



Rapportnummer: 2017:03

Dalälvens vattenkraftssystem

Energiproduktion och reglerkraftnytta samt
påverkan på vattenflöden och vattennivåer

Omslagsbild: Gråda kraftverk Foto: Stefan Sjödin, Fortum

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

Den kan även beställas från Länsstyrelsen Dalarna, telefon 010 225 00 00.

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

Rapport: 2017:03

Dalälvens vattenkraftssystem

Energiproduktion och reglerkraftnytta samt påverkan på vattenflöden och vattennivåer.

Anna Hedström-Ringvall Dalälvens vattenregleringsföretag, Claes Kjörk och Kent Pettersson
Fortum, Magnus Engström och Peter Ljung Vattenfall, Niclas Hjerdt och Lena Eriksson SMHI samt
Per-Erik Sandberg Länsstyrelsen i Dalarnas län.



Förord

Vattenkraften svarar för 40-50 % av Sveriges årliga elproduktion. Vattenkraften är, särskilt på grund av dess 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. 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 samhällets miljömål. Vattenkraften behöver anpassas för att klara aktuella miljökrav och bidra till Sveriges mål för både vattenmiljö- och energiområdet. Men bägge målen kan inte uppnås i alla vatten - det behövs en väl avvägd prioritering.

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 fått 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 avvägning av åtgärder mellan energi-, kultur- och miljövärden samt kommunicera projektets erfarenheter med nationella myndigheter och andra län/områden.
- Prioritera de åtgärder som ger störst miljönytta i förhållande till påverkan på vattenkraften – både effekt och elproduktion.

Arbetet genomförs under perioden 2015-18 i projektform med styrgrupp, projektgrupp och arbetsgrupper för olika arbetspaket.

Denna rapport ”Dalälvens vattenkraftssystem” beskriver översiktligt vattenregleringsmagasin och vattenkraftverk i Dalälvens avrinningsområde samt hur de påverkar vattenflöden och vattennivåer i sjöar och vattendrag. Fokus ligger på Dalälvens huvudflöde och hur de enskilda anläggningarna samverkar i ett samordnat vattenkraftssystem, som bidrar till att tillgodose samhällets efterfrågan på energi, som varierar sekund för sekund under hela året!

I rapporten belyses också ett antal aktuella frågor kopplat till vattenkraften som Vattenkraftens roll i Sveriges energisystem, Klimatförändringar, Dammsäkerhet och Översvämningsrisker. Dessa frågor ingår inte direkt i uppdraget att prioritera miljöåtgärder i Dalälven, men behöver i varierande grad beaktas i arbetet med att identifiera och prioritera åtgärder.

Rapporten har utarbetats av en arbetsgrupp med representanter för Vattenregleringsföretaget, Fortum, Vattenfall och SMHI under ledning av Per-Erik Sandberg Länsstyrelsen i Dalarnas län. Energiföretagen Sverige har svarat för kapitlet ”Vattenkraftens roll i energisystemet”. Flera personer på länsstyrelsen i Dalarnas län har bidragit med underlag, kartor etc. och medverkat i beskrivningen av enskilda kapitel - som översvämningsrisker och dammsäkerhet.

Rapporten Dalälvens vattenkraftssystem är en kunskapssammanställning som kommer att följas av ytterligare rapporter med fördjupade analyser av åtgärdsalternativ och prioriteringar/avvägningar mellan energi, natur och kulturvärden.

Per-Erik Sandberg

Projektledare Hållbar vattenkraft i Dalälven

Innehållsförteckning

Förord	2
Innehållsförteckning.....	4
Sammanfattning	7
Vattenkraftens roll i Sveriges elsystem.....	12
Samhällets elanvändning och elproduktion	12
Varierande behov av el under året och dygnet.....	15
Kraftsystemets uppbyggnad	17
Vattenkraftens ökade betydelse för mer övrig förnybar el	21
Dalälvens vattenkraftssystem	23
Dalälvens sjöar och vattendrag	24
Dalälvens vattenregleringsmagasin och kraftverk	29
Dalälvens årliga vattenreglering - från vårflod till vårflod	35
Dalälvens elproduktion och bidrag till reglernytta	42
Vattenkraftens generella påverkan på sjöar och vattendrag	57
Vattenkraftens påverkan på Dalälven	59
Klimatförändringens effekter	80
Översvämningsrisker	86
Dammsäkerhet	92
1 Österdalälven.....	94
Österdalälvens sjöar och vattendrag	94
Österdalälvens vattenkraftssystem	95
Vattenregleringsmagasin och kraftverk i biflöden	103
Österdalälvens totala elproduktion och reglernytta.....	104
Vattenkraftens påverkan på Österdalälven	105
Klimatförändringens effekter	111
2 Oreälven	113
Oreälvens sjöar och vattendrag.....	113
Oreälvens vattenkraftssystem.....	113
Vattenregleringsmagasin och kraftverk i biflöden	116

Ore älvs totala elproduktion och reglernytta	117
Vattenkraftens påverkan på Oreälven.....	118
Klimatförändringens effekter	121
3 Västerdalälven	122
Västerdalälvens sjöar och vattendrag	122
Västerdalälvens vattenkraftssystem	122
Vattenregleringsmagasin och kraftverk i biflöden	124
Västerdalälvens totala elproduktion och reglernytta	127
Vattenkraftens påverkan på Västerdalälven	128
Klimatförändringens effekter	131
4 Runns tillflöden	133
Runns tillflöden - sjöar och vattendrag	133
Runns tillflöden - vattenkraftssystemet.....	133
Vattenregleringsmagasin och kraftverk i biflöden	137
Runns tillflödens totala elproduktion och reglernytta	138
Vattenkraftens påverkan på Runns tillflöden	139
Klimatförändringens effekter	141
5 Mellersta Dalälven	143
Mellersta Dalälvens sjöar och vattendrag.....	143
Mellersta Dalälvens vattenkraftssystem.....	143
Vattenregleringsmagasin och kraftverk i biflöden	150
Mellersta Dalälvens totala elproduktion och reglernytta	151
Vattenkraftens påverkan på Mellersta Dalälven.....	151
Klimatförändringens effekter	154
6 Nedre Dalälven	156
Nedre Dalälvens sjöar och vattendrag.....	156
Nedre Dalälvens vattenkraftssystem.....	156
Vattenregleringsmagasin och kraftverk i biflöden	162
Nedre Dalälvens totala elproduktion och reglernytta.....	162
Vattenkraftens påverkan på Nedre Dalälven.....	163
Klimatförändringens effekter	166

Ordförklaringar	168
------------------------------	------------

Bilaga 1: Osäkerheter i statusklassning	174
--	------------

1 Osäkerheter i mätdata och/eller modeller	175
---	------------

2 Mätdata med olika tidsupplösning.....	176
--	------------

3 Osäkerheter i beskrivningen av säsongregleringar	179
---	------------

4 Osäkerheter kring referensförhållandet.....	180
--	------------

Sammanfattning

Dalälven är Sveriges sjunde största älv, med ett medelvattenflöde på ca 350 m³/sekund vid utloppet i havet nedströms Älvkarleby. Uppströms Borlänge förgrenas Dalälven i Öster- och Västerdalälven med källflöden i Idre- respektive Sälenfjällen. Siljan är älvens till ytan sett största sjö.

Naturgivna förutsättningar

Naturen och klimatet förändras påtagligt från Dalälvens källor till havet; fjällområden i norr, vidsträckta barrskogsområden i mellersta delarna av området och jordbruksbygd längs älven i söder. Bebyggelsen är koncentrerad utefter Dalälven, som i årtusenden varit en livsnerv för samhällets utveckling.

Vid inlandsisens avsmältning för 7 000 år sedan fylldes Dalälvens ursprungliga fåra (från Avesta till Mälaren) igen med sand och grus. Älven sökte sig ett nytt lopp mot havet, nordost över slättlandskapet, och det bildades nya unika naturtyper, både i och omkring Nedre Dalälven. Området genomkorsas dessutom av klimatgränsen "Limes norrlandicus" som gör att artrikedomen blir särskilt hög när växt- och djursamhällen från norr och söder möts.

Vattenkraftens historiska betydelse

Sedan medeltiden har vi med hjälp av vattenhjul omvandlat vattnets lägesenergi till mekanisk kraft för kvarnar, sågar och inte minst järn- och kopparproduktion. Eftersom mekanisk kraft inte kan flyttas längre sträckor fick malm, kol och timmer fraktas till vattendragens forsar. Än idag ligger många industrier kvar vid de nu med vattenkraft utbyggda forsarna. Sjöar har i århundraden reglerats för att spara vatten och säkra driften av vattenhjulen under torrperioder och under senare tid även för flottningens behov. Dalälven har varit Sveriges både första och största flottled till dess att flottningen avvecklades år 1970.

I slutet av 1800-talet utvecklades dagens vattenkraftsteknik, dvs att via turbiner och generatorer utvinna elektricitet som kan transporteras i högspänningsnät. Samhällets elektrifiering blev en drivkraft för byggande av flera hundra små vattenkraftverk i Dalälven och dess biflöden, med tillhörande lokala distributionsnät. Verksamheten drevs ofta i föreningsform eller som aktiebolag med både företag och enskilda andelsägare. Under hela 1900-talet har kraftverk och distributionsnät succesivt byggts samman och ingår nu i Sveriges gemensamma elsystem.

Stora Kopparbergs Bergslags AB var, som ägare till stora industrier utefter Dalälven, drivande för utbyggnaden av vattenkraften och Dalälvens vattenreglering. STORA sålde år 2000 sitt kraftinnehav till Fortum som idag äger huvuddelen av Dalälvens större kraftverk och elproduktion. Vattenfall har tre stora kraftverk i Nedre Dalälven, bland annat Älvkarleby. Flera

kommuner äger små kraftverk eller andelar i större kraftverk, ofta genom sina elbolag. I Dalälvens biflöden finns ett femtiotal mindre kraftverk som ägs av enskilda eller småföretag.

Dalälvens vattenkraft i Sveriges elsystem

El är en högkvalitativ energiform som har många skilda användningsområden vars elbehov varierar under år, vecka och dygn; belysning behövs mest vintertid och på kvällar, värme behövs främst under vintern, kylbehovet är störst sommartid osv.

Vattenkraften svarar för 40-50 % av Sveriges totala elproduktion och har en central funktion som reglerkraft. Genom att anpassa vattenflödet genom turbinerna kan vattenkraften snabbt öka eller minska elproduktionen i förhållande till samhällets varierande elbehov. Vattenkraften balanserar även elproduktionen från energislag med svårstyrd produktionsförmåga.

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

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 kartbilderna i figur 11 och 12. Huvuddelen av fallhöjden från Trängslet till Älvkarleby är utbyggd (372 av totalt 423 meter).

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 utbyggnadsvattenföring på 400-500 m³/s. Siljans reglering stöds i sin tur av regleringen av Trängslet och i viss mån de mindre magasinerna i Oreälven.

Trängslet har en kraftfull korttidsreglering, men flödesvariationen återregleras i den nedströms liggande Åsendammen för att dämpa variationen och ge en lågvattenföring på 21 m³/s, vilket är när naturlig nivå. Minimiflödet från Siljan är 25 m³/s. Lågvattenflödena i Dalälven nedströms Västerdalälven ligger på naturlig nivå (ca 65 m³/s). Siljan korttidsregleras för att öka reglernytan i de nedströms liggande kraftverken. Långhag och Söderfors bidrar ytterligare till älvens korttidsreglering.

Nytan av dammar och vattenflödesförändringar står ofta i proportion till påverkan på de naturliga flödena, biotoperna och den biologiska mångfalden. Faktaunderlag för energinytta och miljöpåverkan kan således användas integrerat i analys, värdering och prioritering.

Dalälvens elproduktion

Dalälvens samlade elproduktion, installerad effekt och regleringsvolym - uppdelat på huvudflöde och biflöden i älvens sex delområden framgår av nedanstående tabell.

I huvudflödet finns totalt 47 större kraftverk och i älven biflöden totalt 84 små och medelstora kraftverk. De större kraftverken i huvudflödet svarar för huvuddelen av Dalälvens elproduktion på närmare 5 TWh/år. Kraftverken i Österdalälven, Mellersta Dalälven och Nedre Dalälven svarar för över 80 % av denna produktion. Dalälven bidrar med ca 8 % av Sveriges totala vattenkraftsproduktion som är ca 65 TWh/år.

	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

Dalälvens reglerkraftsnytta

Vattenregleringar syftar dels till att minska spillet förbi turbinerna genom att spara vatten i magasin från tidsperioder med mycket nederbörd till torrperioder och dels till att omfördela elproduktionen från tidsperioder med liten efterfrågan till tidpunkter med hög efterfrågan. I praktiken innebär det både årsregleringar för att spara vatten från vårfloden till nästa vinter och korttidsregleringar med snabba, ibland momentana, flödesförändringar.

Dalälvens största vattenregleringsvolymerna finns i Österdalälven (Trängslet och Siljan) och en handfull andra magasin som Runn, Venjansjön och Amungen. Dessa magasin möjliggör års- och korttidsreglering för de nedströms liggande kraftverken - ända ner till Älvkarleby.

Dalälvens reglerkraftsnytta har värderats med utgångspunkt från nedanstående perspektiv. Notera att denna analys samtidigt identifierar vilka regleringsmagasin och kraftverk som orsakar en kraftig modifiering av Dalälvens naturliga vattenflödesdynamik.

- Vattenregleringsmagasinens energi- och reglerkraftsnytta.
- Driftstrategier för magasinerna och kraftverk – ett produktionsperspektiv.
- Ekonomiskt mervärde – ett företagsekonomiskt perspektiv.
- Relativt reglerbidrag – ett energisystemperspektiv.
- Hydromorfologisk påverkan – ett vattenvårdsperspektiv.

Trängslet är Dalälvens enskilt viktigaste regleringsmagasin och kraftverk. Regleringsvolymen är 880 miljoner m³, fallhöjden 142 meter och den årliga elproduktionen 650 GWh. De fyra kraftverken nedströms Trängslet i Österdalälven följer Trängslets årsreglering och har också ett högt reglervärde. Siljan med en regleringsvolym på 660 miljoner m³ är hjärtat i Dalälvens vattenkraftssystem och ökar reglerkraftsvärdet för alla 14 nedströms liggande större kraftverk ner till Älvkarleby.

Påverkan på sjöar och vattendrag samt strandmiljöer

Dammar och vattenreglering förändrar vattnets fysiska förutsättningar. Dammar är vandringshinder. Magasin dämmer över tidigare strömbiotoper. Forsar har rensats bort för att vinna fallhöjd. I Dalälven är 32 km av den tidigare älvfåran ”torrfåror”. I Nedre Dalälven är kvillsystem, som Båtfors, till stor del torrlagda med en låg minimitappning.

Regleringarna förändrar flödesdynamiken under året och ger högre vinterflöden, lägre vårflooder och snabba korrtidsförändringar. Inom Hållbar vattenkraft i Dalälven har SMHI:s flödesmodell S-HYPE uppdaterats med nya regleringsrutiner för 83 magasin. Historiska dataserier för flöden med timupplösning har sammanställt för ett 40-tal större kraftverk. SMHI har också utvecklat en ny beräkningsmetod för att belysa korttidsregleringens effekter.

Inom vattenförvaltningen bedöms vattnets ekologiska status med stöd av indikatorer och undersökningar samtidigt som normer (mål) fastställs och åtgärdsbehov identifieras. Med hjälp av S-HYPE kan regleringars påverkan på den naturliga flödesdynamiken modelleras för dels årsreglering (Kvalitetsfaktorn ”Volymsavvikelse”) och dels för korttidsreglering (Kvalitetsfaktorn ”Flödets förändringstakt”). Beräkningarna baseras enligt föreskrifter från Havs och Vattenmyndigheten på dygnsmedelflöden.

Dygnsmedelflöden jämnar dock ut korttidsregleringens flödesvariationer vilka i hög grad påverkar förutsättningar för vattnens djur och växter. Mot den bakgrunden har de bägge kvalitetsfaktorerna beräknats för Dalälven baserat på både dygns- och timvärden. Utifrån dessa beräkningar har sedan vattnets status klassat för kvalitetsfaktorerna ”volymsavvikelse” och ”flödets förändringstakt” samt den sammanvägda statusen.

Nedströms de större årsregleringsmagasinen ökar vattenflödena påtagligt under vintern och minskar i motsvarande grad under våren. Kvalitetsfaktorn ”Volymsavvikelse” visar då på en tydlig förändring för alla delområdens huvudflöden, fränsett Västerdalälven. Denna kvalitetsfaktor indikerar måttlig status i hela Dalälvens huvudflöde nedströms Öster- och Västerdalälvens sammanflöde och otillfredsställande status nedströms större regleringsmagasin i övriga delområden.

Nedströms regleringsmagasin och kraftverk som korttidsregleras varierar vattenflödet med någon timmes mellanrum. I t.ex. Gråda varierar

tappningarna ofta mellan 50 och 250 m³/s. Kvalitetsfaktorn ”Flödets förändringstakt” visar då en kraftig påverkan framför allt när beräkningarna baseras på timvärden. Baserat på denna kvalitetsfaktor blir statusen dålig eller otillfredsställande i hela Dalälven från Trängslet till Älvkarleby (frånsett vattnen kring Gysinge) samt i Oreälven. I Västerdalälven och Runns tillflöden är korttidsregleringen liten.

Klimatförändringar

Årsmedeltemperaturen kommer att öka drygt två grader och ännu mer vintertid fram till nästa sekel, enligt SMHI:s regionala klimatanalyser. Samtidigt ökar nederbörden - mest vintertid i norr där den allt oftare faller som regn istället för snö. Dalälvens vattenflöde kommer att öka höst och vinter, vårfloden kommer tidigare och sommarens lågvatten likaså.

Klimatförändringarna i sig bedöms ge samma flödesförändringar i Nedre Dalälven som vattenkraftens nuvarande årsregleringar, dvs. lägre vårflöden och högre vinterflöden. Det skulle i praktiken ge samma effekt som ett nytt större årsregleringsmagasin i fjällen och ge än mer ogynnsam flödesdynamik för Dalälvens unika svämskogar vilka är beroende av långvariga vårfloder.

Översvämningsrisker

Magasinens årsregleringar minskar antalet och omfattningen av medelhöga vårflöden eftersom en stor del av vårens smältvatten samlas upp och sparas till nästa vinter. Magasinen har dock inte tillräckligt lagringsutrymme för att förhindra översvämningsrisker vid extremt höga vårflöden.

Under sommar och höst kan de stora sjöregleringsmagasinen tvärt om öka risken för översvämningsrisker eftersom de då redan är fyllda med vatten. Vattennivån i oreglerade sjöar är ofta lägre sommartid och sjöarna kan då vid extrema regn magasinera och dämpa vattenflödet ut från sjöarna.

Dalälven har drabbats av flera översvämningsrisker det senaste århundradet. Den mest omfattande var 1916 då vårfloden i Långhag ”toppade” på över 2 400 m³/s i mitten av maj.

Dalälvens mest översvämningskänsliga områden ligger utmed den nästan oreglerade Västerdalälven där vårflödena ibland blir extremt höga samt vid Svärdsjövattendraget och Faluån med flera årsreglerade sjöar där översvämningsrisker oftare inträffar under sommarperioden. Gysinge och Söderfors är de känsligaste områdena i Nedre Dalälven.

Dammsäkerhet

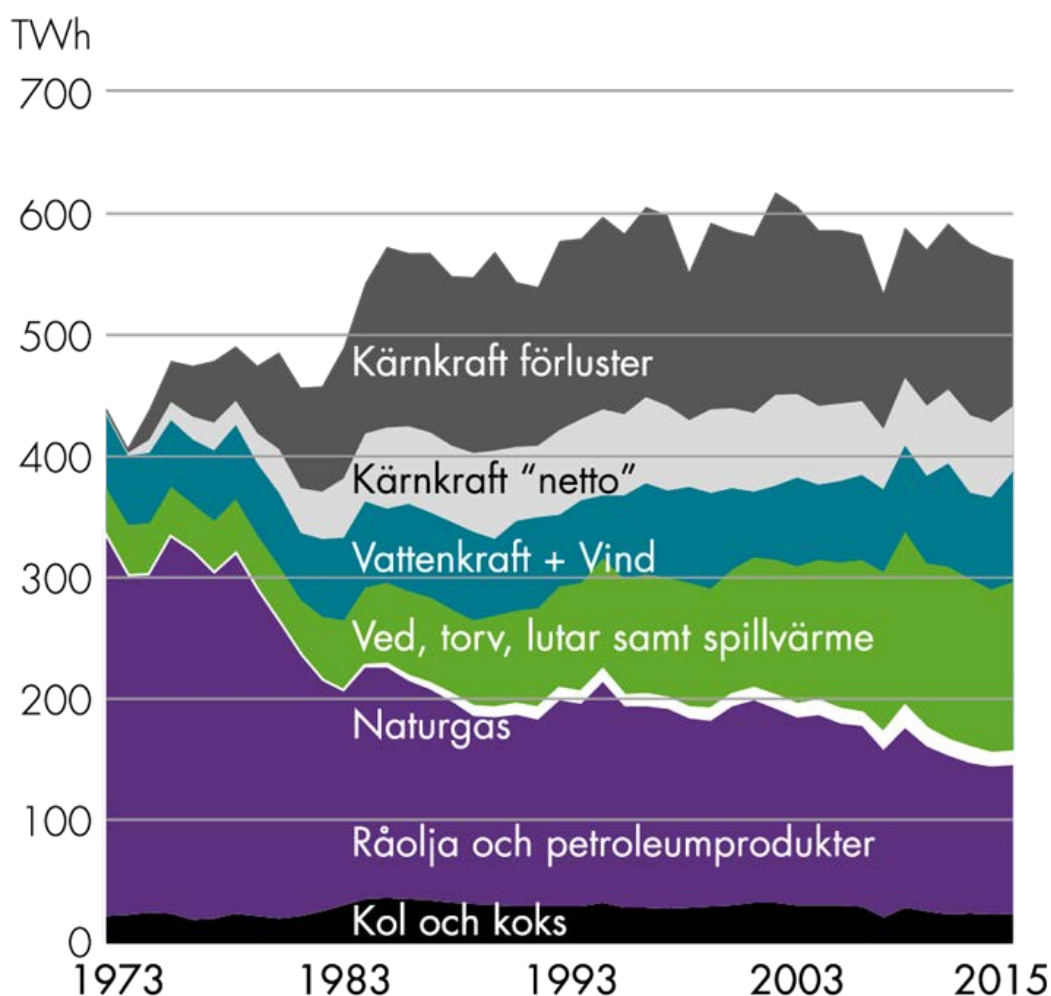
Dammägare ansvarar för underhåll, skadeförebyggande åtgärder och de skador som kan uppstå vid ett eventuellt dammbrott. En konsekvensutredning ska tas fram för alla större dammar för att visa hur dammbrott kan uppstå och förebyggas samt vilka effekter ett dammhaveri kan orsaka. Länsstyrelsen beslutar om dammsäkerhetsklass och utövar tillsyn.

Vattenkraftens roll i Sveriges elsystem

Vattenkraften svarar för en stor andel av Sveriges elförsörjning och har samtidigt en central funktion i att balansera elsystemet.

Samhällets elanvändning och elproduktion

I detta inledande avsnitt ges en översiktlig bild av hur samhällets elanvändning och elproduktion förändrats de senaste årtiondena.



Figur 1. Sveriges totala energitillförsel (TWh).

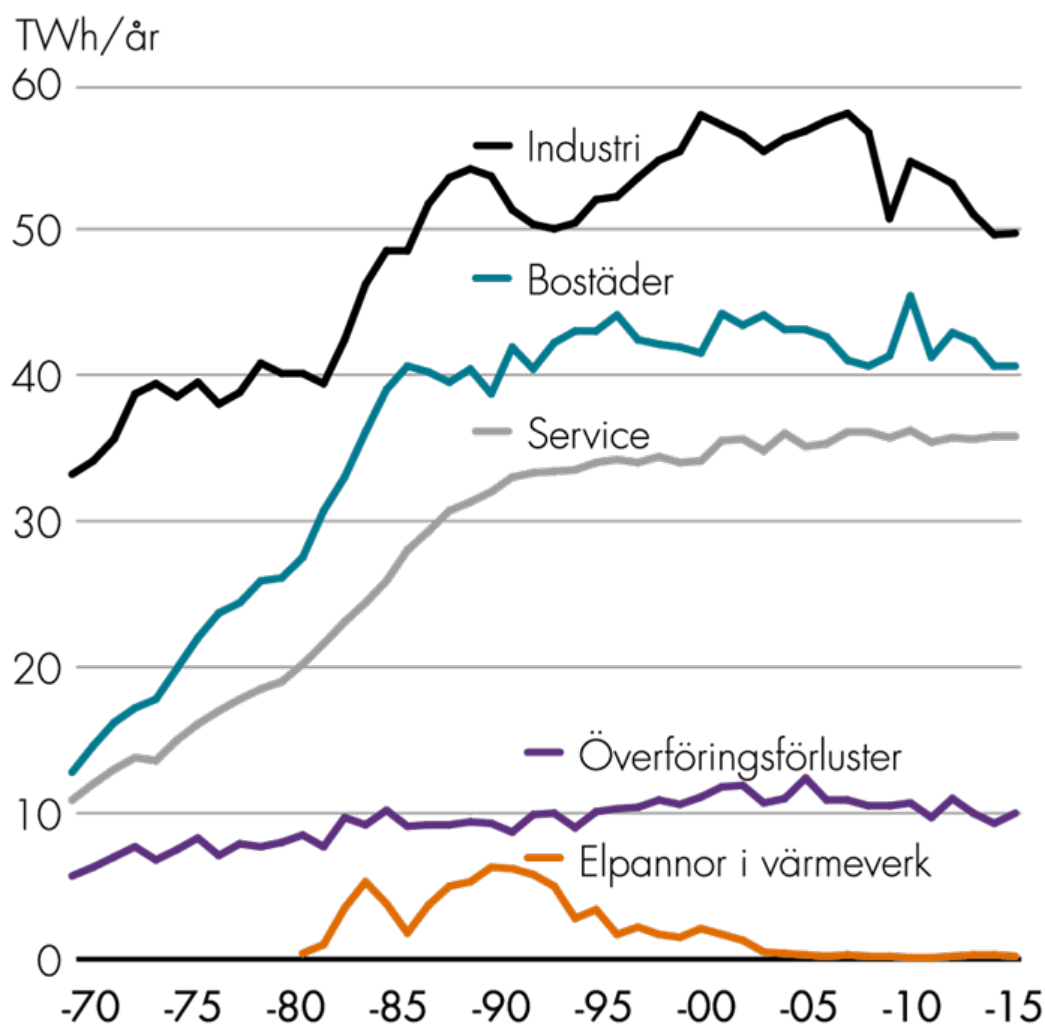
Sveriges energiförsörjning

Energiförsörjningen i Sverige har förändrats över tiden. Den totala energianvändningen har legat på samma nivå sedan början av 1980-talet. Vattenkraften byggdes ut från slutet av 1800-talet till runt år 1980. Sedan dess har de största förändringarna skett i och med kärnkraftens utbyggnad från början av 1970-talet till mitten av 1980-talet och den ökade

användningen av bibränslen. Samtidigt har användningen av fossila bränslen minskat (se figur 1).

Elanvändningens utveckling inom olika sektorer

Vi använder 135–150 TWh el varje år i Sverige. Det utgör 35–40 % av Sveriges totala energianvändning (förluster borträknade). Elanvändningen ökade starkt i flera sektorer fram till mitten av 1980-talet, men har de senaste årtiondena legat på samma nivå. Utvecklingen i TWh inom olika användningsområden framgår av figur 2.



Figur 2. Elanvändningens utveckling 1970–2015 för respektive användningsområden (TWh/år).

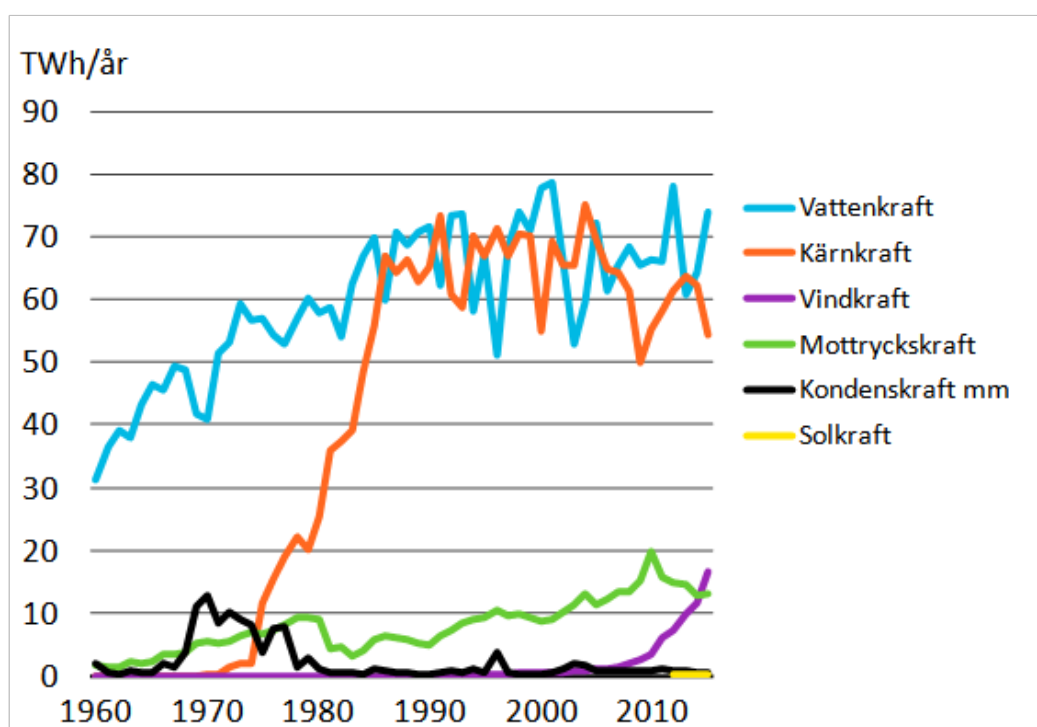
Industrin har sedan 1970-talet kraftigt minskat sin användning av fossila bränslen till förmån för mer el. En lågkonjunktur i början av 1990-talet fick

elanvändningen i industrin att minska. Finanskrisen år 2008 återspeglas också i minskad elanvändning.

Övriga användningsområden har också ökat sin elanvändning men visar en minskad takt från mitten av 1980-talet. Fram till dess hade till exempel ett stort antal oljeeldade pannor i småhus konverterats till elvärme. Vår ökade användning av digital teknik och större bostadsytor gör att elanvändningen fortfarande ökar i bostadssektorn, dock i minskad takt. Vi använder fler apparater men eftersom de samtidigt blir effektivare dämpar det ökningstakten.

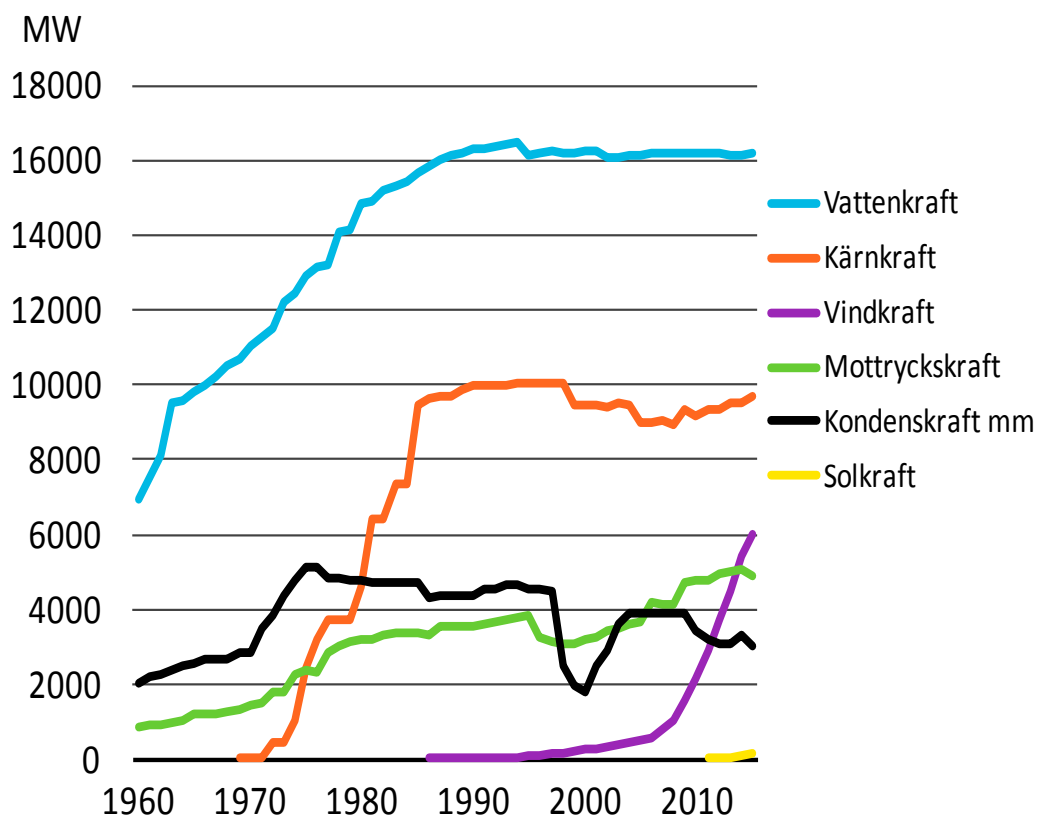
Sveriges elproduktion

Sveriges elproduktion har utvecklats enligt figur 3. Här framgår hur vattenkraften fram till 1980-talet byggts ut till dagens medelproduktion på 65,5 TWh per år. Produktionen respektive år varierar med vattentillrinningen, man talar om våtår och torrår som ytterlighetsfall. Två stängda reaktorer i Barsebäck och långa driftsstopp på grund av reinvesteringar, har de senaste åren minskat kärnkraftens produktion. Vindkraften är det kraftslag som ökat mest de senaste åren och är nu tredje största producent, följd av kraftvärmen som främst använder biobränslen. Övrig kondenskraft som främst är fossilbränsleeldad har en mycket marginell produktion, främst vid driftstörningar eller sträng kyla. Solenergin är växande men har än så länge låg produktion.



Figur 3. Utvecklingen av olika kraftslag i Sverige (energi, TWh).

Figur 4 visar den installerade effekten för respektive kraftslag. För vattenkraften gäller erfarenhetsmässigt att den maximala samtidiga effekten är cirka 14 000 MW. Att jämföra med kärnkraften som har en maximal effekt runt 9 000 MW. Detta gäller för effekt medan energiproduktion är ganska jämbördig, se figur 3. Av detta kan man dra slutsatsen att vattenkraften har en betydligt större möjlighet att variera sin produktion. Vattenkraften varierar under året från 2 500 till knappa 14 000 MW. Kärnkraften är konstruerad för att köra anläggningen på högsta effekt. Ser man på alla kraftslag så har de olika karaktärer vissa är bra på effekt medan andra energi och blandning ger bättre förutsättningar att ge ett leveranssäkert system



Figur 4. Utvecklingen av olika kraftslag i Sverige (effekt, MW).

Varierande behov av el under året och dygnet

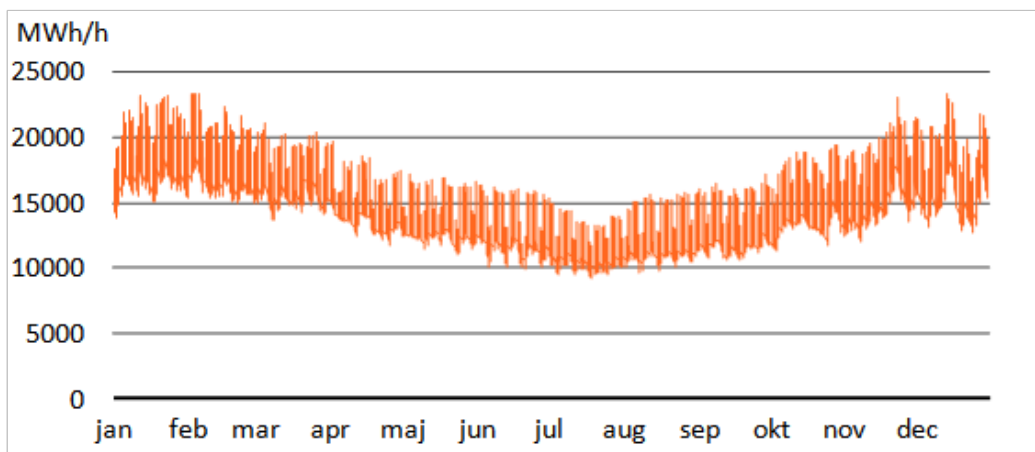
Samhällets elanvändning och därmed behovet av elproduktion varierar under dygnet och mellan olika årstider.

Elanvändningens variation över året

Elanvändningen varierar mellan årets månader. Figur 4 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 vintertid) som sommartid (ca 8 000 MWh/h). Det innebär också att det behöver produceras tre gånger så mycket el vintertid. Den mängd el som produceras per tidsenhet kallas effekt och mäts i watt (W). Figur 5 visar hur effektbehovet i MW (Megawatt) varierar över årets alla timmar.

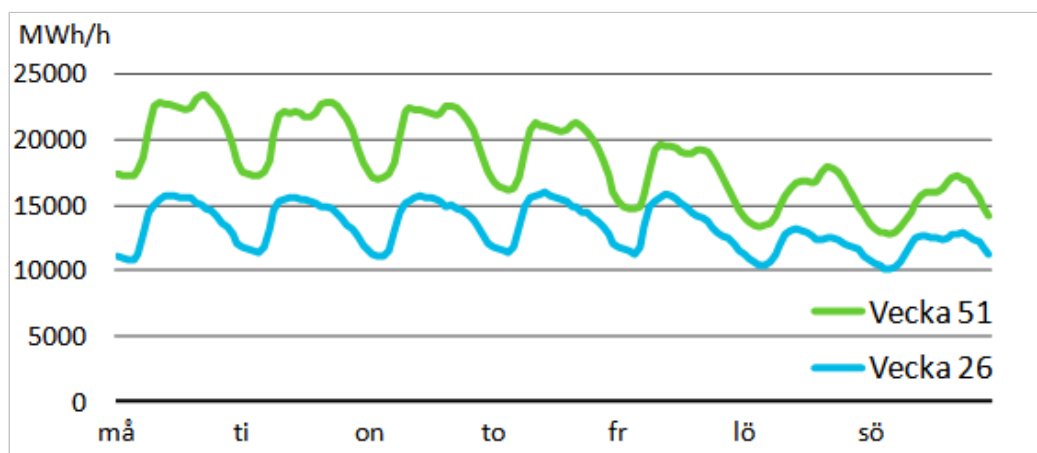


Figur 5. Sveriges totala elanvändning över årets alla timmar (MWh/h).

Vecko- och dygnsvariation i elanvändningen

I figur 6 redovisas två 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.

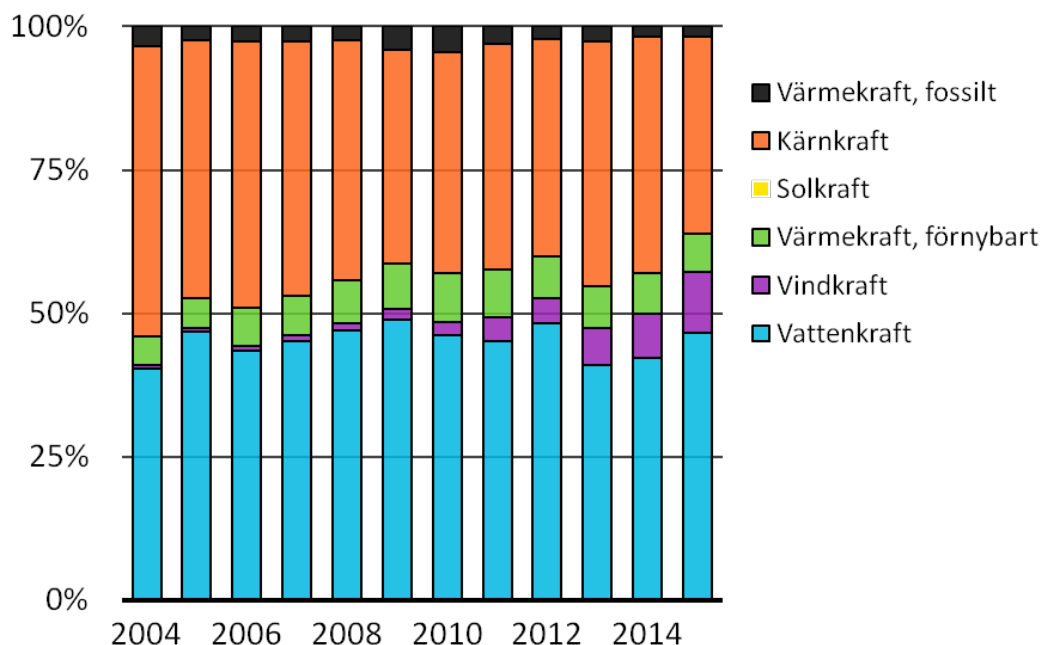


Figur 6. Sveriges totala elanvändning en vintervecka och en sommarvecka (MWh/h).

Kraftsystemets uppbyggnad

Elanvändningen och därmed effektbehovet varierar alltså både i det långa och korta perspektivet. Ett lands kraftsystem byggs upp för att tillgodose samhällets varierande efterfrågan på el, vilket innebär att el ska kunna levereras alla timmar på året, även under ansträngda situationer liksom att kraftsystemet också ska klara en hög andel av energibehovet. Om den egna elproduktionen inte räcker till finns möjligheten att importera el från våra grannländer, eller vid överskott exportera. Det är affärsverket Svenska kraftnät som ansvarar för att denna balans upprätthålls, se vidare avsnittet "Handel med el".

Olika kraftslag har olika egenskaper. Kärnkraften och annan bränslebaserad kondenskraft är planerbara och är effektivast vid full produktion. Kraftvärme – samtidig produktion av el och värme – följer värmebehovet hos fjärrvärmenät eller industrin. Elproduktionen från vindkraft och solkraft varierar med vädret. Vattenkraften är planerbar och kan lagra vatten för kommande elproduktion, vilket gör den lämplig att reglera för svängningar i både elanvändning och i övrig elproduktion.



Figur 7. Procentuell fördelning av Svensk elproduktionsmix.

I ett kraftsystem finns alltid behovet av flexibilitet för att kunna upprätthålla balans mellan elproduktion och elanvändning. Obalanser kan uppstå när elproduktionen eller elanvändningen avviker från vad som planerats. På den avreglerade elmarknaden är elföretagen aktiva i balanshanteringen.

Handel med el

Rent praktiskt sköts balansen genom handel med el i tre steg.

Steg 1: På den nordiska elbörsen Nord Pool sker handel med el på spotmarknaden (Elspot), där aktörerna (elproducenter, elhandelsföretag och större slutkunder) handlar med varandra via timvis auktionshandel dygnet före den fysiska leveransen av el. Planerade produktionen och användning av el handlas så att det blir balans för varje timme.

Steg 2: Handel på Elbas sker kontinuerligt och ger aktörerna en möjlighet att justera sina balanser fram till en timme före leverans av el.

Steg 3: I den faktiska driftstimmen hanterar Svenska kraftnät frekvensreglering som träder in för att hålla rätt kvalitet på elen. Dels genom automatiska reglerresurser – kraftstationer som bokats upp i förväg – dels genom reglermarknaden där Svenska kraftnät avropar aktörernas bud på reglerkraft.

Svenska kraftnät hanterar också den effektreserv som finns för situationer då efterfrågan på el är mycket hög (exempelvis vid extremt kalla vardagar vintertid) och rena störningsreserver, när fel uppstår i kraftsystemet.

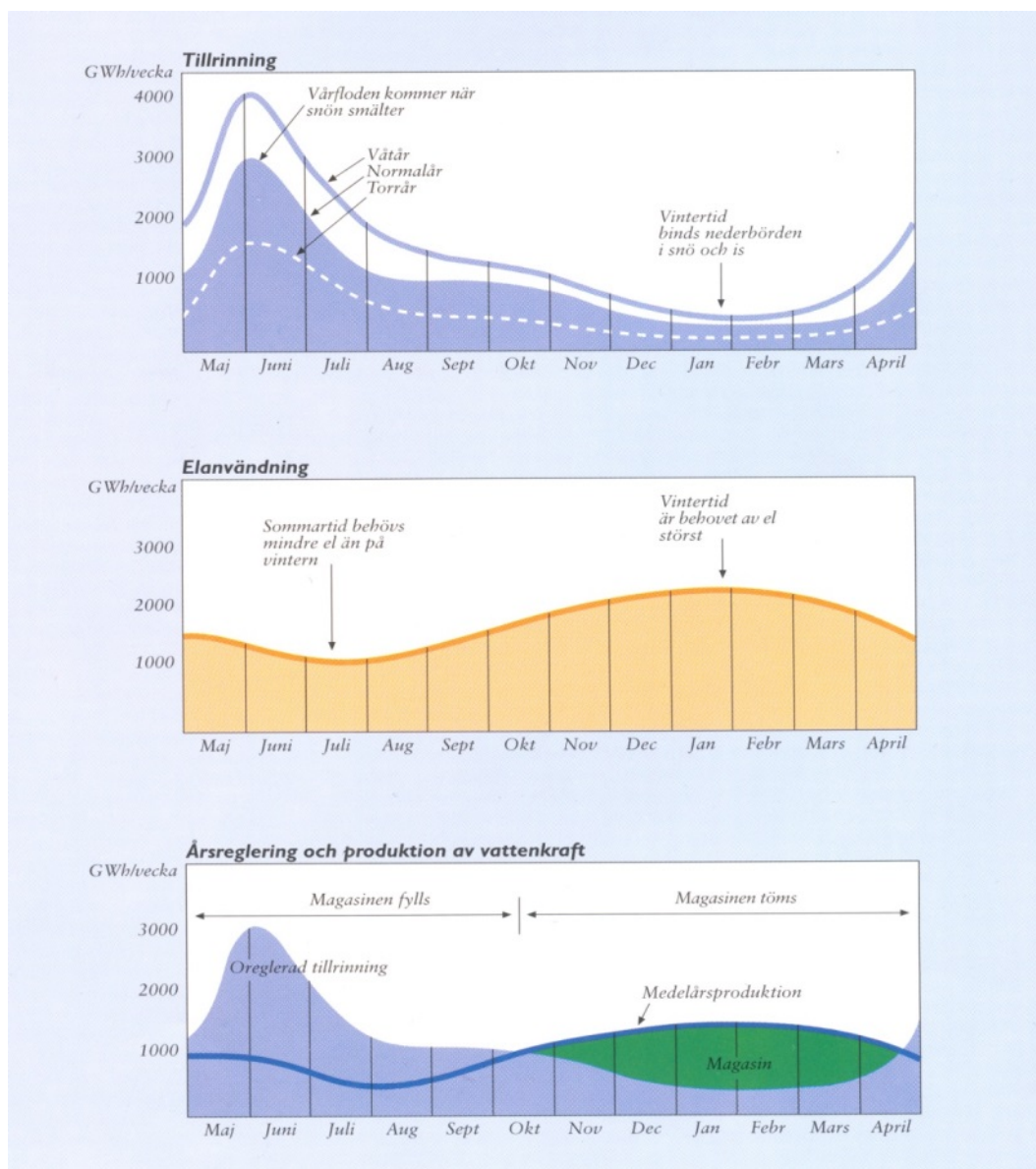
Så fungerar vattenkraften

I vattenkraftverket utnyttjas vattnets lägesenergi. Vattnet som strömmar från en högre till en lägre nivå passerar en vattenturbin, som driver en generator där el produceras.

Den effekt som ett vattenkraftverk har bestäms av nivåskillnaden mellan ingående och utgående vatten (lägesenergin) och storleken på det flöde som passerar genom turbinerna i vattenkraftverket. Ett vattenkraftverk kan ha flera turbiner bredvid varandra och därmed få högre effekt.

El kan inte lagras, utan måste produceras i samma ögonblick som den används. Däremot kan vatten lagras i sjöar och magasin. Under vintern, då tillrinningen på vatten är som minst, är efterfrågan på el som störst. Elproducenterna anpassar därför vattenföringen till efterfrågan på el och använder vatten som runnit till under vår, sommar och höst på vintern när behovet av el är som störst.

Tillrinningen varierar från år till år. Variationer i nederbörden kan ge skillnader på mellan 50 till 80 TWh i elproduktion per år, beroende på om vi har torrår eller våtår. I de största magasinerna (säsongsmagasin) som ligger högst upp i älvarna är det möjligt att årsreglera vattnet genom att spara det från vårflod till nästa vinter, se figur 8. Efterfrågan växlar också mellan veckans dagar och dygnets timmar, vilket gör att vattenmagasinen nedströms används till korttidsreglering.



Figur 8. Årsreglering av vattenkraften anpassar elproduktionen till elanvändningen.

Alla vattenkraftverk har inte magasin med rätt att reglera vattennivån, de följer därför bara med i vattenföringen från överliggande kraftverk. I Sverige ingår dessa kraftverk som en del i korttidsregleringen.

I framför allt små vattendrag finns många mindre vattenkraftverk. Även dessa mindre kraftverk, framför allt i södra Sverige, har betydelse för balanshållningen och är ett tillskott i de lokala elnäten.

Vattenkraftens ökade betydelse för mer övrig förnybar el

Vattenkraften har många viktiga funktioner i det svenska kraftsystemet:

- Den är förnybar och har bland de lägsta utsläppen av koldioxid per kilowattimme av alla kända elproduktionssätt vid en så kallad LCA-analys, där ett kraftslags samlade utsläpp under hela dess livscykel analyseras.
- Den bidrar till en stor del av energibehovet i det svenska och nordiska elsystemet.
- Den är reglerbar vilket innebär att den kan lagra vatten i magasin för att vid senare tillfälle, när behovet av el är större, använda vattnet för elproduktion. Vattenkraften är reglerbar i många tidsaspekter – från säsong, vecka, dygn och ned till sekund.
- Den spelar en viktig roll i Svenska kraftnäts frekvenshållning i elnätet, vilken automatiskt säkerställer nödvändig elkvalitet för systemets funktion.
- Den minskar behovet av annan reglerbar kraft som idag ofta är fossilbaserad och behövs i andra länder.
- Genom sina egenskaper, främst reglerförmågan, bidrar vattenkraften till att en ökande mängd annan förnybar kraft, som vind och sol, kan tillföras systemet. Vattenkraften kan därför kallas dubbelt förnybar.

Vattenkraftens roll blir alltså ännu viktigare i framtiden när en större mängd elproduktion som varierar med vädret byggs och när den befintliga kärnkraften ska ersättas med annan elproduktion.

Möjliga åtgärder för mer effekt från vattenkraften

Den maximala teoretiska potentialen för mer energi från vattenkraften har bedömts till cirka 30 TWh enligt en inventering av Svensk Energi från år 2011, där största delen ligger i skyddade nationalälvar eller i vattendrag som har ett särskilt skydd enligt Miljöbalken. I samma inventering bedömdes potentialen för mer effekt från vattenkraften till 9 000 MW. Om utredningen hade fokuserat på behovet att balansera större andelar vind och sol skulle utfallet ha blivit annorlunda. Möjligheterna till ökad elproduktion och effekt i redan utbyggda vattensystem är betydligt lägre.

Ökad effekt från vattenkraften är intressant med koppling till att ett elsystem med allt mer väderberoende elproduktion är svårare att styra. Det är därför av intresse att analysera behovet av både energi och effekt i elsystemet med fokus på vattendrag där vattenkraft redan finns.

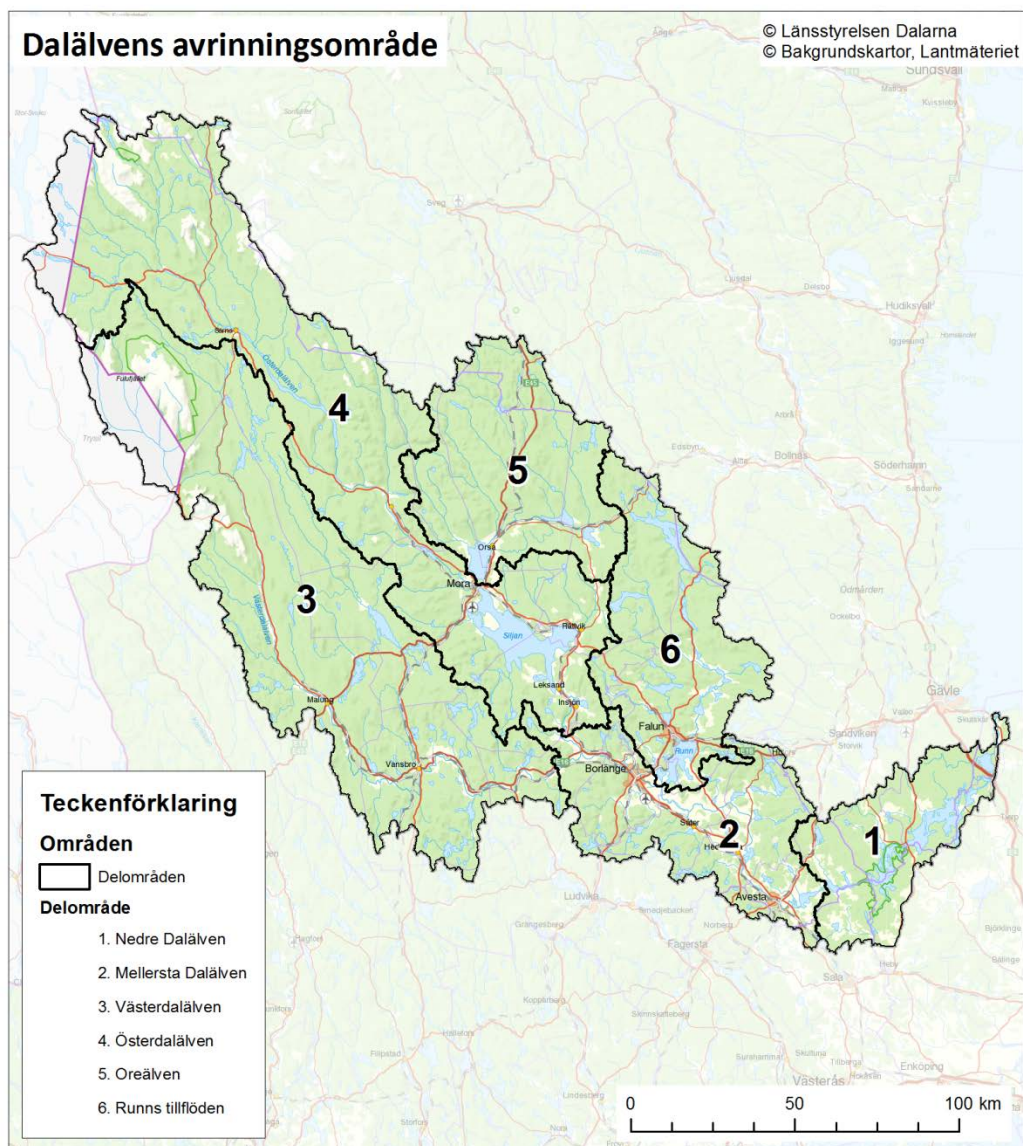
Ökad effektkapacitet kan nås på olika sätt:

- Genom att anpassa kraftstationer som har lägre utbyggnadsflöden i ett älvsystem till dem som har högre utbyggnadsflöden och på så vis få ett mer fungerande produktionssystem. Denna typ av insats innebär att inga nya fallsträckor behöver tas i anspråk. Det kan handla om att bygga om befintliga turbiner eller att bygga ut stationer med flera turbiner. Kraftverk högt upp i älvarna, ofta i fjällen, kan byggas ut ytterligare med fler eller större aggregat. Det är möjligt eftersom de har stora magasin både uppströms och nedströms.
- Kraftverk högt upp i älvar har också potential att byggas ut med så kallade pumpkraftverk som återför vatten till magasin ovanför kraftverken, när efterfrågan är låg för att kunna producera el när efterfrågan är högre. Om pumpkraftverk byggs finns en potential att öka effekten och samtidigt öka flexibiliteten i regleringen. Potentialen för pumpkraftverk kan vara speciellt intressant från reglersynpunkt mot bakgrund av en större utbyggnad av vindkraft och andra mer varierande kraftslag.
- Att utöka lagringskapaciteten genom nya magasin på utvalda platser ökar flexibiliteten att använda vattnet och därmed möjligheten att öka effekten.

Sammanfattningsvis gäller att effekthöjande åtgärder i en älv behöver analyseras när det gäller samspelet i hela älven. Den hydrologiska kopplingen mellan kraftverken är stor vilket får betydelse vid enskilda kapacitetshöjande åtgärder.

Dalälvens vattenkraftssystem

Dalälven har i denna rapport indelats i sex delområden, utifrån de energi- och naturmässiga förutsättningarna. Längre fram i rapporten beskrivs vart och ett av dessa sex delområden i separata kapitel.



Figur 9. Dalälvens avrinningsområde och de sex delavrinningsområdena.

I detta inledande kapitel ges en sammanfattande beskrivning av hela Dalälvens vattenkraftssystem, dess energiproduktion och värde som reglerkraft samt påverkan på vattenflöden och vattennivåer. Med fokus på älvens huvudflöden.

Dalälvens sjöar och vattendrag

Dalälven avvattnar ett område som sträcker sig från fjällkedjan vid norsk-svenska gränsen till mynningen i Bottenhavet vid Skutskär, totalt ca 54 mil. Dalälven är det fjärde största vattensystemet i Sverige, med ungefär 5 200 sjöar större än 1 hektar (100x100 meter). Siljan som är den största sjön, är den sjunde största sjön i landet. Övriga stora sjöar är Runn, Amungen och Venjansjön samt Färnebofjärden och övriga fjärdar i Nedre Dalälven. Endast 5 procent av sjöarna är större än 100 hektar, medan drygt 70 procent har en storlek på mindre än 10 hektar.

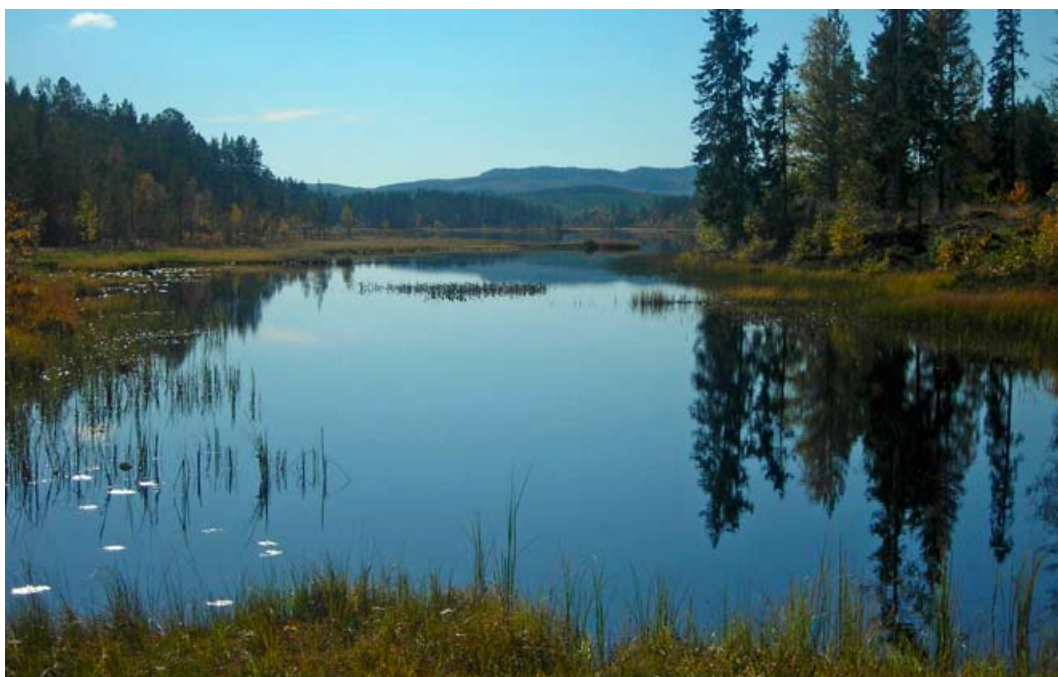
Dalälvens förgrenas uppströms Borlänge i Väster- och Österdalälven. Oreälven som rinner ut i Orsasjön-Siljan och Svärdsjövattendraget som mynnar i Runn är de två största tillflödena till Dalälven. Vattenföringen vid utloppet till havet är ungefär 350 m³/sekund, vilket motsvarar en volym av 2 000 badkar fyllda med vatten varje sekund.

Naturgeografiska förutsättningar

De naturgivna geologiska och klimatologiska förutsättningarna är mycket olika i olika delar av det varierande landskapet där Dalälven rinner fram. Årsnederbörden för Dalälvens avrinningsområde är i genomsnitt 774 mm per år (1981-2010). Avdunstningen inklusive växters upptag är i snitt 366 mm och resterande 408 mm bildar avrinning till sjöar och vattendrag.

Drygt 70 procent av avrinningsområdet täcks av i huvudsak barrskog på moränmark. Höga fjällområden sträcker sig in över Norge i norr, och utgör cirka 5 procent av avrinningsområdets yta, medan ungefär 15 procent täcks av myrmark. Längs vattendragen i avrinningsområdets södra delar, som till stora delar rinner genom bördiga isälvsavlagringar, finns jordbruksmark och större delen av områdets tätortsbebyggelse. Jordbruksmarken täcker idag ungefär fyra procent av landarealen, och bebyggd mark cirka en procent.

Omkring 8 procent av avrinningsområdets yta täcks av sjöar och vattendrag. De varierande förutsättningarna gör att det finns allt från extremt klara, närings- och artfattiga fjällvatten till mycket grumliga, närings- och artrika slättlandsvatten. Dominansen av närings- och kalkfattiga moränskogsmarker leder till att den vanligaste sjötypen i avrinningsområdet är de brunfärgade, näringsfattiga, svagt sura och tämligen artrika skogs- och myrvattnen. I de mest tätbefolkade områdena finns ett mindre antal mycket kraftigt närings- och metallpåverkade vatten med speciell biologi.



Figur 10. Brunfärgad skogssjö med omgivande myrmark är en vanlig sjötyp.

Jordbruksområdena söder om Borlänge har bördiga men lättroderade mjälajordar. I Bergslagen, Siljansområdet och i fäbodlar har magra moränmarker ovan högsta kustlinjen odlats upp för foderproduktion. I Faluområdet utvecklades redan på 1700-talet ett högavkastande jordbruk med utvecklade växtodlingsföljder och gödsling av ängsmarker. Meteoritnedslaget öster om Siljan för ca 370 miljoner år sedan blottade kalkberggrund och bildade den så kallade "silurringen" med flera starkt kalkpåverkade sjöar.

Högsta kustlinjen ligger på två hundra meter över havet i Dalarna vilket innebär att ungefär 20 % av Dalälvens avrinningsområde låg under havsytan när den senaste inlandsisen avsmälte. Vid inlandsisens avsmältning och landhöjningen fylldes för ca 7 000 år sedan Dalälvens ursprungliga fåra, från Avesta till Mälaren, igen med sand och grus. Och älven fick söka sig ett helt nytt lopp mot havet, nordost över slättlandskapet. Vilket är en av orsakerna till att Nedre Dalälvsområdet har så unika naturtyper både i och kring älven. Detta förstärks ytterligare av att området genomkorsas av klimatgränsen mellan Syd- och Nordsverige ("Limes norrlandicus"), där barrskogslanskapet i norr möter blandskogsområdena i söder och där växter och djur från norr och söder möts och artrikedomen blir hög.

Tabell 1. Österdalälvens avrinningsområde – fakta om respektive delområde från SMHI:s Vattenwebb: www.vattenwebb.smhi.se

	Öster- Dalälven	Oreälven	Väster- Dalälven	Runn med tillflöden	Mellersta Dalälven	Nedre Dalälven	Hela Dalälven
Area (km ²)	8 963	3 310	8 543	3 065	3 010	2 063	28 954
Skog (%)	73	86	77	84	76	75	77
Våtmark (%)	10	7	11	1	1	3	7
Jordbruk (%)	1	1	1	3	13	8	3
Sjö (%)	7	5	5	11	8	12	7
Övrigt (%)	9	1	6	1	2	2	6
Morän (%)	66	65	62	67	48	51	62
Grovjordar (%)	4	5	3	1	4	5	3
Finjordar (%)	1	0	1	2	16	10	3
Torv (%)	15	16	21	9	5	15	15
Tunna jordar / kalt berg (%)	7	8	9	11	20	7	10
Övrigt (%)	7	6	4	10	7	12	7
Nederbörd (mm)	768	799	834	719	717	683	774
Avdunstning (mm)	337	370	369	394	393	392	366
Avrinning (mm)	430	429	465	325	330	278	408
Antal dammar	139	72	229	159	205	49	853
Reglerings-volym (Mm ³)	1239	295	436	439	35	0	2739
Reglerings-grad (%)	33	21	11	45	0	0	24

Många olika miljöproblem i sjöar och vattendrag

Många verksamheter som till exempel jord- och skogsbruk, industrier och avlopp påverkar vattnens kemiska kvalitet och förutsättningarna för dess djur- och växtbestånd. Även om vissa verksamheter pågått i århundraden är det oftast först under 1900-talet som påverkan blivit så omfattande att vattnen mera allmänt försämrats. Inom flera områden kan vi idag se miljöförbättringar, tack vare de senaste årtiondenas miljöåtgärder.

