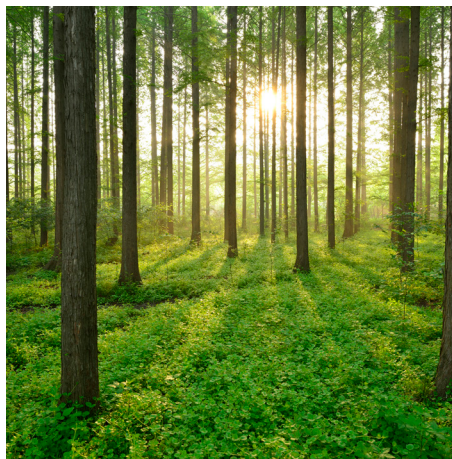
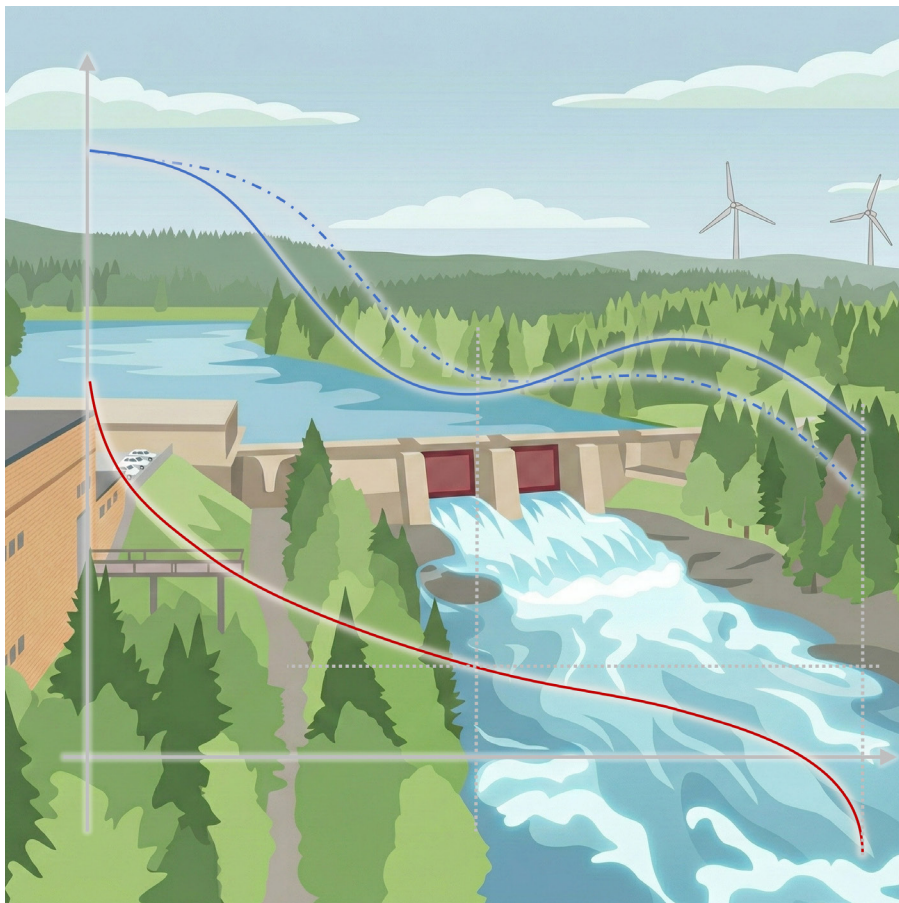


HÖGVÄRDESPRODUKTION OCH HÖGVÄRDESKVOT

RAPPORT 2026-1170



VATTENKRAFT OCH SYSTEM



Högvärdesproduktion och högvärdeskvot

Nyckeltal för reglerförmåga med tillämpning vid
vattenkraftens omprövningar

JOHAN BLADH & JONAS FUNKQUIST

ISBN 978-91-89917-13-2 | © Energiforsk mars 2026

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

Förord

I denna rapport föreslås högvärdesproduktion och högvärdeskvot som enkla nyckeltal för att mäta och visualisera reglerförmåga hos en elproduktionsresurs. Rapporten är skriven utifrån ett svenskt vattenkraftperspektiv, där åtgärder som kan bli aktuella inom ramen för omprövningarna för moderna miljövillkor används som illustrativa exempel. Nyckeltalen som sådana och resonemangen bakom är dock inte knutna till just vattenkraft utan skulle gå att tillämpa även i andra sammanhang.

Rapporten har tagits fram inom Energiforsks program Vattenkraft och system som finansieras av vattenkraftindustrin. Merparten av det underliggande arbetet, analyserna och modelleringen av Ljungan och Dalälven har skett inom ramen för andra projekt under åren 2019–2024.

Rapporten har granskats av en referensgrupp med följande medlemmar: Arvid Andersson (Fortum), Kristina Arrehag (Uniper), Lotta Bertilsson (Statkraft), Roger Hugosson (Vattenfall) och Gerd Lejdstrand (Statkraft).

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Stockholm den 23 februari 2026

Emma Hagner

Områdesansvarig Vattenkraft, Energiforsk

OM FÖRFATTARNA

Johan Bladh är ingenjör med doktorsexamen i elektricitetslära och en magisterexamen i företagsekonomi från Uppsala universitet. Han arbetar sedan 2018 som senior rådgivare och vattenkraftansvarig på Energiföretagen Sverige och driver sedan 2021 konsultbolaget Next Hydro AB på deltid. Han har tidigare arbetat med modellering av generatorer, kraftsystem och älvsystem på Vattenfall Research and Development med särskild inriktning mot vattenkraft och flexibilitetsfrågor. Hans expertis idag är en kombination av tekniskt kunnande, systemförståelse och kunskap om vattenkraftens policyfrågor. Arbetet med denna rapport och de refererade modelleringsstudierna har utförts inom ramen för konsultverksamheten på tjänstledig tid från Energiföretagen.

Jonas Funkquist är ingenjör och forskare med doktorsexamen i reglerteknik från KTH. Han arbetar som senior forskningsingenjör på Vattenfall Research and Development och har över tre decenniers erfarenhet av modellering, optimering och utveckling av kraftsystem, särskilt inom vattenkraft. Tidigare har han arbetat med processer i massa- och pappersindustrin, termiska kraftverk samt vind- och hybridanläggningar. Hans expertis ligger i att utveckla avancerade verktyg för planering, styrning och analys av energisystem.

Sammanfattning

I denna rapport presenteras två nya nyckeltal – högvärdesproduktion och högvärdeskvot – som syftar till att på ett enkelt och tydligt sätt mäta och visualisera reglerförmågan hos en elproduktionsresurs. Måtten är framtagna främst för vattenkraft, men skulle även kunna användas för andra produktionsslag.

Högvärdesproduktion definieras som summan av den elenergi som genereras under de timmar då elpriset överstiger sitt medianvärde under en given tidsperiod. **Högvärdeskvot** är hur stor andel av den totala produktionen som är högvärdesproduktion. Hur mycket högvärdesproduktion som kan uppnås påverkas bland annat av elproduktionsresursens kapacitet, flexibilitet och när det gäller vattenkraft även vattenhushållningsbestämmelser och tillgång på vatten. Både högvärdesproduktion och högvärdeskvot bör ses som statistiska mått som måste utvärderas över många pris- och väderscenarier.

Bakgrunden och motiveringen till arbetet är att det saknas metoder, mått och gränsvärden för att göra kvantitativa bedömningar av olika åtgärders påverkan på reglerförmågan i kraftsystemet. Detta trots att vikten och värdet av reglerförmågan ofta betonas och att den reglerförmåga som finns i kraftsystemet nu utmanas från flera håll. Svenska kraftnät har föreslagit måtten baseffekt, reglereffekt och energilagring för att kvantifiera reglerförmågan, men dessa är komplexa att beräkna och tolka, vilket försvårar deras praktiska användning. Andra mer vedertagna mått som regleringsgrad, kapacitetsfaktor, värdefaktor och relativt reglerbidrag kan vart och ett ge värdefulla insikter, men inget mått fångar alla aspekter. Det gör inte heller högvärdesproduktion och högvärdeskvot, men de kan utgöra ett användbart komplement till andra mått och bli ett verktyg för att förstå och jämföra reglerförmågan mellan olika scenarier, särskilt i samband med de pågående omprövningarna av vattenkraften för moderna miljövillkor. Måtten har utformats för att vara lätta att beräkna, förstå och tolka, även om detta sker på bekostnad av detaljrikedom och upplösning.

I rapporten visas med hjälp av exempel hur nyckeltalen högvärdesproduktion och högvärdeskvot fungerar för olika vattenkraftssystem, pris- och väderscenarier, samt åtgärdsscenarier. Som exempel används resultat från tidigare modelleringsstudier av Dalälven och Ljungan, som kompletterats med fler pris- och väderscenarier. I rapporten ges exempel på hur resultaten kan visualiseras och tolkas som låddiagram per åtgärdsscenario eller per anläggning.

Exemplen visar bland annat att spridningen mellan pris- och väderscenarierna kan vara stor, vilket gör det viktigt att inkludera många scenarier. En annan viktig observation är att förlusten av högvärdesproduktion i vissa åtgärdsscenarier kan vara större än den totala produktionsförlusten. Detta sker när vatten tvingas ut ur systemet vid prismässigt ogynnsamma tidpunkter, men utan att orsaka spill. Exemplen visar också att det kan finnas tröskeleffekter som gör att förlusterna av såväl total produktion som högvärdesproduktion ökar kraftigt när tappningsvillkoren överstiger vissa nivåer.

I slutet av rapporten diskuteras olika överväganden som gjorts under arbetet, samt några aspekter rörande hur resultaten kan tolkas och bedömas.

I rapportens bilagor visas mycket översiktligt vilka åtgärder som ingått i modelleringsstudierna av Dalälven och Ljungan, samt ett stort antal grafer föreställande prissorterad produktion i alla de pris-, väder- och åtgärdsscenarioer som ligger bakom låddiagrammen i rapporten. Syftet med detta är att läsaren själv ska kunna se och få en förståelse för måtten och bedöma deras relevans. I den sista bilagan finns även prissorterad produktion för vindkraft för perioden 2018-2022; detta för att ytterligare vidga perspektivet på måtten högvärdesproduktion och högvärdeskvot.

Nyckelord

Elmarknad, elproduktion, flexibilitet, högvärdeskvot, högvärdesproduktion, kapacitetsfaktor, miljöprövning, nyckeltal, reglerbidrag, reglerförmåga, regleringsgrad, vattenkraft, vattenreglering, värdefaktor.

Summary

In this report, two new key performance indicators are presented – *High-value production* and *High-value ratio* – designed to provide a simple and clear way to measure and visualise the balancing capability of an electricity generation resource. These metrics have primarily been developed for hydropower but could also be applied to other generation types.

High-value production is defined as the sum of electricity generated during the hours when the electricity price exceeds its median value over a given period. **High-value ratio** represents the share of total production that qualifies as High-value production. The achievable level of High-value production is influenced by factors such as capacity and flexibility, and for hydropower also water availability and license conditions. Both High-value production and High-value ratio should be regarded as statistical measures that need to be evaluated across numerous price- and weather scenarios.

The background and motivation for this work stem from the lack of methods, metrics, and thresholds for making quantitative assessments of how various measures impact system flexibility and balancing capability, despite that the importance and value of flexibility are often emphasised, and the existing flexibility in the power system is now being challenged. The Swedish TSO Svenska kraftnät has proposed three metrics: *base capacity*, *regulating capacity* and *energy storage* to quantify flexibility, but these are complex both to calculate and interpret, which complicates their practical use. Other established metrics, such as *regulation degree*, *capacity factor*, *value factor* and *relative regulation contribution*, can each provide valuable insights, but none capture all aspects. This is true also for *High-value production* and *High-value ratio*, but they can serve as a useful complement to other metrics and become a tool for understanding and comparing flexibility between different resources and scenarios. The application primarily considered in this report is the ongoing revision of the Swedish hydropower license conditions. *High-value production* and *High-value ratio* have been designed to be easy to calculate, understand and interpret, even if this comes at the expense of detail and resolution.

The report uses examples to illustrate how the indicators High-value production and High-value ratio work for different hydropower systems, price- and weather scenarios and measure scenarios. Results from previous modelling studies of the rivers “*Dalälven*” and “*Ljungan*” are used as examples, here supplemented with additional price- and weather scenarios. The report also provides examples of how the results can be visualised and interpreted as box plots per measure scenario or per power plant.

The examples show that the variation between price- and weather scenarios can be significant, making it important to include many such scenarios. Another key observation is that the loss of High-value production in certain measure scenarios can be greater than the total production loss. This occurs when the discharge is

forced to economically unfavourable times without causing spillage. The examples also indicate that threshold effects may exist, where the loss of both total production and High-value production increase sharply when discharge conditions exceed certain levels.

At the end of the report, various considerations made during the work are discussed, along with aspects related to how the results can be interpreted and assessed.

The report's appendices provide a very brief overview of the measures included in the modelling studies of Dalälven and Ljungan, as well as many graphs showing price-sorted production for all price-, weather- and measure scenarios underlying the box plots in the report. The purpose is to enable readers to see and understand the metrics and assess their relevance in different scenarios. The final appendix includes price-sorted production for wind power for the period 2018–2022, to further broaden the perspective on the High-value production and High-value ratio metrics.

Innehåll

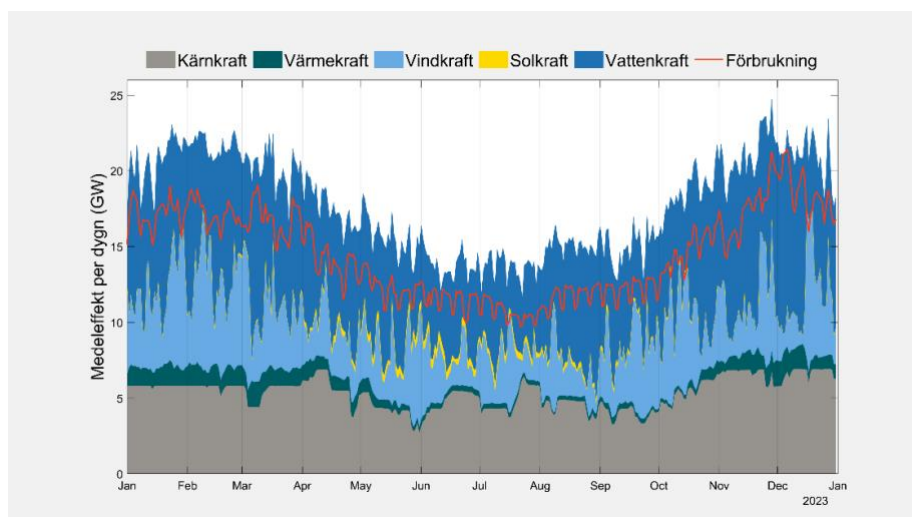
1	Introduktion	11
1.1	Flexibilitetsutbyggnad av vattenkraften	12
1.2	Omprövning för moderna miljövillkor	12
1.3	Behov av nya nyckeltal	13
1.4	Utgångspunkter och Avgränsningar	14
2	Elens pris och värde	15
2.1	Elpriset styrs av utbud och efterfrågan	15
2.2	Elpriset är inte bara en ögonblicksbild	15
3	Flexibilitet och reglerförmåga	17
3.1	Närmare om reglerförmåga	17
3.2	Kopplingen mellan elpris och reglerförmåga	18
3.3	Andra nyckeltal	18
3.3.1	Regleringsgrad	18
3.3.2	Kapacitetsfaktor	19
3.3.3	Värdefaktor	19
3.3.4	Relativt reglerbidrag	20
3.3.5	Baseffekt, reglereffekt och energilagring	22
4	Högvärdesproduktion och högvärdeskvot	23
4.1	Högvärdesproduktion	23
4.2	Vad påverkar högvärdesproduktionen?	24
4.3	Högvärdeskvot	25
4.4	Vattentillgången har en avgörande betydelse	25
4.5	Viktigt att inkludera många vädersscenarier	27
4.6	Geografisk skala	28
4.6.1	Redovisning i grupper	28
4.6.2	Redovisning per kraftverk	29
4.7	Tröskeffekter	30
4.8	Exempel från Ljungan och Gimån	32
4.8.1	Förändring av produktion och högvärdesproduktion	32
4.8.2	Högvärdeskvot är inget bra mått för att kvantifiera förändring	34
4.8.3	Förändring av produktion och högvärdesproduktion per kraftverk	35
5	Diskussion	38
5.1	Avvägning mellan upplösning och enkelhet	38
5.2	Det är skillnad på utfall och förmåga, eller?	38
5.3	Placering i älven är också ett randvillkor	39
5.4	Hur ska påverkan bedömas?	39
5.5	Skulle residuallasten kunna vara ett alternativ till pris?	40
5.6	Prissorterad produktion för vindkraft	41
6	Referenslista	42

Bilaga A:	Exempel från Nedre Dalälven	44
Bilaga B:	Exempel från Ljungan och Gimån	74
Bilaga C:	Prissorterad produktion för vindkraft	90

1 Introduktion

På senare år har frågor om flexibilitet och reglerförmåga inom elförsörjningen diskuterats alltmer, inte bara av ingenjörer utan också i massmedia, av politiker och av en intresserad allmänhet. Anledningen är att det överskott på reglerförmåga vi har vant oss vid successivt har minskat, såväl i relativa som i absoluta tal. Den har minskat i relativa tal på grund av att den elproduktion som tillkommit på senare år – i huvudsak vindkraft och solkraft – inte är planerbar, och den har minskat i absoluta tal på grund av att kärnkraft och kraftvärme har avvecklats. Reglerförmågan kan även komma att minska i samband med att villkoren i vattenkraftens miljötillstånd nu omprövas. Även i våra grannländer har stora mängder vind- och solkraft tillkommit och planerbara kraftslag har stängts, inte minst i Tyskland. I Sverige har det ännu inte märkts någon större skillnad i elleveranserna, men få har nog missat att elpriserna blivit mer volatila.

Figur 1 visar svensk elförbrukning och elproduktion uppdelad per kraftslag under 2023. Sverige har för närvarande ett överskott av elenergi på årsbasis, vilket vi exporterar till våra grannländer. Vindkraftens produktion varierar som synes kraftigt i takt med vädersystemen som kommer och går. Solkraften genereras mest dagtid och på sommaren av lätt insedda skäl. Kraftvärmens följer värmebehovet, men hjälper även i viss mån till att balansera vindkraften. Kärnkraften är i huvudsak säsongsreglerande eftersom revisioner planeras på sommarhalvåret när elbehovet är som lägst, men på senare tid har även kärnkraften ibland reglerats ner när utbudet av billigare produktion har varit stort i förhållande till efterfrågan.



Figur 1. Dygnsupplöst elförbrukning och elproduktion i Sverige under 2023. Elförbrukningen har ett tydligt säsongs- och dygnsmönster. Om tidsupplösningen i figuren ökades till timme skulle man också se ett tydligt dygnsmönster med högre förbrukning dagtid och lägre förbrukning nattetid. Figuren är framtagen av Next Hydro för Vattenfall vattenkraft 2024.

Enligt Svenska kraftnäts kraftbalansrapport för 2025 har Sverige positiv effektbalans en normal vinter, men en tioårsvinter råder ett underskott på 600 MWh/h [1]. Svenska kraftnät pekar även på att effektbalansen kommande fem år väntas bli alltmer negativ och bli kraftigt negativ från och med vintern 2028/29.

Import och export av el kan vara ekonomiskt och miljömässigt fördelaktigt, men sedan pandemin och Rysslands invasion av Ukraina har även de geopolitiska aspekterna och vikten av nationell energisäkerhet och beredskap fått ett allt större fokus. I vilken utsträckning kan vi förlita oss på att den flexibilitet och reglerförmåga vi behöver för att hålla elsystemet i balans kan importeras?

1.1 FLEXIBILITETSUTBYGGNAD AV VATTENKRAFTEN

Den rådande utvecklingen har gjort planerbar elproduktion, flexibilitet och reglerförmåga alltmer värdefull, särskilt den som finns inom Sveriges gränser. När det gäller vattenkraften pågår redan flera projekt som syftar till att höja reglerförmågan i befintliga kraftstationer. Därtill pågår förstudier för flera projekt med samma syfte. Det kan handla om effekthöjande åtgärder i samband med åldersförnyelser eller att bygga helt nya aggregat i befintliga kraftstationer.

Det pågår också förstudier som rör pumpkraft, både i befintliga anläggningar och byggnation av helt nya [2] [3]. Gemensamt för de projekt som nu pågår eller utreds är att de inte primärt är högre topp effekt som eftersträvas utan snarare utökad flexibilitet för att bättre kunna hantera det större inslaget av vind- och solkraft. Exempelvis vill man utöka möjligheterna att köra på hög respektive låg effekt under längre tid utan att behöva spilla, samt bredda kraftstationernas körområden. Motivet för ny pumpkraft är att man även ser behov av att kunna lagra energi under perioder med produktionsöverskott som pressar ner priserna.

Konsultföretaget AFRY gjorde på uppdrag av fackförbundet Sveriges ingenjörer en utredning som visade att det finns stor potential att bygga bort flaskhalsar i vattenkraften och att detta skulle möjliggöra en högre andel intermittent elproduktion med bibehållen stabilitet och ekonomisk effektivitet i elsystemet [4].

