

Bilaga 1 Metodbeskrivning för genomförda beräkningar och avvägningar

Innehållsförteckning

| | |
|---|----|
| 1. Inledning | 3 |
| 2. Metod för naturvärdesbedömning | 3 |
| 2.1. Naturvärdesklassning av svämplanet och värden i vattnet samt konnektivitet | 3 |
| 3. Metod för bedömning av åtgärder för att uppnå maximal samt god ekologisk potential | 9 |
| 4. Metod för beräkningar av produktion och produktionsbortfall..... | 10 |
| 4.1. Beräkning av produktion och produktionsförluster | 10 |
| 4.2. Datakällor..... | 12 |
| 4.3. Konsekvensberäknade åtgärder..... | 12 |
| 4.4. Praktiskt genomförande av beräkning | 13 |
| 4.5. Data och periodisering..... | 13 |
| 4.6. Metod för beräkning av produktionsbortfall för naturliga vatten (Ej KMV) | 14 |
| 5. Metodbeskrivning och dataunderlag för den samhällsekonomiska kostnadsbedömningen..... | 15 |
| 5.1. Principiell beskrivning av metoden | 15 |
| Referenser..... | 18 |

1. Inledning

Som utgångspunkt för miljö kvalitetsnormer för kraftigt modifierade vatten (KMV) görs en bedömning av vilka miljöförbättrande åtgärder vid de påverkande verksamheterna som ger en ekologisk nytta i berörda vattenförekomster. Därefter görs en avvägning av vilka åtgärder som är tekniskt möjliga och ekonomiskt rimliga att genomföra samt vilka åtgärder som ger en betydande ekologisk nytta. Detta bedöms sedan i förhållande till vilken inverkan åtgärderna får på det svenska energisystemet. Bedömningar av åtgärdernas effekter för miljön och för verksamheten behöver därför göras dels per vattenförekomst, dels ur ett avrinningsområdesperspektiv och dels ur ett nationellt perspektiv.

Vi beskriver nedan de underlag som legat till grund för dessa bedömningar och hur de tagits fram.

2. Metod för naturvärdesbedömning

Vattenmyndigheterna har gett länsstyrelserna i uppdrag att peka ut åtgärdsbehovet för KMV samt bedöma nyttan med åtgärder för att uppnå god ekologisk potential. För att få nationell enhetlighet i bedömning behövdes ett gemensamt underlag. Det gemensamma underlaget bestod i ett antal GIS-skikt som för naturvärdesbedömningen bestod av fyra delar;

- Naturvärdesklassning av svämplanet. Arter och livsmiljöer på stränder kan påverkas negativt av ändrade översvänningsregimer orsakade av vattenkraften.
- Naturvärdesklassning av värden i vattnet samt konnektivitet. Många djurarter är beroende av att kunna sprida sig uppströms och nedströms i vattendrag för att nå lek- och uppväxtområden. Vandringsmöjligheter har starkt begränsats av vattenkraftverk och dammar.
- Identifiering av strömsträckor. Strömsträckor är viktiga livsmiljöer för många djurarter som lek- och uppväxtområden. De är dessutom starkt påverkade av vattenkraften genom exempelvis överdämning.
- Modellering av flöden i naturfåror. Naturfåror kan innehålla viktiga lek- och uppväxtområden för fisk och andra djur. Värdet av dessa beror på vilka arealer som kan återskapas genom att öka flödet genom dem.

Samtliga underlag kompletterades med länsstyrelsernas egen kunskap om de lokala förhållandena. Där den lokala kunskapen saknades kunde det gemensamma underlaget bli länsstyrelsens bedömning.

2.1. Naturvärdesklassning av svämplanet och värden i vattnet samt konnektivitet

Utgångspunkten i arbetet är Havs- och vattenmyndigheten (2015). Områden har klassats efter hur värdefulla naturvärden de har och fått en naturvärdesklass där klass 1 är högsta naturvärde och klass 5 lägsta naturvärde. Vattenmyndigheterna har dock valt att fokusera på Naturvärdesklass 1–3 (se bilaga 3 i ovan nämnda rapport) på grund av brist på nationella dataunderlag i klasserna 4 och 5. Vi ser inte heller att de låga naturvärdena i

klasserna 4 och 5 kommer att motivera åtgärder i kraftverken som ligger till grund för utpekandet av KVM.

Svämplan

Flödesberoende naturvärden på svämplanet sammanställdes på alla vattenförekomster där hydrologisk påverkan från vattenkraften kan finnas. Urvalet är gjort från SMHI:s stationskorrigerade flödesinformation av flödets förändringstakt och volymsavvikelse där hydrologisk regim är klassad som måttlig status eller sämre.

Eftersom klassningen baseras på värden på svämplanet, inte i vattnet, ingår endast landbaserade vattenanknutna värden (exempelvis våtmarker, svämningar och svämskogar).

Grunden för klassningen är att högsta naturvärde som finns på svämplanet bestämmer hela vattenförekomstens naturvärdesklass. I tabell 1 listas vilket nationellt täckande och tillgängligt GIS-underlag som användes vid klassningen. Dessa granskades av länsstyrelserna så att endast naturvärden knutna till svämplanet finns med och att fel som beror på olikheter i digitalisering korrigerades. Vid analysen har överlappande värden inom varje naturvärdesklass klipps bort så man fått en total area per naturvärdesklass.

Klassningen har således baserats på en analys över vilka naturvärden som finns på svämplanet till de hydrologiskt påverkade vattenförekomsterna.