Försurningen orsakar stora skador på många djur- och växtsamhällen. Försurningen av våra sjöar och vattendrag orsakas till största delen av nedfallet av försurande ämnen, främst svavel- och kväveföreningar.

Dalälvens mest försurningskänsliga vatten finns i västra Dalarna och höjdområden i östra länet. Försurningsproblemen har minskat på senare år då det försurande nedfallet har halverats sedan mitten av 1980-talet.

För försurade vatten finns sedan 1980-talet ett fungerande åtgärdsprogram i form av kalkningsinsatser. Kalkningsbehovet minskar stadigt i omfattning, och planen för vilka vatten som behöver kalkas uppdateras kontinuerligt.

Förhöjda näringshalter (övergödning) visar sig framförallt genom igenväxning, algbloomningar, dåliga ljusförhållanden och låga syrgashalter. Flera sjöar i Dalälvens avrinningsområde har stora övergödningssproblem, även i en nationell jämförelse. Det gäller främst mindre sjöar och vattendrag i slättlandskapet i mellerst delen av avrinningsområdet, som har större befolkningstäthet och lättroderade jordar. Dalälvens bidrag till Östersjöns förhöjda näringshalter är litet, älven bidrar endast med någon procent av den totala tillförseln av fosfor och kväve.

För övergödning har arbetet kommit relativt långt med att identifiera vilka vatten som har problem, men det behövs fortfarande åtgärdsanalyser för att fastställa kostnadseffektiva åtgärder som ger mest nytta för miljön. För att komma till rätta med övergödningssproblemen har tillsynsmyndigheterna en stor roll genom att bedriva aktiv tillsyn.

Effekter av miljögifter och metaller syns i regel inte tydligt i vattnen om det inte rör sig om stora punktutsläpp. Effekter kan vara diffusa och dessutom uppträda först efter en lång tids exponering. Problem med miljögifter orsakas av utsläpp från såväl historiska som pågående verksamheter. Även deposition av luftburna miljögifter har stor betydelse, varför problem kan uppkomma i hela avrinningsområdet. Problem med förhöjda metallhalter förekommer främst inom Falu, Säter, Hedemora och Avesta kommun.

Kunskapen om miljögifter i Dalälven har förbättrats påtagligt de senaste åren tack vare omfattande undersökningar. Den viktigaste åtgärden för att minska påverkan av miljögifter är att minimera dess användning vilket främst sker genom lagstiftning, tillsyn och information. Dessutom behöver många äldre förorenade områden saneras.

Fysisk påverkan kan delas in i tre olika kategorier;

- Vandringshinder som framför allt hindrar vattenlevande organismer att röra sig fritt i och mellan vattendrag och sjöar (påverkan på vattendragets kontinuitet).
- Rensning/överdämning/torrläggning/rätning etc. som förändrar vattnens fysiska miljö och strukturer (morfologisk påverkan).
- Förändrade vattenflöden och vattennivåer genom vattenregleringar (hydrologisk påverkan).

För fysisk påverkan behövs en hel del vidare utredningar för att identifiera och prioritera lämpliga åtgärder. De åtgärder som hittills genomförts i fysiskt påverkade vatten har antingen finansierats av ansvarig verksamhetsutövare eller genom framför allt statligt finansierade restaureringsprojekt i de fall det idag saknas ansvariga verksamheter (som till exempel flottledsåterställning).

Läs mer om Dalälvens naturgivna förutsättning och miljöpåverkan på Länsstyrelsens projektplats www.dalarnasvatten.se Se "Vattenvårdsplan för Dalälvens avrinningsområde", Rapport 2009:04 och PM som sammanfattar status, påverkan och åtgärdsbehov för vattenförvaltningens 63 delområden.

Naturvärden och ekosystemtjänster

Miljöbalken, Sveriges miljölagstiftning, syftar till att främja en hållbar utveckling för nuvarande och kommande generationer. Naturen har ett eget skyddsvärde och vår rätt att förändra och bruka naturen är förenat med att ansvar att förvalta naturen väl. Miljöbalken ska tillämpas så att människors hälsa och miljön skyddas mot skador, värdefulla natur- och kulturmiljöer skyddas, den biologiska mångfalden bevaras, mark och vattenområden används så att en långsiktigt god hushållning tryggas samt hushållning med material, råvaror och energi främjas (MB 1 kap 1§). Lagstiftningen är ett av flera verktyg för samhället att för att driva utvecklingen i en hållbar riktning (Jfr även Sveriges miljömål 2020 och Agenda 2030 – FN:s 15 åriga agenda för hållbar utveckling).

Ett visst områdes, biotops eller arts naturvärde baseras på en värdering av om dess biologiska innehåll eller egenskaper är unika eller representativa i ett visst geografiskt sammanhang till exempel för Sverige eller Dalälven. De senaste åren har kunskapen om de rumsliga sammanhangen påvisat att det inte räcker att skydda fragment eller isolerade öar av naturtyper och arter eftersom de behöver utbyte med varandra för att långsiktigt behålla sina värden. Begreppet "Grön infrastruktur" är ett uttryck för denna insikt som ställer krav på övergripande naturvårdsplanering. Hållbar vattenkraft behöver på motsvande sätt beakta "blå infrastruktur" dvs hur arter kan förflytta sig över större områden mellan dammar och kraftverk.

Ekosystemtjänster är ett sätt att värdera naturen i ett större sammanhang – med fokus på samhällets och människans direkta nytta av naturen.

Vanligtvis grupperas ekosystemtjänsterna i följande fyra olika kategorier;

- **Försörjande;** Dessa tjänster är de varor som mat, dricksvatten, råvaror och energi som naturen producerar och vi kan "skörda".
- **Stödjande;** Är de tjänster som behövs för att övriga tjänster ska fungera som fotosyntes, nedbrytning, jordmånsbildning, pollinering och vattnets kretslopp.
- **Reglerande;** Innefattar naturens förmåga att stabilisera ekosystemen och omhänderta utsläpp till luft och vatten som till exempel vattenrening och översvämningsskydd.

- Kulturella; Stödjer människans rekreation samt sociala och hälsomässiga välbefinnande.

En övergripande analys indikerar att följande ekosystemtjänster i Dalälvens sjöar och vattendrag är mest påverkade och således behöver prioriteras för åtgärder som stärker dessa funktioner:

- Genetiska resurser; Fragmentering av våra vatten utarmar den biologiska mångfalden och hotar på sikt andra tjänster som fiskproduktion (Försörjande).
- Biogeokemiska kretslopp; Globala klimatförändringar påverkar på sikt förutsättningarna för många andra tjänster, positivt eller negativt (Stödjande).
- Sedimentkvarhållning; Förändrade erosionsmönster p.g.a. av dammar som minskar vattnets erosionskraft och ökar sedimentationen (Reglerande).
- Reglering av föroreningar; Vattnets förmåga att bryta ner och sedimentera miljögifter överskrids (Reglerande).
- Skydd mot översvämningar; Utdikning av våtmarker och dammar förändrar vattensystemens flödesdynamik, framför allt vid högvatten (Reglerande).
- Reglering av biotisk miljö; Minskad tillgång till varierande habitat för olika arters olika livsstadier (Reglerande).
- Kulturarv; Minskad användning av äldre vattenanknutna verksamheter som kvarnar, tvättbryggor, båthus och vattenhjulsdrivna industrier gör att dessa anläggningar förfaller vilket utarmar kulturarvet och vår möjlighet att förstå historiska sammanhang och upplevelsen av vackra miljöer. (Reglerande).

Värdering av påverkan på dessa ekosystemtjänster och effekterna av olika åtgärder behöver ses i ett sammanhang för hela vattensystemet. Samt ligga till grund för en samlad prioritering av åtgärder som sammantaget ger störst samhällsnytta. Vilket sammanfaller väl med ambitionerna för Hållbar vattenkraft i Dalälven.

Läs mer: Havs och vattenmyndigheten planerar att under 2017 ge ut en rapport om ekosystemtjänster i vatten.

Dalälvens vattenregleringsmagasin och kraftverk

I detta kapitel ges en översiktlig bild av hur vi under ett årtusende använt vattenkraften som energikälla för kvarnar, bergsbruk och andra industrier fram till det senaste århundradets elproduktion för industrier och hushåll. Samt hur produktion och distribution av elenergi succesivt utvecklats från

lokala ”mikro”-kraftverk för en industri till ett samlat vattenkrafts- och elsystem för hela Sverige.

Vårt historiska nyttjande av vattenkraften

Före 1800-talets utbyggnad av vägar och järnvägar var det en utmaning att färdas längre sträckor till fots och häst, genom mestadels glest befolkade skogsområden. Sjö- och vattenvägarna var då viktiga kommunikationsleder - sommar som vinter. Vi finner idag många spår från tidiga bosättningar längs våra sjöar och vattendrag.

För snart ett årtusende sedan spreds kunskapen till Sverige om hur man med hjälp av vattenhjul kan omvandla vattnets lägesenergi till mekanisk kraft för kvarnar och andra verksamheter. Vattenhjulsdrivna kvarnar, sågar, stampar mm byggdes på många platser i de flesta vattendrag. Vattenhjulstekniken blev ett uppsving för Bergslagens järn och kopparframställning, eftersom den mekaniska kraften kunde driva de stora blåsbälgar som behövdes vid ugnar och hyttor för att uppnå tillräckligt hög smälttemperatur.

Eftersom vattenkraften inte kunde flyttas längre sträckor fick råvaror som malm och kol fraktas dit kraften fanns dvs. till vattendragens forsar. Redan på 1500-talet fanns till exempel kopparhyttor vid alla forsar i både stora och små vattendrag flera mil runt Falu gruva. Produktionen av koppar och järn sköt fart i Bergslagen och lade grunden till Sveriges välstånd och många av de industrier som idag finns utefter Dalälven.

I takt med att gruvschakten blev allt djupare behövde de hela tiden läns pumpas. Vattenhjulens mekaniska kraft kunde då via stånggångar flyttas några kilometer för att driva gruvornas pumpar och lyftanordningar.

Vattenmagasin anlades för att spara vatten från snösmältning och höstregn och säkerställa drift av vattenhjulen under större delen av året. Sveriges äldsta vattenreglering finns vid Önsbacksdammen uppströms Falu gruva. Där för ett årtusende sedan två små skogstjärnar dämades upp till ett gemensamt vattenmagasin för nedströms liggande hyttor. Senare dämades även Vällansjöarna upp till ett större magasin och dess magasineringsförmåga utökades succesivt genom anlagda skrådiken som tillförde mer vatten från närliggande bergsområden. På 1700-talet effektiviserade Polhem Falu gruvas kraftmekanik med stånggångar, hjul, pumpar och vinschar vilka alla drevs av vattenkraft.

Flottnings av ved till bland annat Falu gruva påbörjades redan på 1600-talet i Västerdalälven. Timmer flottades också till närbelägna sågverk. Men det var först vid mitten av 1800-talet som flottleder för timmer och massaved anlades i alla Dalälvens biflöden och ända ner till kusten. Fram till 1950-talet hade 368 mil flottleder iordningställt och Dalälven hade Sveriges största flottledssystem. Underhållet av flottlederna samordnades succesivt till en gemensam förvaltning, Dalälvens flottningsförening, som bedrev flottningen fram till 1970 då lastbilar och järnvägar tog över virkestransporterna.

De sista årtiondena på 1800-talet utvecklades tekniken att både via turbiner och generatorer utvinna elektricitet och att via högspänningsnät förflytta elen längre sträckor. Vilket gjorde att industrier kunde ersätta tidigare mekaniska remdrifter med elmotorer. Elen var inledningsvis mycket dyr och ett av de första användningsområdena var för belysning i sågverk – vilket minskade brandrisken och möjliggjorde längre arbetsdagar.

Elektrifieringen blev en drivkraft för utbyggnad av hundratal vattenkraftverk i Dalälvens biflöden, med små lokala distributionsnät. Anläggningarna drevs ofta i föreningsform eller som aktiebolag med både företag och enskilda andelsägare. Under hela 1900-talet har kraftverk och nät succesivt slagits samman till dagens förhållandevis få större kraftverks- och nätföretag. Många små kraftverk har idag lagts ner eller sålts till enskilda personer/småföretag. Idag finns det ett 50-tal kraftverksägare i Dalälvens tillflöden.

Stora Kopparbergs Bergslags AB blev, som ägare till många stora industrier utefter Dalälven, drivande i utbyggnaden av vattenkraften samt bildandet av Dalälvens samordnade reglering och byggande av Trängsletdammen (se nedan). STORA sålde 2000 hela sitt kraftinnehav till Fortum Power & Heat AB. Fortum äger idag huvuddelen av Dalälvens större kraftverk och elproduktion. Vattenfall äger fyra kraftverk i Nedre Dalälven, bland annat Älvkarleby. Flera kommuner äger mindre kraftverk och/eller andelar i större kraftverk, ofta genom sina elbolag.

Dalälvens vattenregleringsföretag

Ett vattenregleringsföretag är en samfällighet för de aktörer som äger och driver vattendragets kraftverk och regleringsmagasin. Redan i slutet av 1800-talet och början av 1900-talet byggdes flera stora kraftverk i anslutning till större industrier vid Dalälvens forsar som Kvarnsveden, Domnarvet, Avesta och Söderfors. Flera av dessa industrier ägdes av Stora Kopparbergs Bergslags AB som blev drivande för att få till en samordnad reglering, med regleringsmagasin som Siljan och senare även Trängslet. Dalälvens vattenregleringsföretag (DVF) bildades redan 1916 under namnet Dalälvens vattenregleringsförening.

DVF ingår sedan 2001 i Vattenregleringsföretagen (VRF) som är en paraplyorganisation för vattenregleringsföretag i sex stora norrlandsälvar. Delägare i DVF är ägare och delägare till drygt 40 olika kraftverk i Dalälvens avrinningsområde. Fortum, Vattenfall, Enviken Elkraft och Falu Kraft är de största delägarna.

DVF ansvarar för årsregleringen i 57 regleringsmagasin. DVF äger även dammanläggningarna vid flertalet av dessa magasin, men inte vid alla. Varje reglering utgör ett eget delföretag i DVF och

kostnaderna för verksamheten fördelas mellan deltagande kraftverk efter andelstal som baseras på hur stor nytta var och ett av ägarnas kraftverk har av regleringen. DVF betalar också en årlig ersättning för årsregleringsnyttan till ägarna av årsregleringar i ytterligare 47 regleringsmagasin.

I DVF:s arbetsuppgifter ingår bland annat att samordna vattenhushållningen i Dalälven, att underhålla dammanläggningar och peglar, att reglera skador orsakade av vattenregleringen och att arbeta med skadeförebyggande åtgärder enligt vattendomar såsom fiskutsättningar. För fiskutsättningar driver DVF idag en egen fiskodling i Särna.

DVF registrerar fortlöpande tappningar ur regleringsmagasin och vattenflöden på ett antal stationer längs älven och vattenstånd i de större regleringsmagasinen.

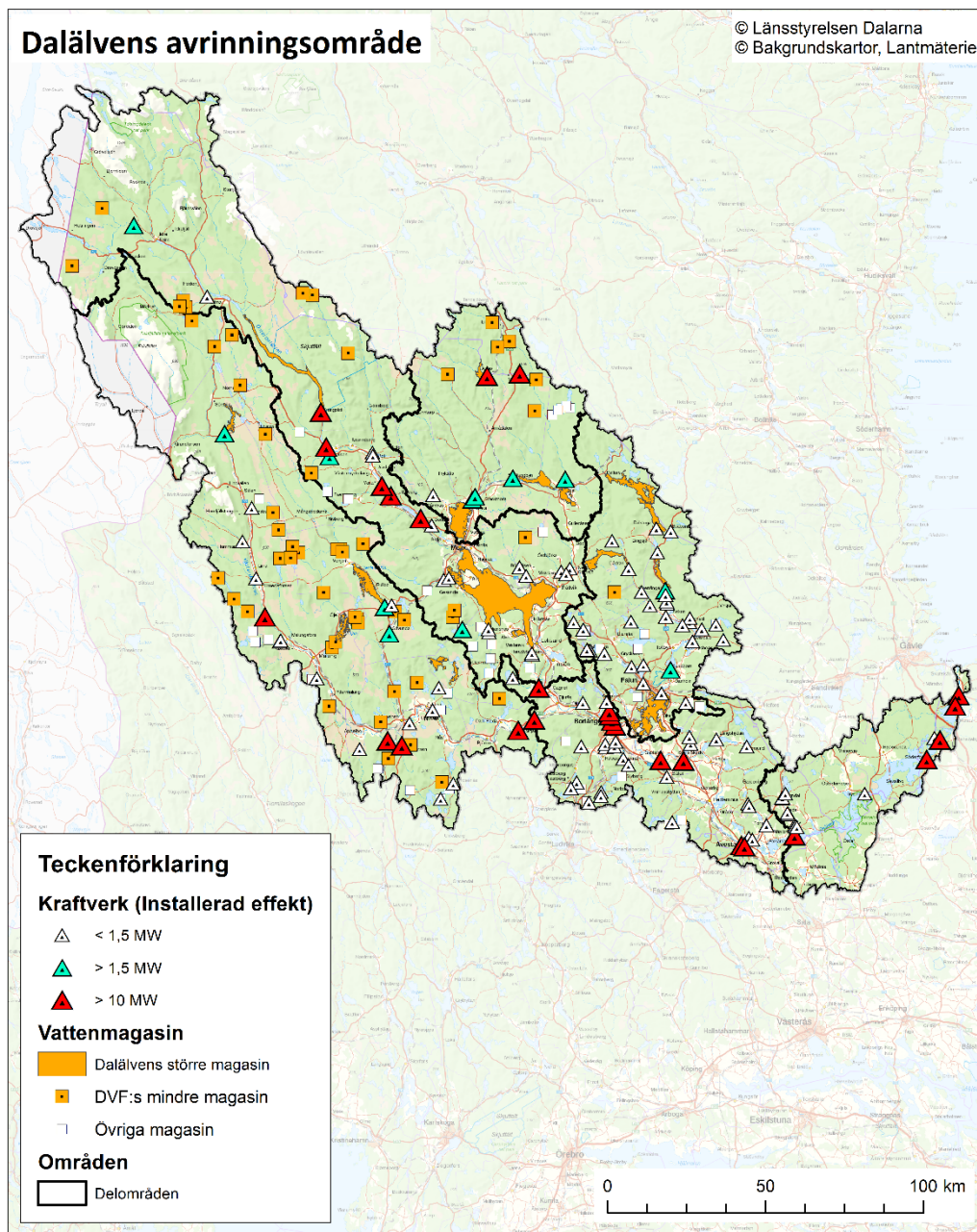
Läs mer om aktuella vattenflöden och sjönivåer (vilka uppdateras dagligen) på DVF:s hemsida www.vattenreglering.se. För Ista i Nedre Dalälven visas vattennivån varje timme.

Läs mer om utbyggnaden av Dalälvens regleringsmagasin och vattenregleringsföretag i föreningens 50-årsskrift "Älven, Kraften och Bygden" (DVF 1966).

Dalälvens vattenregleringsmagasin och vattenkraftverk

I figur 11 på nästa sida visas Dalälvens vattenregleringsföretags bild av Dalälvens viktigaste regleringsmagasin med "boxar" i förhållande till dess regleringsvolym och namnet på de största kraftverken i älvens huvudflöden.

Figur 12 visar de kraftverk och regleringsmagasin, samt dess storlek, som beskrivs i denna rapport om Dalälvens vattenkraftssystem. Av kartan framgår också den delområdesindelning, i sex delområden, som används för den fördjupade beskrivningen längre fram i rapporten.



Figur 12. Dalälvens vattenkraftverk och vattenregleringsmagasin.

Dalälvens årliga vattenreglering - från vårflod till vårflod

Vårflod

Dalälvens reglering utgår från de två största magasinen, Trängslet och Siljan. Bägge magasinen är normalt urtappade till sin lägsta nivå när vårfloden startar. Under våren minskas tappningen från Trängslet i takt med att den lokala tillrinningen till Österdalälven ökar. Oftast tappas endast så mycket vatten från Trängslet att minimitappningen från Åsens kraftverk på 21 m³/s kan upprätthållas. Vattendomarna för Trängslet och Siljan reglerar hur tappningarna från Trängslet och Gråda ska hanteras för att säkerställa att nivån i Siljan stiger till fastställd sommarnivå. Det finns inget fastställt datum för när nivån som senast ska överstiga lägsta tillåtna nivån under sommaren. Kortfattat innebär vattenhushållningsreglerna att det från 1 maj ska tappas mer vatten i Trängslet än vad som tappas från Siljan till dess att Siljan nått sommarsänkningsgränsen på +161,00 m. Normalt börjar Siljans vattennivå stiga från mitten av april och nivån överstiger ofta sommarsänkningsgränsen redan 1 maj. Annars tar det sällan mer än någon vecka innan denna nivå nås. För att Siljan inte ska upplevas som ”låg” under sommaren bör nivån ligga ca 0,5 m högre än den lägsta tillåtna. Medelnivån under juni – augusti, har 2004-2014 varit +161,50 - 161,60 m.

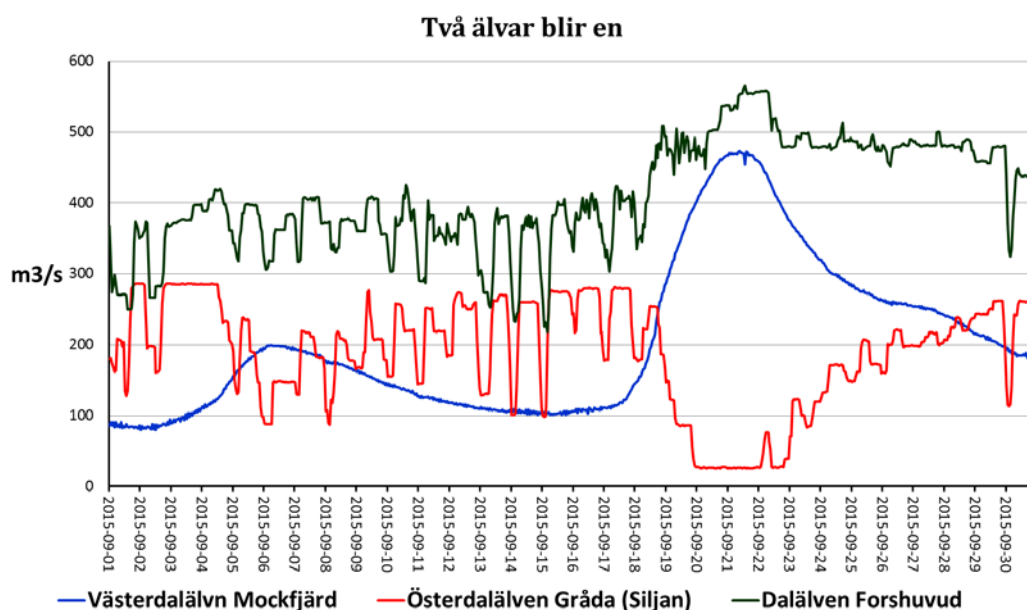
Magasinsvolymen i Trängslet rymmer en normal vårflod utan att tappningen behöver ökas. Under vårfloden kommer det mesta av vattnet i Österdalälvens nedre del från det oreglerade biflödet Rotälven. När vårfloden kulminerar är vattenföringen i Österdalälven normalt högre än de här belägna kraftverkens utbyggnadsvattenföring.

För planeringen av Siljans tappningar är flödet från Oreälven en viktig faktor. Magasinen i Oreälven är små i förhållande till det totala tillrinningsområdet. Biflödena Emån och Unnån är i stort sätt oreglerade och tillför mycket vatten under vårfloden. Magasinet Vässinjärvi längst upp i Oreälven har hög regleringsgrad och kan ta emot hela vårfloden. Vilket har stor betydelse för produktionen i kraftverken Vässinkoski och Noppikoski. Trots att Vässinjärvis tillrinningsområde är litet ger magasinet en märkbar påverkan på Siljan. Volymen som magasineras under vårfloden motsvarar en nivåhöjning i Siljan med 10-20 cm beroende på vårflodens storlek. De flest år skulle större delen av denna volym släppas genom dammarnas utskov, men kan nu sparas och ge produktion i samtliga kraftverk nedströms magasinet när den används.

För att hushålla med vattnet och optimera produktionen i kraftverken nedströms Siljan till havet under våren behövs bra prognoser av Västerdalälvens vattenflöde. Västerdalälvens huvudfåra har inga magasin och de magasin som finns i biflödena är förhållandevis små. Med en god kontroll av hur mycket vatten som kommer från Västerdalälven kan tappningen från Siljan och även Trängslet anpassas till kapaciteten på kraftverken i Borlänge och vidare nedströms i älven.



Figur 13. Två älvar blir en i Gagnef.



Figur 14. Tappningen vid Gråda kraftverk anpassas i förhållande till vattenflödet i Västerdalälven.

Under en normal vårflod fylls Siljan innan vårfloden från Västerdalälven är helt över och då går det inte att undvika att flödet i Dalälven överstiger 500 m³/s, vilket är det största vattenflödet som kan passera genom turbinerna (maximal slukförmåga) i de flesta av kraftverk nedströms. Med en bra

planering går det att ”dämpa ut” det högsta flödet för att både optimera elproduktionen över tid och minska risken för problem utmed älven orsakade av höga vattennivåer.

Nedströms sammanflödet av Österdalälven och Västerdalälven rinner ytterligare ett större biflöde, Lillälven, in i Dalälven. Lillälven är en kort sträcka mellan Runn och Dalälven. Huvuddelen av vattnet till Runn kommer från Svärdsjövattendraget och Faluån. Högst upp i Svärdsjövattendraget ligger Amungen, ett av Dalälvens större vattenmagasin. Amungens höga regleringsgrad dvs. förmåga att magasinera hög andel av årstillrinningen ger Svärdsjövattendraget en hög vintervattenföring och garanterar att det finns vatten i Svärdsjövattendraget under långa perioder med liten nederbörd och låg tillrinning. Även om vattenföringen inte är stor ger Amungen med sin höga regleringsgrad stor reglernytta eftersom det vatten som magasineras under vårfloden i annat fall skulle ha tappats genom utskoven i de flesta kraftverk nedströms när redan hela turbinernas slukförmåga är utnyttjad. Sett till den totala vattenföringen i Dalälven har Lillälven mindre betydelse.

Naturliga förträngningar i Dalälven

Dalälven har flera trånga sektioner där vattengenomsströmningen begränsas av att älven är grund. Siljans utlopp är den första som påtagligt påverkar älvens reglering. När Siljan når nivån för högsta tillåtna regleringsgräns ska tappningen från Siljan vid Gråda följa en, i vattendomen fastställd, tappningstabell. För varje centimeter som Siljan stiger ökas tappningen ca 2 m³/s. När detta inträffar är tillrinningen ofta mer än 100 m³/s och med den långsamma tappningsökningen kommer Siljan att stiga många dagar innan tappningen och tillrinningen är lika höga. När sedan nivån vänder nedåt minskas tappningen med 2 m³/s för varje cm som Siljan sjunker. Siljan är stor och det är stora volymer vatten som dämpas upp i Siljan under ett högt flöde och denna naturliga dämpning är avgörande för att begränsa flödestopparna i nedre Dalälven. Siljan stiger över högsta regleringsgränsen i genomsnitt vart annat år och då med någon eller några decimeter. Med en återkomsttid på mellan 10 och 20 år stiger Siljan ca 1 m över högsta regleringsgränsen.

Mellan Runns utlopp och Långhags kraftverk vid Våbäcksforsen finns nästa trånga sektion som påtagligt begränsar vattenföringen i älven när flödet är högt. För att mer än 740 m³/s ska kunna passera forsen måste nivån vid Torsång överstiga den högsta tillåtna reglerade nivån. I vattendomen finns det fastställt hur hög tappningen ska vara i förhållande till nivån vid Torsång. När vattennivån i Dalälven stiger påverkas nivån även i Runn som stiger till samma nivå som i Dalälven. När vattennivån blir hög i Runn försvåras Faluåns utflöde i Runn och vattennivån kan stiga i Falun. Om vattenflödet i Faluån är högt samtidigt som det är mycket höga flöden i Dalälven uppstår översvämningsproblem i Falun.



Figur 15. Dalälvens fyra viktigaste förträngningar.

Vid Grådö är älven så grund att sjön Hovran bildats uppströms den trånga sektionen. I Hovranområdet stiger nivån naturligt även vid måttliga flöden.

De förhöjda vattennivåer som regelbundet uppstår under vårfloden innebär sällan några problem för andra verksamheter och miljön i Hovranområdet. Men höga flöden, med hög nivå i Hovran som följd, inträffar vissa år även under sommaren. De senaste årtiondena har lantbruket påverkats negativt av dessa höga sommarnivåer vid flera tillfällen. Noterbart är att vattennivån i Hovranområdet styrs av att utflödet begränsas vid den trånga sektionen vid Grådö och inte av hur mycket vatten som tappas dammen i Avestaforsen.

Vid Gysinge finns en trång sektion som begränsar avrinningen från och dämmer upp vattnet i Färnebofjärden. Vattennivån i Färnebofjärden styrs främst av flödet från älven uppströms men även denna trånga sektion som begränsar avrinningen. Återkommande högvattennivåer och varierande vattennivåer har bidragit till att skapa Färnebofjärdens nationalparks unika strandbiotoper. Samtidigt är det i dessa översvämningssområden som problemen med massutveckling av översvämningssmygg är som störst. Kritisk vattennivå är 55,9 möh vid vattenpegeln i Ista. När vattenståndet överstiger denna nivå uppkommer stora arealer översvämningssområden med gynnsamma betingelser för den aktuella myggarten.

Sommaren

När vårfloden är över och växligheten sätter fart sjunker tillrinningarna snabbt. Tappningarna anpassas då för att nå önskade nivåer i de olika magasinen. Variationen mellan olika år är mycket stor och det kan växla snabbt mellan torrt och blött under samma sommar. Avdunstningen gör att en stor del av nederbörden inte når vattendragen varför tillrinningen oftast är lägre under sommaren.

Hösten

I början av hösten inleds nästa fas i vattenregleringens årscykel. Regleringen av magasinen anpassas nu för att skapa en marginal inför höstregn men samtidigt hålla kvar tillräckligt med vatten inför vintern om höstregnen uteblir. Om magasinen innehåller lite vatten när vintern startar kommer tappningen under vintern vara lägre och när vattnet rinner långsammare ökar isbildningen när temperaturen är låg. I reglerade vattendrag är risken stor att isen bryts sönder och bildar isproppar som dämmer vattnet med ökad risk för skador som följd och är därför en viktig faktor i planeringen tappningen under hösten.

Anledningen till att behovet av marginaler till fullt i magasinen ökar under hösten jämfört med sommaren är att växtligheten slutar dra vatten ur marken. I slutet av september märks en markant skillnad i hur stor andel av nederbörden som tas upp av marken. Efter växtperiodens slut ökar vattenflödena snabbt efter regn och den ökade tillrinningen varar under en längre tid. Om det regnar mycket under hösten ökar tillrinningen ytterligare och det behövs betydligt mindre nederbörd under hösten än på sommaren för att ge höga flöden. 70-80 % fyllnadsgrad är ett riktmärke för att ha marginal i magasinen att omhänderta normala höstflöden. Lägre nivåer ökar risken för

att magasinen inte fylls inför vintern om nederbörden blir lägre än normalt och torra höstar är inte helt ovanliga.

Vintern

När dygnsmedeltemperaturen sjunker under 0 grader och nederbörden börjar komma som snö minskar tillrinningarna snabbt och då påbörjas årsavsänkningen av magasinen för att behålla en hög vattenföring och elproduktion i älven. Varje magasin har sin årsavsänkningsplan för att produktionen från kraftverken i älven ska följa efterfrågan på elkraft så bra som möjligt. De mindre magasinen med manuell hantering av luckor ställs in i början av vintern och justeras någon eller några gånger för att anpassa tappningen till önskad nivå inför nästa vårflod. Från de större magasinen som fjärrstyrs från en driftcentral, regleras tappningarna hela tiden under vintern för att anpassa vattenföringen i älven och takten på sjöarnas avsänkning till behovet varje dag och vecka.

Från januari görs regelbundet prognoser på kommande vårflod. Vattenvolymen i den kommande vårfloden påverkar hur de magasin som rymmer hela vårfloden regleras. Förväntas en liten vårflod kan det innebära att en del av vattnet i magasinet sparas. Trängslet och Venjansjön har särskilda villkor i vattendomarna som anger att prognosen för vårflodsvolymen måste visa att magasinet kommer att fyllas inför sommaren för att hela regleringsvolymen ska få nyttjas. För Venjansjön är det vanligt att inte hela regleringsvolymen får användas.

Isproblem i älven är en annan faktor påverkar regleringen under vintern. Olika delar av älven är olika känsliga och för vissa delar är det upptagit i vattendomen hur regleringen ska hanteras för att minska risken för isproppar. I Österdalälven finns det en tabell över lägsta tillåtna vattenföring i förhållande till luft och vattentemperatur. I takt med att vattentemperaturen och lufttemperaturen sjunker måste tappningen ökas för att undvika oönskad isbildning i älven. Nedström Skedvis kraftverk är Dalälven smal och här bildas lätt isproppar i älven. Ispropparna begränsar vattenföringen med följden att nivån stiger uppströms isproppen. Isproppar är svåra att hantera och isen som först trycks uppåt och sedan sjunker igen när proppen släpper kan skada både bryggor och växlighet utmed älvstranden. Hur vattenregleringen utförs när det finns risk för isproblem kan båda förbättra och förvärra situation. Svårigheten ligger i att veta om man ska öka eller minska tappningen för att minska problemet.

Nästa vårflod

Hur stor del av den totala magasinsvolymen i Dalälven som utnyttjas under en vinter avgörs oftast av hur lång vintern blir. De år då värmen kommer i mitten av mars hinner magasinen inte tömmas innan tillrinningarna är högre än tappningen och magasinen börjar fyllas igen. Startar vårfloden vid normal tid eller sent hinner magasinen tömmas till sina sänkingsgränser. Är vårfloden mycket sen kan det bli någon vecka med mycket låga vattenföringar i älven från det att magasinen tömts och vårfloden inleds.

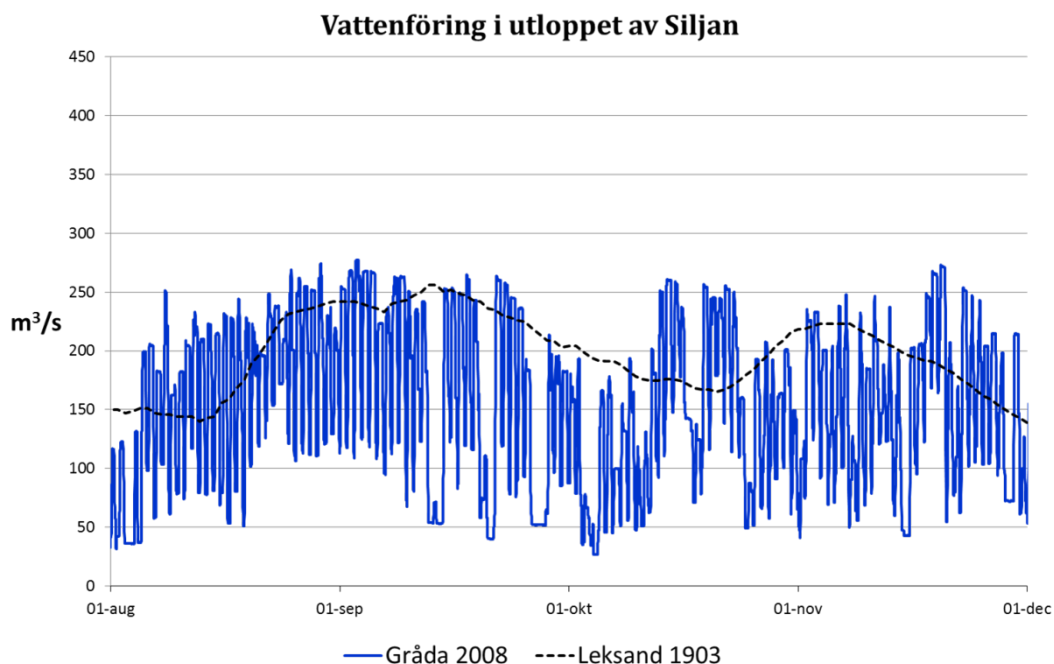
När snön börjar smälta i nedre Dalälvsområdet minskas tappningarna från magasinen på högre höjd där det fortfarande är vinter, eftersom vattentillrinningen längre ned i systemet ger tillräcklig med vatten för att driva kraftverken i Dalälvens huvudflöde.

Klimatskillnaderna är stora mellan Dalälvens fjällområden och lågland. Vårfloden kommer ofta i två omgångar. Skogsfloden (från låglandet) först och sedan fjällfloden. En tidig start på skogsfloden, med en gradvis stigande snösmältning i fjällen ger en utdragen vårflod. Även om vintern då varit snörik och den totala volymen smältvatten är stor blir den högsta vattenföringen i älven inte så hög att den skapar några problem.

En risk med mycket senar vårflöden är att vissa magasin enligt vattendomen måste börja fyllas upp vissa datum. När vårfloden sedan kommer kan inte lika stor del av vårflodsvattnet magasineras som normalt. När våren är kall och vårfloden startar sent minskar oftast tiden mellan starten på snösmältningen på låglandet och i fjällen. Skogsfloden hinner då inte helt passera innan fjällfloden kommer och det behöver inte vara mycket snö för att orsaka höga flöden om snön smälter på kort tid. Historiskt har många extremt höga vårflöden orsakats av kallt väder under hela april och ett snabbt omslag under maj till höga temperaturer med snabb snösmältning i kombination med mycket nederbörd.

Korttidsreglering.

När det är möjligt och tillåtet enligt tillståndet för vattenregleringen kommer tappningen i kraftverken varieras efter den dagsaktuella efterfrågan på elkraft. Korttidsregleringen innebär som regel att tappningen är hög under dagtid och lägre på natten och det skiljer även mellan vardag och helg. Efter de senaste årens utbyggnad av vindkraften i norra Europa har vinden blivit en faktor som också påverkar hur vattnet regleras. Lite vind medför behov av högre tappning och tvärt om. En förutsättning för att kunna korttidsreglera vattenföringen är att vattensituationen tillåter detta. Om det är höga tillrinningar och välfyllda magasin finns det inget utrymme att minska tappningen under tider när efterfrågan på elkraft är låg. Är det torrt och allt tillgängligt magasinsvatten redan utnyttjat finns ingen möjlighet att öka tappningen oavsett hur hög efterfrågan blir.



Figur 16. Exempel på snabba vattenflödesförändringar vid korttidsreglering. Österdalälven nedströms Gråda, före respektive efter Siljans reglering.

Vattenhushållningsbestämmelserna styr om och vilka årstider det är tillåtet att korttidsreglera vattnen. I Österdalälven är tillståndet att korttidsreglera vattenföringen begränsad under hela året och under sommaren helt förbjuden från Åsen och nedöver. Notera dock att förbud för korttidsreglering är inte samma sak som att förbud för tappningsändringar. Det som är förbjudet är att utifrån produktion av elkraft ändra tappningen upp och ned mellan dag och natt och mellan olika dagar. Tappningsändringar till följd av förändrad tillrinning orsakad av regn eller långsiktig förändring av tappningen från ett magasin, som inte leder till att tappningen snabbt varierar upp och ned, får utföras och förr eller senare kommer tappningsändringar behövas även om korttidsreglering inte är tillåten. I Dalälven är Österdalälven, trots sina begränsningar det viktigaste delområdet för korttidsreglering, därefter kommer sträckan mellan älvarnas sammanflöde i Gagnef och ned till Avesta.

Dalälvens elproduktion och bidrag till reglernytta

I detta kapitel ges en översiktlig bild av Dalälvens totala elproduktion och reglernytta dvs. vattenkraftens förmåga och nytta att anpassa produktionen till tidpunkter då samhället behöver mer elektricitet. Beräkningarna baseras på de senaste årens förhållanden vad gäller klimat/avrinning, kraftverkens och regleringsmagasins dimensionering samt företagens produktionsstrategier i förhållande till samhällets varierande efterfrågan på el under året.

Dalälvens elproduktion

I respektive delområdeskapitel (längre fram i denna rapport) redovisas i tabellform bland annat fallhöjd, installerad effekt och årlig elproduktion för alla kraftverk i Dalälvens huvudflöden. För biflöden redovisas antalet kraftverk och deras totala effekt och elproduktion. I nedanstående tabell sammanfattas dessa uppgifter för Dalälven som helhet.

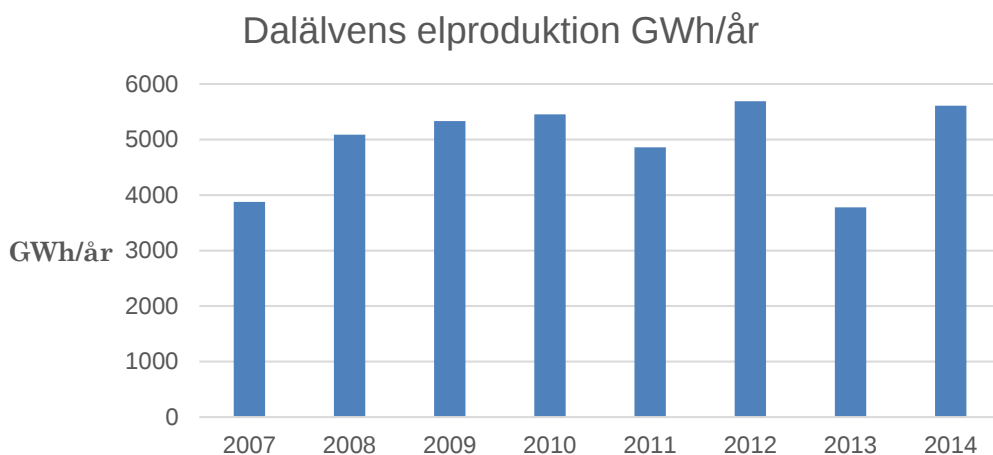
Tabell 2. Elproduktion och installerad effekt i Dalälvens kraftverk

	Elproduktion GWh/år		Installerad effekt MW		Antal kraftverk	
	Huvudflödet	Biflöden	Huvudflödet	Biflöden	Huvudflödet	Biflöden
Österdalälven	1151	35	413	12	6	16
Oreälven	113	3	31	1	6	1
Västerdalälven	409	84	88	20	6	15
Runns tillflöden	72	9	15	4	14	19
Mellersta Dalälven	1655	19	329	6	9	26
Nedre Dalälven	1251	1	249	0,4	6	7
Totalt	4651	151	1125	43	47	84

Av tabellen framgår att Österdalälven, Mellersta Dalälven och Nedre Dalälven har störst elproduktion. I Österdalälven finns älvens två viktigaste regleringsmagasin: Trängslet (stor fallhöjd och regleringsvolym) och Siljan (stor regleringsvolym). Huvuddelen av Dalälvens fallhöjd från Trängslet till Älvkarleby är utbyggd (372 av totalt 423 meter). Vattenflödet ökar succesivt neröver älven och därmed även elproduktionen i förhållande till respektive kraftverks fallhöjd.

Dalälvens totala elproduktion är i ovanstående tabell ca 4 800 GWh/år. Elproduktionen varierar dock påtagligt mellan år beroende på nederbörd och vattentillrinning. Nedanstående diagram visar hur den totala elproduktionen i enbart Fortums och Vattenfalls vattenkraftverk har varierat mellan 3 800 och 5 700 GWh under tidsperioden 2007 - 2014. Medelproduktionen var ca 4 750 GWh. Fortum och Vattenfall äger huvuddelen av älvens vattenkraft.

Den genomsnittliga årliga elproduktionen i Dalälvens alla vattenkraftverk bedöms vara ca. 5 000 GWh/år (5 TWh/år) vilket kan jämföras med Sveriges totala vattenkraftsproduktion som är ca 65 000 GWh/år (65 TWh/år). Dalälven svarar således för ca 8 % av Sveriges vattenkraftsproduktion.



Figur 17. Elproduktionen i Fortums och Vattenfalls vattenkraftverk i Dalälven.

Dalälvens reglerkraftsnytta

Elenergi är en högkvalitativ energiform med en rad olika användningsområden som belysning, industriprocesser, uppvärmning/kylning, IT mm. Många av dessa samhällsfunktioner varierar över tid; belysningsbehovet är störst på kvällar och vintertid, industriprocesser ställs ofta av på helger/semestrar och även nattetid, värmebehovet är störst under vintern medan kylbehovet är störst sommartid osv. Samhällets behov av elenergi varierar således påtagligt under året.

El produceras med hjälp av många olika kraftslag. Kärnkraft och kraftvärmeverk ”rullar på” med förhållandevis konstant produktionsförmåga medan andra som sol och vind varierar beroende på väder och vindförhållanden. Idag har vi begränsade möjligheter att lagra elenergi – varför el i huvudsak behöver produceras samma sekund som den konsumeras.

Vattenkraften har förmåga att lagra sin ”drivkraft” dvs. vatten och tämligen omedelbart anpassa vattenflödet genom turbinerna och därmed elproduktionen till samhällets samlade behov efter det att övriga energislag bidragit med sin aktuella produktionsförmåga.

Vattenregleringar syftar till att spara vatten både från tidsperioder med hög vattentillrinning till torrperioder och från tidsperioder med låg efterfrågan på elenergi till tidpunkter med hög efterfrågan. Det medför både årsregleringar för att spara vatten i magasin från vårfloden till nästa vinter och korttidsregleringar med snabba flödesförändringar.

Vattenkraften har tack vare sin förmåga att snabbt öka och minska sin elproduktion samt sin ”tröghet” i generatorernas stora svängmassa en central betydelse för att stabilisera elnätet och säkerställa en jämn elkvalité (50 Hz).

Se vidare det inledande kapitlet ”Vattenkraftens roll i Sveriges energisystem”.

Vattenkraftens reglernytta uppnås genom en kombination av vattenregleringsmagasinens vattenhushållning och vattenkraftverken där vattnets lägesenergi omvandlas till elenergi. Värdet av dessa tjänster kan beskrivas på olika sätt. I denna rapport har vi valt att beskriva reglerkraftnyttan med utgångspunkt från följande perspektiv.

1. Vattenregleringsmagasinens energi- och reglerkraftsnytta.
2. Driftstrategier för magasinerna och kraftverk – ett produktionsperspektiv.
3. Ekonomiskt mervärde – ett företagsekonomiskt perspektiv.
4. Relativt reglerbidrag – ett energisystemperspektiv.
5. Hydromorfologisk påverkan – ett vattenvårdsperspektiv.

Dessa olika sätt att ”gaffla in” och beskriva reglernytta baseras på historiska data/uppgifter dvs. hur kraftverken ”körts” det senaste årtiondet. Eventuella möjligheter att förändra de enskilda kraftverkens reglernytta i syfte att både stärka elsystemet och möjliggöra omfördelning av års-/korttidsreglering mellan vatten för att minimera den samlade miljöpåverkan bör analyseras i en särskild rapport.

Detta arbetssätt att beskriva energinyttan utifrån ett antal olika perspektiv och analysera hur väl de visar samma bild stärker kvalitén och trovärdigheten för de samlade bedömningarna. Noteras kan att motsvarande arbetssätt, med delvis samma underlag (!) kan användas för att beskriva den hydromorfologiska miljöpåverkan.

1 Vattenregleringsmagasinens energi- och reglerkraftnytta

Alla vattenkraftverk har en intagsdamm för att upprätthålla fallhöjden genom kraftverken. De flesta kraftverksmagasin har dock en begränsad regleringsvolym och många kraftverk i Dalälven har ingen egen vattenreglering, utan drivs som strömkraftverk. Ett 15-tal större regleringsmagasin svarar för huvuddelen av Dalälvens årsreglering och balansering av vattenflöden under året. Se figur 11 där ”lådorna” visualiserar magasinens regleringsvolym. Därutöver finns ett hundratal mindre magasin i biflödena - som främst används för årsreglering. Många av dessa är tidigare flottningsmagasin utan ” eget ” kraftverk.

I respektive delområdeskapitel (längre fram i denna rapport) anges i tabellform vilka regleringsmagasin som ligger i huvudflödet - med uppgifter om bland annat regleringsvolym, kraftföretagens regleringsstrategi och regleringsvolymens ”energiinnehåll” dvs möjlig elproduktion genom alla kraftverk nedströms ut till havet. För biflödena redovisas antalet regleringsmagasin och deras samlade reglernytta. I nedanstående tabell sammanställs regleringsvolymerna för Dalälven som helhet.

Regleringsvolym i miljoner m3 (Mm3)		
	Huvudflödet	Biflöden
Österdalälven	1538	56
Oreälven	155	27
Västerdalälven	0	385
Runns tillflöden	280	65
Mellersta Dalälven	125	>30
Nedre Dalälven	27	5
Totalt	2125	568

Av tabellen framgår att den största regleringsvolymen finns i Österdalälven (Trängslet och Siljan-Orsasjön-Insjön) och några ytterligare magasin i Västerdalälven/Vanån (Venjansjön och Öjesjön), Mellersta Dalälven (Runn) och Runns tillflöden (Amungen, Balungen och Ljugaren). Nyttan av dessa vattenregleringar ”skördas” sedan genom alla kraftverk nedströms, ner till havet i Älvkarleby.

För att belysa årsregleringarnas betydelse för energiproduktion och reglerkraft i Dalälven har elproduktion och medeleffekt vid reglerad (nuvarande) och naturlig vattenföring (modellberäknad utan vattenreglering) jämförts med varandra. SMHI:s tidsserier med reglerad och naturlig vattenföring för åren 2004-2014 har använts för beräkningarna.

För samtliga kraftstationer i huvudvattendragen (de kraftverk som redovisas i tabeller för respektive delområde i denna rapport) samt för de två största kraftverken i Västerdalälvens biflöden (Horrmond och Gävunda) har produktionen för varje dag beräknats utifrån aktuellt medelflöde (reglerat och naturligt), kraftstationens produktionsekvivalent [MW/(m³/s)] och utbyggnadsvattenföring.

Vattenföring upp till utbyggnadsvattenföring har förutsatts ge elproduktion, dvs. ingen hänsyn har tagits till eventuella driftsstopp. Vid driftsstopp används vattenmagasinen till att anpassa flödena för att minska produktionsförlusterna. Denna nytta av magasinen har dock inte kvantifierats.

Med utgångspunkt från dessa beräkningar av daglig elproduktion sammanställdes för varje delområde och för Dalälven som helhet:

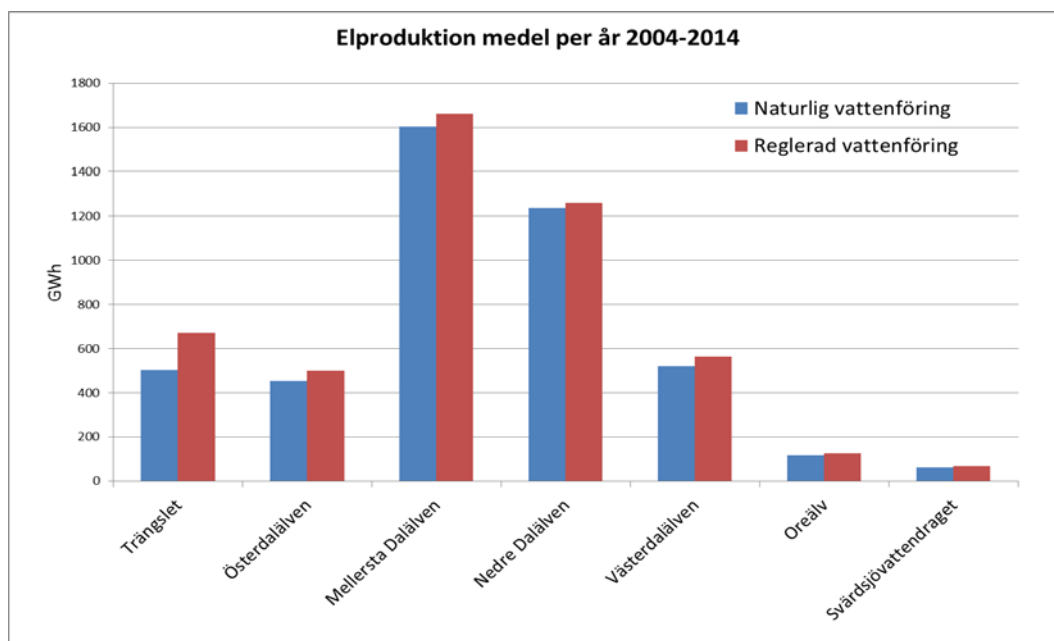
- Elproduktionen per år (GWh) med naturlig och reglerad vattenföring.
- Elproduktionen per år i perioden Nov-Mars (GWh) med naturlig och reglerad vattenföring.
- Medeleffekt för perioden Nov-Mars (MW) med naturlig och reglerad vattenföring.

Elproduktion och medeleffekt för respektive delområde beräknas som summan av de enskilda kraftverken inom delområdet. Den tillgodogjorda nyttan av årsregleringarna i varje kraftverk är dock en effekt av alla årsregleringsmagasin uppströms aktuellt kraftverk, dvs. även magasin i andra delområden.

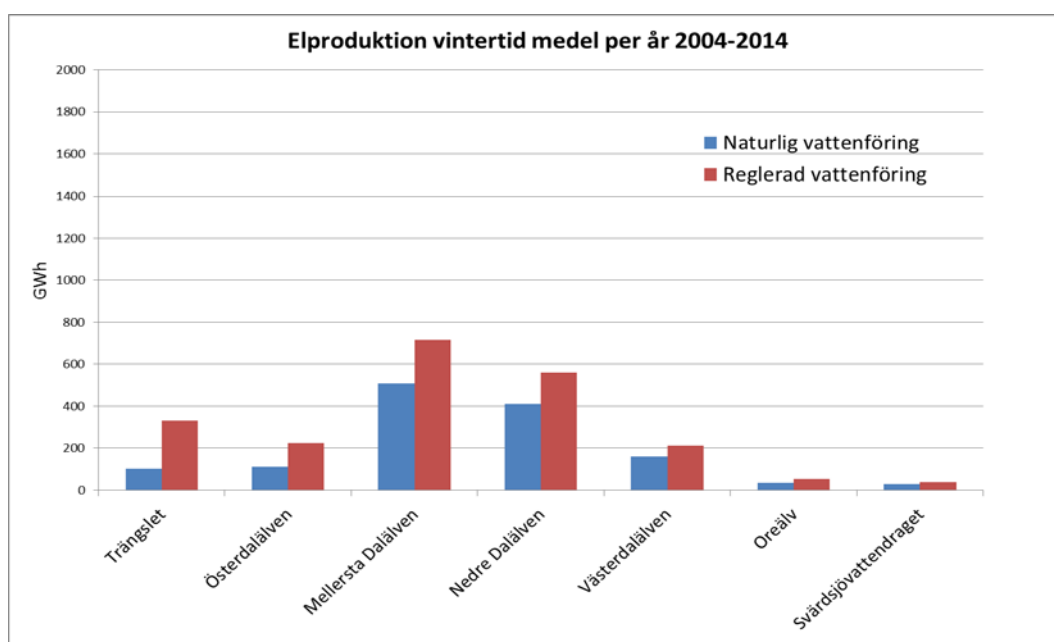
Beräkningarna för de helt konstgjorda sjöarna Trängslet och Vässinjärvi utgår från att sjöns vattennivå i det oreglerade fallet låg på sjöarnas sänkningsgräns. Den erhållna vinsten är i dessa fall både en fallhöjdsvinst och regleringsvinst.

Genom årsreglering sparas vatten från vårens snösmältning till nästkommande vinter för att matcha efterfrågan på el. Även riklig nederbörd vid andra tillfällen på året magasineras i samma syfte. Årsregleringen innebär också att spill av vatten förbi kraftstationerna kan minskas om det kommer mycket vatten på kort tid, vilket sammantaget leder till en ökad elproduktion.

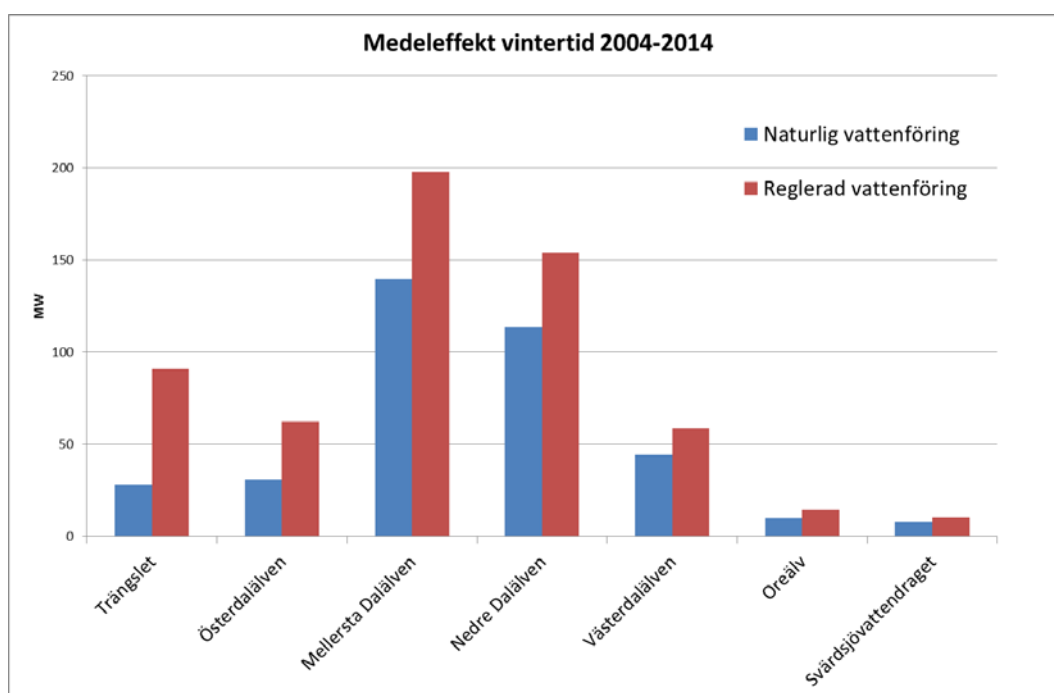
Årsregleringen i Dalälven har sammantaget lett till att elproduktionen i genomsnitt ökat med 350 GWh per år under 2004-2014. Genom årsregleringen har dessutom i genomsnitt 770 GWh flyttas från sommarperiod (april-oktober och då framför allt vårfloden) till vinterperiod (nov-mars). Detta motsvarar 35 % av produktionen under vinterperioden. Genom denna vattenhushållning har medeleffekten i kraftverken under vinterperioden ökat med 210 MW. Se nedanstående tre diagram.



Figur 18. Elproduktionen per år vid reglerad respektive naturlig vattenföring.



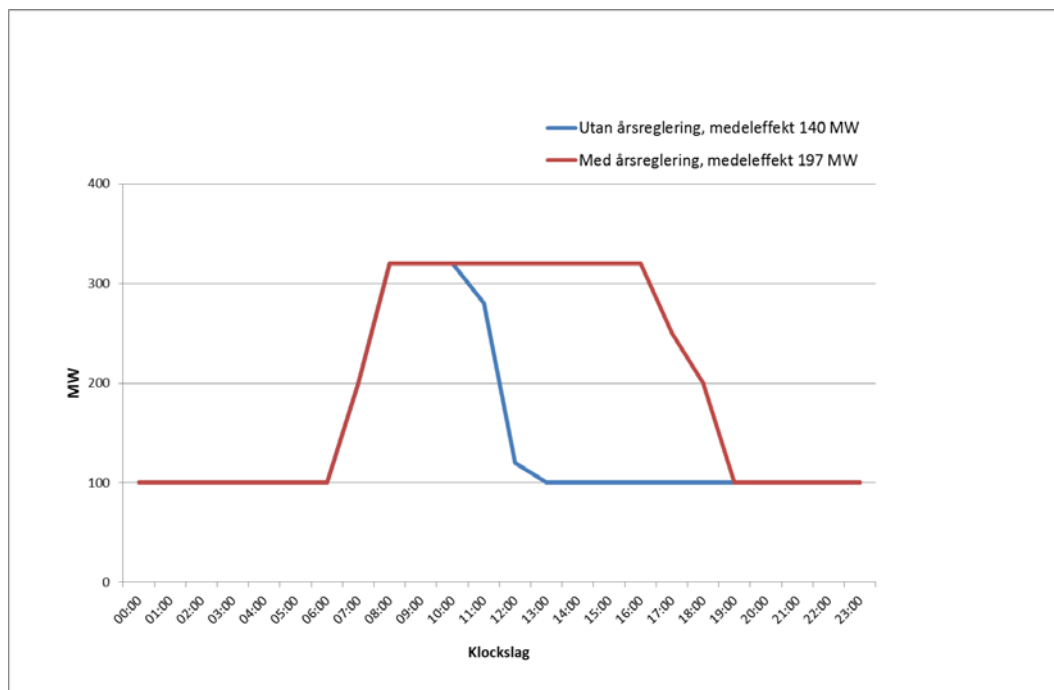
Figur 19. Elproduktionen vintertid (nov – mars) vid reglerad och naturlig vattenföring.



Figur 20. Medeleffekt vintertid (nov – mars) vid reglerad och naturlig vattenföring.

Årsregleringen har stor betydelse för möjligheterna till korttidsreglering under vinterperioden. I figur 21 visas ett hypotetiskt exempel för

korttidsreglering i kraftverken i mellersta Dalälven under ett vinterdygn. Även utan årsreglering finns momentant möjlighet att under dagen öka effekten (om korttidsreglering är tillåten). Tack vare årsregleringens högre medelvattenflöde (medeleffekt) kan dock den högre effekten bibehållas under en längre tidsperiod.



Figur 21. Hypotetiskt exempel för att visa förutsättningarna för korttidsreglering vintertid (nov-mars) i mellersta Dalälven vid vattenföring med och utan årsreglering.

2 Driftstrategier för magasin och kraftverk – ett produktionsperspektiv.

Inom ramarna för miljötillståndens ("vattendomarnas") villkor för regleringsnivåer i magasin och tappningar i kraftverk och vandringsvägar, de så kallade vattenhushållningsbestämmelserna, samt tillgången på vatten och elprisets variation under året kan kraftverksägare ha olika driftsstrategier.

Tillgången på vattenregleringsmagasin vid och uppströms kraftverken och dess storlek är en avgörande faktor för möjligheterna till flexibilitet. I de stora regleringsmagasinen möjliggörs både års- och korttidsreglering vilket kommer nedströms liggande kraftverk i Dalälvens huvudflöde till del, ända ner till Älvkarleby.

Regleringsgraden dvs. hur stor andel (%) av den årliga vattentillrinningen som kan sparas i uppströms liggande vattenregleringsmagasin är ett mått på framför allt möjligheterna till årsreglering i systemet.

Många kraftverk i Dalälven saknar egna magasin för vattenreglering varför de styrs genom så kallad vattennivåreglering (VNR) vilket innebär att tappningen genom turbinerna hela tiden anpassas för att hålla en jämn vattennivå i kraftverksmagasinet - vilket innebär att tappningen motsvarar tillrinningen.

Regleringsstrategin för respektive regleringsmagasin (års- och/eller korttidsreglering) anges i tabellerna i respektive delområdesbeskrivning.

I Dalälvens biflöden finns många mindre kraftverk med uppströms liggande små regleringsmagasin som i huvudsak används som årsregleringsmagasin.

