesta under tidsperioden slutet av april till början av juni för de tre åren 2015, 2016 och 2017. Dessa tre år uppvisar markant olika flödesnivåer under denna tidsperiod. 2017 var ett torrår jämfört med 2015 då det var blött och höga flöden. Skillnaden är markant. 2016 var lite mer åt det normal och då syns det tydligare hur flödet påverkas av korttidsregleringen.



Figur 54. Dalälvens vattenflöde i Avesta under april-juni 2015 – 2017.

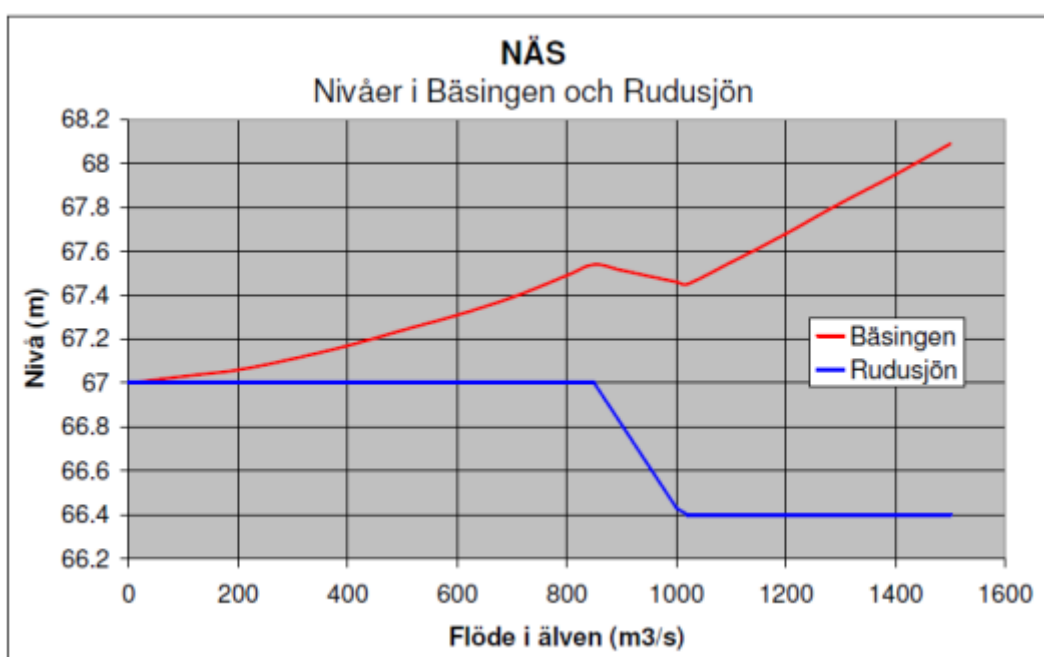
Näs kraftverks korttidsreglering

Nedströms Avesta kraftverk ligger först fjärden Bäringen, därefter Jugansboforsen och till sist fjärden Rudusjön. Näs kraftverk är beläget nedströms Rudusjön, se Figur 55.

Näs är ett strömkraftverk där tappningen styrs av vattennivån i Rudusjön. Enligt vattenhushållningsbestämmelserna för Näs kraftverk ska tappningen från Näs hela tiden anpassas så att vattenytan i Rudusjön, vid flöden upp till 850 m³/s, ligger konstant på nivån 67,00 möh (RH00). Det finns således inget magasin tillgängligt för korttidsreglering i Näs. Vid höga tillrinningar, över 850 m³/s, ska Näs tappningar ökas ytterligare så att nivån i Rudusjön vid högre flöden än 1010 m³/s sänks till nivån 66,4 möh. Syftet är att sänka vattennivån (eller motverka höjning) i Bäringen och därmed minska risken för översvämningar. Se Figur 56.



Figur 55. Översiktsbild Näs kraftverk



Figur 56 Samband mellan tillrinning och dämning/sänkningsgräns enligt vattenhushållningsbestämmelserna för Näs kraftverk.

Den varierande tappningen i Näs är en konsekvens av korttidsregleringen i kraftverken uppströms. Nuvarande vattenhushållningsbestämmelser medför därför att vattennivån, nedströms Näs, i Bysjön kan variera.

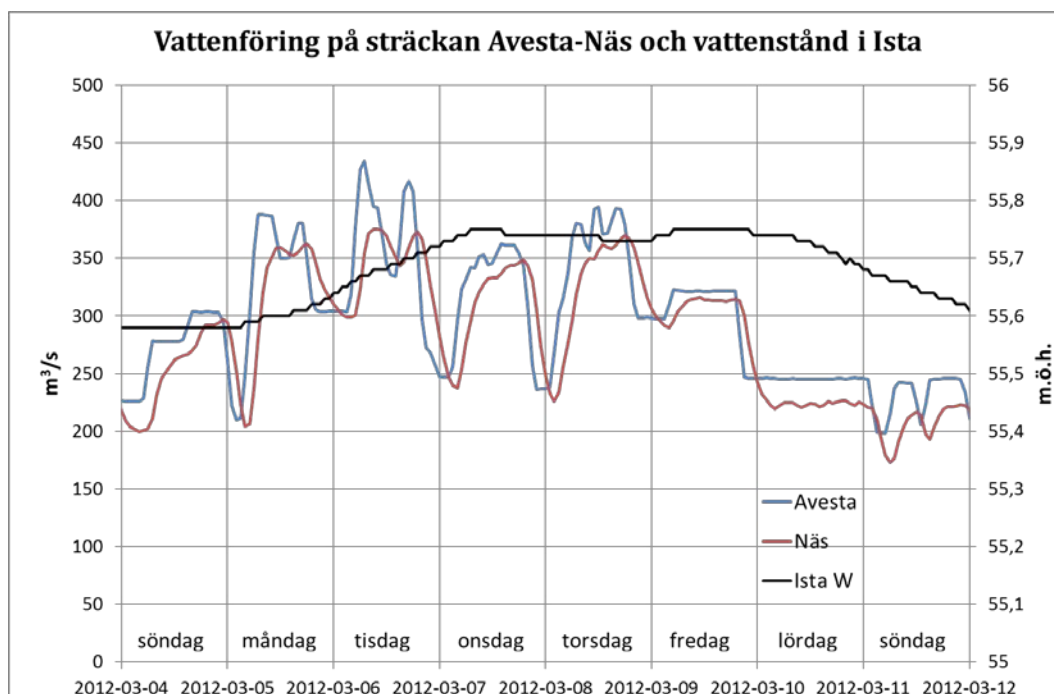
Påverkan på vattenflöden och vattennivåer längs älven.

Av nedanstående figurer (Figur 57 - Figur 61) framgår att Avestas korttidsreglering fortplantas med några timmars fördröjning till Näs kraftverk som då enligt vattendomen måste tappa den aktuella tillrinningen. Därmed kan det uppfattas som om Näs bedriver korttidsreglering. I själva verket är det Avestas reglering som fortplantas neröver i vattensystemet, om än med en viss dämpning genom att flödet stryps i Jugansboforsen. Samtidigt stiger Bäsingens vattennivå.

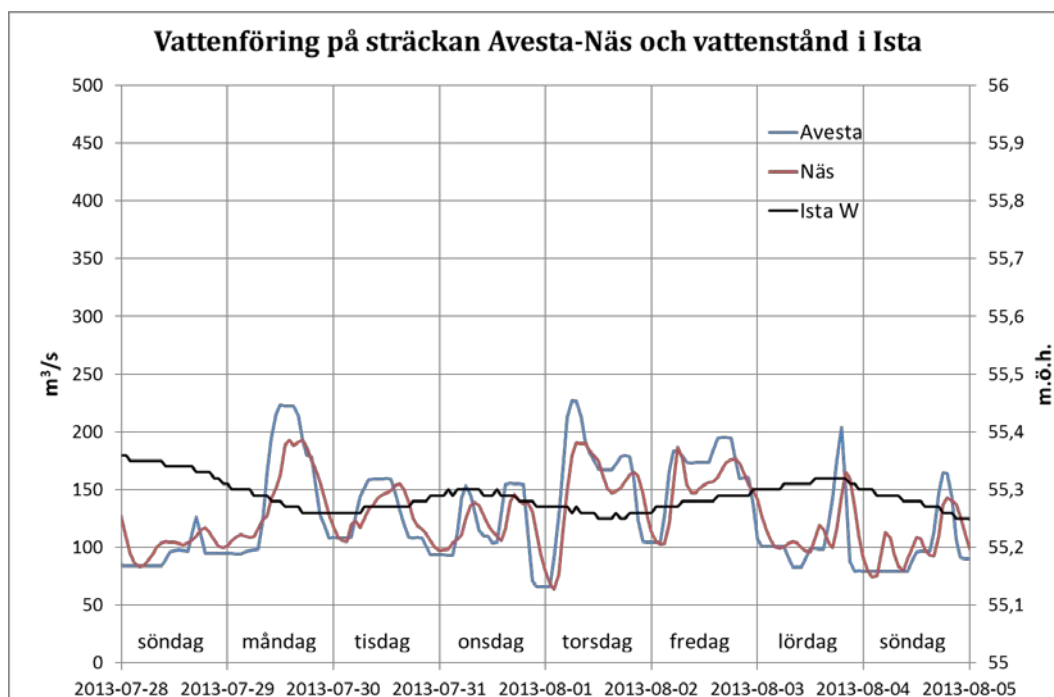
I Figur 57 och Figur 58 visas exempel på flödes- och nivåvariationen under en vinter och sommarvecka.

Figur 58 och Figur 59 är från samma sommarvecka och visar skillnaden mellan modellberäknad vattennivå i Färnebofjärden respektive uppmätt vattennivån vid Ista som ligger på en udde mitt i Färnebofjärden. I bägge fallen dämpas korttidsregleringen ut nästan helt och nivåvariationen vid Ista blir bara några cm under en vecka.

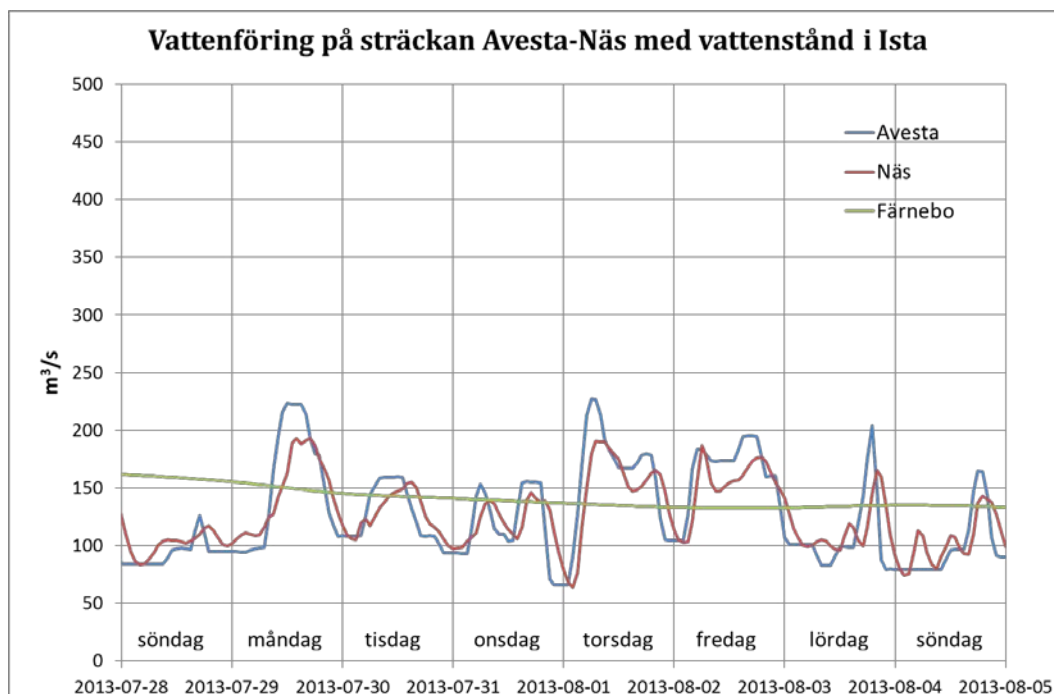
I Figur 60 och Figur 61 visas gångtiderna mellan Avesta, Näs och Färnebofjärden vid dels dagens uppmätta flöden i Avesta och Näs samt dels modellberäknade oregrerade flöden för samma platser. Notera att det modellberäknade oregrerade flödet är lägre hela veckan i Näs vilket är orimligt. Jfr bilaga 2 som beskriver osäkerheter i modellberäkning av hydromorfologiska kvalitetsfaktorer – och underliggande modeller för beräkning av flöden.



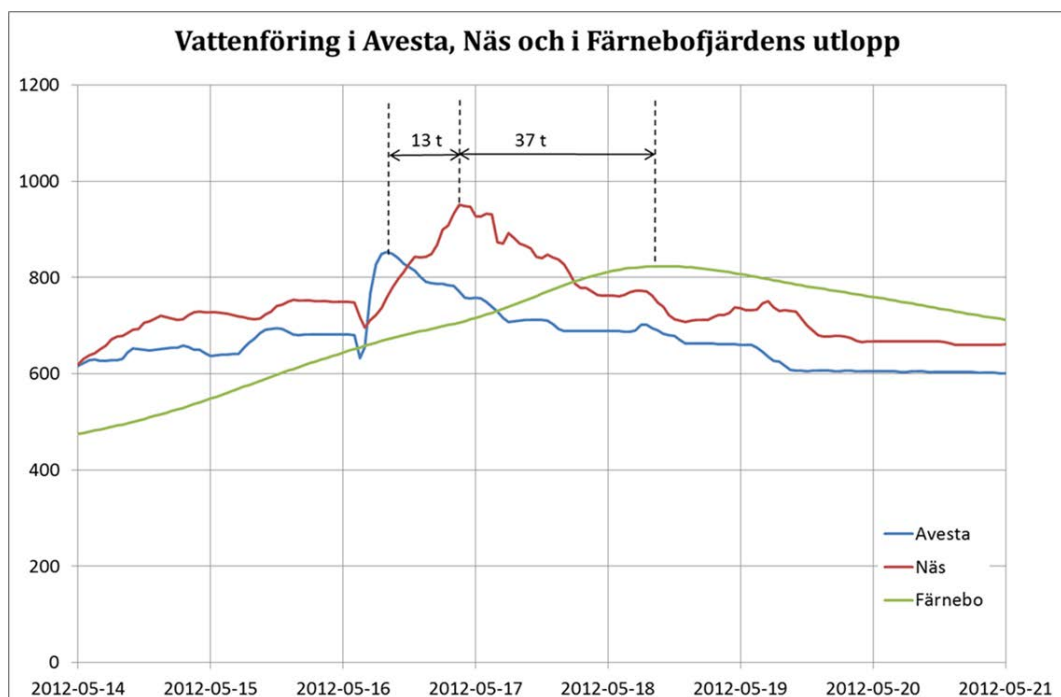
Figur 57. Korttidsregleringen på sträckan Avesta - Färnebofjärden under en vintervecka. Uppmätt vattennivå i Färnebofjärden (svart linje)..