Tabell 1. Naturvärdesunderlag använda i analysen av naturvärdesklass på svämplanet. Justerad efter bilaga 3 i Havs- och vattenmyndigheten (2015) För att bara få med relevanta vattenanknutna värden på svämplanet sållades vissa av underlagen av vattenmyndigheten medan andra granskades av länsstyrelserna.

| Naturvärdes-klass | Underlag | Kommentar |
|--------------------------|--|--|
| Klass 1 | Natura 2000 / Naturtypskartan NNK Yta samt Linje | Sållades efter vattenberoende naturtyper |
| | Ramsarområden | |
| | Nationalparker | Granskades |
| | Naturresevat | Granskades |
| | Myrskyddsplan | |
| | Våtmarksinventering (VMI) klass 1 | |
| Klass 2 | Riksintresse för naturvården enligt 3 kap 6 § miljöbalken | Granskades |
| | Våtmarksinventeringen klass 2 | |
| | Ängs- och betesmarksinventeringen (Klasserna Äng och Bete) | Sållades efter vattenberoende naturtyper |

| | | |
|---------|---|--|
| | Skogsstyrelsen nyckelbiotoper | Sållades efter vattenberoende naturtyper |
| | Skogsbolagens nyckelbiotoper | Granskades |
| | Område skyddat mot vattenkraft enligt 4 kap 6 § miljöbalken | |
| | Vattenförekomster med hög ekologisk status | |
| Klass 3 | Klass 3 -4 i våtmarksinventeringen | |
| | Äng- och betesmarksinventeringen (Restaurerbar) | Granskades |
| | SKS Naturvärden | Sållades efter vattenberoende naturtyper |

Värden i vattnet - Konnektivitet

Det GIS-skikt som använts för aktuella vattenförekomster fokuserar på naturvärden i vattnet. Skiktet visar naturvärdesklass på alla vattenförekomster i avrinningsområdet. Till skillnad från flödesberoende naturvärden på svämplanet har inte gjort något urval gjorts av vattenförekomster eftersom en konnektivitetsåtgärd potentiellt kan gynna alla uppströms liggande vattenförekomster.

Grunden för klassningen är att högsta naturvärde som finns i vattenförekomsten bestämmer hela vattenförekomstens naturvärdesklass. I Tabell 2 listas vilket nationellt täckande och tillgängligt GIS-underlag som använts vid klassningen. Dessa granskades av länsstyrelserna så att endast naturvärden i vattnet finns med att fel som beror på olikheter i digitalisering korrigerades. Länsstyrelserna hade möjlighet att lägga till naturvärden för regionalt särskilt värdefulla vatten samt regionalt värdefulla vatten.

Vid analysen har överlappande värden inom varje naturvärdesklass klipps bort så man fått en total area per naturvärdesklass.

Tabell 2. Naturvärdesunderlag använda i analysen av naturvärdesklassning av värden i vatten och konnektivitet. Justerad efter bilaga 3 i Havs- och vattenmyndigheten (2015). Inga nationellt tillgängliga underlag finns i Klass 3–5 men vissa länsstyrelser har kompletterat med regionalt värdefulla vatten. För att bara få med relevanta vattenanknutna värden sällades vissa av underlagen av VM medan andra granskades av länsstyrelserna.

| Naturvärdes-klass | Underlag | Kommentar |
|-------------------|---|--|
| Klass 1 | Natura 2000 / Naturtypskartan NNK Yta samt Linje | Sällades efter vattenberoende naturtyper |
| | Nationellt särskilt värdefulla vatten (NV och FiV) | |
| | Nationalparker | Granskades |
| | Naturresevat | Granskades |
| Klass 2 | Nationellt värdefullt vatten (NV och FiV) | |
| | Område skyddat mot vattenkraft enligt 4 kap 6 § miljöbalken | Naturvårdsverket |
| | Riksintresse för naturvärden enligt 3 kap 6 § miljöbalken | Granskades |
| | Vattenförekomster med hög ekologisk status | |
| Klass 3 | Regionalt särskilt värdefulla vatten | |
| Klass 4 | Regionalt värdefulla vatten | |

GIS-analys av naturvärdesklassningen

GIS-analysen som användes för naturvärdesklassningen var en överlagringsanalys. Med denna analysmetod lägger man GIS-skikt på varandra så nya sammansatta data skapas. En rangordning av olika GIS-skikts gjordes innan analysen enligt naturvärdesklasserna i tabell 1 och 2. Ytor från underliggande GIS-skikt togs bort från analysen. Även små omkringliggande ytor som berodde på bristfällig digitalisering togs bort. Resultatet blev ett heltäckande GIS-skikt som representerade naturvärden i analysen. GIS-skiktet hade inga överlapp och saknade ytor mindre än 0,1 hektar.

Nästa moment i analysen var att klippa ut ytor från naturvärdesskiktet som matchade vattenförekomsten och dess svämplan. För att förbättra noggrannheten i analysen användes ett vattenförekomstskikt som baserades på fastighetskartans hydrografi. Linjerna buffrades 3 meter och ytbildade vattendrag och sjöar delades i vattenförekomster.

För att öka noggrannheten för svämplanets utbredning gjordes en ny analys för norra Sverige, då nya höjddata fanns för dessa områden. Svämplanen togs fram genom en vertikal buffert på 1,5 meter med nationella höjdmodellen som indata. Detta resultat motsvarar nivån vid ett hundraårsflöde.