1.2 OMRÖVNING FÖR MODERNA MILJÖVILLKOR

Reglerförmåga har också blivit ett centralt begrepp i samband med de pågående omprövningarna av den svenska vattenkraften för moderna miljövillkor. I den nationella planen för moderna miljövillkor som beslutades av regeringen 2020 [5] står det att omprövningarnas inverkan på en *effektiv tillgång till vattenkraftsel* ska hållas till ett minimum. I beslutet förtydligas att en nationell effektiv tillgång till vattenkraftsel omfattar både effekt och reglerförmåga att dessa ska bli så höga som möjligt, och att de ska kunna utökas i redan utbyggda vattendrag. Av den nationella planens bilaga [6] framgår att reglerförmågan ska skyddas dels genom den indelning i reglerbidragsklasser som Energimyndigheten och Svenska kraftnät beskrivit i rapporten "Vattenkraftens reglerbidrag och värde för elsystemet" [7], dels genom det nationella riktvärdet för maximal produktionsförlust på 1,5 TWh, vilket i praktiken skulle innebära att kraftverk med störst historiskt reglerbidrag

(klass 1) till stor del skulle komma att undantas från sådana krav som påverkar produktion och reglerförmåga. I rapporten konstateras dock att miljöåtgärder kan medföra förlust av reglerförmåga utan att för den delen orsaka någon produktionsförlust; att miljöåtgärder eller krav vid en anläggning kan påverka hela älvens samlade reglerförmåga och att miljökrav till följd av Natura 2000 lagstiftningen kan medföra att åtgärder med påverkan på reglerförmågan ändå måste genomföras. Uppföljning av den ackumulerade påverkan på reglerförmågan beskrivs i rapporten som ett viktigt verktyg för att säkerställa en effektiv tillgång till vattenkraftsel över tid.

I juni 2025 beslutade regeringen om nya förordningsbestämmelser som förtydligar att reglerkraften särskilt ska beaktas av vattenmyndigheterna vid förklarande av så kallat kraftigt modifierade vatten och beslut om undantag med lägre ställda kvalitetskrav [8]. Samtidigt fick Svenska kraftnät och Energimyndigheten instruktion om att bistå vattenmyndigheterna i arbetet med klassificering och med att fastställa kvalitetskrav för vattenförekomster som påverkas av vattenkraft [9] [10]. Energimyndigheten har för ändamålet upphandlat ett modelleringsverktyg och Svenska kraftnät har arbetat med nyckeltal för att kunna mäta påverkan på reglerförmågan. Svenska kraftnäts nyckeltal beskrivs vidare längre fram i rapporten.

1.3 BEHOV AV NYA NYCKELTAL

Av ovanstående kan man förstå att vattenkraftens reglerförmåga är viktig för Sverige och någonting vi vill skydda och om möjligt förstärka. Men trots att reglerförmågebegreppet allt oftare diskuteras saknas definitioner, metoder och kvantitativa mått för att beskriva hur mycket reglerförmåga vi har, hur mycket vi behöver i framtiden och hur mycket som riskerar att försvinna eller tillkomma till följd av olika åtgärder. Sannolikt går det inte att hitta ett enda mått som fångar alla aspekter av reglerförmåga. Det behövs flera metoder och mått som vart och ett ger olika pusselbitar och som tillsammans beskriver det vi behöver veta. Jämför exempelvis med alla de olika nyckeltal (key performance indicators, KPI:er) som finns inom ekonomisk redovisning och bolagsstyrning. De nyckeltal som finns idag, exempelvis regleringsgrad, kapacitetsfaktor, värdefaktor och relativt reglerbidrag tjäna sina syften, men inget tycks riktigt passa bra för att mäta hur mycket reglerförmåga vi riskerar att förlora vid omprövning för moderna miljövillkor.

I denna rapport introduceras två nya nyckeltal – **högvärdesproduktion** och **högvärdeskvot** – vars syfte är att ge information om reglerförmågan hos en elproduktionsresurs. Det ska understrykas att varken högvärdesproduktion eller högvärdeskvot är entydigt med reglerförmåga. Det går inte att säga om en GWh högvärdesproduktion är ett resultat av just reglerförmåga eller av slumpen. Även kraftverk helt utan reglerförmåga kan generera högvärdesproduktion. Men ju större reglerförmåga en produktionsresurs har, desto fler GWh högvärdesproduktion kommer den att generera. Om andelen högvärdesproduktion i förhållande till total produktion beräknas – det vi kallar högvärdeskvot – så kommer en produktionsresurs att få ett större värde över tid ju större reglerförmåga den har.

Den relativa siffran högvärdeskvot kan vara värdefull exempelvis för att jämföra olika produktionsresurser eller scenarier med varandra. Men när det gäller samhällsekonomiska, energipolitiska och strategiska överväganden är det absoluta måttet högvärdesproduktion förmodligen mer intressant.

Vidare bör både högvärdesproduktion och högvärdeskvot ses som statistiska mått, vilka måste utvärderas och bedömas över tid och gärna baseras på en stor mängd data. Detta eftersom de är starkt beroende av driftförutsättningarna. När det gäller vattenkraft har exempelvis tillrinningen en mycket stor inverkan och denna kan variera kraftigt mellan olika år.

1.4 UTGÅNGSPUNKTER OCH AVGRÄNSNINGAR

Ibland behövs komplicerade analyser för att fatta bra beslut, men en allt för hög komplexitet kan även skymma sikten. En av de centrala utgångspunkterna i det arbete som lett fram till måttet högvärdesproduktion har varit en strävan efter enkelhet. Resultaten ska vara lätta att förstå och förklara, de ska gå att addera, subtrahera och jämföra med varandra och de ska uttryckas i fysikaliska storheter, till exempel energi.

Förenklingar har gjorts på bekostnad av upplösning och detta helt medvetet. Det vore inte svårt att ta fram fler och mer komplicerade nyckeltal som fångar mer detaljer och fler aspekter. Men i vissa sammanhang kan värdet av enkelhet vara större än värdet av fler detaljer. För den tillämpning som används som exempel i denna rapport – att mäta förlust av reglerförmåga i samband med vattenkraftens omprövningar – är författarnas bedömning att måtten högvärdesproduktion och högvärdeskvot är tillräckligt noggranna för syftet.

Rapporten är inriktad på att beskriva måtten högvärdesproduktion och högvärdeskvot och illustrera med exempel hur det kan användas i samband med omprövning för moderna miljövillkor. Måttet och resonemangen är dock inte knutna till just omprövning av vattenkraft utan skulle gå att tillämpa även i andra sammanhang.

2 Elens pris och värde

Det brukar sägas att pris är vad man betalar medan värde är vad man får. Elen skapar värden i samhället som är svåra att överblicka. Vad skulle vi vara beredda att betala för att få elen tillbaka om den försvann? De flesta skulle förmodligen vara beredda att betala mer än de priser vi vant oss vid. Så länge elkonsumenterna inte börjar koppla bort sig från elnätet i stor skala och väljer att leva utan el eller börjar investera i egen elproduktion och energilager kan vi vara ganska säkra på det pris vi betalar för elen är lägre än det värde vi anser oss få. Elpriset kan därför anses vara ett konservativt mått på det samhällsekonomiska värdet.

2.1 ELPRISET STYRS AV UTBUD OCH EFTERFRÅGAN

Förenklat styrs elpriset av utbud och efterfrågan, det vill säga skärningspunkten mellan det pris som kunderna är beredda att betala för den produktion som finns att tillgå. En elkonsument som befinner sig på stranden en solig dag kanske inte är beredd att betala särskilt många öre för en kilowattimme el just där och då eftersom behovet av den inte är så stort. När det är mörkt och kallt och hungern gör sig påmind är konsumenten förmodligen beredd att betala desto mer för värme, ljus och möjligheten att laga mat på sin elektriska spis. Elkonsumenter strävar efter att betala så lite som möjligt för sin el, även om endast en mycket liten andel av konsumenterna faktiskt anpassar sin elkonsumtion efter priset.

Elproducenter å sin sida strävar efter att få så bra betalt för sin el som möjligt. När det blåser mycket, när solen lyser, när bränslepriserna är låga eller när det finns gott om vatten i vattenmagasinen kan producenterna inte få så mycket betalt. När det finns ett överskott av elproduktion pressas priset nedåt. Nuförtiden kan det rent av vara så att elpriset blir negativt i sådana överskottssituationer, det vill säga det kostar pengar att mata in el på nätet. I situationer när det blåser lite, när det finns lite vatten i magasinen och så vidare pressas elpriset i stället uppåt. I bristsituationer kan elpriset bli väldigt högt.

2.2 ELPRISET ÄR INTE BARA EN ÖGONBLICKSBILD

Elpriset beror inte bara på utbud och efterfrågan i stunden utan även på förhållanden under den tid som varit och på förväntningar om framtiden, detta under förutsättning att det finns energilager i systemet. Energilager kan finnas i många olika former exempelvis vattenmagasin, bränsledepåer, batterier eller dylikt.

I det nordiska elsystemet utgör vattenmagasinen mycket stora energilager. Den sammanlagda lagringskapaciteten i nordiska vattenmagasin är 127 TWh, varav 34 TWh timmar finns i Sverige [11]. Om dessa magasin är välfyllda kommer vattenkraftsproducenterna vara beredda att sälja vattnet till ett lägre pris än om magasinen hade haft en lägre fyllnadsgrad. Hur välfyllda magasinen är beror på historiken, t.ex. hur stor tillrinningen har varit, hur mycket det har blåst, hur sträng

vintern har varit osv. Inom produktionsplaneringen används storheten *vattenvärde*, vilket motsvarar priset på den kilowattimme el som just då kan ersättas genom att tappa en liten kvantitet vatten från ett visst vattenmagasin. Elpriset och vattenvärdet hänger således ihop.

Vattenvärdet och elpriset är även framåtblickande. Vattenkraftsproducenterna är beredda att sälja sitt vatten för ett lägre pris om stora tillrinningar eller mycket vindkraft förväntas framåt. Samma resonemang gäller förstås även för bränsle driven elproduktion, men detta går vi inte närmare in på här.

Vindkraft och solkraft brukar sägas inte kunna lagras utan måste producera när det blåser respektive när solen lyser. Det är en sanning med modifikation. Vindkraftägarna och solkraftägarna kan ju precis som alla andra producenter komplettera sina anläggningar med energilager, till exempel i form av batterier, vätgasanläggningar eller dylikt. Batterier blir allt vanligare, men det ska noteras att lagringskapaciteten ännu är mycket liten i relation till den lagringskapacitet som finns i exempelvis vattenmagasinen. Vätgaslagring finns ännu inte i stor skala. Man bör också betänka att det på systemnivå kan vara mer kostnadseffektivt att dela på lagringsresurserna än att alla har sina egna – och faktum är att det är precis så det fungerar idag. Vindkraften och solkraften kan sägas lagras i vattenmagasinen eftersom vattenkraften kan styra ner produktionen och spara vattnet när det blåser och när solen lyser. På systemnivå kan alltså vattenmagasin även sägas vara vindkraftens och solkraftens energilager.

Förmåga att lagra elenergi finns även i någon mån på förbrukningssidan, exempelvis i form av batterier och pumpkraft. Det finns också viss möjlighet att anpassa elförbrukningen efter elpriset, så kallad förbrukningsflexibilitet eller "demand respons" på engelska. Även om det talas mycket om förbrukningsflexibilitet och kapaciteten ökar så sakteliga kan det konstateras att den kapacitet som finns på förbrukningssidan idag fortfarande är mycket blygsam i relation till den kapacitet som finns på produktionssidan.

3 Flexibilitet och reglerförmåga

Även om flexibilitet och reglerförmåga allt oftare diskuteras i olika sammanhang är det inte alltid tydligt vad som egentligen avses. Begreppen kanske kan förstås intuitivt, men för att kunna tolka och dra slutsatser behöver vi försöka specificera vilka förmågor, driftsituationer och tidsskalor som avses. Som underlag för beslutsfattande är det också värdefullt om flexibilitet och reglerförmåga kan mätas och följas över tid.

Flexibilitet hos en elsystemresurs antyder att den är ”bra på att hänga med”. Men även en liten resurs kan vara väldigt flexibel utan att för den delen ha någon större betydelse på systemnivå. Flexibilitetsbegreppet är därför i sig själv ganska intetsägande. För att kunna påverka systemet krävs att flexibiliteten kombineras med kapacitet, vilken kan vara individuell eller uppnås genom att aggregera kapaciteten hos flera mindre resurser. Vidare kan kapacitet avse både effekt (som mäts i watt med lämpligt prefix) eller energi (som mäts i watt-timmar med lämpligt prefix) om vi till exempel talar om lagringskapacitet hos ett batteri eller ett vattenmagasin. Om flexibilitet paras med kapacitet kan vi börja tala om reglerförmåga [12].

Vidare bör noteras att flexibilitet och reglerförmåga kan finnas både på produktionssidan och förbrukningssidan. På förbrukningssidan talas det om förbrukningsflexibilitet, men ganska sällan om reglerförmåga även om det förstås är högst relevant att också få reda på hur mycket olika typer av förbrukningsflexibilitet faktiskt kan bidra med på systemnivå. Men som titeln antyder är denna rapport fokuserad på reglerförmåga på produktionssidan.

3.1 NÄRMARE OM REGLERFÖRMÅGA

En vid tolkning av begreppet reglerförmåga skulle kunna innehålla allt från säsongsreglering till stödtjänster¹ och elberedskapsförmågor². När vi talar om reglerförmåga i denna rapport avses dock inte stödtjänster och elberedskapsförmågor utan förmåga att anpassa elproduktionen efter de variationer som uppträder i normal drift på tidskalan och uppåt.

Reglerförmåga i denna rapport avser förmågan att anpassa elproduktionen efter de variationer som uppträder i normal drift på tidskalan och uppåt.

Även inom denna avgränsning kan inte reglerförmågan sägas vara en enskild förmåga utan bör ses som ett antal olika förmågor som samverkar. Där ingår exempelvis att kontinuerligt ha förmåga att balansera elförbrukningens dygnsvariationer och säsongsvariationer, att ha tillräckligt med effektkapacitet för att möta topplasttimmen, att kunna producera mycket el uthålligt under ett flertal vindstilla veckor mitt i vintern, att snabbt kunna rampa upp eller ner elproduktionen under ett väderomslag som innebär en kraftig förändring i vindkraftsproduktionen och så vidare. Att definiera ett kvantitativt mått som

¹ Exempelvis spänningsreglering, frekvenshållningsreserver och frekvensåterställningsreserver

² Exempelvis ödriftsförmåga och dödnätstartsförmåga

beskriver alla dessa förmågor och många fler därtill är knappast möjligt. För att ge en komplett och detaljerad bild behövs olika begrepp och mått som tillsammans ger en bild av reglerförmågan i alla dess olika dimensioner.

3.2 KOPPLINGEN MELLAN ELPRIS OCH REGLERFÖRMÅGA

Av ovanstående text och föregående kapitel kan man förstå att det finns en koppling mellan reglerförmåga och elpris, framför allt elprisets variationer. En kraftproducent vars produktionsresurser har hög reglerförmåga kommer att kunna styra produktionen mer i takt med elprisets variationer än en kraftproducent vars produktionsresurser har låg reglerförmåga. Elprisets variationer skapar därför incitament att investera i flexibilitet och kapacitet, alltså reglerförmåga. En ekonomisk rationell elproducent försöker i varje stund maximera värdet av sina produktionsresurser genom att i så stor utsträckning som möjligt nyttja den förmåga som finns till att styra elproduktionen till de timmar då elpriset är som högst. I andra änden begränsas reglerförmågan av fysiska och legala förutsättningar. En ekonomiskt rationell konsument å sin sida kommer försöka använda sin reglerförmåga till att minimera förbrukningen när elpriset är högt.

Det finns också en koppling på så sätt att reglerförmågan påverkar priset. Om utbudet av produktion som kan regleras upp till låg kostnad blir större kommer priserna under högpristillimarna att pressas ner. Det är när det saknas billig reglerbar elproduktion som priserna ökar vid hög efterfrågan. Att vattenkraftsproducenterna försöker styra produktionen till högre priser betyder alltså inte att elpriset blir högre, det är tvärt om. Vattenkraftens reglerförmåga dämpar variationerna i elpriset.

3.3 ANDRA NYCKELTAL

I det följande beskrivs några andra vanliga mått som används för att beskriva nyttjande och förmågor hos olika elproduktionsresurser. Inget av dessa mått ger en komplett bild av flexibilitet och reglerförmåga, utan får betraktas som olika pusselbitar som kan användas enskilt eller tillsammans för olika syften. Jämför exempelvis alla de nyckeltal (KPI:er) som används inom ekonomisk redovisning. Beskrivningarna nedan innehåller en kortfattad analys av måttens användningsområden, vilket också delvis syftar till att motivera behovet av de nya måtten högvärdesproduktion och högvärdeskvot.

3.3.1 Regleringsgrad

Regleringsgrad används inom vattenkraft och vattenreglering för att beskriva hur stor andel av normalårsvattenföringen som kan magasineras uppströms en viss sektion av en älv enligt följande:

$$\text{Regleringsgrad} = \frac{\text{Uppströms regleringsvolym}}{\text{Normalårsvattenföring}}$$

En älv med stora vattenmagasin i förhållande till årsavrinningen har en hög regleringsgrad. Luleälven har exempelvis regleringsgrad 72 % vid mynningen, vilket är högt i jämförelse med många andra svenska älvar. Utloppet av

Suorvamagasinet som ligger högt uppe i Luleälven har en regleringsgrad på 111 %, vilket betyder att mer än en normalårsavrinning vid utloppet av magasinet ryms i magasinet själv och i uppströmsliggande magasin. [13]

Regleringsgrad är alltså ett mått som beskriver den relativa lagringsvolymen i vattenmagasinen och säger ingenting om kraftverken, vilket också behövs för att kunna dra slutsatser om reglerförmågan. En hög regleringsgrad bidrar positivt till reglerförmågan i en vattenkraftsälv, men säger inte allt.

3.3.2 Kapacitetsfaktor

Kapacitetsfaktor (eng. Capacity factor) anger hur stor andel av den installerade kapaciteten hos en produktionsresurs som nyttjas under en tidsperiod, vanligtvis ett år. Kapacitetsfaktorn beräknas enligt följande:

$$\text{Kapacitetsfaktor} = \frac{\text{Elproduktion under perioden}}{\text{Installerad effekt} \times \text{Antal timmar i perioden}}$$

En produktionsresurs som har gått på full effekt under hela perioden har en kapacitetsfaktor på 100 %. I praktiken är kapacitetsfaktorn alltid lägre än 100 % eftersom inget kraftverk körs på sin installerade effekt hela tiden. Kärnkraft brukar ha relativt hög kapacitetsfaktor, omkring 85-90 %, eftersom kärnkraftverk körs nästan dygnet runt när de inte är avställda för revision. Kapacitetsfaktorn för solkraft i Sverige ligger omkring 10-15 % eftersom solen inte lyser dygnet runt, året runt. Kapacitetsfaktorn för vindkraft ligger omkring 35-45 % eftersom vinden varierar.

Vattenkraftens kapacitetsfaktor varierar kraftigt både beroende på skillnaderna i tillrinning mellan olika år, men också beroende på vilken typ av reglering anläggningarna är byggda för. Vissa anläggningar är mycket kraftigt utbyggda för att kunna generera hög effekt när elbehovet är stort. Sådana anläggningar får då en jämförelsevis låg kapacitetsfaktor. Det finns vattenkraftstationer som har en kapacitetsfaktor under 20 %. Andra går i princip dygnet runt, men då inte på sin installerade effekt utan nära sin bästa verkningsgrad som normalt ligger omkring 80 % av installerad effekt.

Kapacitetsfaktorn ger information om hur stor andel av tiden den installerade effekten nyttjas, men säger ingenting om värdet av produktionen. Det finns gott om vattenkraftverk som har kapacitetsfaktorer i samma spann som vindkraft. Skillnaden är att vattenkraftens elproduktion i större utsträckning sker när värdet är stort (priset är högt). Vindkraften producerar när det blåser, vilket gör att priset pressas ned.

3.3.3 Värdefaktor

Värdefaktor (eng. Value factor) är ett mått som är designat för att beskriva värdet av elproduktionen från en elproduktionsresurs i förhållande till elpriserna över tid, vanligtvis ett år.

$$\text{Värdefaktor} = \frac{\text{Genomsnittligt elpris vid produktion}}{\text{Genomsnittligt elpris under hela perioden}}$$

En värdefaktor = 1,0 betyder att en produktionsresurs producerar vid samma pris som marknadsens genomsnitt, exempelvis ett kraftverk som går dygnet runt året runt.

Värdefaktorn för vindkraft ligger vanligtvis under 1,0 och minskar ju större andel av den totala elproduktionen som genereras av vindkraft. Den minskar dock mindre i ett kraftsystem som också har en stor andel planerbar vattenkraft, exempelvis Sverige, jämfört med ett kraftsystem som huvudsakligen har planerbar termisk kraft, exempelvis Tyskland [14]. Figurer i rapporten [14] visar att värdefaktorn för vindkraft i Tyskland minskar från strax under 1,0 vid liten marknadspenetration ner mot 0,7 vid en marknadspenetration på 30 %. För Sverige går värdefaktorn för vindkraft från omkring 1,0 till 0,85 vid 30 % marknadspenetration.

Vattenkraftens värdefaktor ligger vanligtvis över 1,0 eftersom vattenkraftägare i viss mån kan styra produktionen till timmar med högre elpris. Värdefaktorn för svensk vattenkraft brukar sägas ligga mellan 1,1-1,2 men värdena varierar stort mellan olika avrinningsområden och från ett år till ett annat. Värdet av planerbar produktion som vattenkraft ökar med ökande marknadsandel från icke-planerbar produktion. I [14] anges utifrån modelleringsresultat att vattenvärdet är i genomsnitt 5 % högre vid 30 % marknadsandel vindkraft än i samma system utan vindkraft.

Värdefaktorn själv kan sägas vara ett mått på flexibilitet snarare än reglerförmåga eftersom den inte ger någon information om kapacitet. Om den multipliceras med effekt eller produktion erhålls någon form av mått på reglerförmåga. Det är dock oklart vad en sådan aggregerad storhet egentligen betyder eftersom den innehåller information både om produktionsresursens förmåga att följa priset, men också om variationerna hos priset själv.