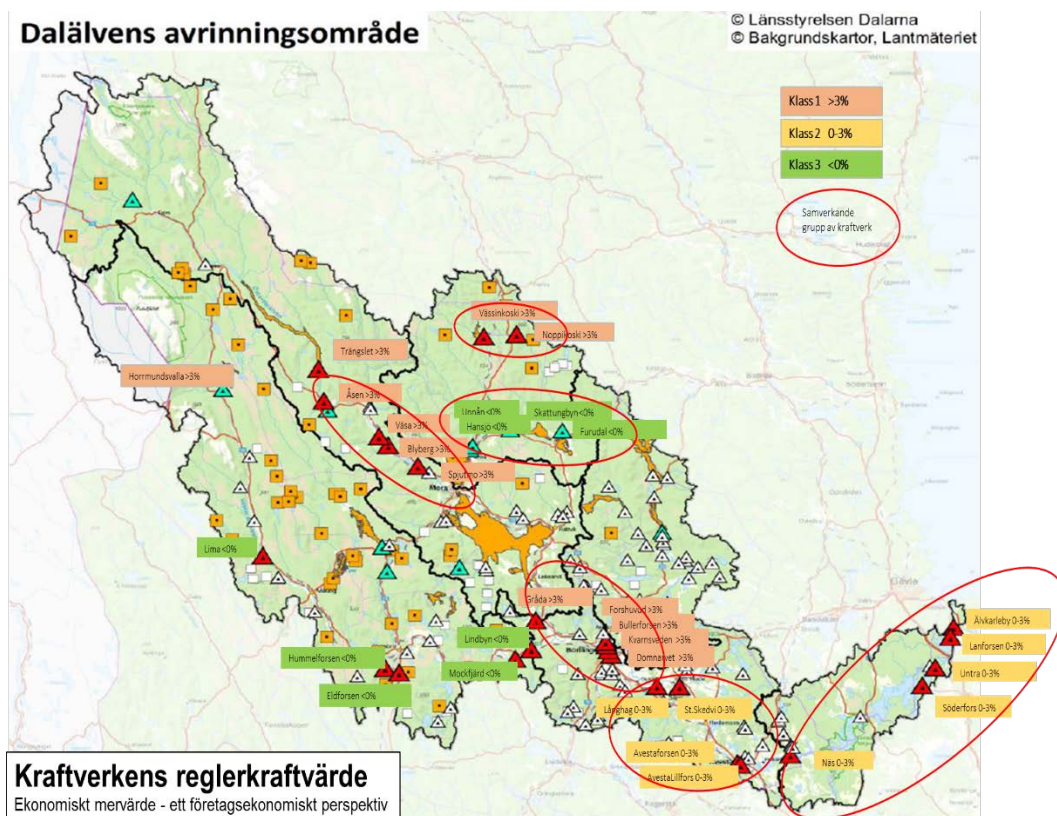
3 Ekonomiskt mervärde – ett företagsekonomiskt perspektiv.

Det är marknaden som skapar produkter och marknadsformer för att täcka upp elsystemets behov. Vattenkraften anpassar sig efter behovet och får betalt efter de produkter som varje kraftverk kan erbjuda.

Ett sätt att belysa och mäta nyttan av vattenregleringar är att jämföra respektive kraftverks verkliga intäkt med en beräkning som baseras på det aktuella årets elproduktion och medelspotpris. För kraftverk med god reglerbarhet (både över år och korttidsplanering) blir den verkliga intäkten högre eftersom man kunnat producera och sälja el under de tider då behovet av el varit stort och därför också betalats med ett högre spotpris än medelpris.

Detta sätt att belysa reglervärdet fångar även in nyttan hos de stationer som används till försäljning av elmarknadens övriga produkter (utöver spotmarknad och effekthandel). Exempel på en sådan ”produkt” är de ”primära regleringarna” dvs snabba, automatiska, frekvensstyrda regleringar, där betalning ges för att turbin och generator hjälper systemet att hålla balansen (50Hz) – både vid normal drift och vid störningar. Denna regleringstjänst är speciellt viktig idag (och kanske än viktigare i framtiden) för att bidra till att balansera de naturliga variationerna i produktion från vind- och solkraft.

Att jämföra den verkliga intäkten av produktionen i förhållande till medelspotpris speglar kraftverkets reglernytta i elsystemet. Utifrån storleken av det mervärde som skapas ges varje kraftverk, eller grupp av kraftverk (vissa kraftverk samkörs för bästa utfall av reglernytta), en klassning i en tregradig skala (1-3). I nedanstående bild presenteras detta beräkningssätt för Dalälvens större kraftverk.



Figur 22- Klassificering av det ekonomiska mervärdet av reglernytta i Dalälvens större kraftverk.

4 Relativt reglerbidrag – ett energisystemperspektiv.

Relativt reglerbidrag är en metod för att kvantifiera i vilken grad enskilda vattenkraftverk bidrar till att balansera elsystem. Måttet speglar kraftverkens förmåga/möjlighet att fortlöpande öka och minska sin elproduktion i förhållande till samhällets varierande efterfrågan på elenergi och variationer i elproduktion från övriga förnybara energislag som sol och vind. Måttet kan beräknas för olika tidsperioder (dygn, vecka, månad och år) och anges i enheten % för hela Sverige.

Svenska Kraftnät har i samverkan med Energimyndigheten och Havs och vattenmyndigheten beräknat relativt reglerbidrag (dygn, 28 dygn och säsong/år) för Sveriges fyra hundra största kraftverk. Beräkningarna har baserats på timdata för elproduktionen i respektive kraftverk från åren 2007-2014. Baserat på dessa beräkningar har Sveriges alla vattenkraftverk delats in i tre klasser (1-3). Klass 1 innehåller de ca 255 kraftverk som har högst bidrag till reglerkraften och klass 2 ca 78 kraftverk med lägre bidrag, medan Sveriges övriga ca 1700 kraftverk i klass 3 har litet reglerbidrag.

I tabell 3 presenteras relativt reglerbidrag för alla kraftverk i Dalälven som hör till klass 1 och 2 samt för några övriga medelstora kraftverk.

Tabell 3. Relativt reglerbidrag för Dalälvens större kraftverk. Källa SvK

Delområde	Kraftverk	Relativt reglerbidrag max säsong %	Relativt reglerbidrag max 28 dygn %	Relativt reglerbidrag max 1 dygn %	Klass 1-3
Österdalälven	Trängslet	0,785	2,078	2,906	1
	Åsen	0,108	0,202	0,042	1
	Väsa	0,091	0,071	0,020	1
	Blyberg	0,051	0,088	0,022	1
	Spjutmo	0,105	0,179	0,038	1
	Gråda	0,105	0,170	0,115	1
Oreälven	Vässinkoski	0,038	0,094	0,096	1
	Noppikoski	0,047	0,067	0,107	1
	Furudal	0,006	0,006	0,000	3
	Skattungbyn	0,005	0,002	0,000	3
	Unnån	0,011	0,004	0,000	2
	Hansjö	0,015	0,006	0,002	2
Västerdalälven	Lima	-0,007	0,025	-0,001	2
	Hummelforsen	0,084	0,013	0,000	1
	Eldforsen	0,019	0,013	0,000	2
	Mockfjärd	0,123	0,042	0,001	1
	Lindbyn	0,040	0,013	0,000	1
	Biflöden Horrmund	0,028	0,091	0,058	1
	Biflöden Johannisholm	0,012	0,002	0,000	2
	Biflöden Gävunda	0,072	0,013	-0,001	1
Runns tillflöden	Dalstuga	0,005	0,002	0,000	3
	Tänger	0,033	0,008	0,000	1
	Piparån	0,000	0,000	0,000	3
	Borgärdet	0,026	0,004	0,000	2
	Sundborn	0,000	0,000	0,000	3
Mellersta Dalälven	Forshuvudforsen	0,176	0,188	0,154	1
	Kvarnsveden	0,256	0,231	0,202	1
	Bullerforsen	0,191	0,202	0,166	1
	Domnarvet	0,105	0,099	0,094	1

	Långhag	0,236	0,233	0,177	1
	Skedvi	0,174	0,205	0,104	1
	Avestaforsen	0,133	0,088	0,096	1
	Avesta Storfors	0,077	0,031	0,017	1
	Avesta Lillfors	0,108	0,081	0,063	1
Nedre Dalälven	Näs	0,101	0,086	0,045	1
	Söderfors	0,100	0,028	0,044	1
	Storgysinge	0,004	0,004	0,000	3
	Untra	0,230	0,086	0,192	1
	Lanforsen	0,193	0,070	0,108	1
	Älvkarleby	0,519	0,148	0,279	1

Av tabellen framgår att Trängslet är Dalälvens i särklass viktigaste kraftverk ur reglerkraftssynpunkt, i alla tre tidsperspektiven, med särskilt höga värden för de kortare tidsperspektiven 28 dygn och 1 dygn. De nedströms liggande kraftverken i Österdalälven har också förhållandevis höga värden för säsong och 28 dygn. Oreälvens bägge övre kraftverk Vässinkoski och Noppikoski har förhållandevis höga värden för alla tre tidsperspektiven medan nedströms liggande kraftverk har lågt reglerbidrag, frånsett visst säsongsbidrag nedströms Skattungen.

I Västerdalälven, som har få regleringsmagasin i sina övre delar, har Lima kraftverk negativa värden för säsong och 1 dygn vilket beror på att den naturliga flödesdynamiken under stor del av året är ”tvärt om” i förhållande till samhällets efterfrågan på el. I Västerdalälvens tillflöde Vanån finns flera årsregleringsmagasin vilka bidrar till höga värden för säsong i nedströms liggande kraftverk. I Runns tillflöden förekommer inte korttidsreglering och det är endast ett fåtal större kraftverk som ger visst bidrag till reglervärdet för säsong. De 14 stora kraftverken, nedströms regleringsmagasinet Siljan (och Runn), i Mellersta och Nedre Dalälven har alla höga reglerbidrag för alla tre tidsperspektiv.

Rapporten om relativt reglerbidrag har tagits fram för att bedöma reglerbidragets samhällsnytta från ett energiperspektiv vilket behövs som underlag för arbetet med kraftigt modifierade vatten (KMV) inom vattenförvaltningen. För klass 1 objekten är bedömningen att ”i den här cykeln av vattenförvaltningen bör en reducering av reglerförmågan i klass 1 objekten undvikas”. Samtidigt anges att det kan finnas fall där miljökrav i annan lagstiftning, som art och habitatdirektivet, kan medföra att åtgärder ändå måste vidtas för dessa anläggningar.

Läs mer i rapporten ”Vattenkraftens reglerbidrag och värde för elsystemet”. Energimyndighetens rapport 2016:11

5 Hydromorfologisk påverkan – ett vattenvårdsperspektiv.

I respektive delområdesbeskrivning (längre fram i denna rapport) redovisas hur dagens vattenreglering påverkar de bägge hydromorfologiska kvalitetsfaktorer som belyser omfattningen av års- och korttidsreglering i förhållande till den naturliga flödesdynamiken. Vattenregleringarnas omfattning speglar både dess nytta och påverkan, varför även dessa kvalitetsfaktorer kan användas för att verifiera en samlad bedömning av kraftverkens reglernytta.

De hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna presenteras i vattenförvaltningens fem statusklasser; Hög (1), God (2), Måttlig (3), Otillfredsställande (4) och Dålig (5), för att ge en översiktlig bild av regleringarnas omfattning i olika tidsperspektiv.

Sammanfattande bedömning av ”Vattenregleringarnas energinytta”

Av ovanstående avsnitt framgår att vattenregleringarnas omfattning och nytta i form av elproduktion och reglerkraft kan beskrivas och värderas med hjälp av flera olika ”mått”. Dessa består av en blandning av prestanda och strategier för anläggningarnas drift, historiska produktionsvärden och ekonomiska utfall samt modellberäknade index för flödesförändringar och bidrag till balansering av elsystemet. Dessa mått och värden kan i sin tur indelas i olika klasser. Måtten speglar både vattenregleringsmagasinens och kraftverkens funktion i Dalälvens vattenkraftssystem.

Teoretiskt är det möjligt att med hjälp av dessa mått och viktningsfaktorer dem emellan matematiskt rangordna enskilda kraftverk eller grupper av kraftverk utifrån dess ”energivärde”. Men då förloras helhetsperspektivet på kraftsystemet och insikten i betydelsen av samverkan mellan magasinens vattenreglering och de nedströms liggande kraftverkens elproduktion.

Elsystemets behov av vattenkraftens olika nyttor (elproduktion och balansering/reglering i olika tidsdimensioner) kommer också att förändras i takt med att elsystemet (både efterfrågan och produktion) förändras de närmaste åren. Vilket behöver beaktas vid prioritering av miljöåtgärder.

I nedanstående tabell ges en översiktlig sammanfattning av reglervärdena, baserat på de presenterade måtten, för kraftverken i huvudflödet i Dalälvens sex delområden (med Trängslet särredovisat).

Tabell 4. Elproduktion och reglerkraftsvärde för respektive delområde.

Elproduktion och reglerkraftsvärde i huvudflödet									
Elproduktion			Reglerkraftsvärde (siffror hänvisar till respektive textavsnitt ovan)						
	Elproduktion Huvudflödet GWh/år	Effekt Huvudflödet MW	1 Ökad elproduktion GWh/år	1 Flyttad elproduktion GWh/år	2 Reglerings- strategi År/Korttid	3 Ekonomiskt mervärde Klass 1-3	4 Relativt reglerbidrag Klass 1-3	5 Status Volym avvikelse	5 Status Flödes- förändring
Trängslet	651	300	171	230	År/Korttid	1	1	4	5
Österdalälven övrigt	500	113	70	110	År/Korttid	1	1	4	4
Oreälven	113	31	8	17	År/Korttid	1-3	1-3	4	5
Västerdalälven	409	88	40	50	(År)	3	1-3	2-3	2-3
Runns tillflöden	72	15	4	10	År		1-3	3-4	2-3
Mellersta Dalälven	1655	329	59	210	(År)/Korttid	1-2	1	3	5
Nedre Dalälven	1251	249	24	150	(År)/Korttid	2	1	3	2-5
Totalt	4651	1125							

I följande avsnitt redovisas en samlad textmässig värdering av enskilda och grupper av magasin/kraftverk med samma områdesindelning som för rapporten i övrigt. Bedömningar baseras på dagens förhållanden och värden.

En kompletterande analys av förutsättningarna för att omfördela och/eller utöka den totala regler nyttan bör i framtiden genomföras för hela Dalälven.

Österdalälven

Trängslet är Dalälvens största regleringsmagasin med en fallhöjd av 142 meter och Trängslets kraftverk har älvens högsta elproduktion (ca 650 GWh/år). Dammen möjliggör med sin regleringsamplitud på 35 meter en betydande årsreglering och korttidsreglering i olika tidshorisonter med varierande tappningar mellan 0 och 250 m³/s på kort tid. I den omedelbart nedströms liggande Åsendammen återregleras och dämpas flödesförändringarna för att säkerställa en minivattenföring av 21 m³/s i Österdalälven. Vilket minskar den hydromorfologiska påverkan påtagligt. I ett nationellt perspektiv har Trängsletdammen mycket högt värde för både års- och korttidsreglering samt även en betydande elproduktion.

Nedströms liggande kraftverk Väsa, Blyberg och Spjutmo har inga egna regleringsmagasin utan följer Trängslet - Åsens tappningar. Den hydromorfologiska påverkan avtar nedströms i älven i takt med tillflöden från oreglerade biflöden som Rotälven. De fyra kraftverken nedströms Trängslet har en total elproduktion av närmare 400 GWh/år och deras regleringsnytta är hög eftersom de följer Trängslets säsongsreglering.

Siljan är Dalälvens näst störst regleringsmagasin med en regleringsvolym på ca 660 miljoner m³ i jämförelse med Trängslets ca 880 miljoner m³. Fallhöjden är dock betydligt lägre, 12 meter vid Gråda kraftverk, varför elproduktionen är mycket lägre (ca 120 GWh/år). Trängslet och magasinerna i Oreälven samverkar med Siljans reglering. Alla kraftverk från Trängslet till Gråda hör till klass 1 för relativt reglerbidrag.

Regleringen av Siljan i Gråda kraftverk har central betydelse för Dalälvens vattenkraftssystem genom att balansera Västerdalälvens stora

flödesvariationer och optimera vattenflödena för alla nedströms liggande kraftverk ända ner till Älvkarleby. Vilket medför att alla dessa kraftverk får ett högre reglerkraftvärde ur både års- och korttidsregleringsperspektiv.

Oreälven

Magasinet Vässinjärvi högst upp i systemet har en regleringsvolym på ca 70 miljoner m³ som används för både års- och korttidsreglering för de bägge kraftverken Vässinkoski och Noppikoski. Dessa bägge kraftverk har ett förhållandevis högt reglervärde, framför allt ur korttidsregleringssynpunkt. De hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna indikerar en kraftig påverkan ända ner till Furudal.

Regleringsmagasinen Skattungen - Oresjön längre ner i vattensystemet används främst för årsreglering. De nedströms liggande kraftverken har ett viss årsregleringsvärde.

Oreälven har sammantaget en förhållandevis låg regleringsgrad (21 %). Den totala regleringsvolymen är ca 90 miljoner m³ och vattenkraftverken ger en total elproduktion av drygt 110 GWh/år.

Västerdalälven

Västerdalälven är förhållandevis outbyggd och det finns inga regleringsmagasin i huvudflödet. Västerdalälvens totala regleringsvolym är närmare 400 miljoner m³ och de bägge största regleringsmagasinen, Venjansjön och Öjesjön, ligger i biflödet Vanån. Västerdalälven har Dalälvens lägsta regleringsgrad (11%). De hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna visar att påverkan på Västerdalälvens naturliga flödesdynamik är begränsad.

De sex kraftverken i Västerdalälvens huvudflöde producerar totalt ca 410 GWh/år. Kraftverken i biflödet Vanån och nedre Västerdalälven har ett visst reglervärde, framför allt för de längre tidsperspektiven säsong och 28 dagar. I biflödena är det endast kraftverket Horrmund, med en fallhöjd på ca 90 meter, som har högt reglervärde för både års- och korttidsreglering. Men dess tillringsområde är så litet att vattenflödena i huvudflödet endast påverkas marginellt.

Runns tillflöden

I Svärdsjövattdragets övre delar ligger de större regleringsmagasinen Amungen, Balungen och Ljugaren. Dessa används enbart för årsreglering. Magasinen i Runns tillflöden har en total årsregleringskapacitet på ca 350 miljoner m³. Det finns ett flertal minde vattenkraftverk i Svärdsjövattdraget vilka tillsammans producerar ca 70 GWh/år. Ett par av de större kraftverken, Tänger och Borgärdet ligger i reglervärdesklass 1-2. De hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna indikerar en påverkan av årsreglering men obetydlig flödesvariation på kortare tidsperioder.

Mellersta Dalälven inklusive Runn

De fyra kraftverken Forshuvud, Kvarnsveden, Bullerforsen och Domnarvet vid Borlänge producerar tillsammans ca 850 GWh/år. Eftersom Siljan genom Gråda kraftverk kan regleras i olika tidsskalor hela året har dessa kraftverk sammantaget högt reglervärde, inte minst för korttidsreglering.

Runn kan både års- och korttidsregleras genom tappningar i Långhags kraftverk men regleringsvolymen är betydligt mindre än i Siljan. Kraftverken från Långhag och ner till Avesta producerar årligen ca 800 GWh och de har tack vare Siljans och i viss mån Runns regleringsmagasin höga reglervärden. Alla kraftverk nedströms Gråda till Avesta ligger i klass 1 för relativt reglerbidrag.

De hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna indikerar att årsflödesdynamiken är påverkad på hela sträckan Gråda – Näs. Korttidsregleringarna vid Gråda och Långhag ger dock den största påverkan och kvalitetsfaktorn flödets förändringstakt är mycket kraftigt förhöjd.

Nedre Dalälven

I kraftverksmagasinen vid Söderfors och Untra finns en förhållandevis liten regleringsvolym på ca 27 miljoner m³ som främst används för korttidsreglering. De fem stora kraftverken i Nedre Dalälven producerar tillsammans ca 1 250 GWh/år och de har alla höga reglervärden (Klass 1 för relativt reglerbidrag).

De hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna indikerar en förändrad årsregleringsdynamik på samma nivå som för Mellersta Dalälven och en korttidsregleringspåverkan omedelbart nedströms Näs och för området mellan Söderfors och Älvkarleby.

Vattenkraftens generella påverkan på sjöar och vattendrag

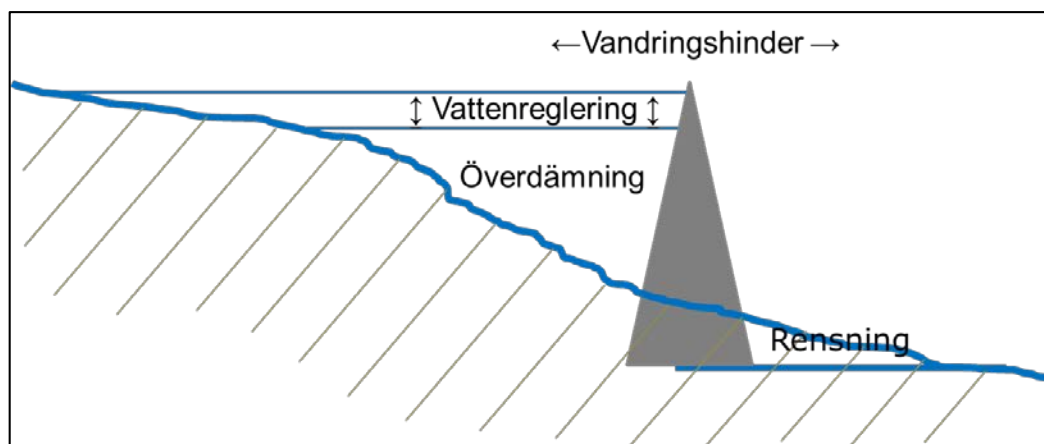
Vattenkraftens nytta i form av kraftverk och magasin för vattenreglering orsakar påtagliga förändringar i vattendragens fysiska förutsättningar och vattnets flödesdynamik. Det påverkar i sin tur förutsättningarna för djur och växter i och utefter våra sjöar och vattendrag.

Vattenkraftens generella påverkan

Fysisk påverkan är det vanligaste vattenmiljöproblemet i Sveriges vatten och vattenkraften en av de största påverkanskällorna.

Den viktigaste fysiska förändringen som en följd av vattenkraftutbyggnad är tillkomsten av dammar. De innebär att barriäreffekter uppstår, det vill säga att förutsättningar för fiskvandringar samt nedströms transport av sediment och dött och levande organiskt material i systemet, begränsas eller hindras. Även i övrigt förändras den fysiska miljön, bland annat genom de morfologiska förändringar som blir resultatet av överdämning, rensning,

kanalisering och torrläggning. Andra följdverkningar är förändringar i erosion, vattentemperatur, isförhållanden och vattenkvalitet.



Figur 23. Vattenkraftens generella påverkan på vattnen

Vattenkraft har också en omfattande inverkan på hydrologin i vattensystemet. Reglering av nivåer och flöden i dammar och kraftverk innebär förändringar i det totala flödesmönstret (säsongsvariationen), men även kortsiktiga fluktuationer i vattenföring samt förändringar när det gäller extremt höga och låga flöden.

Energiproduktionens årscykel innebär en förändrad vattenföring med betydligt högre flöden under vinterhalvåret samtidigt som vårflo den reduceras eller uteblir i förhållande till oreglerade förhållanden. Korttidsreglering innebär att flödet kan ändras flera gånger på kort tid, inom dygnet eller till och med inom en timme. Nolltappning innebär att flödet genom och förbi kraftverket helt kan stängas av vilket torrlägger vattendraget eller skapar perioder med sjöliknande förhållanden nedströms. I reglerade sjöar varierar vattennivåerna under året väsentligt i jämförelse med oreglerade förhållanden.

De hydrologiska och morfologiska förändringarna påverkar de akvatiska ekosystemen. Förutom de direkta effekterna av dammar (barriärer) omvandlas vattensystemen från att vara mångformiga till mer homogena miljöer. Strömsatta partier med heterogena habitat däms över eller torrläggs vilket gör att strömvattenkrävande arter försvinner eller reduceras i antal. Primär- och sekundärproduktion samt omsättning av organiskt material påverkas negativt vilket innebär att systemets biologiska produktionspotential sänks. Bottenfauna- och fisksamhällen förändras. Artsammansättning, organismtätheter av och produktionsförutsättningar förändras.

Effekterna på ekosystemet varierar mellan olika vattenkraftanläggningar beroende på skillnader ibland annat anläggningarnas tekniska utformning, vattnens geologiska och hydrologiska förutsättningar, faunans och florans artsammansättning, klimat, regleringspåverkan uppströms och nedströms, effekter av annan mänsklig aktivitet m.m. Vissa effekter uppstår oavsett om det är ett strömkraftverk eller ett reglerkraftverk, medan andra är mer kopplade till vattenregleringen.

Även interaktionen mellan vatten- och landmiljön påverkas. Översvämning/störning av landmiljön, deposition av sediment och organiskt material samt utbytet mellan yt- och grundvatten är exempel på processer som har långtgående inverkan på ekosystemens struktur och funktion i strandnära landmiljöer. Dessa processer förändras eller uteblir i samband med reglering/kraftutbyggnad.

Läs mer om vattenkraftens påverkan på naturen i "Vattenkraftens påverkan på akvatiska ekosystem", Rapport 2013:10 från Havs- och vattenmyndigheten.

Vattenkraftens påverkan på Dalälven

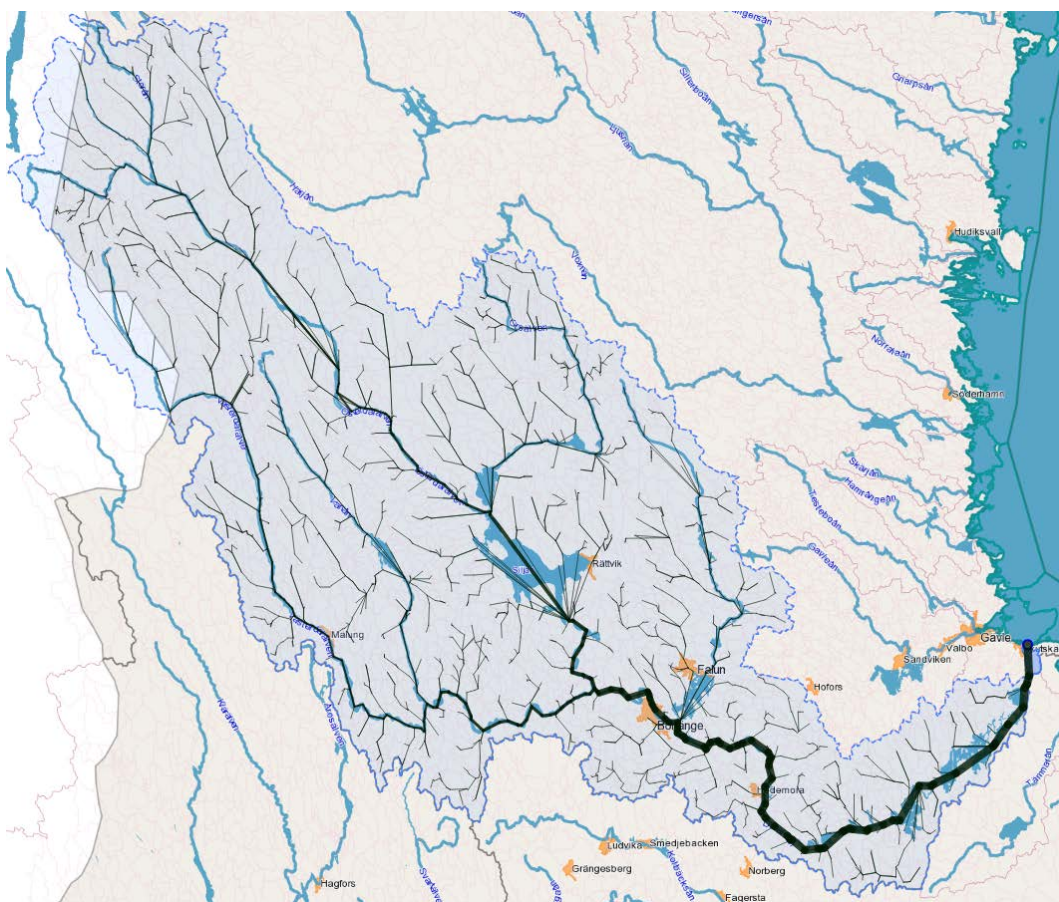
I detta avsnitt belyses hur vattenkraften och dess vattenregleringar påverkan framför allt vattenflöden, vattennivåer och hydromorfologiska kvalitetsfaktorer samt därmed förutsättningarna för älvens djur och växter.

Modeller för beräkning av vattenflöden och flödesförändringar

SMHI använder en kombination av mätningar och modellberäkningar för att beskriva hur vattenflöden varierar i tid och rum. Tidsserier av vattenföringsdata kan sedan användas för att beräkna förändringar i hydromorfologiska kvalitetsfaktorer för hydrologisk regim, enligt Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljökvalitetsnormer för ytvatten (HVMFS 2013:19).

Som utgångspunkt används SMHIs nationella hydrologiska modell S-HYPE. Den beskriver den dagliga variationen i vattenföring och vattenstånd i ca 37 000 platser i landet. S-HYPE inkluderar regleringsrutiner för drygt 500 regleringsmagasin i landet, samt kan uppdateras med mätdata från mätstationer. På så sätt kan både säsongsregleringar och korttidsregleringar simuleras. Du hittar mer information om S-HYPE på SMHI:s hemsida:

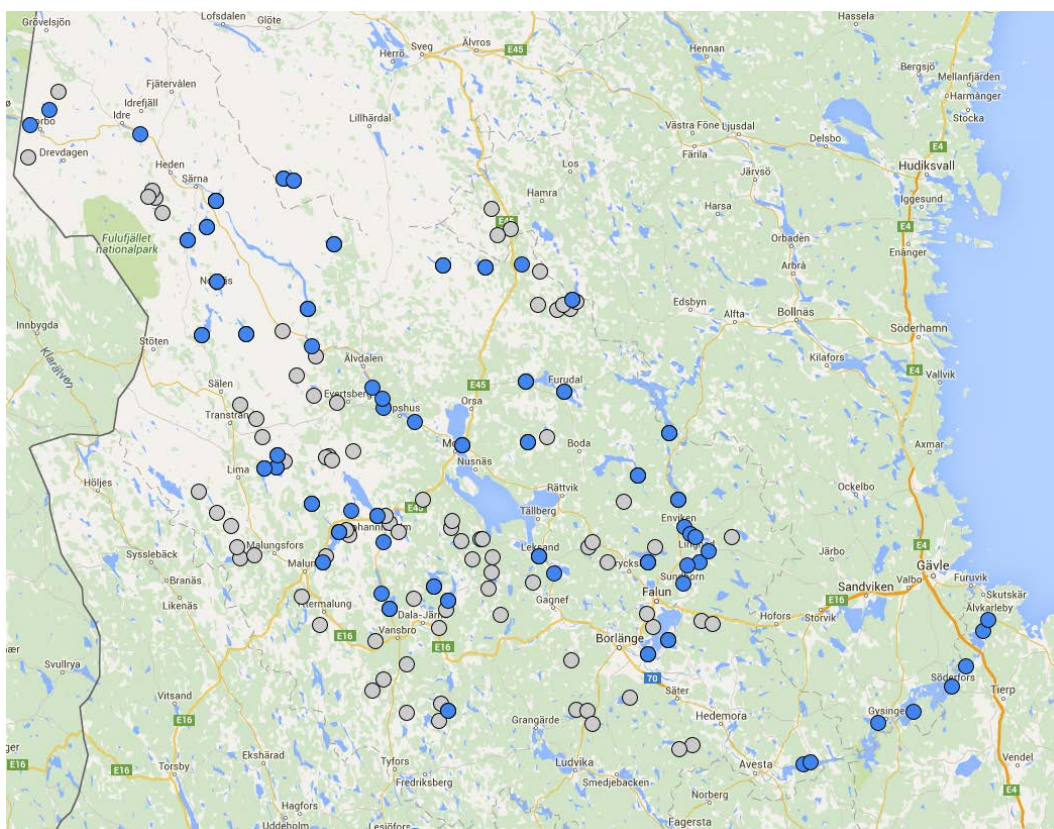
<http://www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/hydrologi/hype-1.557>



Figur 24. Vatten som ingår i S-HYPE modellen för Dalälven.

Inom vattenförvaltningen har bedömningar av förändrade flöden hittills baserats på dygnsvärden dvs. medelflöden för varje dygn. Men då belyses inte de omfattande flödesförändringar som genomförs timme för timme i många större vatten för att tillgodose samhällets varierande behov av elenergi. Dessa snabba flödesförändringar påverkar i allra högsta grad förutsättningarna för vattendragens djur och växter.

Inom arbetet med Hållbar vattenkraft i Dalälven har vattenkraftsbolagen sammanställt historiska dataserier med timupplösning för ett 40-tal vattenkraftverk i framför allt huvudvattendraget. Tidsperioden 2004 – 2014 har använts för att uppdatera modellen. Vilket inneburit ett stort arbete för att kvalitetssäkra dessa dataserier med ca 100 000 mätvärden per kraftverk. S-HYPE har dessutom uppdaterats med nya regleringsrutiner för 83 regleringsmagasin.



Figur 25. Modellens 125 regleringsrutiner som beskriver säsonsregleringar. Blå prickar visar modellens tidigare rutiner och grå prickar modellens 83 nya rutiner.

SMHI har inom arbetet med Dalälven utvecklat en ny beräkningsmetod för att möta behovet av att belysa korttidsregleringarnas effekter. Metoden tillåter att hydrologiska beräkningar med olika tidssteg kan sammanfogas. Kortfattat så används resultaten från S-HYPE för att beskriva nederbörd, avdunstning och avrinning från marken med dygnsupplösning, och dessa bildar randvillkor till en ytvattenmodell som räknar med timupplösning. I ytvattenmodellen kan således regleringar med kortare tidsupplösning än dygn simuleras.

Ytvattenmodellen har även fördelen av att vara väldigt snabb, eftersom endast det hydrologiska nätverket simuleras. Ytvattenmodellen är utvecklad i Javascript vilket gör den möjlig att köra i en webbläsare, och på sikt kan denna modell köras interaktivt på webben. Då kan användaren själv testa utfallet av olika alternativa regleringar.

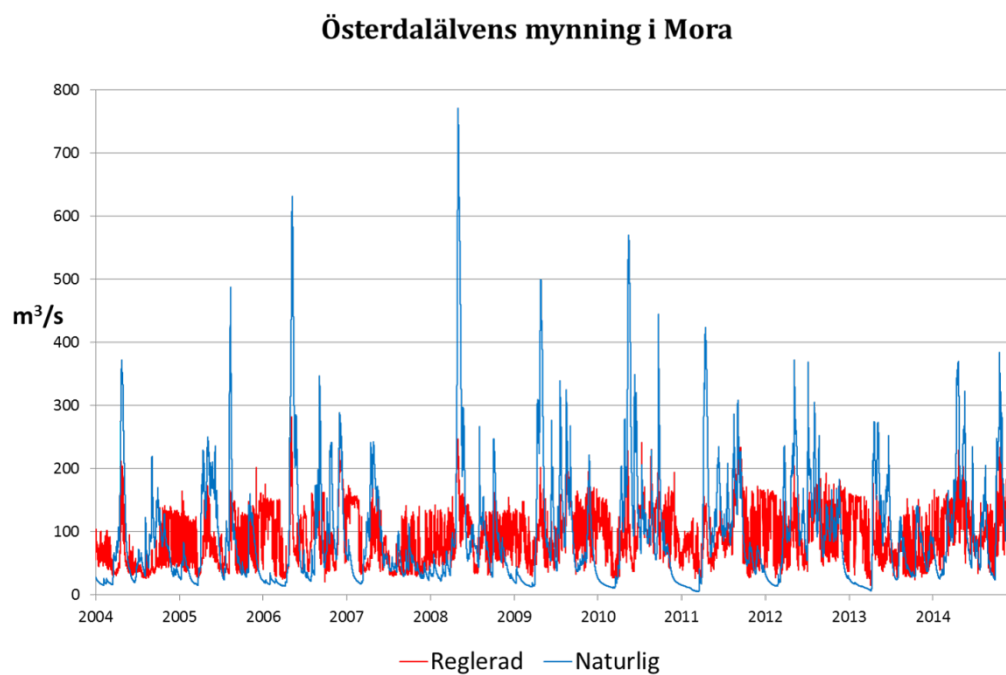
Regleringar beskrivs på två huvudsakliga sätt i modellen: genom att (1) använda regleringsrutiner som beskriver magasinering av vatten mellan olika säsonger på året, och (2) uppdatera modellen med mätdata från vattenkraftverk som beskriver korttidsregleringar.

Några regleringsmagasin, t.ex. Trängsletdammen, där man uppenbart dämt upp en älvsträcka ersätts vid modelleringen med älvsträckor för att vattenytans utbredning ska bli så rättvisande som möjligt.

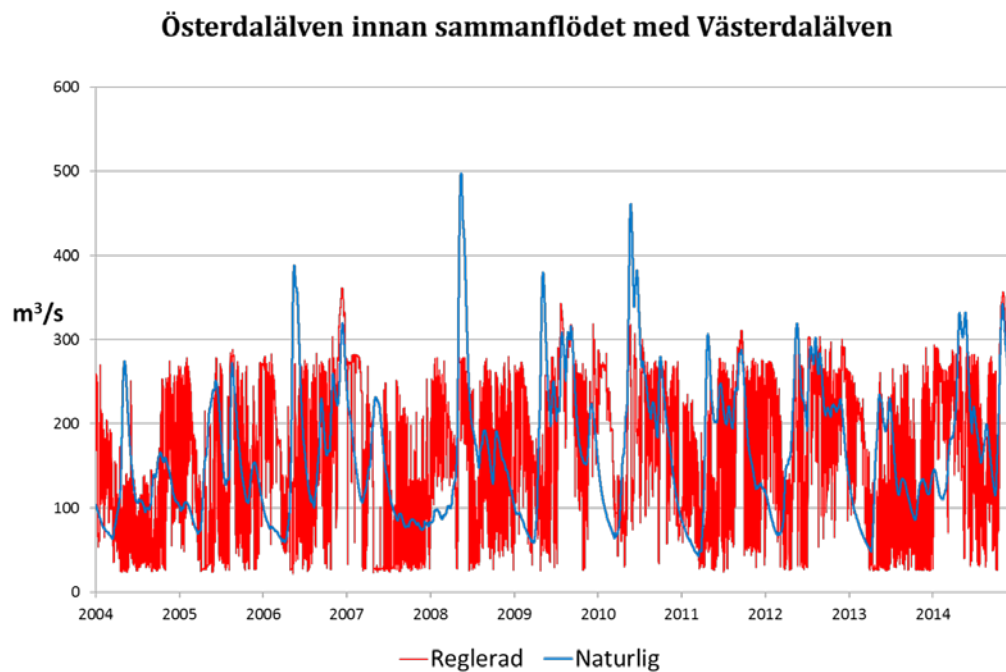


Effekter på vattenflöden och vattennivåer

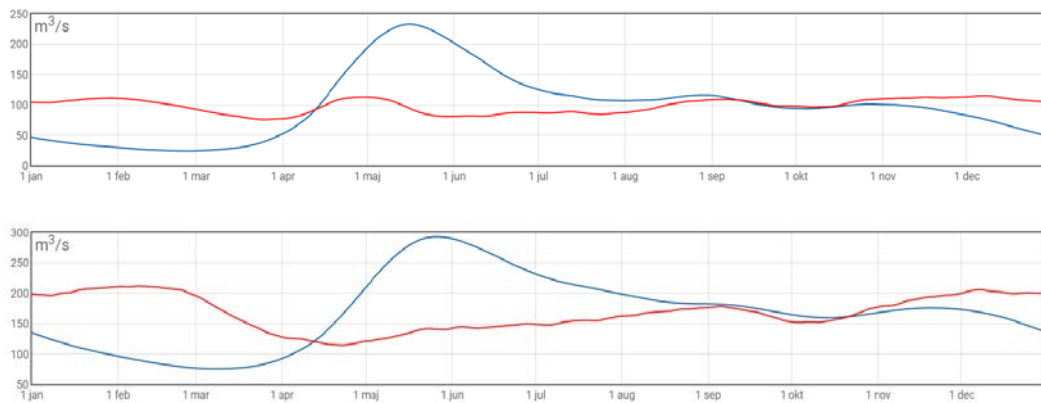
62 • Länsstyrelsen i Dalarnas län 2017 • Dalälvens vattenkraftssystem



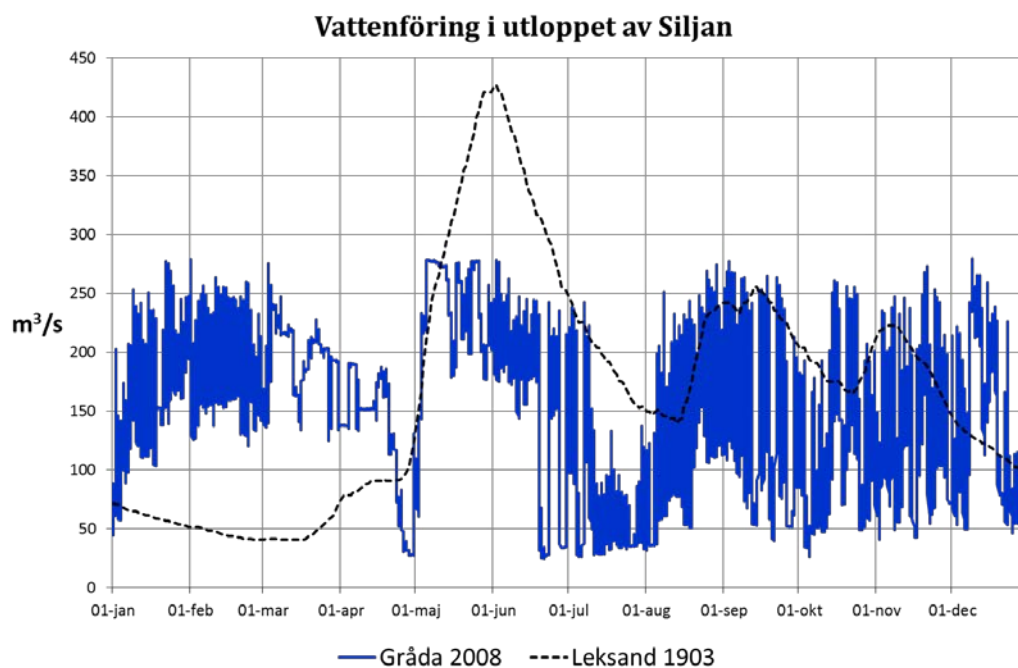
Figur 27. Nuvarande reglerad vattenföring (röd) och rekonstruerad naturlig vattenföring (blå) i Österdalälvens mynning i Siljan – Mora.



Figur 28. Nuvarande reglerad vattenföring (röd) och rekonstruerad naturlig vattenföring (blå) i Österdalälven innan sammanflödet med Västerdalälven i Gagnef 1999-2014.



Figur 29. Normal säsongsvariation hos nuvarande reglerad vattenföring (röd) och rekonstruerad naturlig vattenföring (blå) i Österdalälven vid Mora (ovan) och före sammanflödet med Västerdalälven i Gagnef (nedan). Medelvärden för tidsperioden 1999-2014.



Figur 30. Vattenföringen [m³/s] i Österdalälven år 1903 (dygnsdata från Leksand, svart linje) samt år 2008 (timdata från Gråda, blå linje). Årsmedelvattenföringen var 167 m³/s respektive 164 m³/s för de två olika åren.

Effekter på Dalälvens lågvattenflöden

I småbäckar uppkommer ibland naturligt så låga vattenflöden (eller till och med infrysning) att fisk och andra smådjur tvingas förflytta sig neröver i vattendragen – för att sedan återvandrade när förhållandena blir gynnsammare. Idag hindras dessa naturliga vandringsmönster av vägtrummor och dammar varvid källflödena dräneras på biologiskt liv.

I Dalälvens kraftverksutbyggda sidovattenflöden är det inte ovanligt att vattendomarna medger 0-tappning eller en minimitappning som är lägre än naturlig under vissa tidsperioder. Dessa ”flaskhalsar” begränsar många arters livsutrymme.

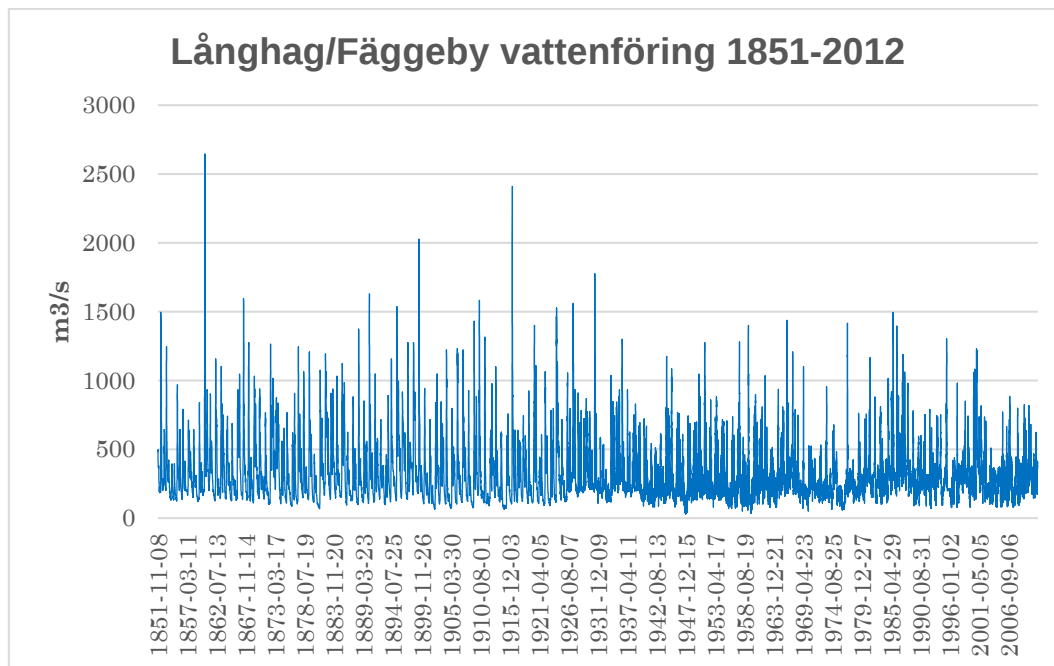
Lågvattenflödena i Västerdalälven, Österdalälven och Dalälven påverkas inte i samma utsträckning av vattenkraftens regleringar. I Västerdalälven, som är älvens minst utbyggda sidogren, ligger dagens medellågvattenflöden på samma nivå som de naturliga medellågvattenflödena (MLQ är ca 38 m³/s vid Mockfjärds kraftverk). I Österdalälven har Trängslet tidvis 0-tappning som dock återregleras omedelbart nedströms i Åsenmagasinet för att säkerställer en nära naturlig minimivattenföring på 21 m³/s nedströms.

Tappningen från Siljan som regleras genom Gråda kraftverk korttidsregleras kraftigt och ligger tidvis på en något lägre nivå än naturligt. Minimitappningen är idag 26 m³/s i jämförelse med den naturliga medellågvattenföringen (MLQ) som var ca 38 m³/s. Jfr figur 30 ovan.

I Dalälven mellan Långhags kraftverk och nedströms till Näs i Avesta är nuvarande medellågvattenflöden (MLQ) drygt 100 m³/s i förhållande till de naturliga som var ca 10 % högre. Lägsta uppmätta flöden, som ligger på nivån 60-70 m³/s, förekommer med 5-10 års mellanrum - både före och efter älvens reglering. Jfr figur 31 nedan.

I Älvkarleby är dagens medellågvattenföring (MLQ) ca 90 m³/s i jämförelse med den naturliga nivån som var ca 140 m³/s.

Sammanfattningsvis så ligger Dalälvens lågvattenflöden efter vattenkraftens utbyggnad på ungefär samma nivå i huvudflödet som de naturliga. Det finns således inte de problem med 0-tappningar i huvudälven som är så vanliga i utbyggda Norrlandsälvar. Vilket den långa tidsserien i figur 31 från Långhag/Fäggeby visar.



Figur 31. Dalälvens vattenflöde vid Långhag/Fäggeby (nedströms Runn) 1851-2005.

Vid vissa kraftverk finns de ursprungliga älvfårorna kvar som torrlagda sidofårar, så kallade "torrfårar", med mestadels nolltappning eller mycket låg minimivattenvattenföring större delen av året. Torrfårorna används ofta för tappningar vid extrema högvattenflöden. Vattenflödena i dessa kan således vara mycket varierande - från 0 till flera hundra m³/s eller mer andra tider på året. I nedanstående tabell redovisas de längsta "torrfårorna" i Dalälvens huvudflöden.

I Nedre Dalälvens fjärdsystem finns flera sidoflöden med minimitappning, som Båtforsområdet, där det är svårt att definiera en viss längd – här handlar det snarare om kvillsystem med stor yta som idag är torrlagt större delen av året. Minimivattenföringen vid Untra kraftverk, genom Båtforsområdet, är idag 10, 20 eller 40 m³/s beroende på årstid. Före utbyggnaden rann ca 80 % av Dalälvens vattenflöde som är ca 350 m³/s (som årsgenomsnitt) genom Båtforsområdet. I Bredforsen vid Söderfors kraftverk är dagens minimitappning 5 eller 15 m³/s – före utbyggnaden gick 2/3 av älvens flöde genom detta område.

Tabell 5. Torrfåror längre än 100 meter vid Dalälvens dammar och vattenkraftverk.

Kraftverk/magasin	Torrfårans längd (m)
Dalstuga	400
Eldforsen	500
Tängerdammen	900
Båthusströmmen	1 000
Lanforsen	1 000
Hansjö kraftverk	1 700
Hummelforsen	1 700
Mockfjärds kraftstation	1 800
Furudals kraftverk	1 900
Ugsi Kraftverk	2 500
Gävunda kraftverk	3 300
Hormundsvalla	3 400
Vässinkoski kraftverk	3 700
Noppikoski kraftverksdamm	4 000
Trängsletdammen	5 200
Båtfors - kvillsystem	Stor area
Bredforsen - kvillsystem	Stor area
Total längd i meter exkl. Båtfors och Bredforsen	33 000

Effekter på hydromorfologiska kvalitetsfaktorer

Inom vattenförvaltningen genomförs en statusklassificering av alla Sveriges vattenförekomster med stöd av Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljökvalitetsnormer för ytvatten (HVMFS 2013:19).

Ett moment i klassificeringen avser beräkning av vattenregleringens påverkan på den hydrologiska regimen dvs. variationerna i vattenföring och vattenstånd över tiden. Utgångspunkten för påverkansanalysen är att dagens (reglerade) tillstånd jämförs med ett (oreglerat) referenstillstånd. Förändringen anges i procent.

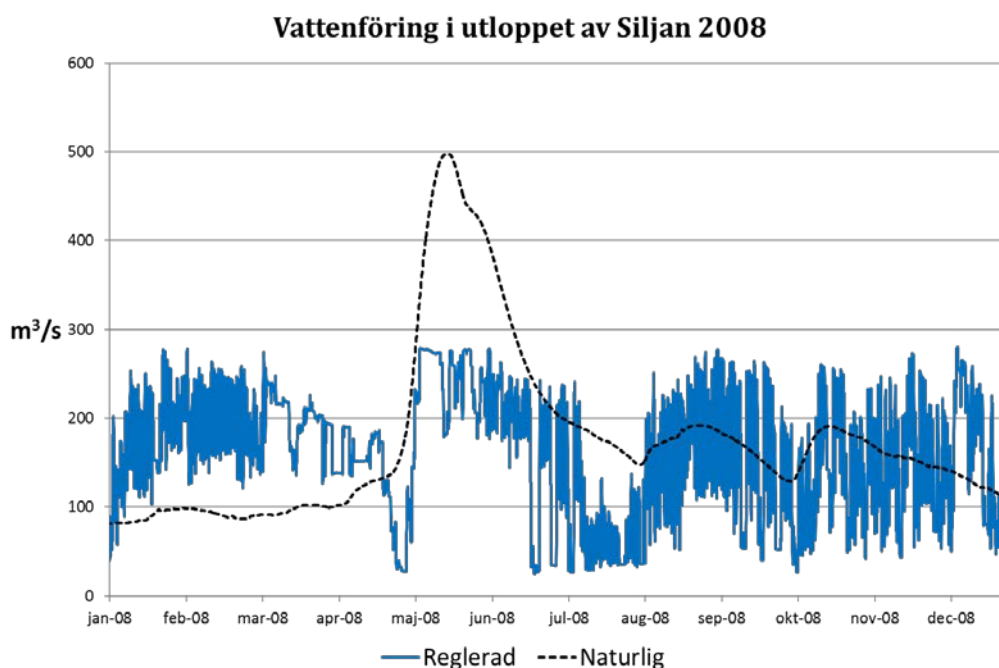
Referenstillståndet kan antingen bestå av en dataserie från en historisk period före utbyggnaden, eller en dataserie som rekonstruerats utifrån mätningar och/eller modellberäkningar. För Dalälvsarbetet används en modell för att rekonstruera oreglerade tillstånd i sjöar och vattendrag. En

stor fördel med detta är att kompletta dataserier med dagens klimat kan användas.

De hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna (och den statusklassning dessa kan omsättas i) har beräknats baserat på både dygnsvärden och timvärden för att jämföra utfallen. Inom vattenförvaltningen används för närvarande dygnsdata för statusklassning, men dygnsdata kan ge en felvisande bild för vatten som korttidsregleras eftersom alla regleringar inom dygnet tenderar att slätas ut.

Hur beräknas de hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna?

Här följer ett exempel som illustrerar hur de hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna beräknas. Exemplet utgår från reglerad (QR) och naturlig (QN) vattenföring under 2008 vid Gråda kraftverk i utloppet av Siljan (Figur 32). Bägge tidsserierna består av timvärden i detta exempel men samma princip gäller för dygnsvärden. Normalt används data från en längre tidsperiod, minst 10 år, för att beräkna kvalitetsfaktorerna, men för att illustrera metoden används endast år 2008 i detta exempel. Den reglerade vattenföringen är uppmätt vid kraftverket medan den naturliga vattenföringen har beräknats av SMHI med modell.

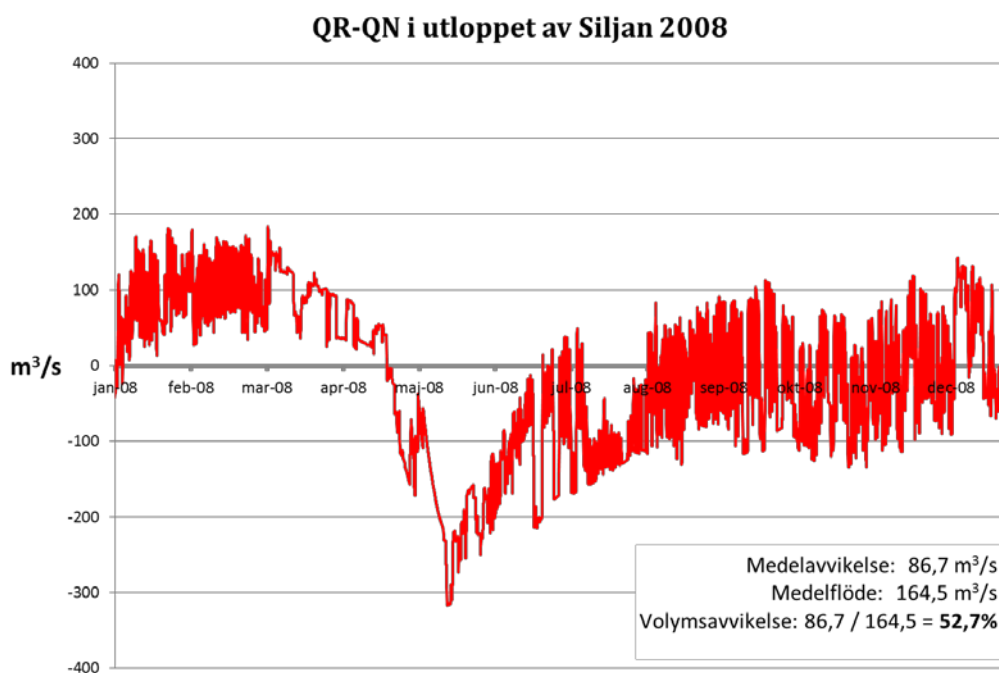


Figur 32. Reglerad och naturlig vattenföring vid Gråda kraftverk i utloppet av Siljan för 2008.

Visuellt finns stora skillnader mellan de båda kurvorna i diagrammet. De hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna kvantifierar några av de mest

uppenbara skillnaderna, nämligen säsongsregleringen och korttidsregleringen i den reglerade vattenföringen. Kvalitetsfaktorn *volymsavvikelse* mäter säsongsregleringen och kvalitetsfaktorn *flödets förändringstakt* mäter korttidsregleringen.

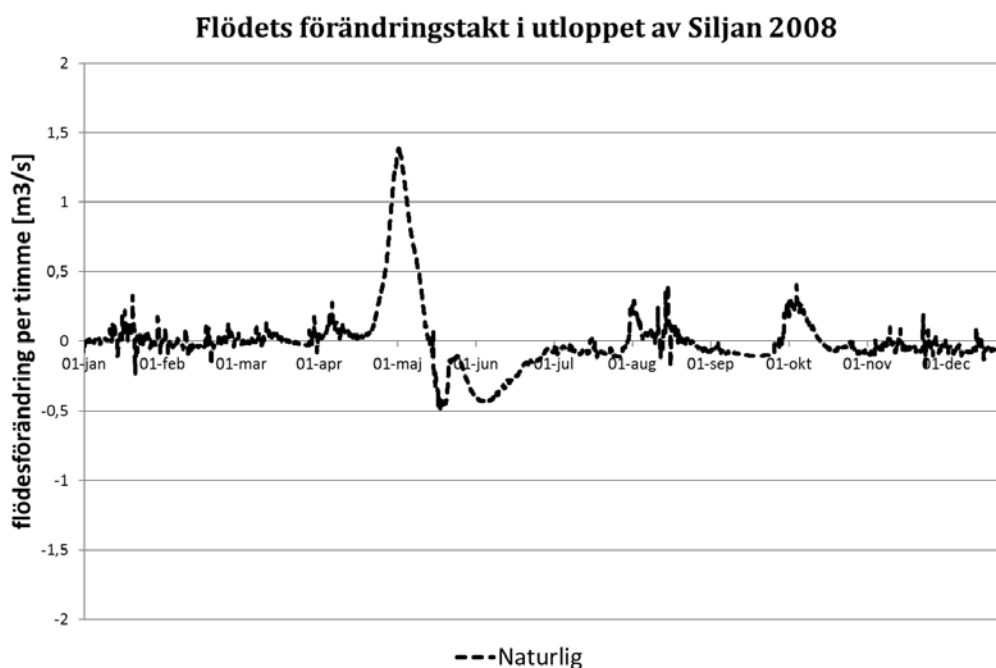
För att bestämma volymsavvikelsen i Gråda så beräknas först differensen mellan de två tidsserierna i varje tidssteg, dvs QR-QN (Figur 33).



Figur 33. Differensen mellan reglerad (QR) och naturlig (QN) vattenföring i utloppet av Siljan 2008.

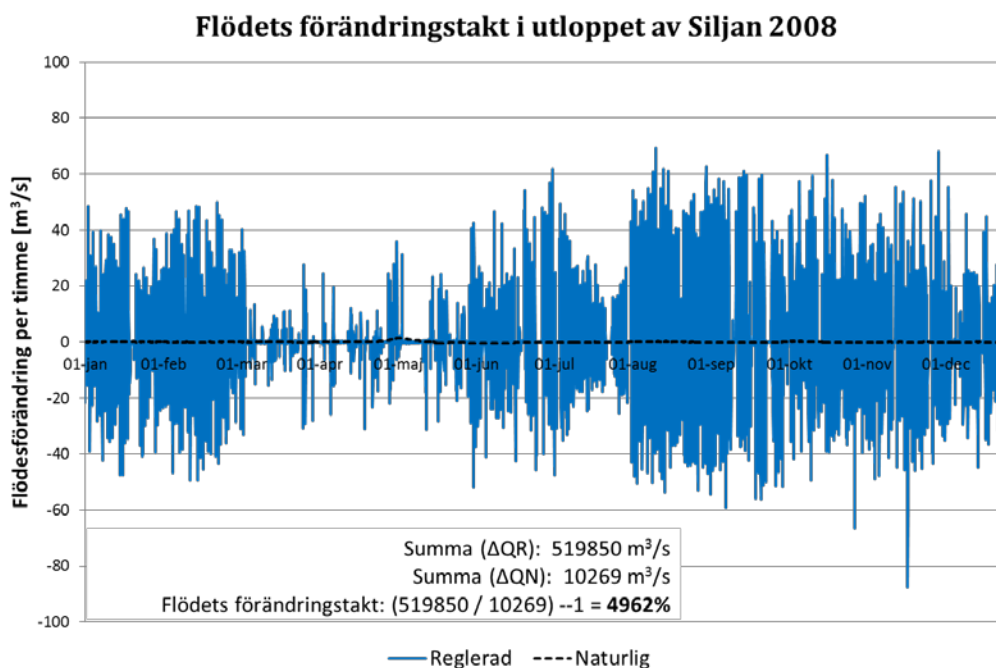
Differenskurvan visar tydligt att den reglerade vattenföringen är större än den naturliga vattenföringen under månaderna januari-april, för att sedan vara omvänt under vårfloden. Medelvärdet av absolutvärdet av differenserna under alla tidssteg är 86,7 m³/s och medelflödet i Gråda under 2008 är 164,5 m³/s. Volymsavvikelsen beräknas som kvoten mellan dessa, dvs $86,7 / 164,5 = 52,7\%$. Detta ger ett kvantitativt mått på säsongsregleringen i Gråda kraftverk.

För att bestämma flödets förändringstakt så måste flödesförändringen i varje tidssteg beräknas. För den naturliga vattenföringen (QN) uttrycks detta som $QN_i - QN_{i-1}$, dvs differensen mellan QN under tiden i och QN under tiden i-1. Flödesförändringen under en timme är relativt liten hos den naturliga vattenföringen i Gråda 2008, men det finns ett distinkt maxima under vårflodens inledning i månadsskiftet april/maj då flödesförändringen under en timme uppgår till knappt 1,5 m³/s (Figur 34). En anledning till de relativt små flödesförändringarna i Gråda är dämpningseffekten av den stora sjön Siljan, som jämnar ut vattenföringen nedströms.



Figur 34. Den naturliga vattenföringens flödesförändring per timme i Gråda 2008.

På samma sätt kan flödesförändringen hos den reglerade vattenföringen beräknas, dvs $QR_i - QR_{i-1}$.



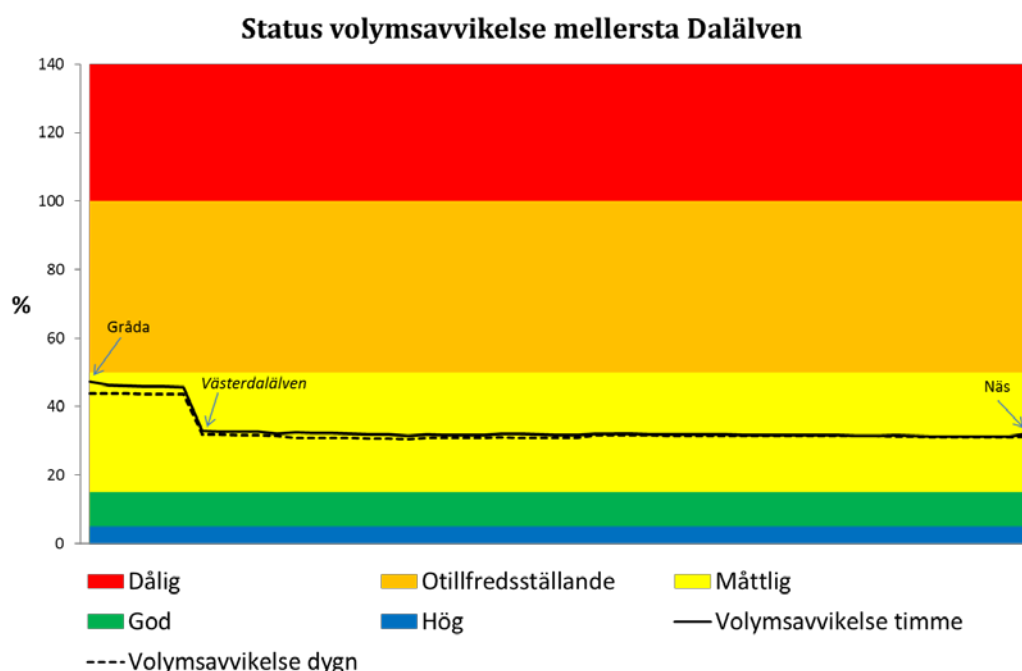
Figur 35. Den reglerade och naturliga vattenföringens flödesförändring per timme i Gråda 2008.

När dessa differenser plottas i samma diagram som differenserna hos den naturliga vattenföringen framgår tydligt att det är en enorm skillnad mellan flödesförändringarna (Figur 35). Flödesförändringen under en timme hos den reglerade vattenföringen kan vara så stor som ca 90 m³/s, att jämföra med den naturliga vattenföringens maximala flödesförändring på ca 1,5 m³/s. Summan av de absoluta värdena av alla flödesförändringar hos reglerad respektive naturlig vattenföring är 519 850 m³/s respektive 10 269 m³/s. Kvalitetsfaktorn flödets förändringstakt beräknas som $(519\,850 / 10\,269) - 1 = 4962\%$. Detta ger ett kvantitativt mått på korttidsregleringen i Gråda kraftverk.