Länsstyrelserna fick i uppdrag att kvalitetssäkra resultatet. Genom en nationell SDE-databas kunde alla länsstyrelser komma åt GIS-skikten och redigera dem. Det kvalitetssäkrade resultatet användes för att bedöma naturvärdena uppströms och nedströms KMV.

Arbetet resulterade i att alla vattenförekomster innehöll information om vilka naturvärden som överlappar svämplanet eller vattnet, vilken naturvärdesklass naturvärdet har samt med vilken areal det överlappar.

Identifiering av strömsträckor

En GIS-analys genomfördes som syftade till att dela in vattendrag efter lutningsgrad. Målsättningen var att identifiera vattendragsträckor i ett lutningsintervall som är samma som en strömsträcka.

Analysen inleddes med att vattendragslinjer från fastighetskartan och vattendrags mittlinjer från tidigare projekt lades på den nationella höjdmodellen. Därmed fick linjen höjdvärden i dess längdriktning. För att få bort brus från höjdmodellen användes ett glidande medelvärde så att linjerna fick en negativ lutning. Därefter delades linjerna in i tio meter långa segment med tillhörande medellutning. Segment valdes ut inom lutningsintervallet 0,2 till 2 procent, vilket ska motsvara strömsträckans lutning. Segment med samma slut- och startnod sattes ihop till längre heltäckande linjer och sträckor mindre än tio meter valdes bort. Analysresultatet granskades med en fältkontroll. Resultatet av fältkontrollen visade att hälften av sträckorna kunde klassas som strömsträckor.

Efter fältkontroll av strömsträckorna inleddes ett jobb att förbättra analysen. Att minska segmentens längd visade sig ge bästa förbättringen. Datamängden växte dock avsevärt och ställde höga krav på både planering och datorkapacitet. För att minska segmenten användes också en mer detaljerad höjddatainformation där minsta segmentlängd blev en meter.

Ytterligare förbättring var att använda det nya nätverksbildade linjeskiktet från projektet Hydrografi i Nätverk (Lantmäteriet 2018). Data från detta projekt släpptes succesivt under KMV-projektet. Där data saknades användes ovan kombination av linjer från fastighetskartan och mittlinjer från tidigare projekt. Målsättningen var dock att alla strömsträckor skulle baseras på data från Hydrografi i Nätverk. Största förbättring var att mittlinjen från Hydrografi i Nätverk var noggrannare digitaliserad. Övriga linjer från Hydrografi i Nätverk är digitaliserade i flödesriktningen, vilket underlättar användandet av det glidande medelvärdet, då fastighetkartans hydrografi måste riktas om för att passa analysen.

Även lutningsintervallet för strömsträckan förändrades. I en rapport från ICES fanns uppgift om att vid elfiske efter havsöring påträffades flest individer inom intervallet 0,40

till tre procent. Vattenmyndigheterna valde att ändra intervallet i analysen från 0,2 – 2 procent till 0,25 - 4 procent.

Urvalet av segmenten justerades för att förhindra fragmentering av de olika segmenten. För att kunna få längre sammanhängande sträckor behövdes mellanrummen fyllas igen. Detta löstes genom att mellanrum kortare än 50 meter med högre eller lägre lutningsintervall kompletterade strömsträckorna. Detta resulterade i längre sammanhängande strömsträckor. För att få bort ytterligare fragmenterade sträckor togs kortare sträckor än 100 meter bort från det slutgiltiga resultatet.

Arean för strömsträckans vattenyta togs fram för att kunna beräkna vilken betydelse strömsträckan har som uppväxtområde för fisk. Ytan hämtades ur GIS-skikt från Hydrografi i Nätverk samt från en buffrad sex meter bred yta för vattendraglinjer utan yta.

Ytterligare information inhämtades för att kunna sortera ut strömsträckor med risk att torka ut. Enligt SMHI kunde detta analyseras genom att koppla den lokala vattenbalansen till varje strömsträcka. Den lokala vattenbalansen finns för SMHI:s delavrinningsområden och fås genom kvoten mellan avdunstningen och nederbörden. Med hjälp av en rumslig koppling kunde alla strömsträckor inom respektive delavrinningsområde få ett värde för den lokala vattenbalansen. Med hjälp av nätverksbildade skiktet från Hydrografi i Nätverk gjordes även nätverksanalyser uppströms varje strömsträcka. För varje strömsträcka kopplades därmed uppgifter om sammanlagde rinnsträcka uppströms och sammanlagt antal sjöar och deras yta uppströms. Med dessa uppgifter kunde de sträckor med risk att torka ut sorteras ut. Även information om strömsträckan igår i en vattenförekomst finns i attributtabeln.

Modellering av flöden i naturfåror

Vid vissa vattenkraftsanläggningar torrläggs nerströms vattendrag. Oftast är det en damm med utlopp längre nedströms som åstadkommer denna torrläggning. Vilket flöde som ändå kan finnas i denna så kallade naturfåra kan variera. Även små konstruerade dammar kan finnas i naturfåran som behåller ett stillastående vatten i vattenfåran. För att utreda vilka flöden som krävs för att naturfåran ska fyllas med vatten görs ibland provtappningar. Under 2007 genomförde SMHI på uppdrag av Länsstyrelsen i Värmlands län hydrauliska mätningar i Klarälvens naturfåra vid provtappningar från Höljes kraftverksdamm. Vattenmyndigheterna undersökte möjligheten att efterlikna dessa inmätta värden med modelleringar från programvaran HEC-RAS 4.1.0 (Hydrologic Engineering Center's (CEIWR-HEC) River Analysis System) från US Army Corps of Engineers. Programvaran har funnits i 22 år och använts av många organisationer. Med hjälp av SMHI gjordes inställningar i HEC-RAS så att överstämmande resultat från inmätning i Höljes kunde modelleras. Utifrån dessa resultat formulerades en metod som användes för samtliga naturfåror i KMV. Alla dessa modelleringar är endimensionella.