3.3.4 Relativt reglerbidrag

Under 2014 och 2015 tog Vattenfall R&D fram måttet relativt reglerbidrag [15]. Måttet var ursprungligen tänkt för kvantifiering av vattenkraftens förmåga att balansera vindkraft, men kom främst att användas av Svenska kraftnät och Energimyndigheten för en indelning av den svenska vattenkraftsparken i så kallade reglerbidragsklasser, där klass 1 är de kraftverk som historiskt har bidragit mest till balanseringen av det svenska kraftsystemet, klass 2 har bidragit lite mindre och klass 3 är alla övriga kraftverk [11]. Reglerbidragsindelningen finns också som vägledning i den nationell planen för moderna miljövillkor [1] [2]. Svenska kraftnät och Energimyndigheten arbetar nu under 2025-2026 med en översyn av reglerbidragsklassningen.

Relativt reglerbidrag beskriver samvariation mellan elproduktion från ett enskilt kraftverk eller en grupp av kraftverk med residuallasten (även kallad nettoförbrukningen).

Relativt reglerbidrag definieras enligt följande:

$$RR = \frac{cov\{P_{residual}, P_{gen}\}}{var\{P_{residual}\}},$$

där

$$P_{residual} = P_{förbrukning} - P_{vind} - P_{sol}$$

och

$$P_{gen} = P_1 + P_2 + \dots + P_n.$$

Residuallasten beskriver lite förenklat behovet av planerbar elproduktion. Man skulle kunna definiera den på annat sätt, t.ex. genom att bryta ut styrbar förbrukning och flytta den till vänsterledet, men definitionen ovan är den gängse.

Ett kraftverk vars produktion är helt okorrelerad med residuallasten får ett relativt reglerbidrag på *noll*. Ett kraftverk vars produktion är negativt korrelerad med förbrukningen eller som är korrelerad med vind- och solkraft får ett negativt reglerbidrag. Kraftverk som bidrar till att balansera förbrukningens variationer eller variationer hos väderberoende produktion får ett positivt värde. Relativt reglerbidrag beräknas för de tre tidsskalorna *dygn*, *"flerdygn"* och *säsong* för att fånga olika förmågor hos de olika kraftverken. Se vidare [15], [7] eller [6] för mer information.

En fördel med att mäta samvariation mot residuallasten i stället för mot elpris (jämför exempelvis med värdefaktorn) är att summan av bidragen från alla produktionsresurser och all förbrukning summerar till *noll*. Detta eftersom det alltid råder effektbalans mellan produktion och förbrukning i kraftsystemet. Genom att normera med variansen hos residuallasten under tidsperioden korrigeras också beroendet av residuallastens variationer, vilket gör måttet tydligare kopplat till regleringsegenskaperna hos kraftverken. En annan fördel med måttet relativt reglerbidrag är att det är matematiskt linjärt, det vill säga reglerbidrag från olika produktionsenheter kan summeras och jämföras relativt varandra förutsatt att det är beräknade för samma tidsperiod.

Relativt reglerbidrag fungerar bra för jämförelser av kraftverken med avseende på deras historiska bidrag till balanseringen av kraftsystemet (se till exempel reglerbidragsklasserna [7]). Men måttet har också kritiserats för att vara svårt att förstå och intetsägande vid exempelvis bedömning av miljöåtgärders påverkan (vilket heller aldrig var meningen). Ett förslag på hur det ändå skulle kunna göras skissades i Dalälvsrapporten 2023 [16], men ett kvarstående problem är att måttet är just relativt. Vad innebär det att en åtgärd i älvsystemet leder till att reglerbidraget förändras med ett visst relativt värde? Ett sådant relativt värde kommer alltid behöva sättas i relation till någonting annat för att kunna bedömas. Förslaget i [16] var att jämföra med de av myndigheterna fastslagna gränsvärdena för reglerbidragsklasserna.

Ett annat fenomen som uppmärksammades i arbetet med Dalälven [16] var att reglerbidraget kan öka när vatten spills. Även detta beror på att måttet är relativt. Kraftverket kan få större regleringsmöjligheter relativt referensfallet även om

värdefull produktion de facto försvinner. Det mått som föreslås i denna rapport – högvärdesproduktion – hanterar detta på ett bättre sätt. Fenomenet att regleringsmöjligheterna kan öka i relativa tal visar sig dock i måttet *högvärdeskvot* precis som i relativt reglerbidrag. Detta återkommer vi till.

3.3.5 Baseffekt, reglereffekt och energilagring

I redovisningen av regeringsuppdraget att kartlägga de konsekvenser för elsystemet som omprövning av vattenkraften medför m.m. [17] föreslår Svenska kraftnät tre nyckeltal som syftar till att kvantifiera påverkan på vattenkraftens reglerförmåga. De tre föreslagna måtten kallas *baseffekt*, *reglereffekt* och *energilagring* och är tänkta att beskriva dimensionering av de ersättningsresurser som skulle behövas för att ersätta den reglerförmåga som går förlorad till följd av olika miljöåtgärder i vattenkraften. Denna utgångspunkt påminner om den vi själva tog i de mått vi kallade EEL och EEB i Ljunganrapporten 2021 [18] och som även redovisades i Dalälvsrapporten [16]. Svenska kraftnät har dock adderat en uppdelning av sina mått på tre olika tidsskalor: dygn, månad och år, vilket påminner om den uppdelning som görs vid beräkningen av relativt reglerbidrag [15] [7]. Det är också fördelaktigt att måtten uttrycks i fysikaliska enheter (MW och MWh). Så långt verkar Svenska kraftnäts nyckeltal lovande.

En nackdel är dock att Svenska kraftnäts nyckeltal är komplicerade att beräkna, förstå och tolka. Tre olika mått (baseffekt, reglereffekt och energilagring) som beräknas på tre olika tidsskalor (dygn, månad och år) ger totalt nio värden, som dessutom inte är oberoende av varandra, gör det komplicerat att tolka vad måtten egentligen visar. Det krävs någon form av expertbedömning för att kunna avgöra hur stor påverkan egentligen är. Därutöver är inte Svenska kraftnäts mått matematiskt linjära, vilket innebär att de inte kan summeras eller subtraheras i efterhand.

Sammantaget är det därför svårt att se hur Svenska kraftnäts nyckeltal ska kunna användas i praktiken för att värdera påverkan av miljöåtgärder. Om måtten inte går att förstå finns det en risk att de inte kommer att få bred tillämpning och acceptans.

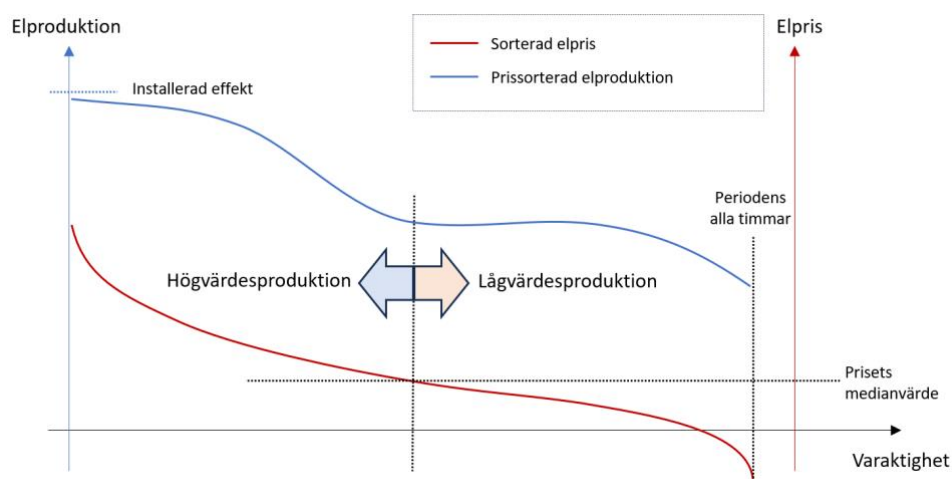
4 Högvärdesproduktion och högvärdeskvot

De nyckeltal som föreslås i denna rapport – högvärdesproduktion och högvärdeskvot – bygger på en kategorisering av elproduktionen utgående från dess värde för samhället, där elpriset antas vara ett konservativt mått på det samhällsekonomiska värdet. Det ska dock understrykas att det inte är det monetära värdet i sig som mäts utan hur mycket elektricitet som genereras under de timmar då värdet (elpriset) är som högst. I rapporten föreslås även ett relativt mått som kallas högvärdeskvot.

Med syfte att göra måtten så enkla som möjligt har vi valt att endast införa två värdekategorier: högt värde respektive lågt värde. Elproduktionen anses ha ett högt värde när elpriset är större än sitt medianvärde under den tidsperiod som studeras. I denna rapport baseras beräkningarna av måttet på årslånga tidsserier med timupplösning.

4.1 HÖGVÄRDESPRODUKTION

Figur 2 är en illustration över hur högvärdesproduktion definieras. Den röda kurvan i figuren är elpriset som en varaktighetskurva, det vill säga sorterad längs tidsaxeln så att timmarna med högst elpris visas till vänster. Den blå kurvan är elproduktionen under motsvarande timmar, det vill säga elproduktionen sorterad efter det fallande elpriset och inte efter sig själv. Denna kurva kallar vi prissorterad produktion. Notera att den prissorterade produktionen inte nödvändigtvis behöver vara strikt avtagande. Om exempelvis tillgången på vatten är god kan det hända att mycket el genereras vid låga priser, vilket kan visa sig som en puckel i den högra halvan av figuren.



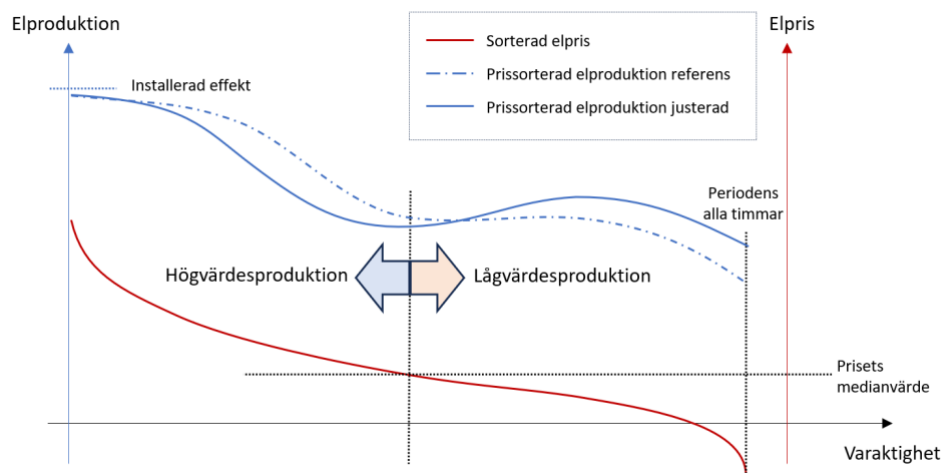
Figur 2. Sorterad elpris i rött och prissorterad elproduktion i blått. Högvärdesproduktion är summan av den elenergi som genereras när priset är högre än sitt medianvärde.

Definition: Högvärdesproduktion är summan av den elenergi som genereras under de timmar då elpriset är större än sitt medianvärde. Måttets enhet är watt-timmar med lämpligt prefix.

4.2 VAD PÅVERKAR HÖGVÄRDESPRODUKTIONEN?

Kraftverksägarna strävar efter att producera så mycket som möjligt vid så högt pris som möjligt. När det gäller vattenkraft försöker kraftverksägarna optimera tappningarna för att flytta så mycket produktion som möjligt så långt till vänster i Figur 2 som möjligt inom de gränser som är tillåtna och praktiskt möjliga. Om produktionsförutsättningarna ändras kommer den prissorterade produktionskurvan att ändras och således även mängden högvärdesproduktion.

I Figur 3 visas två prissorterade produktionskurvor där den heldragna kurvan har förskjutits på grund av ändrade produktionsförutsättningar i förhållande till den streckprickade kurvan.



Figur 3. Prissorterad produktion med två fiktiva uppsättningar villkor för vattenregleringen.

En sådan förskjutning skulle exempelvis kunna orsakas av ett krav på minimitappning som inte nödvändigtvis orsakar spill. Den kan också ha berott på att möjligheten att lagra vatten har minskat eller att möjligheten att korttidsreglera produktionen har minskat. Innebörden av alla dessa restriktioner är att kraftproducenterna tvingas köra ut vatten vid prismässigt mindre attraktiva tidpunkter än om restriktionerna inte hade funnits.

Villkor eller åtgärder som ökar mängden spill gör att produktion försvinner ur figuren, det vill säga att arean under kurvan minskar. I den mån spillet endast ökar under lågvärdestiden påverkas inte högvärdesproduktionen. Sådana situationer skulle exempelvis kunna uppstå när spillet orsakas av att det finns för mycket vatten i systemet (eftersom mycket vatten gör att priset pressas ner) eller om det finns gott om annan billig produktion att tillgå, exempelvis sol och vindkraft.

(vilket också gör att priset pressas ned). I den mån spillet ökar vid höga priser, till exempel på grund av otillgänglighet i kraftstationerna vid höga priser eller på grund av nya vattenhushållningsbestämmelser som tvingar kraftverksägarna att spilla vid höga priser påverkas även högvärdesproduktionen negativt.

Om vi i stället tänker oss åtgärder som ökar systemets flexibilitet och produktionskapacitet, till exempel mer vatten, borttagande av begränsningar, utbyggnad av kraftstationer eller liknande skulle den prissorterade produktionskurvan förskjutas uppåt och/eller åt vänster, vilket skulle göra att högbehovsproduktionen ökar.

Förändringar som begränsar produktionen eller flexibiliteten i systemet gör att den prissorterade produktionskurvan förskjuts nedåt och åt höger i figuren. Förändringar som innebär att produktionen eller flexibiliteten ökar gör att den prissorterade produktionskurvan förskjuts uppåt och åt vänster i figuren.

4.3 HÖGVÄRDESKVOT

För att kunna göra relativa jämförelser baserat på vårt nya mått föreslår vi även storheten högvärdeskvot enligt följande definition:

$$\text{Högvärdeskvot} = \frac{\text{Högvärdesproduktion}}{\text{Total produktion}}$$

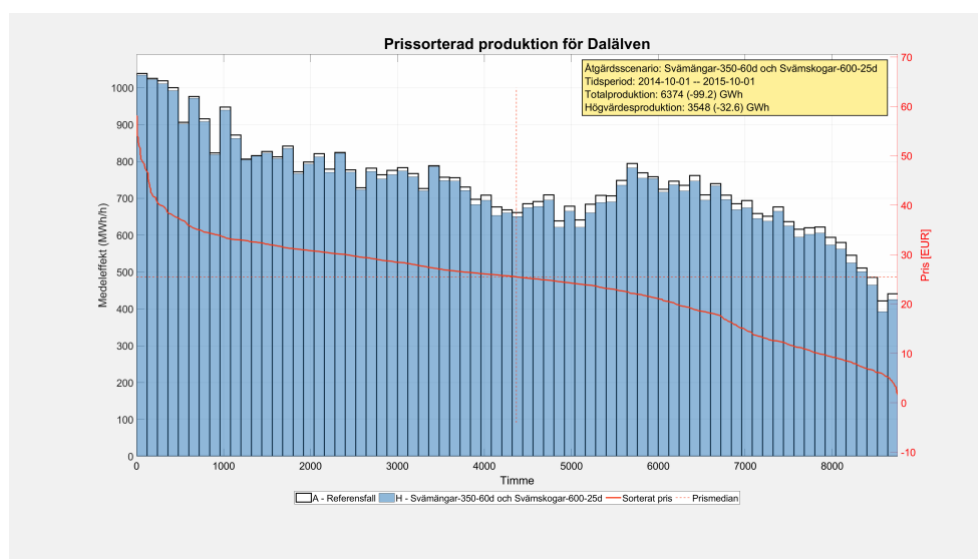
Högvärdeskvoten uttrycks förslagsvis i procent och finns i intervallet 0-100 %. Ju större reglerförmåga ett kraftverk har desto större blir högvärdeskvoten. Ett kraftverk som levererar konstant effekt året runt skulle få en högvärdeskvot på 50 %.

4.4 VATTENTILLGÅNGEN HAR EN AVGÖRANDE BETYDELSE

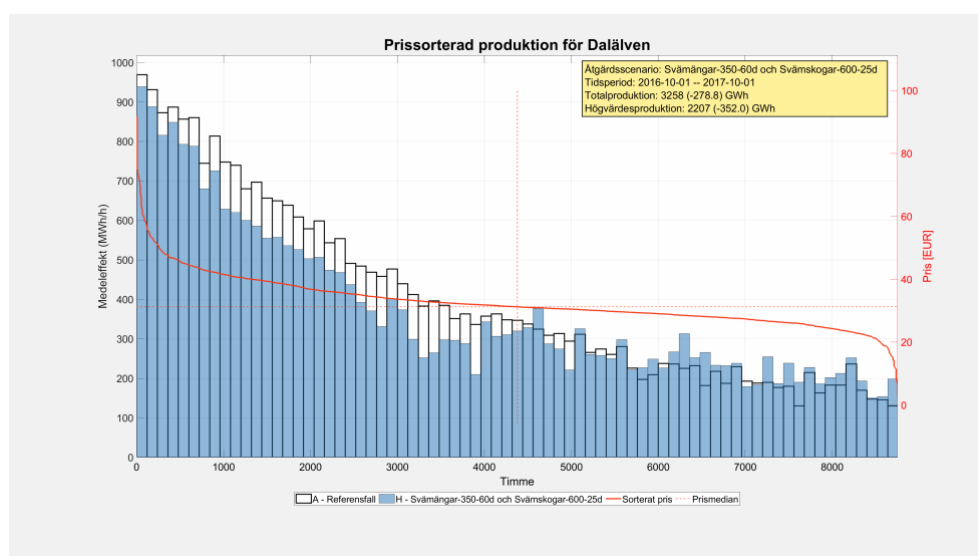
Hur stor reglerförmågan är och hur mycket den påverkas av ändrade vattenhushållningsbestämmelser är starkt beroende av vattentillgången. Detta var en av slutsatserna i den modelleringsstudie av Dalälven som genomfördes på uppdrag av Vattenfall och Fortum under 2023 [16]. Nedan visas tre figurer från rapporten för ett av de studerade åtgärdsscenarioerna (H: Basflöde 120 m³/s hela året, "Svämängsflöde" 350 m³/s under 60 dygn på våren och "Svämnskogsflöde" 600 m³/s under 25 dygn på våren), se Bilaga A och [16] för mer detaljer. Det som skiljer figurerna åt är tidsperioden, det vill säga indata i form av elpriser och tillrinningar.

Figur 4 visar hur de åtgärder som ingår i åtgärdsscenario "H" påverkar den prissorterade produktionen under en tidsperiod då tillrinningarna varit relativt höga, ett så kallat "våtår". Figur 5 visar hur samma åtgärder påverkar produktionen under en tidsperiod med relativt låga tillrinningar, ett så kallat "torrår". Figur 6 visar samma åtgärdsscenario under en tidsperiod då tillrinningarna varit "normala" i genomsnitt, men onormalt fördelade under året på så vis att vårfloden var extremt stor och koncentrerad i tid. De tre tidsperioderna ska inte ses som representativa för alla våtar, torrår och normalår utan valdes ut av projektets referensgrupp med syfte att ge en bild av spridningen.

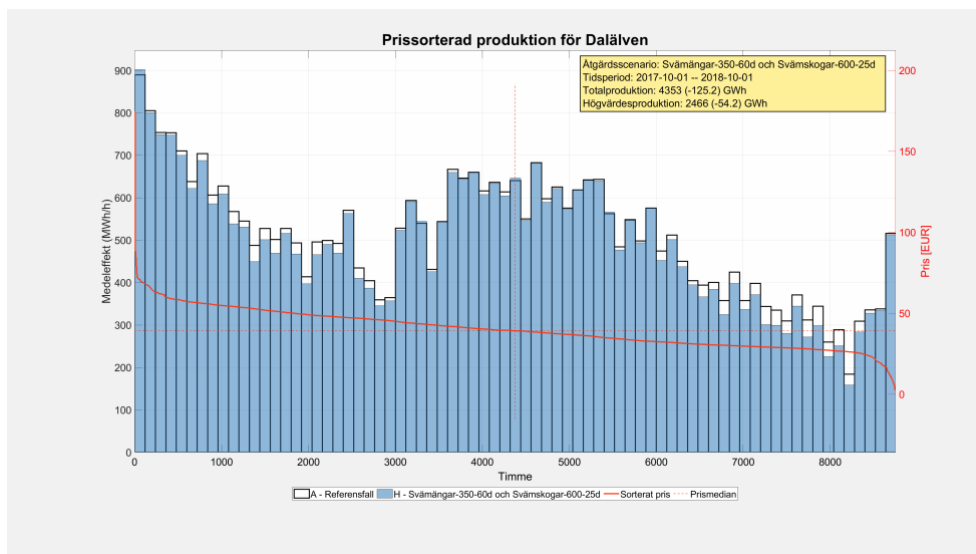
Som framgår av figurerna spelar hydrologin en avgörande roll för hur stor högvärdesproduktionen blir och hur mycket den påverkas av minimitappningsåtgärderna. Under vååret 2014-15 minskar totalproduktion med 99,2 GWh varav 32,6 GWh är högvärdeproduktion, se Figur 4. Det är ungefär 1/3 av produktionsförlusten som är högvärdesproduktion. Under det torra året 2016-17 minskar totalproduktionen med 278,8 GWh medan högvärdesproduktionen minskar med 352 GWh. Det är alltså så att en del högvärdesproduktion flyttas till lågvärdestid, vilket syns tydligt i Figur 5. Anledningen är att vid låga tillrinningar måste en vårflod regleras fram ur säsongsmagasinen. Se Dalälvsrapporten [16] för mer detaljer.



Figur 4. Prissorterad produktion för Dalälven under perioden 2014-10-01 till 2015-09-30 då tillrinningarna var förhållandevis höga.



Figur 5. Prissorterad produktion för Dalälven under perioden 2016-10-01 till 2017-09-30 då tillrinningarna var låga.



Figur 6. Prissorterad produktion för Dalälven under perioden 2017-10-01 till 2018-09-30 då tillrinningarna var normala i genomsnitt, men då vårfloeden var mycket stor.