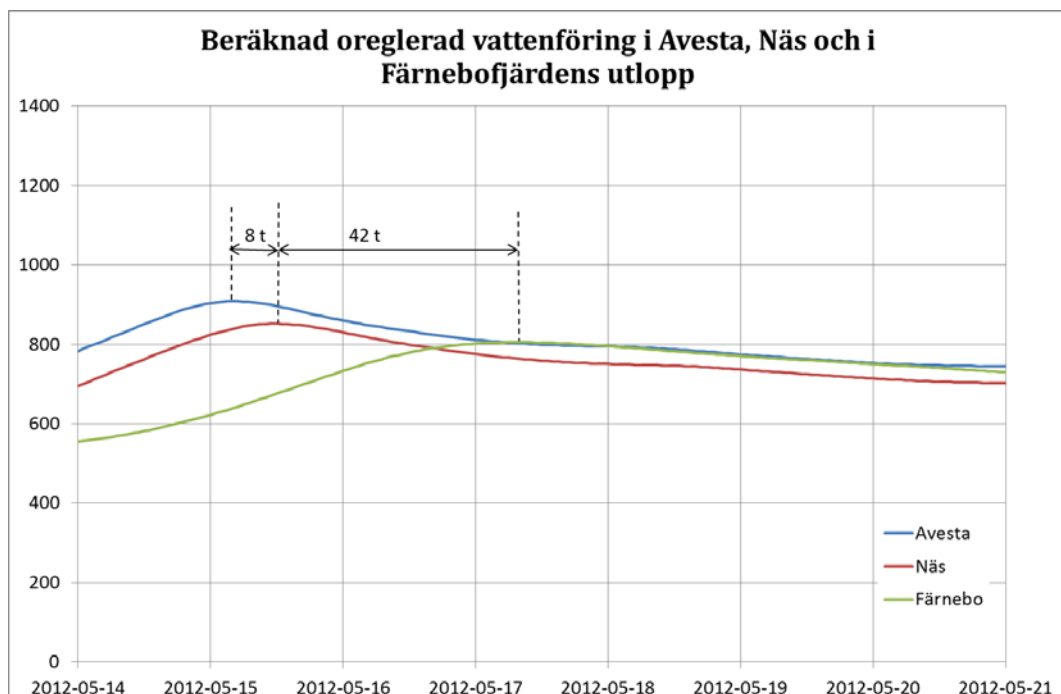
Figur 58. Korttidsregleringen på sträclan Avesta - Färnebofjärden under en sommarvecka. Uppmätt vattennivå i Färnebofjärden (svart linje).



Figur 59. Korttidsregleringen på sträclan Avesta - Färnebofjärden under en sommarvecka. Modellberäknad vattennivå i Färnebofjärden (grön linje).



Figur 60. Exempel på vattnets gångtid från Avesta till Färnebofjärden en vecka i maj. Modellberäknad vattennivå i Färnebofjärden (grön linje).

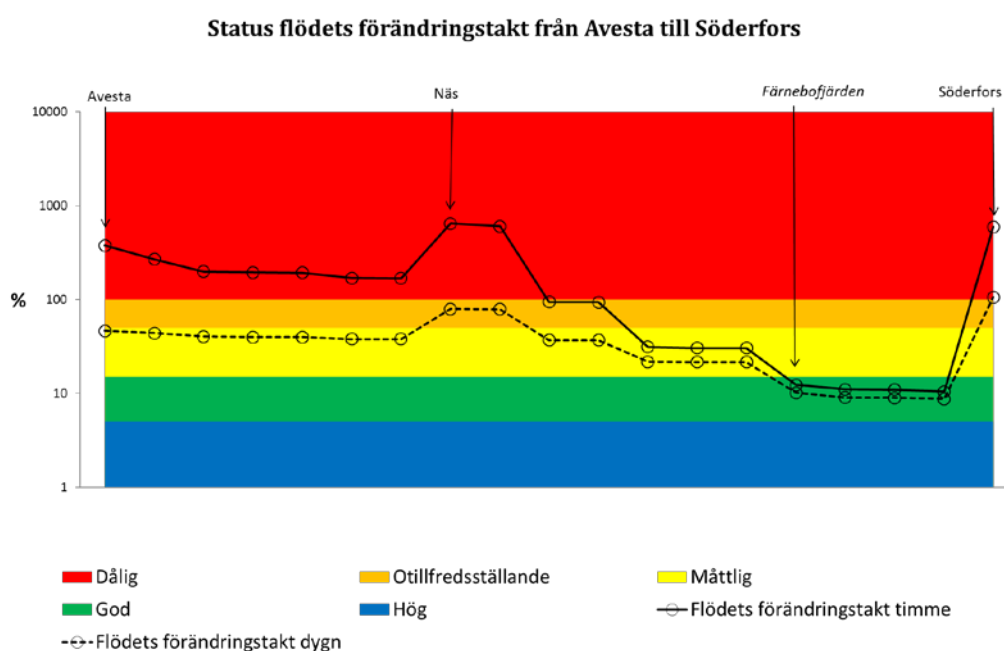


Figur 61. Exempel på vattnets gångtid från Avesta till Färnebofjärden en vecka i maj. Modellberäknade oreglerade vattenflöden och vattennivå i Färnebofjärden.

Hydromorfologiska kvalitetsfaktorer – flödets förändringstakt

I Figur 62 presenteras hur kvalitetsfaktorn ”Flödets förändringstakt” generellt minskar längs älven från Avesta kraftverk till Söderfors kraftverk för att nå nära normala dvs oreglerade förhållanden i Färnebofjärden. Vilket beror på den tidigare beskrivna naturliga dämpningen längs en älvdal med flera trånga sektioner och fjärdar som succesivt utjämnar flödesvariationer.

Noteras kan dock att denna kvalitetsfaktor får en puckel vid Näs kraftverk vilket kan tolkas som att det kraftverket ”ökar” flödesvariationen genom egen korttidsreglering – vilket inte är fallet (se ovan).



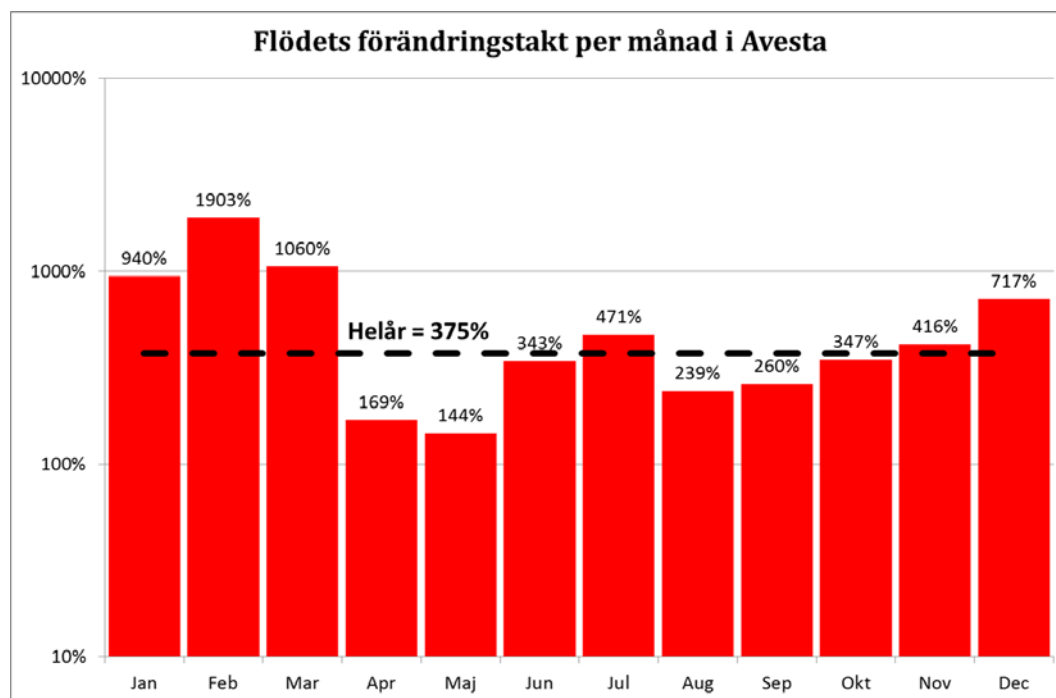
Figur 62. Flödets förändringstakt på sträckan Avesta - Söderfors. OBS Logaritmisk skala.

I bilaga 2 har SMHI särskilt analyserat de av kraftbolagen redovisade vattenflödena i och kring Näs kraftverk och kommit fram till följande;

- SMHI:s flödesberäkningsmodell bygger på en generell dämpning av flödet längs en älvs sjöar/trånga sektioner och det är möjligt att de lokala förutsättningarna i Bäringen/Jugansboforsen är annorlunda.
- De uppmätta vattenflödena vid Avesta respektive Näs kraftverk, som har två olika ägare, överensstämmer inte med varandra. Till exempel är ofta den redovisade vattenföringen högre i Avesta vilket gör att SMHI:s modellberäkningar blir felaktiga. Vattenflödet genom ett kraftverk mäts inte direkt utan beräknas med utgångspunkt från kraftverkets effekt som bestäms av vattnets fallhöjd och kraftverkets

verkningsgrad. Den exakta fallhöjden (skillnaden mellan uppströms och nedströms liggande vattenytor) varierar hela tiden beroende på tappningar varför en verkningsgradskurva behöver tas fram och kalibreras. En vanlig felkälla är mätning av nedströmsnivån.

Månadsvärdena för flödets förändringstakt som visas i Figur 63 indikerar en stor flödesvariation under vintermånaderna då det normalt är mycket jämn och låg vattenföring medan det är då elbehovet och reglerkraftsbehovet är som störst. Noteras kan också att flödesvariationerna också är förhållandevis stora under juni/juli.



Figur 63. Flödets förändringstakt per månad nedströms Avesta. OBS Logaritmisk skala.

Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik

I rapporten "Dalälvens naturvärden och åtgärdspotentialer" presenteras de områden i och längs Dalälven som har höga internationella och nationella naturvärden samtidigt som de är i behov av miljöåtgärder kopplat till vattenkraftens påverkan.

Före vattenkraftens utbyggnad fanns ett flertal forsar med mellanliggande flacka strandområden som ofta översvämmades långa perioder under vårfloden och skapade de svämberoende strandnaturtyper i form av fuktängar, älvängar och svämlövskog som utgör grunden för områdenas höga naturvärden. Idag är forsarna överdämda eller rensade och det är ovanligt med långvariga våröversvämningar - medan vattennivån varierar upp och ner under dygnet på grund av korttidsreglering.

På sträckan Bysjön-Tyttbo finns fortfarande flera forsar och strömmar med ett populärt fiske efter framförallt harr. Här finns även några av Dalälvens mera välutvecklade partier med s.k. kortskottsvegetation.

Inom det område som påverkas av Avestas reglering är följande nationellt värdefulla naturområden påverkade av års- och korttidsreglering:

- Hovranområdet upp till Amungen som både är riksintresseområde för naturvården, särskilt värdefullt vatten och Ramsarområde. Vissa delområden i Hovran som Lilla Älvgången och Stackharen är dessutom N2000-område och naturreservat.
- Kungsgårdsholmarna som är ett N2000-område samt identifierat som naturreservat, värdefullt vatten och riksintresseområde för naturvården, nedströms Avesta
- Bysjöholmarna-Fullsta är ett N2000-område, naturreservat och riksintresseområde för naturvården.
- Området nedströms Näs är skyddat för vidare utbyggnad av vattenkraften enligt Miljöbalken § 4:6.
- Färnebofjärdens nationalpark och N2000-områden.

Potentiella miljöåtgärder för vattenkraftens påverkan på flödesdynamiken i dessa områden innefattar miljöanpassning av års- eller korttidsreglering.

Förutsättningarna för ekologiskt anpassad årsreglering av hela Dalälven nedströms Siljan har analyserats i rapporten 2017:09 ”Ekologiskt anpassad årsreglering för Dalälven”. Denna åtgärd gynnar en lång rad svämberoende områden längs hela älven. För vissa naturfåror/kvillområden är det möjligt att genomföra lokala miljöåtgärder för att få en naturligare flödesdynamik.

Behovet av och förutsättningarna för miljöanpassad korttidsreglering behöver utredas vidare för respektive delområde av Dalälven. Lämpligen i samband med motsvarande fördjupade studier för de energiåtgärder som redovisas nedan.

Potentiella åtgärder för effektutbyggnad

I kapitlet ”Produktionshöjande åtgärder i Dalälven” tidigare i denna rapport redovisas följande energiåtgärder i detta område för att öka effekten och potentialen för korttidsreglering.

- Om en större regleringsamplitud tillåts i Hovran så möjliggör det en samtidigt effektökning på ca 20 MW i Avestakraftverken.