Som indata till HEC-RAS har nationella höjdmodellen, vatteninformation från fastighetskartan och flödesinformation från SMHI:s vattenwebb använts.

Vattenmyndigheten modellerade den totala naturliga vattenföringen uppströms naturfåran för fem procent av medelvattenföringen och medellågvattenföring.

Vid försöken med provtappningen vid Höljes visade sig att Mannings skrovlighetskoefficient vara ett viktigt värde för att få överstämmande resultat mellan modellerade och verkliga resultat. Mannings tal är en sammanvägning av hur bottensubstratet i ett vattendrag påverkar flödet i kanalen. Ju mindre skrovlighet, desto större blir Mannings tal och desto lägre blir strömningsförlusterna i vattendraget. Genom att studera höjdmodellen och flygbilder har olika värden för Mannings skrovlighetskoefficient använts i våra analyser.

Vatteninformationen från fastighetskartan bestod i den utbredning naturfåran har vid högflöde. Denna information användes för att identifiera avgränsningen mellan vattendrag och strand i modelleringen. I vissa fall saknades denna information från fastighetskartan. I dessa fall hämtades den från historiska kartor eller höjdmodellens terrängskuggning.

Resultaten lagras i flera GIS-skikt vid länsstyrelsen interna system. Ett av GIS-skikten är ett vektor-data som visade hur mycket av naturfåran som vattenfylles. Två raster-skikt som visade vilka djup och vattenhastighet som gäller i olika delar av naturfåran finns också bland dessa GIS-skikt. Mer detaljerad information går att hitta via Länsstyrelsernas Geodatakatalog.

3. Metod för bedömning av åtgärder för att uppnå maximal samt god ekologisk potential

Utifrån rapporter och vägledningar från Havs- och vattenmyndigheten (2015, 2016) samt Halleraker et al. (2017) valdes åtgärder ut för att potentiellt ingå i god ekologisk potential (Tabell 3). Åtgärder för högflöden (vårflod) och miljöanpassad reglering är endast aktuellt för att uppnå målen i Natura 2000-områden. Nyttan av alla dessa åtgärder i vattenförekomster förklarade som KMV bedömdes sedan av länsstyrelserna med stöd av de nationella underlagen som presenteras ovan. Åtgärder som bedömdes ha ett betydande ekologiskt värde förväntas ge en väsentlig förbättring av de biologiska kvalitetsfaktorerna i den aktuella vattenförekomsten eller i uppströms/nedströms liggande vattenförekomster. Alla åtgärder med ett betydande ekologiskt värde motiverades dessutom utifrån vilken nytta åtgärden har för olika naturvärden, exempelvis vandrande fiskarter och tillgängliggjord areal lek- och uppväxtområden.

Åtgärder kunde också bedömas som att inte vara aktuella, exempelvis konnektivitetsåtgärder vid naturliga vandringshinder, eller där kunskapsunderlag saknas för att bedöma det ekologiska värdet. I god ekologisk potential ingår endast de åtgärder som bedömdes ha ett betydande ekologiskt värde.

Länsstyrelserna har också prioriterat värdefulla områden i behov av åtgärder på svämplan samt i sjöar och vattendrag inom respektive avrinningsområde utifrån de nationella naturvärdesunderlagen beskrivna ovan och länsstyrelsernas kunskaper om lokala förhållanden.

Tabell 3. Åtgärder som potentiellt kan ingå i god ekologisk potential.

| Huvudåtgärdstyp | Åtgärder | |
|--|---|---|
| Åtgärder för konnektivitet | I uppströms riktning | |
| | I nedströms riktning | |
| | Till avskurna biflöden | |
| Åtgärder för hydrologisk regim | Minimitappning i naturfåra | |
| | Minimitappning genom turbin | |
| | Tillföra högvattenflöden för svämplanet | |
| Åtgärder för morfologiskt tillstånd | Förbättra sedimenttransport nedströms ett kraftverk | |
| | Åtgärda erosion | Motverka förhöjd erosion |
| | | Åtgärda försvagad erosion |
| | Tillförsel av block, lekgrus och andra habitatstrukturer (exv. död ved) | |
| | Bryta sönder stenpäls | |
| | Utrivning av grunddammar | |
| | Återkoppla sidofåror och bakvatten | |
| | Åtgärder för fysikaliskt-kemiskt tillstånd | Åtgärder för onaturlig vattentemperatur |
| Åtgärder för onaturliga isförhållanden | | |
| Åtgärder för syreunderskott | | |
| Åtgärder för gasövermättnad | | |

4. Metod för beräkningar av produktion och produktionsbortfall

Detta avsnitt behandlar de tekniska förutsättningarna som ligger till grund för beräkningen av ingångsvärdena i den samhällsekonomiska kostnadsbedömningen. Avsnittet behandlar principerna för vattenkraft i allmänhet, produktionsberäkningar, produktionsbortfall och det dataunderlag som används i dessa. Utöver detta redogörs för de felkällor som identifierats i data och beräkningsmetodik.