Spridningen mellan de tre väderscenarierna i detta exempel är så pass stor att det inte går att dra några generella slutsatser om hur högvärdesproduktion påverkas av åtgärderna. I Dalälvsrapporten [16] förklaras att för att det ska gå att dra mer generella slutsatser angående hur miljöåtgärder påverkar vattenkraftsproduktionen måste många väderår inkluderas och resultaten utvärderas statistiskt.

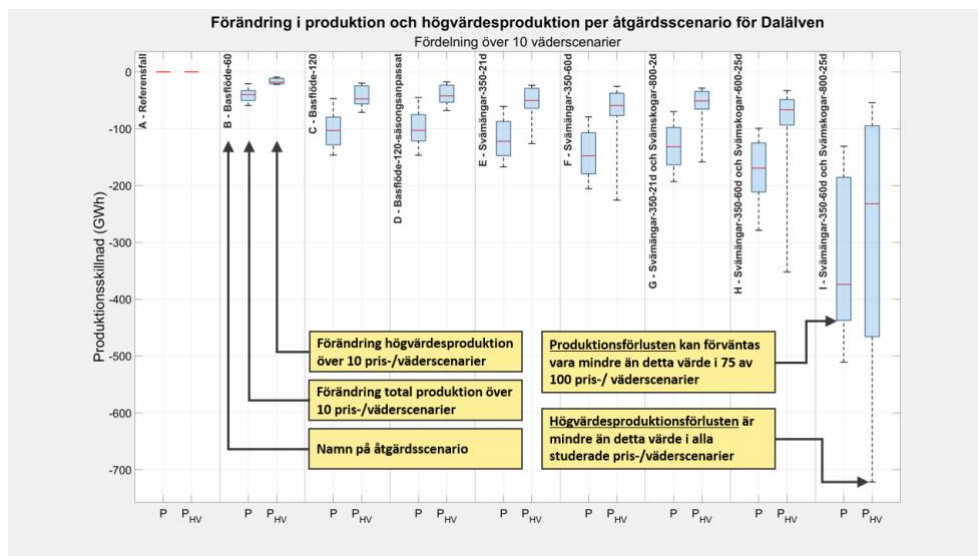
4.5 VIKTIGT ATT INKLUDERA MÅNGA VÄDERSCENARIER

Under 2024 gjorde Next Hydro AB och Vattenfall R&D en uppföljning av Dalälvsprojektet på uppdrag av Vattenfall vattenkraft med syfte att utveckla metoderna för att kvantifiera hur vattenkraftens reglerförmåga påverkas av miljöåtgärder. Ett av utvecklingsstegen i det projektet blev då att mata in fler väderår i modellen och presentera resultaten som låddiagram.

Figur 7 visar högvärdesproduktion som ett låddiagram för samtliga åtgärdsscenarioer i Dalälvsrapporten [16] med 10 väderscenarier i varje låda. De tre pris- och väderscenarierna som visas i Figur 4, Figur 5 och Figur 6 finns alla med i den låda som representerar scenario "H" tillsammans med sju scenarier till. Lådan visar kvartilerna (p25 och p75), det röda strecket i mitten visar medianvärdet och "morrhåren" visar extremvärdena.

Resultaten för scenario "H" spänner mellan 33 GWh och 351 GWh beroende på hydrologin. Medelvärdet är 104 GWh och medianvärdet ligger på 64 GWh. I åtgärdsscenario "I" är spridningen som synes ännu större. Ju fler väderår som inkluderas, desto mer tillförlitliga resultat erhålls.

Notera att siffrorna ovan endast avser högvärdesproduktion och kan inte jämföras med de så kallade HARO-värdena för Dalälven.



Figur 7. Förändring av totalproduktionsförlust (P) och förlust av högvärdesproduktion (P_{HV}) per åtgärdsscenario för Dalälven. Lådorna i diagrammet visar spridningen över 10 årslånga pris- och väderscenarier som startar den 1 oktober och slutar den 30 september. Den vänstra stapeln i varje åtgärdsscenario kan jämföras med det så kallade HARO-värdet för Dalälven. För den högra stapeln finns ännu inget riktvärde att jämföra med. De gula boxarna är förklaringsrutor som ska hjälpa läsaren att tolka diagrammet.

4.6 GEOGRAFISK SKALA

Resultaten i Figur 7 avser hela Dalälven. En fördel med måttet högvärdesproduktion är att det precis som total produktion går att redovisa på olika geografiska skalor givet att elpristidsserien är densamma. Detta är en viktig egenskap hos måttet med tanke på att politiskt beslutade riktvärden för omprövningarna av vattenkraften är formulerade på nationell nivå eller avrinningsområdesnivå samtidigt som anläggningarna ska omprövas individuellt.

4.6.1 Redovisning i grupper

Förändring av högvärdesproduktion hos kraftverken i en eller flera prövningsgrupper eller inom ett helt avrinningsområde kan summeras precis som förändring av totalproduktion så länge som priskurvan är densamma och beräkningarna för de individuella kraftverken utförts som en helhet där alla hydrauliska kopplingar mellan kraftverken beaktas.

Högvärdesproduktionssiffror från olika avrinningsområden som tagits fram oberoende av varandra kan summeras inom exempelvis ett prisområde eller på nationell nivå. Det är dock viktigt att priskurvan som lagts till grund för sorteringen är densamma om man ska jämföra värde för värde.

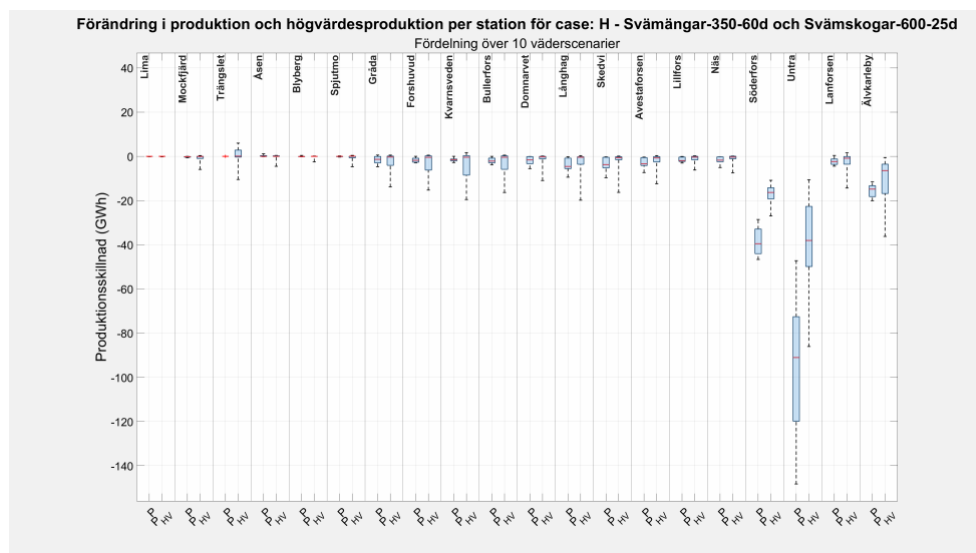
Om man ska jämföra statistik baserat på många pris- och väderscenarier kan det även gå att summera högvärdessiffror från olika källor utan hänsyn till vilka år som lagts till grund. Detta eftersom det kan förväntas att exempelvis percentilvärdena för ett stort antal slumpmässigt utvalda pris- och väderscenarier skulle ligga nära percentilvärdena för ett stort antal andra slumpmässigt utvalda pris- och väderscenarier. Ju fler pris- och väderscenarier som inkluderas, desto närmare bör percentilvärdena ligga varandra.

4.6.2 Redovisning per kraftverk

Det går också att redovisa förändringen av högvärdesproduktionen ner på enskilda kraftverk eller prövningsgrupper. De enskilda bidragen från de individuella kraftverken eller prövningsgrupperna kommer att summera till den totala förändringen för hela älven.

Figur 8 visar förändring av högvärdesproduktion och total produktion i åtgärdsscenario "H" för de 20 största kraftverken i Dalälven uppifrån och ned visade från vänster till höger i figuren. Åtgärderna orsakar betydligt större produktionsförluster i Söderfors, Untra och Älvkarleby, där det ställs krav på minimitappning förbi kraftverken, än i andra stationer. Medianvärdet av högvärdesproduktionen minskar med knappt hälften av totalproduktionsförlusten i dessa anläggningar, vilket betyder att förlusterna i huvudsak orsakas av spill och att detta är någorlunda jämnt fördelat mellan olika priser. Notera dock att det kan skilja stort mellan de olika pris- och väderscenarierna.

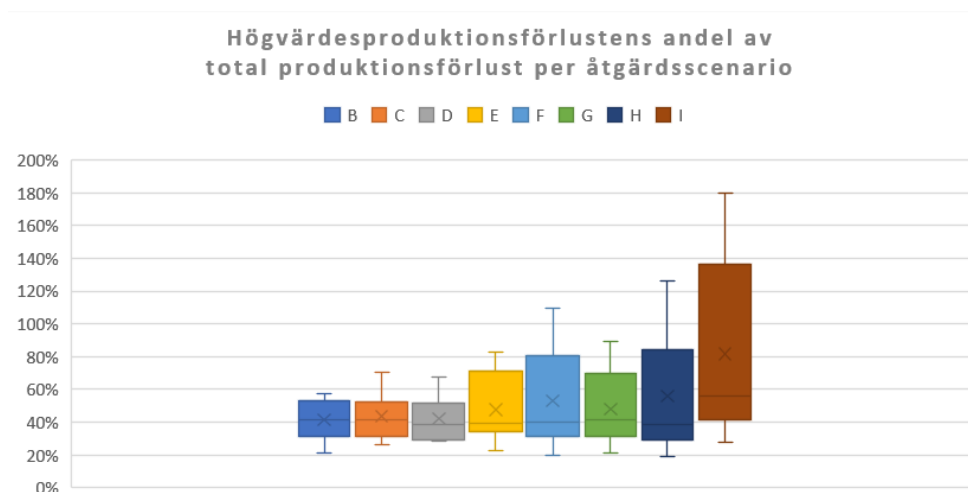
I många andra kraftstationer ser vi en större påverkan på högvärdesproduktionen än på totalproduktionen. Detta beror på att de nya villkoren i nedre Dalälven tvingar ner vatten vid prismässigt ogynnsamma tidpunkter, men utan att nödvändigtvis orsaka spill. I Trängslet som är kraftigt effektutbyggd kan en liten ökning av högvärdesproduktionen observeras, vilket kan tolkas som att Trängslet ibland har fått något större frihetsgrader att reglera när vattenmängderna nedströms har minskat.



Figur 8. Förändring av totalproduktionsförlust (P) och förlust av högvärdesproduktion (P_{HV}) för de 20 största kraftverken i Dalälven i ordning från vänster till höger – uppifrån och ned i älven. Figuren visar resultat för åtgärdsscenario "H" över 10 pris- och väderscenarier. Den vänstra stapeln för varje kraftverk kan jämföras med det så kallade HARO-värdet för Dalälven. För den högra stapeln finns ännu inget riktvärde att jämföra med.

4.7 TRÖSKELEFFEKTER

Den observante läsaren kanske noterar att medianvärdena för högvärdesproduktionsförlusten i Figur 7 tycks ligga strax under halva totalproduktionsförlusten för alla åtgärdsscenarier upp till och med "H". En närmare beräkning visar att medianvärdet av kvoten mellan högvärdesproduktionsförlust och total produktionsförlust ligger omkring 40 % för alla åtgärdsscenarier "B" till och med "H"; se Figur 9. Det betyder alltså att förlusterna har en liten förskjutning mot lågvärdesproduktion, vilket är rimligt eftersom vattenkraften har förmåga att styra produktionen mot högre priser och spill mot lägre priser. Figur 9 visar även att spridningen mellan väderåren ökar ju mer vatten miljöåtgärderna kräver.

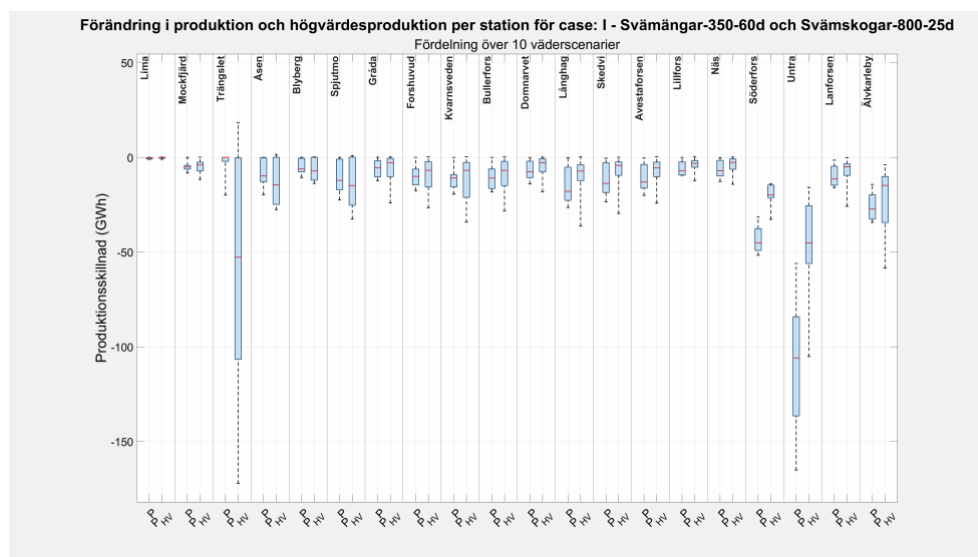


Figur 9. Högvärdesproduktionsförlustens andel av total produktionsförlust per åtgärdsscenario för alla kraftverk i Dalälven. Boxarna innehåller data från 10 väderscenarier. Notera att dessa staplar är kvoten mellan förlustsiffrorna och är alltså inte samma sak som förändring av högvärdeskvot - den är betydligt mindre vilket vi återkommer till i ett senare exempel.

För åtgärdsscenario "I" ökar medianvärdet av högvärdesproduktionsförlusten som andel av den totala produktionsförlusten till 56 % och spridningen sticker i väg påtagligt uppåt. Det betyder att vi i detta åtgärdsscenario förlorar mer högvärdesproduktion än lågvärdesproduktion i merparten av vädersscenarierna. En förklaring till detta kan fås genom att jämföra Figur 8 och Figur 10 som visar scenarierna "H" respektive "I" per kraftverk.

I scenario "H" där "svämskogsflödet" är 600 m³/s under 25 dygn är påverkan koncentrerad till den nedersta prövningsgruppen för de flesta pris- och vädersscenarierna. Detta beror på att villkoret på 600 m³/s under 25 dygn i merparten av pris- och vädersscenarierna kan uppfyllas med drivvattenföringen från kraftverken uppströms tillsammans med lokala tillrinningar i nedre Dalälven. Vatten behöver alltså inte spillas förbi kraftverken mellan Siljan (Gråda) och Söderfors, där utbyggnadsvattenföringen ligger i intervallet 400-500 m³/s, förutom i de pris- och vädersscenarier där tillrinningarna är som *lägst*. Det bör dock noteras att förlusten av högvärdesproduktion i vissa kraftstationer är större än den totala produktionsförlusten, vilket betyder att tappning tvingas till mer ogynnsamma tidpunkter så att högvärdesproduktion i stället blir lågvärdesproduktion.

För åtgärdsscenario "I" där "svämskogsflödet" är 800 m³/s sprider sig påverkan till betydligt fler kraftverk uppströms den aktuella provningsgruppen i merparten av pris- och väderscenarierna. Detta beror på att villkoret på 800 m³/s oftast inte kan uppfyllas med drivvattenföringen i kraftverken nedströms Siljan i kombination med lokala tillrinningar. Det betyder att vatten i de flesta pris- och väderscenarierna måste spillas ner från säsongsmagasinen. Det är endast i de pris- och väderscenarier med *högst* lokal tillrinning som villkoren klaras utan att uppströmsliggande kraftverk påverkas. Det kan också noteras att vatten tas ända uppe från Trängslet. Detta beror inte på att vattnet i Siljan inte räcker till utan på att utloppet från Siljan är trångt. Det i sin tur innebär att riktigt stor tappning från Siljan kan behöva förberedas genom att ytan i Siljan höjs i förväg.



Figur 10. Förändring av totalproduktionsförlust (P) och förlust av högvärdesproduktion (P_{HV}) för de 20 största kraftverken i Dalälven i ordning från vänster till höger – uppifrån och ned i älven. Figuren visar resultat för åtgärdsscenario "I" över 10 pris- och väderscenarier. Den vänstra stapeln för varje kraftverk kan jämföras med det så kallade HARO-värdet för Dalälven. För den högra stapeln finns ännu inget riktvärde att jämföra med.

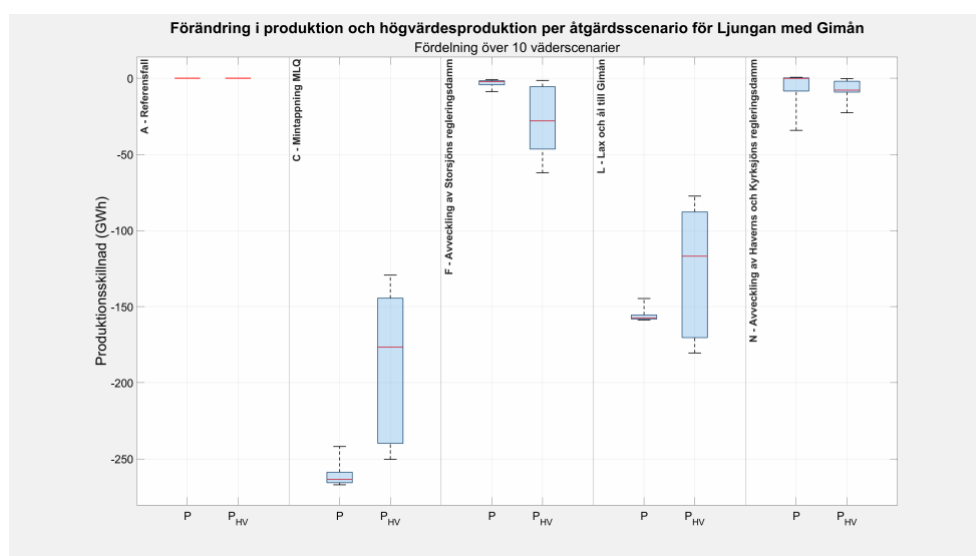
4.8 EXEMPEL FRÅN LJUNGAN OCH GIMÅN

För att bredda perspektivet ska vi nu titta på hur måttet högvärdesproduktion fungerar för ett antal åtgärdsscenarioer i en annan älv, nämligen Ljungan och dess biflöde Gimån. Modellen är densamma som användes i Ljunganrapporten [18], men antalet pris- och väderscenarier har nu utökats från tre till tio. I denna rapport redovisas ett urval av åtgärdsscenarierna som ingick i Ljunganrapporten. Åtgärdsscenarierna togs fram av Ljungaprojektets referensgrupp och kan betraktas som indata till modelleringen. Det görs ingen bedömning angående åtgärdernas miljömässiga relevans.

Bilaga B innehåller figurer som visar prissorterad produktion för Ljungan och Gimån. Om man jämför utseendet på dessa figurer med motsvarande för Dalälven kan man komma till slutsatsen att Ljungan och Gimån är mer utbyggd för effekt än Dalälven. Det syns i figurerna att andelen högvärdesproduktion är större för Ljungan och Gimån jämfört med Dalälven. Ljungan och Gimån har en genomsnittlig högvärdeskvot på 77 % över de väderscenarier som körts, vilket kan jämföras med Dalälvens 62 %. Liksom för Dalälven har tillrinningarna stor betydelse för hur produktionen och högvärdesproduktionen påverkas av miljöåtgärder.

4.8.1 Förändring av produktion och högvärdesproduktion

Figur 11 visar en översikt över förändringarna av produktion och högvärdesproduktion i de utvalda åtgärdsscenarierna. Åtgärdsscenario "C" som innehåller minimitappning motsvarande medel-låg vattenföring (MLQ) hela året runt ger störst förlust. Figuren visar att högvärdesproduktionsförlust utgör en relativt stor andel av den totala produktionsförlusten (i genomsnitt 72 % över de 10 väderscenarierna). Detta kan också observeras visuellt genom att studera figurerna i Bilaga B som visar den prissorterade produktionen.



Figur 11. Förändring av totalproduktionsförlust (P) och förlust av högvärdesproduktion (P_{HV}) för Ljungan och Gimån. Lådorna i diagrammet visar spridningen (p25-p75) över 10 årslånga väderscenarier under perioden

2013-10-01 till 2022-09-30. Den vänstra stapeln för varje scenario kan jämföras med det så kallade HARO-värdet för Ljungan och Gimån. För den högra stapeln finns ännu inget riktvärde att jämföra med.