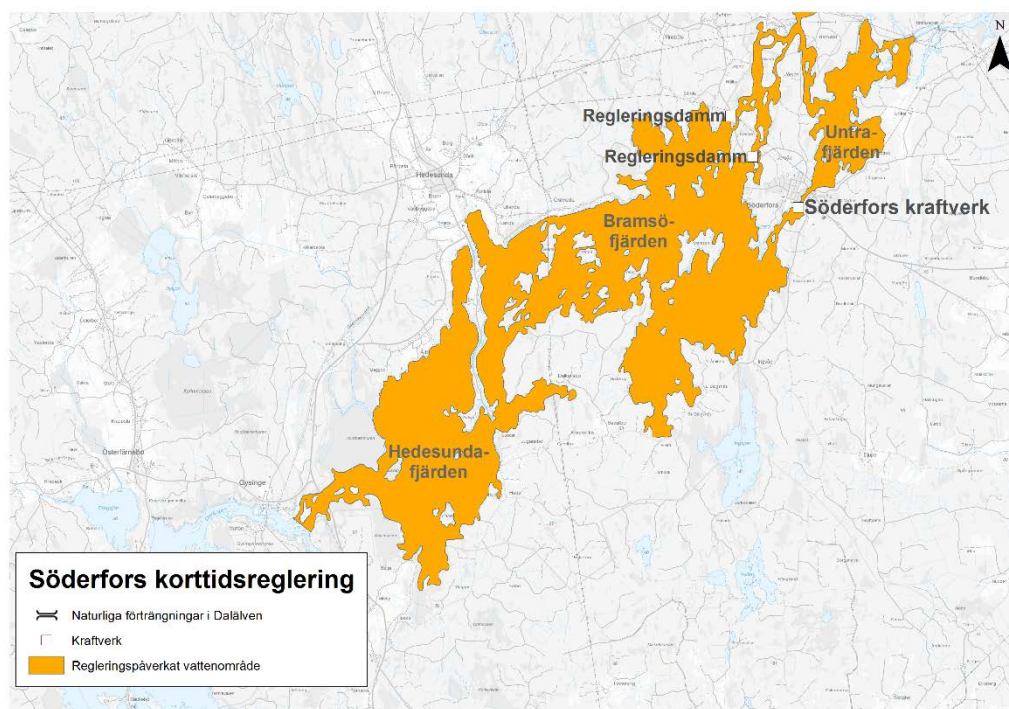
Mot bakgrund av att korttidsregleringen i Gråda, Långhag och Avesta är samordnade så bör vattenhushållningsbestämmelserna för alla dessa och mellanliggande kraftverk ses i ett sammanhang. Det finns förutsättningar för att genom anpassad korttidsreglering öka både energi- och naturvärden längs mellersta Dalälven.

Söderfors korttidsreglering

Söderfors kraftverk använder Bramsö- och Hedesundafjärdarna för års- och korttidsreglering. Tappningen från Söderfors påverkar möjligheterna för Untra kraftverks reglering.

Tabell 8. Söderfors regleringsmagasin.

Regleringsmagasin	Regleringsamplitud Meter	Reglervolym miljoner m3	Regleringsstrategi År / Korttid	Årsregleringsnytta GWh/år
Bramsö- och Hedesundafjärdarna	0,25	18	År + Korttid	1



Figur 64. Kraftverk och magasin som direkt berörs av Söderfors korttidsreglering.

Dagens korttidsreglering

Söderfors kraftverk har tre aggregat på vardera 160 m³/s. Dämningsgränsen i magasinerna uppströms är +51,40m.

Vattenhushållningsbestämmelserna sätter ramarna för regleringen

Följande vattenhushållningsbestämmelser gäller för Söderfors kraftverk:

"Rätt att uppdämma vattenstånden i Hedesundafjärdarna till höjden + 51,40 m i Nedre Hede-sundafjärden samt att tills vidare till dess annat kan bli bestämt reglera vattenstånden, allt enligt nedan (dom 1979-07-11):

- 1. De av vind opåverkade vattenstånden i Hedesundafjärdarna skall, med nedan angivna undantag, så nära som möjligt ansluta till dämningssgränsen + 51,40 m mätt vid pegel Nedre Hedesundafjärden vid Ingsåns utlopp eller högst det högre vattenstånd som beroende på tillrinningen skulle varit rådande vid denna punkt utan anläggningarna för Söderfors kraftverk.*
- 2. Årsreglering och förhandstappning får ske genom avsänkning av Hedesundafjärdarna omedelbart före vårfloden eller annat större flödes början ned till det mot rådande tillrinning svarande vattenståndet, dock att avsänkning ej får ske till lägre nivå än att föreskriven minimitappning i Kågbogrenen alltid kan avbörjas. Inför annat väntat flöde än vårflod får avsänkning överhuvudtaget ej ske till lägre höjd än + 50,90 m mätt vid pegel vid Ingsåns utlopp. Med större flöde avses tillrinning till Hedesundafjärdarna större än 730 kbm/s.*
- 3. Vatten som ej tillgodogörs i kraftverket eller åtgår till minimitappningar skall tappas på sådant sätt att vattenstånden i Kågbogrenen ej överstiger dem som vid rådande tillrinning i älven skulle ha uppnåtts utan anläggningarna för Söderfors kraftverk.*
- 4. Då tillrinningen underskrider 480 kbm/s får korttidsreglering ske enligt följande:*
 - a. Veckoreglering må ske mellan nivåerna + 51,40 m och + 51,15 m i Nedre Hedesundafjärden;*
 - b. Dygnsreglering må ske med högst 0,12 m inom veckoregleringsintervallet;*
- 5. Genom Valsverkskanalen skall ständigt framläppas den vattenmängd som kommer att rinna vid fullt öppen ventil på inloppssidan.*
- 6. Till Hjällsjön skall ständigt framläppas en vattenmängd om lägst 1 m³/s."*

Minimitappning i Kågbogrenen (dom 1996-02-22):

- 1. "Sökanden skall genom Bredforsens spärrdammsläppa fram en minsta vattenmängd av 15 m³/s under tiden den 1 april – den 30 september (sommartid) och 5 m³/s under övrig del av året (vintertid) med de justeringar som kan föranledas av vad som anges under punkt 2.*
- 2. Övergången till tappning sommartid skall ske första vardagen efter den 1 april och övergången till tappning vintertid första vardagen efter den 1 oktober.*
- 3. Inställning av luckorna i Bredforsdammen skall ske efter de anvisningar Fiskeriverket ger.*
- 4. Vid annan ökning av tappningen genom Kågbogrenen än den som föranleds av omställning mellan tappning sommartid och vintertid skall, om vattenförhållandena i älvgrenen därigenom kommer att*

påverkas märkbart, varningssignal avges medelst siren uppsatt på spärrdammen i Lillfyllningen. Därutöver bör, om så kan ske, de närboende i Lågbo och Kågbo särskilt varnas för tappningsökningen genom telefonmeddelande att vidarebefordras i fast telefonkedja.”

Tillägg till minimitappningsbestämmelserna (MÖD dom 2001-06-26);

”Vattenfall skall på våren genom Bredforsens spärrdamm tappa överskottsvatten som inte kan tillgodogöras i Söderfors kraftverk, i sådan mängd att därigenom rörligt bottensediment sköljs bort. Storleken av denna tappning, dess förläggning i tiden samt erforderliga tekniska detaljer skall bestämmas av Fiskeriverket och Vattenfall i samråd. Vid oenighet skall tviste-frågan hänskjutas till miljödomstolen för avgörande. Den angivna tappningen får inte i något fall medföra att för Kågbogrenen och Söderfors kraftverk gällande vattenhushållningsbestämmelser överträds.”

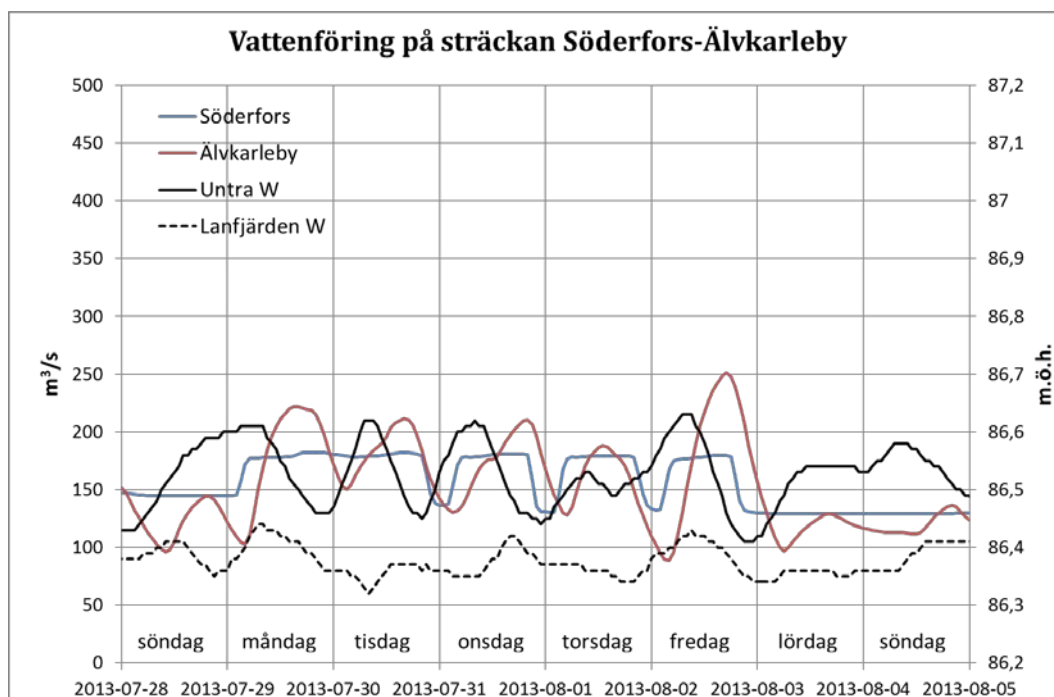
Korttidsregleringen i praktiken

Gångtiden från Näs, närmast kraftverk uppströms, ned till Söderfors är cirka 48 timmar. Magasinet i Söderfors är inte speciellt stort och det är möjligt att tömma på en dag om inflödet är minimalt. Både gångtiden och magasinskapaciteten för kraftverken nedströms, dvs. Untra, Lanforsen och Älvkarleby, är relativt kort/liten. Korttidsregleringen i Söderfors anpassas därför för att optimera flödet för kraftverken nedströms. Under normala förhållanden (när efterfrågan är som störst dagtid, veckodagar) minimeras tappningen i Söderfors under lördag och söndag för att höja nivån i Söderforsmagasinet.

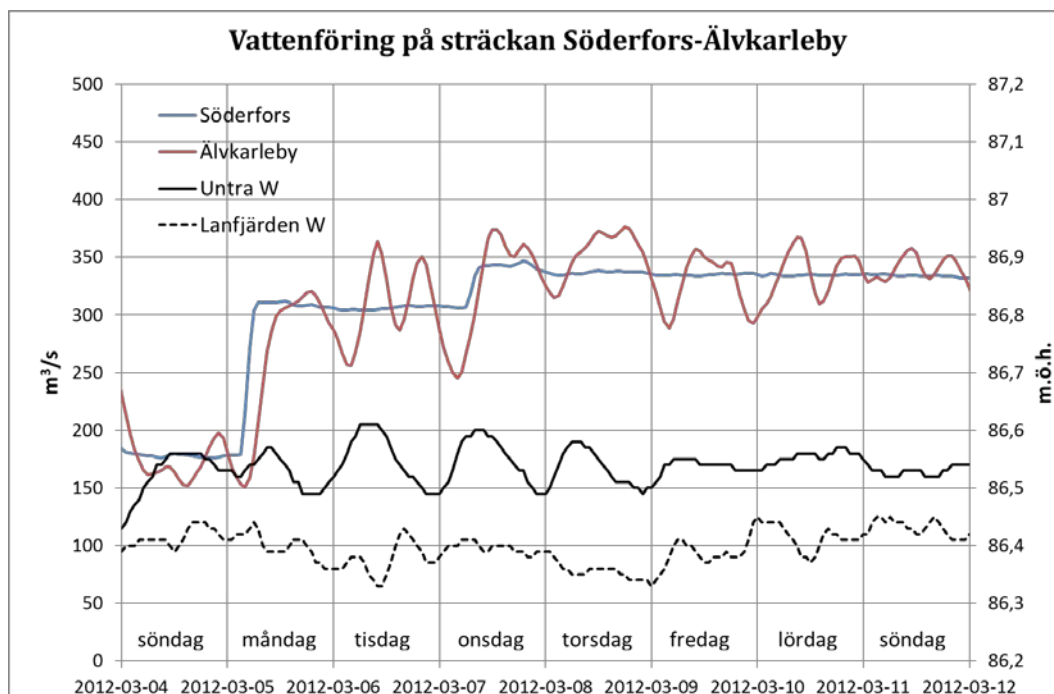
Tappningen under veckodagar är vanligtvis enligt bilden nedan, Figur 65. Normalt är tappningen under natten låg, ofta 120 m³/s, och vattenföringen höjs sedan ända upp till maximal vattenföring mellan kl. 04:00 till 22:00. Detta för att maximera utnyttjandet av den aggregerade elproduktionen i nedre Dalälven. Anledningen är att tappningen startar redan kl. 04:00 är att gångtiden ner till Älvkarleby är cirka 2 timmar (efterfrågan är som störst mellan kl 06:00-20:00). Produktionen i Älvkarleby är helt beroende av vattenföringen i Söderfors eftersom magasinsytan i Älvkarleby enligt dom inte får variera. Ytan i Söderforsmagasinet sjunker succesivt under veckan ned till sänkingsgräns för att sedan höja under helgen.

Påverkan på vattenflöden och vattennivåer längs älven.

Korttidsregleringen i Söderfors påverkar vattenflödet i kraftverken nedströms och vattennivåerna i Untra och Lanforsen. Nivån påverkas inte och får inte påverkas enligt vattenhushållningsbestämmelser i Älvkarleby. Av figur 64 framgår att Söderfors reglering förstärks av Untra kraftverks korttidsreglering som fortplantas ner till Älvkarleby.



Figur 65. Vattenföringen en sommarvecka på sträckan Söderfors - Älvkarleby samt vattennivåer i Untra och Lanfjärden. Untra W och Lanfjärden W är vattennivåer.