4.1. Beräkning av produktion och produktionsförluster

Vattenkraftsproducenterna Vattenfall, Fortum, Uniper, Skellefteå kraft AB, Tekniska verken och Holmen Energi har genomfört beräkningar av konsekvenser i termer av produktionsförluster av miljöåtgärder i sina vattenkraftsanläggningar för att nå god ekologisk status och god ekologisk potential, jämfört med nuläget. Resultatet av dessa

beräkningar har i vissa fall presenterats på enskild anläggningsnivå och i vissa fall på huvudavrinningsområdesnivå. Vattenmyndigheterna har genomfört beräkningar på enskild anläggningsnivå, vilka har kalibrerats med vattenkraftsbolagens beräkningar på huvudavrinningsområdesnivå för att i större detalj beskriva de förväntade konsekvenserna. Dessa beräkningar har av vattenmyndigheterna använts som jämförelsematerial vid genomförandet av vattenmyndigheternas kompletterande och mer detaljerade beräkningar av de slutliga förslagen på åtgärder. Vattenmyndigheternas utgångspunkt är normalåret avseende flöden under tidperioden 1999–2015.

Vattenkraftverk är normalt sett kopplade till förekomst av någon form av damm/fördämning som gör att vatten på sin väg från hög höjd till låg höjd under tider kan lagras högre än nedanförliggande vattenyta. Detta gör att vattenkraften nyttjar vattnets högre lägesenergi ovanför dammen genom att då vatten tillåts strömma genom vattenkraftverket tappar det höjd och omvandlas till rörelseenergi i turbinen. Dammar och fördämningar kan också användas för att generera en högre fallhöjd för vattnet. Vattenkraften utgår alltså ifrån en omvandling av vattnets lägesenergi till rörelseenergi, som slutligen blir elektrisk energi. Vattenmyndigheternas och bolagens beräkningar utgår därför från principen om att lägesenergi är en potentiell energi.

I det tekniska system som ett vattenkraftverk utgör kommer det naturligtvis att finnas förluster. Dessa uppkommer direkt i turbinen, där denna inte kommer att kunna omvandla hela den lagrade lägesenergin till rörelseenergi, utan delar av denna kommer att behållas i form av rörelseenergi. En turbinaxel är ofta lagrad för att ge upphov till minimal friktion, men det kommer ändå alltid att finnas ett visst mått av sådan, vilket ger upphov till att rörelseenergin omvandlas till värmeenergi. I generatorer och transformatorer kommer också elektromagnetisk energi att omvandlas till värmeenergi, vilket ger upphov till att den lägesenergi som vattnet innehåller inte kommer att kunna genomgå en fullständig förvandling till elektrisk energi. Detta gör att den tekniska verkningsgraden kommer att vara lägre än den samlade lägesenergin. Utöver detta finns det också ofta en juridisk verkningsgrad, till exempel genom minimitappningar genom eller vid sidan av turbin eller olika dämmningsgränser vilka beslutats med stöd av lag som innebär att det kan komma att finnas verkningsgrader som är mer av juridisk än teknisk karaktär.

En viktig notering att göra i detta är att många vattenkraftverk, och kanske framförallt de som används för reglering över längre tidshorisonter såsom säsongvis kommer att ha en varierande höjd på både sin högsta punkt liksom på nollnivån. Detta gör att ett vattenkraftverk som vid sin övre dämmningsgräns direkt efter vårflod och snösmältning har en vattenyta på 400 meter över havet kan komma att ha en vattenyta som ligger 370 meter över havet precis innan vårflod och snösmältning börjar. För att hantera detta behöver beräkningar göras som tar hänsyn till den förändrade fallhöjden. Detta innebär i princip att energiproduktionen kommer att styras av en partiell differentialekvation, vilket vi inte använt. Detta innebär att vattenmyndighetens beräkning kommer att överskatta energiproduktionen då beräkningen av hänsyn till tidsåtgången endast har använt den maximala fallhöjden. Beräkningssteg och flödesdatainhämtning beskrivs i detalj i avsnitt 4.4.

4.2. Datakällor

Datakällorna utgörs av levererat data från vattenkraftsbolagen, vilka för beräkningens syften utgörs av framförallt fallhöjd, vilken uttrycks i meter. Data över vattenflöden har hämtats från SMHI's vattenweb, där de uppgifter som har använts är det modellberäknade vattenflödet i form av:

- Månadsvis faktiskt Medelvattenföring för åren 1999–2015
- Årsmedelvattenföring
- Naturlig Medellågvattenföring

Dessa uttrycks som kubikmeter per sekund (m^3/s) för perioden januari 1999 – december 2015. De övriga uppgifter som använts utgörs av flödesomräkningar.

4.3. Konsekvensberäknade åtgärder

Åtgärderna omfattar tre huvudsakliga åtgärder/åtgärds-kategorier:

1. **Minimitappning genom turbin (medellågvattenföring)**
 2. **Minimitappning genom naturfåra (medellågvattenföring)**
 3. **Fiskväg inklusive locktappning (5% av medelvattenföring samt $5 \text{ m}^3/\text{s}$ om 5% av medelvattenföring > $5 \text{ m}^3/\text{s}$)**
1. **Minimitappning genom turbin** innebär att man säkerställer ett kontinuerligt vattenflöde genom kraftverket och att detta också används för elproduktion. Detta kan innebära konsekvenser i form av minskad reglerförmåga i de fall det inte idag finns en vattendom om minimitappning. Detta kan också leda till att man framtvingar elproduktion under perioder då denna inte efterfrågas, vilket i vissa fall kan leda till ett negativt relativt reglerbidrag. Denna minimitappning uppgår i konsekvensberäkningen till medellågvattenföring.
 2. **Minimitappning i naturfåra** innebär vanligtvis att vattnet inte leds genom ett kraftverk utan i naturfåra som ligger vid sidan av kraftverket, även om det finns exempel på lösningar där kraftverk har byggts för att ta tillvara på delar av energin. Detta leder till en produktionsförlust och i de fall det finns uppströmsliggande magasinskapacitet, en minskad reglerförmåga. Det flöde som använts i konsekvensberäkningen uppgår till medellågvattenföring.
 3. **Fiskväg inklusive locktappning** innebär att fiskväg byggs, varefter vatten leds genom fiskvägen och/eller som lockvatten, vilket vanligtvis måste genomföras vid sidan av kraftverket, även om det finns exempel på att lockvatten används för kraftproduktion. Detta innebär en produktionsförlust och en minskad reglerförmåga för det fall att det finns uppströmsliggande magasinskapacitet. Det flöde som använts för konsekvensberäkningarna uppgår till fem procent samt $5 \text{ m}^3/\text{s}$. utöver detta har också beräkningarna i vissa fall justerats så att fiskväg inte alltid är öppen under hela året. I framförallt Norrland kommer isproblematik att försvåra eller omöjliggöra en effektiv fiskpassage via kammarrappor under årets kallaste månader,

varför beräkningsexempel med fiskväg som är öppen under perioden april – oktober har använts.

4.4. Praktiskt genomförande av beräkning

Beräkningsmodellen nyttjar ekvationen för lägesenergi:

$$E = m * g * h$$

Där E är energin i Joule, m är massan i kilo (för det flödande vattnet), g är gravitationskonstanten (9,81) och h är kraftverkets fallhöjd i meter.

Då $1 \text{ J/s} = 1 \text{ Watt (W)}$ är det enkelt att beräkna den lägesenergi som omvandlas till rörelseenergi och därefter till elektricitet i kraftverket om man känner till energin per tidsenhet.

$$W = E * t$$

Modellen tar ej hänsyn till kraftverkets verkningsgrad och ej heller en förändrad fallhöjd vilken kan vara beroende av magasinsfyllnadsgrad.

4.5. Data och periodisering

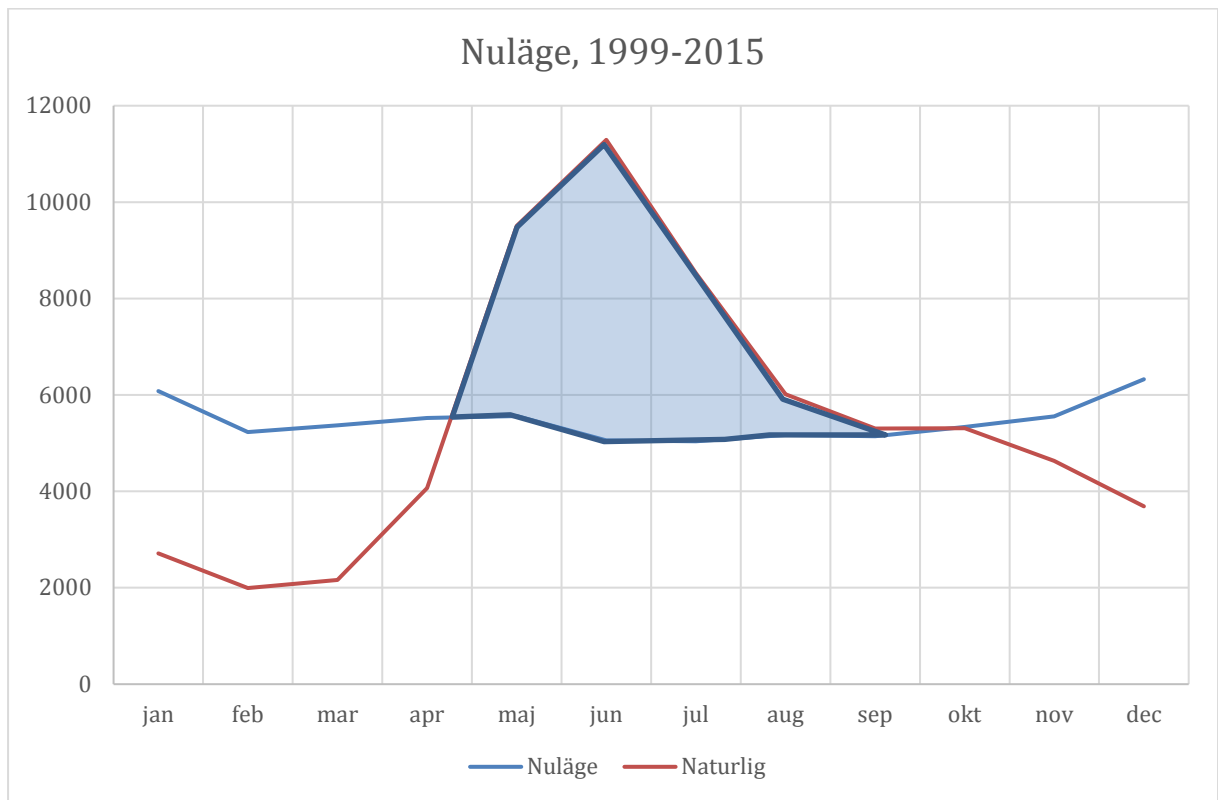
Data över flöden är hämtade från SMHI´s flödesmodeller.