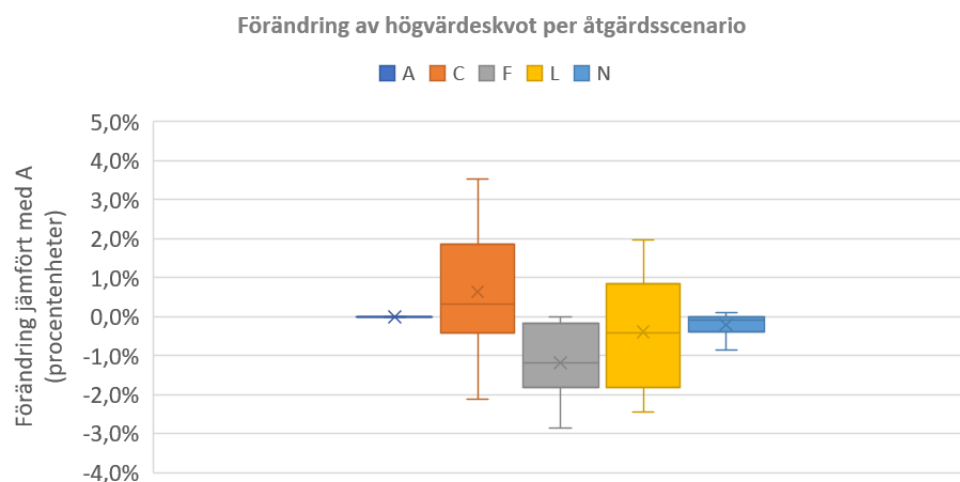
Åtgärdsscenario "F" som innehåller avveckling av Storsjöns regleringsdamm är intressant på så sätt att den orsakar relativt stor förlust av högvärdesproduktion i många vädersscenarier, men relativt små totala produktionsförluster. För detta scenario är det knappast meningsfullt att ange hur stor andel högvärdesproduktionsförlusten är av den totala produktionsförlusten eftersom nämnaren i en sådan beräkning för vissa väderår ligger mycket nära noll. Därför har ingen graf motsvarande Figur 9 gjorts för Ljungan. Anledningen att högvärdesproduktionsförlusten är mycket större än produktionsförlusten i detta åtgärdsscenario kan observeras i de figurer som visar prissorterad produktion för åtgärdsscenario "F" i Bilaga B. Anläggningen vid Storsjön är en regleringsdamm och saknar alltså kraftverk. Avveckling av regleringsdammen orsakar därför inga direkta förluster i form av spill. Lite extra spill kan förekomma i kraftverken nedströms om dammen tas bort, men den huvudsakliga påverkan består i att de andra kraftverken i älven måste köras vid mer ogynnsamma tidpunkter. Denna förlust måste därför tolkas mer som en ren förlust av reglerförmåga snarare än produktion. Högvärdesproduktionen för scenariot minskar med mellan 1 och 62 GWh, med ett medelvärde på 29 GWh.

Åtgärdsscenario "L" innehåller samma åtgärder som i "C", men inte i lika många kraftstationer. Påverkan på produktion och högvärdesproduktion har därför samma karaktär, men förlusterna är mindre.

Åtgärdsscenario "N" representerar avveckling av regleringsmöjligheterna i Havern och Kyrksjön. Denna åtgärd ger liten påverkan relativt de andra åtgärdsscenarierna, men jämfört med det så kallade HARO-värdet för Ljungan, vilket är 12 GWh [6], är den ändå betydande. Produktionsförlusten är som mest 34 GWh och i genomsnitt 5,7 GWh. I ett scenario ökar produktionen med 1 GWh och i fyra scenarier är den oförändrad. Anledningen att produktionen kan öka trots att regleringsmöjligheterna minskar är för att älven optimeras för att maximera intäkt, inte produktion. Det kan därför vara så att spill är lönsamt i vissa situationer. Om borttagande av regleringsmöjligheter leder till att lönsamhetsspillet minskar så kan det leda till att produktionen ökar. Högvärdesproduktionen i åtgärdsscenario "N" minskar som mest med 22,7 GWh och som minst med 0,3 GWh. Medelvärdet är 8,8 GWh. För högvärdesproduktion finns inget riktvärde att jämföra med.

4.8.2 Högvärdeskvot är inget bra mått för att kvantifiera förändring

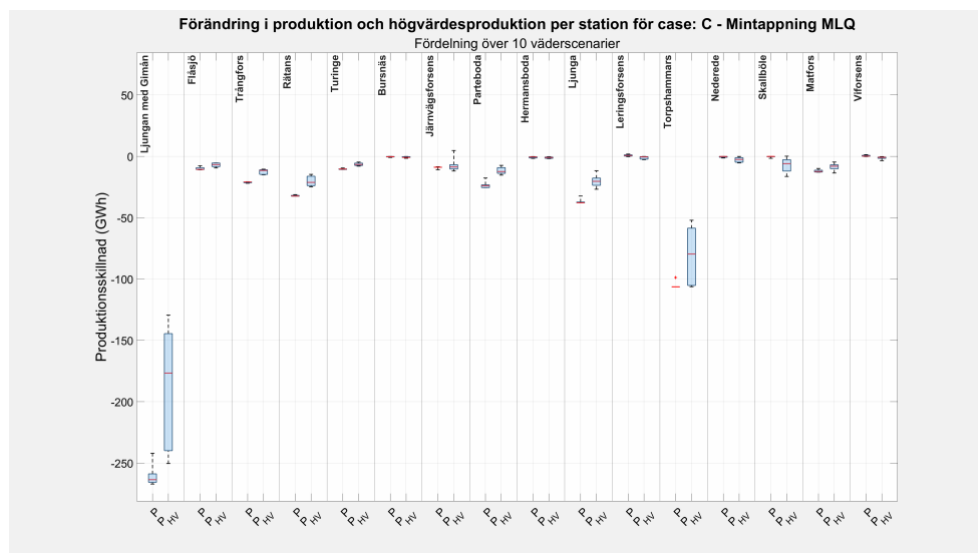
Figur 12 visar hur högvärdeskvoten påverkas i de olika åtgärdsscenarierna. Högvärdeskvoten för åtgärdsscenario "C" kan ses öka för merparten av pris- och väderscenarierna. Detta kanske kan tyckas kontraintuitivt, men ligger i linje med observationer i exempelvis Dalälvsrapporten [16] där det relativa reglerbidraget kunde ses öka i vissa fall. Det som kan hända i ett älvsystem när vatten spills bort är att det finns mer ledig kapacitet i både magasin och kraftverk så att en större andel av produktionen kan köras under högpristimmarna. Men läsaren bör observera att högvärdesproduktionen minskar i absoluta tal. Skillnaden mellan den relativa vinsten och den absoluta förlusten är tydligt i de figurer som visar den prissorterade produktionen tillhörande åtgärdsscenario "C" i Bilaga B. Läsaren kan där se stora förluster av högvärdesproduktion, men samtidigt små förluster eller till och med ökning av högvärdeskvoten i många pris- och väderscenarier. Högvärdeskvot är därför inget bra sätt att mäta förändring av reglerförmåga. Det är bättre att bedöma förändringen med hjälp av högvärdesproduktionen.



Figur 12. Förändring av högvärdeskvot per åtgärdsscenario för Ljungan och Gimån. Lådorna i diagrammet visar spridningen (p25-p75) över 10 årslånga pris- och väderscenarier under perioden 2013-10-01 till 2022-09-30.

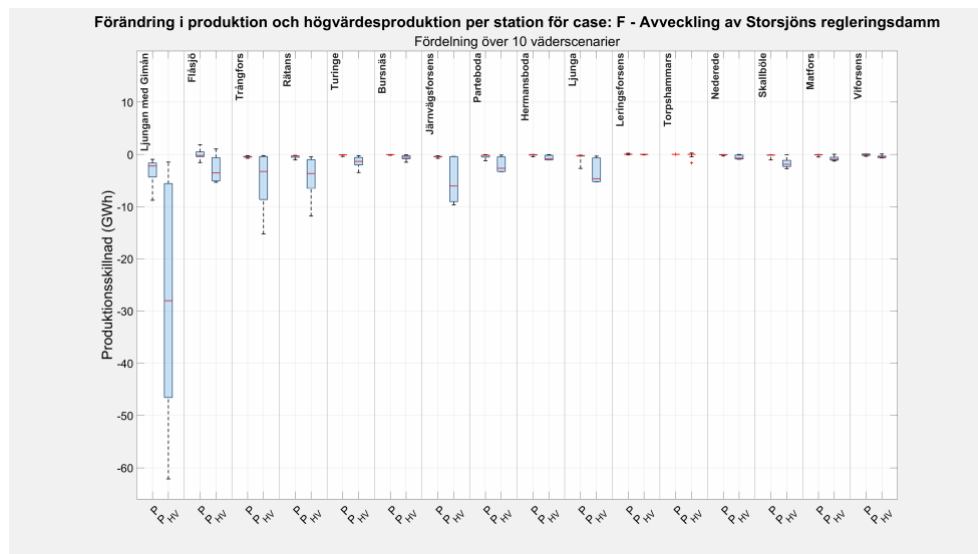
4.8.3 Förändring av produktion och högvärdesproduktion per kraftverk

Figur 13, Figur 14 och Figur 15 visar förlust av produktion och högvärdesproduktion per kraftverk för Ljungan och Gimån i tre av åtgärdsscenarierna. Låddiagrammen baseras på resultat från tio pris- och väderscenarier. I minimitappningsscenariot "C" är det Torpshammar som får de största förlusterna på grund av dess relativt höga fallhöjd på 128 meter. Det är också intressant att notera att spridningen när det gäller totala produktionsförluster är relativt liten, vilket beror på att ett villkorat spill orsakar samma produktionsförlust om det inte kan räknas av från annat spill som hade förekommit även utan villkoret. Detta resultat förutsätter också att fallhöjdsvariationer försummas, vilket varit fallet i Ljungan-modelleringen. Eftersom Torpshammar är ett reglerkraftverk blir också en stor del av produktionsförlusten högvärdesproduktion. Den förlusten varierar också betydligt mer beroende på pris- och väderscenario.



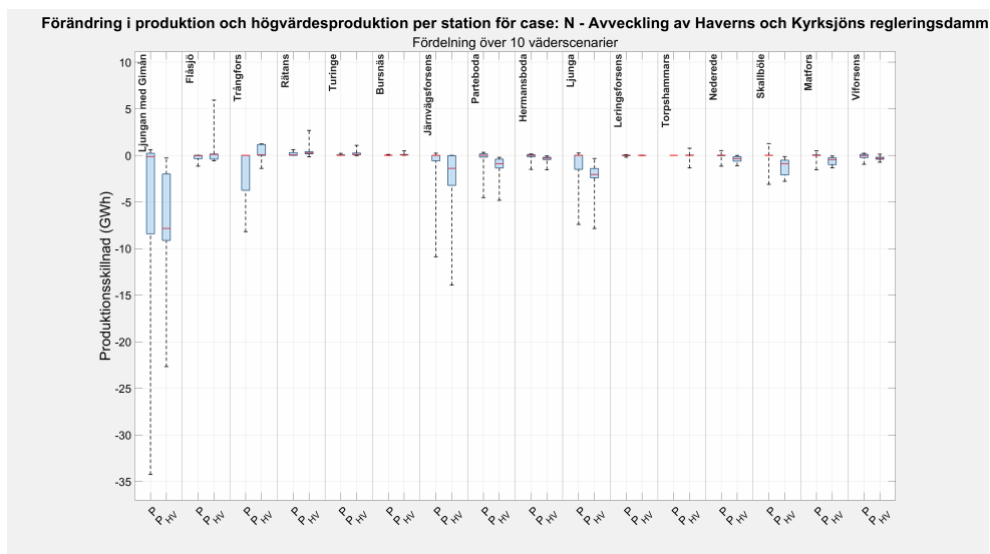
Figur 13. Förändring av totalproduktionsförlust (P) och förlust av högvärdesproduktion (P_{HV}) för åtgärdsscenario "C" i Ljungan och Gimån. Låddiagrammet visar spridningen över 10 pris- och väderscenarier.

Figur 14 visar förlust av produktion och högvärdesproduktion för åtgärdsscenario "F" som innehåller avveckling av Storsjöns regleringsdamm. Där är som synes produktionsförlusterna relativt små, men högvärdesproduktionsförlusterna kan vara relativt stora i flera kraftverk, exempelvis Flåsjö, Trångfors, Rätans, Järnvägsforsen, Parteboda och Ljunga. Skälet är som tidigare beskrivet att dessa kraftverk tvingas köra mer vid prismässigt ogynnsamma tidpunkter. Kraftverken i Gimån påverkas ytterst lite.

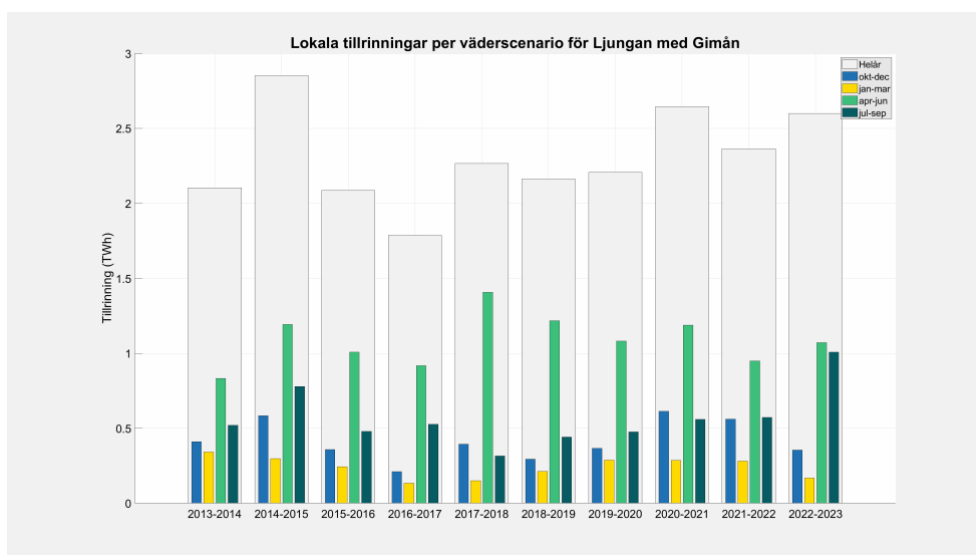


Figur 14. Förändring av totalproduktionsförlust (P) och förlust av högvärdesproduktion (P_{HV}) för åtgärdsscenario "F" i Ljungan och Gimån. Låddiagrammet visar spridningen över 10 pris- och väderscenarier.

Figur 15 visar samma figur för åtgärdsscenario "N" som innebär avveckling av regleringsmöjligheterna i Havern och Kyrksjön. Här ser vi att ett pris- och vädersscenario sticker ut med relativt stora förluster av både produktion och högvärdesproduktion. Det är scenario 17, det vill säga perioden 2017-10-01 till 2018-09-30. Exakt vad som orsakar dessa förluster har inte analyserats i detalj, men man kan notera i Figur 16 att just detta scenario karakteriseras av en relativt liten tillrinning under perioden januari-mars 2018, följt av stor tillrinning under våren april-juli 2018. Skillnaden skulle också kunna bero på priskurvan, men där finns ingenting som sticker ut för det aktuella scenariot. Resultatet visar att tillrinningsprofilen (och förstås även prisprofilen) kan ha stor betydelse ett enskilt år, vilket återigen understryker vikten av att basera resultaten på många pris- och väderscenarier.



Figur 15. Förändring av totalproduktionsförlust (P) och förlust av högvärdesproduktion (P_{HV}) för åtgärdsscenario "N" i Ljungan och Gimån. Låddiagrammet visar spridningen över 10 pris- och väderscenarier.



Figur 16. Tillrinning per år och kvartal omräknat till energi med hjälp av ekvivalenter för varje magasin i Ljungan och Gimån.

5 Diskussion

I detta kapitel diskuteras några olika överväganden som gjorts under arbetet, samt några aspekter rörande hur resultaten kan tolkas och bedömas.

5.1 AVVÄGNING MELLAN UPPLÖSNING OCH ENKELHET

Att priserna delats in i endast två kategorier – hög och låg – kan tyckas vara alltför grovt, och precis som framgår av figurerna i denna rapport och dess bilagor gör denna grova indelning att det inte går att lösa upp alla förändringar. Måttet högvärdesproduktion visar till exempel inte om en produktionstimme flyttar inom respektive halva av de prissorterade produktionsdiagrammen, se Figur 4, Figur 5 och Figur 6. Det är frestande att tänka att det vore bättre att dela in årets timmar i ännu fler prisintervall, eller varför inte vikta alla produktionstimmar med priset som man gör när värdefaktorn beräknas. Alla dessa sätt har vi testat – det är inte svårt att göra beräkningarna och figurerna – men frågan är vad den ökade komplexiteten egentligen tillför. Man ställs snabbt inför ett nytt problem, nämligen hur resultaten ska tolkas och bedömas. Vad betyder det att en timme flyttar från intervallet med de 10% högsta priserna till ett intervall med de 20-30% högsta priserna? Eller vad betyder det att en prisviktad produktionsförändring sjunker med 5%? Produktionsvärdet sjunker, det vet vi förstås. Men om det är det förlorade produktionsvärdet vi vill veta så är det ju bara att räkna ut det. Produktionsvärdet är också ett intressant nyckeltal som talar för sig själv.

För den tänkta användningen av måttet högvärdesproduktion bedömer vi att en finare indelning av prisintervallen inte kan motiveras om man också tar hänsyn till komplexitet, robusthet och användbarhet. Det skulle bli fler siffror att tolka och dessa skulle bli mindre robusta på grund av känsligheten för variationer i indata. Efter moget övervägande gör vi bedömningen att en uppdelning i två kategorier – hög och låg – är en lämplig avvägning mellan noggrannhet och enkelhet sett till syftet med nyckeltalet.

5.2 DET ÄR SKILLNAD PÅ UTFALL OCH FÖRMÅGA, ELLER?

I rapporten om relativt reglerbidrag [15] var vi noga med att skilja på utfall och förmåga. Det är anledningen till relativt reglerbidrag heter just så och inte relativt reglerförmåga. Reglerbidrag är ett mått på utfallet av en ekonomisk optimering, inte på teknisk förmåga. Vi kan inte utifrån det observerade utfallet veta om det finns ännu mer förmåga som kraftproducenterna av något skäl inte utnyttjar. Många kraftverk skulle kunna få ett betydligt högre reglerbidrag om elpriset var ännu mer varierande än idag. En annan faktor är att kraftverksägarna tar hänsyn till ökat slitage och ökad risk för skador på grund av transienter som kan uppstå när driftlägen ändras. Ett annat skulle kunna vara hänsyn till negativa effekter på närmiljön och naturen som man försöker undvika. Det kan också vara så att man väljer att hålla tillbaka lite av sin förmåga för att ha reserver att hantera oförutsedda situationer.

Högvärdesproduktion är precis som relativt reglerbidrag ett mått på utfall och inte på teknisk förmåga. Men skillnaden i båda fallen är mest semantisk. Om man tillåter sig ett synsätt där kraftproducentens hänsyn till slitage, risk för skador, miljöpåverkan, reserver och liknande också är faktorer som begränsar förmågan kommer skillnaden mellan utfall och förmåga att bli avsevärt mindre, kanske blir det rent av samma sak. Det kan förutsättas att kraftproducentens beslut och agerande syftar till att maximera utnyttjandet av sin förmåga över tid. Slitage och skador leder till ökade kostnader och avställningar som gör aggregat otillgängliga. Särskild hänsyn till närmiljö och lokala intressen kan handla om allmänhetens acceptans för regleringen över tid. Hållande av reserver kan skapa intäktsströmmar från andra marknader.

Eftersom reglerförmåga är det begrepp som oftast används har vi valt att i denna rapport endast tala om reglerförmåga och inte reglerbidrag. Vi tillåter oss alltså den mer generösa synen på vilka faktorer som begränsar förmågan. Den reglerförmåga som avses här bör således betraktas som en uthållig och ekonomisk reglerförmåga snarare än en teknisk.

5.3 PLACERING I ÄLVEN ÄR OCKSÅ ETT RANDVILLKOR

Nästan oavsett vilket mått som används är det viktigt att förstå att den individuella förmågan hos varje kraftverk är beroende av kraftverkets placering och funktion i älven. Den produktionsoptimering som en rationell kraftverksägare bedriver antingen i egen regi eller via någon typ av vattenregleringsföretag syftar till att maximera produktionsvärdet av älven som helhet. Det innebär att vissa kraftverk kommer att köras vid ogynnsamma tidpunkter för att andra ska ha vatten vid gynnsamma tidpunkter. Om kraftverken i en älv har olika ägare finns metoder för att kompensera varandra för de ekonomiska skillnader som kan uppstå, till exempel så kallade kraftbyten.

Högvärdesproduktion kan som beskrivits i denna rapport beräknas på olika geografisk skala. Om måttet ska brytas ner på mindre enheter än avrinningsområde, exempelvis på kraftverksnivå, så är det viktigt att förstå att varje enskilt kraftverk kanske hade kunnat uppnå högre värden om målet varit att maximera deras individuella högvärdesproduktion. Kraftverket har alltså en högre individuell teknisk förmåga att generera högvärdesproduktion än vad en fördelning av en avrinningsområdesvis optimering leder till. Men eftersom alternativet att optimera varje kraftverk individuellt skulle innebära en suboptimering på systemnivå så är inte den högre individuella förmågan särskilt intressant. Därför ser vi kraftverkens placering i älven och dess hydrauliska beroenden av andra kraftverk som randvillkor vilka begränsar reglerförmågan i likhet med exempelvis vattenhushållningsbestämmelser.

5.4 HUR SKA PÅVERKAN BEDÖMAS?

När det gäller produktionsförlust i samband med omprövningarna för moderna miljövillkor för vattenkraften finns ett politiskt beslutat nationellt riktvärde och huvudavrinningsområdesvisa riktvärden (så kallade HARO-värden) att förhålla sig till. För reglerförmåga finns politiska uttalanden om att vi inte ska ha någon

betydande negativ påverkan på kraftverken i reglerbidragsklass 1, men myndigheter och politiker har aldrig slagit fast något mätetal eller numeriskt riktvärde för reglerförmågan. För högvärdesproduktion finns inget sådant riktvärde eftersom nyckeltalet är nytt.

I denna rapport har vi valt att inte göra några egna bedömningar eller utsagor om hur förlust av högvärdesproduktion ska bedömas. Detta eftersom ett sådant riktvärde är en politisk avvägning snarare än vetenskap. Vi nöjer oss därför med att föra ett kort resonemang om vad som kan behöva ingå i en sådan politisk bedömning.

Givet den stora spridningen i utfall mellan olika pris- och väderscenarier är det förstås av stor betydelse om avvägningen fokuseras på extremvärdena, på medelvärdet eller på något av percentilvärdena. Företagsekonomiskt vore det kanske mest relevant att titta på medelvärdet eftersom detta kopplar till vattenkraftens produktionsvärde över tid. När det gäller påverkan på elsystemet kan man argumentera för att bedömningen ska baseras på ett percentilvärde, exempelvis 95e percentilen i likhet med vad Svenska kraftnät gjort i sina nyckeltal baseeffekt, reglereffekt och energilager [17]. Ett sådant värde skulle kunna tolkas som att påverkan är mindre för 95 av 100 pris- och väderscenarier och då kopplas till dimensionerande förutsättningar för kraftsystemet. Jämför exempelvis med begreppen tioårsvinter, 100-årsflöde osv.