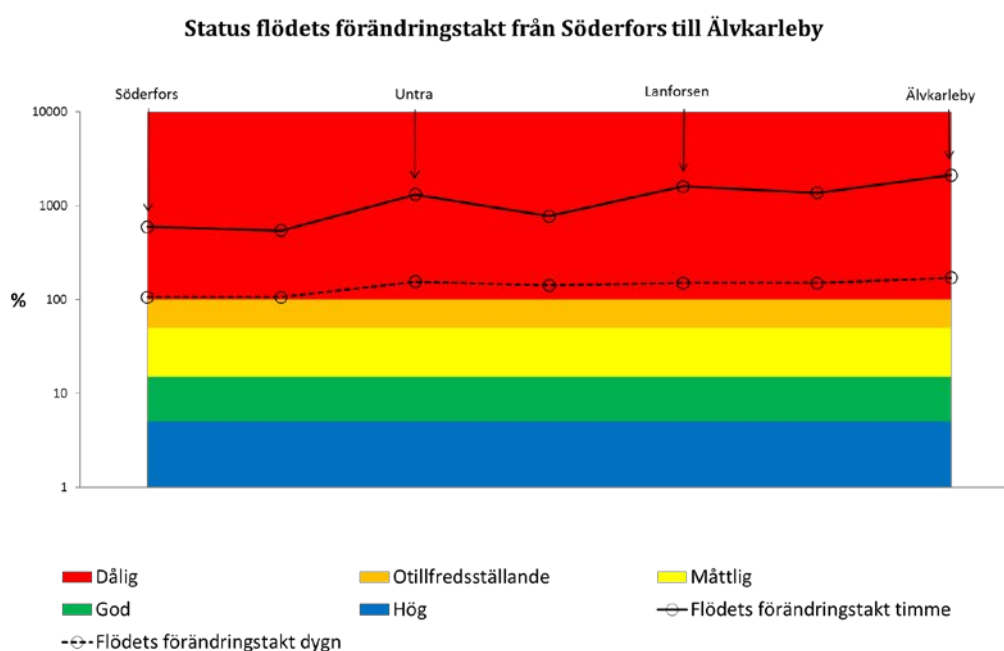


Figur 66. Vattenföringen en vintervecka på sträckan Söderfors - Älvkarleby samt vattennivåer i Untra och Lanfjärden. Untra W och Lanfjärden W är vattennivåer.

Hydromorfologiska kvalitetsfaktorer – flödets förändringstakt

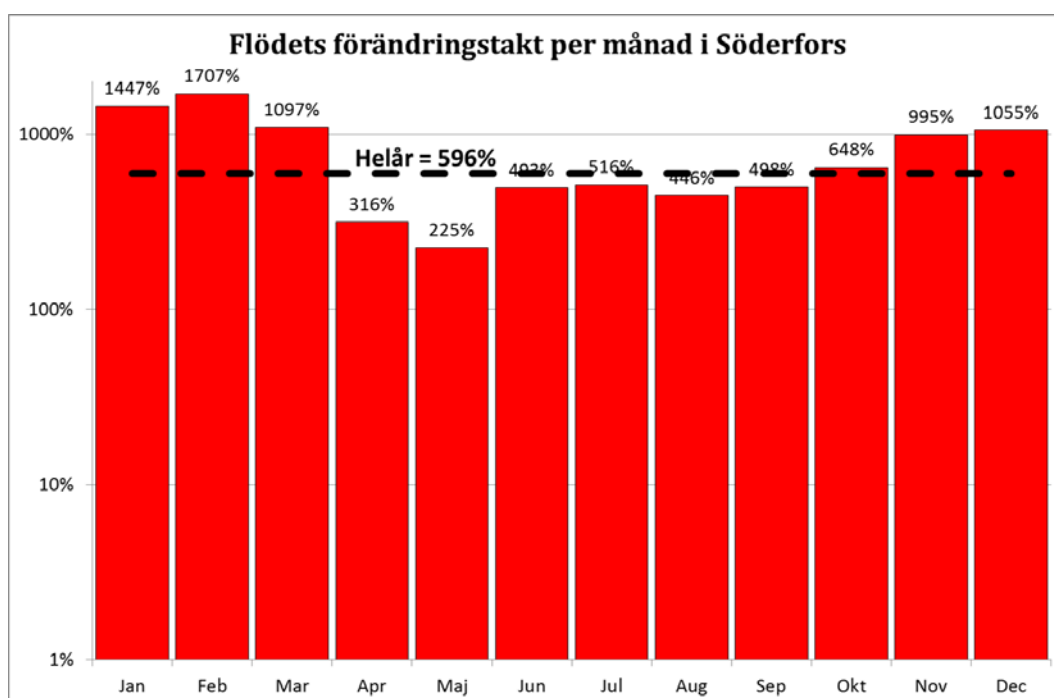
Inom vattenförvaltningen bedöms vattnens ekologiska status med stöd av indikatorer och undersökningar samtidigt som normer (mål) fastställs och åtgärdsbehov identifieras. SMHI har tagit fram kvalitetsfaktorn ”Flödets förändringstakt” för att kvantitativt beskriva korttidsregleringars styrka och påverkan på den naturliga flödesdynamiken.

I Figur 67 visas förändringen av denna kvalitetsfaktor längs sträckan från Söderfors kraftverk ner till Älvkarleby kraftverk. Indexet för flödets förändringstakt ökar något och indikerar dålig status längs hela denna älvsträcka.



Figur 67. Flödets förändringstakt på sträckan Söderfors – Älvkarleby. OBS! Logaritmisk skala.

I Figur 68 visas denna kvalitetsfaktor uppdelat på månader vilket belyser flödesförändringens storlek respektive månad i relation till (% av) den naturliga variationen. Påverkan skiljer sig inte åt mellan olika årstider.



Figur 68. Flödets förändringstakt per månad i Söderfors. OBS Logaritmisk skala.

Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik

I rapporten "Dalälvens naturvärden och åtgärdspotentialer" presenteras de områden i och längs Dalälven som har höga internationella och nationella naturvärden samtidigt som de är i behov av miljöåtgärder kopplat till vattenkraftens påverkan.

Före vattenkraftens utbyggnad översvämmades flacka strandområden långa perioder under vårfloden och skapade de svämberoende strandnaturtyper i form av älvängar och svämlövskog. Uppdämningen och regleringen påverkar mindre arealer av dessa naturtyper än som i exempelvis Färnebofjärden och Båtforsområdet, men området har ändå våtmarker av högsta skyddsklass. Området hyser ett stort antal arter som omfattas av art- och habitatdirektiven eller återfinns i rödlistan. Vattennivån varierar upp och ner under dygnet på grund av korttidsreglering.

Inom det område som påverkas av Söderfors reglering är följande nationellt värdefulla naturområden påverkade av års- och korttidsreglering:

- Bredforsen, Båtfors, Spjutholmen, Jordbärsmuren-Ålbo och Hedesundafjärden är både naturreservat och N2000-område.
- Tjursöarkipelagen, Tångsmurarna, Övre Hedesundafjärden och Pellesberget är N2000-område.
- Jordbärsmuren är identifierat i den nationella myrskyddsplanen

- Jordbärsmuren och Gölsmossen är identifierade som klass 1 våtmarker med mycket högt skyddsvärde
- Större delen av området är identifierat som särskilt värdefullt vatten och riksintresseområde för naturvården
- Hela området är skyddat för vidare utbyggnad av vattenkraften enligt Miljöbalken § 4:6

Potentiella miljöåtgärder för vattenkraftens påverkan på flödesdynamiken i dessa områden innefattar miljöanpassning av års- eller korttidsreglering.

Förutsättningarna för ekologiskt anpassad årsreglering av hela Dalälven nedströms Siljan har analyserats i rapporten 2017:09 ”Ekologiskt anpassad årsreglering för Dalälven”. Denna åtgärd gynnar en lång rad svämberoende områden längs hela älven. För vissa naturfåror/kvillområden är det möjligt att genomföra lokala miljöåtgärder för att få en naturligare flödesdynamik.

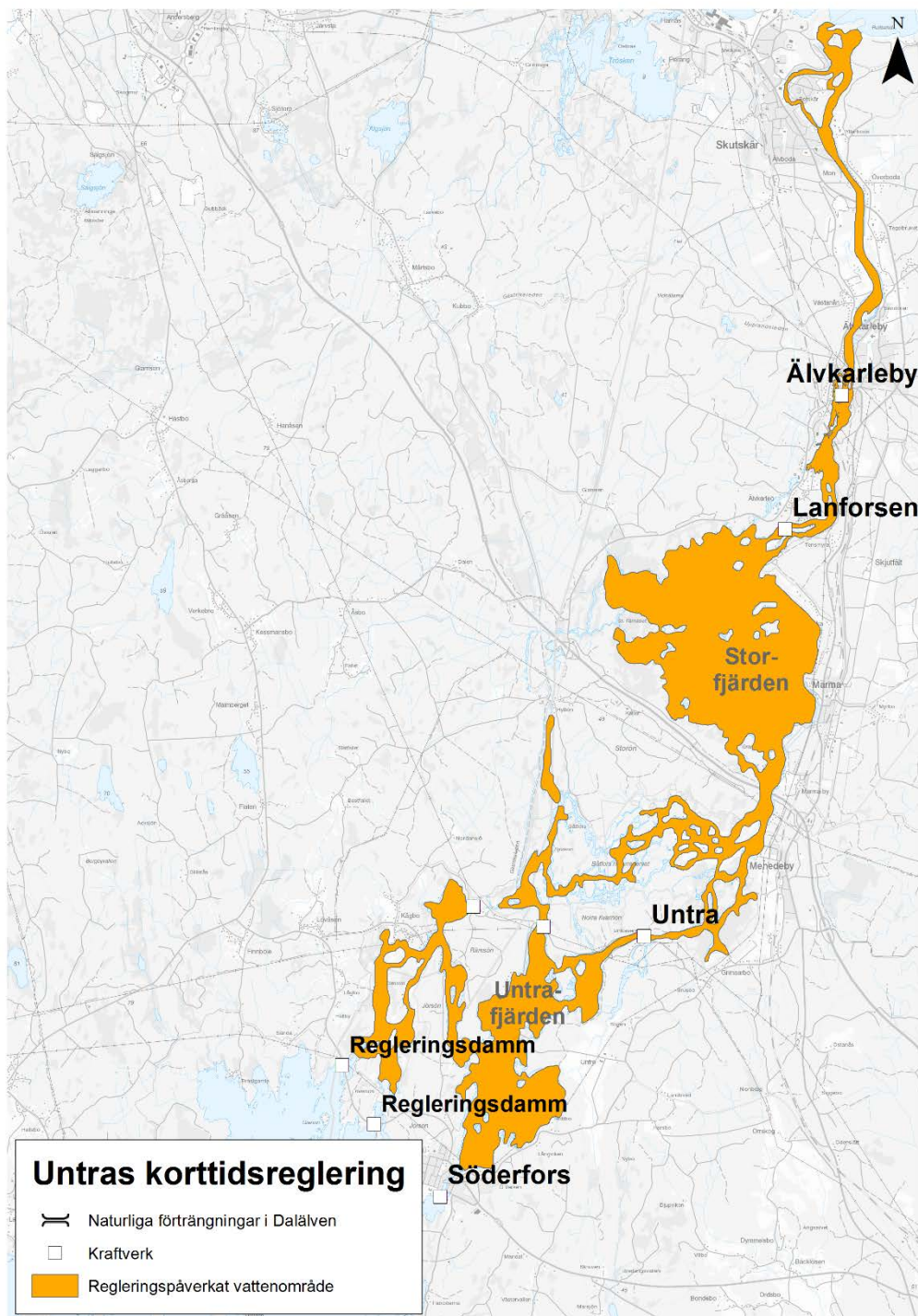
Behovet av och förutsättningarna för miljöanpassad korttidsreglering behöver utredas vidare för respektive delområde av Dalälven. Lämpligen i samband med motsvarande fördjupade studier för de energiåtgärder som redovisas nedan.

Potentiella åtgärder för effektutbyggnad

I kapitlet ”Produktionshöjande åtgärder i Dalälven” tidigare i denna rapport redovisas följande energiåtgärder i detta område för att öka effekten och potentialen för korttidsreglering.

- Om Söderfors och Untras korttidsregleringar samordnas så att Söderforsmagasinet svarar för de bägge kraftverkens korttidsreglering och Untra magasinet hålls på en jämn och hög nivå så kan fallförlusterna vid Untra minska och elproduktionen öka med drygt 3 GWh/år.

Untras korttidsreglering



Figur 69. Kraftverk och magasin som direkt berörs av Untras korttidsreglering.

Untra har ett förhållandevis litet regleringsmagasin och behöver köras i samverkan med uppströms liggande Söderfors och de nedströms liggande kraftverken Lanforsen och Älvkarleby.

Tabell 9. Untrafjärdens regleringsmagasin.

Regleringsmagasin	Regleringsamplitud Meter	Reglervolym miljoner m ³	Regleringsstrategi År / Korttid	Årsregleringsnytta GWh/år
Untrafjärden	0,75	9,4	korttid	

Dagens korttidsreglering

Korttidsregleringen bedrivs idag enligt följande.

Vattenhushållningsbestämmelserna sätter ramarna för regleringen

Både vattenhushållningsbestämmelser och andra tecknade avtal sätter gränser för hur Untra får regleras.

Även gångtider upp- och nedströms kraftverket påverkar planeringen av tappningarna.

Korttidsregleringen i praktiken

Planeringen för Untra är inriktad på att förstärka den korttidsreglering som sker i Söderfors. Gångtiden från detta närmast ovanliggande kraftverk ned till Untra är cirka 15 minuter. Enligt vattendomen ska en del av Untras totala flöde tappas eller spillas genom "Storgysinge", en damm med ett mindre kraftverk, som förser Båtforsområdet med vatten. Detta spill varierar över året (mellan 10 och 40 m³/s), men har ingen större påverkan på korttidsregleringen. Den maximala turbinkapaciteten i Untra kraftverk är något lägre än uppströmsliggande Söderfors.

Normalt sker ingen större veckoreglering i Untra. Magasinet är förhållandevis litet och återfylls i regel innan nästa dygns morgon. Under natten anpassas Untras tappning till rinningen, vilken ofta är något lägre än Söderfors tappning nattetid. Därmed får Untra en låg nattproduktion och stigande magasin snivå till nästa morgon.

Tillstånden för korttidsreglering kan tidvis begränsa möjligheten att nyttja magasinets dämnings- och sänkingsgränser fullt ut. För att inte riskera att hamna i konflikt med villkor i tillstånd och överenskommelser planeras tappningar och vattennivåer för att hålla sig med goda marginaler inom fastställda reglergränser i magasinet.

Påverkan på vattenflöden och vattennivåer längs älven.