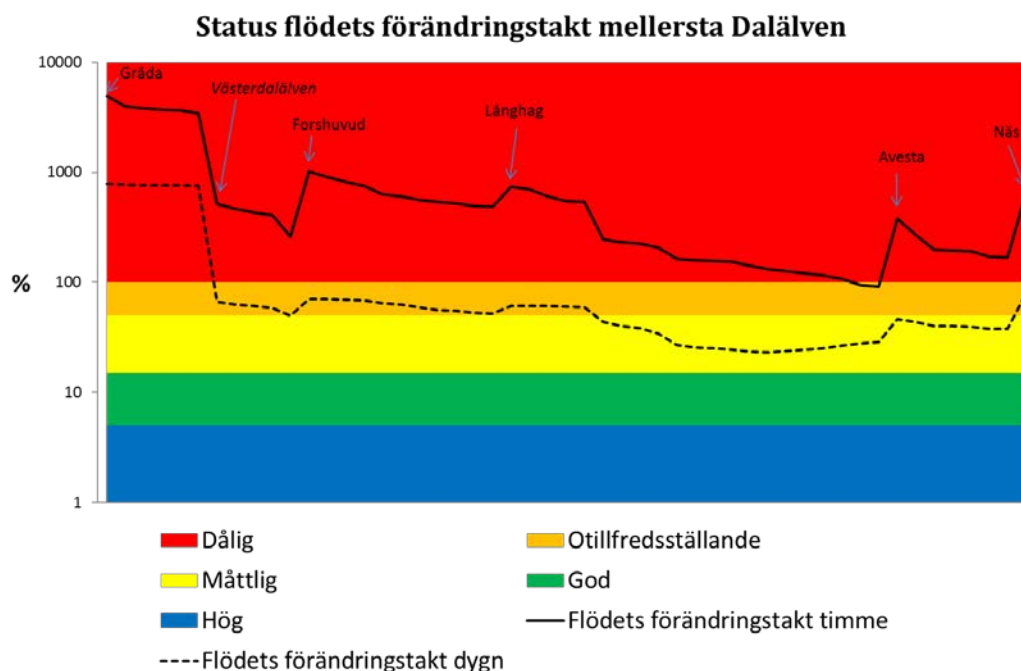
Kvalitetsfaktorernas förändring längs vattendraget

I nedanstående två bilder ges ett exempel på ur de bägge kvalitetsfaktorerna förändras utefter ett vattendrag beroende på dataunderlag (dygnsvärden respektive timvärden), passage av regleringsdammar och oreglerade ”opåverkade” tillflöden. Längre fram i denna rapport redovisas motsvarande figurer för Dalälvens alla sex Delområden från fjällen till havet.

I figurerna framgår att faktorn volymsavvikelse ger en relativt likartad bild när den beräknas med dygns- respektive timupplösning eftersom den framför allt mäter säsongsreglering. Flödets förändringstakt, ger ofta en betydligt större skillnad eftersom denna faktor mäter effekten av korttidsregleringar.



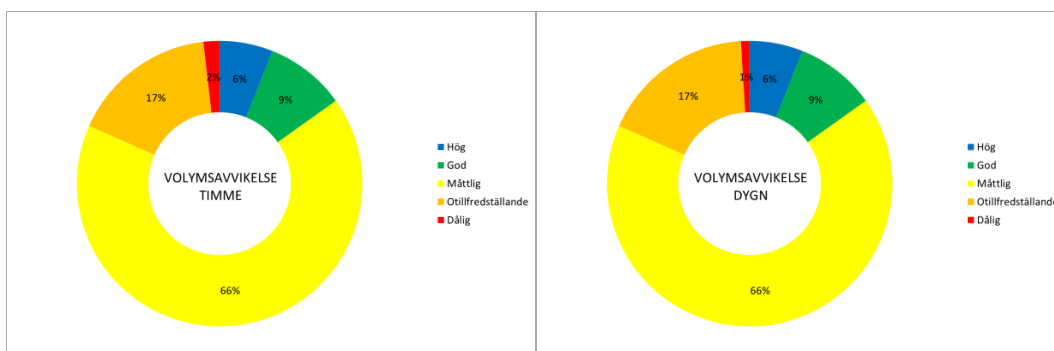
Figur 36. Status med avseende på volymsavvikelse i procent (timme, dygn) i mellersta Dalälven från Gråda till Näs.



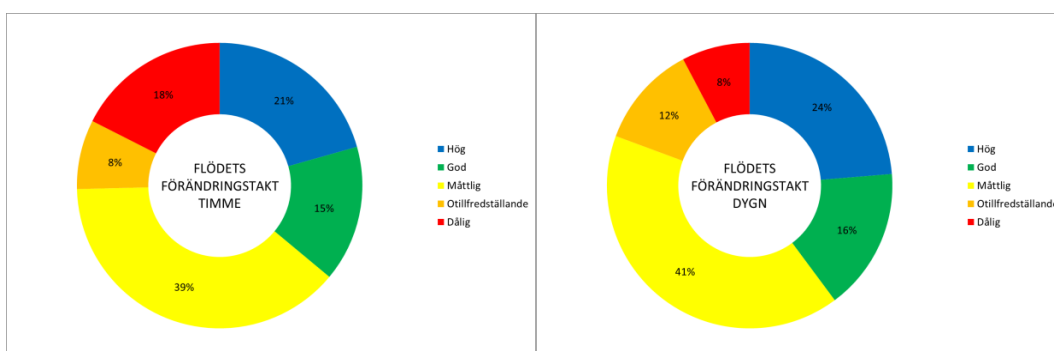
Figur 37. Status med avseende på flödets förändringstakt i procent (timme, dygn) i mellersta Dalälven från Gråda till Näs. Observera logaritmisk skala på y-axeln.

Slutsatser kring statusklassningen

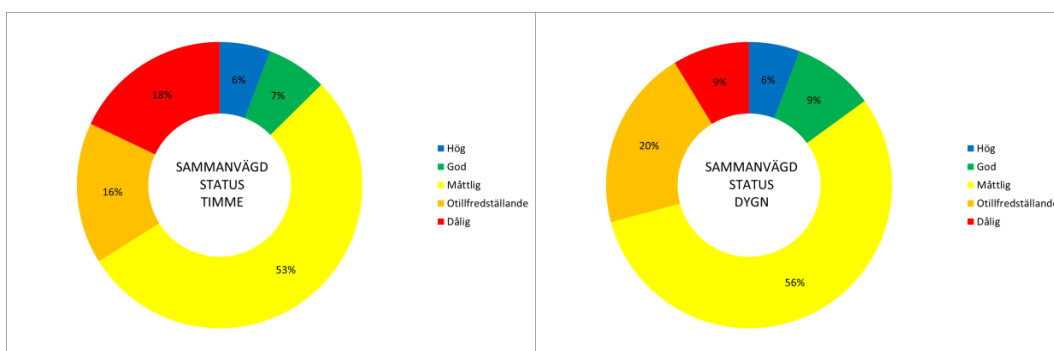
Statusklassning med volymsavvikelse och flödets förändringstakt påverkas olika mycket av tidsupplösningen hos dataserierna (med samma klassgränser för de olika statusklasserna). Volymsavvikelsen är relativt opåverkad av tidsupplösningen och ger nästan samma resultat för tim- som för dygnsdata (Figur 38). Detta bekräftar att volymsavvikelsen i första hand mäter säsongsmässiga regleringar och inte påverkas nämnvärt av korttidsregleringar. Flödets förändringstakt påverkas däremot i högre grad av tidsupplösningen (Figur 39), vilket kan förväntas eftersom denna parameter i större omfattning beskriver korttidsregleringar. Den sammanvägda statusen ger därför en större andel områden med dålig status vid användning av timdata istället för dygnsdata (Figur 40).



Figur 38. Status m.a.p. volymsavvikelse på timdata respektive dygnsdata för de 713 regleringspåverkade delområdena i Dalälvens avrinningsområde.

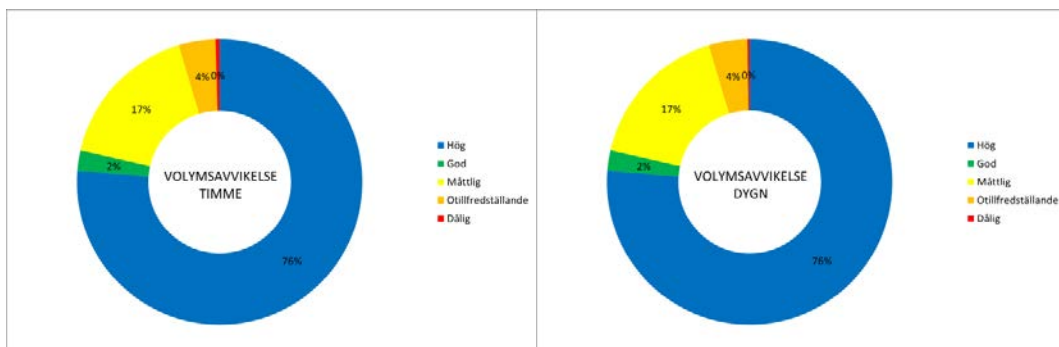


Figur 39. Status m.a.p. flödets förändringstakt på timdata respektive dygnsdata för de 713 regleringspåverkade delområdena i Dalälvens avrinningsområde.

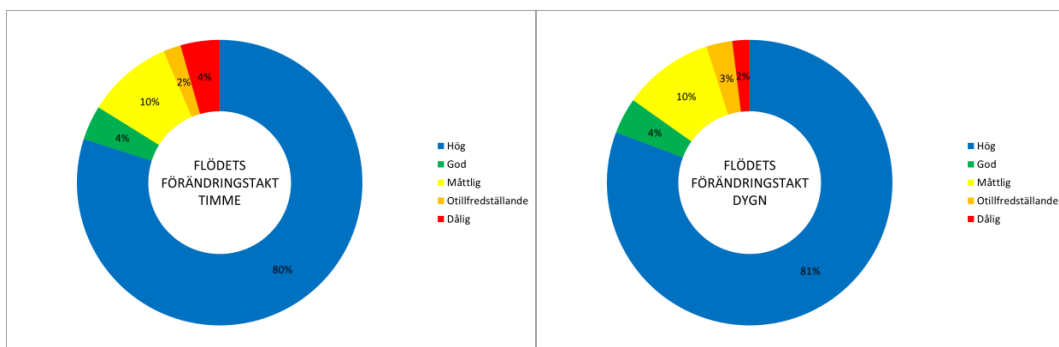


Figur 40. Sammanvägd status (volymsavvikelse och flödets förändringstakt) på timdata respektive dygnsdata för de 713 regleringspåverkade delområdena i Dalälvens avrinningsområde.

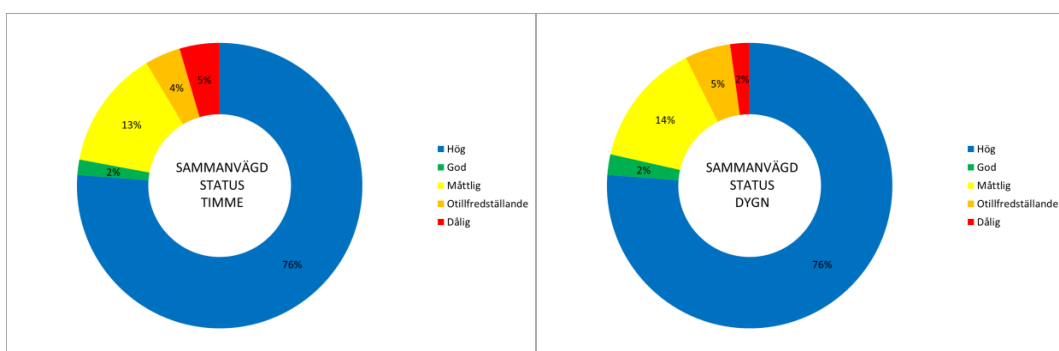
Volymsavvikelsen och flödets förändringstakt påverkas i ungefär 25% av alla 2823 delområden i Dalälven, dvs de delområden som ligger nedströms regleringar. Övriga delområden får hög status med avseende på dessa två parametrar, även om även dessa indirekt kan påverkas av regleringarna på andra sätt, t.ex. genom ökad fragmentering av landskapet. Totalt ökar andelen delområden med dålig status från 2% till 5% när statusklassning genomförs med timdata istället för dygnsdata (Figur 43).



Figur 41. Status m.a.p. volymsavvikelse på timdata respektive dygnsdata för alla 2823 delområden i Dalälvens avrinningsområde.



Figur 42. . Status m.a.p. flödets förändringstakt på timdata respektive dygnsdata för alla 2823 delområden i Dalälvens avrinningsområde.



Figur 43. . Sammanvägd status (volymsavvikelse och flödets förändringstakt) på timdata respektive dygnsdata för alla 2823 delområden i Dalälvens avrinningsområde.

Statuskartor

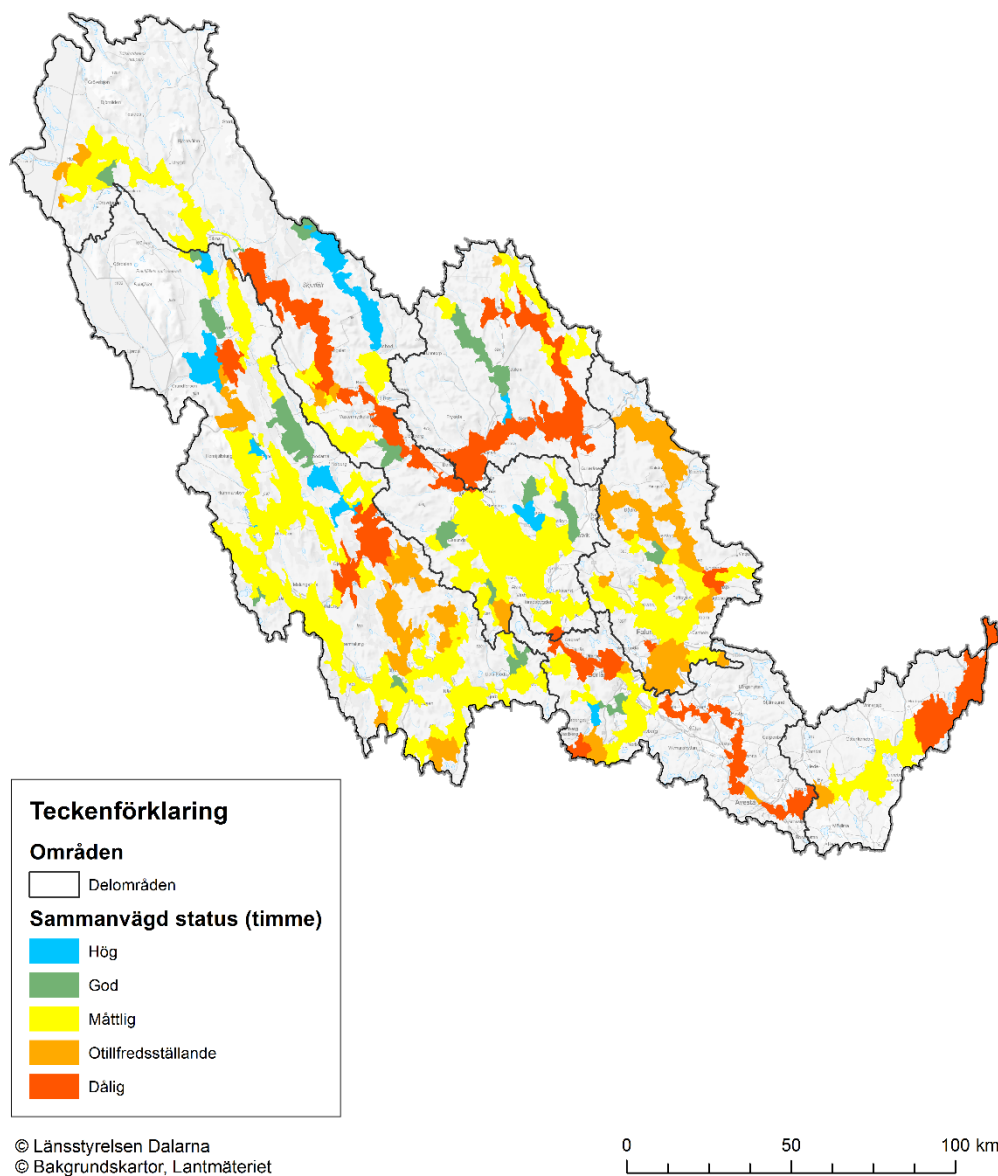
Den övervägande majoriteten av delområden i Dalälven har ingen regleringspåverkan och klassas därför som hög status (Ofärgade på kartorna i figur 44 och 45). Dessa delområden omfattar framför allt de mindre vattendragen och sjöarna i avrinningsområdet. Regleringspåverkan finns framför allt i de medelstora och stora vattendragen och sjöarna.

De hårdast påverkade sträckorna är Österdalälven från Trängslet till Siljan, Oreälven och Dalälven nedströms Siljan till havet. På dessa älvsträckor finns endast korta avsnitt där statusen är bättre än dålig.

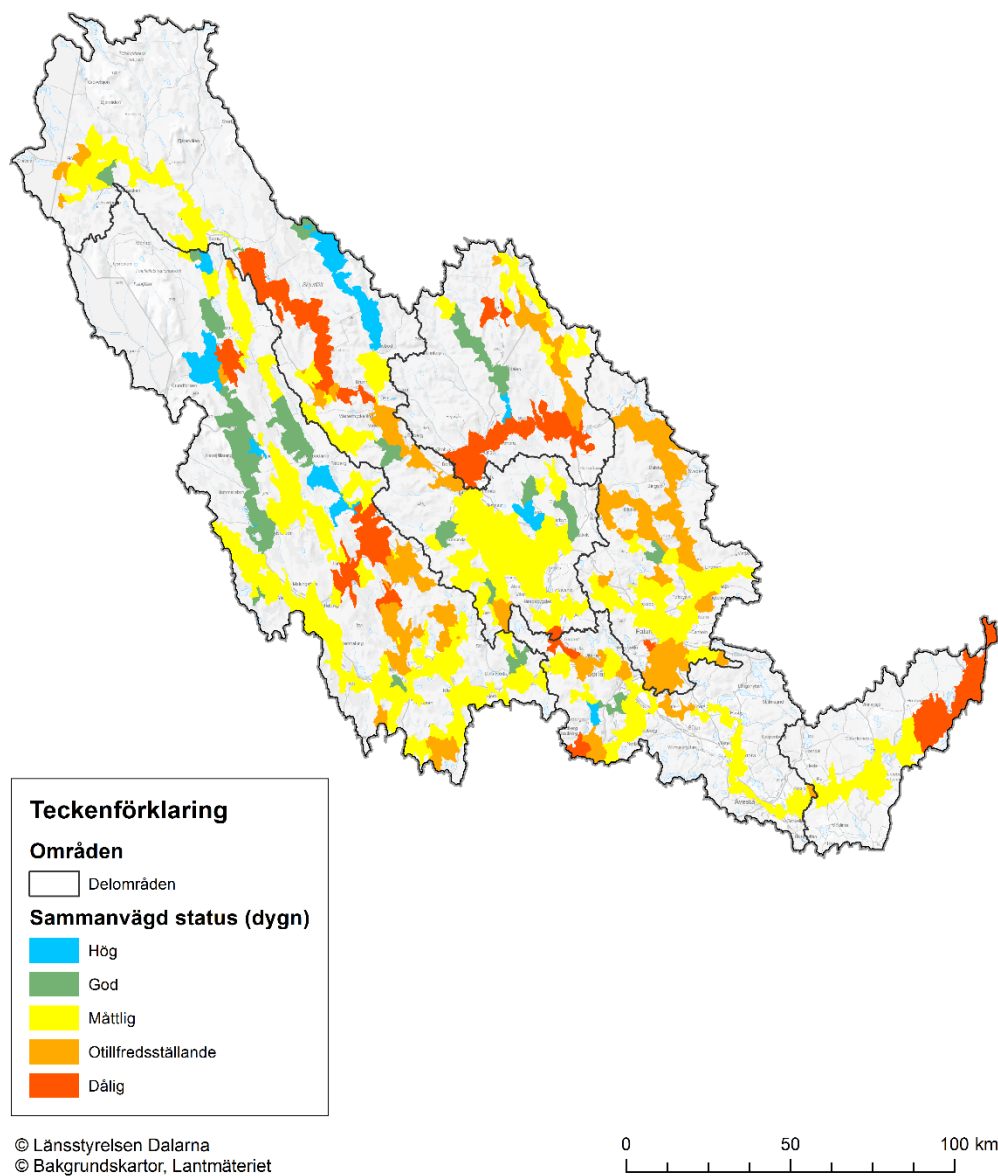
Tidsupplösningen på grunddata har en avgörande roll för karaktärisering av korttidsreglering. Med dygnsdata kommer inte effekter av regleringar inom dygnet med, och status blir i allmänhet mindre dålig än när man använder timdata. I Dalälvens avrinningsområde blir därför beräkningen av regleringspåverkan helt missvisande i vissa områden om man utgår från dygnsdata. Stora delar av Österdalälven, Oreälven och mellersta/nedre Dalälven får sämre status med timdata jämfört med dygnsdata (jämför Figurerna 44 och 45). I Västerdalälven, där korttidsreglering är relativt begränsad, får valet av tidssteg mindre betydelse.

Den övervägande majoriteten av delområdena i Dalälven har ingen regleringspåverkan och klassas därför som hög status (Ofärgade i kartorna i figur 44 och 45). Dessa delområden omfattar framför allt de mindre vattendragen och sjöarna i avrinningsområdet. Regleringspåverkan finns framför allt i de medelstora och stora vattendragen och sjöarna.

De hårdast påverkade sträckorna är Österdalälven från Trängslet-Siljan, Oreälven, och Dalälven nedströms Siljan. I dessa sträckor finns endast öar med bättre än dålig status.



Figur 44. Sammanvägd status (volymsavvikelse och flödets förändringstakt) i Dalälven med klassning utifrån timdata.



Figur 45. Sammanvägd status (volymsavvikelse och flödets förändringstakt) i Dalälven med klassning utifrån dygnsdata.

Osäkerheter i statusklassningen

Statusklassning av hydromorfologisk regim med stöd av Havs och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2013:19) baseras på beräkning av ett antal parametrar som mäter skillnaden mellan tidsserier av reglerad och oreglerad vattenföring.

För att kunna beräkna de bägge parametrarna volymsavvikelse och flödets förändringstakt för alla vattendragssträckor i Dalälven har SMHI använt en kombination av modeller och mätvärden. I grunden har två modeller använts - en som beskriver reglerad vattenföring (QR) och en som beskriver naturlig vattenföring (QN). Bägge modellerna drivs av samma nederbörds- och lufttemperaturvärden, som finns beräknade för varje dygn bakåt i tiden med en upplösning på 4*4 km rutor.

Grundmodellerna beräknar vattenföring med dygnsupplösning, men för att beskriva korttidsreglering beräknas flödena i reglerade vattendragssträckor med timupplösning. Modellen för QR uppdateras sedan med mätdataserier från kraftverken. Naturlig tillrinning hämtas från grundmodellen, där alla timmer på dygnet antas ha konstant tillrinning.

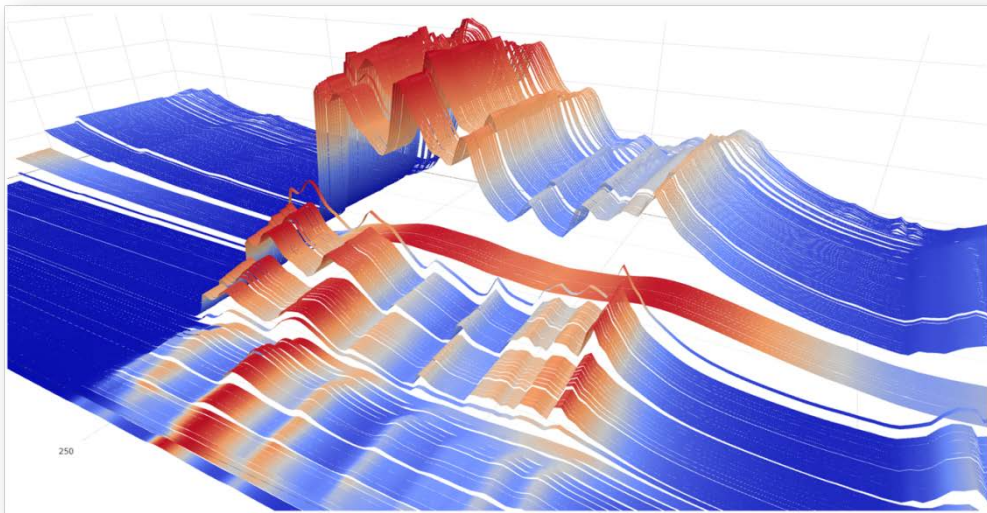
Ett grundproblem med dessa beräkningar är att beräknade skillnader mellan naturlig (QN) och reglerad (QR) vattenföring inte enbart beror på den aktuella vattenregleringen. Eftersom endast QR uppdateras med mätdata blir jämförelsen mellan QR och QN även beroende av skillnader mellan simulerad och verklig vattenföring.

I arbetet med Dalälvens vattenkraftssystem har ett antal orimliga värden för de hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna upptäckts. Vid närmare analys har det visat sig bero på osäkerhet i mätdata, mätdata med olika tidsupplösning, osäkerhet i säsongsregleringar eller osäkerhet kring referensförhållanden. Vissa kvalitetsfaktorer har kunnat uppdateras och förhållandena i övrigt kan beaktas i vattenförvaltningens arbete med att ta fram miljökvalitetsnormer. För vidare beskrivning av osäkerheter - se SMHI:s PM i bilaga 1.

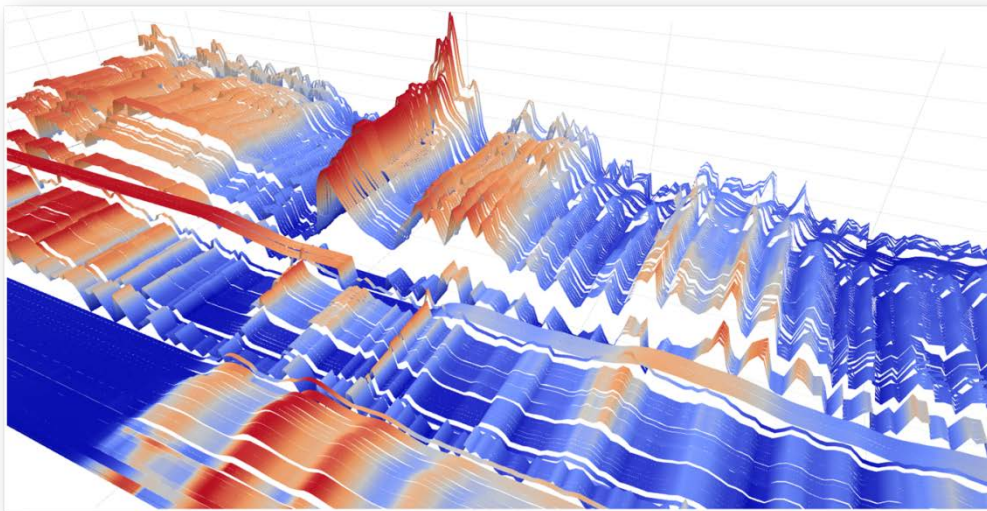
Flödesdynamik

3D-bilderna nedan visar hur regleringarna förändrat vattenflödesdynamiken i Dalälven. Bilderna visar dygnsmedelvattenföringen i Dalälven från källorna till havet under 2013. Källområdet (Flötningssjön) är linjen närmast betraktaren och området vid mynningen i havet (Älvkarleby) är linjen längst bort i bakgrunden. Första januari längst till vänster för alla linjer och sista december längst till höger medan färg och höjd anger flödesnivåerna.

Det är slående hur regleringarna ”hackar upp” vattenflödet på i stort sett hela sträckan.



Figur 46. Naturlig vattenföringsdynamik i hela Dalälven från källorna till havet.



Figur 47. Nuvarande reglerad vattenföringsdynamik i hela Dalälven från källorna till havet.

Effekter på landskap och naturmiljö – på land och i vatten

Se särskild rapport om Dalälvens naturvärden, påverkan och åtgärdspotentialer.

Klimatförändringens effekter

I detta avsnitt ges en översiktlig bild av hur klimatet och vattenflödena i Dalälven kan komma att förändras fram till nästa sekel vid alternativa utsläppsscenarier av växthusgaser.

Bakgrund

FN:s klimatpanel presenterade 2013 en ny rapport om jordens framtida klimat (IPCC, 2013). Resultaten baserades på nya möjliga utvecklingsvägar, så kallade RCP-scenarier (Representative Concentration Pathways). Klimatets utveckling i framtiden beror på hur atmosfärens innehåll av växthusgaser förändras. För att kunna studera framtidens klimat behövs antaganden om hur utsläppen av växthusgaser kommer att bli. Det finns flera möjliga utvecklingar och vilken av dem som slår in beror på vår förmåga att begränsa de globala utsläppen. RCP-scenarierna beskriver resultaten av utsläppen, den så kallade strålningsbalansen i atmosfären, fram till år 2100.

SMHI har på uppdrag av regeringen under 2014 och 2015 tagit fram en databas med statistik i form av klimatindex för Sveriges nutida och framtida klimat, samt länsvisa enhetliga klimatanalyser baserade på de nya klimatscenarierna. Rapporten "Klimatscenarier för Sverige" beskriver metoder, resultat och osäkerheter, vilket är viktigt att ha kunskaper om vid studier av framtida klimat på läns- och kommunnivå (Sjökvist m.fl., 2015 a). I länsanalyserna har två RCP-scenarier används, RCP 4.5 som bygger på begränsade utsläpp, och RCP 8.5 med höga utsläpp.

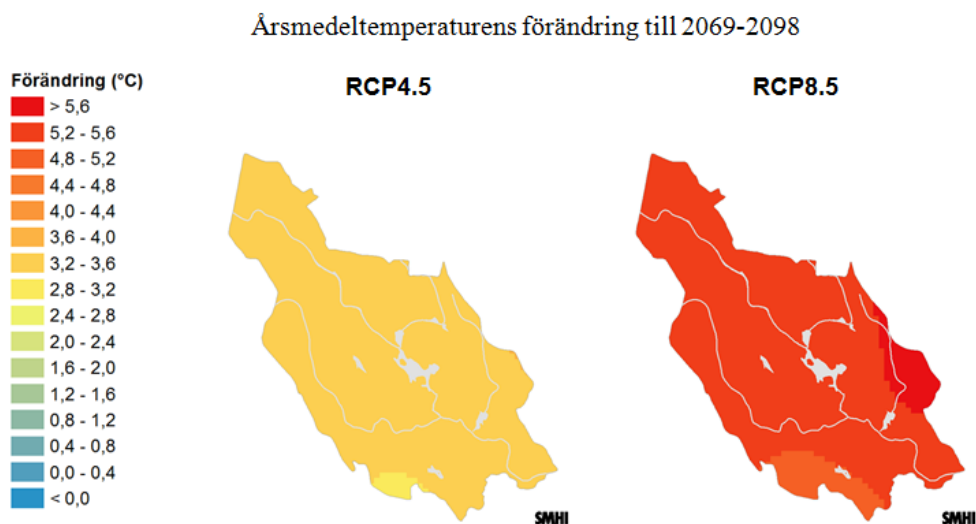
RCP 4,5 förutsätter att det nu genomförs en kraftfull global klimatpolitik med kulminerande utsläpp omkring 2040 och att den globala medeltemperaturen troligtvis kommer att överstiga 2 grader vid nästa sekelskifte. RCP 8,5 baseras bl.a. på ett fortsatt stort globalt beroende av fossila bränslen och att utsläppen av koldioxid ökar tre gånger fram till nästa sekel med en global temperaturökning på ca 5 grader som dessutom stiger ytterligare efter 2100. Klimatambitionerna i Parisavtalet är mer långtgående än för RCP 4.5. Utsläppen måste kulminera före år 2040 för att vi ska kunna nå 2-gradersmålet vid sekelskiftet.

De nya länsanalyserna innehåller ett detaljerat kartmaterial med klimatscenarier för olika tidsperioder. Alla rapporter behandlar temperatur, nederbörd, markfuktighet och tillrinning. För länen i norr finns även information om snö och mer detaljerat material om tillrinning. Resultaten från rapporterna "Framtidsklimat i Dalarnas län" (Sjökvist m.fl., 2015 b) samt "Framtidsklimat i Gävleborgs län" (Nylén m.fl.) ligger till grund för detta kapitels sammanfattning av klimatförändringens effekter i Dalälven.

Nederbörd och temperatur

För hela Dalarnas län syns en ökning av årsmedeltemperaturen i ett framtida klimat vid seklets slut. Ökningen av årsmedeltemperaturen är i

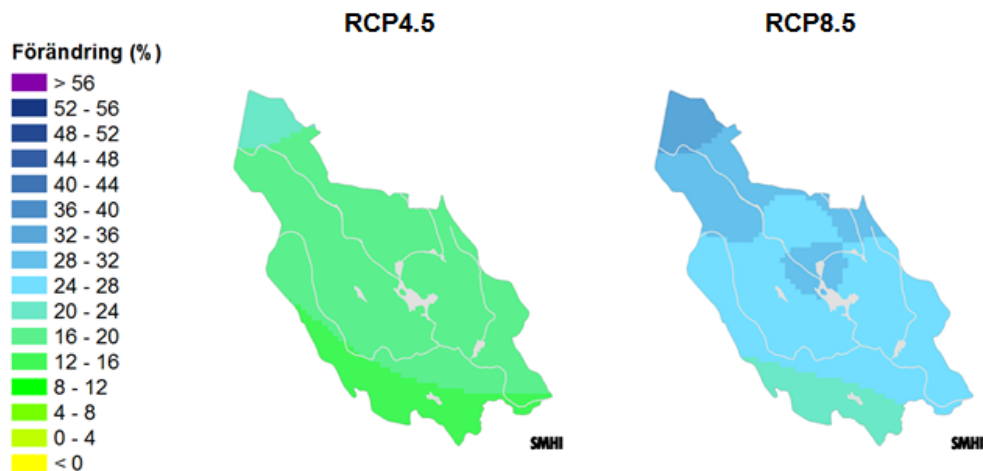
princip lika stor i hela Dalarnas län och störst för RCP 8.5. Med årsmedeltemperatur avses medelvärdet av varje års medeltemperatur beräknat utifrån dygnsmedeltemperatur. Både RCP 4.5 och RCP 8.5 visar på en temperaturökning för alla årstiderna fram till slutet av seklet. Den största temperaturökningen sker under vintermånaderna. Den näst största temperaturökningen kan förväntas sommartid, då ökningen främst sker i fjällen.



Figur 48. Förändring av årsmedeltemperaturen från tidsperioden 1961-90 fram till 2069-98.

Årsmedelnederbörden definieras som medelvärdet av varje års summerade dygnsnederbörd. I ett framtida klimat väntas nederbörden öka, vilket båda RCP-scenarierna visar. Förändringskartorna visar att ökningen är störst i norra delen av länet. Störst är ökningen under vintern och då är ökningen är koncentrerad till länets västra del. I och med ett varmare klimat kommer nederbörd som regn istället för snö att bli allt vanligare vintertid.

Årsmedelnederbördens förändring till 2069-2098



Figur 49. Förändring av årsmedelnederbörden från tidsperioden 1961-90 fram till 2069-98.

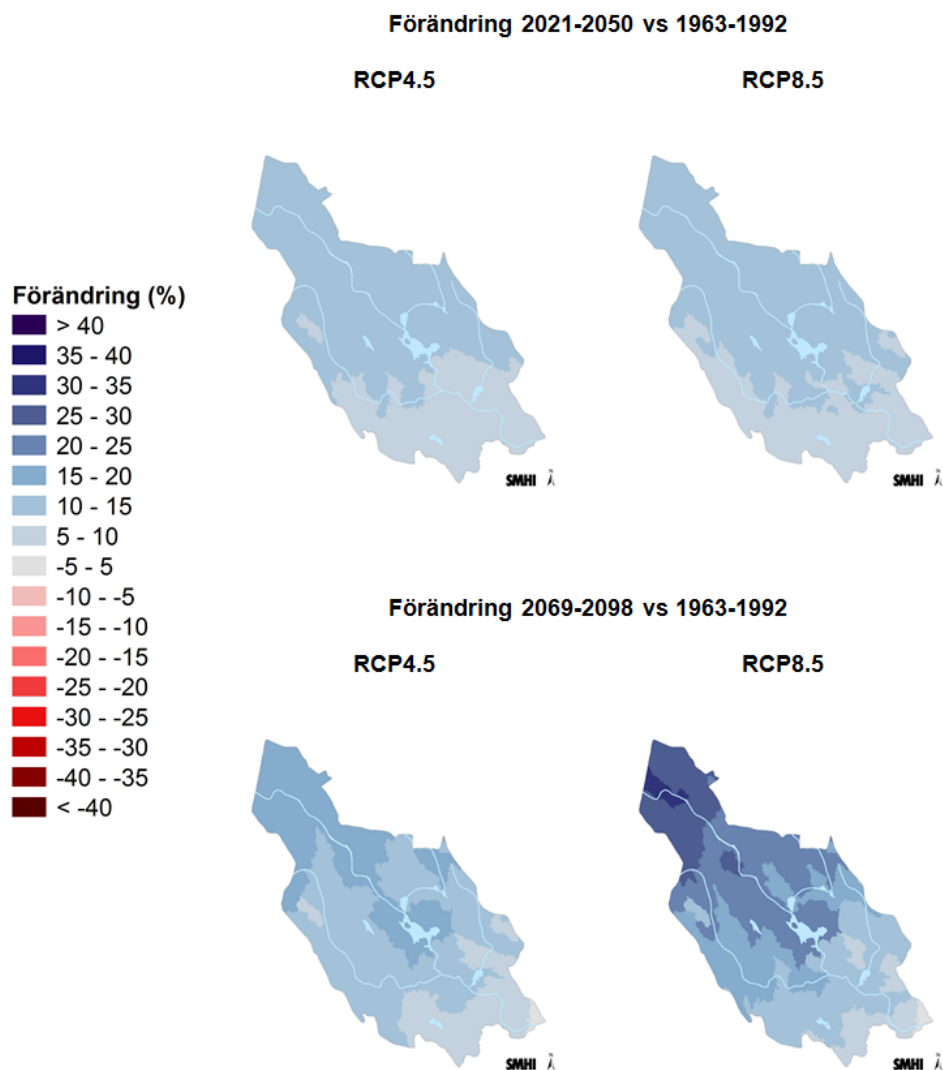
Vattentillrinningen till sjöar och vattendrag

Begreppet tillrinning avser den mängd vatten som rinner ut i sjöar och vattendrag från ett specifikt område, dvs. den del av nederbörden som inte avdunstar eller magasineras i marken eller lagras som snö. Tillrinningen varierar mellan år och under året beroende på hur nederbörd, temperatur, snötäcke, markfuktighet och avdunstning varierar och samspelar. För vattendragen finns vanligen en återkommande dynamik under året.

När ett framtida förändrat klimat driver temperaturerna uppåt och temperaturerna når nivåer där de tangerar gränsen för om nederbörden faller som snö eller regn får det i sin tur stort genomslag på tillrinningen. Tillrinningsdynamiken förändras vilket kan ha stor betydelse för vattenekosystemen och dess djur och växter, vattenförsörjning, översvämningssrisker och vattenkraftsproduktion.

Med lokal tillrinning avses flödesbidraget från enbart det aktuella avrinningsområdet (utan bidrag från avrinningsområden som ligger uppströms). Detta ger en bild av hur mindre vattendrag, vars tillrinning enbart beror på lokala förhållanden, påverkas. Den lokala årsmedeltillrinningen ökar i framtiden enligt scenarierna för större delen av Dalarnas län, men minst i de sydliga delarna. Förändringen av lokala årsmedeltillrinning redovisas i Figur 50. Kartorna visar den procentuella förändringen jämfört med medelvärdet för referensperioden (1963-1992). Indexet avser 30-årsmedelvärden av tillrinning på årsbasis. Den största förändringen av lokala tillrinningen sker under vinterperioden.

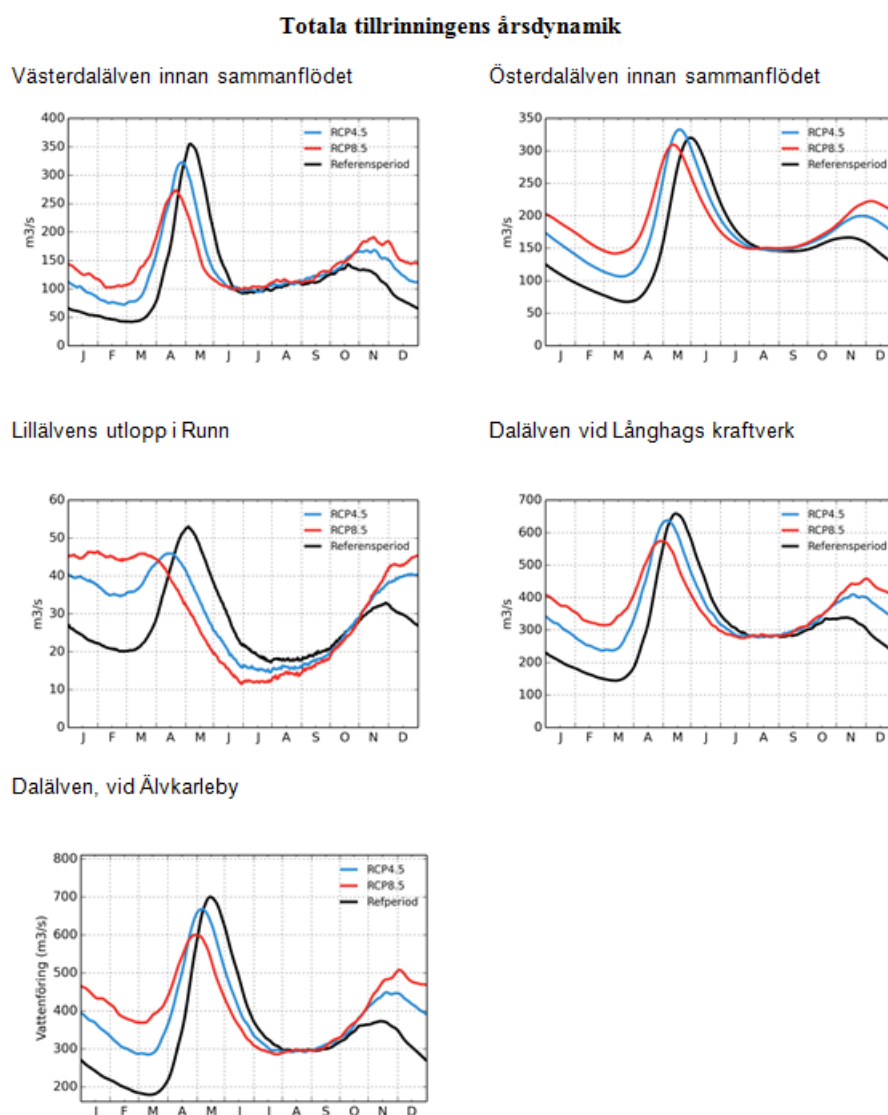
Förändring av lokal årsmedeltillrinning



Figur 50. Förändring av lokal årsmedeltillrinning från tidsperioden 1963-92 fram till 2021-50 respektive 2069-98.

Med total avrinning avses det ackumulerade flödesbidraget från alla avrinningsområden som ligger uppströms en viss punkt. I figur 51 visas medelvärde för den totala tillrinningens årssvev för ett antal punkter (beräkningarna avser total tillrinning utan påverkan från vattenregleringar). Svart linje representerar referensperioden 1963-1992 och de övriga linjerna representerar framtidsperioden 2069-2098. Blå linje avser medelvärden av beräkningarna enligt RCP 4.5 och röd linje representerar motsvarande för RCP8.5.

Samtliga vattendrag uppvisar tydliga årstidsförlopp för referensperioden, med vårflödestopp, låga sommarflöden, högre höstflöden och lägre vinterflöden. Givetvis med variationer mellan de olika områdena och med variationer mellan åren.



Figur 51. I figurerna redovisas medelvärde för den totala tillrinningens årsdynamik (Utan påverkan från regleringar). Svart linje representerar referensperioden 1963-1992 och de övriga linjerna representerar framtidsperioden 2069-2098. Blå linje avser medelvärden av beräkningarna enligt RCP 4.5 och röd linje representerar motsvarande för RCP8.5

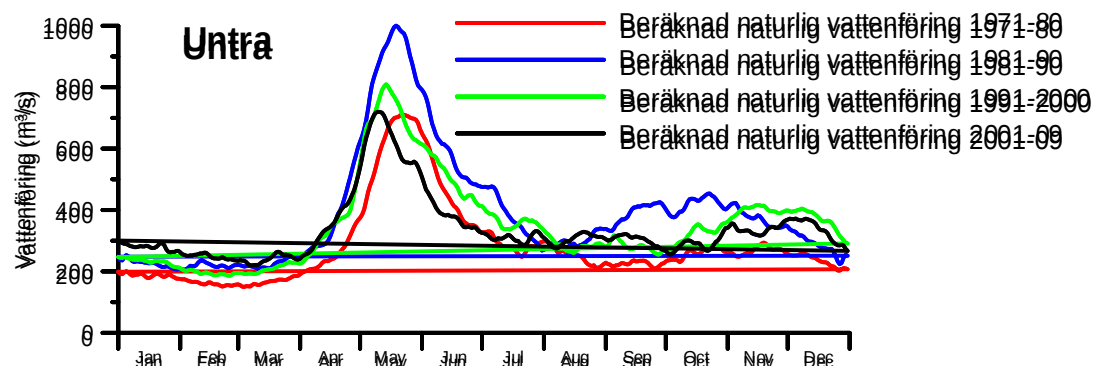
Framtidsscenarierna visar på en gradvis omfördelning av flödet över året. För Dalälven innebär det att årstidsvariationerna med en tydlig vårflödestopp kvarstår men förskjuts så att vårfloden tidigareläggs, sommarsäsongen med låg tillrinning startar tidigare och tillrinningen under

vintermånaderna och hösten ökar. Detta beror på en ökad nederbörd som i mindre grad än idag kommer att lagras som snö på grund av ökande vintertemperaturer.

För de mer sydliga belägna vattendragen (exempelvis Lillälven utlopp i Runn) betyder förändringen i temperatur att mängden snö som ackumuleras under vintern kraftigt minskar vilket ger upphov till ett förändrat flödesförlopp med högre tillrinning under höst-vinter och lägre under vårsommar.

SMHI har tidigare på uppdrag av Fortum genomfört två studier gällande beräknade naturliga vattenflöden i Dalälven i nuvarande respektive för framtida klimat (Johansson, 2011 & Johansson m. fl., 2011).

Resultaten i klimatanalysen från 2011 visar, liksom de nya länsrapporterna från 2015, på en gradvis omfördelning av flödet över året där vårfloden minskar och tidigare läggs samtidigt som vattenföringen under vintermånaderna ökar. I rapporterna från 2011 redovisas även beräkningar för hur den totala tillrinningen skulle ha sett ut för tidsperioden 1971-2009 utan vattenreglering (naturlig vattenföring) - bl.a. i grafer som visar den årliga variationen som långtidsmedel för fyra perioder. Även i dessa grafer syns tendensen till en allt tidigare vårflod tydligt vilket pekar på förändringen som visas av klimatscenerierna redan har inletts



Figur 52. Beräknad total tillrinning (Naturlig vattenföring – utan vattenkraft i Dalälven) vid Untra 1971-2009. Graferna visar säsongsvariationerna och baseras på dygnsmedelvärden. Illustrerar skillnaderna mellan decennier. Beräkningarna baseras på observationer av vattenföring och vattenstånd på olika platser i Dalälven.

Klimateffekter i förhållande till regleringseffekter

Både vattenkraftens årsreglering och klimatförändringarna påverkar Dalälvens naturliga flödedynamik i samma riktning - så att vattenflödena blir högre under senhöst-vinter samtidigt som vårflödena minskar. Effekterna förstärker således varandra.

Den förändrade årsflödesdynamiken påverkar förutsättningarna för djur och växter både i älven och längs Dalälvens stränder. Särskilt inom det så

kallade ”svämplanet” dvs. alla flacka strandområden som naturligt oftast översvämmats varje vår.

Översvämningsrisker

I Dalarna ligger 13 av länets 15 kommuner i anslutning till Dalälven. I dessa kommuner bor ungefär en tredjedel av befolkningen vid eller i närheten av älven. Dalälvens mest översvämningsdrabbade områden ligger utmed Västerdalälven, Svärdsjövattendragen och Faluån. Tätorterna i Falun, Malung, Mora och Vansbro bedöms vara särskilt utsatta för översvämning.

I Nedre Dalälven finns de största riskområdena för översvämning främst vid Gysinge och Söderfors.

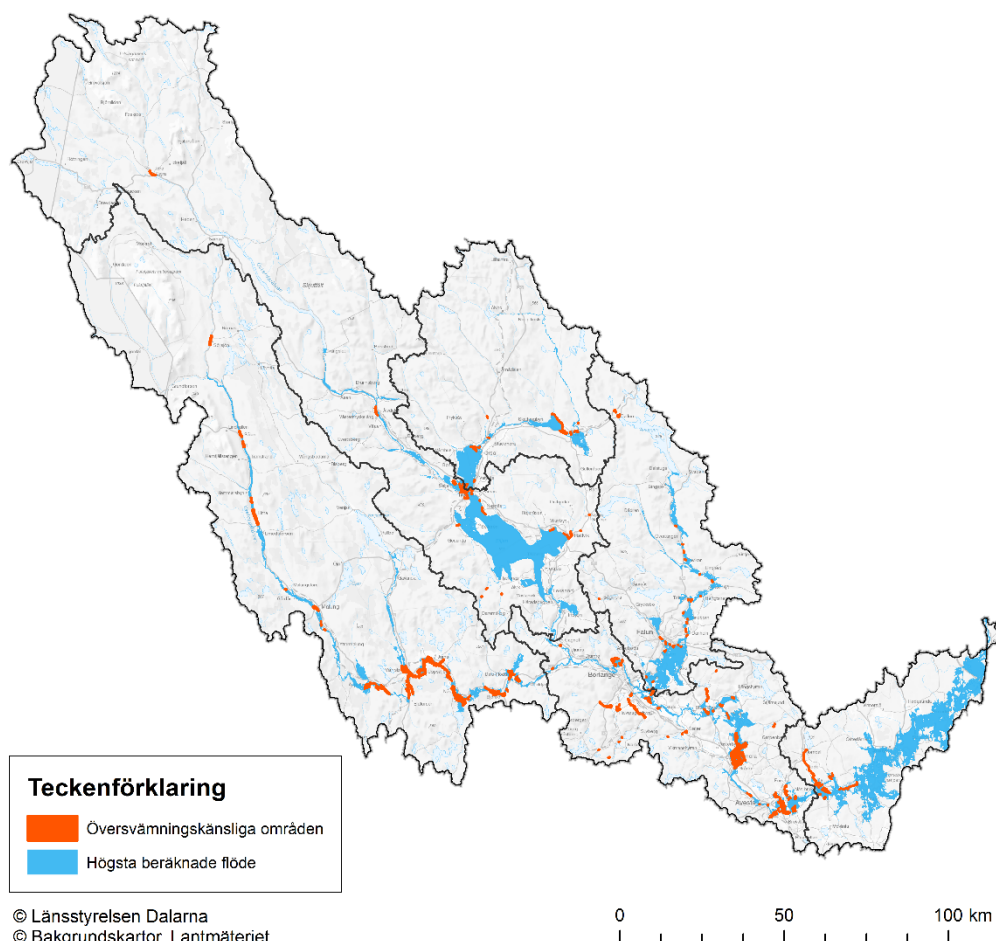
En översiktlig översvämningskartering för Dalälven inklusive Faluån och Svärdsjövattendraget publicerades 1999. Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB) uppdaterade och klimatanpassade översvämningskarteringen för Dalälven 2013. Dalälvens Vattenregleringsföretag (DVF) har i ett särskilt projekt tagit fram en översvämningskartering för Dalälven (med dagens flöden) som publicerades 2012 och som finns tillgänglig i Länsstyrelsen i Dalarnas läns webbkarttjänst.

De senaste 100 åren har Dalälven drabbats av flera återkommande översvämningsar. 1916-års översvämning är den mest omfattande. Vårfloden översteg då det beräknade så kallade 100-årsflödet dvs det vattenflöde som statistiskt sett inträffar i genomsnitt en gång på hundra år. Ett motsvarande flöde idag skulle innebära att stora delar av centrala Falun och Vansbro samt delar av Björbo och Dala-Floda läggs under vatten. Och ett flertal andra samhällen längs Dalälven skulle få stora områden översvämmade. Läns- och riksvägar, vatten och avloppsreningsnät samt el- och telenät skulle drabbas av stora störningar.

Länsstyrelsen i Dalarnas län publicerade 2012 skriften ”Dalarna svämmas över -erfarenheter av översvämningsarna i Dalarna 1916-2010”. I denna rapport beskrivs förutom vårfloden 1916 även de översvämningsar som drabbade olika delar Dalälvsystemet 1985, 1986 och 2000.

I arbetet med EU:s översvämningsdirektiv 2010-2011 identifierade MSB 18 tätorter i landet där man bedömer att översvämningsrisken är betydande. Det vill säga där översvämning från vattendrag kan orsaka betydande konsekvenser för människors hälsa, miljön, kulturarvet och ekonomisk verksamhet. I Dalälven ingår Malungs tätort, Vansbro tätort och Falu tätort. För de 18 orterna med betydande översvämningsrisk har MSB och länsstyrelserna under 2012-2013 tagit fram hot- och riskkartor. Vidare har länsstyrelserna ansvarat för framtagandet av riskhanteringsplaner för dessa 18 tätorter.

Läs mer om MSB:s översvämningskartering 2013 på hemsidan www.msb.se sök på "Översvämningskartering". Se även DVF:s kartering i länsstyrelsens webbkarttjänst på hemsidan www.lansstyrelsen.se/Dalarna under fliken "Samhällsplanering" och vidare i "Webbgis".



Figur 53. Översvämningskänsliga områden i Dalarnas län samt högsta beräknade vattennivå för ett flöde som beräknas inträffa ungefär en gång på 10 000 år.

Särskilt känsliga områden

Länsstyrelsen i Dalarnas län har under 2015, och i samråd med berörda kommuner, tagit fram riskhanteringsplaner för Malung, Vansbro och Falun. Planerna beskriver hur de översvämningsrisker som identifierats med hjälp av hot- och riskkartorna ska förebyggas och hanteras när/om de uppstår.

Malungs tätort

Vid höga flöden i Västerdalälven hindrar järnvägens banvall upp till en viss nivå vattnet från att översvämma centrala delarna av tätorten på östra sidan om älven. När vattnet stiger i älven riskerar också en bäck att svämma över i samhället om man inte pumpar ut vattnet i älven. Banvallen och pumpkapaciteten är avgörande för konsekvenserna i Malungs tätort vid höga flöden i Västerdalälven. En prioriterad åtgärd i riskhanteringsplanen handlar om att säkra pumpkapaciteten.

Vansbro tätort

Stora delar av Vansbro tätort med bostäder och arbetsplatser riskerar att översvämmas redan vid ett 100-årsflöde. I riskområdet finns också industriområden med förorenad mark. Vattentäkten som ligger i Vanån uppströms Vansbro tätort är känslig för översvämning och tätorten saknar reservvattentäkt. Vansbro tätort skyddas av en vall som byggdes i slutet på 70-talet och början på 80-talet. Under årens lopp har det blivit sättningar i vallen och den behöver förstärkas för att skydda samhället från att översvämmas. För att undvika att stora delar av tätorten och industriområden med förorenad mark översvämmas behöver vallen även förlängas. Ett projekt för att förstärka och förlänga skyddsvallen är påbörjat. Skyddsvallen i Vansbro är avgörande för konsekvenserna i Vansbro tätort vid höga vattenflöden i Västerdalälven och Vanån.

Falu tätort

Ett stort antal människor bor och arbetar inom området längs Faluån och sjön Runns stränder som hotas av översvämning. Vid högsta beräknade flöde i Faluån kommer alla broar att översvämmas och dela centrala Falun. Bergslagsbanan passerar också genom Falu tätort över Faluån. Efter den nära tusenåriga gruvdriften i anslutning till Falu tätort har höga metallhalter ansamlats i Tiskens sediment och även i de angränsande sedimenten i viken vid Tiskens utlopp i sjön Runn. Kulturarv inom Världsarvet Falun hotas av översvämning. Läns museet ligger nära Faluån i riskområdet för översvämning. Mål och åtgärder i riskhanteringsplanen för Falu tätort handlar bland annat om att utreda möjligheterna att begränsa Runns inflöde i Runn vid höga flöden, användningen av portabla skyddsvallar och skydd av kulturarvet.

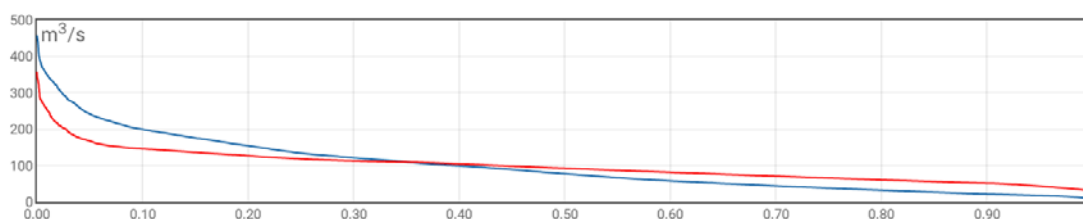


Figur 54. Översvämning, Båtstad, 1916. Foto: SMHI.

Vattenregleringens påverkan på översvämningsriskerna

Minskar frekvens och omfattningen av medelstora översvämningar.

Regleringar påverkar den hydrologiska regimen på många olika sätt. Sett över årets säsonger så jämnar regleringarna i regel ut säsongsvariationen med högre vinterflöden och lägre vår- och sommar flöden än normalt. Samtidigt kan kraftigare variationer införas på kortare tidsskalor, i synnerhet där korttidsregleringar sker. För att förstå denna påverkan kan man ta hjälp av diagram över flödets varaktighet, vilket sammanfattar vilka flöden som är vanligast förekommande för en viss plats. I Österdalälvens mynning i Mora har regleringen medfört att frekvensen av medelhöga-höga flöden minskat dramatiskt (Figur 55). Högre flöden än 200 m³/s förekom minst 10% av tiden under oreglerade förhållanden, medan regleringen gjort att dessa flöden nu endast uppträder ca 3% av tiden. Låga flöden inträffar idag mer sällan.

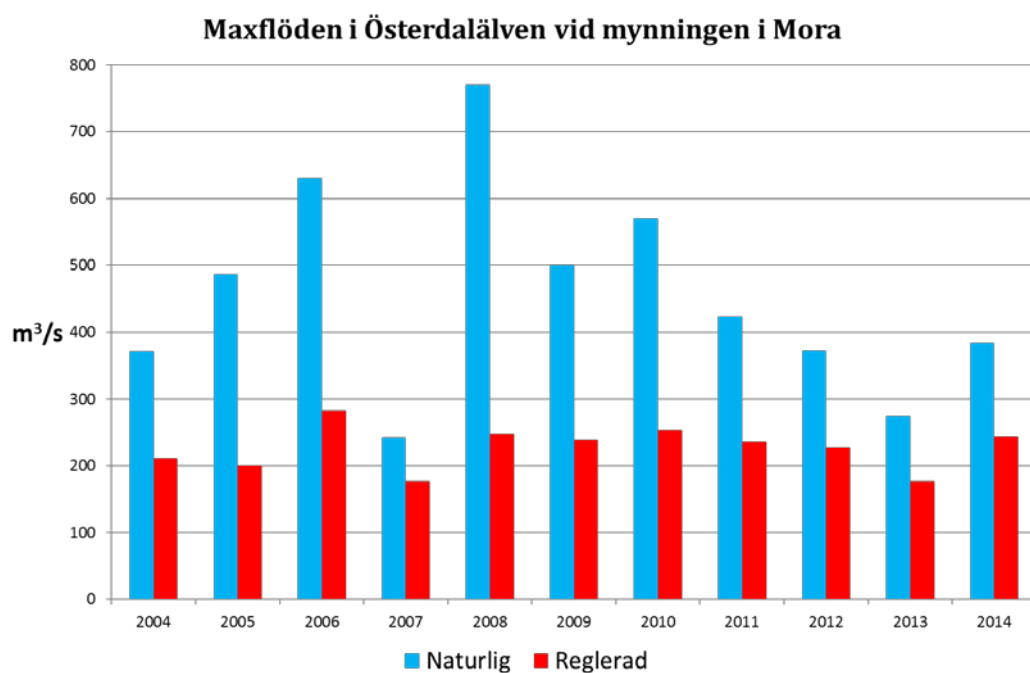


Figur 55. Flödets varaktighet i Österdalälven vid mynningen i Siljan, Mora, med det reglerade flödet som röd kurva och det naturliga (oreglerade) flödet som blå kurva.

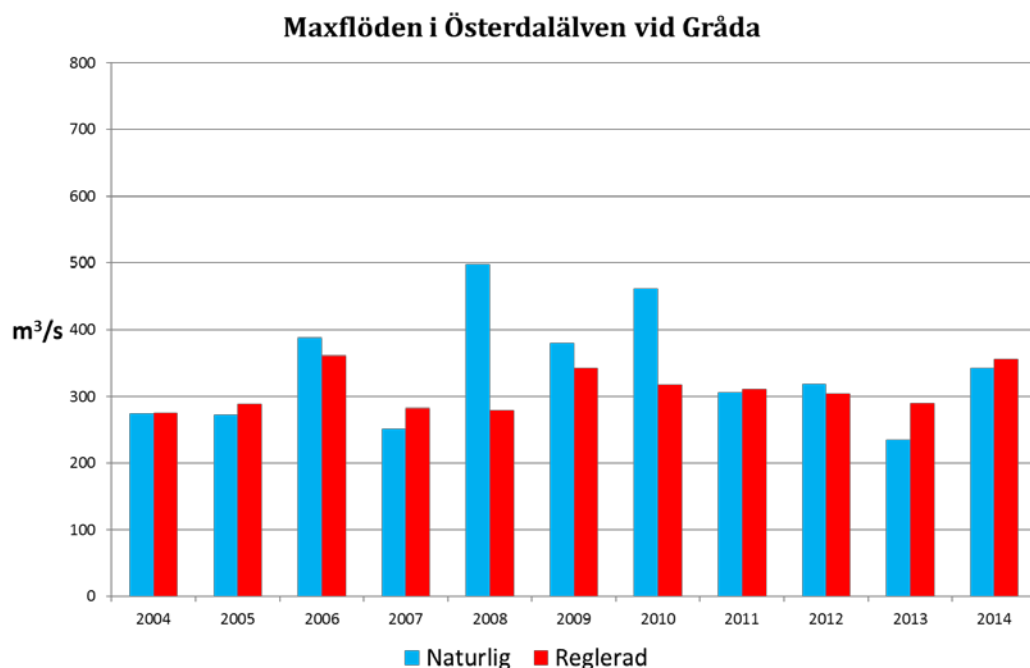
Kan öka risken för extrema översvämningar.

Regleringars betydelse för risken av extrema översvämningar är komplex. I normalfallet medför säsongsregleringar att stora vattenvolymer vid snösmältningen kan magasineras. I slutet av vintern är magasinerna tömda efter vinterhalvårets produktion och delar av vårfloden kan därför magasineras, vilket i regel minskar vårflodens topp i nedströms vattendrag. Generellt minskar därför översvämningens risk under våren-försommaren. Detta syns tydligt i områden där vårfloden normalt representerar årets högsta flöde – regleringar minskar maxflödet under året (Figur 56- och 57).

Under försommaren fram till tidig vinter kan däremot regleringarna medföra en ökad risk för översvämningar. Detta beror på att magasinerna i regel är välfyllda under denna tid med begränsat extra lagringsutrymme. I händelse av häftig och/eller långvarig nederbörd kan magasinerna fyllas till dämningssgräns, vilket kan leda till att stora flöden måste tappas genom utskov. I ett naturligt, oreglerat tillstånd är sommaren normalt en lågflödesperiod vilket medför att det finns större utrymme att buffra stora regnmängder om de skulle inträffa.



Figur 56. Årliga maxflöden hos nuvarande reglerad vattenföring (röd) och rekonstruerad naturlig vattenföring (blå) i Österdalälvens mynning i Siljan 1999-2014.



Figur 57. Årliga maxflöden hos nuvarande reglerad vattenföring (röd) och rekonstruerad naturlig vattenföring (blå) i Österdalälven vid Gråda innan sammanflödet med Västerdalälven 1999-2014.

Dammsäkerhet

I Dalälven och dess biflöden finns tusentals dammar, allt från små före detta branddammar i småbäckar till de stora vattenregleringsmagasinen som Trängslet, Siljan och Amungen i Dalälvens huvudflöden. I Dalarna finns också ett antal dammar med gruvavfall. Om en damm brister kan det orsaka betydande skador långt nedströms. Den som äger en damm har ansvar för dess underhåll, skadeförebyggande åtgärder och de skador som kan uppstå.