Kanske kan man nöja sig med ett lägre percentilvärde, till exempel 75e percentilen som syns tydligt i de låddiagram som presenterats i rapporten. Detta skulle då kunna tolkas så att förlusten av högvärdesproduktion ska hålla sig under ett visst riktvärde 75 pris- och väderår av 100. Vad som är en relevant nivå låter vi vara osagt.

5.5 SKULLE RESIDUALLASTEN KUNNA VARA ETT ALTERNATIV TILL PRIS?

Residuallasten sägs ibland vara ett mer relevant mått på behovet ur ett samhällsekonomiskt perspektiv än elpriset. Det argument som anförs är att elpriset snarare motsvarar kraftverksägarnas strävan efter att tjäna pengar, det vill säga ett företagsekonomiskt perspektiv. Men med detta synsätt förbises två mycket viktiga aspekter:

1. elpriset tar till skillnad från residuallasten även hänsyn till vilken sorts produktion och förbrukning som finns att tillgå och vad alla olika alternativ kostar, och
2. elpriset är både bakåtblickande och framåtblickande, medan residuallasten är en ögonblicksbild.

Vi menar därför att elpriset är det mest samhällsekonomiskt relevanta måttet eftersom det säkerställer att kraftsystemets alla resurser används så kostnadseffektivt som möjligt över tid.

5.6 PRISSORTERAD PRODUKTION FÖR VINDKRAFT

Som nämndes i inledningen är nyckeltalen högvärdesproduktion och högvärdeskvot inte knutna till just vattenkraft utan skulle gå att använda även i andra sammanhang. I Bilaga C visas som exempel prissorterad produktion för vindkraft, vilket kan vara en intressant jämförelse med vattenkraften. Baserat på de fem år som visas för två elområden vore det intressant att studera vad som ser ut att vara en trend mot lägre högvärdeskvot. Utifrån dessa grafer är det också tydligt varför det är viktigt att bibehålla högvärdesproduktion från andra kraftslag.

6 Referenslista

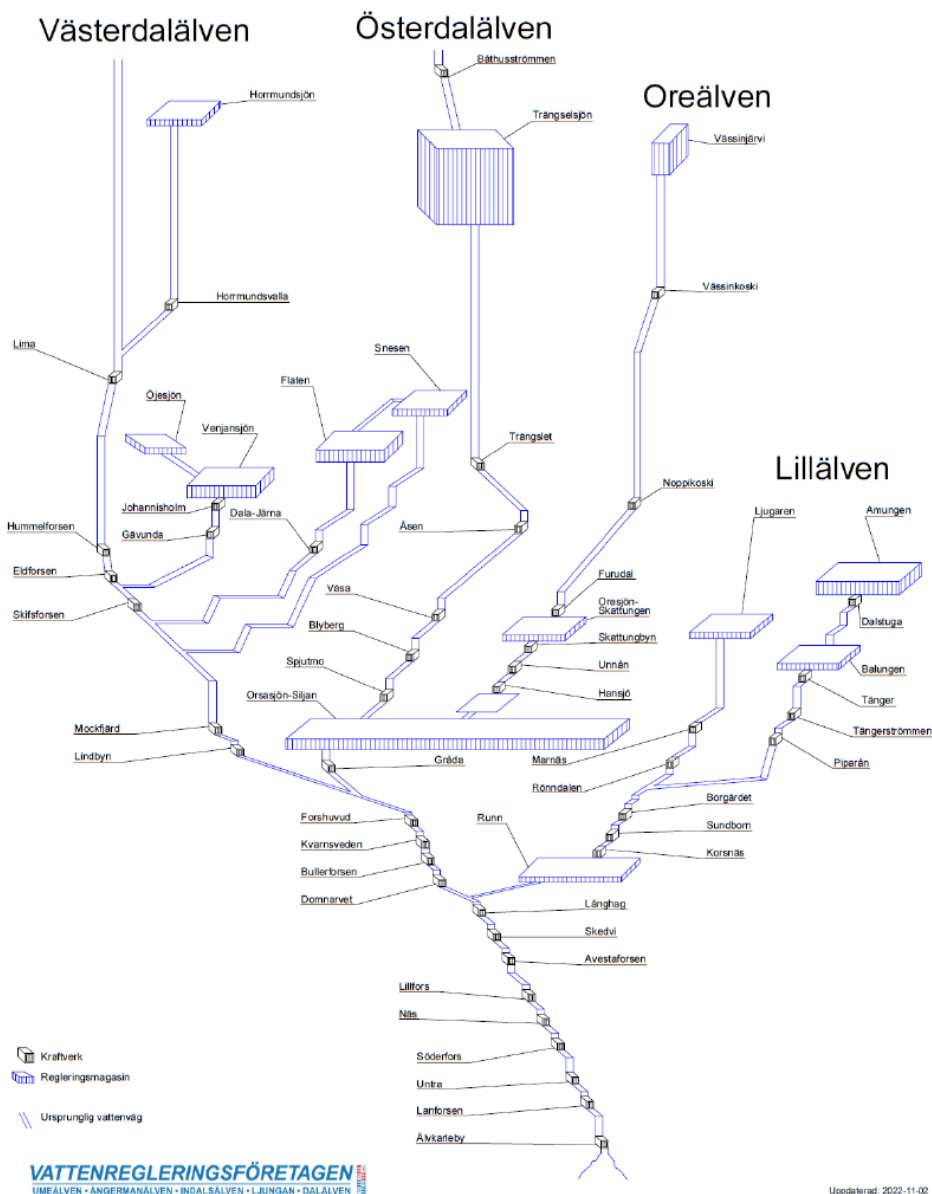
- [1] Svenska kraftnät, "Kraftbalansen på den svenska elmarknaden, rapport 2025," Ärende nr: 2025/2726.
- [2] Pressmeddelande från Vattenfall AB, "Vattenfall tar Juktans pumpkraftverk till nästa steg," 13 12 2023. [Online]. Available: <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2023/vattenfall-tar-juktans-pumpkraftverk-till-nasta-steg>. [Använd 04 12 2025].
- [3] Pressmeddelande från Fortum, "Fortum genomför en förstudie för nya pumpkraftverk," 11 02 2025. [Online]. Available: <https://www.fortum.com/se/media/2025/02/fortum-genomfor-en-forstudie-nya-pumpkraftverk>. [Använd 04 12 2025].
- [4] AFRY, "Potential för ökad effekt och balansering från Sveriges vattenkraft," Sveriges ingenjörer, 2024-10-18.
- [5] Regeringsbeslut M2019/01769/Nm, "Nationell plan för moderna miljövillkor," 2020-06-25.
- [6] Havs- och vattenmyndigheten, Energimyndigheten och Svenska kraftnät, "Förslag till nationell plan för omprövning av vattenkraft," 2019.
- [7] Energimyndigheten, "Vattenkraftens reglerbidrag och värde för elsystemet ER 2016:11".
- [8] SFS 2025:715, "Förordning om ändring i vattenförvaltningsförordningen (2004:660)," Klimat- och näringslivsdepartementet, Utfärdad den 19 juni 2025.
- [9] SFS 2025:784, "Förordning (2025:784) med instruktion för Statens energimyndighet," Klimat- och näringslivsdepartementet, Utfärdad den 26 juni 2025.
- [10] SFS 2025:782, "Förordning (2025:782) med instruktion för Affärsverket svenska kraftnät," Klimat- och näringslivsdepartementet, Utfärdad den 26 juni 2025.
- [11] Energiföretagen Sverige, "Vårfloden 2025 – nya förutsättningar, prispress," 08 05 2025. [Online]. Available: <https://www.energiforetagen.se/pressrum/nyheter/2025/maj/varfloden-2025--nya-forutsattningar-prispress/>. [Använd 29 11 2025].
- [12] J. Lönnberg och J. Bladh, "Flexibility and Regulation Capability of Hydropower Systems to Balance Large Amounts of Wind Power - Influence of Plant Properties and Hydrological Conditions," i *13th Wind Integration Workshop*, Berlin, 11-13 nov 2014.
- [13] Vattenfall, *Schematisk bild av Luleälven*, 1997-10-16.
- [14] L. Hirth, "The market value of wind energy - thermal versus hydro power systems (Energiforsk report 2016:276)".
- [15] J. Lönnberg och J. Bladh, "Relative balancing contribution of hydropower plants and rivers, revision 2," Vattenfall R&D, 2016-01-20.
- [16] J. Bladh, J. Funkquist och J. Näsström, "Miljöåtgärders påverkan på vattenkraftsproduktionen i Dalälven," Februari 2023.

- [17] Svenska kraftnät, "Att kartlägga de konsekvenser för elsystemet som omprövning av vattenkraften medför m.m. (Svk 2023/610)," 2023-09-26.
- [18] J. Bladh och J. Funkquist, "Miljöåtgärders påverkan på vattenkraftsproduktionen i Ljungan," Next Hydro AB och Vattenfall R&D, 2021.
- [19] Vattenregleringsföretagen, *Schematisk bild av Dalälven*, 2018.

Bilaga A: Exempel från Nedre Dalälven

Denna bilaga sammanfattar det viktigaste ur modelleringsstudien för Nedre Dalälven som genomfördes 2023 och som används i denna rapport för att illustrera måtten högvärdesproduktion och högvärdeskvot. För ytterligare detaljer om hur Dalälvsstudien är genomförd hänvisas läsaren till den fullständiga Dalälvsrapporten [16] som publicerats av Energiforsk.

Figur 17 visar en schematisk skiss över vattenmagasin, dammar och kraftverk i Dalälven och Tabell 1 visar en översikt över de miljöåtgärdsscenarioer som visats i rapportens exempel.



Figur 17. Schematisk illustration av vattenmagasin, dammar och kraftverk i Dalälven [19].

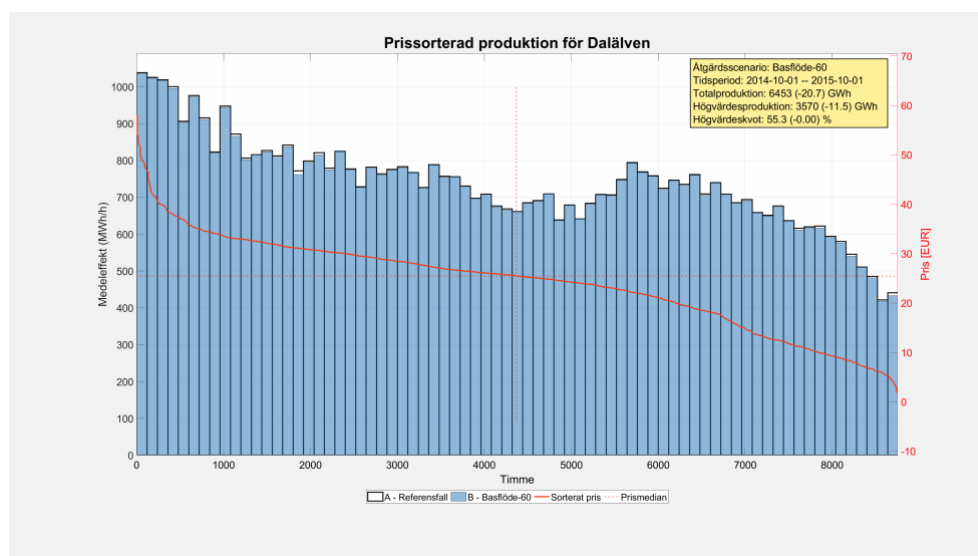
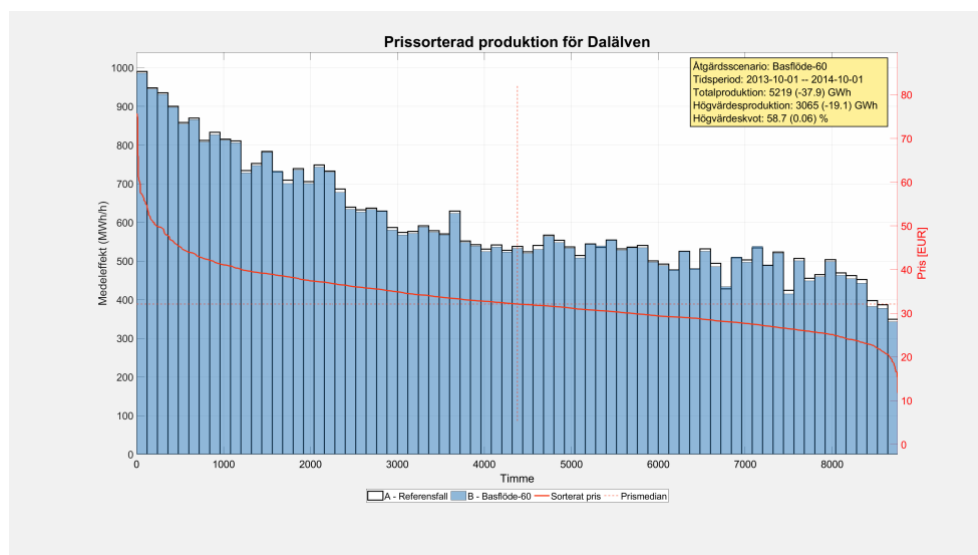
Tabell 1. Översikt över de miljöåtgärdsscenarier som använts i rapportens exempel. Bredforsen är en naturfåra mellan Söderfors och Untra. Båtfors är ett naturområde mellan Untra och Lanforsen.

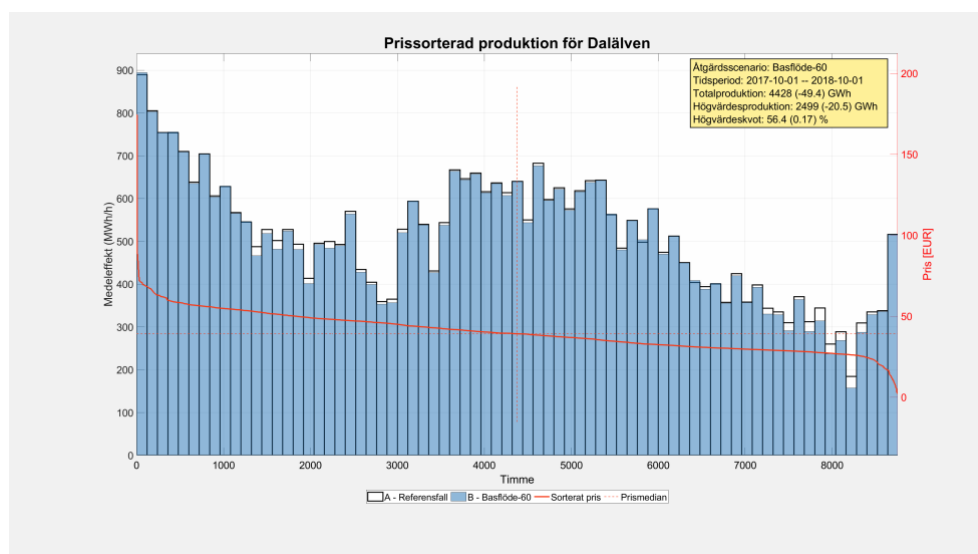
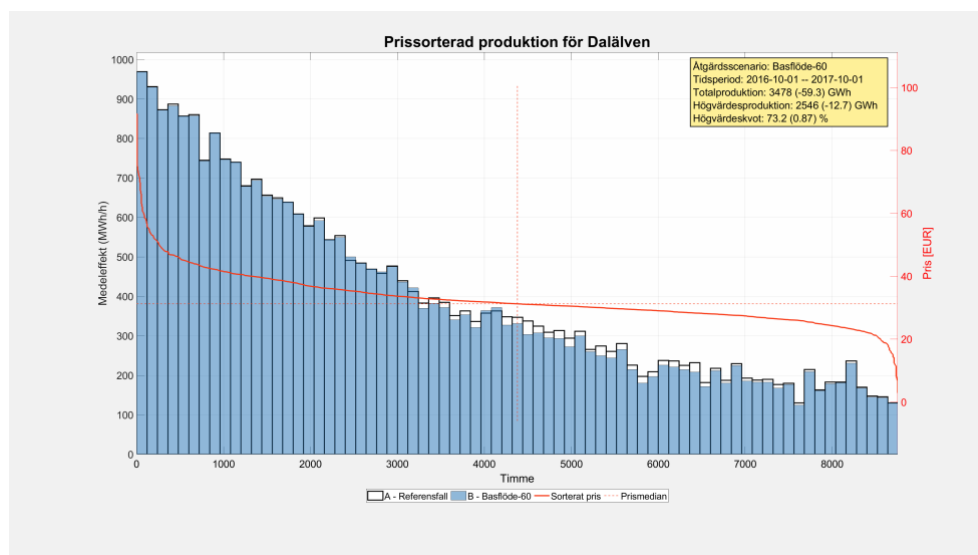
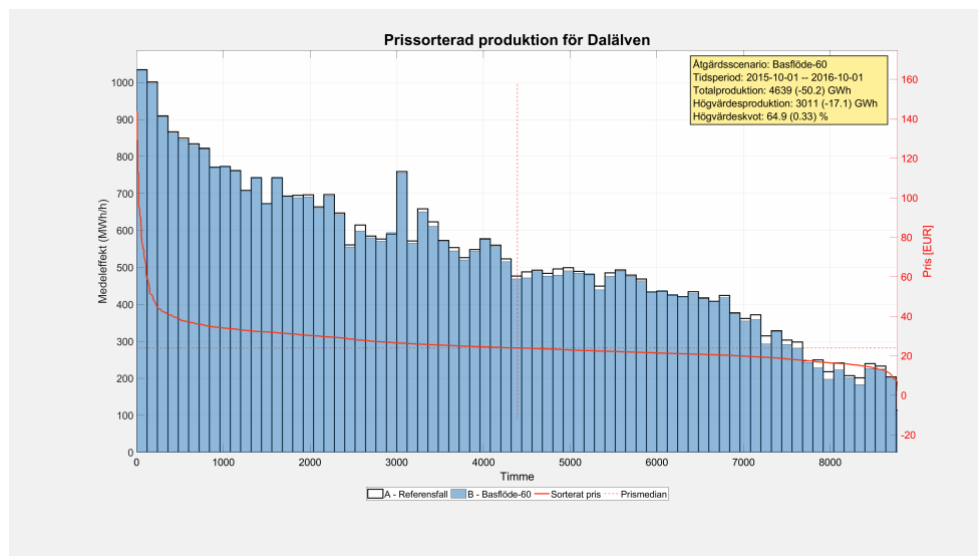
Scenario	Scenarionamn	Översiktlig beskrivning
A	Referensfall	
B	Basflöde-60	Rak minimitappning 50 m ³ /s i Bredforsen och 60 m ³ /s i Båtfors hela året.
C	Basflöde-120	Rak minimitappning 100 m ³ /s i Bredforsen och 120 m ³ /s i Båtfors hela året.
D	Basflöde-120-säsongsanpassat	Säsongsanpassad minimitappning 100 m ³ /s i Bredforsen och 120 m ³ /s i Båtfors hela året.
E	Svämängar-350-21d	Rak minimitappning 100 m ³ /s i Bredforsen och 120 m ³ /s i Båtfors hela året. Vårflöde 350 m ³ /s i Bredforsen och Båtfors under 21 dygn.
F	Svämängar-350-60d	Rak minimitappning 100 m ³ /s i Bredforsen och 120 m ³ /s i Båtfors hela året. Vårflöde 350 m ³ /s i Bredforsen och Båtfors under 60 dygn.
G	Svämängar-350-21d - Svämskogar-800-2d	Rak minimitappning 100 m ³ /s i Bredforsen och 120 m ³ /s i Båtfors hela året. Vårflöde 350 m ³ /s i Bredforsen och Båtfors under 21 dygn. Vårflöde 800 m ³ /s i Bredforsen och Båtfors under 2 dygn.
H	Svämängar-350-60d - Svämskogar-600-25d	Rak minimitappning 100 m ³ /s i Bredforsen och 120 m ³ /s i Båtfors hela året. Vårflöde 350 m ³ /s i Bredforsen och Båtfors under 60 dygn. Vårflöde 600 m ³ /s i Bredforsen och Båtfors under 25 dygn.
I	Svämängar-350-60d - Svämskogar-800-25d	Rak minimitappning 100 m ³ /s i Bredforsen och 120 m ³ /s i Båtfors hela året. Vårflöde 350 m ³ /s i Bredforsen och Båtfors under 60 dygn. Vårflöde 800 m ³ /s i Bredforsen och Båtfors under 25 dygn.