Flödena är, då det är möjligt, hämtade i punkt precis ovan respektive kraftverk. De data som har använts i beräkningen är månadsdata som möjliggör beräkningar som tydliggör säsongsvariationen. Utöver detta har data över medellågvattenföring och medelvattenföring hämtats då åtgärder ofta har sin bas i dessa flödesnivåer.

Månadsmedelvärden är beräknade för perioden januari 1999 – december 2015.

Utifrån månadsmedelvärdena på Totalt flöde och Naturligt flöde har energiinnehållet i dessa beräknats uttryckt som GWh/medelmånad. Skillnaden utgör då ett mått på medelreglerförmågan på årsbasis i respektive kraftverk (i de fall det finns möjlighet att spara vatten på säsongsbasis) och en summering av alla kraftverk ger därmed reglerförmågan i hela avrinningsområdet.

Utifrån detta är det också möjligt att beräkna energiinnehållet i medelvattenföring och medellågvattenföring-flöden, vilka är basen för flödesåtgärderna, vilka sedan kan användas för att beräkna den minskade reglerförmågan och minskade produktionsmöjligheten i de fall vatten leds vid sidan av kraftverket under medelåret för perioden 1999–2015.



Figur 1. Energilagring i GWh av naturligt flöde (röd), reglerat flöde (blå) och reglerförmåga (skuggad yta) i avrinningsområden med KMV.

Reglerförmågan beskriver det vatten som sparas från vårfloden till de årstider så det finns ett betydligt lägre flöde. Den svenska vattenkraften har i medeltal tagit en reglerförmåga om cirka 15,8 TWh under perioden 1999–2015. Detta betyder alltså inte att denna reglerförmåga är att betrakta som ett tak. Det intressanta med detta mått på reglerförmågan är dock att det kan användas för att illustrera konsekvenserna av åtgärder på vattenkraftens förmåga att reglera elsystemet jämfört med utgångsläget, dvs utifrån hur regleringsförmågan i medeltal ser ut i dagsläget och jämföra detta med hur det i medeltal kommer att se ut om vattenmyndigheternas åtgärder genomförs.

4.6. Metod för beräkning av produktionsbortfall för naturliga vatten (Ej KMV)

Beräkningarna av konsekvenser för hela vattenkraftssystemet baseras på att det krävs fiskväg och minimitappning vid samtliga kraftverk i naturliga vatten för att nå en förmodad miljö kvalitetsnorm om god ekologisk status. På motsvarande sätt som i beräkningarna för KMV är utgångspunkten att det för fiskväg krävs ett vattenflöde som motsvarar fem procent av vattendragets medelvattenföring dock max $5 \text{ m}^3/\text{s}$, som ett mått på behov av vattenflöde.

Vad gäller produktionsbortfall i samband med minimitappning bedömer vi att detta inte behövs vid alla kraftverk då ett flertal av de mindre kraftverken redan idag har ett grundvattenflöde i vattendraget. Därför har vi för naturliga vatten antagit att det endast krävs minimitappning vid hälften av kraftverken.

I beräkningarna har vi också tillämpat kvoten mellan medellågvattenföring och medelvattenföring som ett mått på den andel av produktionen som behöver tas i anspråk vid minitappning. I de fall kvoten medellågvattenföring / medelvattenföring ger en alltför hög siffra riskerar konsekvenserna att överskattas allt för mycket och då har kvoten sänkts till en rimligare nivå. Detta förhållande gäller framför allt Göta älv, Motala ström och Dalälven.

Då den sammanlagda produktionen från de kraftverk som ingår i våra beräkningar (64 TWh) inte omfattar hela vattenkraftsystemet har vi även räknat upp beräknade konsekvenser av miljöåtgärder i förhållande till statistik från SCB/Energimyndigheten gällande årsproduktion (67 TWh).

5. Metodbeskrivning och dataunderlag för den samhällsekonomiska kostnadsbedömningen

Vattenmyndigheterna har avgränsat den samhällsekonomiska konsekvensanalysen till att omfatta endast kostnadssidan av åtgärdernas genomförande. Detta då det finns förhållandevis få studier över nyttan med åtgärder riktade till vattenkraften i ekonomiska termer. Det dock ett stöd och samstämmighet från den vetenskapliga litteraturen över att det finns en positiv betalningsvilja för att förbättra de akvatiska miljöerna och därigenom de positiva effekter dessa ger upphov till, såsom förbättrad fiskvandring, ökade fångstmöjligheter för fisk, liksom för en och ökad eller bevarad biodiversitet.

Det som saknas för att kunna genomföra en realistisk kvantifiering av vilken miljö kvalitet som god ekologisk potential motsvarar, och vilka värden detta då korresponderar emot i de tidigare genomförda studierna. Bland annat kan man konstatera att det finns svårigheter att bedöma hur många fiskar som kommer att vandra genom en fiskväg, och om detta är ett tillräckligt antal för att ge upphov till en sportfisketurism. På samma sätt är det svårt att göra bedömningar av vad fiskvandring förbi ett eller flera kraftverk medför i termer av att fisken kan nå områden som tidigare utgjorde dess naturliga lek- och uppväxtområden.