Branschens och tillsynsmyndighetens dammsäkerhetsarbete

Särskilda bestämmelser om dammsäkerhet infördes 2014 i miljöbalken (Sveriges miljölagstiftning). Bestämmelserna anger bland annat att dammar ska säkerhetsklassas om dammen är högre än 5 meter och det vid ett dammhaveri kan strömma ut mer än 100 000 kubikmeter vatten (eller annat material). Den som är underhållsskyldig för en damm som omfattas av bestämmelserna ska upprätta en konsekvensutredning med en bedömning av de konsekvenser ett dammhaveri kan orsaka.

Konsekvensutredning ska innehålla en beskrivning av de skador och störningar ett dammhaveri kan orsaka. Bland annat på elförsörjning, infrastruktur, annan samhällsviktig verksamhet, riksintresse för kulturmiljövården, miljön, samhällsekonomi och även förlust av människoliv. Dessutom ska utredningen identifiera och beskriva hur ett dammhaveri kan uppstå på den aktuella dammen. Vilket samtidigt blir utgångspunkten för förebyggande åtgärder.

Utredningen och förslag på dammsäkerhetsklass redovisas till länsstyrelsen som är tillsynsmyndighet och som beslutar om dammsäkerhetsklass.

I miljöbalken finns tre dammsäkerhetsklasser A, B, och C. Som A klassas de dammar som kan ge de allvarligaste konsekvenserna vid ett haveri och leda till kriser som drabbar många människor och stora delar av samhället samt hota grundläggande värden och funktioner. En damm klassificeras som B om ett dammhaveri kan leda till stora regionala och lokala konsekvenser eller störningar. Om ett dammhaveri kan leda till förlust av människoliv och risken för detta inte är försumbar ska dammen klassas som A eller B. Om risken för omgivningspåverkan är mycket liten kan en damma bli en så kallad U damm, dvs. damm utan dammsäkerhetsklass enligt miljöbalken.

Oavsett dammsäkerhetsklass och om en damm är klassificerad eller inte har den som är underhållsskyldig för dammen ett strikt ansvar vid ett eventuellt dammhaveri.

Kraftbranschen har sedan 1997 haft ett eget liknande system för att klassificera dammar, RIDAS. I detta system klassas dammar utifrån konsekvenser vid dammbrott i fyra klasser; 1+, 1, 2 och 3. Dammar i 1+ är den klass som anger får de mest allvarliga konsekvenserna. Generellt får 1+

dammar i RIDAS konsekvensklass A i miljöbalken medan klass 1 och 2 i RIDAS kan jämföras med klass B respektive C i miljöbalken.

Dammsäkerhetsklassningen ska genomföras under tidsperioden 2015 till 2017. Länsstyrelsen har fått konsekvensutredningar för alla 1+ och 1 dammar under 2015 och beslut har fattats om ny dammsäkerhetsklass för de allra flesta. För klass 2 dammar har konsekvensutredning lämnas in till länsstyrelsen under 2016. För övriga mindre dammar pågår en inventering av vilka dammar som kan komma att behöva dammsäkerhetsklassas.

I stort sett alla vattenregleringsmagasin i Dalälven, inklusive Väster- och Österdalälven, samt Oreälven har bedömts höra till klass A (Trängslet) eller B. Övriga dammar i anslutning till kraftverk, där effekten vid ett dammhaveri är begränsat, hamnar i dammsäkerhetsklass C.

Effekter vid dammhaveri

I Dalälven finns ungefär 15 större dammar. Risken för att en damm ska brista och orsaka översvämning är mycket liten. Men, om en större damm skulle haverera kan stora områden längs älven svämma över. Viktiga samhällsfunktioner såsom vägar, järnvägar, broar, el och tele kan slås ut eller skadas allvarligt. Översvämningens omfattning vid ett dammhaveri beror på vilken damm det gäller och den aktuella flödessituationen i älven.

Vid ett eventuellt dammhaveri i Dalälven bedöms dammen i Trängslet vara den som kan orsaka de största skadorna på liv, hälsa och miljö. Om Trängsletdammen skulle brista tar det ungefär 3 timmar innan vattnet når Älvdalens Kyrkby och omkring ett dygn innan vattnet når Avesta i Södra Dalarna.

Kommunerna längs Dalälven, Dalälvens vattenregleringsföretag, dammägare och länsstyrelserna i Dalarna, Gävleborg och Uppsala har tillsammans arbetat fram en plan för hur de olika organisationerna ska samarbeta vid dammbrott i Dalälven. En viktig del i arbetet med att ta fram beredskapsplanen har varit att samordna rutiner för larm och åtgärder, kartläggning av riskområden och planer för att minska skadorna och underlätta en eventuell evakuering.

Läs mer: I Länsstyrelsens webbkarttjänst visas den största vattenutbredning som dammbrott beräknas kunna leda till. Se <http://ext-webbgis.lansstyrelsen.se/Dalarna/Planeringsunderlag/>

1 Österdalälven

Österdalälven är ca 300 km lång och sammanflödar med Västerdalälven nära Djurås i Gagnefs kommun. Avrinningsområdet sträcker sig i nordvästlig riktning upp över norska gränsen. Området avgränsas nedströms av Gråda kraftverk som reglerar vattennivån i Insjön - Siljan - Orsasjön. Orsasjön och dess tillflöden redovisas i separat delområde (nr 2) i denna rapport.

Österdalälvens sjöar och vattendrag

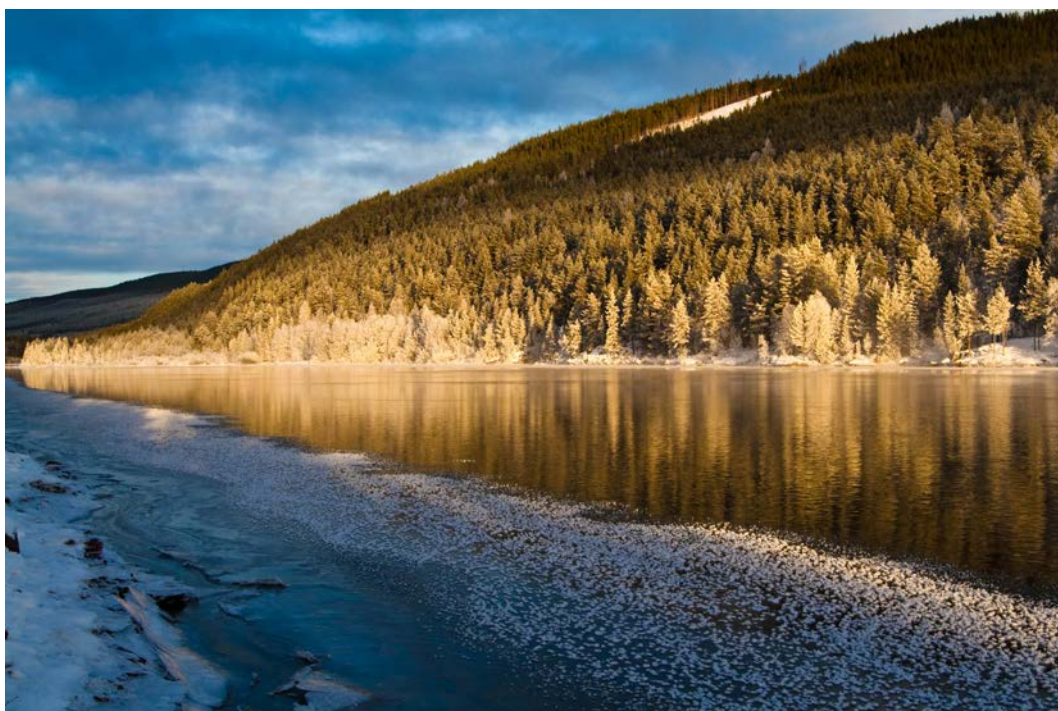
Områdets naturgivna förutsättningar i form av topografi, klimat, markförhållanden etc. tillsammans med århundradens påverkan av mänskliga verksamheter har resulterat i de sjöar och vattendrag vi ser idag.

Naturgivna förutsättningar – mark och vatten

Österdalälven utgör 31 % av Dalälvens totala avrinningsområde ner till havet. Området är kraftigt kuperat med en höjdskillnad på ca 1300 meter från Siljan-Insjön (ca 160 möh) och upp till fjället Elgåhogna i Norge med en topp på 1460 möh. Området består i huvudsak av fjäll, skog och myrmark på moränmarker över högsta kustlinjen. Öster om Siljan har ett meteoritnedslag orsakat den så kallade ”silurringen”, med höga kalkhalter i mark och vatten. Samt spår av naturgas och förhöjda uranhalter.

Klimatet i avrinningsområdet präglas av fyra distinkta årstider. Den höga fjällterrängen i övre delarna har betydligt större nederbörd än områden på lägre höjd. Exempelvis är årsnederbörden på Fulufjället ca 1000 mm, medan Österdalälvens dalgång mellan Idre och Särna endast får ca 600 mm.

Siljan är Sveriges 7:e största sjö (29 000 ha stor och 134 m djup). Området i övrigt är sjöfattigt med många starkt forsande vattendrag. Före kraftverksutbyggnaden orsakade Österdalälven återkommande översvämningar och erosionsproblem i Moraområdets finsandområden. Mora fick redan på 1700-talet statligt stöd för erosionsförebyggande åtgärder.



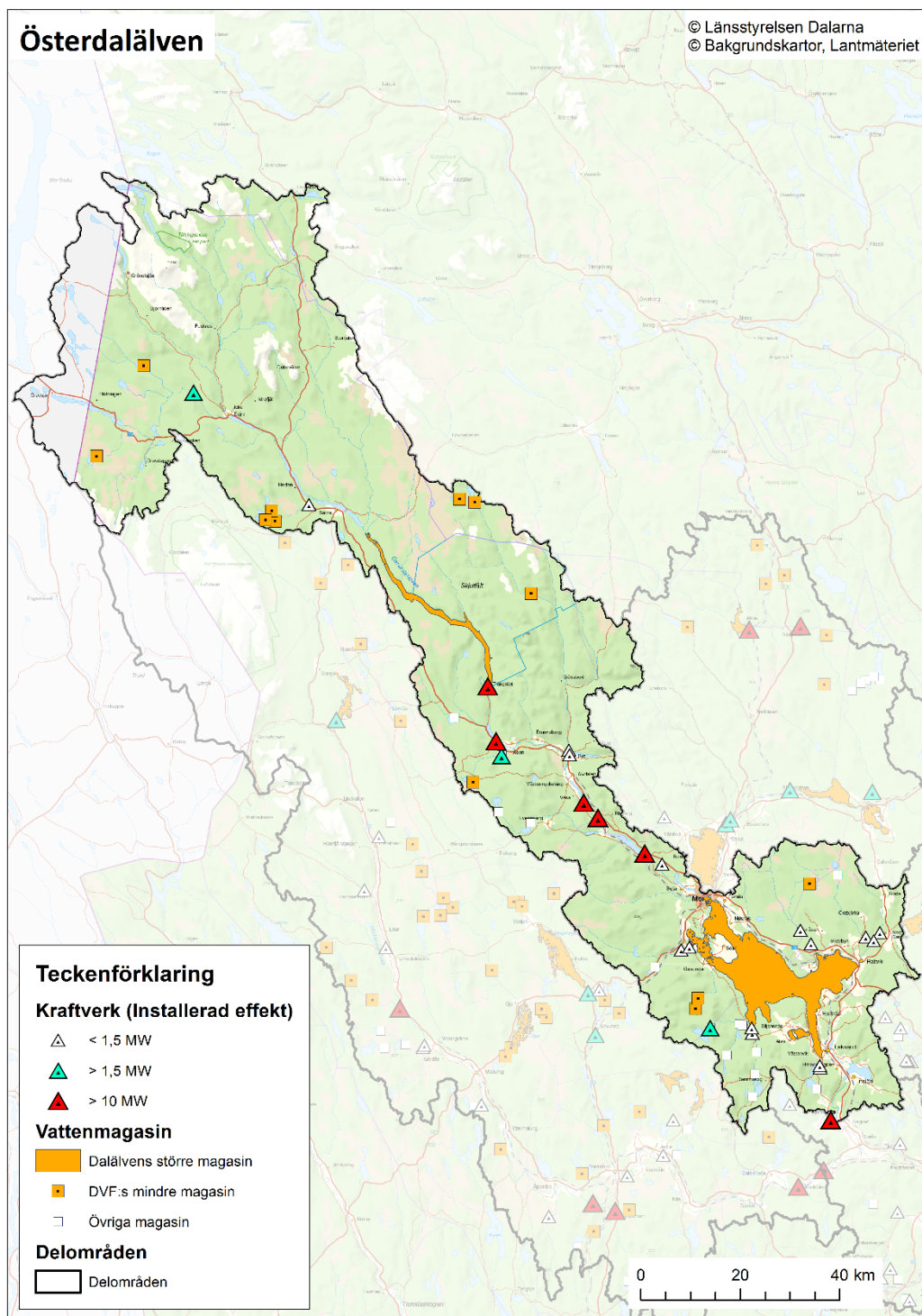
Figur 58. Vy över Österdalälven vid Älvdalen. Foto: www.fotoakuten.se

Österdalälvens vattenkraftssystem

I följande avsnitt presenteras Österdalälvens kraftverk och regleringsmagasin samt hur de fungerar tillsammans i ett samordnat vattenkraftssystem. Var respektive anläggning ligger framgår av översiktskartan.

Planeringen för ett kraftverk i Gråda vid Siljans utlopp påbörjades redan 1897, men först 1926 invigdes den så kallade Mariannelundsdammen som då blev Sveriges största regleringsmagasin. På grund av ägosplittringen i Siljansområdet berörde Siljans reglering 3 000 fastigheter och 15 000 ägofigurer. 1950 ersattes Siljans reglering av en ny damm lite längre ner i älven vid Gråda och planerna på en utvidgad reglering av Siljan aktualiserades.

Stora Kopparbergs Bergslags AB engagerade sig 1944 för utbyggnad av Trängslet och 1961 stod Sveriges då 6:e största kraftverk klart, med en fallhöjd på 142 meter. De nedströms liggande kraftverken (Åsen, Blyberg, Väsa och Spjutmo) stod klara 1969 och en samlad vattendom för Trängslet och Siljan fastställdes 1962. Flottningen kunde fortgå förbi den höga kraftverksdammen i Trängslet genom en lång timmerränna. De fiskeskador som utbyggnaden av Österdalälven orsakade har ännu år 2016 inte slutgiltigt kompenseras.



Figur 59. Vattenkraftverk och vattenregleringsmagasin i Österdalälven.

Österdalälven på sträckan Trängslet – Siljan

Österdalälven har Dalälvens bägge största vattenregleringsmagasin; Trängslet och Siljan. Trängslet regleras för att spara vatten från vår och sommar till senhösten och vintern. I det korta perspektivet sker också en hushållning med vatten mellan veckans dagar och dygnet timmar, för att anpassa elproduktionen till efterfrågan, så kallad korttidsreglering.

Nedströms Trängslet finns fyra kraftverk i Österdalälven och i det första av dessa, Åsen, sker en utjämning av den stora flödesvariation som orsakas av Trängslets korttidsreglering.

Siljan regleras vid Gråda kraftverk. Tappningen från Siljan regleras både över året och under veckorna. Under vårfloden magasineras en stor del av tillrinningen till både Trängslet och Siljan, vilket oftast minskar risken för höga flöden och översvämningar i Dalälven.

Tabell 6. Vattenregleringsmagasin i Österdalälvens huvudflöde.

Regleringsmagasin	Regleringsamplitud meter	Reglervolym miljoner m3	Regleringsstrategi År / Korttid	Energiinnehåll GWh
Trängslet	35	880	År + Korttid	696
Siljan	1,9	658	År + Korttid	211
Totalt	-	1 538	-	907

Tabell 7. Vattenkraftverk i Österdalälvens huvudflöde.

Kraftverk	Fallhöjd meter	Installerad effekt MW	Elproduktion GWh/år
Trängslet	142	300	651
Åsen	24	24	117
Väsa	10,5	15	60
Blyberg	11	15	66
Spjutmo	21,4	35	138
Gråda	12	24	119
Totalt	220,9	413	1151

Vattenregleringsstrategi för Trängslet - Österdalälven - Siljan

Från Trängslet ned till älvens inlopp i Siljan sker både säsongsreglering och korttidsreglering.

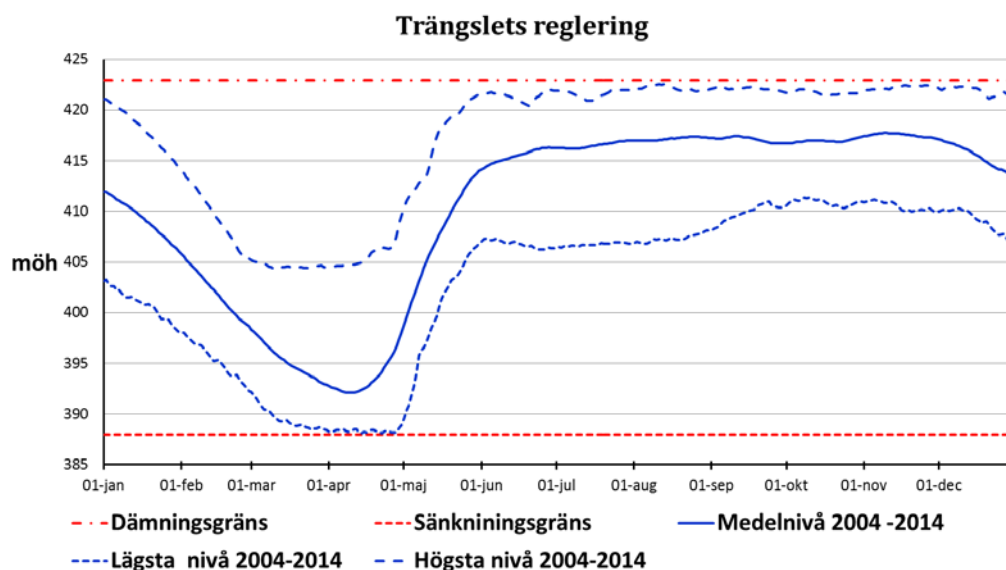
Trängslet är Dalälvens största magasin och rymmer 880 Mm³ (miljoner kubikmeter vatten) och har en regleringsamplitud på 35 m. Kraftstationen används för att tillgodose variationer i effektbehov dvs. samhällets varierande behov av elenergi. Vilket innebär att tappningarna och därmed flödena varierar kraftigt.

Omedelbart nedströms Trängslets kraftverk ligger Åsens kraftverk. I Åsen återregleras den ojämna vattenföringen från Trängslet så att en jämnare vattenföring erhålls i Österdalälven ner till Siljan. Trängslets regleringsgrad är ca 44 %, vilket innebär att nästa halva årsnederbörden eller allt vatten som rinner till magasinet under en normal vårflod kan magasineras, utöver det som tappas för att upprätthålla minimivattenföringen i Österdalälven.

Under vårfloden är tillrinningen från Österdalälvens biflöden stor. Största delen av den oreglerade tillrinningen kommer från Rotälven med ett avrinningsområde på knappt 900 km². Rotälven rinner in i Österdalälven strax norr om Älvdalen. När flödet ökar i Rotälven anpassas tappningen från Trängslet och Åsen för att så mycket som möjligt av vattnet ska gå genom turbinerna i kraftverken nedström och därmed minimera tappningen genom utskoven (spill). Regleringen i Trängslet minskar även risken för olägenhet och skador grund av höga flöden och höga vattennivåer längre ned i Dalälven. Kraftig dämpning av vattenföringen sker främst under vårfloden - men om det finns utrymme att magasinera vatten i Trängslet även andra tider på året, när höga flöden uppstår.

Trängslets säsongsreglering

Under vintern töms Trängslets magasin ned mot sänkningsgränsen och vatten sparas bara undantagsvis (vid blöta vintrar med lite snö). Under vårfloden och försommaren fylls magasinet (dvs. till nivå 420 möh) under sju av tio år. Det är alltså inte ovanligt att vattennivån i Trängslet ligger mer än 5 m under dämningssgränsen hela sommaren. Oftast beror detta på lägre tillrinning till Trängslet än normalt och detta kan förstärkas av hög efterfrågan på elkraft som leder till ökat tappning från Trängslet. År med lägre vattennivå i Trängslet ger ökad möjlighet att dämpa vattenflödet i Dalälven om tillrinningen blir hög och det är risk för höga flöden i Dalälven. Om nivån i Trängslet är hög i slutet av sommaren sker oftast en avsänkning i början av hösten för att skapa marginal för att magasinera höstregn. Syftet med avsänkningen är att kunna tappa så lite vatten från Trängslet som möjligt när det kommer mycket vatten från andra delar av Dalälven.



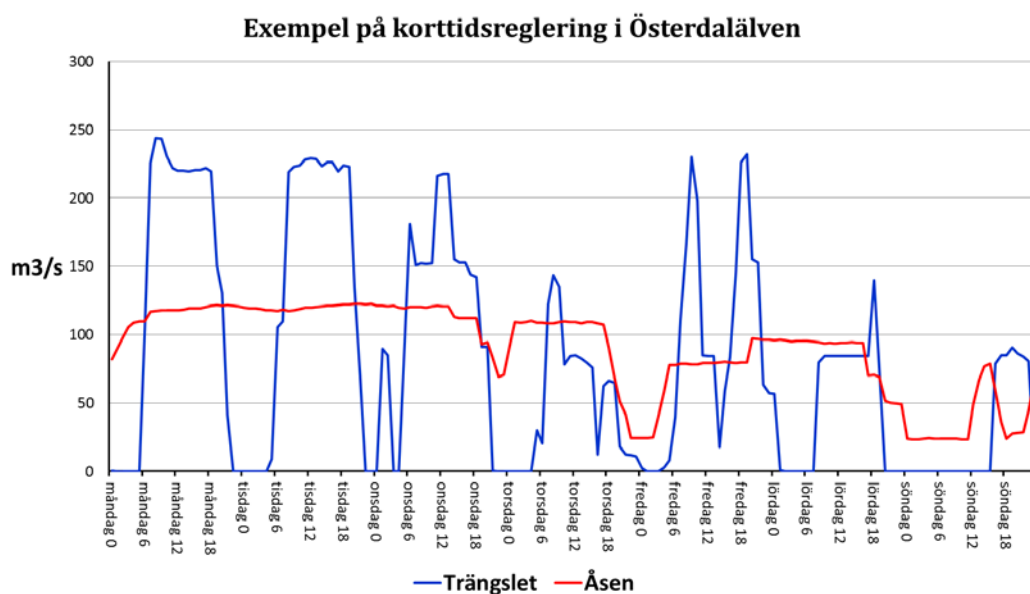
Figur 60. Vattenhushållningsbestämmelser och normalvattenstånd i Trängslet.

Trängslets korttidsreglering

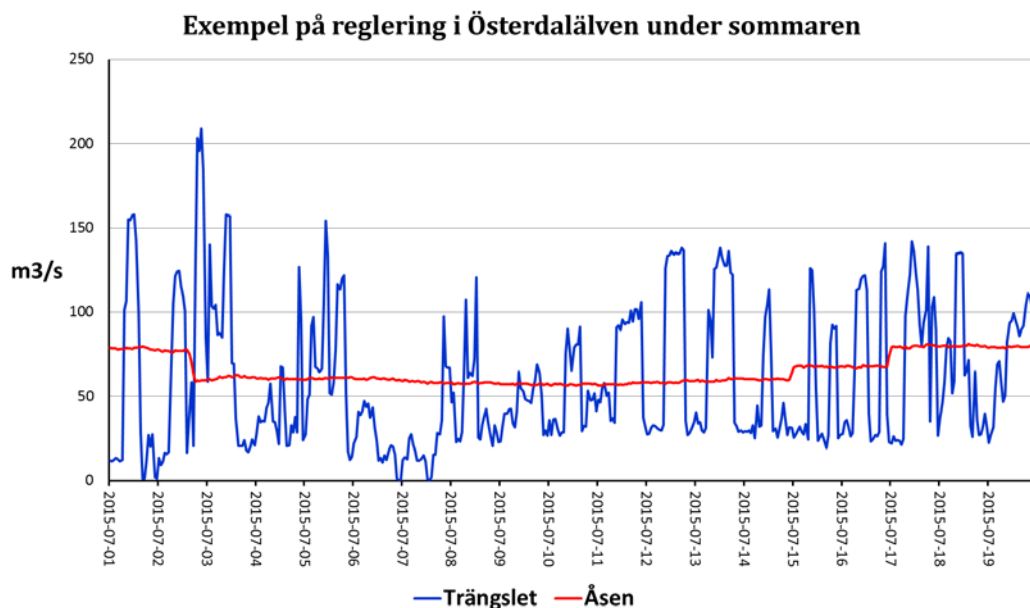
Tappningen från Trängslet korttidsregleras tillsammans med Åsen kraftverk och magasinet i Åsendammen. I Trängslet får tappningen varieras mellan 0 och 270 m³/s, vilket ger stora möjligheter att styra tappningen och elproduktionen i förhållande till efterfrågan. Hög tappning sker normalt dagtid under vardagar då effektbehovet är som störst. Trängslet har även en viktig roll för att hålla frekvensen i elnätet stabil och ofta körs en eller två turbiner på låg tappning under nätter och helger. När turbinerna är i drift kan de ställas in för att automatiskt öka eller minska tappningen för att bidra till att hålla balansen i elnätet. Vilket innebär att mer vatten tappas under natt och helg och ger en liten utjämnande effekt i förhållande till att all reglering genomförs de timmar då efterfrågan på energi och effekt är som störst.

Möjligheterna till korttidsreglering begränsas i första hand av vattenhushållningsbestämmelserna för Åsen. Minimitappningen för Österdalälven utgår från Åsens tappning som är 21 m³/s. Teoretiskt räcker vattnet i Åsens magasin för att hålla minimitappningen från Åsen i fem dygn utan att någon tappning sker från Trängslet. I praktiken är det ovanligt att Trängslet har 0-tappning mer än tre dygn i rad.

Slukförmågan genom turbinen i Åsen begränsar också hur mycket vatten det är rimligt att tappa i Trängslet. Korttidsreglering är tillåten upp till max tappning genom turbinen i Åsen och även om Åsens magasin är tomt går det inte att köra maxtappning i Trängslet ett helt dygn förrän Åsens vattenmagasin är fyllt. Sammantaget innebär detta att nivån i Åsen oftast är låg på måndag morgon och stiger under dagtid för att sedan sjunka tillbaka något under vardagnatt med strategin att Åsens magasin är fyllt till fredag kväll för att minimera behovet att tappning från Trängslet under helgen.



Figur 61. Trängslets - Åsens korttidsreglering under en typisk vecka.



Figur 62. Trängslets korttidsreglering balanseras ut i Åsen under sommarmånaderna.

Vattenkraftverken Åsen – Väsa – Blyberg - Spjutmo

Under tiden 1 september till den 31 maj är det tillåtet att korttidsreglera tappningen från Åsen med begränsningen att tappningen får ändras maximalt 30 m³/s inom en timma. Från 1 juni till 31 augusti får inte tappningen från Åsen korttidsregleras. Tappningsändringar från Åsen är

tillåtna, men tappningen får inte variera "upp och ned" inom 72 timmar och de tappningsändringar som utförs får maximalt vara 10 m³/s inom en timma och 40 m³/s inom 24 timmar.

Kraftverken i Väsa, Blyberg och Spjutmo har ingen egen rätt till korttidsreglering utan följer den reglering som utförs i Åsen med 4-5 timmars fördröjning. De tre kraftverken körs normalt med vattennivåreglering, i dagligt tal kallat VNR, vilket innebär att tappningarna dvs. flödena genom turbinerna anpassas för att hålla jämn nivå i magasinet. När tappningsförändringen som gjorts i Åsen börjar påverka nivån vid Väsa kommer tappningen automatiskt att öka för att hålla nivån på inställt värde.

Samma sak händer om det kommer kraftiga regn som ger en snabb flödesökning från Rotälven. När nivån i Väsa börjar stiga kommer tappningen öka för att hålla nivån stabil. Ökar tillrinningen så mycket att kraftverken når sin maximala slukförmåga behöver utskovsluckorna börja öppnas och släppa förbi det vatten som inte turbinen kan använda. När tillrinningen sjunker kommer först luckan stänga och därefter börjar tappningen genom turbinen minska.

Siljans reglering vid Gråda kraftverk

Siljan får regleras när nivån i sjön är mellan +159,90 m och 161,78 m (i höjdsystemet RH00). Tappningen i Gråda anpassas för att uppnå önskat flöde i Dalälven nedström sammanflödet med Västerdalälven. När nivån är inom reglergränserna får tappningen i Gråda variera mellan den minsta tillåtna tappningen på 25 m³/s och 293 m³/s. Maximal tappning genom turbinerna är ca 270 m³/s.

För att hålla sig inom nedströms liggande kraftverks slukförmåga anpassas tappningen från Gråda i förhållande till vattenföringen i Västerdalälven. Om nivån i Siljan tillåter innebär detta att tappningen från Siljan minskas när flödet i Västerdalälven stiger och omvänt ökas tappningen när vattenföringen från Västerdalälven minskar och det finns en efterfrågan på elproduktion.

Ett totalt flöde nedströms Öster- och Västerdalälvens sammanflöde på över 500 m³/s innebär spilltappning i de flesta kraftverken nedström och normalt hålls tappningen på maximalt 400 m³/s i dygnsmedel i Dalälven.

En normal vinter sjunker vattenföringen i Västerdalälven i början av vintern i takt med att temperaturen faller och nederbörden kommer som snö i stället för regn. För att hålla uppe vattenföringen i Dalälven ökas då tappningen vid Gråda kraftverk och årsavsänkningen av Siljan påbörjas. Avsänkningen pågår till slutet av mars och vissa år någon vecka in i april. De flesta år sänks nivån ned till sänkingsgränsen. Varma vintrar med hög tillrinning sänks inte Siljan av mer än till ca 0,5 m över sänkingsgränsen.

Vattenhushållningsbestämmelserna för Siljan anger att under vårfloden ska nivån i Siljan fyllas till minst +161,00 m. Om nivån inte nått +161,00 m den 1

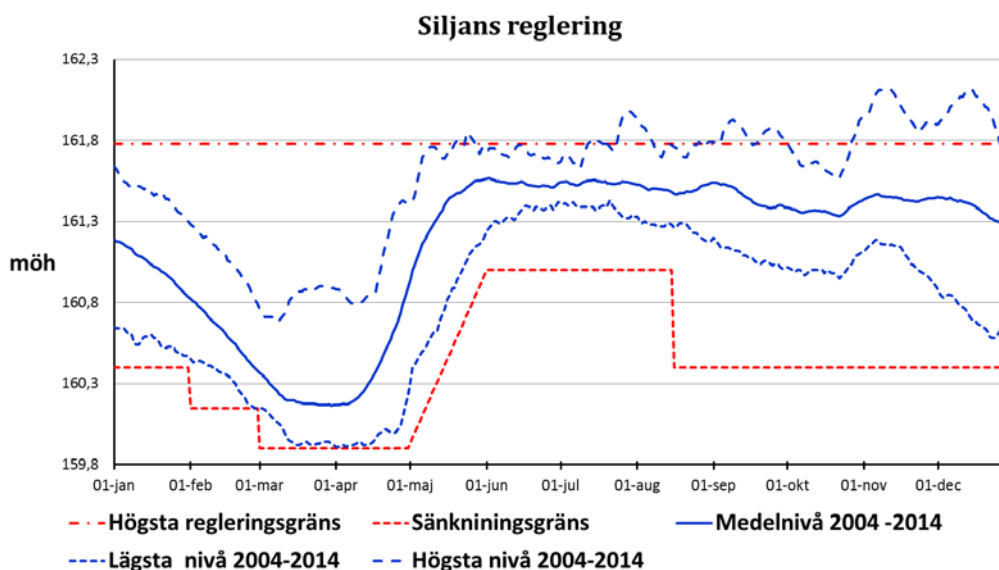
maj, ska tappningen från Trängslet vara minst 25 m³/s högre än tappningen från Gråda för att säkerställa att nivån i Siljan stiger. När vattennivån i Siljan nått +161,00 m gäller denna som lägsta tillåtna nivå fram till den 15 augusti. Normalt hålls nivån inom 0,5 m från den högsta tillåtna nivå.

Om vattennivån i Siljan är hög i början av hösten sänks nivån för att skapa marginal för höstflöden. Variationen mellan olika år är som störst under hösten. Som exempel var nivån 1,1 meter högre i november 2014 jämfört med samma tid 2015. Något normalt vattenstånd för Siljan från september till december går därför inte att ange.

När tillrinningen är hög under en längre tid och nivån i Siljan når upp till högsta regleringsgränsen måste tappningen i Gråda kraftverk följa en i vattendomen fastställd så kallad avbördningstabell. När nivån når +161,78 m ska tappningen från Siljan vara 293 m³/s. För varje centimeter som nivån i Siljan stiger ska tappningen öka ca 2 m³/s. Under 2000-talet har högsta reglergränsen överstigit i snitt vartannat år. På 1980-talet var motsvarande siffra 9 av 10 år. De senaste 10 åren har hösta nivån varit +162,11 m, vilket kan jämföras med år 2000 då nivån var +162,90 m och 1985 då nivån i Siljan var +163,03 m. Innan Trängsletdammen byggdes förekom regelbundet nivåer över +163,00 m i Siljan.

Det är det trånga utloppet ur Siljan som är orsaken till att utflödet av vatten ur Siljan är begränsat. För nedre delen av Dalälven innebär begränsningen av utflödet ur Siljan en kraftigt dämpande effekt på vattenföringen. Toppen på högflöden begränsas flera hundra m³/s, men får i gengäld en längre varaktighet eftersom den totala volymen vatten som ska passera genom älven är densamma.

Korttidsregleringen vid Gråda har en annan karaktär än den som utförs i Trängslet. Längre gångtider för vattnet till nedströms liggande kraftverk gör att regleringen i huvudsak utförs för att få en hög dagtidsproduktion i de fyra kraftverken i Borlänge och en lägre tappning på natt och helg.



Figur 63. Vattenhushållningsbestämmelser och normalvattenstånd i Siljan

Vattenregleringsmagasin och kraftverk i biflöden

Uppströms Trängslet finns regleringar i Sörälven och Lemman. Bägge vattendragen har vardera två reglerade sjöar och ett kraftverk dvs. Båthusströmmen i Sörälven och Lemman i Lemman. I en av de reglerade sjöarna i Sörälven (Holmsjön-Busjön i Drevfjällets naturreservat) planeras en utrivning av regleringsdammen.

Mellan Trängslet och Siljan finns fyra biflöden med reglerade sjöar. Rotälven har ett stort avrinningsområde med tre reglerade magasin. Strax före Rotälven mynning i Österdalälven finns två kraftverk.

Från Gyvelldammen rinner vattnet naturligt via Gryvlan till Åsens magasin, men större delen av vattnet leds över till Ugan till nytta för Ugsi kraftverk. Ugan har ytterligare två reglerade sjöar.

Dysån rinner ut i Österdalälven vid Oxberg uppströms Spjutmo kraftverk och har två reglerade sjöar. Ett mindre kraftverk finns i Säsån som har en reglerad sjö.

Reglerade biflöden till Siljan är Ryssån, Limån, Enån, Mångån och Ickån. Ryssån har två reglerade sjöar och två kraftverk.

I Limån finns sex reglerade sjöar och tre kraftverk, där Vådåns kraftverk har en fallhöjd på 140 m. I Enån finns fyra reglerade sjöar och tre kraftverk. Ickån har en reglerad sjö och två kraftverk. I Mångån finns en reglerad sjö. Ryssån har två reglerade sjöar och två kraftverk.

I Rältån som rinner in i Österdalälven strax uppströms Gråda finns en reglerad sjö.

Tabell 8. Vattenregleringsmagasin i Österdalälvens biflöden.

Biflöden	Reglerings-magasin antal	Reglerings- volym Mm3	Reglerings- strategi	Energiinnehåll GWh
Trängslets biflöden	4	10,0	År	8,2
Österdalälvens biflöden	9	22,8	År	9,6
Siljans biflöden	13	22,7	År	7,3
Totalt	26	55,5		25,1

Tabell 9. Vattenkraftverk i Österdalälvens biflöden.

Biflöden	Vattenkraftverk Antal	Installerad effekt Totalt MW	Elproduktion Totalt GWh/år
Trängslets biflöden	2	4,0	11,8
Österdalälvens biflöden	4	2,9	13,0
Siljans biflöden	12	4,8	10,6
Totalt	18	11,7	35,4

Österdalälvens totala elproduktion och reglernytta

I detta avsnitt sammanfattas områdets elproduktion och reglernytta. I det inledande kapitlet om Dalälvens vattenkraftssystem (Underrubriken ”Dalälvens elproduktion och bidrag till reglernytta”) sätts dessa värden in i sitt sammanhang för hela älven.

Elproduktion

I ovanstående kapitel redovisas den årliga elproduktionen och installerad effekt dels för varje enskilt kraftverk i huvudflödet och dels summerade värden för de mindre kraftverken i respektive biflöde. Vilket sammanfattas i följande tabell;

Vattenområde	Vattenkraftverk Antal	Installerad effekt Totalt MW	Elproduktion Totalt GWh/år
Huvudflödet	6	413	1151
Alla biflöden	16	12	35
Totalt	22	425	1186

Den totala elproduktionen på 1186 GWh i Österdalälven utgör ca 25 % av Dalälvens totala elproduktion

Reglernytta

Vattenregleringsmagasinen möjliggör både års- och korttidslagring av vatten för alla nedströms liggande kraftverk ända ut till havet. Enskilda kraftverks (eller grupper av kraftverks) värde som reglerkraft, för att balansera och stabilisera elsystemet i olika tidsskalor, kan beskrivas på flera olika sätt. I det inledande avsnittet om hela Dalälvens vattenkraftssystem, under rubriken ”Dalälvens elproduktion och reglernytta”, belyses dessa frågor samlat för hela Dalälven.

Vattenkraftens påverkan på Österdalälven

För beskrivning av vattenkraftens generella påverkan på sjöar och vattendrag och bedömningsgrunder – se det inledande kapitlet ”Dalälvens vattenkraftssystem”.



Figur 64. Storsugnet nedströms Trängslet, 1922. Foto: SMHI.

Effekter på vattenflöden och vattennivåer

Före kraftverksutbyggnaden fanns inga sjöar i Österdalälven på sträckan Särnasjön – Siljan. Vattenföringen i den oreglerade Österdalälven karaktäriserades av stora säsongsvariationer med låg vattenföring under

vintern följt av hög vattenföring under april-juni då snötäcket smälter. En sammanfattning av de naturliga förhållandena och den hydrologiska regimen i Österdalälven återges i *”Förteckning över Sveriges vattenfall”* från 1921:

”Mellan Särnasjön och Siljan framflyter Österdalälven å större delen av sträckan i en trång dal, omgiven av höga och merendels branta berg. Landskapet äger en utpräglad norrländsk natur och är delvis av storslagen skönhet.

Vid inlandsisens avsmältning låg landet så djupt nedsänkt, att Orsasjön och Siljan stodo i förbindelse med det Baltiska havet, och att en mindre fjord trängde in i älvdalen.

Älven har sydost om Åmängen skurit ut ett mycket brett älvplan, karakteriserat av talrika genombrutna meanderslingor. Den hade tidigare sin mynning väster om Sandängarna vid Orsasjön men skar 1659 ut den nuvarande utloppsfåran till Siljan. Sannolikt bildades i samband härmed Klubbholmarna, deltaöarna vid den nuvarande mynningen.

Då utjämnande magasin endast förekomma i mycket obetydlig utsträckning blir vattenståndet under avsmältningstiden mycket känsligt för nederbörd och temperaturförändringar och vårfloden får på grund härav ofta sekundära maxima. Den är emellertid utsträckt över en förhållandevis kort tid eftersom den magasinerade snönederbörden från de låga fjällen snabbt avsmälter och större sjömagasin alldeles saknas. Sedan vårfloden passerat bestämmes därför vattenståndet i övervägande grad av den samtida nederbördens storlek.

Efter utbyggnaden har älvlandskapet förändrats påtagligt, framför allt genom skapandet av vattenmagasin. Det största magasinet, Trängslet, bildades genom uppdämning av en ca 40 km lång älvsträcka med kanjonkaraktär och forsar. Mindre magasin har även skapats vid kraftverken i Åsen, Väsa, Blyberg och Spjutmo. Totalt kan nu drygt 900 Mm³ vatten magasineras på sträckan Trängslet-Spjutmo. Österdalälvens övre delar är dock relativt outbyggda och präglas fortfarande av naturlig flödesregim.



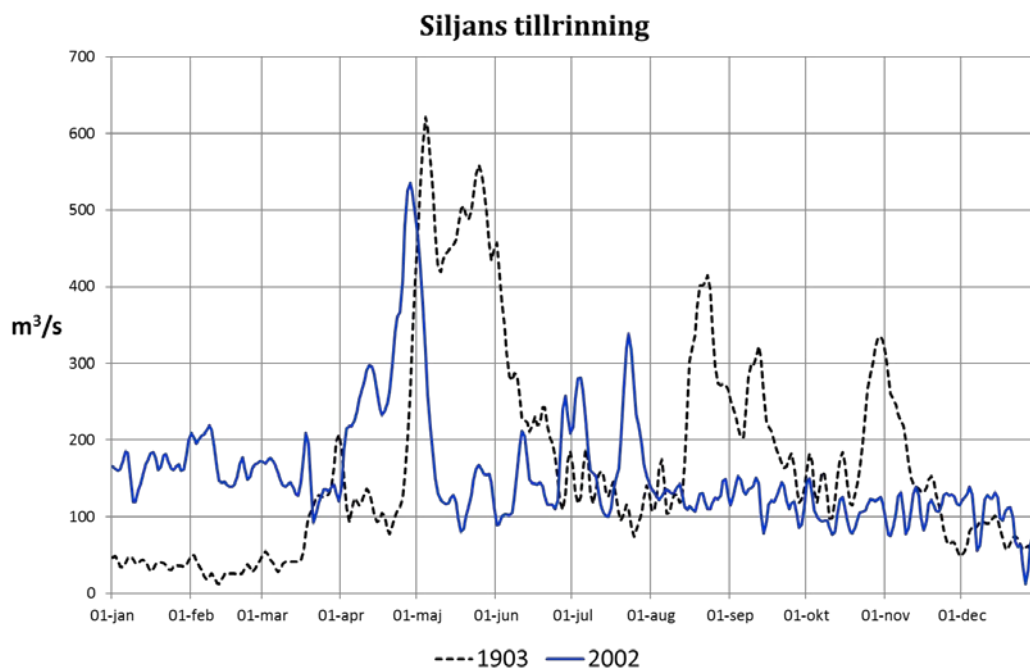
Figur 65. Trängslettdammen. Foto: Fortum Power AB

Generellt har nu årsmaxflödena i Österdalälven minskat (halverats) efter utbyggnaden även om det idag förekommer enstaka år då maxflöden inte skiljer sig nämnvärt från om älven vore oreglerad. Det kan exempelvis inträffa om högflödena inträffar under hösten då magasinen är välfyllda och lagringsförmågan är begränsad.

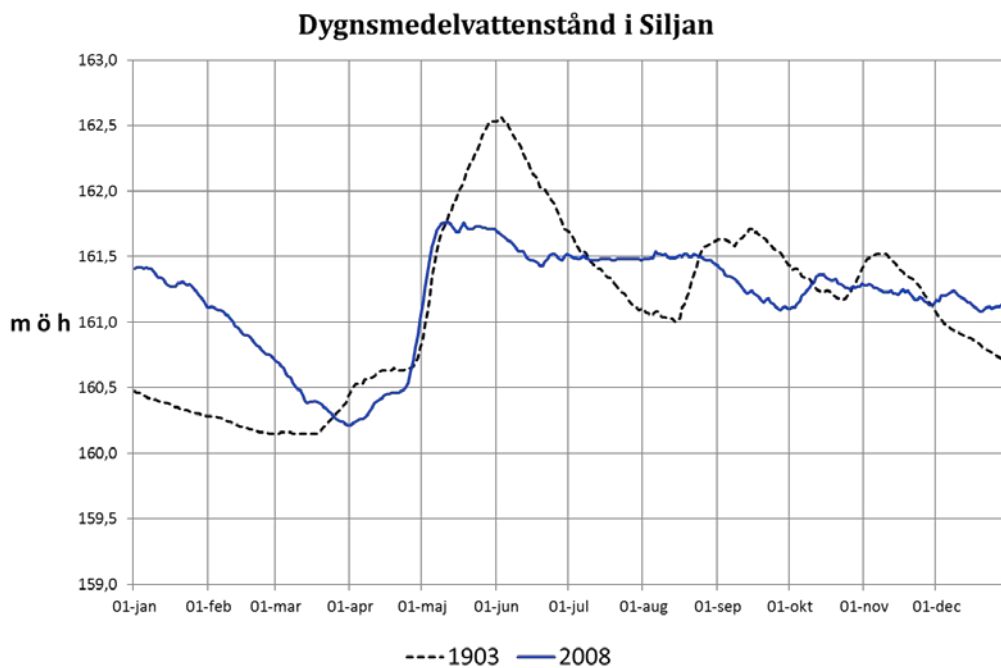
Vattenregleringens påverkan på vattenflöden i rinnande vatten och vattennivåer i sjöar kan belysas genom att nuvarande förhållanden jämförs med modellberäknade naturliga flöden eller historiska tidsserier före vattenkraftsutbyggnaden.

I detta kapitel jämförs förhållandena på ett urval platser (Österdalälvens inlopp i Siljan, Siljan och Österdalälven nedströms Siljan) under ett ”typår” före respektive efter vattenkraftsutbyggnaden. Respektive år är valda för att spegla samma förutsättningar i form av årsnederbörd och årsflöden.

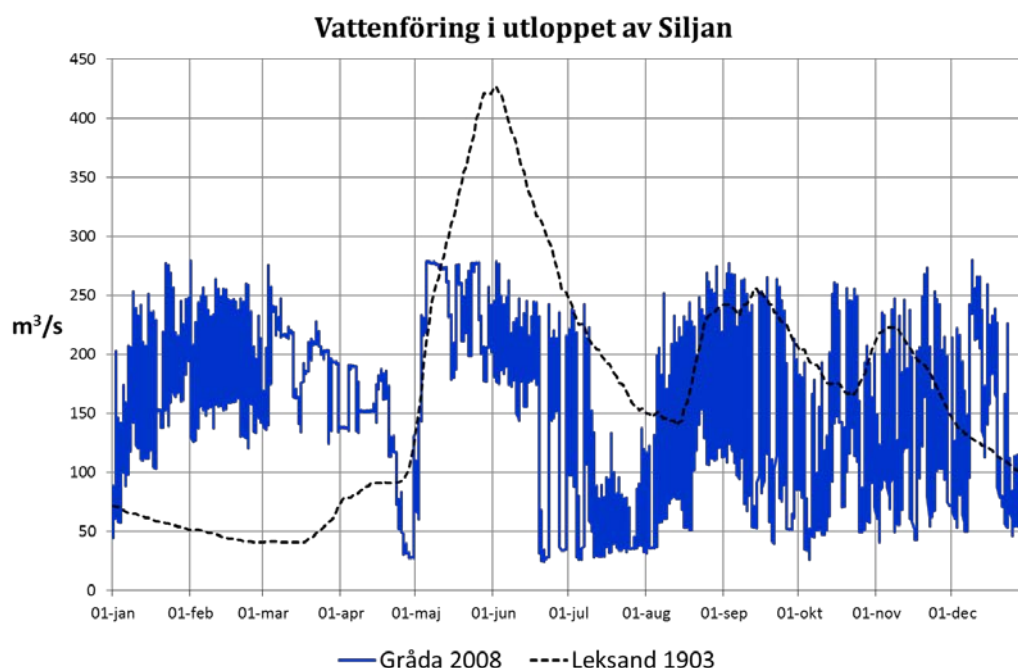
Före regleringarna orsakade Österdalälvens månadslånga kraftiga vårflöden på ca 500 m³/s en succesivt stigande vattennivå i Siljan – som kulminerade på nivån 162,5 meter i månadsskiftet maj/juni. Samtidigt steg vattenflödet i Siljans utlopp, som nådde en topp på drygt 400 m³. Den trånga sektionen i Siljans utlopp dämpar dock vattenflödena som blir lägre men mer utdragna. Vårflödet i Gråda var högre än 300 m³ under 1,5 månad typåret 1903.



Figur 66. Totala dygnstillrinningen från Österdalälven till Siljan [m³/s] år 1903 (svart linje) samt år 2002 (blå linje). Årsmedelvattenföringen var 169 m³/s respektive 155 m³/s för de olika åren.



Figur 67. Dygnsmedelvattenståndet i Siljan [cm] år 1903 (svart linje) samt år 2008 (blå linje).



Figur 68. Vattenföringen [m³/s] i Österdalälven nedströms Siljan år 1903 (dygnsdata från Leksand, svart linje) samt år 2008 (timdata från Gråda, blå linje). Årsmedelvattenföringen var 167 m³/s respektive 164 m³/s för de två olika åren.

Effekter på hydromorfologiska kvalitetsfaktorer

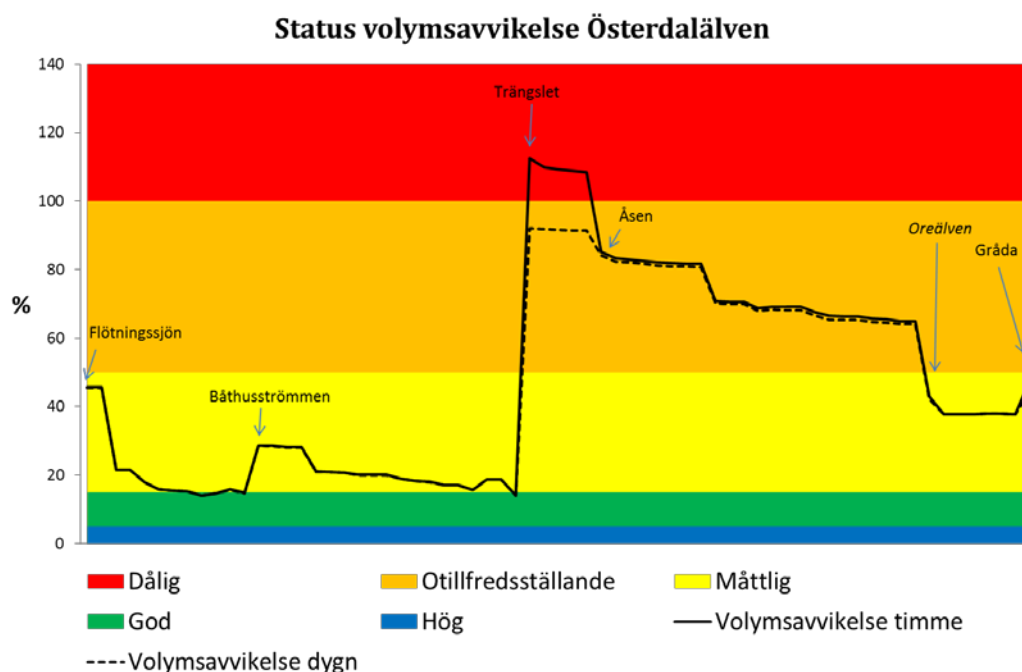
Vattenregleringens påverkan på vattenflödena beskrivs inom vattenförvaltningen med hjälp av två hydromorfologiska kvalitetsfaktorer (Volymsavvikelse och Flödets förändringstakt). Bägge måtten anger hur stor flödesförändringen är idag (i %) i förhållande till före kraftutbyggnaden.

Volymsavvikelsen mäter framför allt årsreglerings påverkan på flödena medan Flödets förändringstakt speglar korttidsregleringens omfattning.

Österdalälven börjar regleras i Flötningssjön nära gränsen mot Norge, vilket medför att status för volymsavvikelsen blir måttlig (Figur 69). Däremot sker ingen korttidsreglering här så regleringen har i regel en flödesutjämnande effekt. Därför minskar flödets förändringstakt jämfört med det oreglerade tillståndet och status blir otillfredsställande (Figur 70).

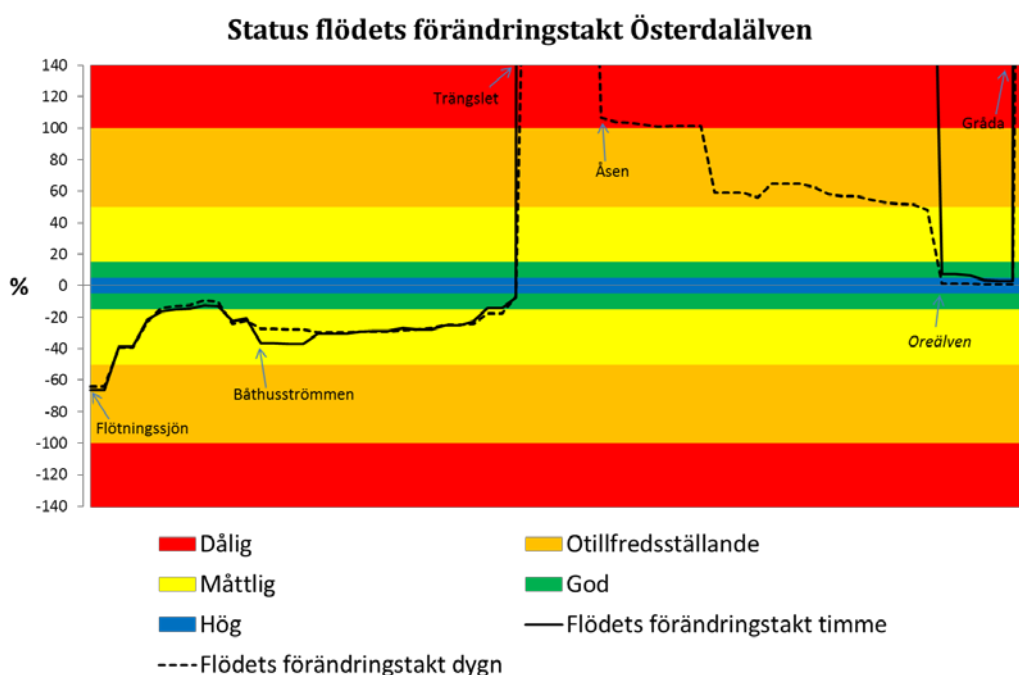
I den övre delen av Österdalälven är flödet relativt litet och späds snabbt på av oreglerade vattendrag, och därför förbättras successivt status nedströms Flötningssjön innan nästa damm vid Båthusströmmen. Återigen ökar

påverkan något för att sedan successivt avklinga nedströms i takt med att nya tillflöden ansluter och regleringen dämpas ut.



Figur 69. Status med avseende på volymsavvikelse i procent (timme, dygn) i Österdalälven från Flötningsjön till Gråda.

Vid Trängslet sker en stor flödespåverkan – båda parametrarna indikerar dålig status, åtminstone när man utgår från timdata. Denna påverkan mildras något vid Åsen, sedan ytterligare något vid Rotälvens inflöde, och fortsätter sedan minska nedströms även om statusklassen är oförändrad vid otillfredsställande. Vid inloppet i Siljan tillkommer Oreälven vilket ger en måttlig status, men vid Gråda kraftverk regleras Siljans utlopp med korttidsreglering vilket orsakar dålig status.



Figur 70. Status med avseende på flödets förändringstakt i procent (timme, dygn) i Österdalälven från Flötningsjön till Gråda

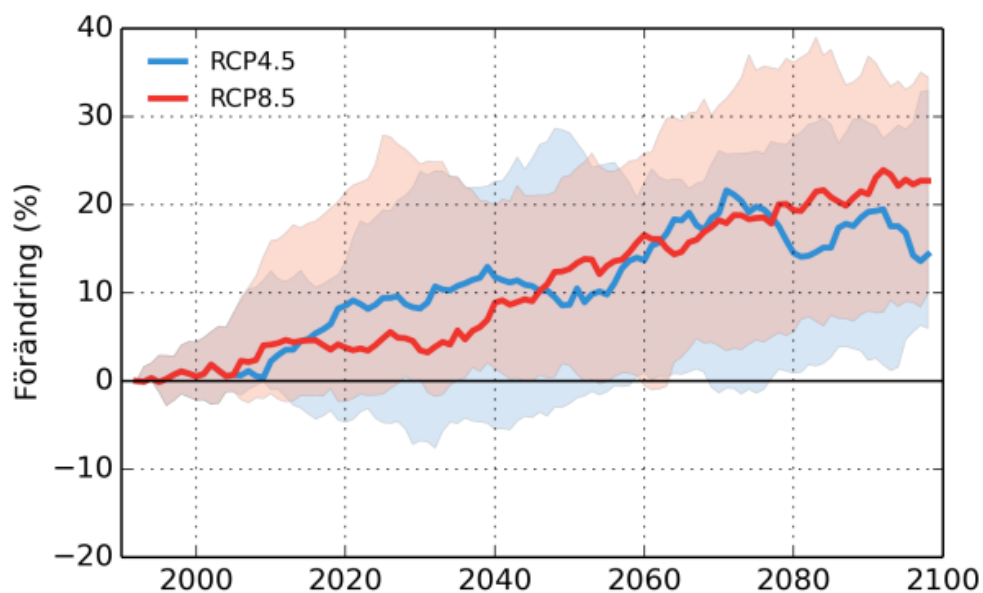
Klimatförändringens effekter

SMHI har 2015 tagit fram enhetliga regionala klimatanalyser för hela landet. Förändringarna i temperatur, nederbörd och vattenflöden redovisas i diagramform för ett tiotal platser i Dalälven. I det inledande kapitlet "Dalälvens vattenkraftssystem" presenteras dessa analyser närmare.

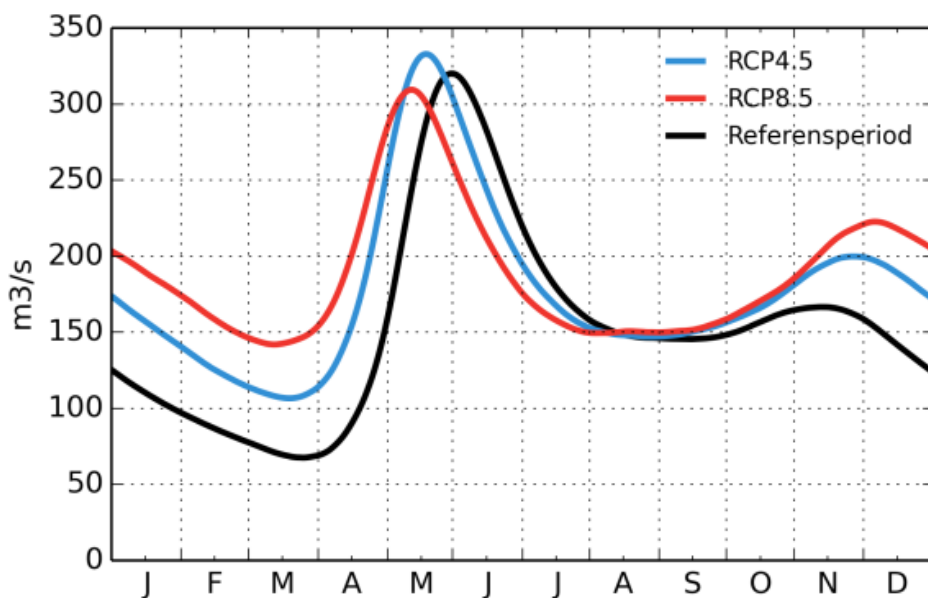
I detta avsnitt presenteras två diagram som visar dels hur den totala årsmedeltillrinningen ökar fram till nästa sekel och dels hur tillflödena kommer att förändras under olika årstider i Österdalälven (Vid Gråda, före sammanflödet med Västerdalälven). Beräkningarna avser total tillrinning utan påverkan från vattenregleringar.

Totala årsmedeltillrinningen ökar succesivt och vid mitten av seklet ligger ökningen i medeltal på ca 10 % för båda RCP-scenarierna. Ökningen av tillrinning under andra halvan av seklet är störst för RCP 8.5 som vid slutet av seklet visar på en ökning på drygt 20 %.

Den procentuella ökningen av tillrinning är störst under vintern och våren och ökningen sker succesivt under hela perioden. Tillrinningen under sommaren förblir relativt konstant fram till mitten av seklet för att därefter minskar succesivt fram till slutet av seklet. En svag ökning av procentuella tillrinningen syns under hösten.



Figur 71. Förändrad total årsmedeltillrinning för Österdalälven vid Gråda.



Figur 72. Den totala tillrinningens årssynamik i Österdalälven vid Gråda. Svart linje representerar referensperioden 1963-1992 och de övriga linjerna representerar framtidsperioden 2069-2098.

2 Oreälven

Delområdet Oreälven omfattar Orsasjön och dess biflöden – varav Oreälven är det största. Oreälvens källflöden sträcker sig ända upp i Hälsingland norr om Noppikoski.

Oreälvens sjöar och vattendrag

Områdets naturgivna förutsättningar i form av topografi, klimat, markförhållanden etc. tillsammans med århundradens påverkan från mänskliga verksamheter har resulterat i de sjöar och vattendrag vi ser idag.

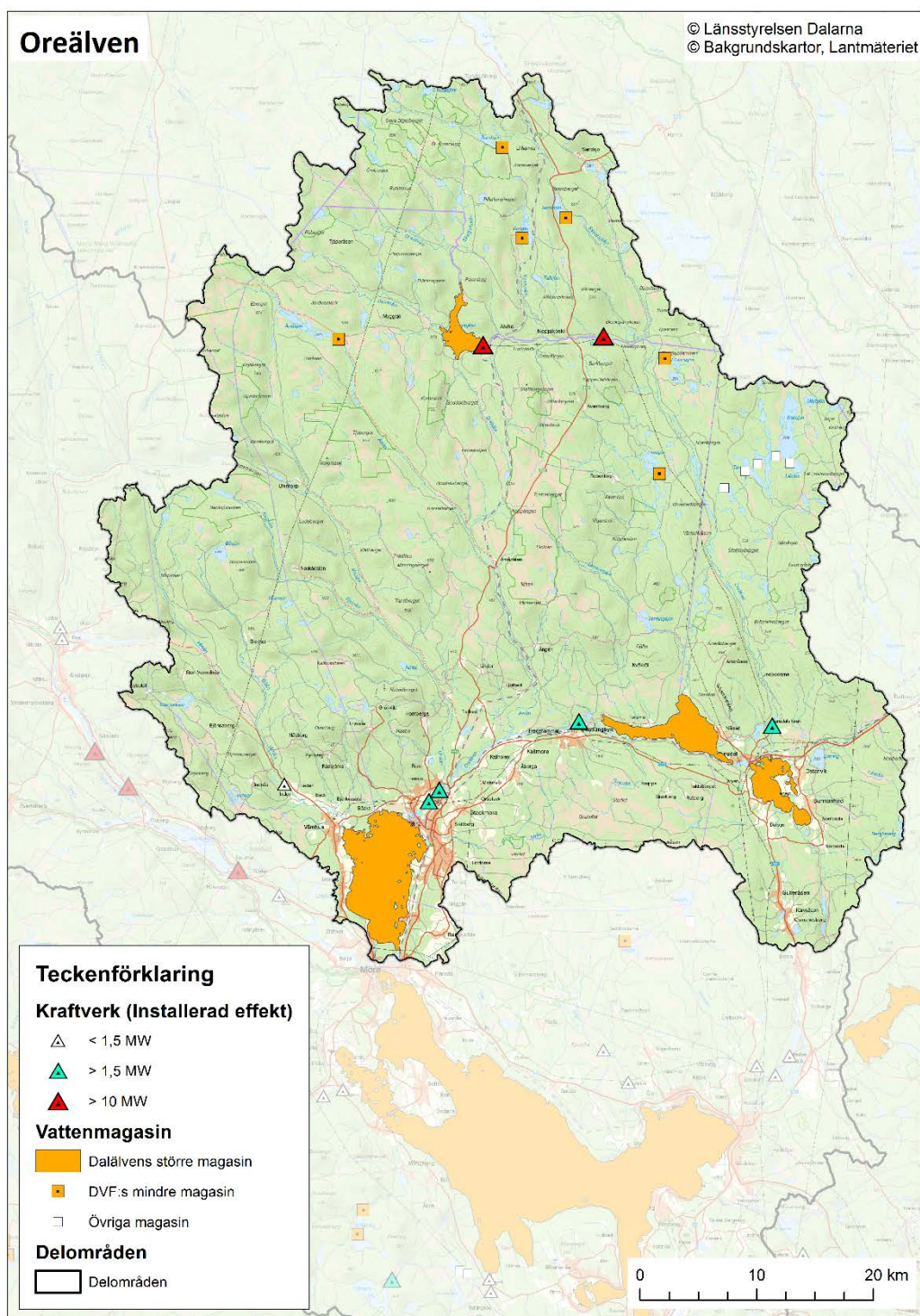
Naturgivna förutsättningar – mark och vatten

Oreälven omfattar 11 % av Dalälvens totala avrinningsområde ner till havet. Området har en höjdskillnad på drygt 500 meter från Siljan-Insjön (ca 160 möh) och upp till bergstopparna på ca 700 meters höjd vid Hälsingegränsen. Området består i huvudsak av skog och myrmark på magra moränmarker över högsta kustlinjen. Öster om Orsasjön - Siljan har ett meteoritnedslag orsakat den så kallade ”silurringen”, med höga kalkhalter i mark och vatten. Samt spår av naturgas och förhöjda uranhalter.