Kraftverken Söderfors, Untra, Lanforsen och Älvkarleby ligger i serie efter varandra, där kraftverken var för sig förstärker summan av den gemensamma regler nyttan. Det vatten som lagras i Untras magasin används

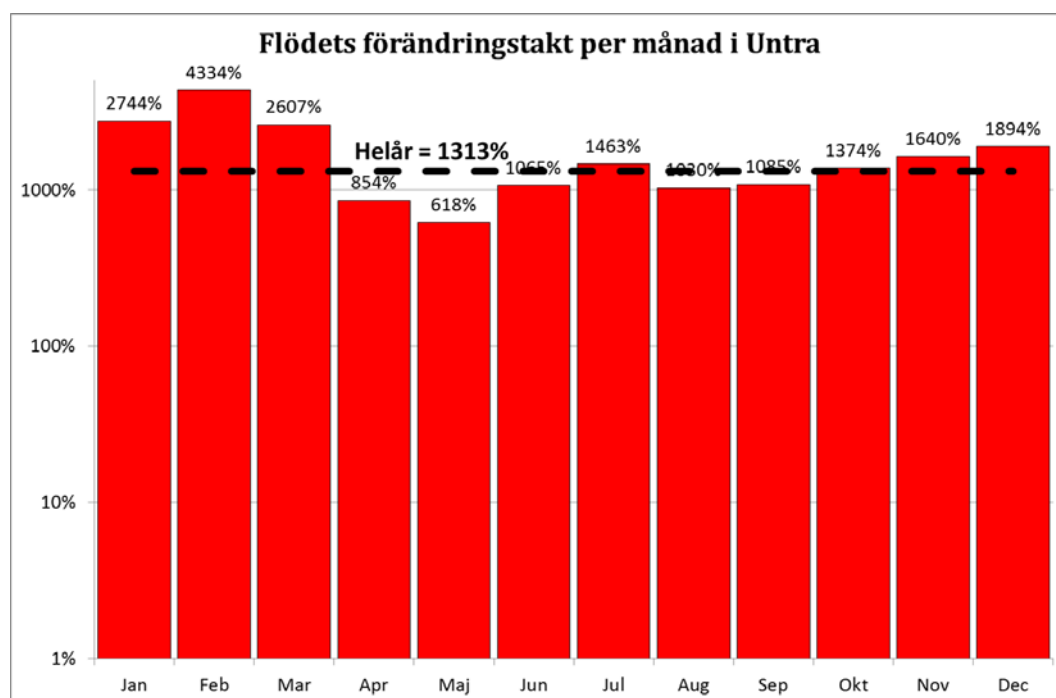
i huvudsak till att på dyggnivå förstärka och snabba upp den påbörjade regleringen för hela denna samverkande kraftverksgrupp i nedre Dalälven. Genom att nyttja Untrafjärden som korttidsmagasin möjliggörs därmed för nedströmsliggande kraftverk att göra sin effektuppgång tidigare och mer anpassat till lastbehovet. Speciellt viktigt är att få ner vatten till Älvkarleby kraftstation vid rätt tidpunkt eftersom kraftverket saknar reglerbart magasin, men har stor utbyggd effekt.

Hydromorfologiska kvalitetsfaktorer – flödets förändringstakt

Inom vattenförvaltningen bedöms vattnens ekologiska status med stöd av indikatorer och undersökningar samtidigt som normer (mål) fastställs och åtgärdsbehov identifieras. SMHI har tagit fram kvalitetsfaktorn ”Flödets förändringstakt” för att kvantitativt beskriva korttidsregleringars styrka och påverkan på den naturliga flödesdynamiken.

I Figur 67 (se ovan under ”Söderfors”) visas förändringen av denna kvalitetsfaktor längs sträckan från Söderfors kraftverk ner till Älvkarleby kraftverk. Indexet för flödets förändringstakt ökar något och indikerar dålig status längs hela denna älvsträcka.

I Figur 70 visas denna kvalitetsfaktor uppdelat på månader vilket belyser flödesförändringens storlek respektive månad i relation till (% av) den naturliga variationen. Påverkan skiljer sig inte åt mellan olika årstider.



Figur 70. Flödets förändringstakt per månad i Untra. OBS Logaritmisk skala.

Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik

I rapporten "Dalälvens naturvärden och åtgärdspotentialer" presenteras de områden i och längs Dalälven som har höga internationella och nationella naturvärden samtidigt som de är i behov av miljöåtgärder kopplat till vattenkraftens påverkan.

Före vattenkraftens utbyggnad var landskapet uppbrutet i en mängd öar i varierande storlek med tyllar, forsar och däremellan flacka strandområden som ofta översvämmades långa perioder under vårfloden och skapade de svämberoende strandnaturtyper i form av älvängar, svämlövskog och svämädellövskog som utgör grunden för områdenas höga naturvärden. Speciellt Båtforsområdet var även ett viktigt lek- och uppväxtområde för vandrande fiskbestånd. Området hyser ett stort antal arter som omfattas av art eller habitatdirektiven eller finns i rödlistan.

Vattenkraftutbyggnaden medförde en kraftigt förändrad flödesdynamik vilket påverkar området negativt. Flera fåror är idag torrlagda större delen av året och livsmiljöerna för fisk minskade dramatiskt. De minskade översvämningarna förändrar strandskogarna genom att fuktigheten minskar och genom att gran kan tränga in i svämskogen. Graninträngningen är ett symptom på att hela naturtypen håller på att förändras för att slutligen försvinna.

Innan utbyggnad var forsens vid Älvkarleby uppdelad på 3 grenar. Två av grenarna utgjorde Älvkarlebyfallen och en av grenarna, Kungsådran, var särskilt viktig för laxens vidare vandring upp i älven. Kungsådran är en kilometerlång strömsträcka, och den enda del av Dalälven där lax och havsöring kan reproducera sig naturligt. Resterande grenar är i dagsläget torrlagda.

Inom det område som påverkas av Untras reglering är följande nationellt värdefulla naturområden påverkade av års- och korttidsreglering:

- Inom området finns Båtfors och Spjutholmens naturreservat som även är N2000-områden
- Större delen av området är identifierat som särskilt värdefullt vatten och riksintresseområde för naturvården
- Hela området är skyddat för vidare utbyggnad av vattenkraften enligt Miljöbalken § 4:6

Potentiella miljöåtgärder för vattenkraftens påverkan på flödesdynamiken i dessa områden innefattar miljöanpassning av års- eller korttidsreglering.

Förutsättningarna för ekologiskt anpassad årsreglering av hela Dalälven nedströms Siljan har analyserats i rapporten 2017:09 "Ekologiskt anpassad årsreglering för Dalälven". Denna åtgärd gynnar en lång rad svämberoende

områden längs hela älven. För vissa naturfåror/kvillområden är det möjligt att genomföra lokala miljöåtgärder för att få en naturligare flödesdynamik.

Behovet av och förutsättningarna för miljöanpassad korttidsreglering behöver utredas vidare för respektive delområde av Dalälven. Lämpligen i samband med motsvarande fördjupade studier för de energiåtgärder som redovisas nedan.

Potentiella åtgärder för effektutbyggnad

I kapitlet "Produktionshöjande åtgärder i Dalälven" tidigare i denna rapport redovisas följande energiåtgärder i detta område för att öka effekten och potentialen för korttidsreglering.

- Om Söderfors och Untras korttidsregleringar samordnas så att Söderforsmagasinet svarar för de bägge kraftverkens korttidsreglering och Untra magasinet hålls på en jämn och hög nivå så kan fallförlusterna vid Untra minska och elproduktionen öka med drygt 3 GWh/år.

Oreälven: Vässinkoski - Noppikoski - Furudal:s korttidsreglering

Furudal har ett korttidsregleringsmagasin, men körs i praktiken som ett strömkraftverk. Den korttidsreglering som utförs i Noppikoski är till största del utjämnad när vattnet kommer till Furudal.

Från Skattungen till Oreälvens inlopp i Orsasjön sker ingen korttidsreglering.

Tabell 10. Oreälvens övre regleringsmagasin.

Regleringsmagasin	Regleringsamplitud Meter	Reglervolym miljoner m ³	Regleringsstrategi År / Korttid	Årsregleringsnytta GWh/år
Vässinjärvi	16,5	70	År+korttid	55
Noppjärvi	3,0	0,6	Korttid	0,4



Figur 71. Kraftverk och magasin som direkt berörs av korttidsregleringen i övre delen av Ore älv.

Dagens korttidsreglering

Vässinkoski har ett stort magasin i sjön Vässinjärvi och tappningen regleras för både korttidsreglering och säsongsreglering. Noppikoski har ett litet magasin som enbart används för korttidsreglering.

Vattenhushållningsbestämmelserna sätter ramarna för regleringen

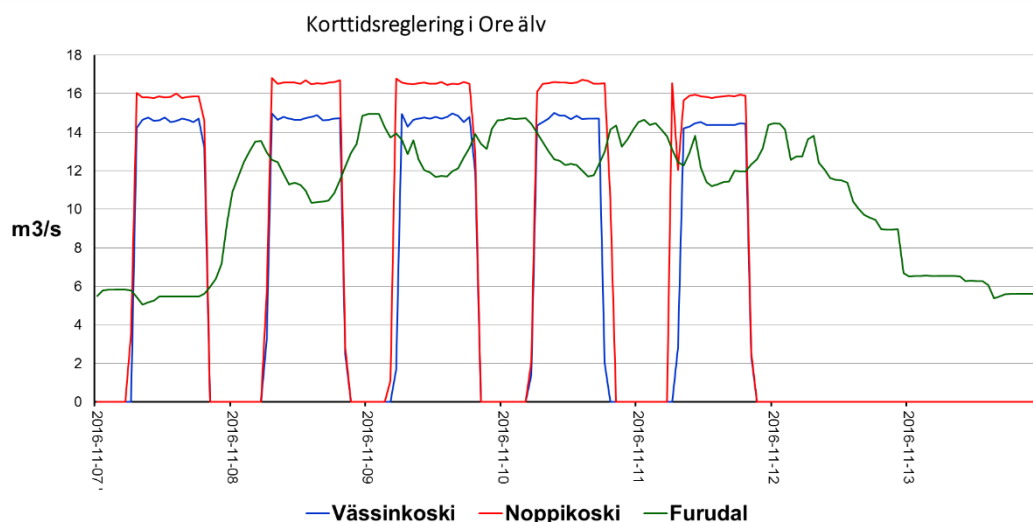
I Vässinkoski och Noppikoski får tappningen korttidsregleras mellan 0 och utbyggnadsvattenföring och nivån får variera mellan dämningssgräns och sänkningsgränser.

Korttidsregleringen i praktiken

Vässinkoski körs dagtid och antalet drifttimmar under en vecka varierar normalt mellan 50 och 100 beroende på kraftbehov och vattentillgång. Noppikoski körs några timmar ytterligare på det vatten som rinner till mellan kraftverken. Figur 72 visar tappningen en normal höstvecka.

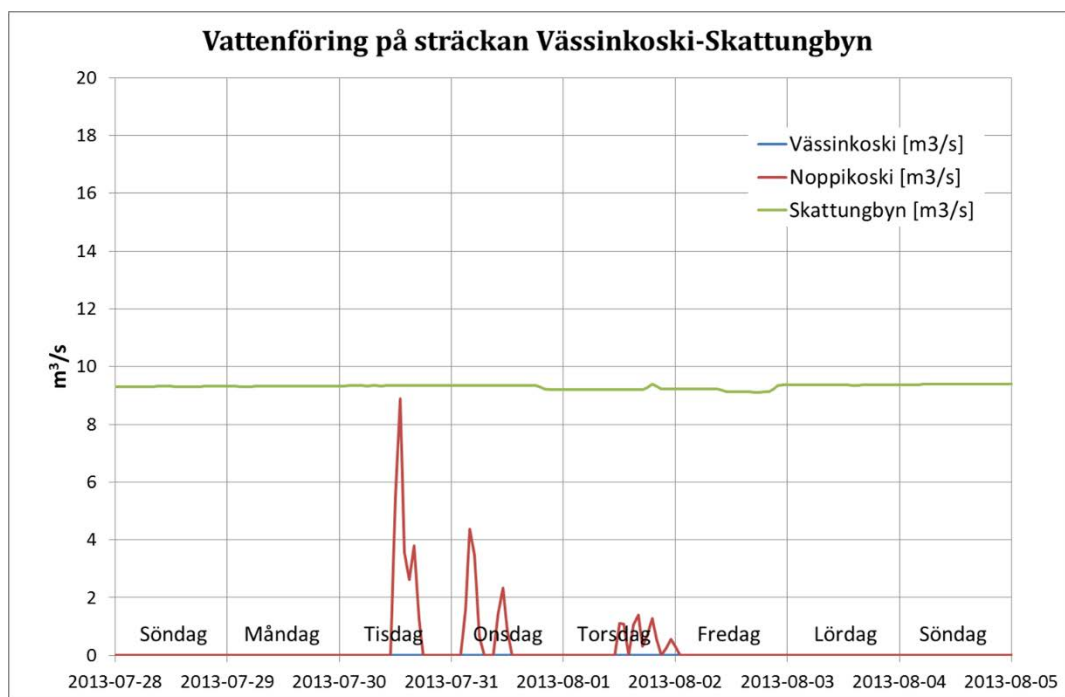
Under vårfloden körs Vässinkoski lite eller inget under tiden säsongsmagasinet fylls. Noppikoski körs då det antal timmar som den lokala tillrinningen räcker till och det varierar från några timmar till dygnet runt.

Högflödesperioder övrig tid anpassas regleringen i Vässinkoski för att minimera spilltappning från Noppikoski.

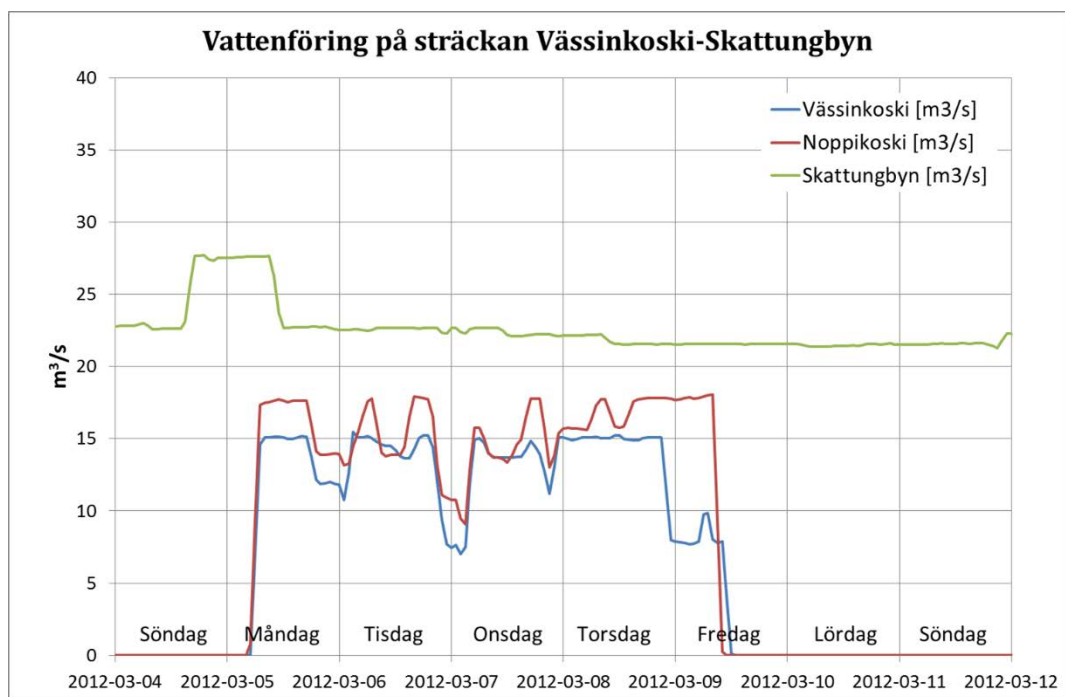


Figur 72. Korttidsreglering i Ore älv under en vecka.