5.1. Principiell beskrivning av metoden

En samhällsekonomisk konsekvensanalys innehåller en jämförelse mellan de kostnader som uppkommer som en konsekvens av att genomföra föreslagna miljöåtgärder i vattenkraften, med de nyttor som uppkommer som en följd av detta. Det är också viktigt att poängtera att en samhällsekonomisk konsekvensanalys endast låter sig göras om åtgärden i övrigt innebär endast marginella förändringar på samhällsekonomins resursallokering. Det förslag som vattenmyndigheterna lämnar på åtgärder för utpekade KMV inkluderar inte åtgärder som påverkar vattenkraften i de naturliga vatten som ska uppnå god ekologisk status. Därför har vattenmyndigheterna gjort bedömningen att det måste användas någon form av jämviktsmodell för att beskriva de samhällsekonomiska effekter som dessa kostnader medför.

I en samhällsekonomisk kostnadsbedömning är det viktigt att inkludera de eventuella effekterna som en förändrad allokering av resurser innebär. Resursallokering bestäms

normalt sett av en marknad av något slag, där köpare (konsumenter) och säljare (producenter) gör produktions- och konsumtionsval. Ibland kan det finnas substitut på marknadens båda sidor, på dess ena eller andra sida, vilket gör att konsumtionsvalen inte alltid är statiska eller förklaras av priserna på den enda marknad man studerar närmare.

Grundprincipen är att under en perfekt marknad så försöker konsumenten att maximera sin nytta utifrån sina preferenser, givet en budgetrestriktion. Företag som är konsumenter försöker maximera sin output genom det konsumtionsval man har för en given insatsvara, vilken i sin tur ofta har ett marknadspris till vilket företaget måste förhålla sig. Utifrån detta är det möjligt att härleda en matematisk funktion som beskriver de val en köpare gör. För en normal vara eller tjänst är denna efterfrågan generellt sett omvänt proportionell mot priset, dvs att ju högre priset blir desto mindre vill man köpa, och ju lägre priset blir desto mer vill man köpa. Detta är vad man i vardagligt tal brukar kalla för en efterfrågefunktion. Denna efterfrågefunktion är definitionsmässigt förstaderivatan av en totalnyttofunktion. Vi vet från tidigare studier att efterfrågefunktionen för el och andra energiprodukter, såsom bensin, är relativt brant, det vill säga pris-okänslig på kort sikt vilket beror på att det finns få substitutionsmöjligheter på kort sikt, även om det finns en viss priskänslighet. Vid mycket höga elpriser, som kanske råder någon eller några veckor per år, kan konsumenter som använder el för uppvärmning välja att sänka temperaturen någon eller några grader, och bilisten kan vid mycket höga bensinpriser välja att ställa in bilsemestern. På längre sikt kan en aktör som värmer sin lokal eller bostad med el, om elpriserna är höga under en längre period, välja att investera i mindre elintensiv uppvärmning, och ägaren av bensinbilen kan välja att köpa en mer bensinsnål bil.

Producenterna å sin sida har kostnader för sin produktion i form av fasta- och rörliga kostnader. De fasta kostnaderna är sådana kostnader som inte påverkas av produktionsvolymen. De rörliga kostnaderna påverkas däremot av denna, vilket gör att de ofta är ökande utifrån produktionsvolymen. Vanligtvis kan en produktionskostnadsekvation beskrivas som en ekvation av andra- eller tredjegradtyp. Om producenternas produktion och produktionskostnader aggregeras kan man utifrån detta finna en totalkostnadsfunktion. Denna totalkostnadsfunktion kan differentieras så att en marginalkostnadsfunktion härleds, vilket är detsamma som utbudsfunktionen. Denna utbudsfunktion beskriver vilka kvantiteter säljarna är beredda att sälja vid varje givet pris. El handlas utifrån marknadsaktörernas bedömning av hur dessa utbuds- och efterfrågefunktioner ser ut på den nordiska elbörsen NordPool.

Marknadsjämvikten avseende både pris och kvantitet, och därmed den samhällsekonomiskt optimala omsättningen till det samhällsekonomiskt optimala priset kommer att infalla där dessa funktioner skär varandra om marknaden är perfekt. Få marknader är dock att betrakta som perfekta; det finns sällan fullständig information och det finns inte heller alltid ett tillräckligt stort antal marknadsaktörer. Ibland finns det etableringshinder på grund av stordriftsfördelar eller lagstiftning. Andra imperfektioner kan vara att det inte finns ett marknadspris för den vara, tjänst eller nytta som produceras. Elmarknadens producersida i större skala är att betrakta som ett naturligt oligopol i och med att det finns uppenbara skalfördelar och etableringshinder, liksom ett

fåtal aktörer som står för en stor del av den producerade kvantiteten el. Elmarknadens producentsida då det kommer till vattenkraft medför också några uppenbara störningar för omsättningen och användningen av både marknadsprissatta och icke marknadsprissatta nyttigheter såsom biologisk mångfald och ofta också sportfiske. Detta gör att elmarknaden, även om den kan betraktas som nära nog perfekt i sin uppbyggnad ändå innehåller imperfektioner, då till exempel vattenkraftens elmarknad inte alltid kompenserar eller har kompenserat för dessa störningar, vilket i sig innebär att det inte är möjligt att betrakta marknaden som perfekt då den inte inkluderar alla uppkomna samhällsekonomiska kostnader.

Referenser

Havs- och vattenmyndigheten, 2015. Metod för prioritering av åtgärder i vattenkraften utifrån naturvårdssynpunkt (Utkast 2015-11-19).

Websidor

Lantmäteriet (u.å). Om hydrografi i nätverk [elektronisk]. Tillgänglig:
<https://www.lantmateriet.se/sv/Om-Lantmateriet/Samverkan-med-andra/Hydrografi-i-natverk/Om-Hydrografi-i-natverk/> [2018-04-26]