Klimatet i avrinningsområdet präglas av fyra tydliga årstider. Skogsområdena i norr har högre nederbörd än områdena runt Orsasjön. Exempelvis är årsnederbörden vid utloppet av Oresjön i Oreälven källområde ca 850 mm, medan områdena kring Orsasjön endast får ca 670 mm.

Oreälvens vattenkraftssystem

I följande avsnitt presenteras Oreälvens kraftverk och regleringsmagasin samt hur de fungerar tillsammans i ett samordnat vattenkraftssystem. Var respektive anläggning ligger framgår av översiktskartan.

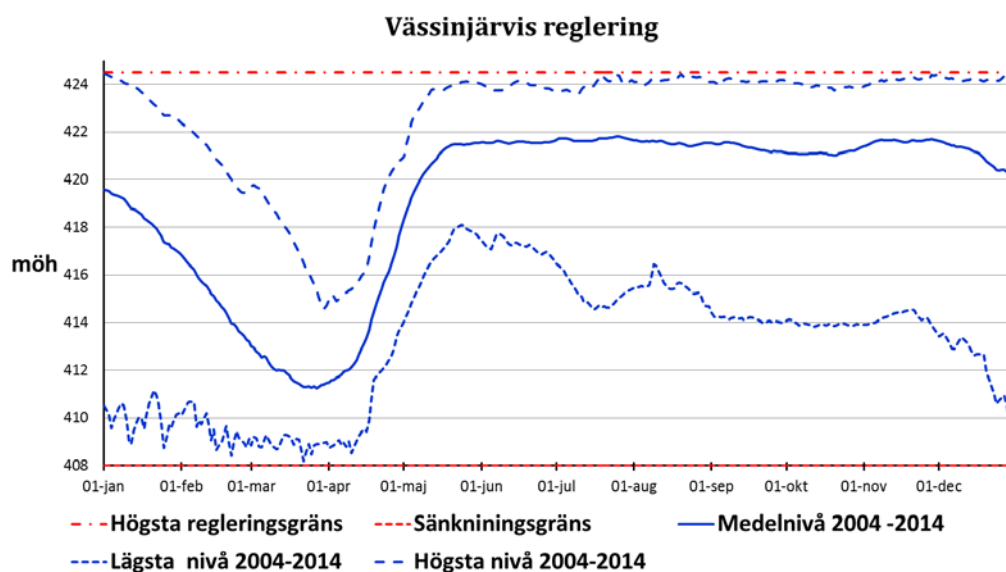


Figur 73. Vattenkraftverk och vattenregleringsmagasin i Oreälven.

I Oreälvens huvudflöde finns 2 större årsregleringsmagasin och i biflödena 13 mindre. Den totala regleringsgraden är endast 17 % och det innebär att

endast en mindre del av vårfloden kan magasineras för att användas för elproduktion nästa vinterhalvår. I Oreälvens huvudflöde, från Vässinjärvi i norr till inflödet i Orsasjön, finns sex kraftverk med en effekt mellan 1 - 10 MW. De två största kraftverken ligger i över delen av Ore älv.

Högst upp i Oreälven ligger områdets näst största magasin, Vässinjärvi, med en regleringsvolym på 70 Mm³ och en regleringsamplitud på 16,5 meter. Tappningen från magasinet sker genom kraftverket Vässinkoski – som har både säsongsreglering och korttidsreglering.



Figur 74. Vässinjärvis reglering under ett år.

Säsongsregleringen innebär att Vässinjärvi töms varje vinter och under vårfloden anpassas tappningen ur magasinet för att minimera spilltappning i kraftverken nedströms och för att fylla upp nivån i magasinet till lämplig nivå över sommaren. Vid kraftiga regn över Oreälvens tillrinningsområde ökar vattenflödena mycket snabbt och flödet ut ur Vässinjärvi regleras hela året för att balansera dess vattennivå inom beslutad högsta dämningssgräns.

Korttidsregleringen i Vässinkoski, som utförs för att styra elproduktionen till timmar med högst efterfrågan, samordnas med Noppikoski kraftverk som ligger 10 km nedströms. Noppikoski kraftverk har ett litet vattenmagasin för korttidsreglering och som används för detta ändamål under hela året.

Nedströms Noppikoski följer en sträcka av Oreälven på 5 mil utan kraftverk och magasin innan älven når Furudals kraftverk. Furudal har ett mindre magasin som i huvudsak används för att optimera driften vid kraftverket och korttidsregleringen är mycket begränsad. Minimitappningen i Furudal är 0,1 m/s vid regleringsdammen och 0,05 m³/s till Tranubäcken under barmarkstid.

Nedströms Furudal ligger Oresjön och Skattungen som tillsammans bildar det största regleringsmagasinet i Ore älv med en reglerad volym på 83 Mm³. Minimivattenföringen från Skattungen är 6-8 m³/s som kan gå genom turbinen. Från Skattungbyns kraftverk sker årsreglering för att öka vintervattenföringen och elproduktionen i detta och de bägge nedströms liggande kraftverken Unnån och Hansjö. Trots sin storlek är Skattungen-Oresjöns regleringsgrad endast 25 % vilket innebär att magasinerna endast kan magasinera ungefär halva vårfloden. Och vatten behöver alltid spillas förbi Skattungbyns kraftverk för att inte magasinet ska bli överfyllt. Dämningsgränsen i Skattungen är fastställd till en nivå som är 40 cm lägre på våren och sommaren än under hösten.

Innan Oreälven når de två sista kraftverken, Unnån och Hansjö, rinner de två största biflödena Unnån och Emmån in i Ore älv. Vilket gör att medelvattenföringen är nästan dubbelt så hög vid Unnåns kraftverk som vid Skattungbyns kraftverk. Eftersom det endast finns ett mindre magasin långt upp i Emmån och tillrinningen i övrigt i dessa bägge biflöden är oreglerad, varierar vattenföringen mer nedströms biflödena än direkt nedströms Skattungbyns kraftverk.

Tabell 10. Vattenkraftverk i Oreälvens huvudvattendrag.

Kraftverk	Fallhöjd meter	Installerad effekt MW	Elproduktion GWh/år
Vässinkoski	75	10	25
Noppikoski	67,5	10	33
Furudal	18,5	3,7	16
Skattungbyn	7,5	1,4	7,8
Unnån	6,5	2,9	13
Hansjö	10,6	3,3	18
Totalt	185,6	31,3	113

Tabell 11. Vattenregleringsmagasin i Oreälvens huvudvattendrag.

Regleringsmagasin	Regleringsamplitud meter	Reglervolym miljoner m ³	Regleringsstrategi År / Korttid	Energiinnehåll GWh
Vässinjärvi	16,5	70	År+korttid	55
Noppijärvi	3,0	0,6	Korttid	0,4
Furudal	1,3	1,1	Korttid	0,5
Oresjön-Skattungen	2,7	83	År	32
Totalt	-	154,7	-	87,9

Vattenregleringsmagasin och kraftverk i biflöden

Magasinen i biflödena till Ore älv är små med låg regleringsgrad, med undantag av Storejen i Tansån som har en reglervolym på 10 Mm³ och en

regleringsgrad på 55 % vilket innebär att större delen av vårfloden kan magasineras. De tio övriga magasinerna i biflödena har en reglervolym på vardera 0,7 – 3,4 Mm³ och totalt 17 Mm³.

Tabell 12. Vattenregleringsmagasin i Oreälvens biflöden.

Regleringsmagasin	Regleringsamplitud meter	Reglervolym miljoner m ³	Regleringsstrategi År / Korttid	Energiinnehåll GWh
Vassjön	1,6	2	År	1,2
Storejen		10	År	4,3
Emåsjön		4,3	År	1,5
Övriga 7 st		11	År	4,7
Totalt		27,3		11,7

Tabell 13. Kraftverk i Oreälvens biflöden.

Biflöden	Vattenkraftverk Antal	Installerad effekt Totalt MW	Elproduktion Totalt GWh/år
Våmån	1	0,84	3
Totalt	1	0,84	3

Ore älvs totala elproduktion och reglernytta

I detta avsnitt sammanfattas områdets elproduktion och reglernytta. I det inledande kapitlet om Dalälvens vattenkraftssystem (Underrubriken ”Dalälvens elproduktion och bidrag till reglernytta”) sätts dessa värden in i sitt sammanhang för hela älven.

Elproduktion

I ovanstående kapitel redovisas den årliga elproduktionen och installerad effekt dels för varje enskilt kraftverk i huvudflödet och dels summerade värden för de mindre kraftverken i respektive biflöde. Vilket sammanfattas i följande tabell;

Vattenområde	Vattenkraftverk Antal	Installerad effekt Totalt MW	Elproduktion Totalt GWh/år
Huvudflödet	6	31	113
Alla biflöden	1	0,8	3
Totalt	6	31,8	116

Oreälvens elproduktion utgör ca 2 % av Dalälvens totala elproduktion.

Reglernytta

Vattenregleringsmagasinen möjliggör både års- och korttidslagring av vatten för alla nedströms liggande kraftverk ända ut till havet. Enskilda kraftverks (eller grupper av kraftverks) värde som reglerkraft, för att balansera och stabilisera elsystemet i olika tidsskalor, kan beskrivas på flera olika sätt. I det inledande avsnittet om hela Dalälvens vattenkraftssystem, under rubriken ”Dalälvens elproduktion och reglernytta”, belyses dessa frågor samlat för hela Dalälven.

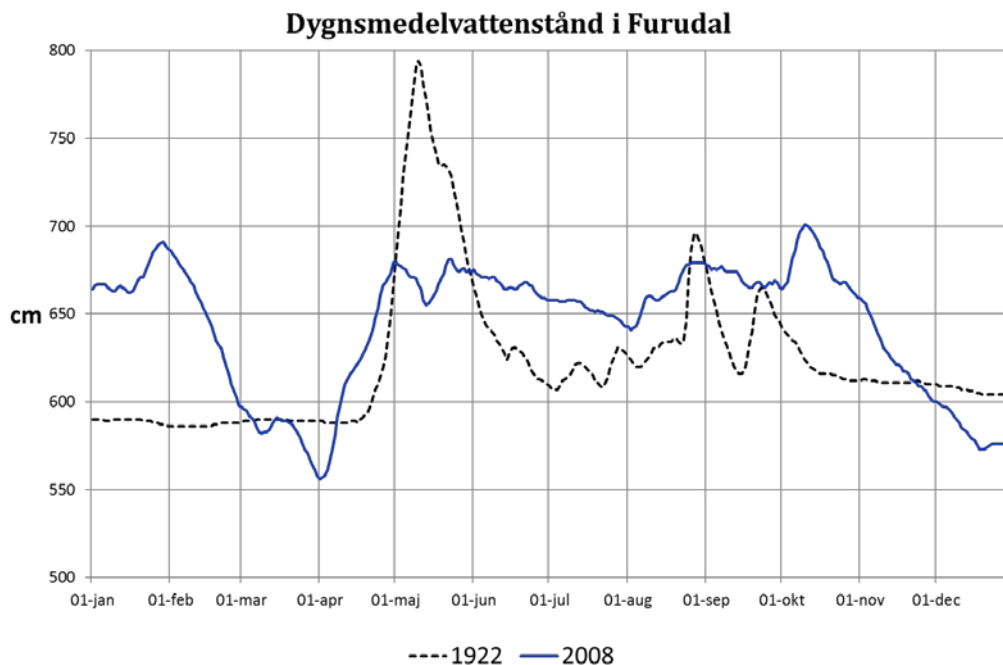
Vattenkraftens påverkan på Oreälven

För beskrivning av vattenkraftens generella påverkan på sjöar och vattendrag och bedömningsgrunder – se det inledande kapitlet ”Dalälvens vattenkraftssystem”.

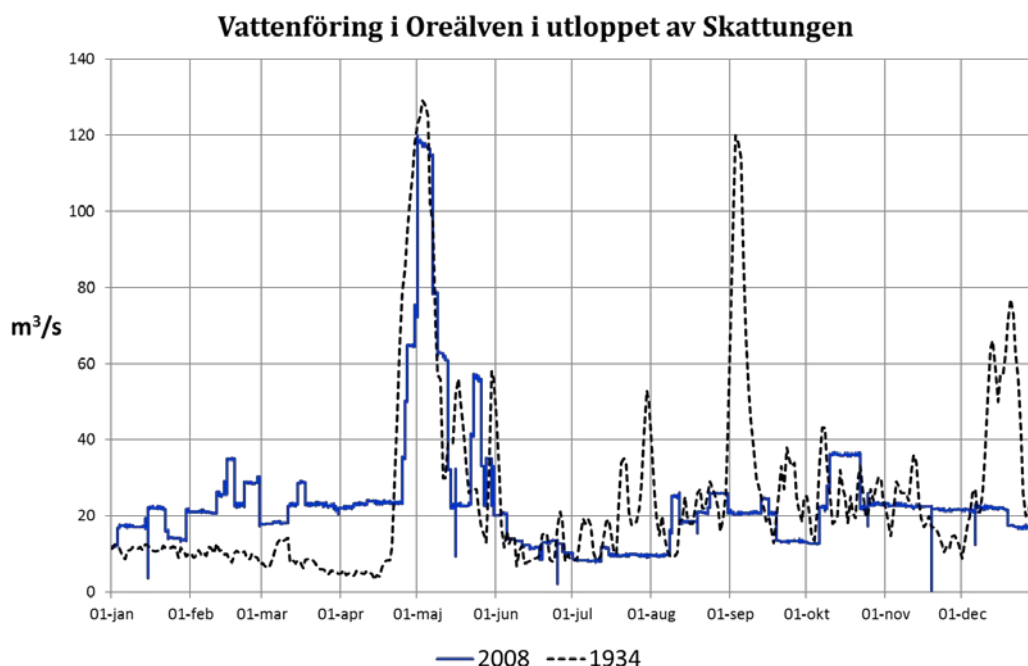
Effekter på vattenflöden och vattennivåer

Vattenregleringens påverkan på vattenflöden i rinnande vatten och vattennivåer i sjöar kan belysas genom att nuvarande förhållanden jämförs med modellberäknade naturliga flöden eller historiska tidsserier före vattenkraftsutbyggnaden.

I detta kapitel jämförs förhållandena på ett urval platser under ett ”typår” före respektive efter vattenkraftsutbyggnaden. Respektive år är valda för att spegla samma förutsättningar i form av årsnederbörd och årsflöden.



Figur 75. Dygnsmedelvattenståndet (cm) i Furudal år 1903 (svart linje) och år 2008 (blå linje).



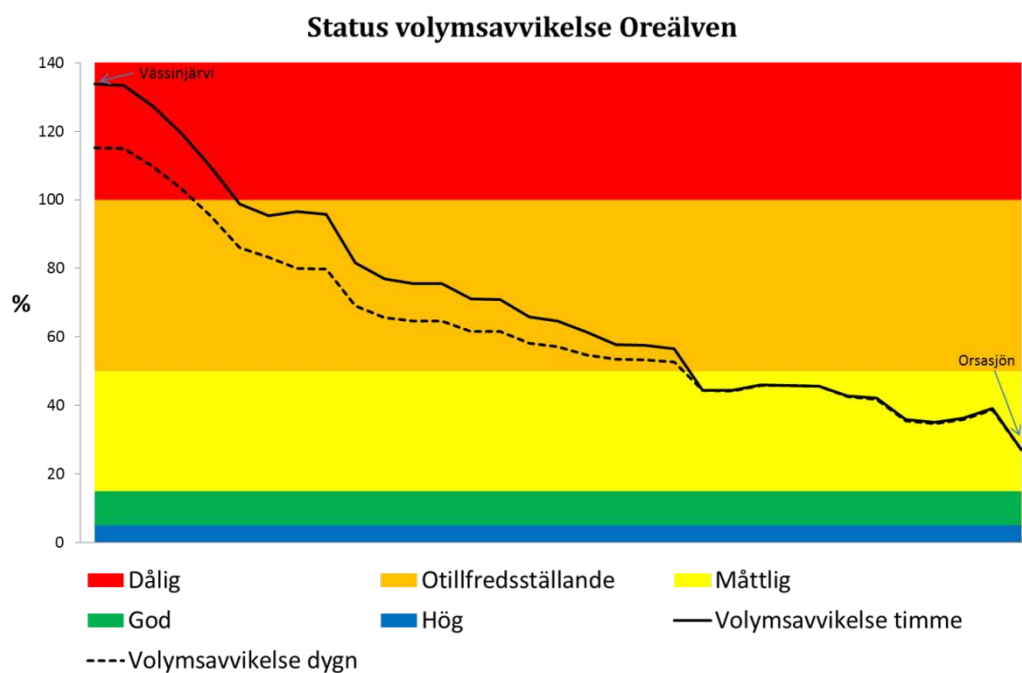
Figur 76. Vattenföringen (m³/s) i Oreälven, Skattungens utlopp, år 1934 (dygnsdata, svart linje) och år 2008 (timdata, blå linje).

Effekter på hydromorfologiska kvalitetsfaktorer

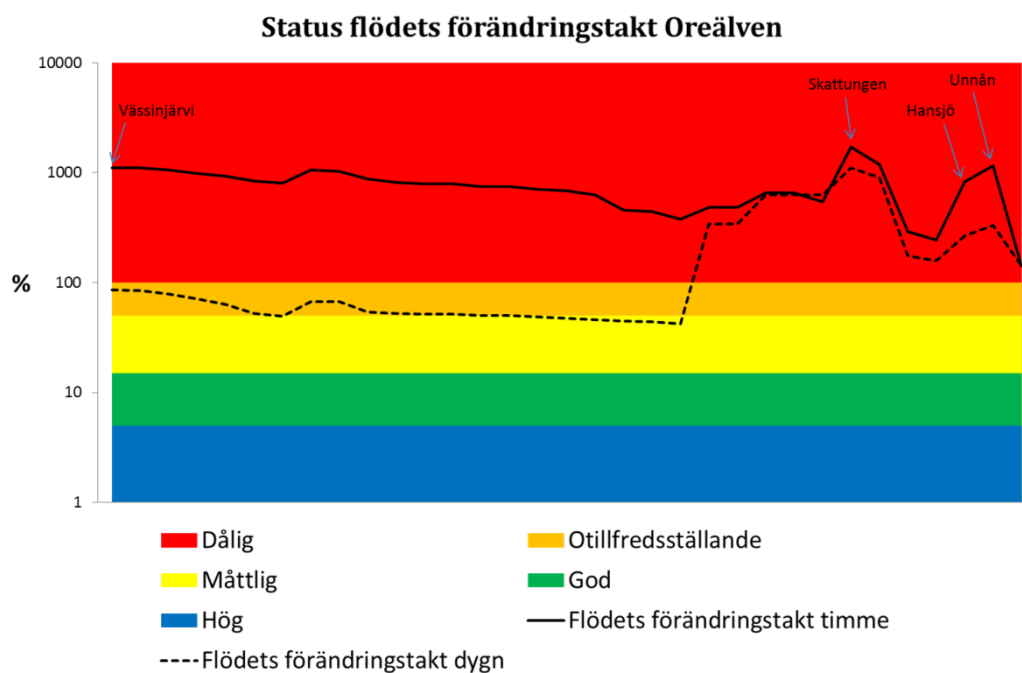
Vattenregleringens påverkan på vattenflödena beskrivs inom vattenförvaltningen med hjälp av två hydromorfologiska kvalitetsfaktorer (Volymsavvikelse och Flödets förändringstakt). Bägge måtten anger hur stor flödesförändringen är idag (i %) i förhållande till före kraftutbyggnaden.

Volymsavvikelsen mäter framför allt årsreglerings påverkan på flödena medan Flödets förändringstakt speglar korttidsregleringens omfattning.

Oreälven regleras vid Vässinjärvi vilket ger dålig status nedströms, både beträffande volymsavvikelse och flödets förändringstakt (Figurer 77 och 78). Relativt stor oreglerad tillrinning nedströms Vässinjärvi ger en successiv minskning av volymsavvikelsen längs hela sträckan mot Orsasjön, och sista biten är status måttlig. Däremot kvarstår korttidsregleringens effekter längs hela sträckan från Vässinjärvi till Orsasjön, vilket gör att hela älven får dålig status med avseende på flödets förändringstakt när bedömningen utgår från timdata (Figur 78).



Figur 77. Status med avseende på volymsavvikelse i procent (timme, dygn) i Oreälven från Väsingjärvi till Orsasjön.



Figur 78. Status med avseende på Flödets förändringstakt i procent (timme, dygn) i Oreälven från Väsingjärvi till Orsasjön. Observera logaritmisk skala på Y-axeln.

Klimatförändringens effekter

SMHI har 2015 tagit fram enhetliga regionala klimatanalyser för hela landet. Förändringarna i temperatur, nederbörd och vattenflöden redovisas i diagramform för ett tiotal platser i Dalälven, dock ej för Oreälven. I det inledande kapitlet ”Dalälvens vattenkraftssystem” presenteras dessa analyser närmare för övriga delområden.

3 Västerdalälven

Västerdalälven är ca 250 km lång och sammanflödar med Österdalälven nära Djurås i Gagnefs kommun. Avrinningsområdet sträcker sig i nordvästlig riktning upp över norska gränsen. Området avgränsas nedströms av Lindbyns kraftverk som är det nedersta kraftverket i Västerdalälven.

Västerdalälvens sjöar och vattendrag

Områdets naturgivna förutsättningar i form av topografi, klimat, markförhållanden etc. tillsammans med århundradens påverkan från mänskliga verksamheter har resulterat i de sjöar och vattendrag vi ser idag.

Naturgivna förutsättningar – mark och vatten

Västerdalälven omfattar 30 % av Dalälvens totala avrinningsområde ner till havet. Området har en höjdskillnad på 900 meter från sammanflödet med Österdalälven (ca 150 möh) och upp till Fulufjällets toppar på närmare 1050 meters höjd. Området består i huvudsak av fjäll, skog och myrmark på magra moränmarker över högsta kustlinjen.

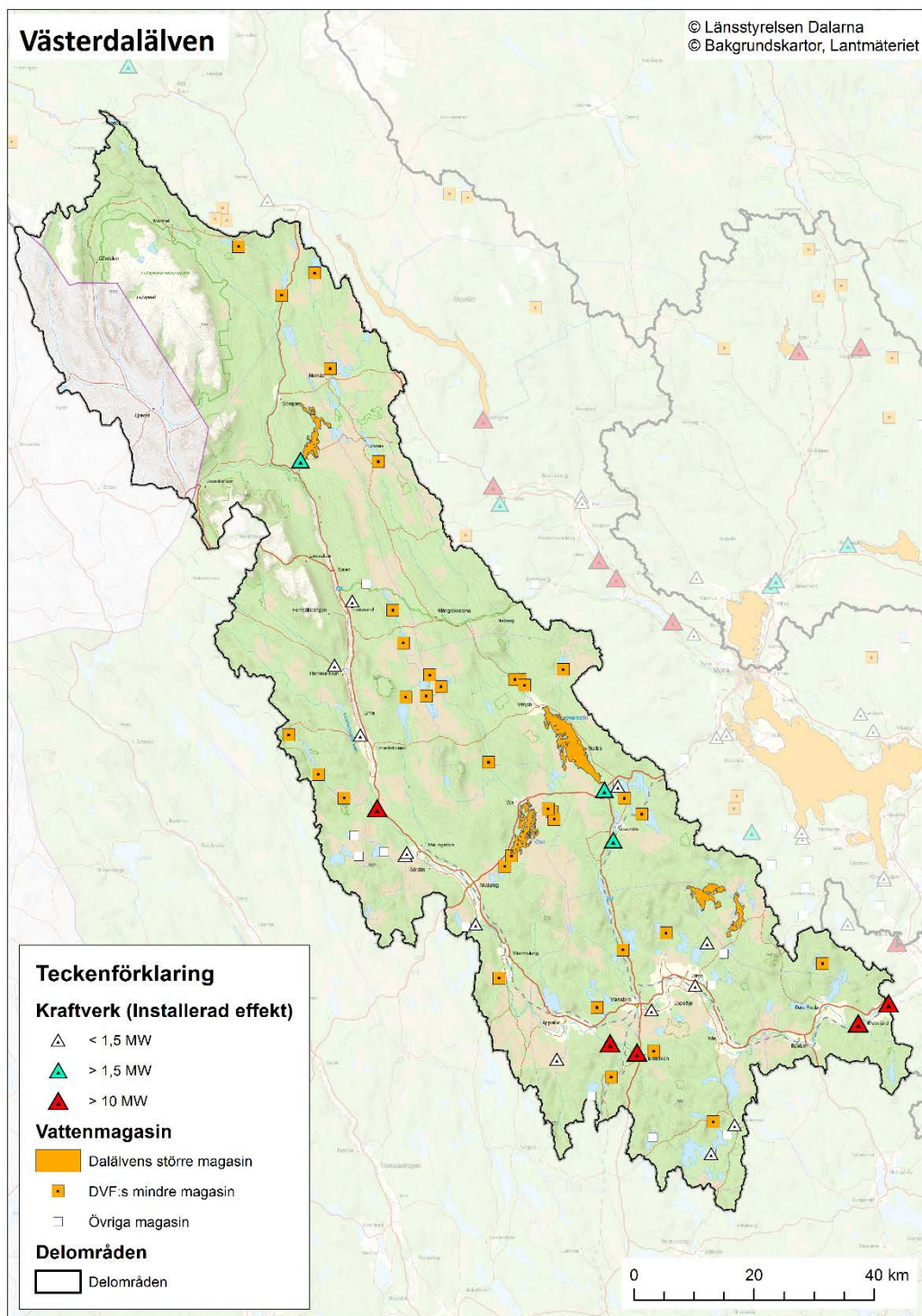
Klimatet i avrinningsområdet präglas av fyra tydliga årstider. Fjällområdena i norr har högre nederbörd än dalgången i Vansbro- Gagnef. Exempelvis är årsnederbörden på Fulufjället ca 1120 mm, medan Vansbro endast får ca 720 mm.

Västerdalälvens vattenkraftssystem

I följande avsnitt presenteras Västerdalälvens kraftverk och regleringsmagasin samt hur de fungerar tillsammans i ett samordnat vattenkraftssystem. Var respektive anläggning ligger framgår av översiktskartan.

Det finns inga årsregleringsmagasin i Västerdalälvens huvudflöde och den totala regleringsgraden vid Lindbyns kraftverket strax innan sammanflöde med Österdalälven är knappt 10 %. Huvuddelen av årsregleringskapaciteten finns i Vanån som har flera stora och små regleringsmagasin. Sammantaget fungerar Västerdalälven i huvudsak som ett oreglerat vattendrag.

I Västerdalälvens huvudflöde finns totalt fem medelstora kraftverk med installerad effekt över 10 MW och ett mindre kraftverk, vilka alla drivs som strömkraftverk med obetydlig vattenregleringsmöjlighet. Kraftverken i Västerdalälven har ingen minsta tillåten tappning i sina tillstånd. Den naturliga tillrinningen till Västerdalälvens huvudfåra blir dock i praktiken lika med minimivattenföringen eftersom det saknas reglermöjligheter i älven. De regleringar som utförs i biflödena ger endast en mindre påverkan på flödet i Västerdalälven.



Figur 79. Vattenkraftverk och vattenregleringsmagasin i Västerdalälven.

Tabell 14. Vattenkraftverk i Västerdalälvens huvudvattendrag.

Kraftverk	Fallhöjd meter	Installerad effekt MW	Elproduktion GWh/år
Lima	17	13	50
Hummelforsen	19	10,7	66
Eldforsen	10	10	41
Skifsforsen	3,5	0,5	2,6
Mockfjärd	27	43	204
Lindbyn	9	11	45
Totalt	85,5	88,2	409

Vattenregleringsmagasin och kraftverk i biflöden

I Västerdalälvens biflöden finns ett stort antal årsregleringsmagasin. De flesta av dessa utgörs av mindre sjöar med en dammkonstruktion som ursprungligen använts för flottnings- eller bruksändamål. Den totala regleringsvolymen i Västerdalälvens biflöden är 385 Mm³. Fem större magasin står tillsammans för 65 % av denna volym; resterande volym fördelas på hela 41 magasin. I Västerdalälvens biflöden finns också 15 kraftverk men endast två av dessa har en installerad effekt över 5 MW.

Biflöden uppströms Vanåns inflöde i Västerdalälven

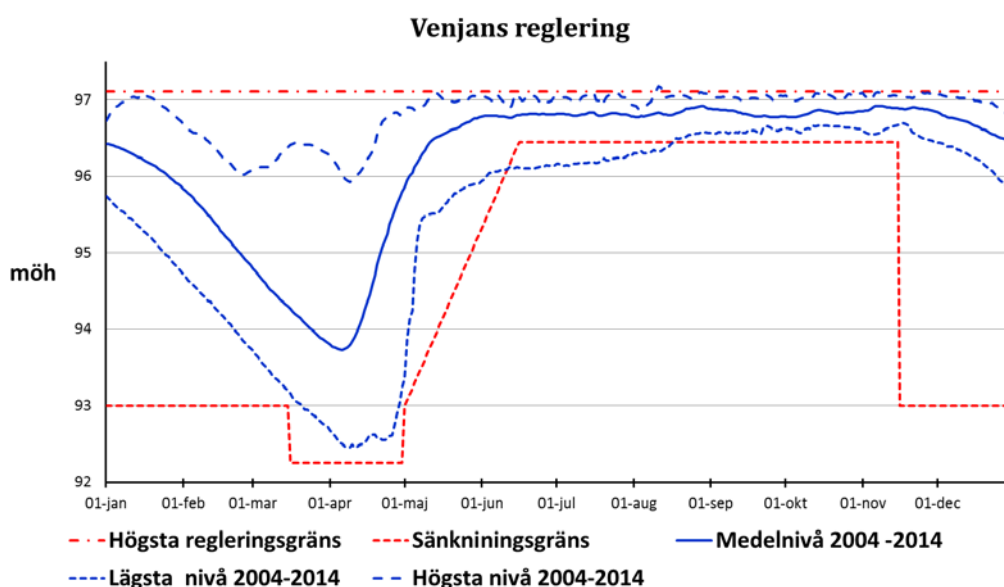
Horrmundsjön är det enda lite större årsregleringsmagasinet i biflödena till övre Västerdalälven. Horrmundsjön har en regleringsamplitud på 2,34 m och en total regleringsvolym om 25 Mm³. Vid magasinet ligger kraftverket Horrmund med en fallhöjd på hela 90 meter och installerad effekt på 7,5 MW. Horrmundsjön avsänks vanligtvis helt under vinter och återfylls vid vårflod. Vanligtvis magasineras hela vårfloden utan spilltappning. I Horrmundsjön finns tillstånd för korttidsreglering och Horrmund används för korttidsreglering vilket ger stora variationer i tappningar mellan och inom dygn. Vintertid är det vanligt att kraftverket körs för fullt under ett antal dygn, följt av en period med nolltappning. Sommartid styrs tappningarna av den aktuella tillrinningen och efterfrågan på el.

I biflödena till denna del av Västerdalälven finns ytterligare 7 kraftverk i Östvallen (1), Feman(1), Äran (1), Ellingån (2), Granan (1) och i Vallen (1). I dessa biflöden finns också ytterligare 17 årsregleringsmagasin i Fulan/Galån (2), Horrmundsvallen (2), Östvallen (1), Alman (3), Vakran (2), Ellingån/Valldroån (3), Vallen (1), Lömman (1), Gruckån (1) och Stora Härjån (1).

Vanån och dess biflöden

Venjansjön och Öjesjön är de två största årsregleringsmagasinen i Västerdalälvens avrinningsområde. Tillsammans har de en regleringsvolym på 178 Mm³. Sjöarnas regleringsamplituder är 4,86 respektive 3,0 meter. Bägge magasinerna avsänks oftast helt vintertid för att återigen fyllas upp under

vårfloden. Venjansjön får bara avsänkas de sista 75 centimetrarna om vårflodsprognosen (snödjupsmätningar mm) visar att sjön kommer att återfyllas av vårfloden. SMHI är tillsynsmyndighet och kan ge tillstånd för att nyttja denna avsänkning. Historiskt har det skett ungefär vart annat år. Från vårflodens slut till isläggning finns en sommar-sänkningsgräns vilket innebär att regleringsamplituden under denna tid måste hållas inom 66 cm.



Figur 80. Vattenhushållningsbestämmelser och normalvattenstånd i Venjansjön.

Vid Venjansjöns utlopp ligger ett mindre kraftverk (Johannisholm) och strax nedströms ligger det större kraftverket Gävunda med en installerad effekt på 7,5 MW. Minimitappning från Venjansjön är 4 m³/s eller tillrinningen om den är lägre. Under normala förhållanden anpassas tappningen från Venjansjön efter magasinets nivå och utbyggnadsvattenföringen i Gävunda kraftverk som är 45 m³/s. Tappningen från Venjansjön varierar på veckobasis utom i höglödessituationer då tappningen i stort följer tillrinningen. De minskade regleringsmöjligheterna sommartid medför att det vid kraftiga regn och höga tillrinningar under kortare perioder kan behövas tappas uppemot 100-150 m³/s ut ur Venjansjön.

I Vanåns inlopp i Venjansjön finns en gummitröskel som håller uppe vatten-nivån i Vanån då Venjansjön är avsänkt, men som sommartid töms för att möjliggöra båttrafik.

Vid Kättbosjön, sydöst om Venjansjön finns ytterligare ett kraftverk. Kättbosjön är också ett årsregleringsmagasin. I Vanån och dess biflöden finns dessutom ytterligare 15 mindre årsregleringsmagasin. Dessa finns i Ogströmmen (7) och Ögan (2), Littran (1), Kräggan (1), Vanån (1), Drafsån (2) och i Säckån (1).

Biflöden nedströms Vanåns inflöde i Västerdalälven

I detta område finns årsregleringsmagasinen Flaten och Snesen med den gemensamma regleringsvolymen 49 Mm³. Dessa magasin har en regleringsgrad på 70 % respektive 40 %. Den för Dalälven relativt hög regleringsgraden gör att dessa magasin inte kan tömmas helt de år då det bedöms att magasinerna inte kan återfyllas av vårfloden.

I Flatån nedströms Flaten ligger Dala-Järna kraftverk och tappningen från Flaten anpassas till Dala-Järnas utbyggnadsvattenföring. Nedströms Snesen finns ytterligare två små regleringsmagasin men inget kraftverk. Då vattenståndet i Snesen understiger dämningsskänken med mindre än 1 meter kan vatten överledas från Snesen till Flaten till förmån för Dala-Järna kraftverk. Överledningen sker genom Skålsjödammen i sjöns nordvästra del. Minimitappningen från Snesen till det ursprungliga utloppet ner mot Snöån är 0,2 m³/s. Vintertid sänks Snesen av genom det ursprungliga utloppet.

I de biflöden som rinner in i Västerdalälven nedströms Vanån finns 4 kraftverk (inkl. Dala-Järna kraftverk). Dessa ligger i Flatån (även benämnd Noret) (2) och i Noret (2). I dessa biflöden finns också ytterligare 8 mindre årsregleringsmagasin i Hulan (1), Snöån (2), Noret/Marån (4) och Bynoret (1).

Tabell 15. Större vattenregleringsmagasin i Västerdalälvens biflöden.

Regleringsmagasin	Regleringsamplitud meter	Reglervolym miljoner m ³	Regleringsstrategi År / Korttid	Energiinnehåll GWh
Hormundsjön	2,3	26	År+Korttid	19,2
Öjesjön	3,0	41	År	19,0
Venjansjön	4,9	137	År	63,7
Flaten	4,0	34	År	14,5
Snesen	3,2	15	År	5,9
Totalt		253		122,3

Tabell 16. Mindre vattenregleringsmagasin i Västerdalälvens biflöden.

Biflöden	Reglerings- magasin antal	Reglerings- volym Mm ³	Regleringsstrategi År / Korttid	Energiinnehåll GWh
Ovan Vanåns inflöde	17	45	År	22
I Vanåns avrinningsomr.	16	52	År	22
Nedan Vanåns inflöde	8	35	År	14
Totalt	41	132		57

Tabell 17. Vattenkraftverk i Västerdalälvens biflöden.

Biflöden	Vattenkraftverk Antal	Installerad effekt Totalt MW	Elproduktion Totalt GWh/år
Ovan Vanåns inflöde	8	9,4	36
I Vanåns avrinningsomr.	3	9,2	41
Nedan Vanåns inflöde	4	1,8	7
Totalt	15	20,4	84

Västerdalälvens totala elproduktion och reglernytta

I detta avsnitt sammanfattas områdets elproduktion och reglernytta. I det inledande kapitlet om Dalälvens vattenkraftssystem (Underrubriken ”Dalälvens elproduktion och bidrag till reglernytta”) sätts dessa värden in i sitt sammanhang för hela älven.

Elproduktion

I ovanstående kapitel redovisas den årliga elproduktionen och installerad effekt dels för varje enskilt kraftverk i huvudflödet och dels summerade värden för de mindre kraftverken i respektive biflöde. Vilket sammanfattas i följande tabell;

Vattenområde	Vattenkraftverk Antal	Installerad effekt Totalt MW	Elproduktion Totalt GWh/år
Huvudflödet	6	88	409
Alla biflöden	15	20	84
Totalt	21	108	493

Reglernytta

Vattenregleringsmagasinen möjliggör både års- och korttidslagring av vatten för alla nedströms liggande kraftverk ända ut till havet. Enskilda kraftverks (eller grupper av kraftverks) värde som reglerkraft, för att balansera och stabilisera elsystemet i olika tidsskalor, kan beskrivas på flera olika sätt. I det inledande avsnittet om hela Dalälvens vattenkraftssystem, under rubriken ”Dalälvens elproduktion och reglernytta”, belyses dessa frågor samlat för hela Dalälven.

Elproduktion

Vattenkraftverken i Västerdalälven producerar i genomsnitt ca 493 GWh/år. Det motsvarar ca 10 % av Dalälvens totala elproduktion.

Vattenkraftens påverkan på Västerdalälven

För beskrivning av vattenkraftens generella påverkan på sjöar och vattendrag och bedömningsgrunder – se det inledande kapitlet ”Dalälvens vattenkraftssystem”.



Figur 81. Hormundsvallafallet, 1915. Foto: SMHI.

Effekter på vattenflöden och vattennivåer

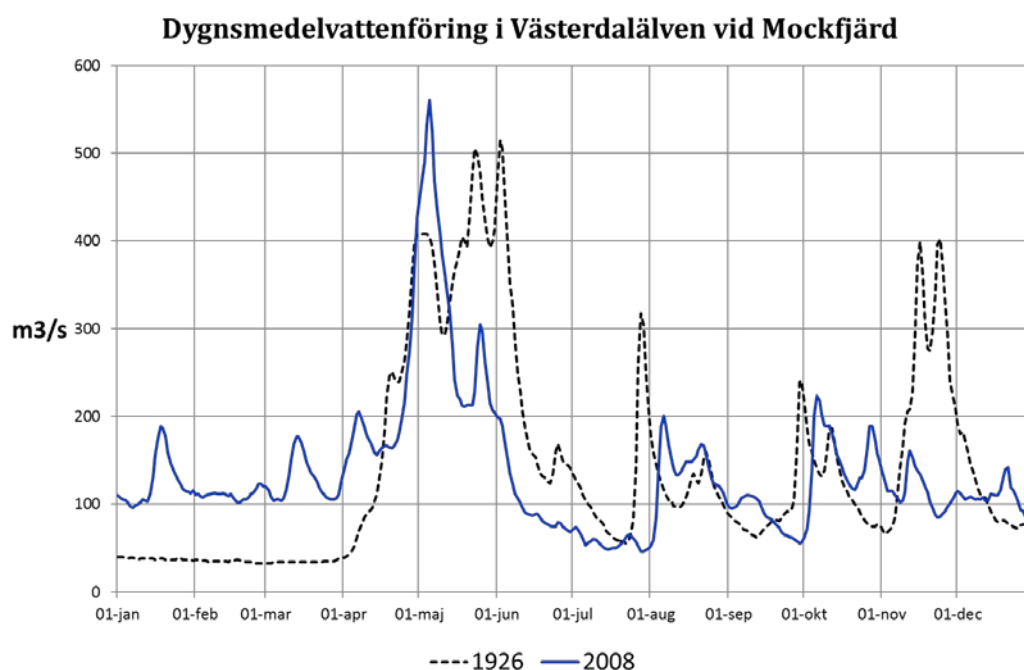
En sammanfattning av de naturliga förhållandena i Nedre Dalälven och den hydrologiska regimen före kraftutbyggnaden i återges i *Förteckning över Sveriges vattenfall* från 1921:

”Vid istidens slut nådde havet med en smal fjordarm in över älvdalen ungefär fram till östligaste delen av Nås socken, där högsta marina gränsen ligger c:a 220 m ö. h. och där alltså Västerdalälvens mynning befann sig, när landet låg som lägst. Såväl inom detta gamla fjordområde som i övrigt kring älven och kring de nedre delarna av dennas tillflöden, uppbyggas slättmarkerna av älvsand, vilken jordart här utgör det viktigaste underlaget för jordbruket.”

Före kraftverksutbyggnaden fanns ett drygt 20-tals större forsar i Västerdalälven varav de flesta i älvens nedre del. Huvuddelen av dessa har byggts ut och idag finns totalt 6 kraftverk i Västerdalälvens huvudflöde från Lima i norr till Lindbyn längst ner. I biflödena finns endast en handfull mer betydande regleringsmagasin som Venjanssjön. Kraftverken i huvudflödet är typiska strömkraftverk med obetydliga regleringsmöjligheter.

Vattenregleringens påverkan på vattenflöden i rinnande vatten och vattennivåer i sjöar kan belysas genom att nuvarande förhållanden jämförs med modellberäknade naturliga flöden eller historiska tidsserier före vattenkraftsutbyggnaden.

I detta kapitel jämförs förhållandena på ett urval platser under ett ”typår” före respektive efter vattenkraftsutbyggnaden. Respektive år är valda för att spegla samma förutsättningar i form av årsnederbörd och årsflöden.



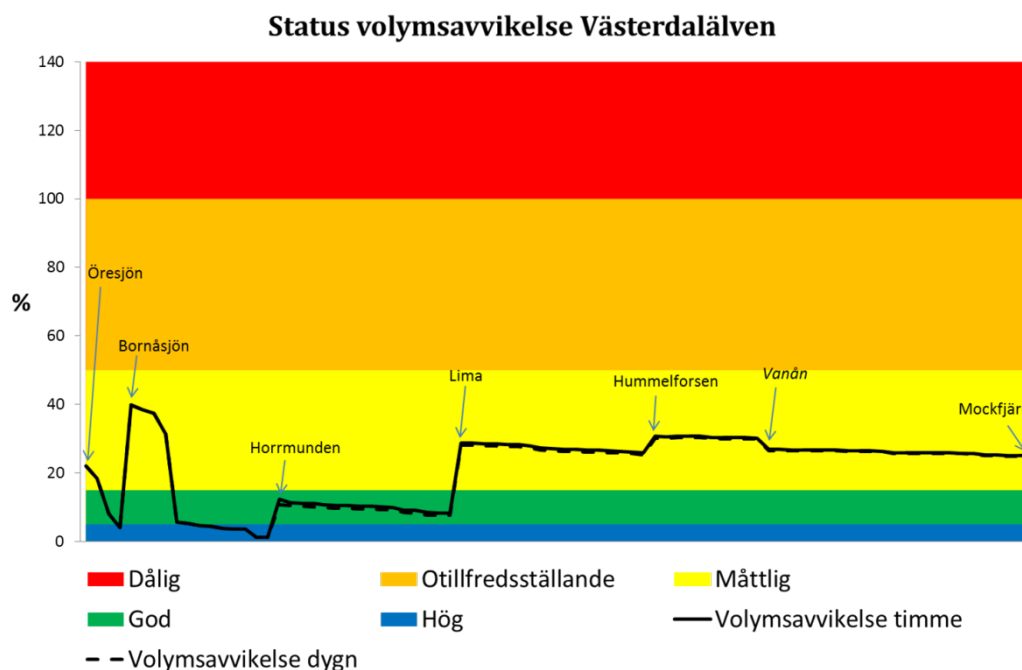
Figur 82. Vattenföringen [m³/s] i Västerdalälven vid Mockfjärd år 1926 (dygnsdata, svart linje) samt år 2008 (dygnsdata, blå linje).

Effekter på hydromorfologiska kvalitetsfaktorer

Vattenregleringens påverkan på vattenflödena beskrivs inom vattenförvaltningen med hjälp av två hydromorfologiska kvalitetsfaktorer (Volymsavvikelse och Flödets förändringstakt). Bägge måtten anger hur stor flödesförändringen är idag (i %) i förhållande till före kraftutbyggnaden.

Volymsavvikelsen mäter framför allt årsreglerings påverkan på flödena medan Flödets förändringstakt speglar korttidsregleringens omfattning.

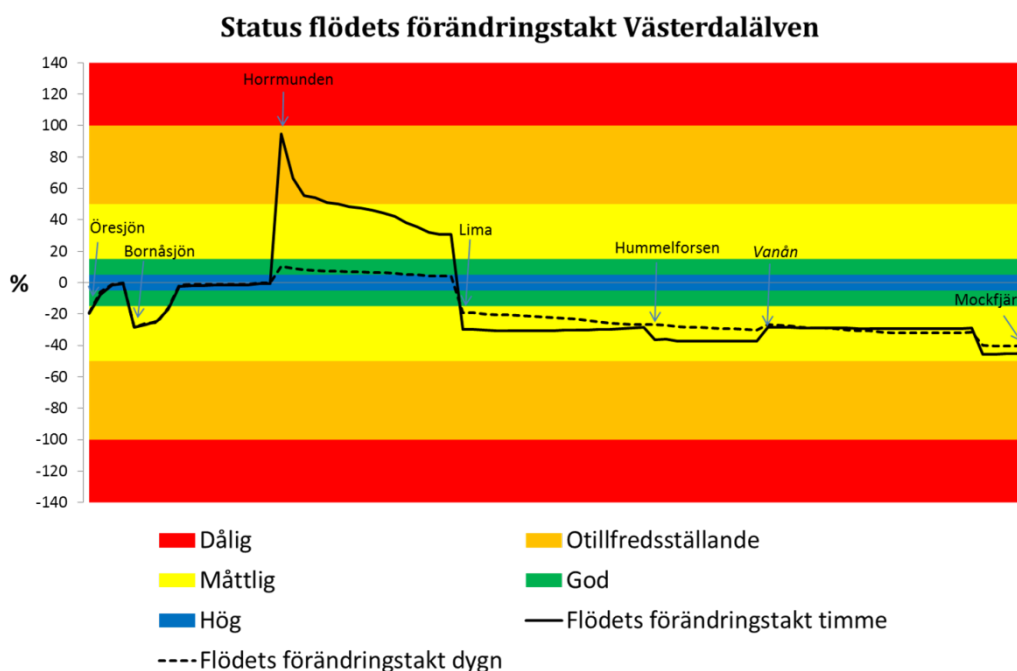
Regleringen vid Öresjön längst upp i Västerdalälvens källflöden ger viss påverkan men den dämpas snabbt ut nedströms. Både denna och regleringen vid Bornåsjön är flödesutjämnande, vilket medför en minskad förändringstakt hos flödet. Vid Horrmunden sker korttidsreglering vilket medför snabba förändringar i flödet och försämrar status enligt flödets förändringstakt till otillfredsställande.



Figur 83. Status med avseende på volymsavvikelse i procent (timme, dygn) i Västerdalälven från Öresjön till Mockfjärd (Lindbyn).

Biflödet Alman har sitt naturliga utflöde i Västerdalälven nedströms Lima kraftverk men idag leds huvuddelen av vattenflödet in i kraftverksmagasinet. Beräkningen av de hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna blir då missvisande vid Lima kraftverk. Se bilaga 1 för närmare förklaring.

Effekten av korttidsregleringen i Horrmunden avklingar nedströms och dämpas ut helt vid Lima kraftverk, som istället har en flödesutjämnande effekt. Regleringspåverkan längs sträckan mellan Lima och Mockfjärd är sedan relativt konstant och klassas som måttlig status.



Figur 84. Status med avseende på flödets förändringstakt i procent (timme, dygn) i Västerdalälven från Öresjön till Mockfjärd (Lindbyn).

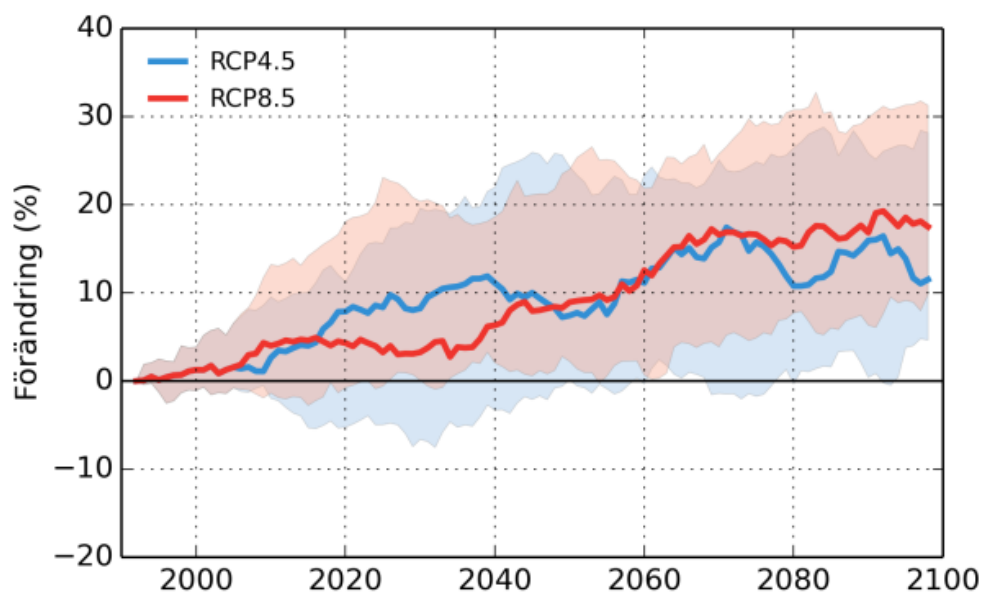
Klimatförändringens effekter

SMHI har 2015 tagit fram enhetliga regionala klimatanalyser för hela landet. Förändringarna i temperatur, nederbörd och vattenflöden redovisas i diagramform för ett tiotal platser i Dalälven. I det inledande kapitlet "Dalälvens vattenkraftssystem" presenteras dessa analyser närmare.

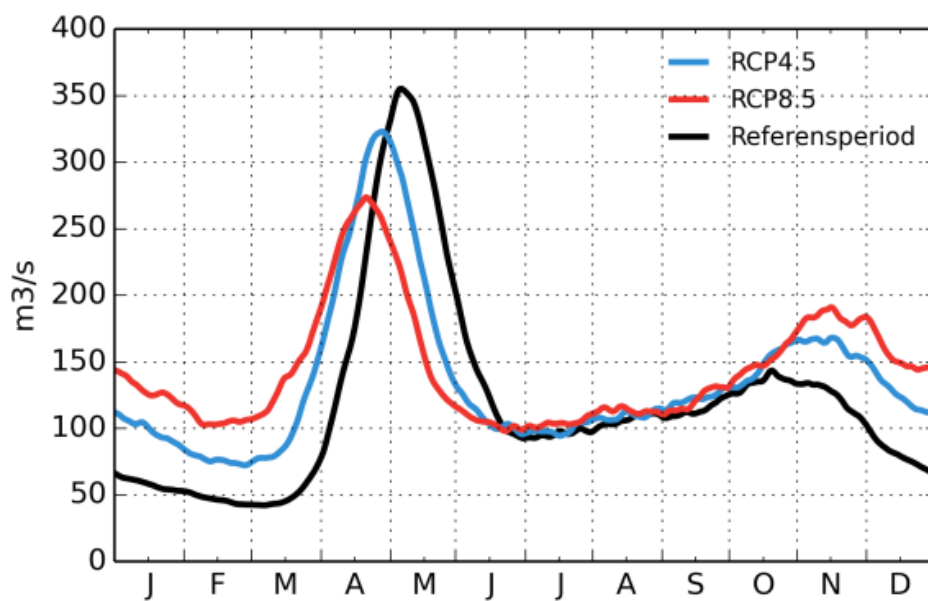
I detta avsnitt presenteras två diagram som visar dels hur den totala årsmedeltillrinningen ökar fram till nästa sekel och dels hur tillflödena kommer att förändras under olika årstider i Västerdalälven (Före sammanflödet med Österdalälven). Beräkningarna avser total tillrinning utan påverkan från vattenregleringar.

Totala årsmedeltillrinningen ökar succesivt och vid mitten av seklet ligger ökningen i medeltal på ca 10 % för båda RCP-scenarierna. Ökningen av tillrinning under andra halvan av seklet är störst för RCP 8.5 som vid slutet av seklet visar på en ökning på upp mot 20 %.

Den procentuella ökningen är störst under vintern och vid slutet av seklet visar RCP 8.5 på en ökning av flödet under vintern på över 100 %. Den procentuella förändringen av tillrinning under övriga årstider är jämförelsevis betydligt mindre.



Figur 85. Förändrad total årsmedeltillrinning för Västerdalälven.



Figur 86. Den totala tillrinningens årsdynamik i Västerdalälven före sammanflödet med Österdalälven. Svart linje representerar referensperioden 1963-1992 och de övriga linjerna representerar framtidsperioden 2069-2098.

4 Runns tillflöden

Delområdet Runns tillflöden omfattar alla tillflöden till Runn varav Svärdsjövattendraget är det dominerande. Faluån är det näst största tillflödet. Svärdsjövattendraget sträcker sig upp mot Hälsingland norr om Svabensverk och det större vattenregleringsmagasinet Amungen.

Runns reglering sker genom kraftverket Långhag i Dalälven nedströms Torsång varför Runns reglering beskrivs under delområdet ”Mellersta Dalälven”.

Runns tillflöden - sjöar och vattendrag

Områdets naturgivna förutsättningar i form av topografi, klimat, markförhållanden etc. tillsammans med århundradens påverkan från mänskliga verksamheter har resulterat i de sjöar och vattendrag vi ser idag.

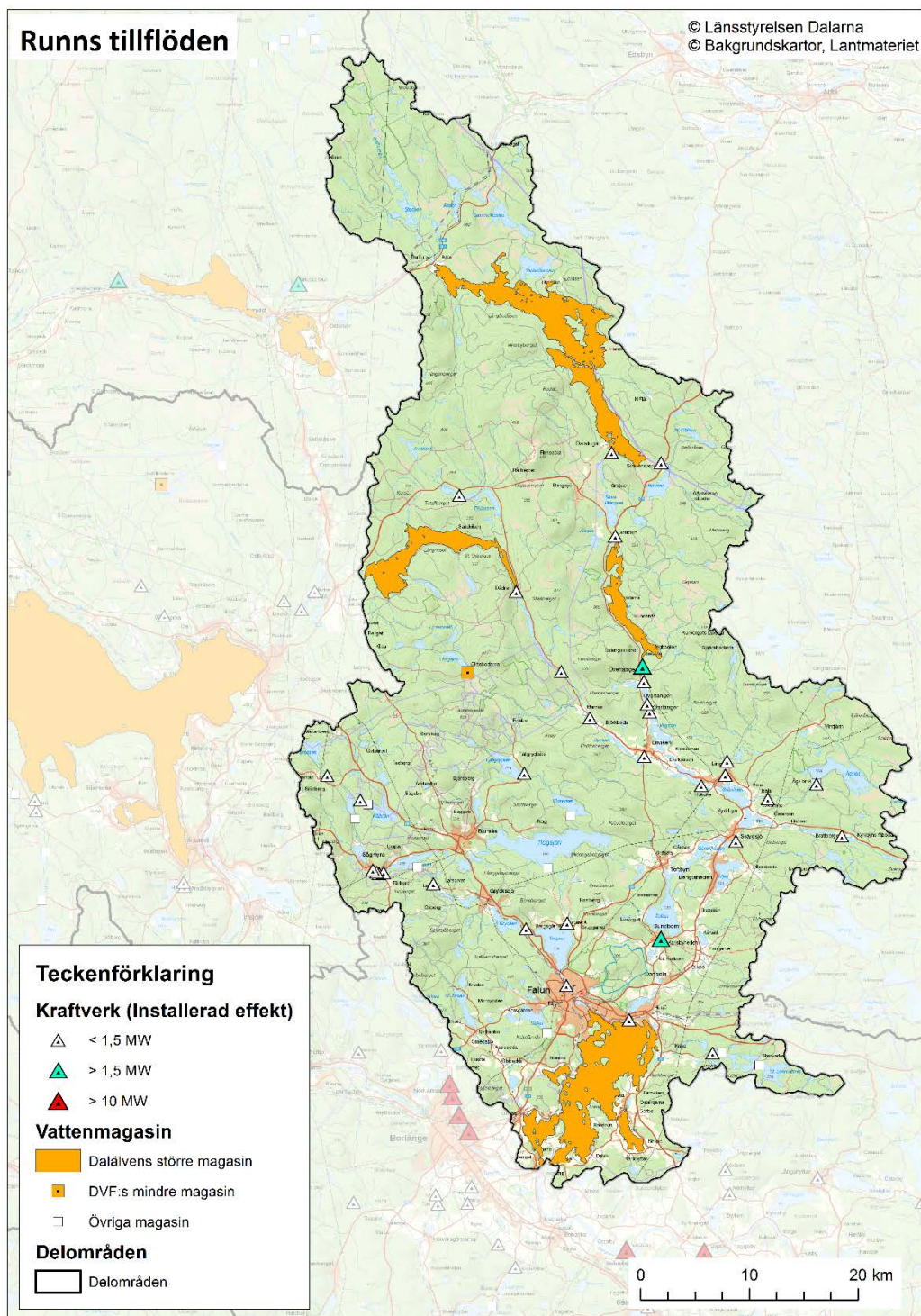
Naturgivna förutsättningar – mark och vatten

Runn och dess tillflöden omfattar 11 % av Dalälvens totala avrinningsområde ner till havet. Området består mest av småkullig bergsterräng med en total höjdskillnad på ca 400 meter från Runns utflöde i Dalälven (ca 107 möh) och upp till de norra skogsområdets bergstoppar på upp mot 500 meters höjd. Området består i huvudsak av skog och odlingsmark utefter dalgångarna.

Klimatet i avrinningsområdet präglas av fyra tydliga årstider men nederbördsmängden varierar mellan övre och nedre delar av avrinningsområdet. Exempelvis är årsnederbörden kring Amungen ca 730 mm, medan området kring Runn endast får ca 670 mm.

Runns tillflöden - vattenkraftssystemet

I följande avsnitt presenteras Österdalälvens kraftverk och regleringsmagasin samt hur de fungerar tillsammans i ett samordnat vattenkraftssystem. Var respektive anläggning ligger framgår av översiktskartan.



Figur 87. Vattenkraftverk och vattenregleringsmagasin i Runns tillflöden.

och det är vanligt med en period av nolltappning under vårflod. I Balungen är minimitappningen enligt tillståndet 2,5 m³/s genom kraftverket. I Ljugaren finns en överenskommelse om en minimitappning på 0,5 m³/s.

På grund av de översvämningsproblem som kan uppstå vid höga tappningar i Svärdsjövattendraget inriktas tappningen från sjöarna sommartid mot en vattennivå med god marginal till dämningssgräns utan att upplevas för låg för omkringboende. Nivå i Amungen ligger därför normalt under sommaren runt +227,20 m, vilket är 80 cm under dämningssgränsen. Vid höga tillrinningar används den kvarvarande marginalen i Amungen för att dämpa vattenflödena nedströms och nivån i Amungen tillåtes stiga upp mot dämningssgränsen. När tillrinningen avtar sänks nivån tillbaka mot den normala sommarnivån. Denna reglerstrategi minskar både risken för översvämningar i Svärdsjövattendraget och behovet att spilla vatten genom utskoven dvs. förlora elproduktion.

I Svärdsjövattendraget finns flera platser som snabbt drabbas av problem när vattenföringen stiger och först uppstår detta vid Heden när flödet överstiger 20 m³/s, vilket är en låg tappning i förhållande till den naturliga vattenföringen. Även med den beskrivna regleringsstrategin har det under 10 år av de senaste 25 år varit minst något tillfälle med en tappning från Balungen på över 20 m³/s.

Flödesfrämjande åtgärder genomförs nu för att öka avbördningskapaciteten i flera trånga sektioner utefter Svärdsjövattendraget. När första etappen är klart kommer upp till 40 m³/s kunna avbördas från Balungen utan att orsaka några större problem med höga vattennivåer längs Svärdsjövattendraget.

Tabell 18. Vattenregleringsmagasin i Svärdsjövattendragets huvudflöde.

Regleringsmagasin	Regleringsamplitud meter	Reglervolym miljoner m ³	Regleringsstrategi År / Korttid	Energiinnehåll GWh
Amungen	3,0	176	År	73
Balungen	3,0	32	År	12
Ljugaren	3,2	72	År	24
Totalt	-	280	-	109

Kraftverk i Svärdsjövattendraget

På sträckan från Amungen till Runn finns utöver de ovan nämnda kraftverken vid Amungens och Balungens utlopp ytterligare åtta kraftverk. Dessa har tillsammans en effekt på ca 7,7 MW och drivs som strömkraftverk utan vattenregleringsmöjlighet. Det största av dessa, både med avseende på effekt och elproduktion, är Borgärdets kraftverk strax nedströms den oreglerade Svärdsjön. I Kolningsån finns fyra kraftverk mellan Ljugaren och sammanflödet med Svärdsjövattendraget strax norr om Linghed. Dessa har tillsammans en effekt om 1,3 MW och är också i princip strömkraftverk.

Det största av dessa är Marnäs kraftverk, strax nedströms Lungsjöåns inlopp i Kolningsån.

Tabell 19. Vattenkraftverk i Svärdsjövattendragets huvudflöde.

Kraftverk	Fallhöjd meter	Installerad effekt MW	Elproduktion GWh/år
Dalstuga	10,7	0,8	3,8
Staffas skvaltkvarn		0,1	0,7
Tänger	35,1	4,6	23,4
Tängerströmmen	6,2	0,6	3,0
Piparån	11,0	1,05	6
Yttertänger	2,5	0,6	2,9
Dådran	4,0	0,08	0,4
Ungsjöbo		0,32	0,9
Marnäs	11,0	0,6	2,4
Rönndalen	6,0	0,31	1,4
Linghed		0,58	2,3
Borgärdet	12,0	2,7	16
Sundborn	7,5	2,19	8
Korsnäs	3,0	0,31	1,0
Totalt		14,8	72,2

Vattenregleringsmagasin och kraftverk i biflöden

I biflöden till Svärdsjövattendraget uppströms Runn finns utöver ovan nämnda magasin två mindre årsregleringsmagasin, ett i Lungsjöån och ett i Isalaån. I Isalaån som mynnar i Svärdsjön finns två kraftverk. I Ålhusån som även den mynnar i Svärdsjön finns ytterligare två mindre kraftverk.

I Faluån och dess tillflöden finns totalt 10 kraftverk som tillsammans har en installerad effekt på 3,4 MW. I dessa vattendrag finns även sex årsregleringsmagasin. Det största av dessa magasin är Rogsjön i Rogsån med en volym av 27 Mm³.

I Knivån finns två mindre årsregleringsmagasin och ett kraftverk, Kniva med en fallhöjd på 49 m.

Tabell 20. Vattenregleringsmagasin i biflöden till Runn.

Biflöden	Reglerings- magasin antal	Reglerings- volym Mm3	Energiinnehåll GWh
Faluån m tillflöden	6	47	9,6
Övriga	4	18	5,6
Totalt	10	65	15,2

Tabell 21. Vattenkraftverk i biflöden till Runn.

Biflöden	Vattenkraftverk Antal	Installerad effekt Totalt MW	Elproduktion Totalt GWh/år
Faluån m tillflöden	10	3,4	> 7,0
Övriga	9	0,9	> 1,7
Totalt	19	4,3	> 8,7

Runns tillflödens totala elproduktion och reglernytta

I detta avsnitt sammanfattas områdets elproduktion och reglernytta. I det inledande kapitlet om Dalälvens vattenkraftssystem (Underrubriken ”Dalälvens elproduktion och bidrag till reglernytta”) sätts dessa värden in i sitt sammanhang för hela älven.

Elproduktion

I ovanstående kapitel redovisas den årliga elproduktionen och installerad effekt dels för varje enskilt kraftverk i huvudflödet och dels summerade värden för de mindre kraftverken i respektive biflöde (uppgifter saknas dock för flera av de minsta). Vilket sammanfattas i följande tabell;

Vattenområde	Vattenkraftverk Antal	Installerad effekt Totalt MW	Elproduktion Totalt GWh/år
Huvudflödet	14	15	72
Alla biflöden	19	4	> 9
Totalt	33	19	> 81

Denna elproduktion motsvarar ca 2 % av Dalälvens totala elproduktion.