Påverkan på vattenflöden och vattennivåer längs älven.



Figur 73. Vattenföringen på sträckan Vässinkoski - Skattungbyn under en vintervecka.

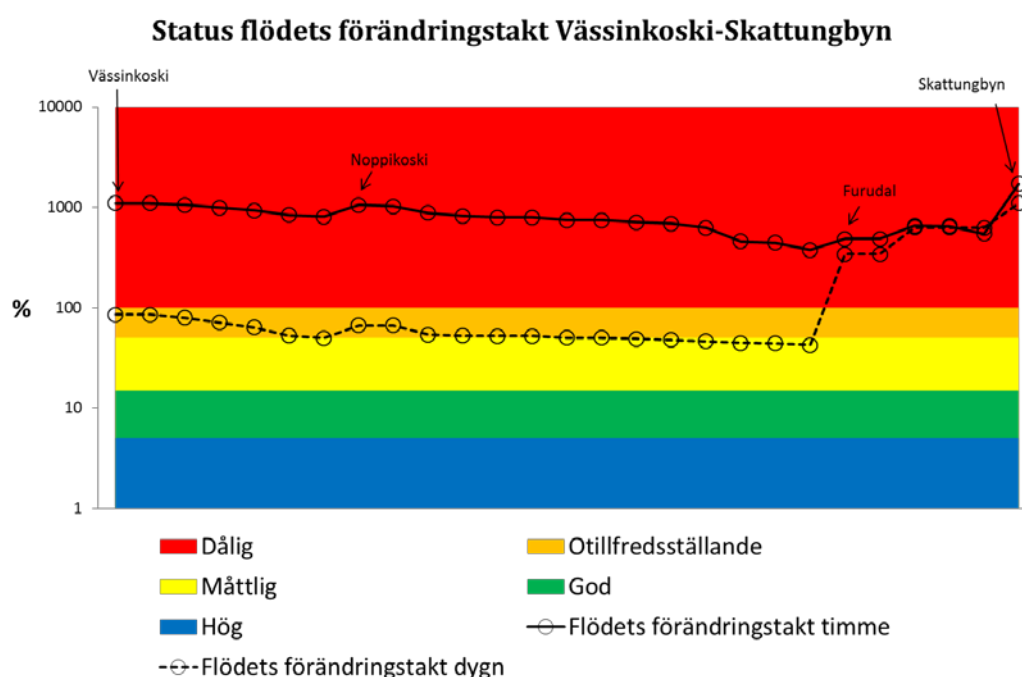


Figur 74. Vattenföringen på sträckan Vässinkoski - Skattungbyn under en sommarvecka.

Hydromorfologiska kvalitetsfaktorer – flödets förändringstakt

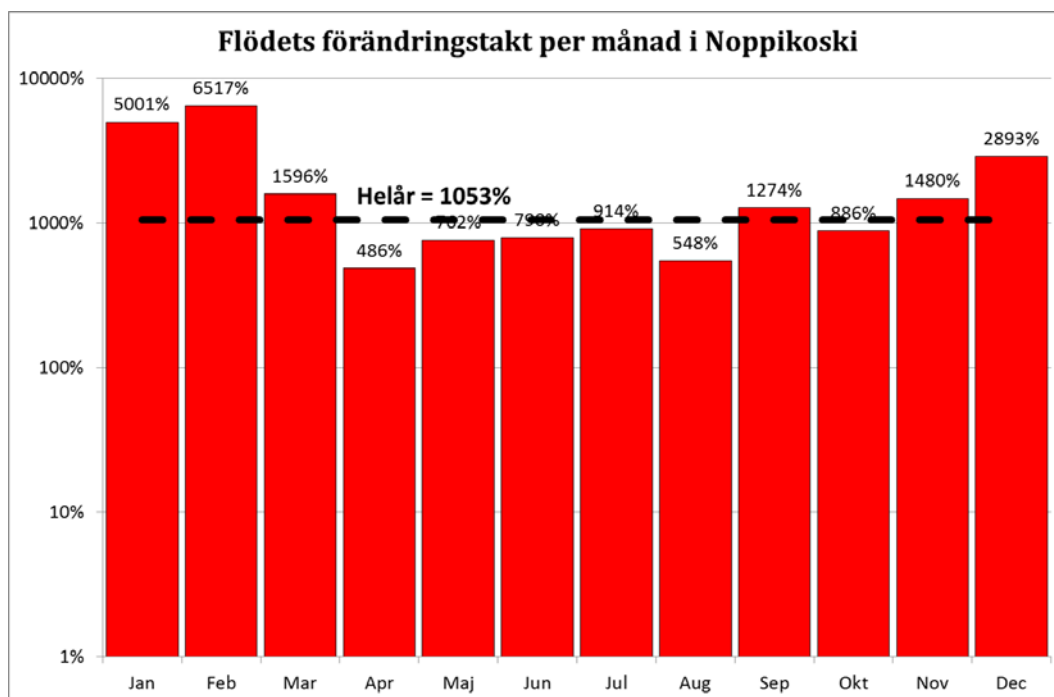
Inom vattenförvaltningen bedöms vattnens ekologiska status med stöd av indikatorer och undersökningar samtidigt som normer (mål) fastställs och åtgärdsbehov identifieras. SMHI har tagit fram kvalitetsfaktorn ”Flödets förändringstakt” för att kvantitativt beskriva korttidsregleringars styrka och påverkan på den naturliga flödesdynamiken.

I Figur 75 visas förändringen av denna kvalitetsfaktor längs sträckan från Vässinkoski kraftverk ner till Skattungbyns kraftverk. Indexet för flödets förändringstakt ligger förhållandevis stabilt och indikerar dålig status längs hela denna sträcka.



Figur 75. Flödets förändringstakt på sträckan Vässinkoski – Skattungbyn.

I Figur 76 visas denna kvalitetsfaktor uppdelat på månader vilket belyser flödesförändringens storlek respektive månad i relation till (% av) den naturliga variationen. Påverkan skiljer sig inte åt mellan olika årstider.



Figur 76. Flödets förändringstakt per månad i Noppikoski. OBS Logaritmisk skala.

Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik

I rapporten "Dalälvens naturvärden och åtgärdspotentialer" presenteras de områden i och längs Dalälven som har höga internationella och nationella naturvärden samtidigt som de är i behov av miljöåtgärder kopplat till vattenkraftens påverkan.

Före vattenkraftens utbyggnad fanns inga sjöar längs denna sträckning av Oreälven. Älvfåran gick genom ett dramatiskt landskap ställvis med branta klippsidor och flera forsar och fall. De nuvarande vattenmagasinen Vässinjärvi och Noppijärvi är alltså uppdämda och helt konstgjorda. Totalt har i storleksordningen 10 – 12 km vattendragsträcka dämmts över ner till sjön Skattungen. Naturliga översvämningar med höga vårflöden i kombination med erosionsbenägna jordar skapade arter och naturtyper som är beroende av dessa för sin överlevnad. Idag är forsarna i övre delarna av området överdämda eller rensade och det är ovanligt med långvariga våröversvämningar - medan vattennivån varierar upp och ner under dygnet på grund av korttidsreglering.

Inom det område som påverkas av Vässinkoskis och Noopikoskis reglering är följande nationellt värdefulla naturområden påverkade av års- och korttidsreglering:

- Hela övre Oreälven från Vässinkoski till och med sjön Skattungen är identifierade som värdefullt vatten och större delen är riksintresseområde för naturvården.
- Hansjööringen är identifierad som en riksintressant öringstam som tidigare kunde vandra upp ända uppströms Skattungen

Potentiella miljöåtgärder för vattenkraftens påverkan på flödesdynamiken i dessa områden innefattar miljöanpassning av års- eller korttidsreglering.

Förutsättningarna för ekologiskt anpassad årsreglering av hela Dalälven nedströms Siljan har analyserats i rapporten 2017:09 ”Ekologiskt anpassad årsreglering för Dalälven”. Denna åtgärd gynnar en lång rad svämberoende områden längs hela älven. För vissa naturfåror/kvillområden är det möjligt att genomföra lokala miljöåtgärder för att få en naturligare flödesdynamik.

Behovet av och förutsättningarna för miljöanpassad korttidsreglering behöver utredas vidare för respektive delområde av Dalälven. Lämpligen i samband med motsvarande fördjupade studier för de energiåtgärder som redovisas nedan.

Potentiella åtgärder för effektutbyggnad

I kapitlet ”Produktionshöjande åtgärder i Dalälven” tidigare i denna rapport redovisas följande energiåtgärder i detta område för att öka effekten och potentialen för korttidsreglering.

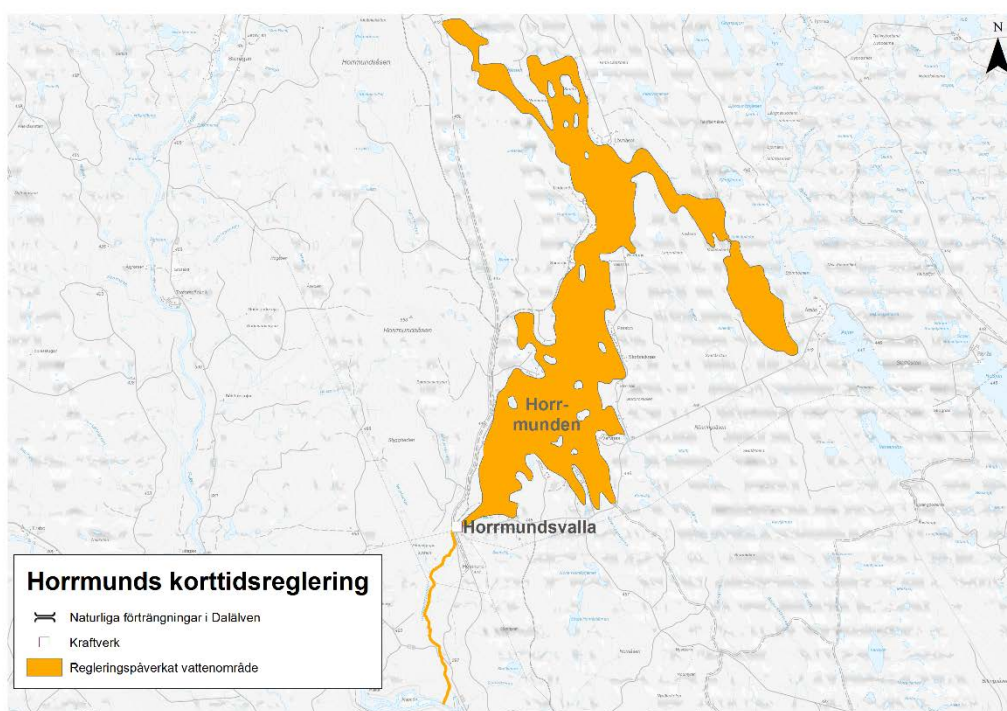
- Skattungen är idag ett årsregleringsmagasin. Om magasinet även kan användas för korttidsreglering ökas flexibiliteten och reglerbarheten i Oreälvens alla tre nedre kraftverk (Hansjö, Unnån och Skattungbyn).

Västerdalälven: Horrmund:s korttidsreglering

Horrmunds kraftverk ligger i ett biflöde till Västerdalälven och har en fallhöjd av 90 meter.

Tabell 11. Horrmunsjöns regleringsmagasin.

Regleringsmagasin	Regleringsamplitud meter	Reglervolym miljoner m ³	Regleringsstrategi År / Korttid	Energiinnehåll GWh
Horrmundsjön	2,34	26	År+Korttid	19,2



Figur 77. Kraftverk och magasin som direkt berörs av Horrmunds korttidsreglering.

Dagens korttidsreglering

Horrmundsjön används för både års- och korttidsreglering.

Vattenhushållningsbestämmelserna sätter ramarna för regleringen

Vattennivån i Horrmunsjön får fritt regleras mellan dämningssgräns och sänkningsgräns dvs totalt högst 2,34 meter. Tappningen vid Horrmunds kraftverk varierar mellan 0 och utbyggnadsvattenföringen som är 9 m³/s.