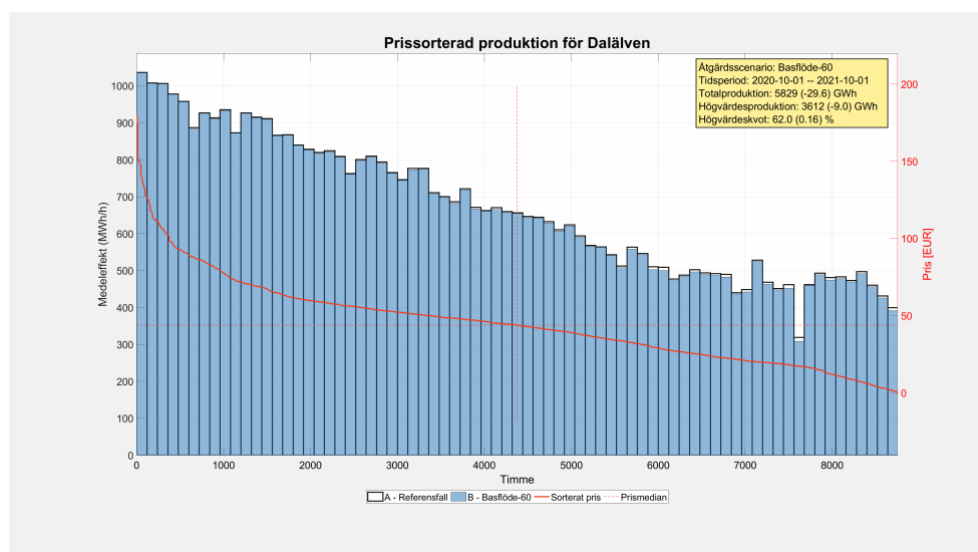
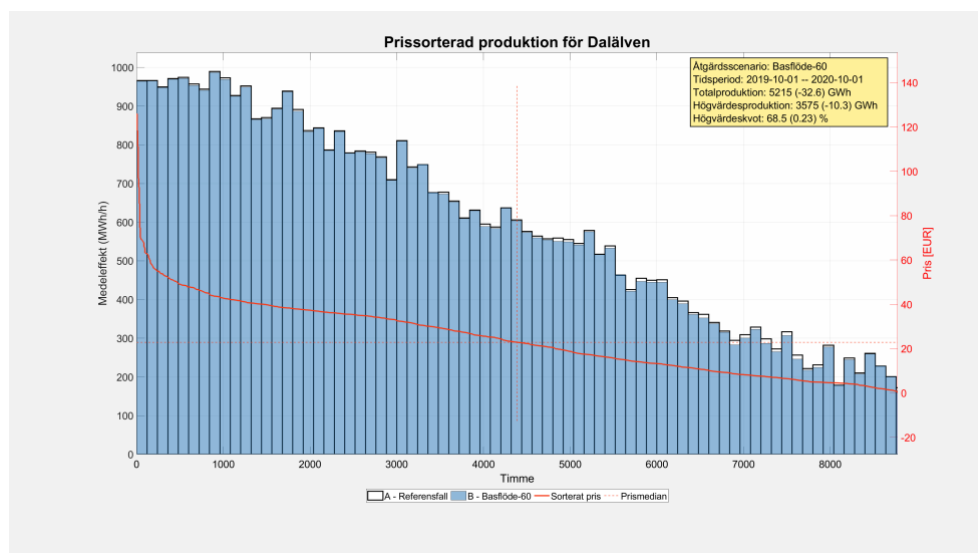
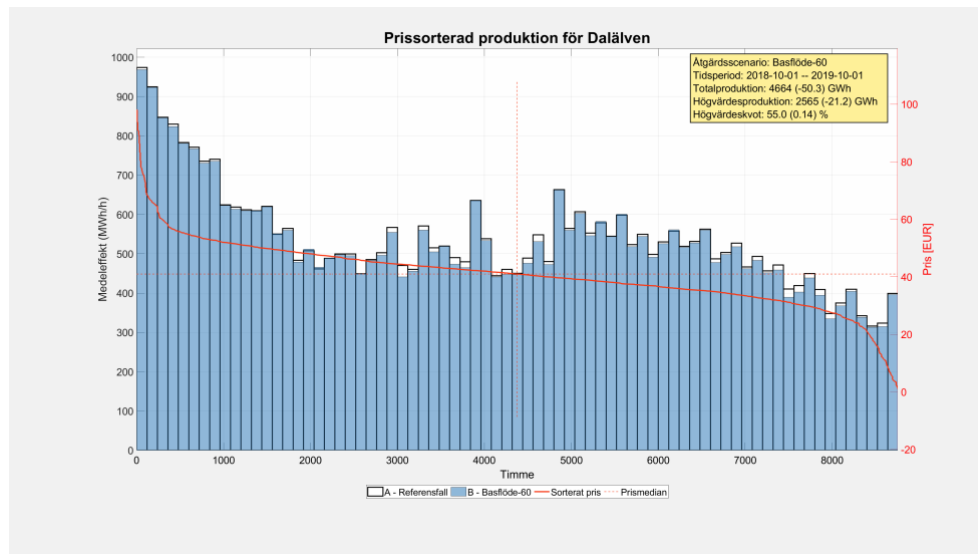
PRISSORTERAD PRODUKTION FÖR DALÄLVEN

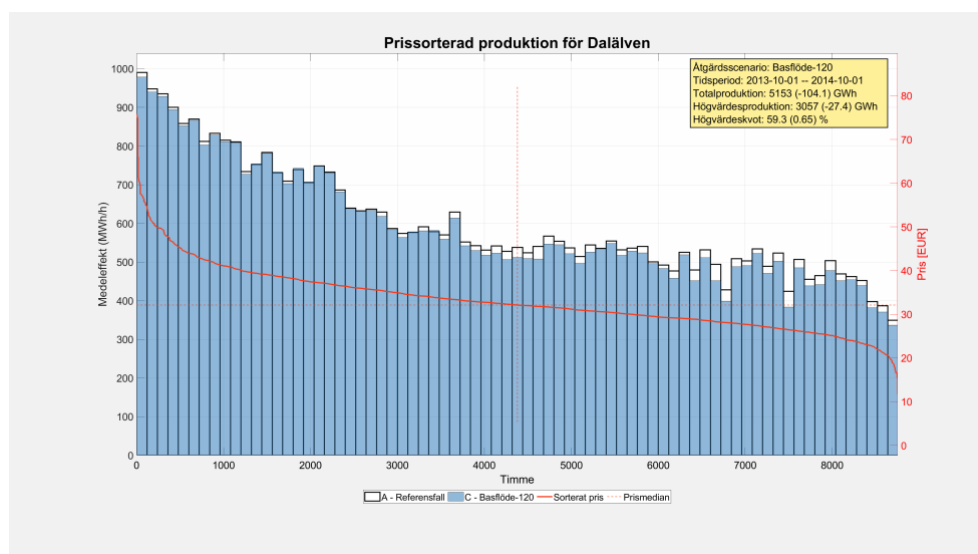
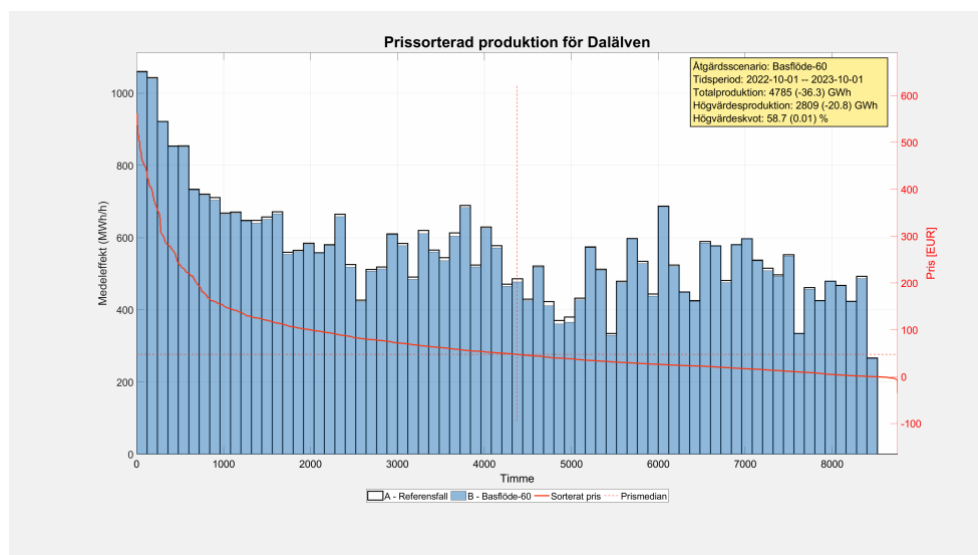
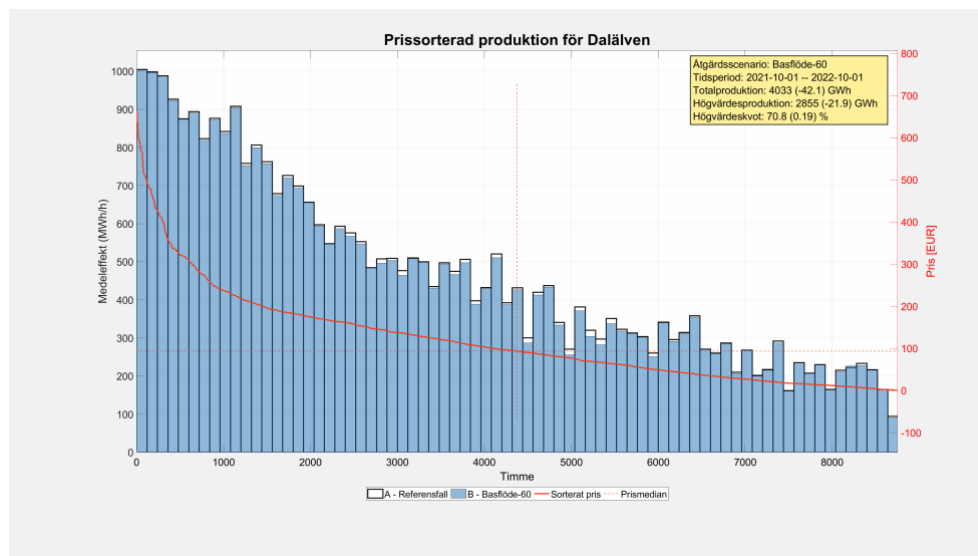
Nedan visas ett stort antal figurer föreställande prissorterad produktion för alla de scenarier som ligger bakom beräkningarna av låddiagrammen för högvärdesproduktion och högvärdeskvot i huvudrapporten. Även om det blir totalt 80 figurer för Dalälven (8 åtgärdsscenarioer gånger 10 pris- och väderscenarier) så ser vi inget bättre sätt att skapa förståelse för hur måtten fungerar.

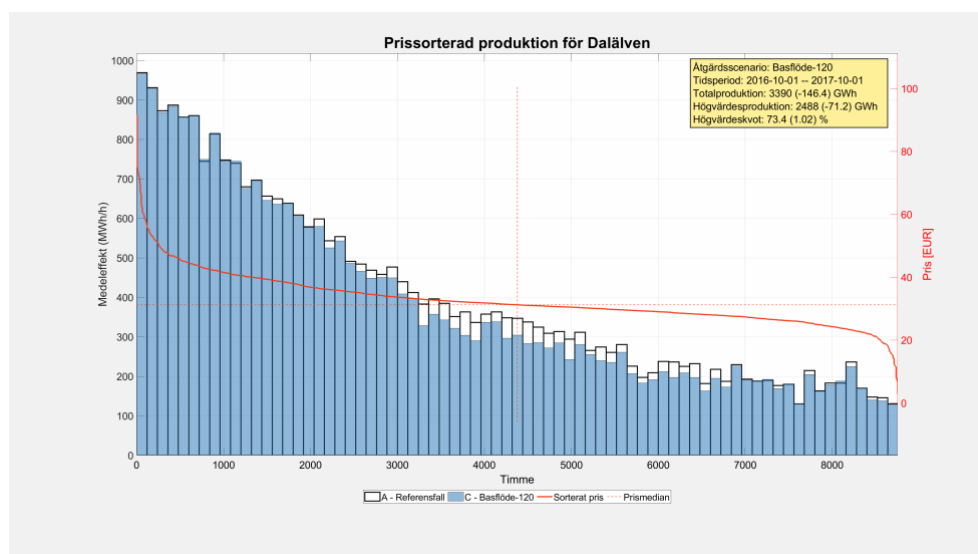
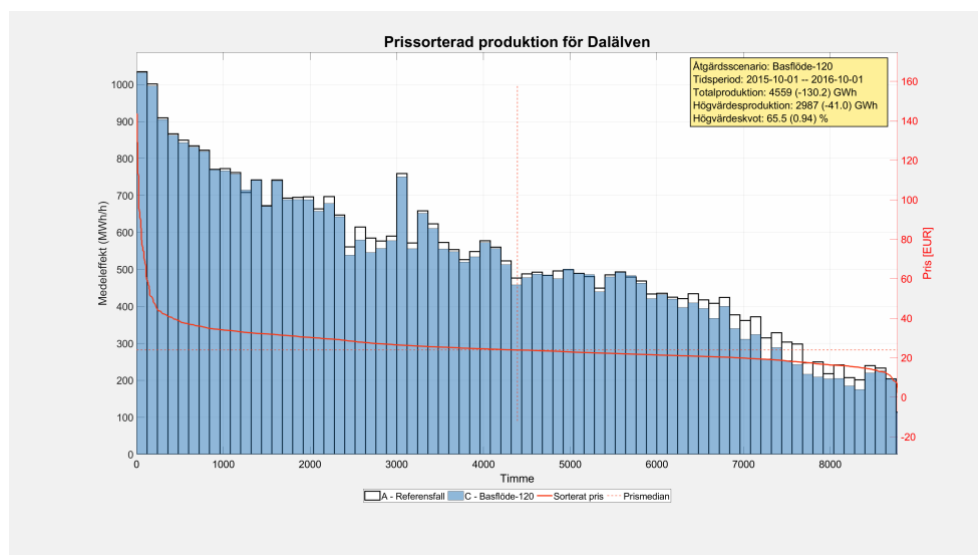
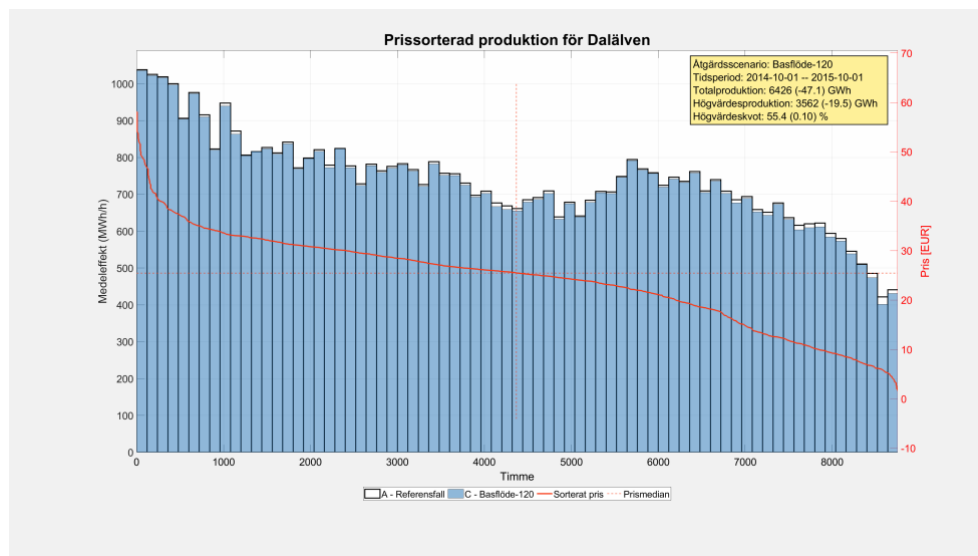
Figurerna visar sorterat elpris och prissorterad produktion som 120 timmars medelvärden. Ofyllda staplar visar referensfallet och de blåfärgade staplarna visar den prissorterade produktionen i det åtgärdsscenario och under den tidsperiod som framgår av den gula rutan i figuren. I rutan visas också totalproduktion, högvärdesproduktion och högvärdeskvot i referensfallet och inom parentes skillnaden mellan åtgärdsscenarioet och referensfallet.

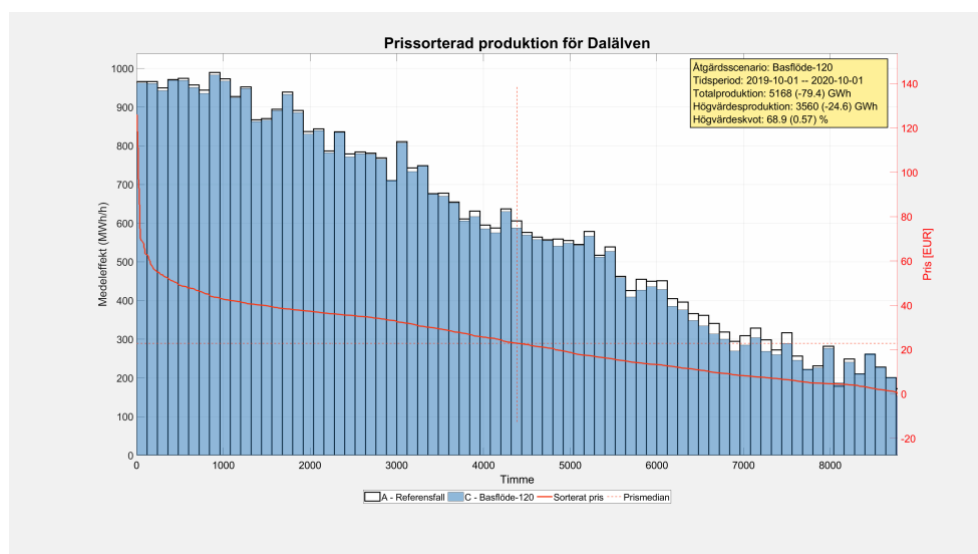
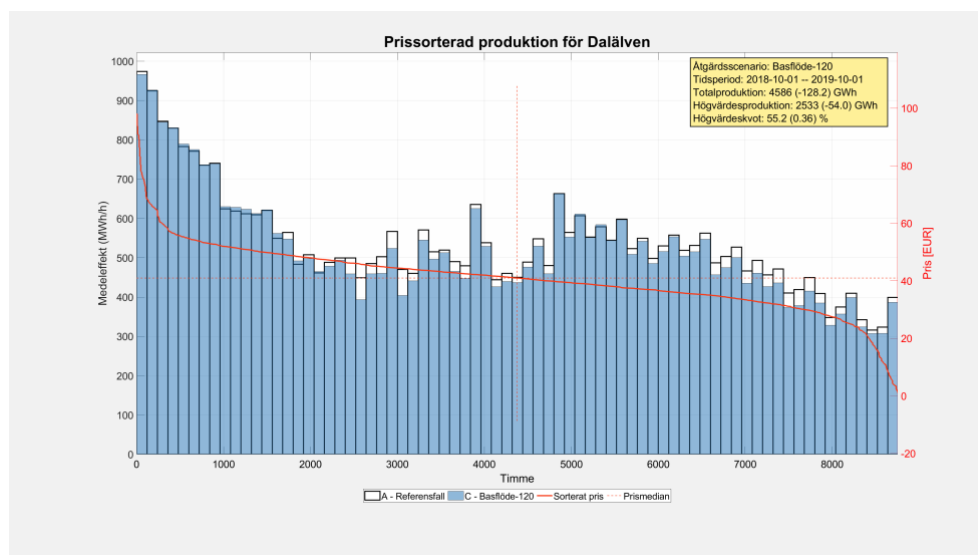
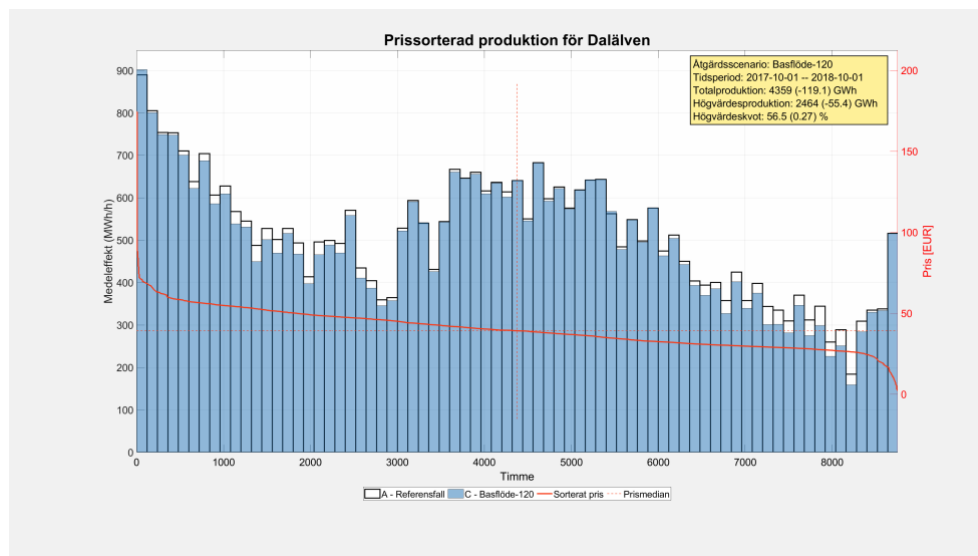