Reglernytta

Vattenregleringsmagasinen möjliggör både års- och korttidslagring av vatten för alla nedströms liggande kraftverk ända ut till havet. Enskilda kraftverks (eller grupper av kraftverks) värde som reglerkraft, för att balansera och stabilisera elsystemet i olika tidsskalor, kan beskrivas på flera olika sätt. I det inledande avsnittet om hela Dalälvens vattenkraftssystem, under

rubriken ”Dalälvens elproduktion och bidrag till reglernytta”, belyses dessa frågor samlat för hela Dalälven.

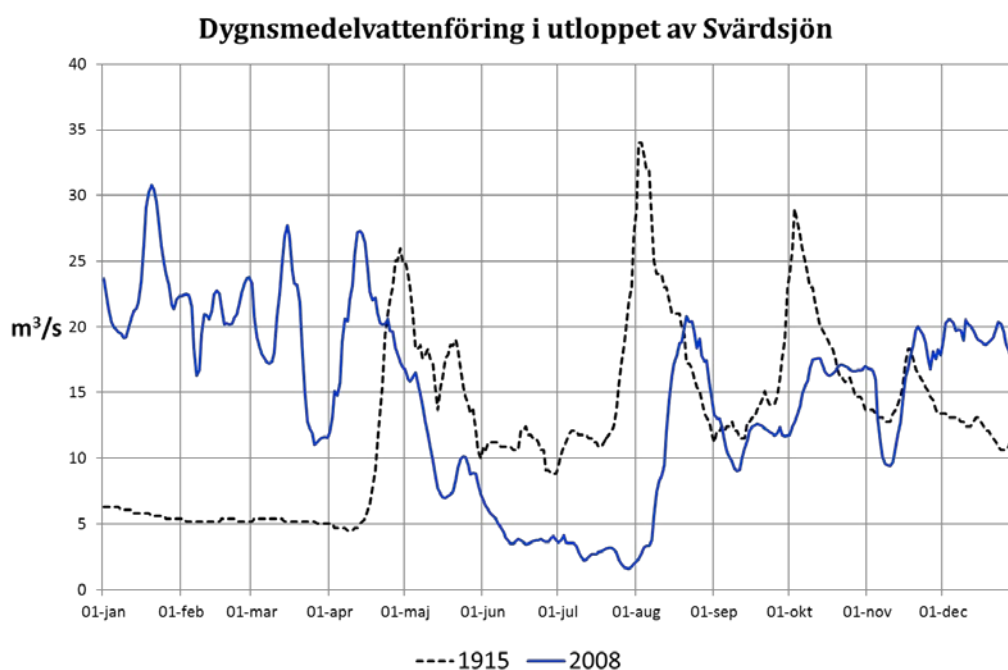
Vattenkraftens påverkan på Runns tillflöden

För beskrivning av vattenkraftens generella påverkan på sjöar och vattendrag och bedömningsgrunder – se det inledande kapitlet ”Dalälvens vattenkraftssystem”.

Effekter på vattenflöden och vattennivåer

Vattenregleringens påverkan på vattenflöden i rinnande vatten och vattennivåer i sjöar kan belysas genom att nuvarande förhållanden jämförs med modellberäknade naturliga flöden eller historiska tidsserier före vattenkraftsutbyggnaden.

I detta kapitel jämförs förhållandena på ett urval platser under ett ”typår” före respektive efter vattenkraftsutbyggnaden. Respektive år är valda för att spegla samma förutsättningar i form av årsnederbörd och årsflöden.



Figur 89. Vattenföringen [m³/s] i utloppet av Svärdsjön år 1915 (dygnsdata, svart linje) samt år 2008 (dygnsdata, blå linje).

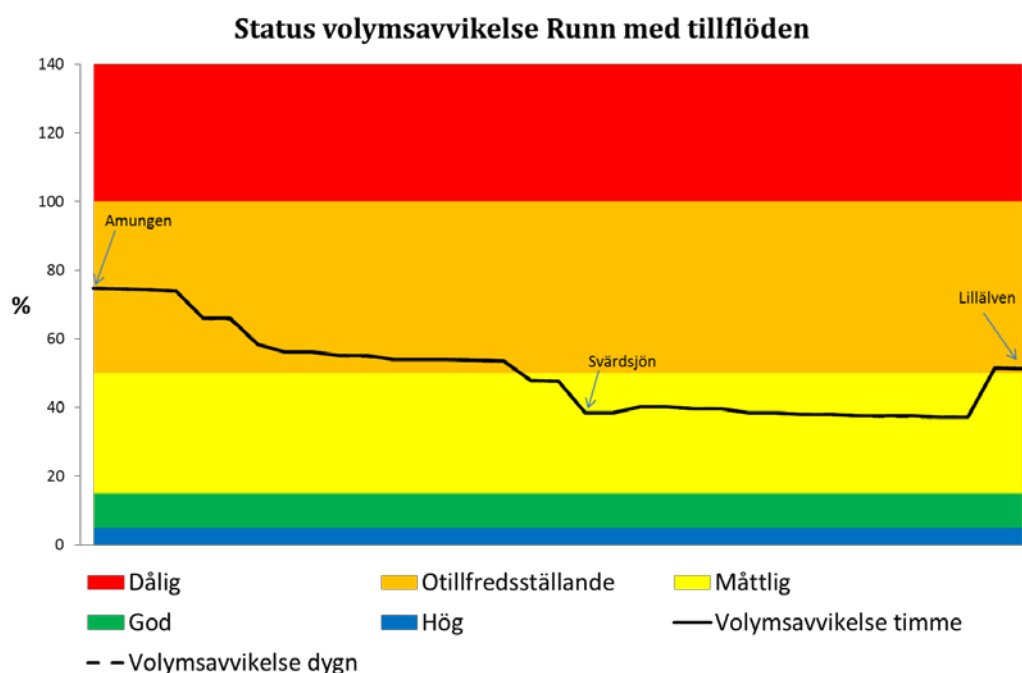
Effekter på hydromorfologiska kvalitetsfaktorer

Vattenregleringens påverkan på vattenflödena beskrivs inom vattenförvaltningen med hjälp av två hydromorfologiska kvalitetsfaktorer (Volymavvikelse och Flödets förändringstakt). Bägge måtten anger hur stor flödesförändringen är idag (i %) i förhållande till före kraftutbyggnaden.

Volymsavvikelsen mäter framför allt årsreglerings påverkan på flödena medan Flödets förändringstakt speglar korttidsregleringens omfattning.

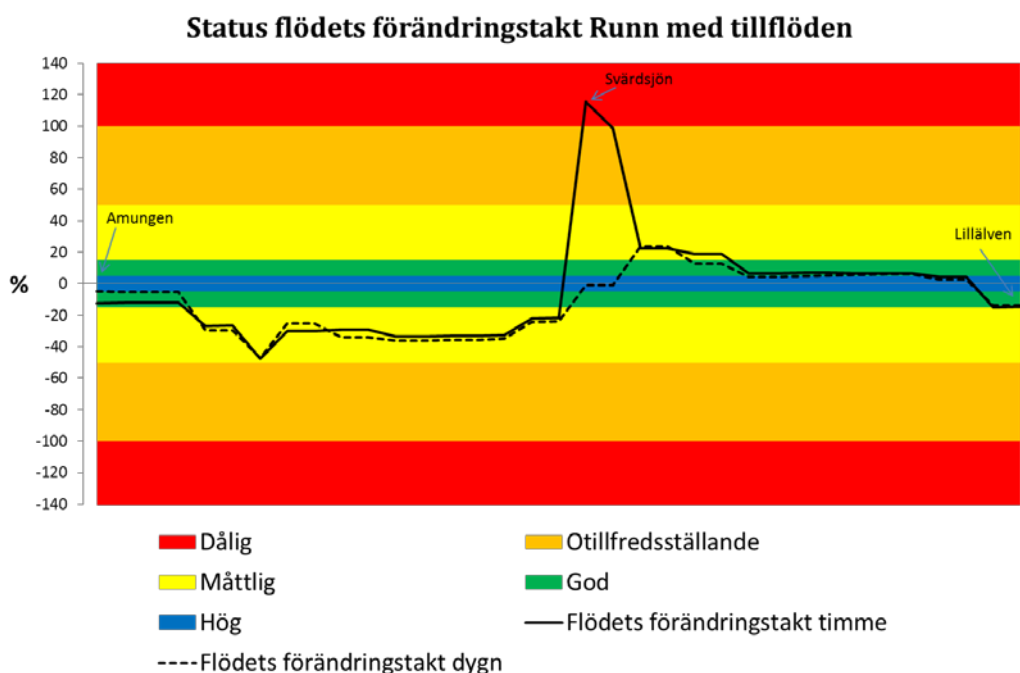
Säsongsregleringen av Amungen ger otillfredsställande status med avseende på volymsavvikelsen, men god status enligt flödets förändringstakt.

Volymsavvikelsen, som mäter effekten av säsongsreglering, minskar successivt nedströms Amungen när vattendraget tillförs oreglerade biflöden, för att återigen öka något i Runn.



Figur 90. Status med avseende på volymsavvikelse i procent (timme, dygn) i Runn med tillflöden från Amungen till Lillälvens mynning i Dalälven.

Flödets förändringstakt i Svärdsjövattendraget visar förhållandevis liten påverkan av korttidsreglering. Undantaget är timdataberäkningarna för Svärdsjö kraftverk som indikerar korttidsreglering. Jfr även bilaga 1 om osäkerheter i beräkningarna.



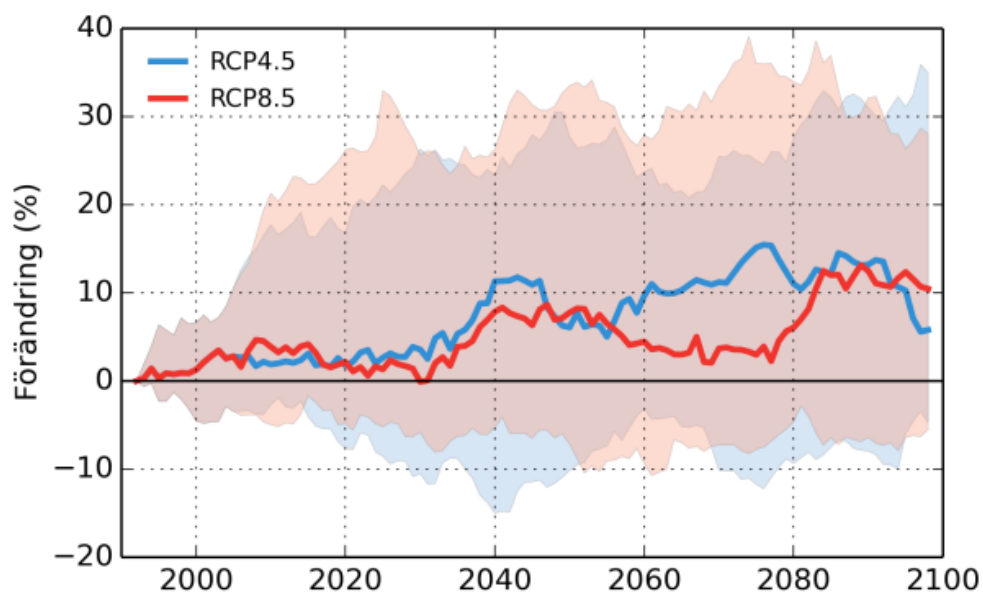
Figur 91. Status med avseende på flödets förändringstakt i procent (timme, dygn) i Runn med tillflöden från Amungen till Lillälvens mynning i Dalälven.

Klimatförändringens effekter

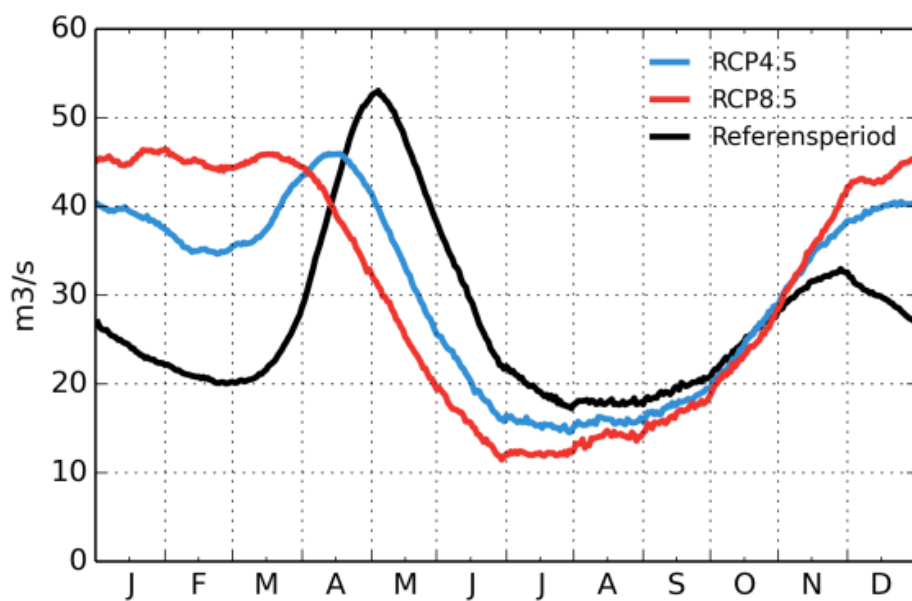
SMHI har 2015 tagit fram enhetliga regionala klimatanalyser för hela landet. Förändringarna i temperatur, nederbörd och vattenflöden redovisas i diagramform för ett tiotal platser i Dalälven. I det inledande kapitlet "Dalälvens vattenkraftssystem" presenteras dessa analyser närmare.

I detta avsnitt presenteras två diagram som visar dels hur den totala årsmedeltillrinningen ökar fram till nästa sekel och dels hur tillflödena kommer att förändras under olika årstider i Lillälven (Runns utlopp i Dalälven). Beräkningarna avser total tillrinning utan påverkan från vattenregleringar.

Totala årsmedeltillrinningen ökar succesivt och vid slutet av seklet ligger ökningen i medeltal på ca 10 % för båda RCP-scenarierna men mellanårsvariationerna är stora. Ökningen av tillrinningen är störst under andra halvan av seklet. Den procentuella ökningen av totala medeltillrinningen är störst under vintern och ökningen sker succesivt under hela perioden. Vid slutet av seklet visar RCP 4.5 på en ökning på 50 % och RCP 8.5 på en ökning på ca 70 % under vintern. Totala medeltillrinningen under sommaren minskar succesivt och vid slutet av seklet visar båda scenarierna på en minskning på ca 4 % sommartid. Ingen tydlig förändring av tillrinningen syns under övriga årstider.



Figur 92. Förändrad total årsmedeltillrinning för Lillälvens utlopp i Runn.



Figur 93. Den totala tillrinningens årsdynamik för Lillälven (Runns utlopp i Dalälven) . Svart linje representerar referensperioden 1963-1992 och de övriga linjerna representerar framtidsperioden 2069-2098

5 Mellersta Dalälven

Delområdet Mellersta Dalälven avgränsas i älven i söder av Näs kraftverk nedströms Avesta och uppströms av Gråda kraftverk i Österdalälven och Lindbyns kraftverk i Västerdalälven. Längs älven finns flera mindre biflöden som Tunaån och vattensystemen kring Garpenberg och Långshyttan. Det dominerande tillflödet Lillälven vid Torsång som avvattnar Runn redovisas i ett eget kapitel, "Runns tillflöden". Runns reglering som sker via Långhags kraftverk i Dalälven nedströms Torsång i redovisas dock i detta kapitel.

Mellersta Dalälvens sjöar och vattendrag

Områdets naturgivna förutsättningar i form av topografi, klimat, markförhållanden etc. tillsammans med århundradens påverkan från mänskliga verksamheter har resulterat i de sjöar och vattendrag vi ser idag.

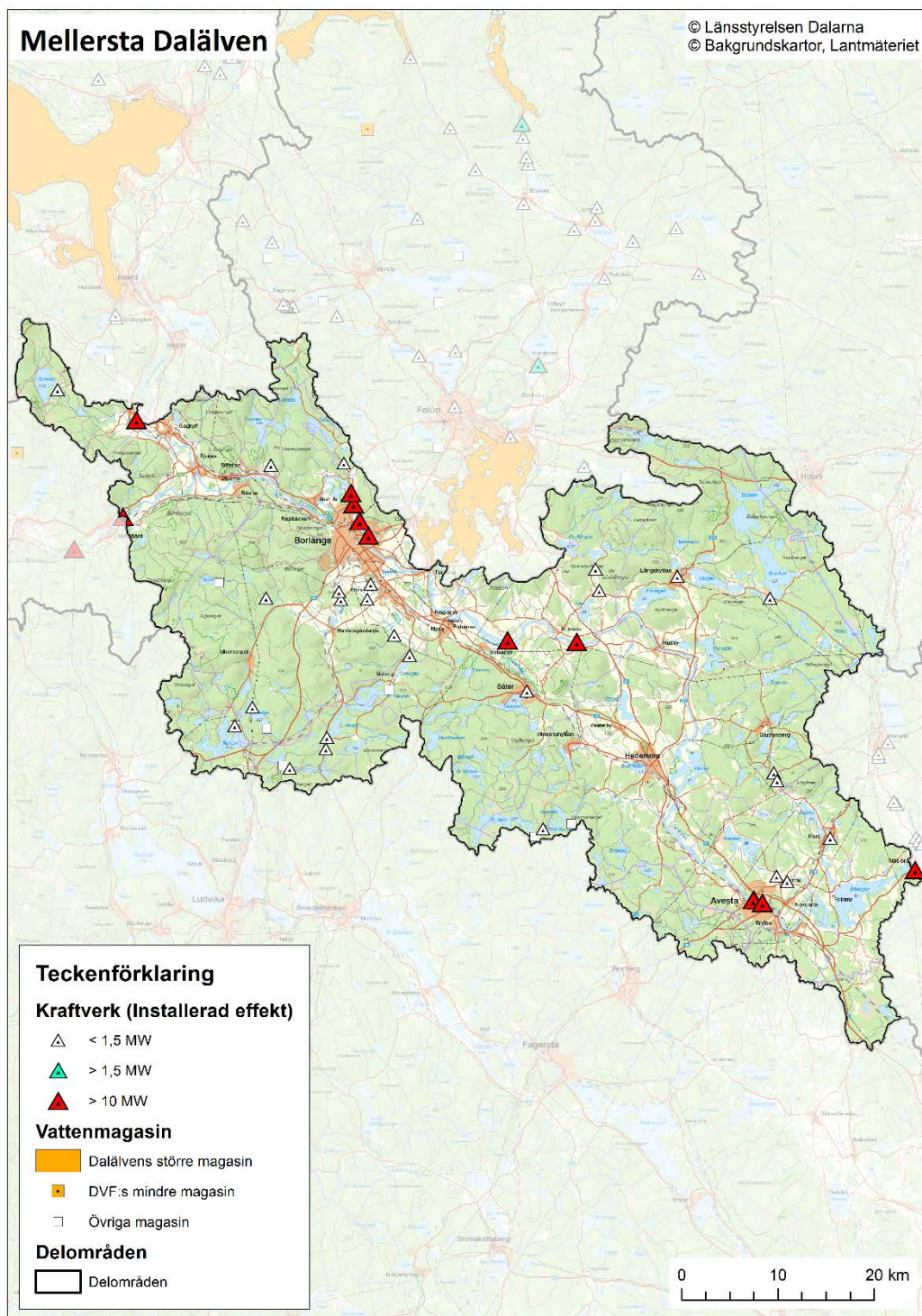
Naturgivna förutsättningar – mark och vatten

Området omfattar 10 % av Dalälvens totala avrinningsområde ner till havet. Området har en höjdskillnad på ca 300 meter mellan Näs kraftverk (ca 65 möh) och de omkringliggande bergen på upp mot 400 meters höjd. Området består i huvudsak av skogsmak och Dalälvens bördigaste jordbruksområden utefter älven.

Klimatet i avrinningsområdet präglas av fyra tydliga årstider men nederbördsmängden varierar. Exempelvis är årsnederbörden i de höga skogsområdena söder om Borlänge ca 820 mm, medan slättlandet kring Avesta endast får ca 660 mm.

Mellersta Dalälvens vattenkraftssystem

I följande avsnitt presenteras kraftverk och regleringsmagasin i Mellersta Dalälven samt hur de fungerar tillsammans i ett samordnat vattenkraftssystem. Var respektive anläggning ligger framgår av översiktskartan.



Figur 94. Vattenkraftverk och vattenregleringsmagasin i Mellersta Dalälven.

Dalälven från sammanflödet vid Djurås till Avesta

I Borlängeområdet ligger de fyra större kraftverken Forshuvud, Kvarnsveden, Bullerforsen och Domnarvet i serie med någon kilometers mellanrum. En dryg mil nedströms Torsång och Lillälvens utlopp i Dalälven ligger Långhags kraftverk och ytterligare 1 mil nedströms ligger Skedvi kraftverk.

Mellan Skedvi och nästa kraftverk i Avesta ligger Hovran, en selsjö som bildats av trång sektion i älven vid Grådö utanför Hedemora. Från Hovrans utlopp är det 15 km till det första kraftverket nedströms i Avesta. Här finns av historiska skäl ett kraftverk på var sida älven, Avestaforsen och Avesta Storfors. Några hundra meter nedström ligger Avesta Lillfors och därifrån rinner älven vidare mot Bäsingen och Näs kraftverk.

Tabell 22. Vattenregleringsmagasin i Mellersta Dalälvens huvudflöde.

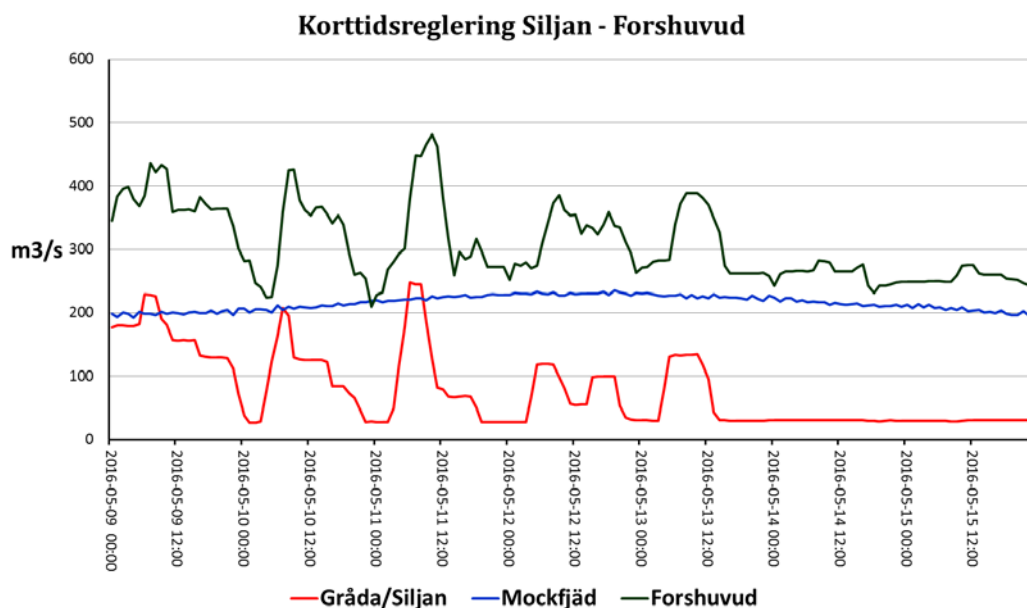
Regleringsmagasin	Regleringsamplitud meter	Reglervolym miljoner m3	Regleringsstrategi År / Korttid	Energiinnehåll GWh/år
Runn	1,95	117	År + Korttid	24
Hovran	0,60	7,5	Korttid	0,1
Totalt		124,5		24,1

Tabell 23. Vattenkraftverk i Mellersta Dalälvens huvudflöde.

Kraftverk	Fallhöjd meter	Installerad effekt MW	Elproduktion GWh/år
Forshuvud	10,7	47	209
Kvarnsveden	13,9	60	275
Bullerforsen	11,3	47	226
Domnarvet	6,9	22	132
Långhag	12,7	54	275
Skedvi	11,1	38	207
Avestaforsen	9,4	24	170
Avesta Storfors	9,4	15	36
Avesta Lillfors	5,7	22	125
Totalt	91,1	329	1655

Vattenregleringsstrategi för mellersta Dalälven

Forshuvud är det första kraftverket i denna delsträcka av Dalälven och det första av fyra kraftverk i Borlänge. Tappningen från Gråda (Siljan) planeras efter hur mycket vatten som förväntas komma från Västerdalälven. För att öka och minska tappningen under dygnet i Forshuvud måste tappningen från Gråda korttidsregleras och hänsyn tas till vattnets gångtid från Gråda till Forshuvud - som är ca 3 timmar.

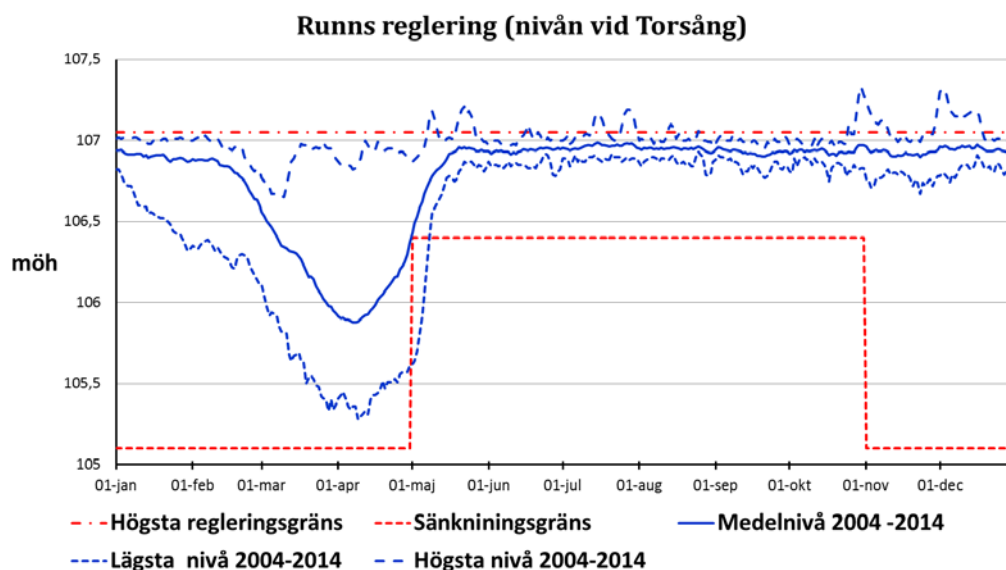


Figur 95. Exempel på korttidsreglering vid Gråda under en vecka.

Kvarnsveden, Bullerforsen och Domnarvet styrs efter nivån i älven vid kraftverken och följer automatiskt de tappningsförändringar som görs i Forshuvud. Det finns en trång sektion i älven uppströms Forshuvud som påverkar vattennivåerna uppströms vid höga vattenföringar.

I Vattendomarna för kraftverken i mellersta Dalälven finns inga fastställda minimivattenföringar genom kraftverken eller naturfåror. I praktiken understiger dock tappningen dvs vattenflödena i älven inte 65-75 m³/s. Långhag har genom Runn ett tillräckligt stort magasin för att tappningen skulle kunna vara 0 m³/s under något dygn, men 0-tappning förekommer inte i praktiken. Det har aldrig varit något längre stopp i Långhag med 0-tappning varför det är oklart vilka konsekvenser detta medför nedströms kraftverket. Sannolikt leder en sådan kraftig reglering till mer problem än nytta då det krävs mycket jobb för att starta och stoppa kraftverken nedström för att hålla nivåerna inom tillåtna gränser.

Långhags kraftverk har inget eget magasin för reglering, men genom att tappa mer eller mindre vatten i förhållande till vad som tappas i kraftverken uppström i Borlänge styrs vattnet ut eller in från Runn. Detta innebär att vattenflödet i Lillälven regelbundet ändrar riktning. Om tappningen är högre i Forshuvud än i Långhag kommer vattnet rinna in i Runn och omvänt rinna ut ur Runn när tappningen från Långhag är högre. Totalt sett rinner mer vatten ut från Runn än vad som rinner in eftersom Runn har ett eget stort tillrinningsområde och får vatten från både Svärdsjövattnedraget och Faluån.

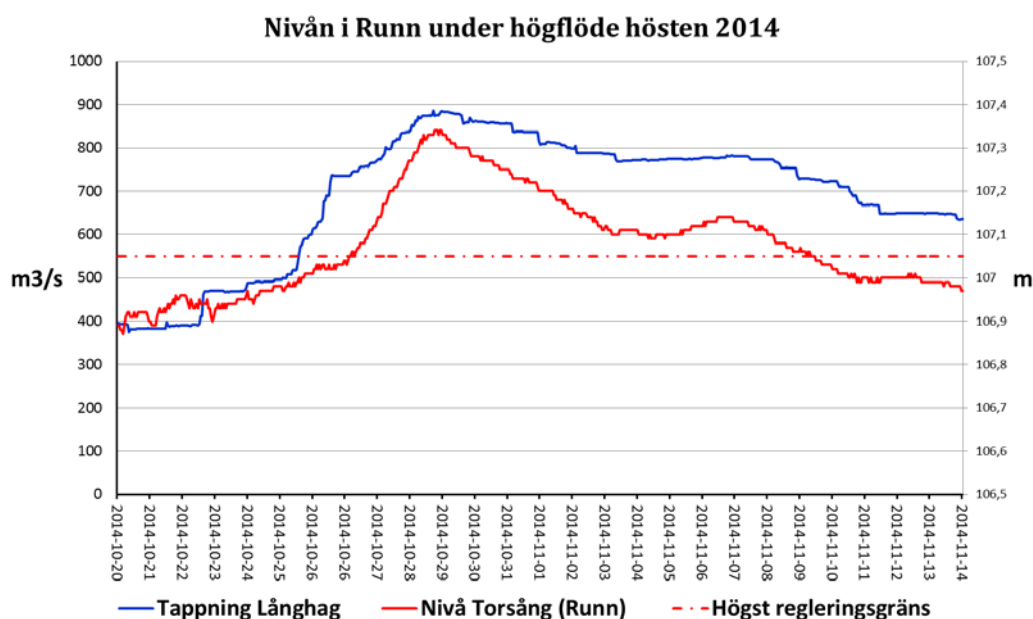


Figur 96. Vattenhushållningsbestämmelser och normalvattenstånd i Runn

Turbinerna i Långhags kraftverk har en total avbördningsförmåga på 480 m³/s, men vid korttidsreglering får tappningen inte överstiga 400 m³/s (sommartid 380 m³/s) och nivån vid Torsång får maximalt variera 20 cm per vecka enligt vattenhushållningsbestämmelserna för korttidsreglering.

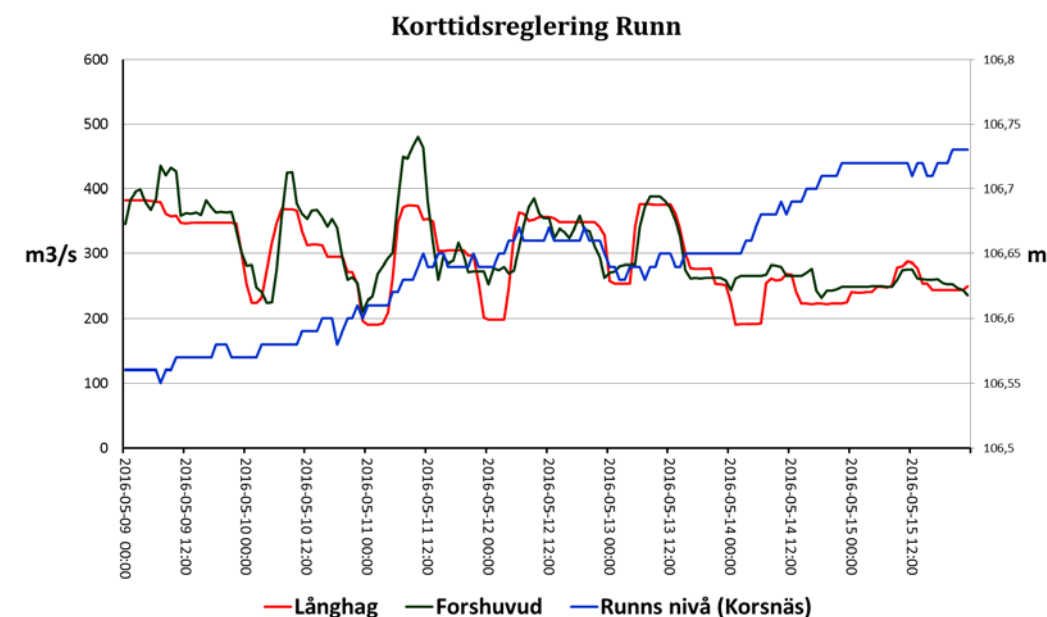
Vid Våbäcksforsen mellan Torsång och Långhag där, Lillälven rinner ut i Dalälven, är älven trång och vid hög vattenföring hinner inte allt vatten rinna förbi. Då stiger nivån över den normala i älven och vatten rinner in i Runn. Den trånga sektionen börjar ge effekt vid ett flöde på 740 m³/s vid Långhags kraftverk. Dämningsgränsen för Långhag mäts vid Torsång vid Lillälvens mynning och är +107,05 m upp till 740 m³/s. Vid högre flöden kommer nivån att stiga i Runn - till en början med ca 1 cm var 5 m³/s som flödet ökar. Vid 800 m³/s som i snitt förekommer vart annat år har nivån stigit en dryg decimeter till +107,17 m. Det högsta flödet i älven de senast 10 åren har varit 900 m³/s vilket orsakade en vattennivå på 107,36 m i Runn.

År 1985 var vattenföringen vid Långhag 1490 m³/s och vid det flödet blir nivån i Runn över +108,30 m och stiger ytterligare 0,5 m vid ett 100-års flöde. Sambandet mellan vattenföringen vid Långhag och nivån vid Torsång finns beskriven i en så kallad avbördningsstabell i vattendomen för Långhags kraftverk. Vid mycket höga flöden i Dalälven kommer nivån i Runn bli problematiskt hög. Kombinationen av hög vattennivå i Runn och högt flöde i Faluån riskerar att orsaka översvämningar i centrala Falun eftersom Faluåns utflöde däms upp.



Figur 97. Nivån i Runn under ett högflöde hösten 2014.

Inför vårfloden sänks nivån i Runn och normalt utnyttjas ca 1 m av maximalt tillåten årsreglering på 1,95 m. Avsänkningen blir ofta lägre om vintern varit mild och vattentillgången god. Om vårfloden från Västerdalälven förväntas bli stor nyttas en större del av årsmagasinet för att minska översvämningsproblemen. Senast 1 maj ska Runns nivå vara uppe vid sommarsänkkningsgränsen som är +106,40 m. Av hänsyn, till framför allt båtägare, hålls nivån betydligt högre från mitten av maj till sent på hösten. Långfärds-kridskor är en mycket populär aktivitet på Runn och eftersom årsavsänkningen ger sprickor i isen påbörjas avsänkningen först efter de så kallade "Runndagarna" som hålls i början av februari varje vinter.

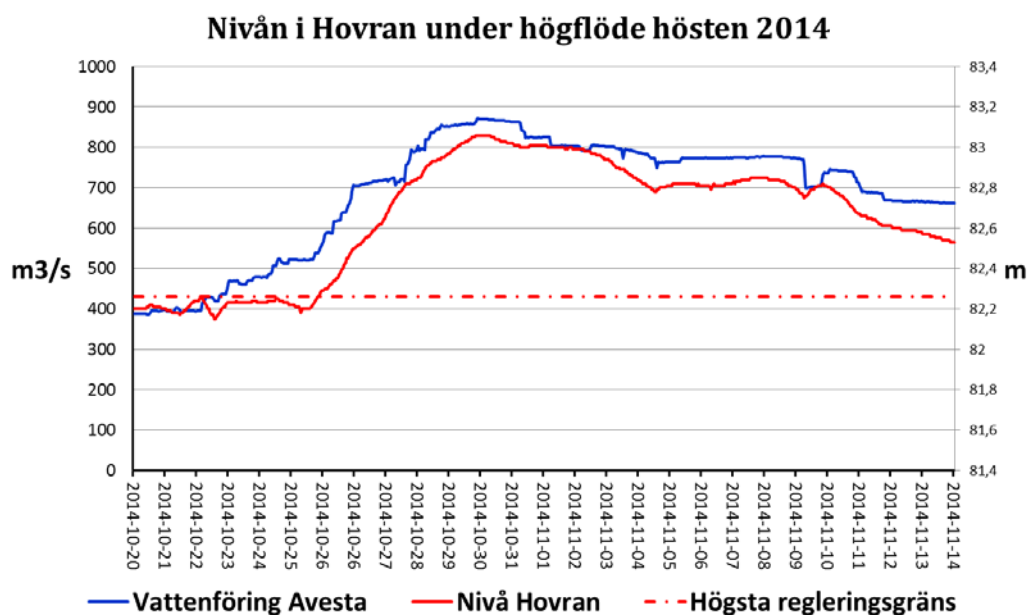


Figur 98. Runns korttidsreglering under en "normal"-vecka.

Nedströms Långhag ligger Skedvi kraftverk som är ett strömkraftverk. Tappningen i Skedvi följer tappningen i Långhag. Nedströms Skedvi vid Fäggeby uppstår ibland problem med höga vattennivåer till följd av isproppar i älven vid Myckelbyforsen.

Hovrans vattennivå regleras vid normala vattenföringar vid Avestaforsens kraftverk. Högsta tillåtna vattennivå i Hovran är lägre och tillåten regleringsamplitud mindre under sommartid. Nivån mäts vid Grådö som ligger vid Hovrans utlopp. Här finns ännu en av Dalälvens trånga sektioner och vid höga flöden kommer nivån i Hovran stiga. Redan vid en vattenföring på 520 m³/s stiger nivån över den högsta regleringsgränsen i Hovran.

Nivåer över högsta regleringsgränsen inträffar nästa varje år och ofta flera gånger under året, 1 meter över regleringsgränser är inget ovanligt. Under höga flöden skall tappningen i Avestaforsen följa en tabell i vattendomen som anger vilken nivå Hovran skall ha i förhållande till tappningen i Långhags kraftverk 24 timmar tidigare. Försök som har genomförts för att sänka nivån vid dammen i Avesta ger större skada på egendom mellan Hovran och Avesta än nytta i Hovran. Flödet genom den trånga sektionen påverkas endast marginellt samtidigt som vattenhastigheten markant ökar i älven ned mot Avesta, vilket ökar erosionen och risken för skador på egendom.



Figur 99. Nivån i Hovran under ett högflöde hösten 2014.

Nedströms Avestaforsen ligger Avesta Lillfors som är ett strömkraftverk. Dammen vid Avesta Lillfors har ett 330 m långt skibord där allt vatten som inte går genom turbinerna rinner över. Vid normala flöden rinner inget vatten över skibordet. Om kraftverket stannar när det går på maximal avbördningsförmåga stiger nivån ca 1 m över tröskeln på överfallsdammen.

Vattenregleringsmagasin och kraftverk i biflöden

I Mellersta Dalälvens biflöden finns många reglerade sjöar och små kraftverk. Dataunderlaget är osäkert för många av dessa mindre magasin. Många sjöar har reglerats i århundraden och tidigare fungerat som vattenmagasin för områdets omfattande gruvverksamhet.

Tabell 24. Vattenregleringsmagasin i biflöden till Mellersta Dalälven.

Biflöden	Reglerings- magasin antal	Reglerings- volym Mm3	Energiinnehåll GWh
Lustån	6	> 9	> 2,0
Tunaån	5	21,5	5,8
Övriga	20	-	-
Totalt	31	> 30,5	> 7,8

Tabell 25. Kraftverk i biflöden till Mellersta Dalälven

Biflöden	Vattenkraftverk Antal	Installerad effekt Totalt MW	Elproduktion Totalt GWh/år
Totalt	26	6,3	18,8

Mellersta Dalälvens totala elproduktion och reglernytta

I detta avsnitt sammanfattas områdets elproduktion och reglernytta. I det inledande kapitlet om Dalälvens vattenkraftssystem (Underrubriken ”Dalälvens elproduktion och bidrag till reglernytta”) sätts dessa värden in i sitt sammanhang för hela älven.

Elproduktion

I ovanstående kapitel redovisas den årliga elproduktionen och installerad effekt dels för varje enskilt kraftverk i huvudflödet och dels summerade värden för de mindre kraftverken i respektive biflöde. Vilket sammanfattas i följande tabell;

Vattenområde	Vattenkraftverk Antal	Installerad effekt Totalt MW	Elproduktion Totalt GWh/år
Huvudflödet	9	329	1655
Alla biflöden	26	6	19
Totalt	35	335	1674

Mellersta Dalälvens elproduktion motsvarar ca 35 % av Dalälvens totala elproduktion.

Reglernytta

Vattenregleringsmagasinen möjliggör både års- och korttidslagring av vatten för alla nedströms liggande kraftverk ända ut till havet. Enskilda kraftverks (eller grupper av kraftverks) värde som reglerkraft, för att balansera och stabilisera elsystemet i olika tidsskalor, kan beskrivas på flera olika sätt. I det inledande avsnittet om hela Dalälvens vattenkraftssystem, under rubriken ”Dalälvens elproduktion och reglernytta”, belyses dessa frågor samlat för hela Dalälven.

Vattenkraftens påverkan på Mellersta Dalälven

För beskrivning av vattenkraftens generella påverkan på sjöar och vattendrag och bedömningsgrunder – se det inledande kapitlet ”Dalälven”.

Effekter på vattenflöden och vattennivåer

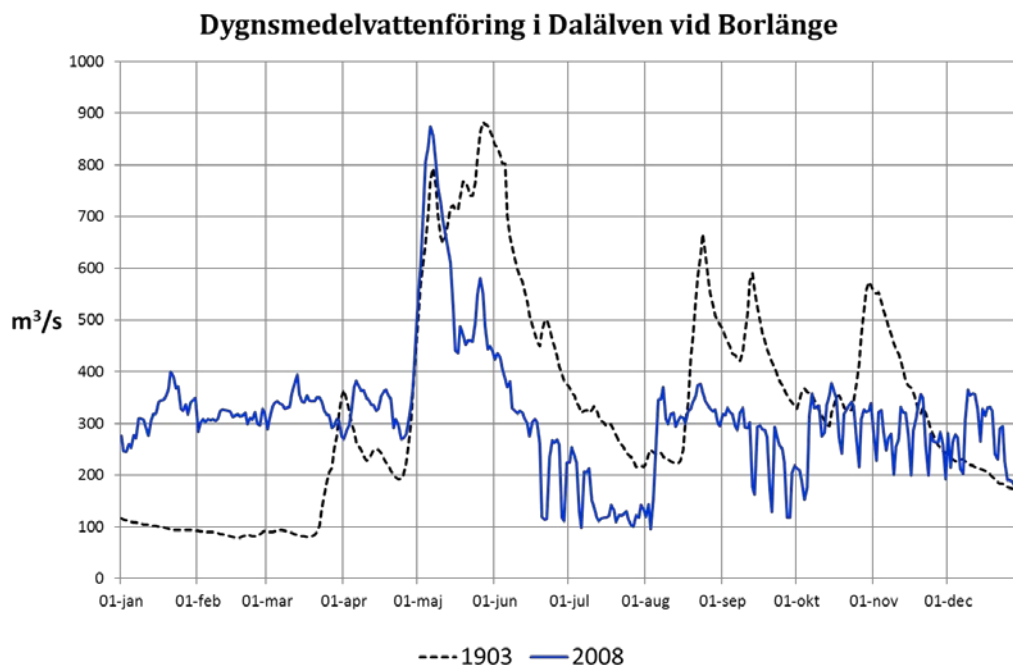
En sammanfattning av de naturliga förhållandena i Mellersta Dalälven och den hydrologiska regimen före kraftutbyggnaden i återges i *Förteckning över Sveriges vattenfall* från 1921:

Beträffande allmänt geografiska och kulturella, förhållanden råder en skarp kontrast mellan å ena sidan älvdalens öppna, släta jordbruksbygd och de kuperade, höglänta områdena på sidan om densamma med deras ödsliga skogs- och myrmarker, där blott enstaka bruks- eller gruvsamhällen uppvisa tätare befolkning. En rullstensås, en' bland de mera betydande i vårt land, stryker fram genomområdet från NV mot SO.

Den högsta marina gränsen ligger inom kartområdet i runt tal c:a 200 m ö. h. Ovanför denna nivå råder blockrik moränmark, endast avbruten av de uppstickande höga bergklackarna, de talrika sjöarna och de genom dessas igenväxning uppkomna torvmarkerna. Nedanför marina gränsen åter utbreda sig ler- och sandavlagringar, avsatta i den gamla fjorden. Dessa erbjuder nu en bördig och lättodlad jordmån. I denna mäktiga lösa dalfyllnad har älven stundom skurit sig djupt ned och går nu mellan de för de nordsvenska älvarna så karakteristiska höga nipstränderna, i vilka talrika raviner äro inskurna.

Vattenregleringens påverkan på vattenflöden i rinnande vatten och vattennivåer i sjöar kan belysas genom att nuvarande förhållanden jämförs med modellberäknade naturliga flöden eller historiska tidsserier före vattenkraftsutbyggnaden.

I detta kapitel jämförs förhållandena på ett urval platser under ett ”typår” före respektive efter vattenkraftsutbyggnaden. Respektive år är valda för att spegla samma förutsättningar i form av årsnederbörd och årflöden.



Figur 100. Vattenföringen [m³/s] i Dalälven vid Borlänge år 1903 (dygnsdata, svart linje) samt år 2008 (dygnsdata, blå linje).

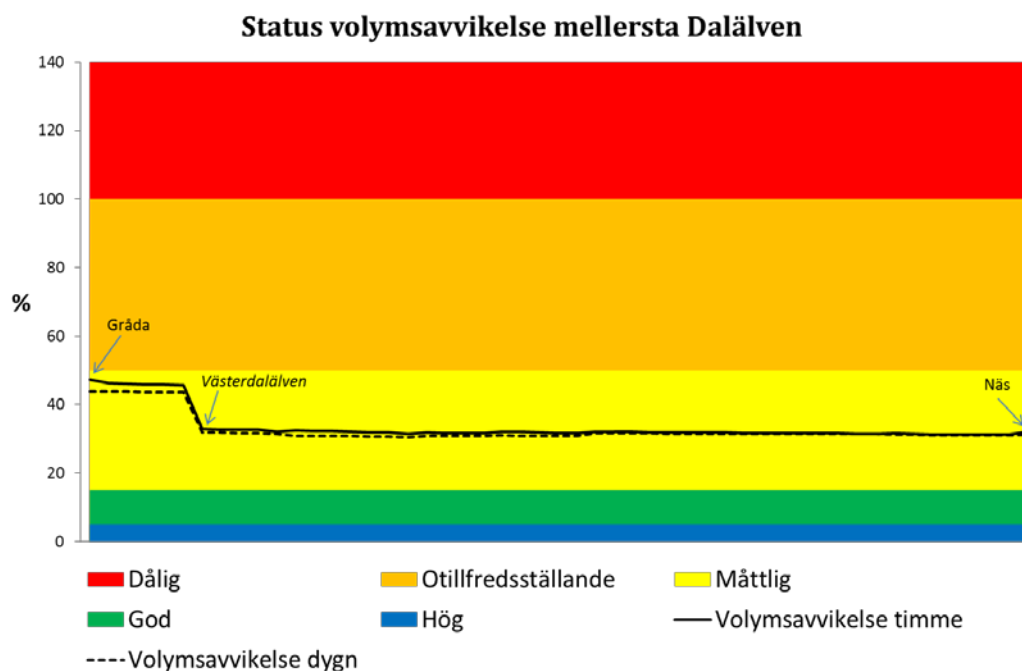
Effekter på hydromorfologiska kvalitetsfaktorer

Vattenregleringens påverkan på vattenflödena beskrivs inom vattenförvaltningen med hjälp av två hydromorfologiska kvalitetsfaktorer (Volymsavvikelse och Flödets förändringstakt). Bägge måtten anger hur stor flödesförändringen är idag (i %) i förhållande till före kraftutbyggnaden.

Volymsavvikelsen mäter framför allt årsreglerings påverkan på flödena medan Flödets förändringstakt speglar korttidsregleringens omfattning.

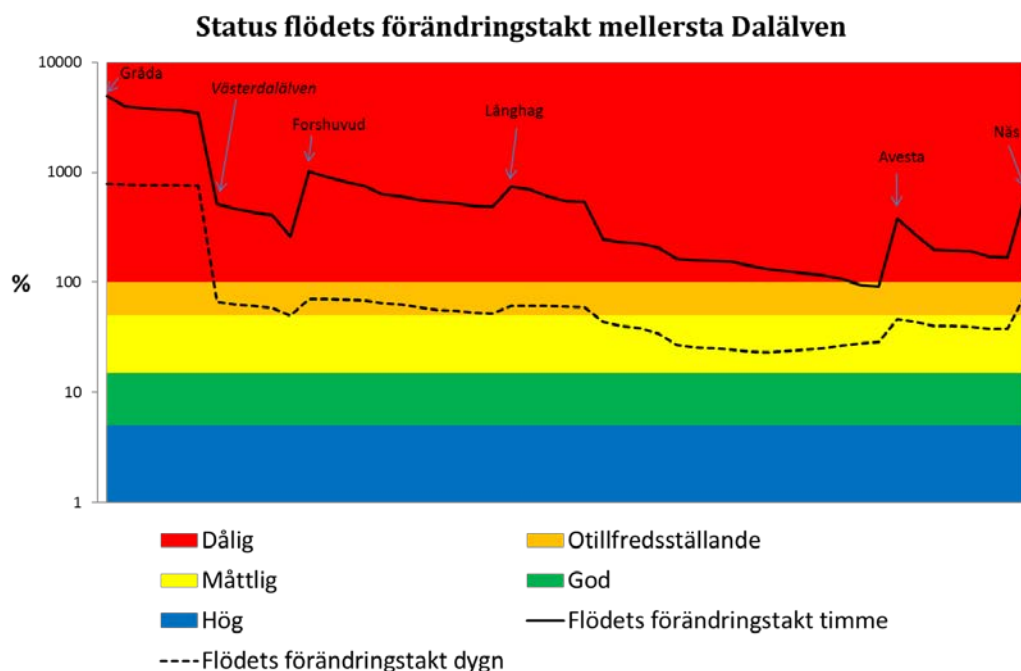
I övre delen av sträckan som kallas mellersta Dalälven rinner Västerdalälven och Österdalälven samman. Av dessa två är Österdalälven mest påverkad av regleringar, vilket medför att påverkan minskar något efter sammanflödet (Figur 101).

Volymsavvikelsen ligger sedan oförändrad inom måttlig status längs hela sträckan, vilket indikerar att det inte tillkommer någon säsongsgregering här utan har nedärvt från framför allt Österdalälven och Siljans gregering.



Figur 101. Status med avseende på volymsavvikelse i procent (timme, dygn) i mellersta Dalälven från Gråda till Näs.

Mellersta Dalälven präglas framför allt av korttidsregleringar, och status enligt flödets förändringstakt är dålig större delen av sträckan om man utgår från timdata (Figur 102).



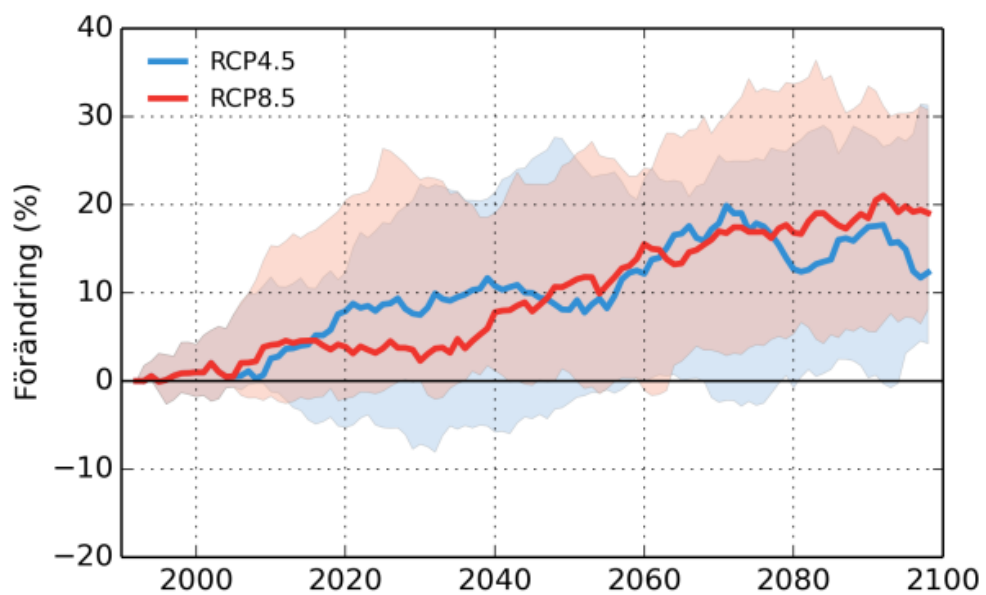
Figur 102. Status med avseende på flödets förändringstakt i procent (timme, dygn) i mellersta Dalälven från Gråda till Näs. Observera logaritmisk skala på y-axeln.

Klimatförändringens effekter

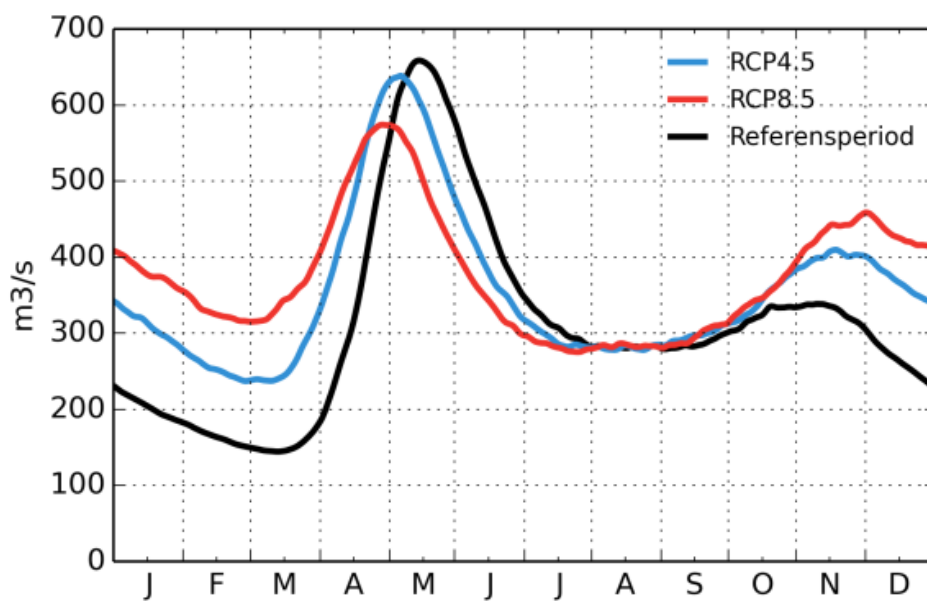
SMHI har 2015 tagit fram enhetliga regionala klimatanalyser för hela landet. Förändringarna i temperatur, nederbörd och vattenflöden redovisas i diagramform för ett tiotal platser i Dalälven. I det inledande kapitlet "Dalälvens vattenkraftssystem" presenteras dessa analyser närmare.

I detta avsnitt presenteras två diagram som visar dels hur den totala årsmedeltillrinningen ökar fram till nästa sekel och dels hur tillflödena kommer att förändras under olika årstider i Dalälven vid Långhag. Beräkningarna avser total tillrinning utan påverkan från vattenregleringar. Total årsmedeltillrinning ökar succesivt och vid slutet av seklet ligger ökningen i medeltal på ca 15 % för RCP 4.5 och ca 20 % för RCP 8.5.

Den procentuella ökningen av tillrinning är störst under vintern och ökningen sker succesivt under hela perioden. Skillnaden mellan de två scenarierna tydliggörs under andra halvan av seklet och ökningen av totala medeltillrinningen under vintern ligger vid slutet av seklet på ca 80 % för RCP 8.5 och 50 % för RCP 4.5. Förändringen av tillrinning är mindre under övriga årstider och ingen tydlig skillnad mellan de olika scenarierna syns heller här. Totala tillrinningen ökar succesivt under vår och höst. Totala tillrinningen under sommaren förblir konstant under första halvan av seklet för att därefter minska något fram till slutet av seklet.



Figur 103. Förändrad total årsmedeltillrinning för Dalälven vid Långhag.



Figur 104. Den totala tillrinningens årsdynamik i Dalälven vid Långhag. Svart linje representerar referensperioden 1963-1992 och de övriga linjerna representerar framtidsperioden 2069-2098

6 Nedre Dalälven

Delområdet Nedre Dalälven avgränsas uppströms av Näs kraftverk vid utloppet av Rudusjön och sträcker sig drygt 90 km nedströms till älvens mynning i Gävlebukten i Bottenhavet. Längs älven finns flera mindre biflöden varav ett av de större kommer från sjön Rossen i Avesta och rinner ut i älven nedströms Näs.

Nedre Dalälvens sjöar och vattendrag

Områdets naturgivna förutsättningar i form av topografi, klimat, markförhållanden etc. tillsammans med århundradens påverkan från mänskliga verksamheter har resulterat i de sjöar och vattendrag vi ser idag.

Naturgivna förutsättningar – mark och vatten

Området omfattar 7 % av Dalälvens totala avrinningsområde ner till havet. Höjdskillnaden är ca 200 meter från havet upp till de högsta bergen i områdets nordvästra del. Området består i huvudsak av skogsmark och jordbruksmark utefter älven.

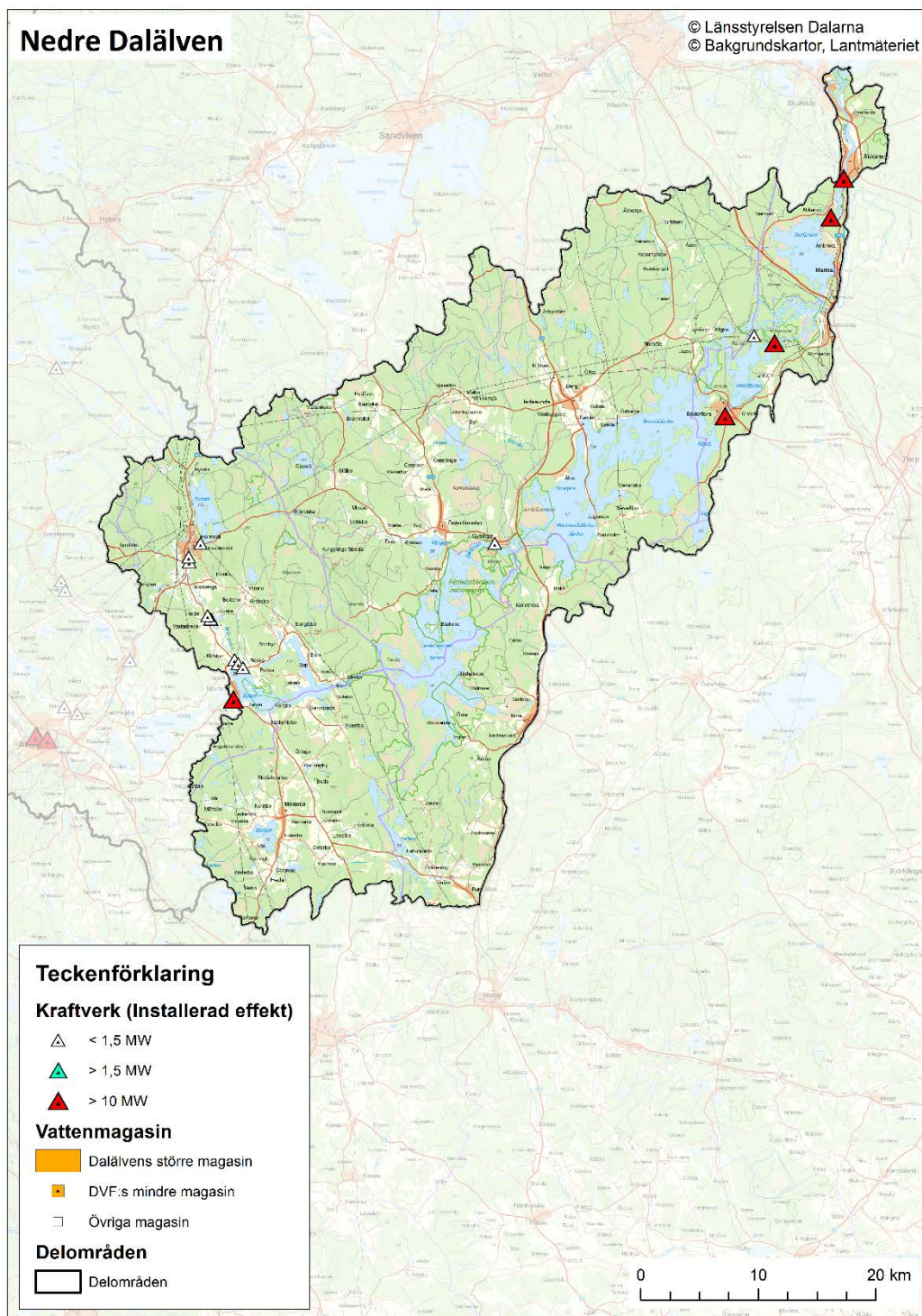
Klimatet i avrinningsområdet präglas av fyra tydliga årstider med relativt jämnt fördelad nederbörd jämfört med andra delar av Dalälvens avrinningsområde. Årsnederbörden ligger på ca 660-680 mm.

Nedströms Näs kraftverk rinner Dalälven via Bysjön och Tyttboforsarna till Färnebofjärden för att därefter passera forsarna vid Gysinge som mynnar i de därpå följande Hedesunda-, Bramsö- och Fäbodfjärdarna, vilka utgör magasin till Söderfors kraftverk. Nedströms Söderfors rinner Dalälven via Untrafjärden (Untra kraftverk), Marmafjärden (Lanförsens kraftverk) och Älvkarlebyfallen (Älvkarleby kraftverk) för att slutligen rinna vidare till älvens mynning i Gävlebukten.

Den geologiska orsaken till existensen av fjärdarna i nedre Dalälven är att Dalälven före istiderna hade sitt lopp från Avesta till Mälaren. Istiden skapade dock en ändmorän som dämde upp älvdalen vid Avesta och Dalälven sökte sig ett nytt lopp mot ost/nordost, där det inte fanns någon älvfåra innan. Detta är anledningen till att det finns så många grunda sjöar/fjärdar längs älven i nedre Dalälven.

Nedre Dalälvens vattenkraftssystem

I följande avsnitt presenteras kraftverk och regleringsmagasin i Nedre Dalälven samt hur de fungerar tillsammans i ett samordnat vattenkraftssystem. Var respektive anläggning ligger framgår av översiktskartan.



Figur 105. Vattenkraftverk och vattenregleringsmagasin i Nedre Dalälven.

Tabell 26. Vattenregleringsmagasin i Nedre Dalälvens huvudflöde.

Regleringsmagasin	Regleringsamplitud Meter	Reglervolym miljoner m ³	Regleringsstrategi År / Korttid	Årsregleringsnytta GWh/år
Söderfors	0,25	18	År + Korttid	1
Untrafjärden	0,75	9,4	korttid	-
Totalt		27,4	-	1

Tabell 27. Vattenkraftverk i Nedre Dalälvens huvudflöde.

Kraftverk	Fallhöjd Meter	Installerad effekt MW	Elproduktion GWh/år
Näs	5	19	120
Gysinge	3,5	0,4	3
Söderfors	5	20	100
Untra	14,0	42	270
Storgysinge	6,5	1	6
Lanforsen	9,7	44	242
Älvkarleby	22,5	123	510
Totalt		249,4	1251

Minimitappningen vid Söderfors dammanläggningar sker till dels den nedströms belägna Kågbogrenen via Bredforsen (15 m³/s 1 april – 30 september och 5 m³/s övrig tid) och dels Hjällsjön (1 m³/s hela året). Vid dammen uppströms Bredforsen finns en fisktrappa vilken byggdes om under år 2015 för att underlätta uppvandring för mer svagsimmande fiskarter.

Vid dammanläggningarna vid Untra kraftverk sker minitappning genom ett minikraftverk vid Storgysingen och dess utskovsdamm för att få ökat vattenflöde genom Båtforsområdet. Minimitappningen är totalt 40 m³/s under maj-juni, 20 m³/s under juli-augusti och 10 m³/s under övrig del av året.

Vid Älvkarleby kraftverk är minitappningen 12 m³/s i Kungsådran under sommaren och 3 m³/s under övrig del av året.



Figur 106. Älvkarleby kraftstation, 1916. Foto: SMHI.

Vattenregleringsstrategi för Nedre Dalälven

Vattenregleringen i Nedre Dalälven är begränsad i förhållande till övriga delområden av Dalälven. Det enda magasin i Nedre Dalälven som bedriver årsreglering är Söderforsmagasinet, emellertid dock endast när vårflöden ger höga tillrinningar och vid sådana tillfällen med en i sammanhanget relativt blygsam omfattning.