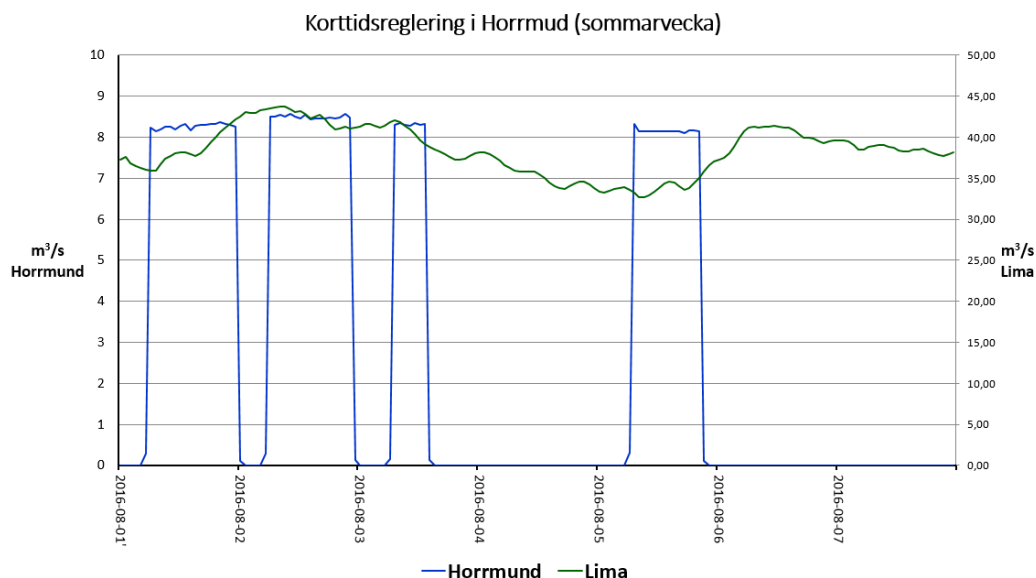
Korttidsregleringen i praktiken

Hur korttidsregleringen bedrivs i Horrmund styrs av tillgången på vatten och efterfrågan på elkraft. När det är mycket vatten i Västerdalälven tappas så

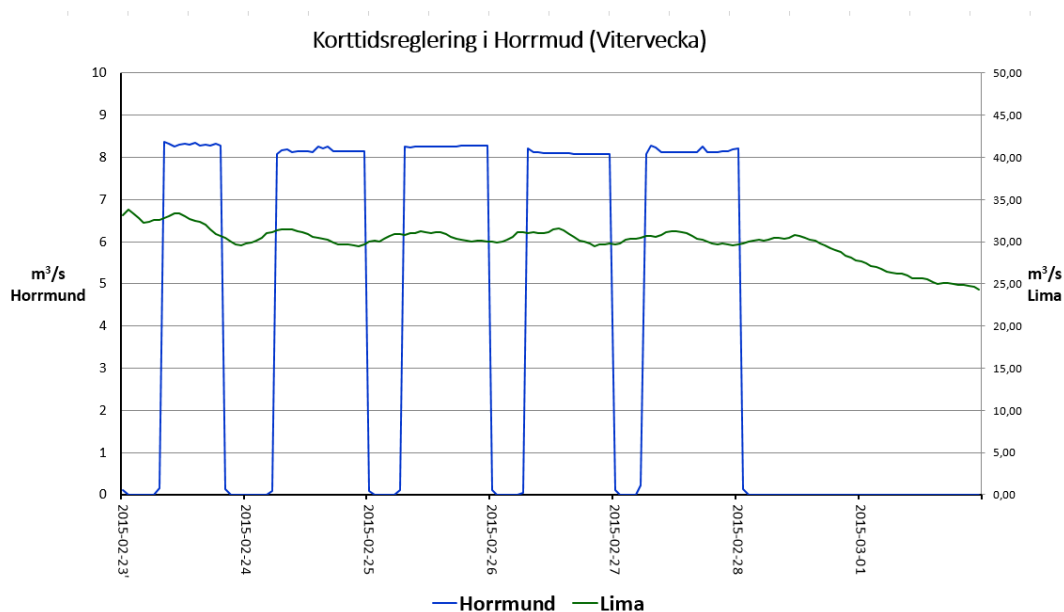
lite vatten som möjligt från Horrmund för att undvika spilltappning i kraftverken nedströms. När det å andra sidan är lite vatten i Västerdalälven och stor efterfrågan på el kan Horrmund köras dygnet runt för att öka vattenflödet i älven och därmed den samlade elproduktionen, även om det minskar det lokala reglerbidraget.

Påverkan på vattenflöden och vattennivåer längs älven.

Västerdalälven har i allmänhet ett betydligt högre vattenflöde än tappningen från Horrmund varför dess påverkan på Västerdalälvens flöde blir liten. Vid Lima kraftverk är flödesvariationen från Horrmuds korttidsreglering utdämpad och älvens flödesförändringar sker långsammare. Se Figur 78 och Figur 79 som visar exempel på hur korttidsregleringen bedrivs under en sommar respektive vintervecka samt hur det påverkar Västerdalälvens vattenflöde. Anm. Figur 79 visar en vintervecka med natt och helgstopp – men det är inte ovanligt att Horrmund vintertid körs även helg och natt med ett fåtal start och stopp under en vecka.



Figur 78. Horrmunds korttidsreglering (blå linje) under en sommarvecka och dess påverkan på vattenflödet i Västerdalälven vid Lima kraftverk (grön linje).



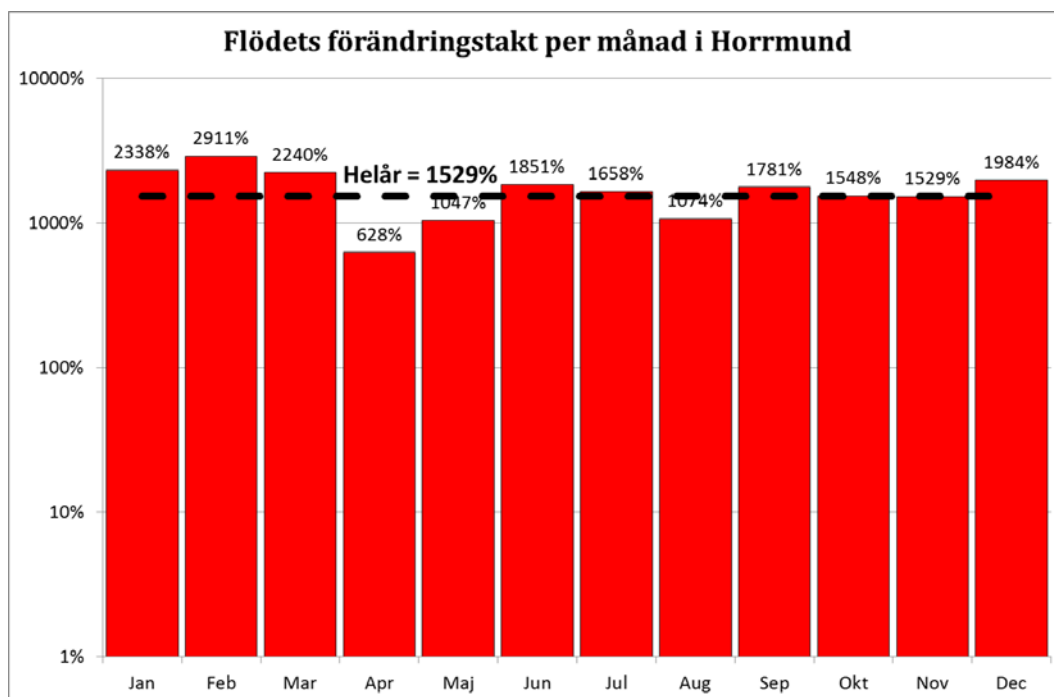
Figur 79. Horrmunds korttidsreglering (blå linje) under en vintervecka och dess påverkan på vattenflödet i Västerdalälven vid Lima kraftverk (grön linje).

Hydromorfologiska kvalitetsfaktorer – flödets förändringstakt

Inom vattenförvaltningen bedöms vattnens ekologiska status med stöd av indikatorer och undersökningar samtidigt som normer (mål) fastställs och åtgärdsbehov identifieras. SMHI har tagit fram kvalitetsfaktorn ”Flödets förändringstakt” för att kvantitativt beskriva korttidsregleringars styrka och påverkan på den naturliga flödesdynamiken.

Vattenflödet i Västerdalälven är mycket större än biflödet Horrmund varför regleringen i Horrmund får en marginell påverkan på kvalitetsfaktorn för Västerdalälvens övre lopp.

I Figur 80 visas denna kvalitetsfaktor uppdelat på månader vilket belyser flödesförändringens storlek respektive månad i relation till (% av) den naturliga variationen. Påverkan skiljer sig inte åt mellan olika årstider.



Figur 80. Flödets förändringstakt per månad i Horrmund. OBS Logaritmisk skala.

Potentiella miljöåtgärder kopplat till flödesdynamik

I rapporten ”Dalälvens naturvärden och åtgärdspotentialer” presenteras de områden i och längs Dalälven som har höga internationella och nationella naturvärden samtidigt som de är i behov av miljöåtgärder kopplat till vattenkraftens påverkan.

Inom det område som påverkas av Horrmundens reglering finns inte några identifierade nationellt värdefulla naturområden. Nedströms Horrmunden finns bland annat en 3,4 km lång torrfåra. Horrmundvalla rinner till Västerdalälven som är identifierat som nationellt särskilt värdefullt vatten, N2000-område, delvis naturreservat och riksintresseområde för naturvärden, men regleringen av Horrmunden bedöms inte påverka naturvärdet i Västerdalälven i någon större utsträckning.

Potentiella åtgärder för effektutbyggnad

I kapitlet ”Produktionshöjande åtgärder i Dalälven” tidigare i denna rapport redovisas följande energiåtgärder i detta område för att öka effekten och potentialen för korttidsreglering.

- Om magasinsnivån höjs med 1 dm så kommer det att öka elproduktionen med 1 GWh/år samtidigt som det i viss mån förbättrar möjligheterna att omfördela elproduktionen från perioder med låg till hög efterfrågan.

Bilaga 1 Ökad elproduktion genom kraftverksrenovering

I denna bilaga redovisas översiktligt hur mycket ett kraftverks elproduktion kan förbättras genom renovering och anpassning av dess olika tekniska komponenter.

Teknisk renovering av befintliga kraftverk

Vattenkraften i Sverige är till största delen utbyggd och svarar idag för nära hälften av den genererade elen. Många anläggningar faller successivt för åldersstrecket och verkningsgradshöjande åtgärder kommer in som ett naturligt inslag i förnyelseprojekten.

I vattenkraftverken finns en potential i form av effektivisering av komponenter i anläggningen. Det är främst effekthöjande och verkningsgradsförbättrande åtgärder som kan vidtas, men också optimering i stationer och älvsträckor. Mindre åtgärder t ex förbättringar av ytjämnhet och minskning av läckage ger förbättringar av verkningsgraden i storleksordningen 0,1 - 0,2 %. Byte av löphjul och löphjulsammare kan ge förbättringar på några procent.

I vissa fall kan en förändring av sugröret öka energiuttaget. En bra kombination mellan löphjul och ledskovlar ger mindre förluster och det kan finnas upp till en procent att tjäna, speciellt om fallhöjden varierar. Det är naturligtvis stor skillnad på kostnader att förlänga ett sugrör mot att jämna till några ytor. Om resultatet motsvarar kostnaderna för insatsen beror på förutsättningarna i det enskilda fallet. Ju sämre anläggning ju bättre förutsättningar att tjäna på att göra effekt- och verkningsgradshöjande åtgärder.

Turbiner och vattenvägar

I ett vattenkraftverk är vattenvägarna från intag till utlopp och det roterande systemet beroende av varandra så att åtgärder på ett ställe oftast påverkar andra delar i systemet. Därför behöver man alltid ha helhetssyn på verkningsgradsförbättrande åtgärder inom detta område.

Den dominerande delen, cirka 30 - 50 %, av förlusterna i ett vattenkraftaggregat finns i löphjulet. Dess funktion är i hög grad beroende av utformningen av spiral, stagring, ledskovlar och sugrör. Ett kaplanlöphjul består av löpskovlar, nav och löphjulsammare som måste fungera bra tillsammans. Om man byter en eller flera av dessa delar är det svårt att förutsäga resultatet utan att modellprov görs.

Ofta är det nödvändigt att även byta nav och löphjulsammare om man byter skovlar. Nya skovlar har mindre area och därmed lägre friktionsförluster. Äldre nav utfördes ofta cylindriska och med större diameter än de moderna.

Den cylindriska formen medför att det vid dellast uppstår en spalt mellan löpskovel och nav som medför att läckaget ökar och därmed försämras verkningsgraden. Ett sfäriskt nav med mindre diameter minskar dessa förluster och ger också lägre friktionsförluster p g a lägre vattenhastighet. Löphjulskammaren i äldre turbiner har ofta en strypning av 6 % medan moderna turbiner har kammare med max 4 % strypningsgrad. Den hårdare strypningsgraden anses medföra att turbinen förlorar verkningsgrad inom ett visst lastområde. Vid byte av skovlar, nav och kammare kan verkningsgradssökningar uppemot cirka 4 % nås.

Vid byte av francishjul kan en ökning av verkningsgraden fås genom moderna konstruktioner och slankare skovelprofiler. Verkningsgradsökningar på 2–3 % kan uppnås. I vissa kortidsreglerade stationer kan vinster nås genom att välja hjul där bästa verkningsgrad förskjuts mot högre flöden.

Generator

Vid såväl ombyggnad som nyinvestering ägnas idag stort intresse åt möjligheterna att optimera förlusterna hos generatorer, transformatorer och dess respektive hjälputrustningar. Genom att nyttja modern teknik för mätning och reglering kan man på olika sätt förbättra verkningsgraden.

Vid ombyggnad och nyinvesteringar försöker man alltid att optimera ventilationsluften. Mindre kylkanaler ger lägre luftmängdsbehov, vilket medger reduktion av friktionsförlusterna hos fläkten. Till åtgärderna hör normalt ombyggda kåpor och nya eller färre fläktvingar. Effektiviteten är i storleksordningen 10 - 20 % av friktionsförlusterna, vilket innebär 10 - 20 kW för en 25 MVA maskin av 50-talskonstruktion. Generatorernas kylvatten kan via värmeväxlare användas till uppvärmning av luckfalsar, personalutrymmen eller andra närliggande lokaler. Även luftkylda generatorers förluster kan nyttjas på motsvarande sätt. Ett lindningsbyte ger generellt minskade förluster. Hur mycket beror av koppararea och hur den nya och gamla lindningen är transponerad.

Statorplåt är inte orienterad på samma sätt som transformatorplåt. Flödet är här lika fördelat i plåtens alla riktningar. Det största flödet erhålles vid "tänderna" och det lägsta vid "ryggen". Flödets storlek beror av den aktuella konstruktionen men ett riktvärde kan vara 1 Tesla vid ryggen och 2 längst ut i tanden. Ny plåt i förhållande till gammal är främst en fråga om hur väl bibehållen plåten är. Kommer plåten att hålla för ytterligare en lindnings livslängd? En förlustminskning erhålls framför allt vid byte till tunnare plåt. En modern statorplåt har ett specifikt förlustvärde på ca 1 W/kg vid 1 Tesla. Motsvarande för en 50-talsmaskin är 1,5-2W/kg vilket innebär 20 - 40 kW extra förluster för en 25 MVA generator.