Avseende höga flöden är beräknad flödesdimensioneringsklass 1-tillrinning vid Näs kraftstation 3620 m³/s och vid Älvkarleby kraftstation 3520 m³/s. Då Älvkarlebys tillrinningsområde överstiger Näs med ca 7,5 % innebär det att en anseelig dämpning av höga flöden sker på sträckan mellan dessa kraftverk vilket helt och hållet kan tillskrivas de stora fjärdarna i Nedre Dalälven. Ur ett flödesdämpningsperspektiv är fjärdarna av mycket stor betydelse.

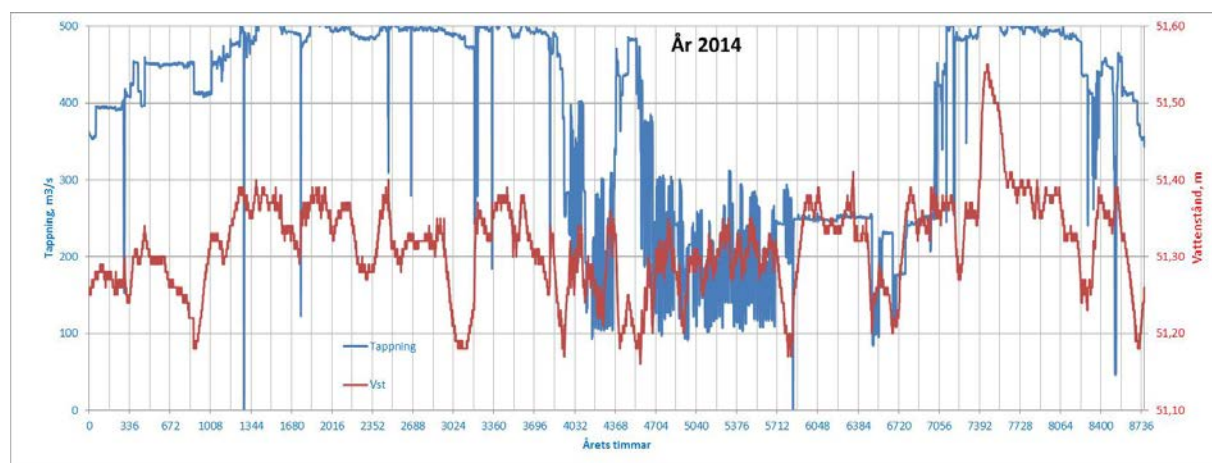
Söderfors korttidsreglering

Söderfors har tillstånd att korttidsreglera vattenföringen (vecka, dygn och timme) till gagn för sin egen drift och kraftverken nedströms. Den tillståndsgivna maximala magasinshöjningen över dygnet är 0.12 m vilket möjliggör en över dagen (16 timmar) jämnt fördelad maximal

flödesökning av $150 \text{ m}^3/\text{s}$ ($18.000.000/3.600 * 0,12/0,25 / 16$). Om korttidsreglering istället bedrivs i genomsnitt under åtta timmar per dag blir möjlig flödesökning $300 \text{ m}^3/\text{s}$.

För att exemplifiera hur magasinet nyttjas i Söderfors har i nedanstående diagram infogats timvärden för år 2014 avseende tappning och vattenstånd vid anläggningen. Figuren är i stora drag representativ för den bedrivna strategin vid Söderfors de senaste 5-10 åren.

Av diagrammet framgår att veckoreglering där den lagakraftvunna amplituden om $0,25 \text{ m}$ (DG +51,40, SG +51,15) nyttjas fullt ut ej förekom detta år (varje lodrätt delstreck representerar en vecka). Under enstaka veckor resulterade regleringen i att magasinsnivån som mest fluktuerade ca $0,15\text{-}0,20 \text{ m}$, bland annat årets sista vecka. Generellt är dock magasinsrörelserna inom veckan små, i storleksordningen $5 \text{ à } 10 \text{ cm}$.



Figur 107. Tappning i Söderfors kraftverk (blå linje) och vattennivån i magasinet (röd linje) under ett representativt år – 2014, dygnsvärden.

Ur figuren kan vidare skönjas att variationen i vattennivå i magasinet till följd av bedriven dygnsreglering är liten. Bearbetning av de aktuella magasinsvattenstånden under året ger vid handen att det under endast ett knappt tjugotal dygnstillfällen skedde variationer som översteg 5 cm .

De för året 2014 redovisade magasinsrörelserna understiger generellt de lagakraftvunna värdena vilket resulterar i att tappningsförändringarna över dygn och vecka ej heller fluktuerar i den omfattning som det inledande räkneexemplet ovan redovisade. Av figuren framgår att det under sommarens lågflödesperiod frekvent förekommer tappningsförändringar mellan ca $100 \text{ m}^3/\text{s}$ och $300 \text{ m}^3/\text{s}$, dock med relativt blygsamma förändringar i magasinets vattennivåer.

Sammanfattningsvis kan sägas att dygns- och veckoreglering bedrivs vid Söderfors men att dess fulla potential ej nyttjats de senaste ca 10-15 åren.

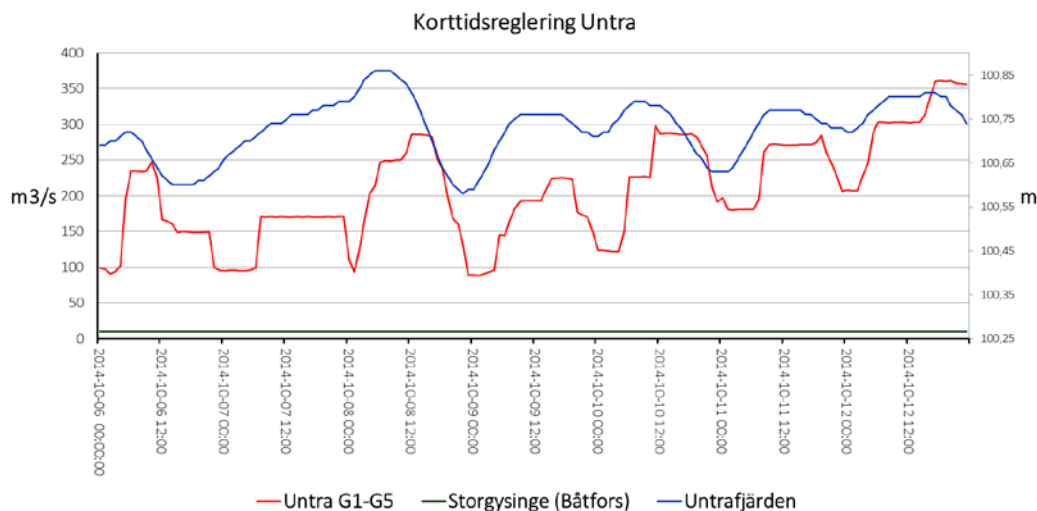
Vattenkraftverken Näs, Untra, Lanforsen och Älvkarleby

Näs kraftstation och Älvkarleby kraftstation är utpräglade strömkraftverk, dvs. det bedrivs ingen korttidsreglering vid dessa.

Vid Untra och Lanforsen sker regelbundet korttidsreglering när vattenföringen understiger kapaciteten genom turbinerna. Tillståndet för Untra medger en större reglering än vad som normalt utnyttjas och det är i första hand låga nivåer i magasinet som undviks.

Korttidsreglering i Untra och Lanforsen

Vattennivåerna i Untrafjärden och Marmafjärden korttidsregleras för att anpassa produktionen i Untra och Lanforsens kraftverk till efterfrågan på elkraft. Nivån i Untrafjärden får variera upp till 75 cm och av detta nyttjas normalt 20 – 40 cm. Mellan Untra och Lanforsen vid Klingfors får nivån variera maximalt 50 cm per dygn till följd av korttidsreglering. Korttidsregleringens påverkan på området och olägenheter för närboende uppmärksammas regelbundet.



Figur 108. Korttidsregleringen vid Untra en typisk höstvecka.

Söderfors regleringsmagasin har en större regleringsvolym än magasinerna för Untra och Lanforsen. En ökad korttidsreglering från Söderfors med högre tappning under dagtid på vardagar och lägre natttid och helger skulle minska behovet av att reglera vattennivån i framförallt Untrafjärden. Nivåvariationerna i dessa magasin kan sammantaget minska i omfattning om Söderfors, Untra och Lanforsens kraftverk körs mer synkroniserat än vad som sker idag.

Tappning till Båtforsområdet

Från Untrafjärden tappas vatten till Båtforsområdet genom ett minikraftverk och genom dammen vid Storgysinge. Kraftverket har två turbiner på vardera 10 m³/s och maj-juni sker även tappning genom utskov i

dammen. Utöver den fastställda minimitappningen sker högre tappning till Båtforsområdet vid ett flertal tillfällen under året. Vid högflöden och när arbeten vid Untra kraftverk begränsar tappningen genom kraftverket ökas tappningen genom utskovsdammen vid Storgysinge.

Tappningsmöjligheter finns även vid Djupströmmedammen och Tammsforsdammen.

Vattenregleringsmagasin och kraftverk i biflöden

Nedströms Näs kraftstation mynnar i Bysjön det norrifrån tillrinnande biflödet Årängsån. I åns övre lopp ligger sjön Rossen och vid dess utlopp är samhället Horndal beläget. Rossen det enda regleringsmagasinet i Nedre Dalälvens tillflöden.

Regleringsmagasin	Regleringsamplitud meter	Reglervolym miljoner m3	Regleringsstrategi År / Korttid	Energiinnehåll GWh
Rossen	0,8	5	År	-
Totalt		5		-

I Årängsån finns fem mindre kraftverk.

Biflöden	Vattenkraftverk Antal	Installerad effekt Totalt MW	Elproduktion Totalt GWh/år
Årängsån	7	0,4	0,8
Totalt	7	0,4	0,8

Nedre Dalälvens totala elproduktion och reglernytta

I detta avsnitt sammanfattas områdets elproduktion och reglernytta. I det inledande kapitlet om Dalälvens vattenkraftssystem (Underrubriken ”Dalälvens elproduktion och bidrag till reglernytta”) sätts dessa värden in i sitt sammanhang för hela älven.

Elproduktion

I ovanstående kapitel redovisas den årliga elproduktionen och installerad effekt dels för varje enskilt kraftverk i huvudflödet och dels summerade värden för de mindre kraftverken i respektive biflöde. Vilket sammanfattas i nedanstående tabell;

Vattenområde	Vattenkraftverk Antal	Installerad effekt Totalt MW	Elproduktion Totalt GWh/år
Huvudflödet	6	249	1251
Alla biflöden	7	0,4	1
Totalt	13	249,4	1252

Elproduktionen i Nedre Dalälven utgör ca 27 % av Dalälvens totala elproduktion.

Reglernytta

Vattenregleringsmagasinen möjliggör både års- och korttidslagring av vatten för alla nedströms liggande kraftverk ända ut till havet. Enskilda kraftverks (eller grupper av kraftverks) värde som reglerkraft, för att balansera och stabilisera elsystemet i olika tidsskalor, kan beskrivas på flera olika sätt. I det inledande avsnittet om hela Dalälvens vattenkraftssystem, under rubriken ”Dalälvens elproduktion och bidrag till reglernytta”, belyses dessa frågor samlat för hela Dalälven.

Vattenkraftens påverkan på Nedre Dalälven

För beskrivning av vattenkraftens generella påverkan på sjöar och vattendrag och bedömningsgrunder – se det inledande kapitlet ”Dalälven”.

Effekter på vattenflöden och vattennivåer

Även innan vattenkraftsutbyggnaden översvämmades Nedre Dalälvens stränder frekvent. En sammanfattning av de naturliga förhållandena i Nedre Dalälven och den hydrologiska regimen före kraftutbyggnaden i återges i *Förteckning över Sveriges vattenfall från 1921*:

Nedersta sträckan av Dalälven genomflyter ett flackt lågland, som endast på ett fåtal ställen inom sträckans översta del höjer sig mer än 50 meter ö.h.

Ovanför Älvkarleö äro älvstränderna nästan genomgående mycket låga och översvämmas till betydande utsträckning vid högvatten. Nedanför Älvkarlebyfallen är älven åter nedskuren, i sandslätten med intill mer än 15 m höga strandbrinkar, som påminna om de norrländska älvstränderna nedanför marina gränsen.

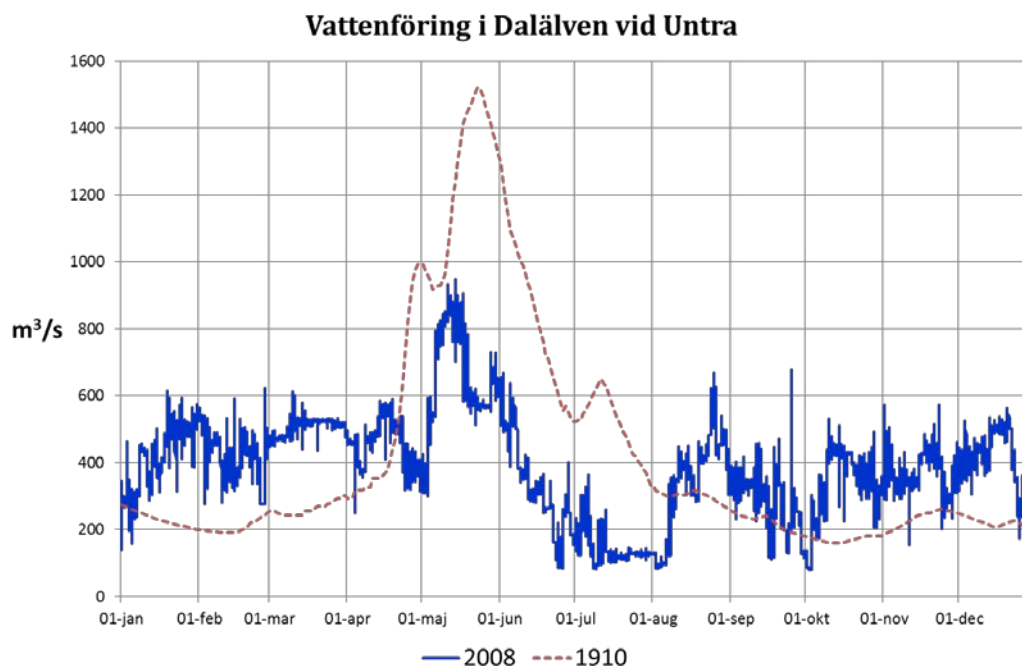
En orsak till de frekventa översvämningarna är det relativt unga lopp som präglar nedre Dalälven:

I denna flacka terräng vidgar sig Dalälven till stora öriska sjöar, s. k. fjärdar, Färnebofjärden, Hedesundafjärden och Untrafjärden. De två förstnämnda förbindas med varandra vid Gysinge genom tvenne forsrika älvarmar, medan den korta älvarmen vid Söderfors förbinder Hedesundafjärden med

Untraffjärden. Orsaken till Dalälvens föga »älvliknande» karaktär i denna trakt är, att den vid landets höjning efter istiden spårat ur sin från Krylbo mot SO gående, av lösa jordlager utfyllda preglaciala dal och nu måste söka sig fram över den flacka, småkuperade urbergsslätten. Fjärdarnas stränder äro låga, ofta bestående av sankar, gräsbevuxna lermarker. Mossar och kärr äga avsevärd utbredning. Odlingen, huvudsakligen bunden till de små åarnas dalbäcken, försvåras betydligt av Dalälvens översvämningar, särskilt under vårfloden.

Vattenregleringens påverkan på vattenflöden i rinnande vatten och vattennivåer i sjöar kan belysas genom att nuvarande förhållanden jämförs med modellberäknade naturliga flöden eller historiska tidsserier före vattenkraftsutbyggnaden.

I detta kapitel jämförs förhållandena på ett urval platser under ett ”typår” före respektive efter vattenkraftsutbyggnaden. Respektive år är valda för att spegla samma förutsättningar i form av årsnederbörd och årflöden.



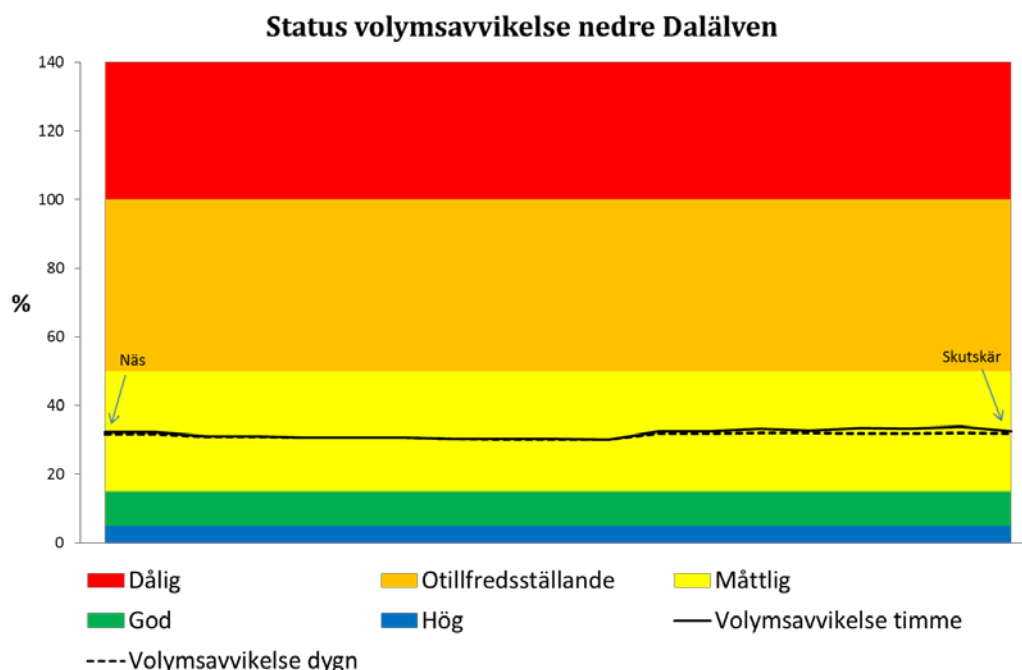
Figur 109. Vattenföringen [m³/s] i Dalälven vid Untra år 1910 (dygnsdata, svart linje) samt år 2008 (dygnsdata, blå linje).

Effekter på hydromorfologiska kvalitetsfaktorer

Vattenregleringens påverkan på vattenflödena beskrivs inom vattenförvaltningen med hjälp av två hydromorfologiska kvalitetsfaktorer (Volymavvikelse och Flödets förändringstakt). Bägge måtten anger hur stor flödesförändringen är idag (i %) i förhållande till före kraftutbyggnaden.

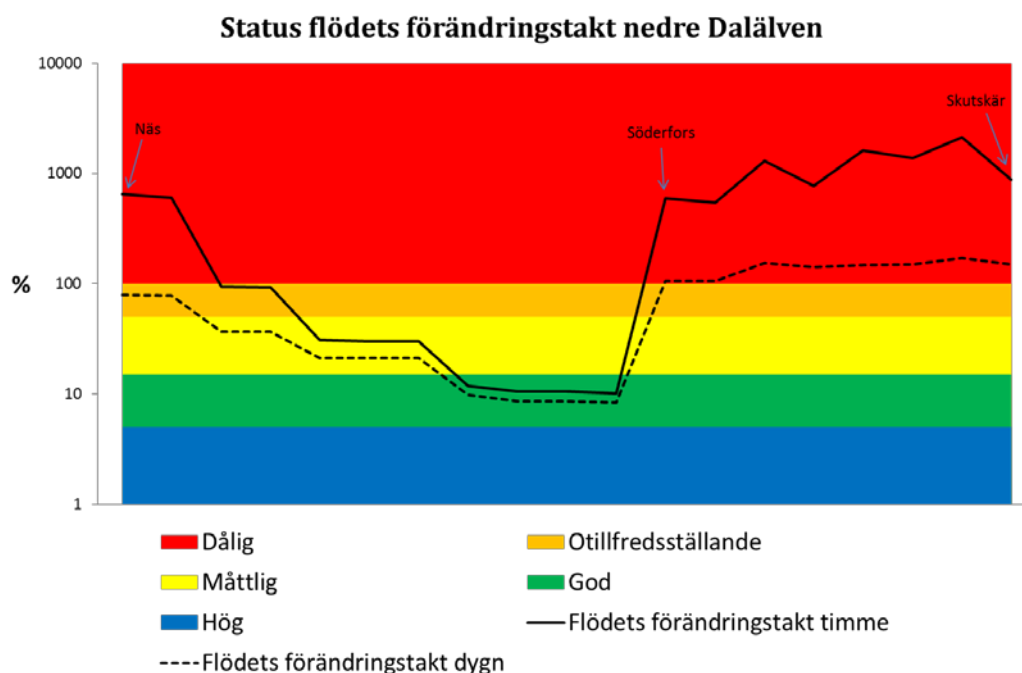
Volymsavvikelsen mäter framför allt årsreglerings påverkan på flödena medan Flödets förändringstakt speglar korttidsregleringens omfattning.

Liksom för mellersta Dalälven sker inga ytterligare säsongsregleringar i nedre Dalälven, utan all påverkan från säsongsregleringar härstammar från områden längre uppströms. Enligt volymsavvikelsen är status måttlig längs hela sträckan.



Figur 110. Status med avseende på volymsavvikelse i procent (timme, dygn) i nedre Dalälven från Näs till mynningen i havet.

Vid Näs indikerar kvalitetsfaktorn flödets förändringstakt påverkan av uppströms korttidsreglering, vilket leder till dålig status. Tack vare de många och stora fjärdarna nedströms Näs dämpas effekterna av regleringen ut relativt snabbt. Strax uppströms Söderfors är statusen till och med god enligt flödets förändringstakt, men i Söderfors och Untras magasin korttidsregleras Dalälven återigen vilket leder till dålig status nedströms.



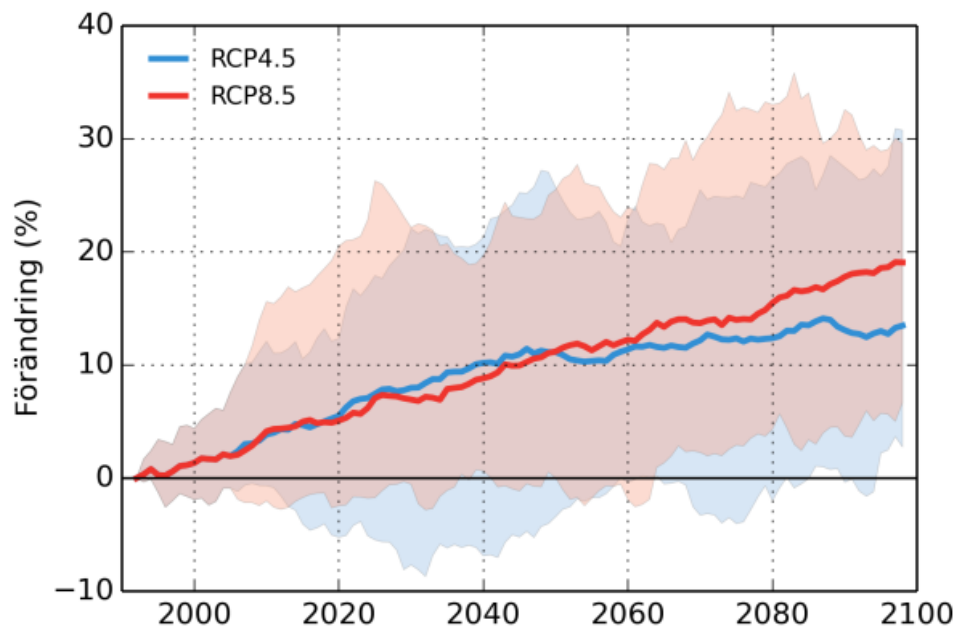
Figur 111. Status med avseende på flödets förändringstakt i procent (timme, dygn) i nedre Dalälven från Näs till mynningen i havet. Observera logaritmisk skala på y-axeln.

Klimatförändringens effekter

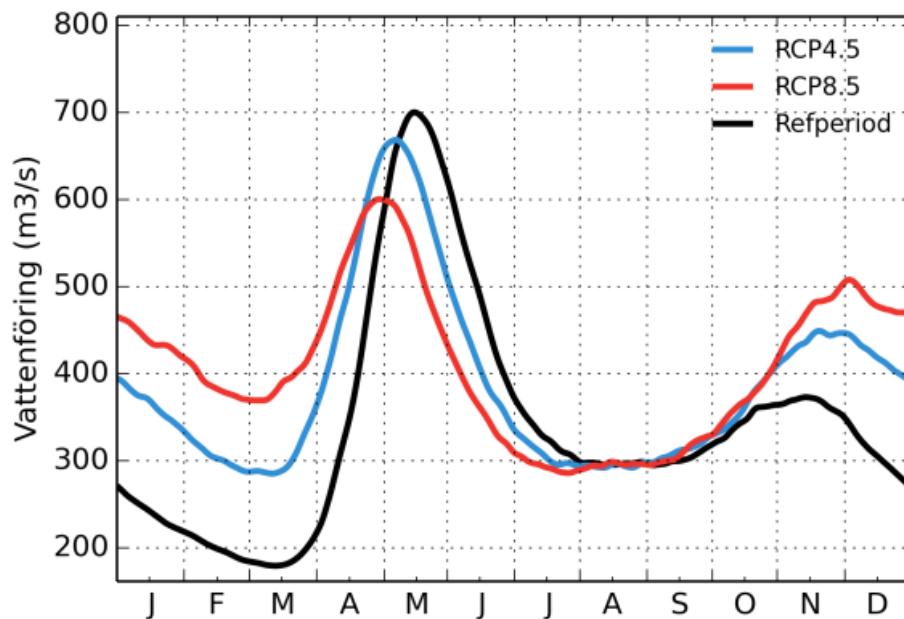
SMHI har 2015 tagit fram enhetliga regionala klimatanalyser för hela landet. Förändringarna i temperatur, nederbörd och vattenflöden redovisas i diagramform för ett tiotal platser i Dalälven. I det inledande kapitlet "Dalälvens vattenkraftssystem" presenteras dessa analyser närmare.

I detta avsnitt presenteras två diagram som visar dels hur den totala årsmedeltillrinningen ökar fram till nästa sekel och dels hur tillflödena kommer att förändras under olika årstider i Dalälven vid Älvkarleby. Beräkningarna avser total tillrinning utan påverkan från vattenregleringar.

Totala årsmedeltillrinningen ökar succesivt och vid mitten av seklet ligger ökningen i medeltal på ca 10 % för båda RCP-scenarierna. Ökningen av tillrinningen under andra halvan av seklet är störst för RCP 8.5 som vid slutet av seklet visar på en ökning på knappt 20%. Den procentuella ökningen av tillrinning är störst under vintern och ökningen sker succesivt under hela perioden. Vid mitten av seklet visar båda scenarierna på en ökning av totala vintertillrinningen på ca 30 %. Under andra halvan av seklet är ökningen störst för RCP 8.5 som vid slutet av seklet visar på en ökning på nära 80 % vintertid. Totala tillrinningen ökar också under vår och höst men i mindre omfattning och under våren och hösten syns inte heller någon tydlig skillnad mellan de olika RCP-scenarierna. Tillrinningen under sommaren förblir relativt konstant fram till mitten av seklet för att därefter minskar succesivt fram till slutet av seklet.



Figur 112. Förändrad total årsmedeltillrinning i Dalälven vid Älvkarleby.



Figur 113. Den totala tillrinningens årsdynamik för Nedre Dalälven. Svart linje representerar referensperioden 1963-1992 och de övriga linjerna representerar framtidsperioden 2069-2098.

Ordförklaringar

Kraftverkstekniska termer

Turbin	En maskin som omvandlar ett flöde av en vätska eller gas till mekaniskt arbete för att driva en generator.
Generator	Omvandlar rörelseenergin från turbinen till elektrisk energi.
Slukförmåga	Det högsta vattenflöde som kan gå genom turbinen eller turbinerna.
Utbyggnadsvattenföring	Det högsta vattenflöde som kan tappas genom kraftverkets samtliga turbiner för elproduktion.
Tappning	Ett kontrollerat utflöde från magasinet (sjö eller uppdämd älvsträcka) genom kraftverkets turbiner eller utskov.
Utskov	Öppningar i dammen för att kunna tappa ut vatten utan att kraftverket är i drift. Flödet i utskovet regleras med en eller flera luckor. Det finns flera olika typer av luckor, segmentluckor, sektorlucka, planlucka och spetluckor. Segmentluckan är vanligast - öppnas underifrån.
Sättutskov	Balkar som läggs ovanpå varandra och lyfts ur när vatten ska tappas genom utskovet. Vanlig lucktyp i äldre smådammar.

Vattenregleringstermer

Dämningsgräns	Den nivå till vilken magasinet högst får uppdämmas vid normal skötsel. Nivån kan variera över året.
Energiinnehåll	Med ett magasinets energiinnehåll avses den mängd elenergi (GWh) som kan utvinnas av magasinets vattenvolym i alla nedströms liggande kraftverk till havet. Med vattenvolym avses volym mellan dämnings- och sänkningsgräns.
Fyllnadsgrad	Förhållandet mellan aktuell vattenvolym i magasinet och total magasinvolym (uttrycks i %).
Korttidsreglering	Reglering i det korta tidsperspektivet (inom och mellan dygn) för att anpassa elproduktionen till t.ex. en lägre efterfrågan på el under natt och veckoslut eller för att matcha sol- och vindkraftens elproduktion.
Magasin	Se regleringsmagasin.
Mintappning/ Minimitappning	Minsta tillåtna tappning enligt vattendom. Bestämmelsen kan gälla tappning i den ursprungliga älvfåran eller total tappning från magasinet (dvs. inkl. tappning genom turbiner). Storlek på minimitappning kan variera över året.

Pegel	Vattenstånds- /Vattennivåmätare.
Regleringsgrad	Magasinsvolymen i förhållande till det tillrinnande flödet ett medelår (uttrycks %).
Regleringsamplitud	Höjdskillnaden mellan dämningssgräns och sänkningsgräns.
Regleringsmagasin	Naturlig eller konstgjord sjö för lagring av vatten. Kan nyttjas för antingen års- eller korttidsreglering eller både och.
Regleringsvolym	Vattenvolym mellan sänkningsgräns och dämningssgräns i ett regleringsmagasin.
Strömkraftverk	Kraftverk som saknar regleringsmagasin vilket medför att tappningen alltid är lika med tillrinningen.
Sänkningsgräns	Den nivå till vilken magasinet lägst får avsänkas vid normal skötsel. Nivån kan variera över året.
Säsongsreglering	Se årsreglering
Tappningstabell	En tabell som anger hur stor tappningen skall vara vid olika vattenstånd i magasinet.
Vattendom	Tillstånd för vattenreglering.
Vattenhushållning	Arbetet med att öka värdet på tillrinnande vatten, antingen genom kort- eller långtidsreglering. Styrts av vattendomarnas vattenhushållningsbestämmelser.
Vattenhushållningsbestämmelser	Bestämmelser i en vattendom som beskriver hur regleringen får/skall skötas.
Vattenreglering	Åtgärd för att ändra utflöde från en sjö eller flöde i ett vattendrag. I Sverige vanligtvis till förmån för vattenkraftproduktion men internationellt även för t.ex. konstbevattning och dricksvattenförsörjning.
Vattenstånd	Vattenytans nivå i förhållande till ett bestämt jämförelseplan.
Årsreglering	Reglering på längre sikt som syftar till att spara vatten från överskottstid (vårflod och tillfällen med riklig mederbörd) till bristtid, t.ex. vinterperioden, för att matcha efterfrågan på el och för att minska spill av vatten förbi kraftverkets turbiner.
Återreglering	Reglering som syftar till att utjämna flödet från uppströmsliggande korttidsregleringar.

Hydrologiska termer	
Avbördningskurva	Diagram som visar relationen mellan vattenstånd och vattenföring vid en bestämmande sektion
Avdunstning	Vattenflöde som avdunstar, dvs vatten som byter fas från flytande till ånga. Används ofta som samlingsord för både avdunstning och transpiration, dvs vattenånga som växter avger till atmosfären genom fotosyntes. Benämns ET och uttrycks ofta i mm/tidsenhet.
Avrinning	Vattenflöde som rinner av marken till sjöar och vattendrag. Avrinningen är normaliserad per ytenhet och kan således jämföras mellan olika platser. Benämns q och uttrycks oftast i mm/tidsenhet.
Avrinningsområde	Område med gemensam dräneringspunkt för avrinningen.
Basflöde	Den del av vattenföringen som upprätthålls genom dränering av långsamma magasin, t.ex. grundvattenmagasin och sjöar och varierar i tiden med storleken på magasinen.
Bestämmande sektion	Plats längs ett vattendrag där vattenföringen har ett entydigt förhållande med vattenståndet direkt uppströms.
Lagring	Vatten som lagras i olika magasin på eller under marken, t.ex. som interception, snö, markvatten, grundvatten och ytvatten. Benämns S och uttrycks ofta i mm.
Naturlig vattenföring	Vattenföring (uppmätt eller beräknad) som är opåverkad av regleringar. Benämns ofta QN och uttrycks i m ³ /s eller l/s.
Nederbörd	Vattenflöde som tillförs marken från atmosfären i fast eller flytande form. Benämns P och uttrycks ofta i mm/tidsenhet.
Reglerad vattenföring	Vattenföring (uppmätt eller beräknad) som är påverkad av regleringar. Benämns ofta QR och uttrycks i m ³ /s eller l/s.
Varaktighetskurva	Diagram som visar den tid värdet av en viss parameter, t.ex. vattennivå eller vattenföring, inträffade eller överskreds, oberoende av kontinuitet i tid. Beräknas från data över en längre tidsperiod.
Vattendelare	Linje i terrängen som markerar gräns mellan avrinningsområden.
Vattenföring	Volym vatten som passerar genom en tvärsektion av ett vattendrag per tidsenhet. Benämns Q och uttrycks i m ³ /s eller l/s.
MQ	Medelvattenföring, medel av vattenföringen under en längre tidsperiod
MLQ	Medellågvattenföring, medel av varje års lägsta vattenföring under en längre tidsperiod.
LLQ	Lägsta lågvattenföring, minimum av vattenföring under en längre tidsperiod.

MHQ	Medelhögvattenföring, medel av varje års högsta vattenföring under en längre tidsperiod.
HHQ	Högsta högvattenföring, maximum av vattenföring under en längre tidsperiod.
HQ100	Högvattenföring med en statistisk återkomsttid på 100 år, beräknas statistiskt från vattenföringsdata för en längre tidsperiod.
HQ10	Högvattenföring med en statistisk återkomsttid på 10 år, beräknas statistiskt från vattenföringsdata för en längre tidsperiod.
MW	Medelvattenstånd, medel av vattenståndet under en längre tidsperiod.
MHW	Medelhögvattenstånd, medel av varje års högsta vattenstånd under en längre tidsperiod.
MLW	Medellågvattenstånd, medel av varje års lägsta vattenstånd under en längre tidsperiod
LLW	Minsta vattenstånd, minimum av vattenstånd under en längre tidsperiod.
HHW	Högsta vattenstånd, maximum av vattenstånd under en längre tidsperiod.
Q95	Lågvattenföring som inträffar eller överskrids 95% av tiden. Denna kan avläsas ur varaktighetskurvan.

Energibegrepp

Effekt	Ett vattenkraftverks maximala förmåga att producera elenergi per tidsenhet kallas effekt och anges i enheten watt, eller för kraftverk av normalstorlek i enheten MW (miljoner watt). Kraftverkens effekt är beroende av hur mycket vatten som kan passera genom turbinerna (kallas ofta slukförmåga eller utbyggnadsvattenföring) och fallhöjden. Den maximala effekten kan vanligtvis endast nyttjas delar av året - när vattenflödet är högt. Om ett kraftverk byggs ut med större/ fler turbiner för att få högre effekt så kan det under de tillfällen på året då samhället behöver mycket el och priset är högt produceras mer elenergi. Men samtidigt töms magasinet snabbare på vatten varför produktionen minskar i motsvarande grad under andra årstider.
Energi	Energi är ett mångdbegrepp. Om exempelvis en glödlampa med effekten 40 W är tänd under 5 timmar (h) används 200 Wh (Effekt x tid) vilket är det samma som 0,2 kWh (k betyder kilo eller tusen). Den enheten känner vi igen från våra elräkningar. Elproduktion mäts i samma enhet men eftersom dessa anläggningar oftast är större används vanligtvis enheterna MWh eller GWh som är det samma som tusen respektive en miljon kilowattimmar (kWh). För Sveriges totala energiproduktion (eller användning) är det mest praktiskt att använda den ännu större enheten TWh som är en miljard kilowattimmar.

Vattenförvaltning	
Vattenförekomst	Vatten som omfattas av vattenförvaltningen dvs den svenska tillämpningen av EU:s vattendirektiv.
Status	Beskriver vattenkvaliteten i en vattenförekomst och inkluderar både ekologisk och kemisk status (som avser halterna av miljögifter). Statusen klassificeras i en femgradig skala; hög, god, måttlig, otillfredsställande och dålig. Utgångspunkten är att alla vatten ska på sikt ska uppnå God status – om inte undantag har beslutats i form av tidsfrist eller mindre stränga krav.
Ekologisk status	Klassningen av ekologisk status och potential bygger på bedömningar av biologiska, fysikalisk-kemiska och hydromorfologiska kvalitetsfaktorer. För varje faktor bedöms en eller flera parametrar. Mätningar av parametrarna fisk, bottenlevande djur, kiselalger, plankton och vattenväxter ger svar på den biologiska kvaliteten i sjöar, vattendrag och kustområden.
Hydromorfologiska kvalitetsfaktorer	Hydromorfologiska kvalitetsfaktorer är mått på mänskliga förändringar av vattnens flöde och fysiska förutsättningar. Här bedöms parametrar som förekomst av vandringshinder och vattenreglering (årsreglering och korttidsreglering).
Miljökvalitetsnormer	Miljökvalitetsnormer anger den lägsta godtagbar status (oftast "God") som varje vatten ska uppnås vid en viss tidpunkt så att ekosystemen fungerar och ekosystem-tjänsterna bibehålls. Miljökvalitetsnormer är rättsligt styrande för myndigheter och kommuner i olika sammanhang. Miljökvalitetsnormerna beslutas av vattendelegationen i respektive vattendistrikt. Som även beslutar om ett åtgärdsprogram med de åtgärder som behövs för att uppnå normerna.
Kraftigt modifierade vatten (KMV)	En vattenförekomst som är så kraftigt påverkad (modifierad) av en från allmän synpunkt väsentlig verksamhet (t. ex. vattenkraft) att den på ett väsentligt sätt har ändrat sin fysiska karaktär samtidigt som de åtgärder som behövs för att uppnå God status skulle få en betydande negativ inverkan på verksamheten.
God ekologisk potential	Miljökvalitetsnorm för kraftigt modifierade vatten och som innebär lägre ställda krav för vissa kvalitetsfaktorer än god status.
Miljömål	Miljökvalitetsmålen beskriver det övergripande tillstånd som allt miljöarbete ska leda till. Sveriges miljömål beslutas av riksdag och regering. Många kommuner har också egna nedbrutna mål för miljöarbetet.
Övrigt	
Flottled	Vattendrag och sjöar som användes till flottning av timmer, massaved och tjära.
Kungsådra	En del av strömfåran i vissa av Sveriges vattendrag, vilka i äldre tid och fram till 1983, enligt lag, inte fick stängas eller överbyggas. För att inte fisket, sjöfarten eller flottningen skulle hindras. Uttrycket Kungsådra är tidigast känt i en så kallad konungsdöm från den 2 augusti 1442.
Hundraårsflöde	Det vattenflöde som på en viss plats i vattendraget statistiskt sett inträffar i genomsnitt en gång på hundra år. Sannolikheten att ett 100-årsflöde blir

verklighet under en hundraårsperiod är 63 procent och under en 50-årsperiod 39 procent.

Högsta flöde

Detta flöde beräknas enligt med flödeskommitténs riktlinjer för dimensionering av damma i klass 1. Återkomsttid är i storleksordningen cirka 10 000 år.



2017-01-17

Niclas Hjerdt

Osäkerheter i statusklassning

Statusklassning av hydrologisk regim enligt HVMFS 2013:19 bygger på jämförelser mellan tidsserier av reglerad och oreglerad vattenföring och beräkning av ett antal parametrar som mäter skillnaderna mellan de olika tidsserierna. SMHI har genomfört statusklassning med avseende på parametrarna volymsavvikelse (1) och flödets förändringstakt (2):

$$V_Q[\%] = \frac{MEDEL(ABS(QR_i - QN_i))}{MEDEL(QN_i)} * 100 \quad (1)$$

$$FF[\%] = \left\{ \frac{SUMMA(ABS(QR_i - QR_{i-1}))}{SUMMA(ABS(QN_i - QN_{i-1}))} - 1 \right\} * 100 \quad (2)$$

där V_Q betyder volymsavvikelse och FF betyder flödets förändringstakt. QR och QN är den reglerade respektive naturliga vattenföringen.

Som ekvationerna (1) och (2) visar så är enstaka extremvärden inte utslagsgivande eftersom bägge parametrarna beräknas som medelvärden över en längre tidsperiod, helst 10 år. Nolltappning vid enstaka tillfällen kan därför förekomma utan att ge dålig eller otillfredsställande status. I Dalälvens huvudflöde förekommer inte nolltappning, men extremt låga/höga tappningar kan förekomma.

För att kunna beräkna (1) och (2) i alla vattendragssträckor i Dalälven har SMHI använt en kombination av modell och mätvärden. I grunden har två modeller använts, en modell som beskriver reglerad vattenföring (QR) och en annan modell som beskriver naturlig vattenföring (QN). Båda modeller drivs med nederbörd och lufttemperatur som finns beräknade varje dygn med ett 4*4 km grid över hela landet.

Grundmodellerna beräknar vattenföring med dygnsupplösning, men för att återge korttidsregleringar inom dygnet beräknas reglerade vattendragssträckor med timupplösning. Mätdataserier från vattenkraftverk används för att uppdatera QR -modellen. Naturlig tillrinning hämtas från grundmodellen med dygnsupplösning, där alla timmar inom dygnet antas ha konstant tillrinning.

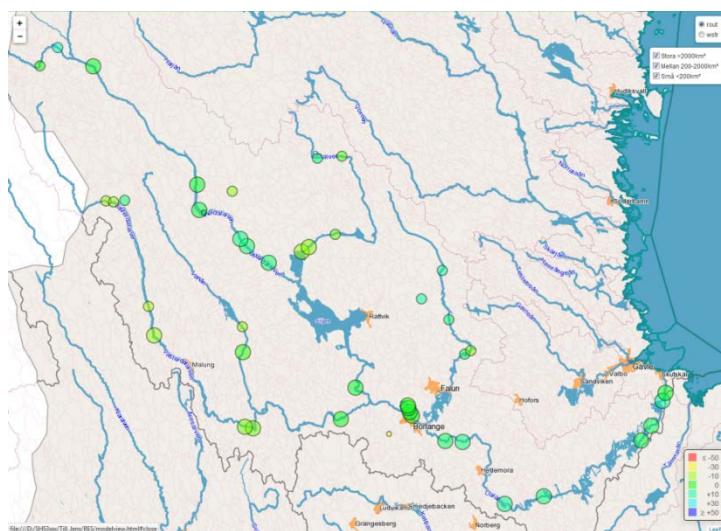
Ett grundproblem är att de bägge kvalitetsfaktorerna (1) och (2) beräknar skillnader mellan QR och QN som inte helt beror av regleringar. Eftersom endast QR uppdateras med mätdata blir jämförelsen mellan QR och QN även beroende av skillnader mellan simulerad och verklig vattenföring. Detta framgår inte minst av att den totala flödesvolymen över en längre tid kan skilja sig mellan QR och QN. Det kan finnas flera orsaker till detta: Den uppskattade nederbörden i avrinningsområdet kan skilja sig från den verkliga, det finns osäkerheter i modellens processbeskrivning, och det finns osäkerheter i den uppmätta vattenföringen.

Det finns behov av att kunna uppskatta hur stor del av skillnaden mellan QR och QN som inte beror av regleringar så att detta inte påverkar statusklassningen, men något sådant arbete har inte genomförts inom detta projekt

Inom arbetet med att beskriva Dalälvens vattenkraftssystem har ett antal osannolika värden för de hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna uppmärksamats vilka visat sig bero på någon av nedanstående fyra faktorer. Det är viktigt att uppmärksamma dessa osäkerheter i normsättning och vattenförvaltningsarbetet;

1 Osäkerheter i mätdata och/eller modeller

Mätdataserier från närliggande kraftverk utan större mellanliggande tillflöden kan uppvisa relativt stora skillnader i vattenföring, vilket återspeglar osäkerheter i mätdata. Det finns exempel i Dalälven där det skiljer mer än 10% i uppmätt flödesvolym mellan närliggande kraftverk. Skillnaderna kan även bero på andra orsaker, t.ex. att data från det ena kraftverket kanske inkluderar både produktionsflöde och spill, medan data från ett annat kraftverk bara inkluderar produktionsflödet.

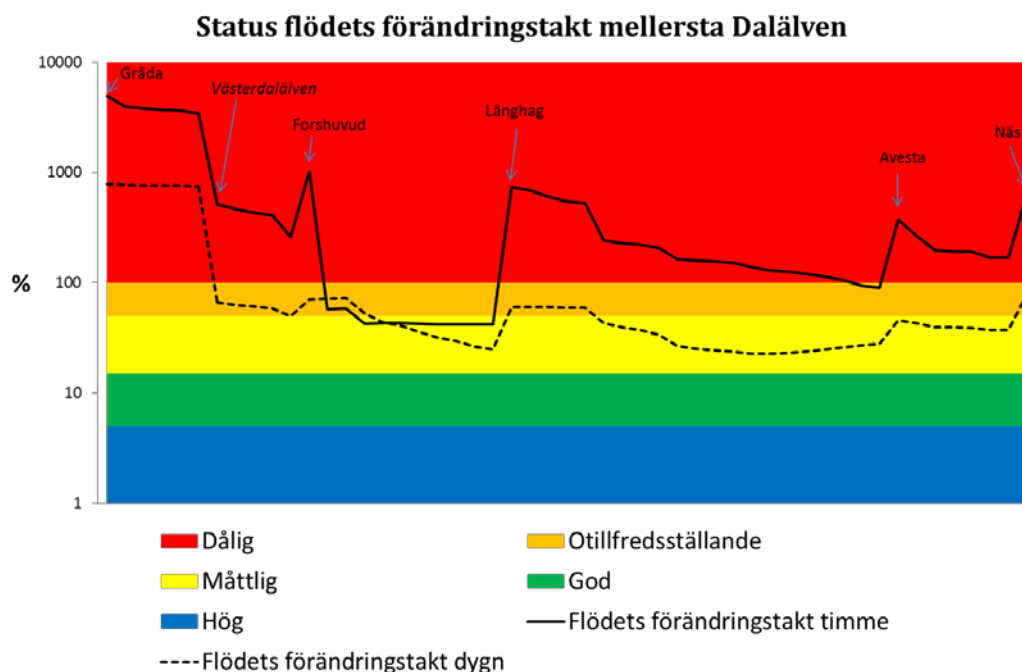


Figur 1. Lokaler i Dalälvens avrinningsområde där modellen utvärderats mot mätningar.

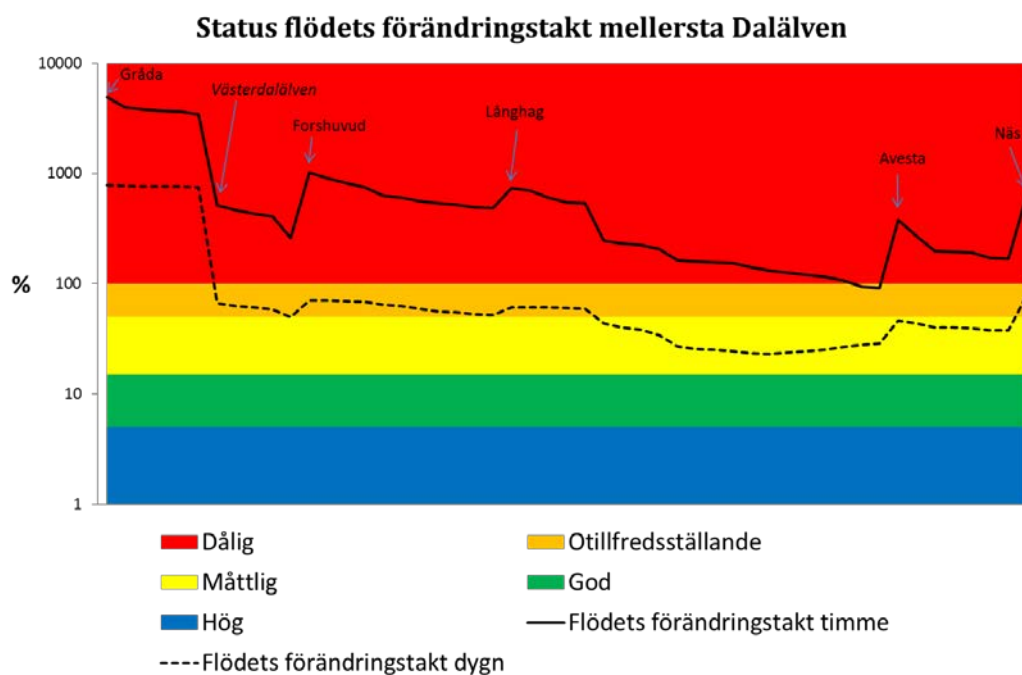
I Svärdsjövattdraget uppströms Runn finns vattenföringsdata från fem mätstationer. I de tre övre stationerna underskattar modellen vattenföringen med 5-10%, medan i de två nedre stationerna sker istället en överskattning med ca 5-10%. Den mest troliga förklaringen i detta fall till att vattenbalansen kan skilja sig så mycket mellan närliggande stationer är att det finns osäkerheter i mätdata.

2 Mätdata med olika tidsupplösning

Statusklassning med avseende på flödets förändringstakt gav inledningsvis märkliga resultat i mellersta Dalälven. I Borlänge finns fyra kraftverk på rad utan regleringsmagasin. Endast mätdata från det första kraftverket, Forshuvud, fanns tillgängliga med timupplösning. Mätdata från de övriga tre kraftverken fanns med dygnsupplösning. När variationerna på timbasis ersattes med variationer på dygnsbasis så medförde detta att flödets förändringstakt minskade drastiskt nedströms Forshuvud, åtminstone i statusklassningen med timdata (Figur 2). Detta var en effekt av övergången från tim- till dygnsdata och hade inget med regleringarna att göra. Lösningen på detta problem var att endast uppdatera modellen med timdata i Forshuvud och låta modellen beräkna den reglerade vattenföringen nedströms utan vidare uppdatering i de övriga tre kraftverken (Figur 3).

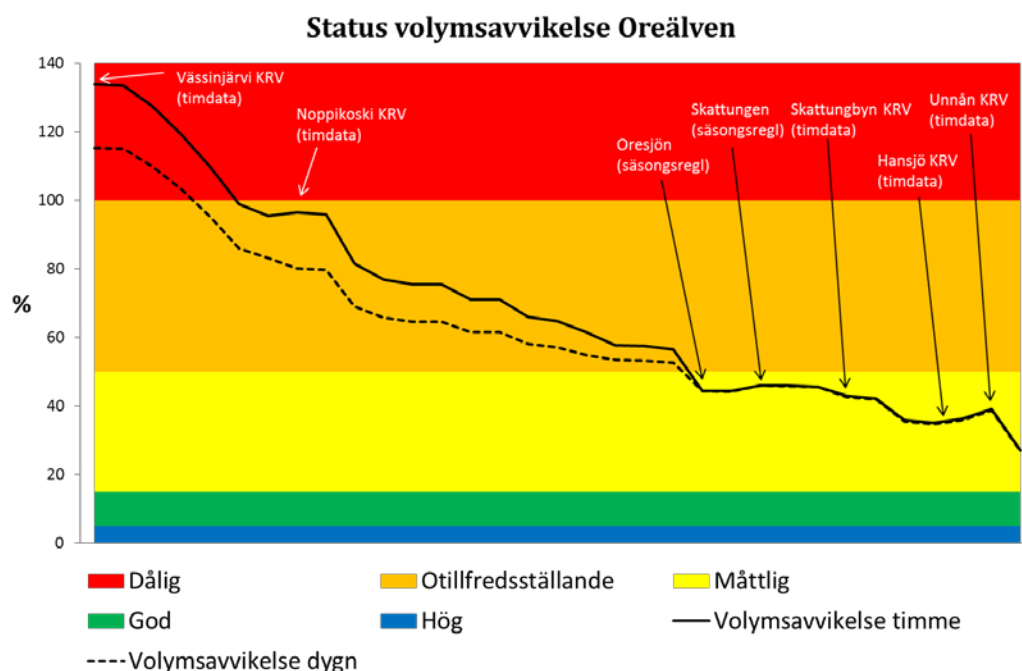


Figur 2. Status enligt flödets förändringstakt med uppdatering av modellen vid samtliga fyra vattenkraftverk i Borlänge.

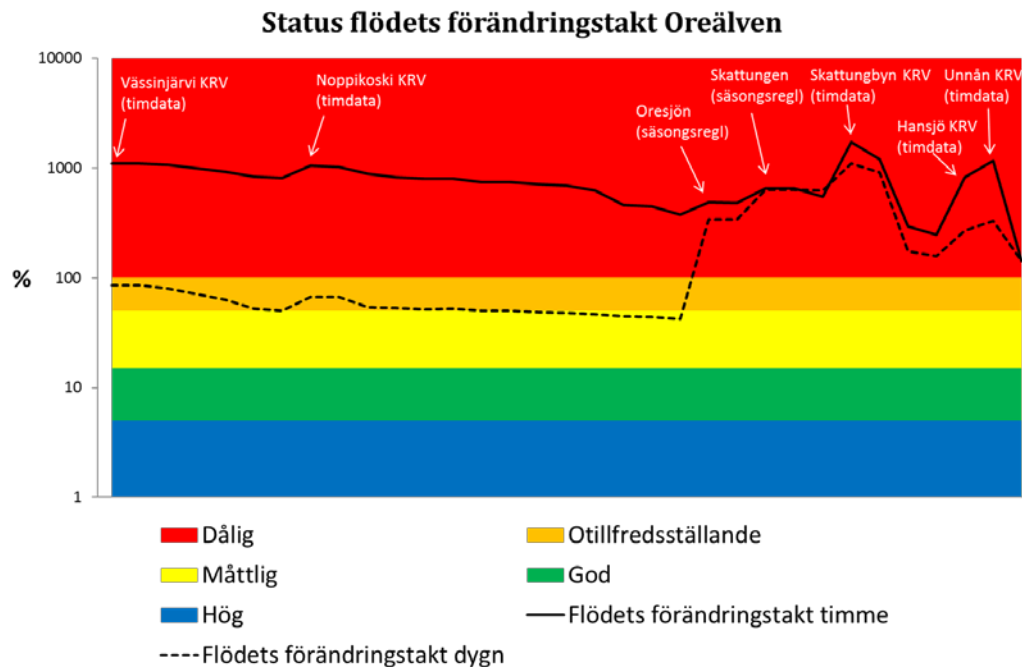


Figur 3. Status enligt flödets förändringstakt med uppdatering av modellen endast vid Forshuvud vattenkraftverk i Borlänge.

I Oreälven visar statusklassningarna att påverkan enligt parametern volymsavvikelse minskar i nedströmsriktningen (Figur 4). Intressant är att klassningen med tim- respektive dygnsdata skiljer sig på den övre delen men ej i den nedre delen av Oreälven.



Figur 4. Status i Oreälven med avseende på volymsavvikelse med markeringar där modellen antingen regleras med en regleringsrutin (säsongsgregering), samt där modellen uppdateras med mätdata från kraftverk (timdata).



Figur 5. Status i Oreälven med avseende på flödets förändringstakt med markeringar där modellen antingen regleras med en regleringsrutin

(säsongreglering), samt där modellen uppdateras med mätdata från kraftverk (timdata).

I Oreälven, liksom i de flesta andra delsträckor av Dalälven, används alltså en blandning av mätdata från kraftverken och uppskattade regleringsrutiner som beskriver säsongregleringarna. Regleringen av Oresjön och Skattungens kommer naturligtvis med genom uppdateringen i Skattungbyn och mätdata från kraftverket, men eftersom Skattungbyn ligger en bit nedströms skulle vattenföringen i sjöarnas utlopp se oreglerad ut utan regleringsrutinerna, dvs då skulle endast regleringarna längre uppströms påverka sjöarna.

3 Osäkerheter i beskrivningen av säsongregleringar

Ett drygt hundratal säsongregleringar finns beskrivna i modellen för Dalälven. Vissa av dessa regleringar är stora och väl dokumenterade, t.ex. Trängslet och Siljan, med uppgifter för både amplitud och regleringsvolym. Andra mindre säsongregleringar är sämre beskrivna.

Inom projektet Dalälvens vattenkraftssystem finns uppgifter om ett 30-tal mindre sjöar där säsongreglering bedrivs men där det inte finns några uppgifter om varken amplitud eller regleringsvolym. För att dessa mindre sjöar överhuvudtaget ska få en regleringspåverkan i beräkningarna användes schablonvärden för säsongregleringarna. En analys av liknande sjöar med uppgifter om regleringsamplituder gav ett medelvärde på 1,5 meter som användes för alla sjöar utan specifik regleringsinformation. Regleringsvolymen i varje sjö antogs vara regleringsamplituden multiplicerad med sjöns area.

Det finns tecken på att de schablonvärden som använts för att beskriva säsongregleringarna skulle behöva ses över. I t.ex. Vanån gav modellen en något sämre överensstämmelse med mätdata efter att schablonregleringar lagts in längre upp i avrinningsområdet. Den bästa lösningen skulle naturligtvis vara att systematiskt kontrollera uppgifterna för varje sjö och ersätta schablonvärden med faktiska värden på regleringsamplitud och regleringsvolym.

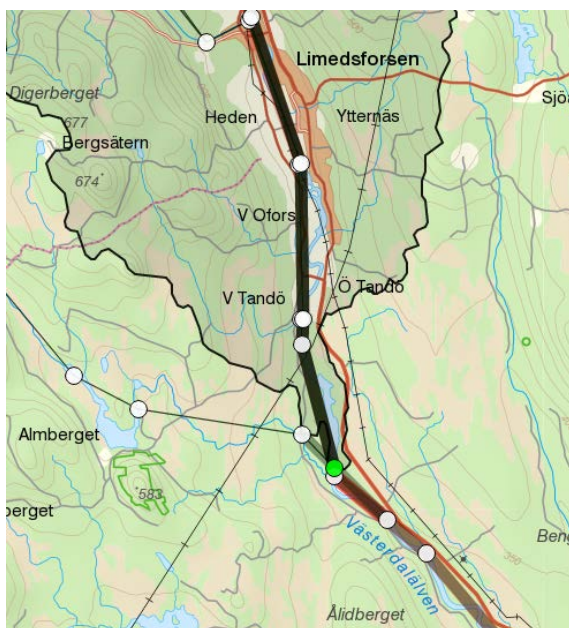
I vissa fall tycks de uppskattade säsongregleringarna representera verkligheten väl, t.ex. i Oresjön och Skattungens. Det sker ingen nämnvärd förändring av volymsavvikelsen när uppdatering med mätdata sker längre nedströms i Skattungbyn (Figur 4). Däremot ökar flödets förändringstakt något vilket indikerar att kraftverket i Skattungbyn även korttidsregleras i någon utsträckning, men regleringsrutinerna som lagts in i Oresjön och Skattungens omfattar inte korttidsregleringar.

4 Osäkerheter kring referensförhållandet

Statusklassningen med de hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna (1) och (2) är inte bara beroende av hur pass väl den reglerade vattenföringen beskrivs, utan även hur referensförhållandet (dvs. den naturliga vattenföringen, QN) karaktäriseras. Osäkerheter kring referensförhållandet är troligtvis den mest osäkra faktorn i hela statusklassningen eftersom det oftast finns begränsad historisk information. Det är inte ovanligt att regleringspåverkan pågått i 100 år eller längre tid.

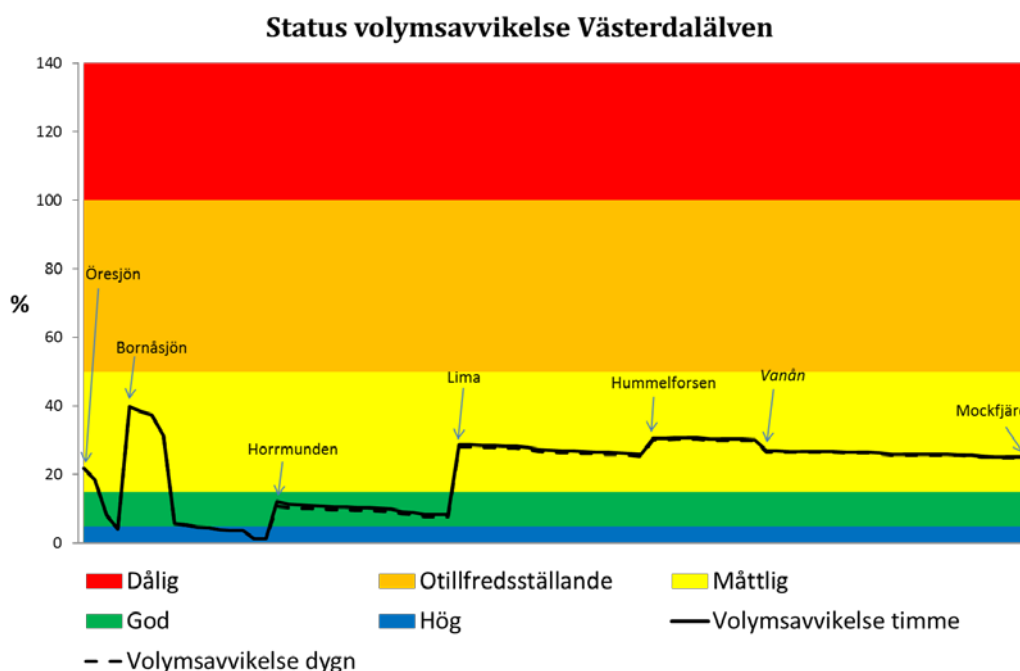
När SMHI använder modell för att beräkna referensförhållanden (QN) utgår man från en modell av dagens förhållanden (QR). Man använder samma klimatdata (nederbörd och lufttemperatur) och samma beskrivning av avrinningsområden, jordarter och markanvändning. Däremot ersätts alla regleringsrutiner med naturliga avbördningskurvor, och i vissa fall ersätts även dämningssområden med vattendragssträckor. Eventuella överledningar av vatten genom tunnlar, rör eller kanaler tas också bort, och vattnet antas följa den naturliga flödesvägen.

De eventuella hydrografiska skillnaderna i beskrivningen av reglerade och naturliga förhållanden kan påverka statusklassningen eftersom vattenmängderna kan skilja sig åt. Ett exempel är Lima kraftverk i Västerdalälven där biflödet Alman mynnar (Figur 6).



Figur 6. Västerdalälven kring Lima kraftverk (grön punkt) och biflödet Alman (anslutande tunn linje från vänster). Den reglerade vattenföringen från Alman ansluter till Västerdalälven vid kraftverket medan den naturliga vattenföringen (blå vattendragslinje i bakgrundskartan) ansluter nedströms kraftverket (till vit punkt direkt nedströms kraftverket, delvis bakom den gröna punkten).

Alman har sitt naturliga lopp med mynning strax nedströms platsen där Lima kraftverk ligger, men idag leds huvuddelen av Almans flöde till dammen uppströms kraftverket. Det betyder att flödesvolymen i utloppet av dammen skiljer sig mellan dagens reglerade tillstånd och referensförhållandet, vilket även påverkar de beräknade värdena för de hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna (1) och (2), vilka indikerar ett tydlig regleringspåverkan och måttlig status. Se Figur 7.



Figur 7. Status med avseende på volymsavvikelse längs Västerdalälven.

I ett fåtal fall har SMHI haft information om ursprungliga avbördningskurvor i nu reglerade sjöar, och då har dessa används för att beskriva den naturliga avbördningskurvan. På de flesta platser har SMHI uppskattat de ursprungliga avbördningskurvorna genom att anpassa s.k. generella avbördningskurvor. En generell avbördningskurva karakteriseras med hjälp av följande ekvation:

$$Q = k(W - W_0)^m$$

där Q är vattenföringen i sjöns utlopp, W är vattenståndet i sjön, W_0 är vattenståndet där utflödet upphör (dvs höjden på tröskeln i sjöns utlopp), k är

en konstant och m är en exponent. De okända parametrarna k och m uppskattas för varje sjö med utgångspunkt i en regressionsanalys av data från oreglerade sjöar i landet. Denna analys visar hur parametrarna förhåller sig till sjöns storlek, bredden på sjöns utlopp samt uppströmsområdets storlek.

I SMHI Vattenwebb har den naturliga vattenföringen uppskattats för samtliga vattendrag i landet genom att använda generella avbördningskurvor. Den resulterande vattenföringen har visat god överensstämmelse med naturlig vattenföring som beräknats på andra sätt, t.ex. av olika kraftbolag, som del av vattendom. Detta garanterar inte att den beräknade naturliga vattenföringen överensstämmer med det ursprungliga förhållandet, men det finns inte så många sätt att ta detta vidare utan ytterligare historisk information.