Transformator

Den främsta orsaken till minskade dimensioner och förluster hos en modern transformator är att hänföra till plåtutvecklingen. Orienterad kärnplåt har olika förluster beroende på flödets vinkel i förhållande till plåtens valsriktning. En modern kärnplåt har i dag ett specifikt förlustvärde på 0,25 W/kg i valsriktningen vid 1 Tesla. Förlusterna ökar ungefär kvadratisk med flödet. Induktionens storlek beror av aktuell förlustvärdering men är normalt 1,6 - 1,8 Tesla. På en äldre transformator är det framför allt förluster i kylutrustningen man kan påverka, t ex bättre styrning av fläktar och pumpar. Det finns även tekniska orsaker till att styra kylvattenflödet. Lindningarnas förspänning kan minska vid alltför stora temperaturvariationer. Detta innebär i sin tur risk för haveri vid kortslutning. Att placera nya lindningar på en gammal kärna är knappast realistiskt

Hjälputrustning

Hjälputrustningen är ofta ett bortglömt kapitel i resonemanget om verkningsgradsförbättringar. Det finns dock möjligheter att minska förlusterna i hjälputrustningen. Ökningen av anläggningens verkningsgrad blir visserligen inte så stor i procent räknat, men i gengäld brukar investeringarna vara små. Det kan vara en god affär att se över hjälputrustningen. Relativt stora energimängder används för vakhållning och uppvärmning av täckta utskovsluckor. Lägre energiåtgång kan fås genom installation av luftavfuktare, varvid temperaturen i luckan kan sänkas.

Gemensamt för all hjälputrustning är att den ger stöd åt den primära utrustningen, turbiner, generatorer etc. Det finns dock inget intresse i att den arbetar mer än nödvändigt. Därför är det viktigt att det finns en väl fungerande styrning av hjälputrustningen. Styrningen kan vara så enkel som att motorer stoppas och ventiler stängs då aggregatet stoppas. Det kan även vara mer eller mindre avancerade regleringar. Idag finns många möjligheter till energisparande regleringar via motorventiler eller varvtalsreglerade motorer. Även dimensionering av hjälputrustning påverkar förlusterna. Onödigt stora motorer, pumpar etc. ger onödigt stora förluster. Man skall inte transportera mer luft, vatten och olja än vad som behövs.

Kylsystemen i vattenkraftstationer används i första hand till att föra bort förlustenergi från generatorer och transformatorer. Hos generatorer finns de största förlusterna i plåt och lindning. På medelstora generatorer kyla vanligtvis dessa delar av cirkulerande luft, som i sin tur kyla med vatten. Även lager är ofta vattenkylda. Det enklaste sättet att få kylvatten är att ta vatten från uppströmsytan och låta en del av vattnet passera kylarna. Vid låga fallhöjder är detta ofta den bästa lösningen. Man bör dock räkna på om det är lönsamt att i stället låta allt vatten passera genom turbinen och pumpa upp det vatten som behövs för kylning från nedströmssidan. Ju högre fallhöjd desto lönsammare blir detta. Rätt ventilation i ett kraftverk kan påverka anläggningens verkningsgrad. Avloppsvärmen från kylarna kan utnyttjas till att värma lokaler mm.

Sammanfattning

Den största delen av förlusterna i ett vattenkraftverk finns i turbinen med tillhörande vattenvägar. Vid byte till ny turbin kan verkningsgraden höjas med upp till 4%, övriga åtgärder som byte av generator och hjälputrustning ger ett tillskott på delar av procent.

Vid val av turbin tas hänsyn till det enskilda kraftverkets förutsättningar. En francisturbin i fjällen går oftast på bästa verkningsgrad eller max. En kaplanturbin längre ned i älven måste hantera mer varierande flöden och fungera tillsammans med intilliggande kraftverk.

För att behålla eller öka reglerförmågan är det viktigt att turbinen kan fungera bra i ett brett körområde. Vattenhushållningsbestämmelserna tillsammans med turbinens tekniska körområde sätter gränser för hur mycket en turbin kan ökas/minskas för att möta effektbehovet.

Bilaga 2 Osäkerheter i flödets förändringstakt



2018-01-17

Niclas Hjerdt och Göran Lindström

Bilaga 2: Osäkerheter i beräkning av hydromorfologiska kvalitetsfaktorer

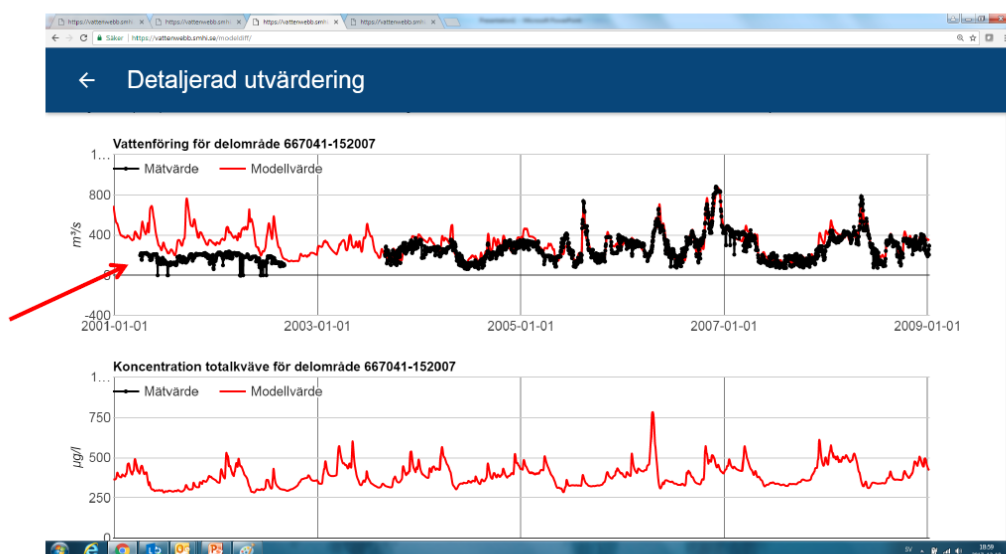
Det finns troligtvis (åtminstone) två bidragande orsaker till att parametern "flödets förändringstakt" ökar vid Näs trots att kraftverket körs som ett strömkraftverk:

1. Uppmätta flöden vid Avesta och Näs visar inte den skillnad man förväntar sig ska finnas. Ofta är vattenföringen högre i Avesta, både på kort och långt tidssteg. Under fyra av de ingående beräkningsåren är årsmedelflödet högre i Avesta, och i ytterligare ett flertal år skiljer nästan inget mellan de två platserna trots att avrinningsområdet är 2% större vid Näs. Eftersom våra modellberäkningar utgår från vattenföringen i Avesta för områden nedströms blir skillnaderna stora när man kommer till Näs där det finns en ny mätserie.
2. Det finns en möjlighet att beräkningsmodellen överdriver dämningen i den s.k. routingen genom sjöar och vattendrag. Parametrar som styr dämpningen har inte lokalt anpassats till varje sträcka eftersom det saknas mätningar för en sådan detaljerad kalibrering, utan den använder likartade kalibrering för större områden.

Det är svårt att avgöra hur stor del av problematiken som ligger i respektive punkt, men båda kan vara bidragande orsaker till problematiken. Några justeringar skulle kunna göras, t.ex. justera de uppmätta tidsserierna så flödesvolymerna matchar varandra bättre.

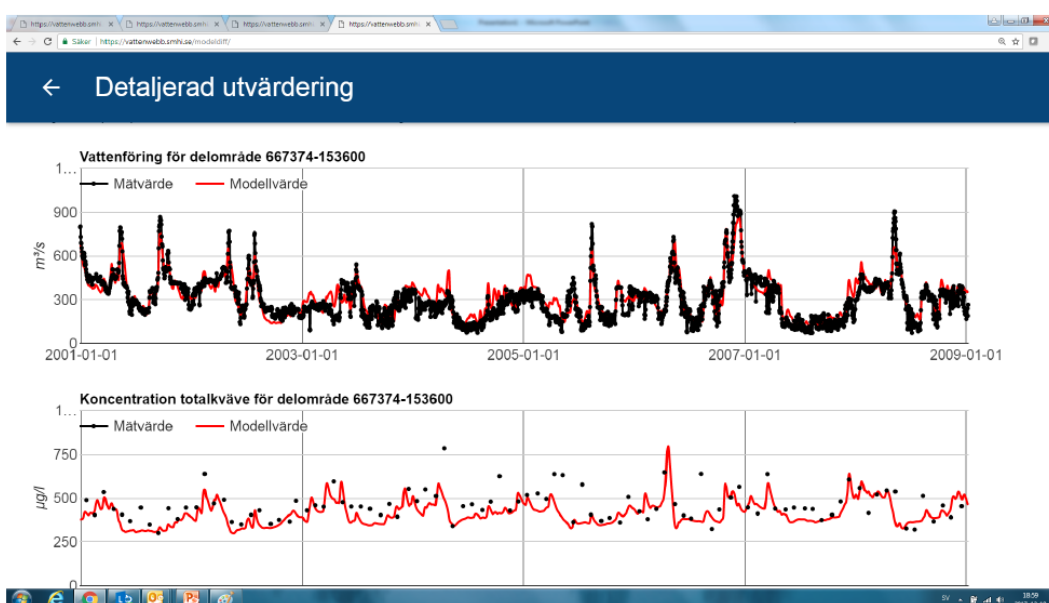
Slutsatser: Det är viktigt att kvalitetsgranska mätserierna från kraftverk, i synnerhet när det finns olika ägare och sammanställningen av flödesdata görs på olika sätt. Det är också viktigt att undersöka vidare om det finns möjlighet att lokalt kalibrera routing-funktionen i beräkningsmodellen, eller annars beakta de osäkerheter som uppstår när man använder en regionalt kalibrerad modell.

1a Avestaforsens krv, 26459 km², NSE=0.451

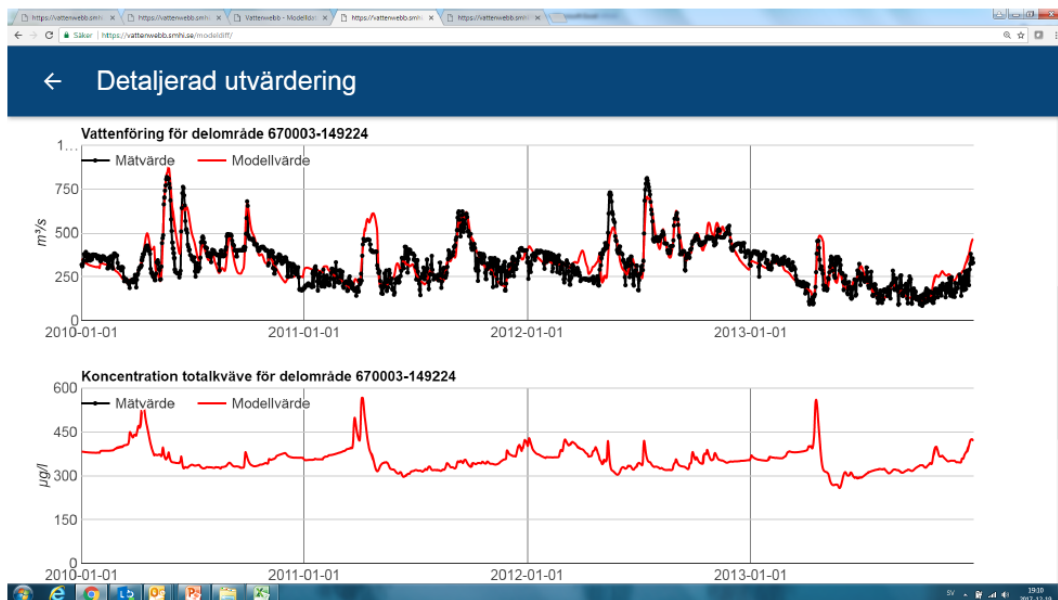


Det förefaller mycket mer sannolikt att det är fel på mätdata under åren 2000-2001 än att S-HYPE stämmer så dåligt under just dessa år just här, med tanke på att modellen stämmer bra både uppströms och nedströms (jfr Näs, strax nedströms, nästa bild)!

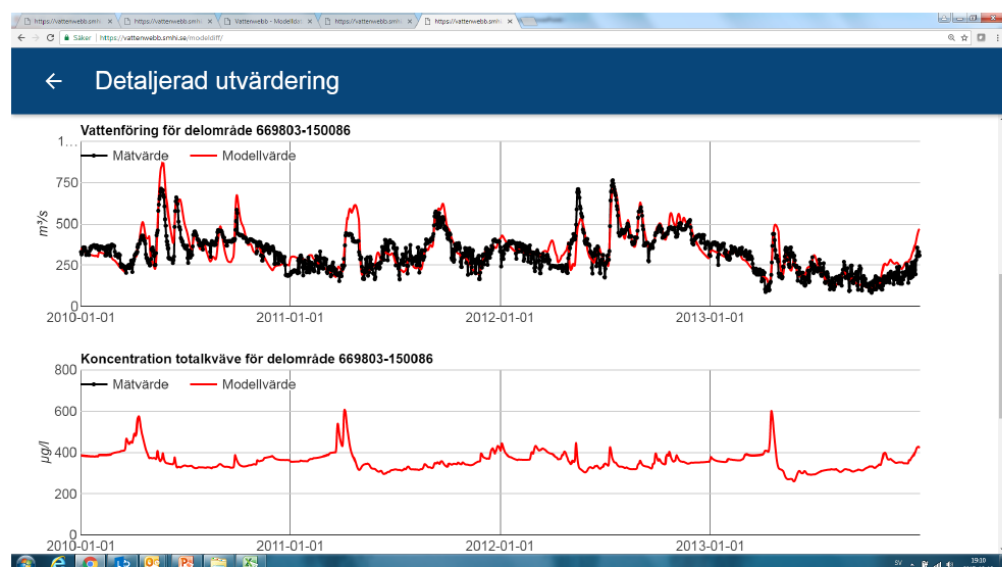
1b Näs krv, 26890 km², NSE=0.817



2a Långhags krv 25058km² NSE=0.811



2b Skedvi krv 25265 km² NSE=0.642



På den korta sträckan mellan Långhag och Skedvi händer mycket lite i S-HYPE (röd kurva). Modellen hinner helt enkelt inte räkna särskilt fel på denna korta sträcka). Däremot skiljer mätvärdena betydligt mellan stationerna, med lägre! flödestoppar nedströms. Det är Skedvi som inte passar in i det regionala mönstret, jämför NSE vid Långhag (0.811) och Skedvi (0.642)!