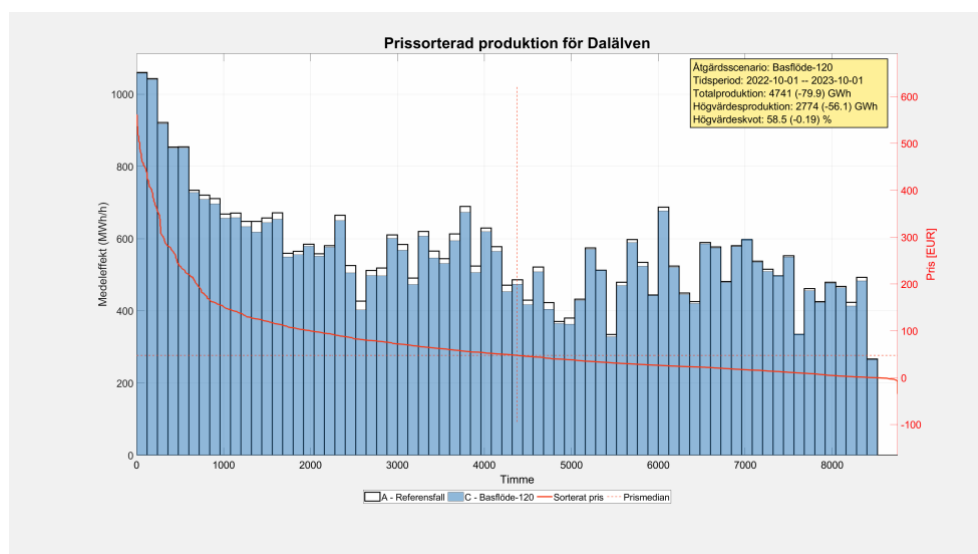
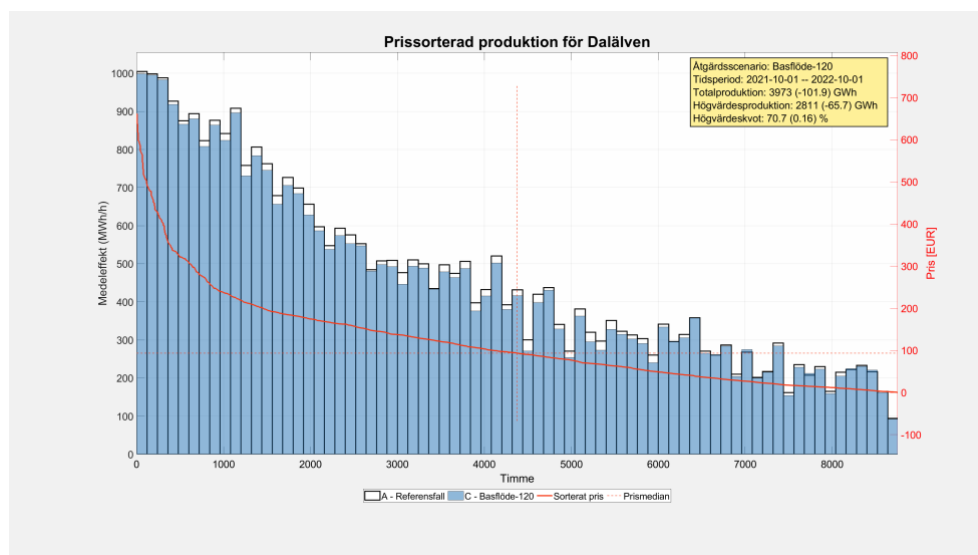
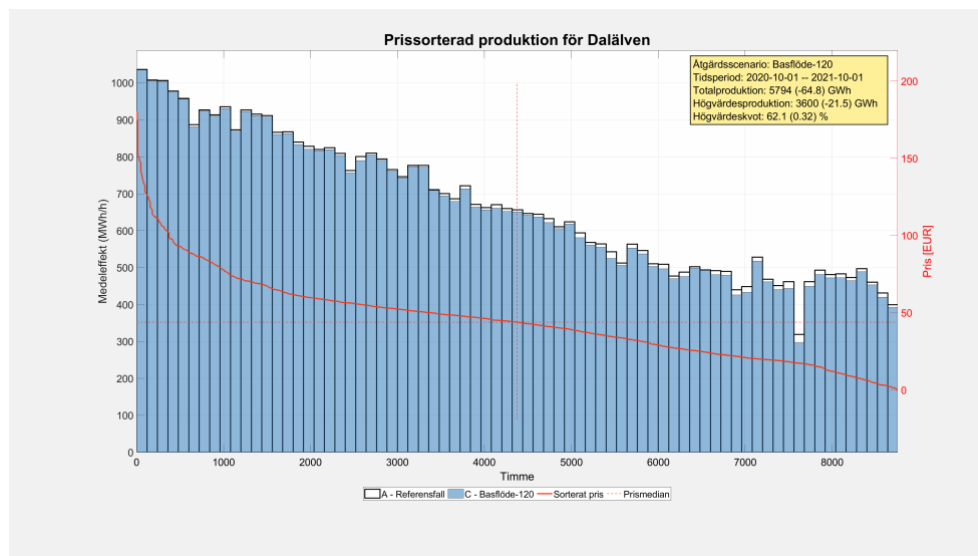


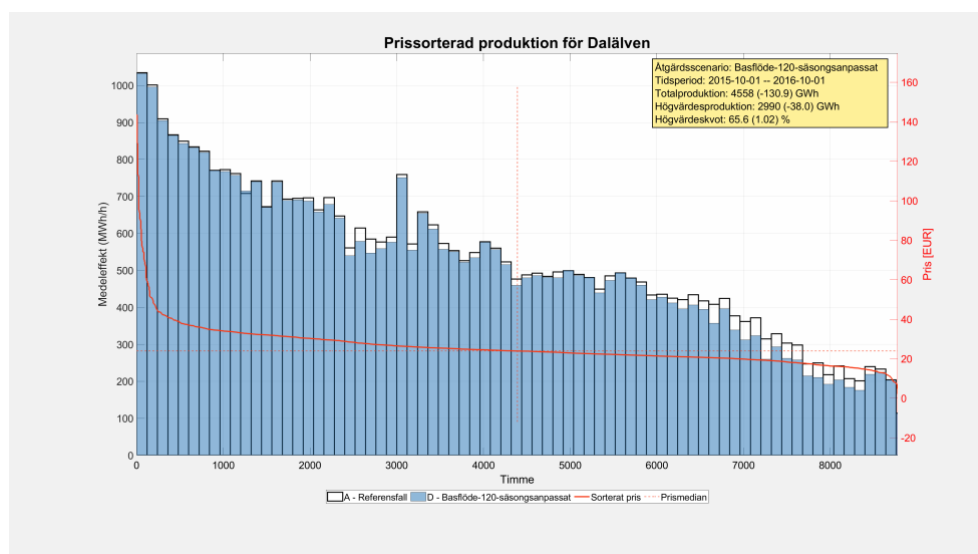
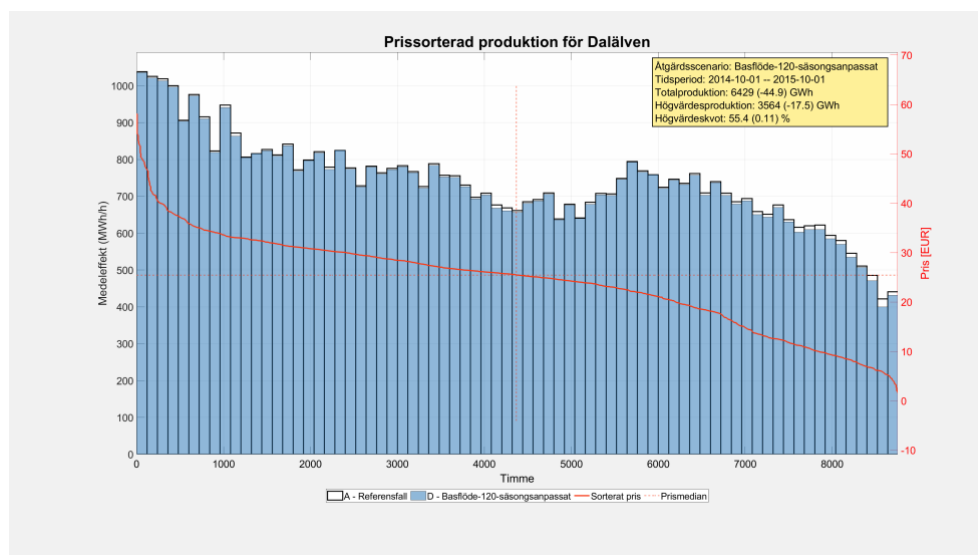
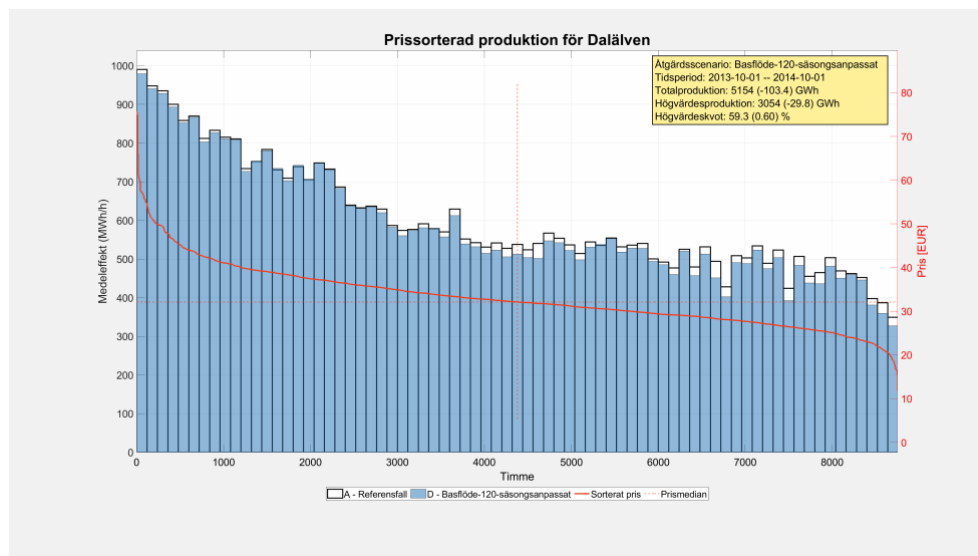


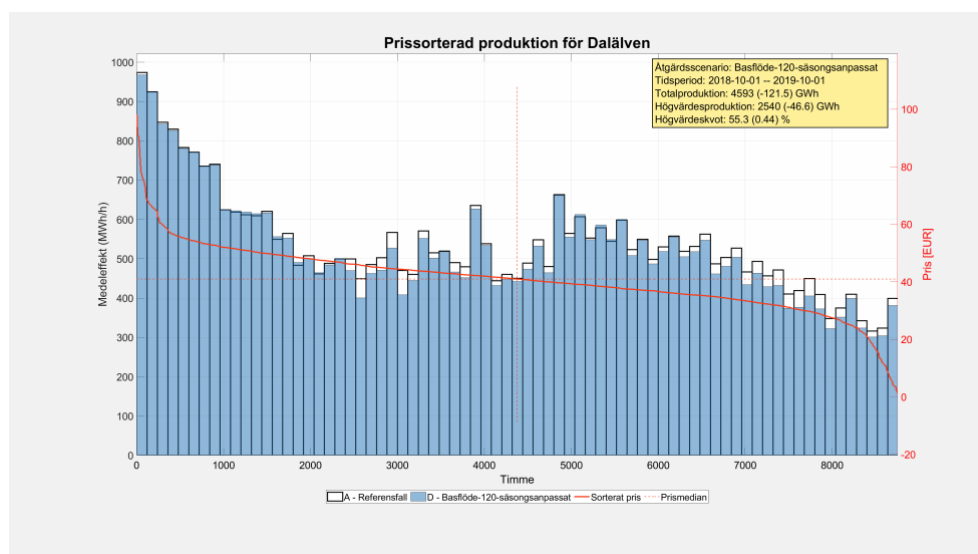
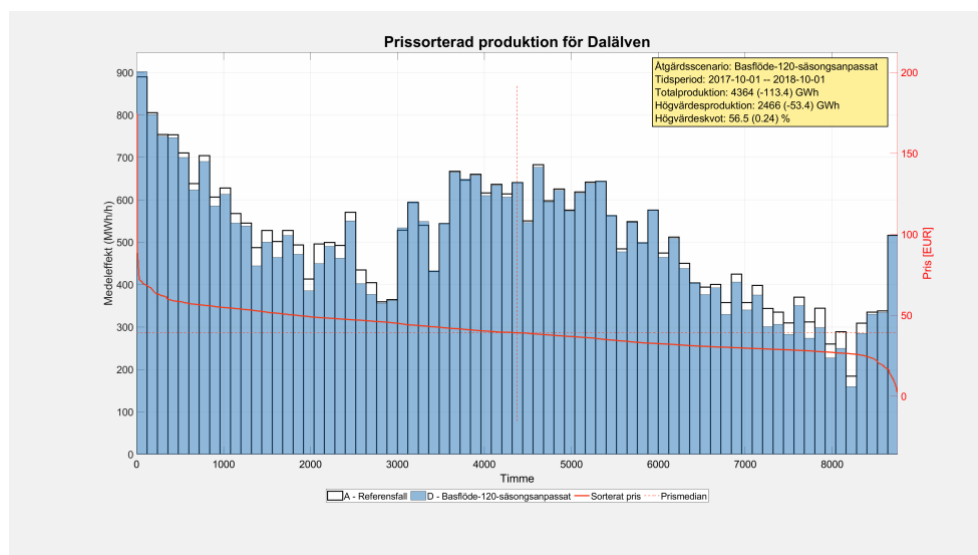
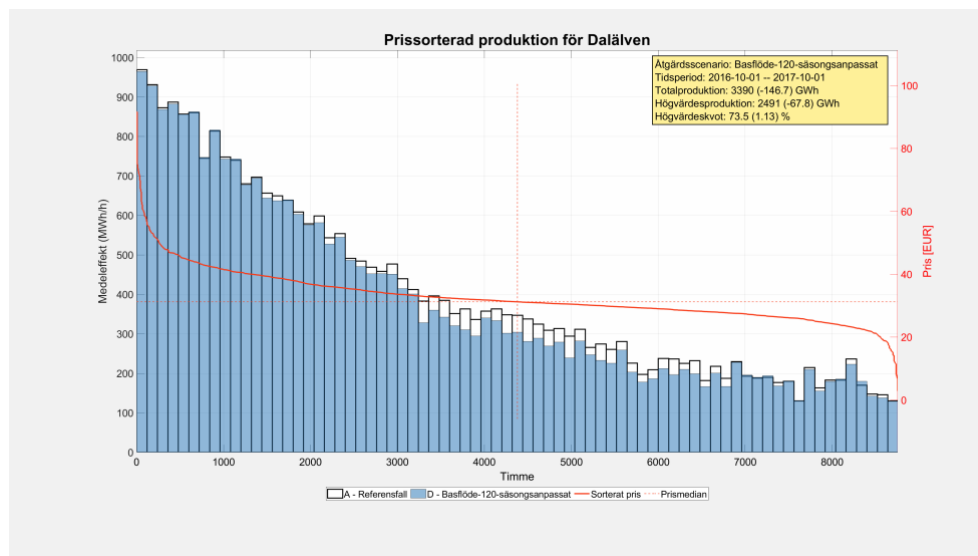


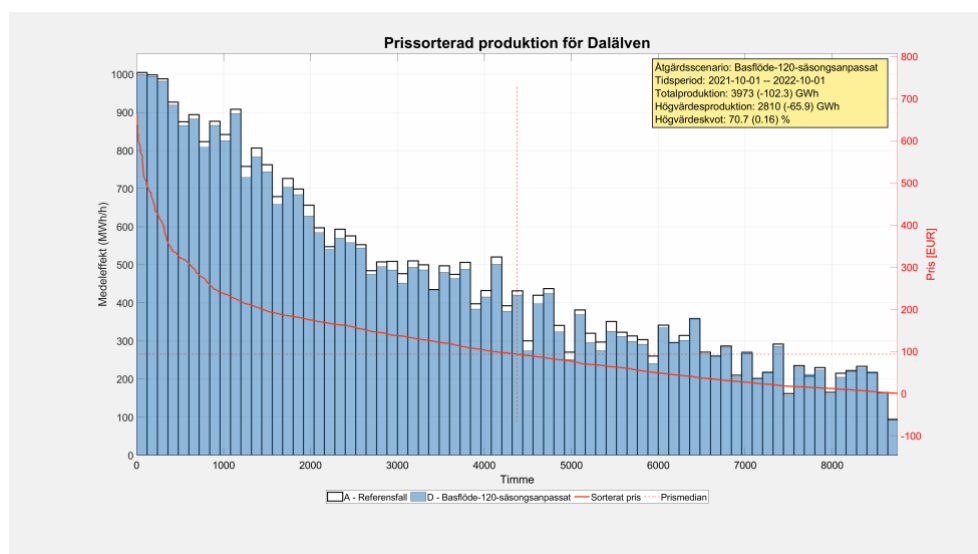
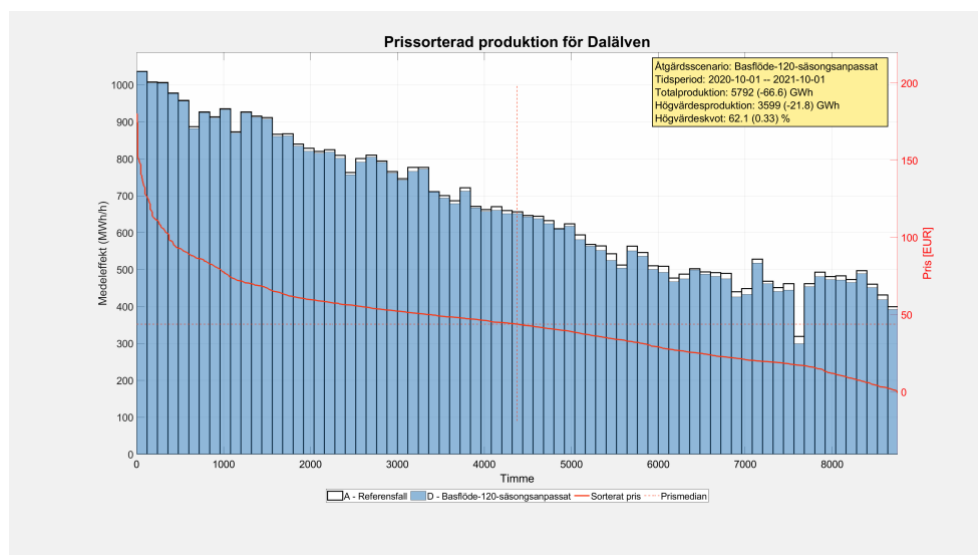
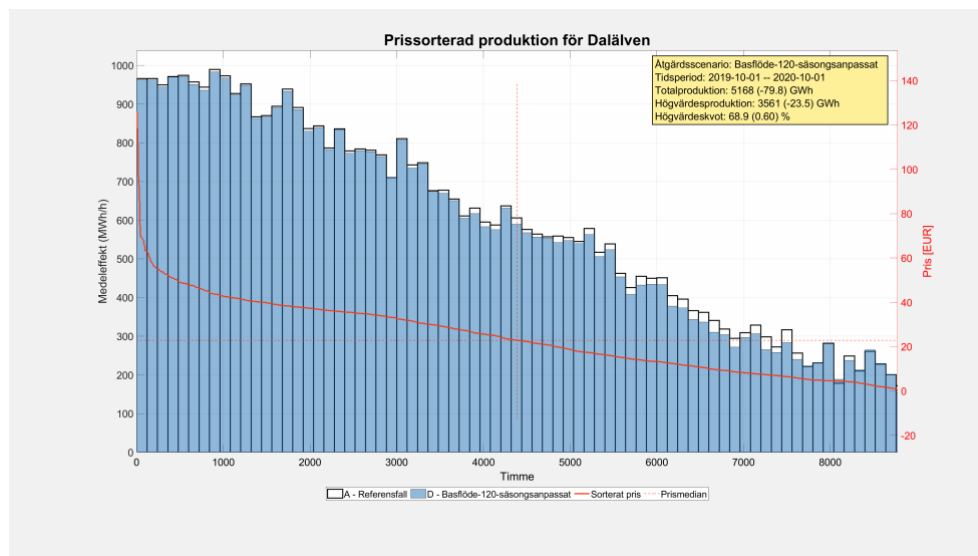


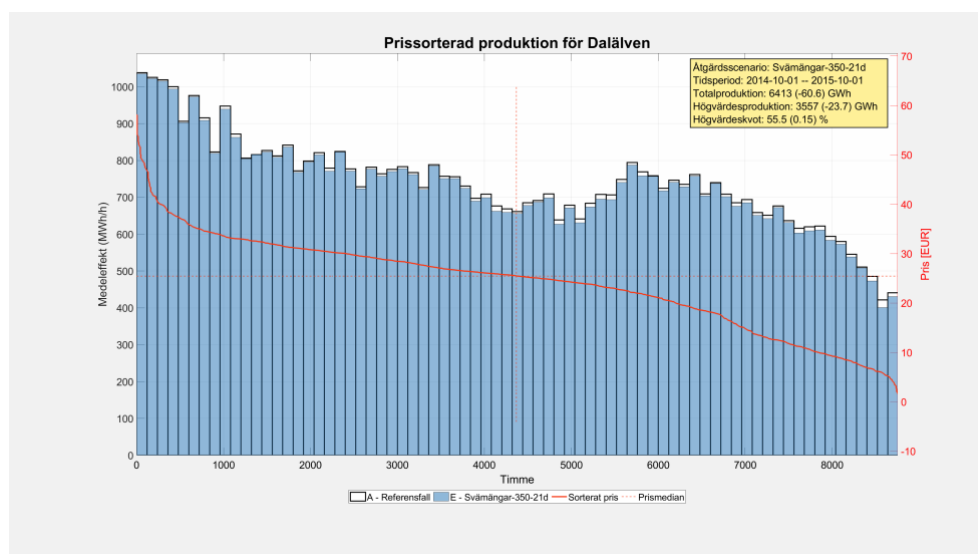
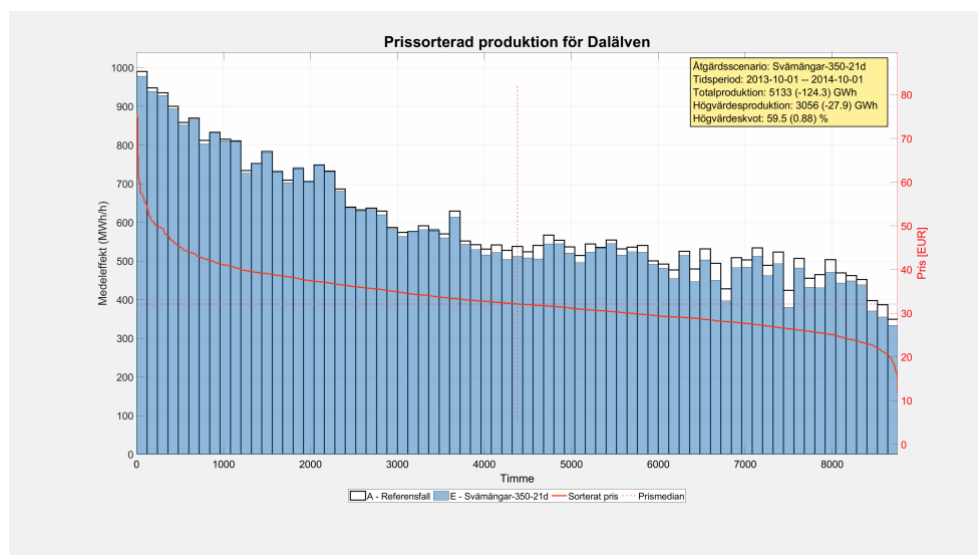
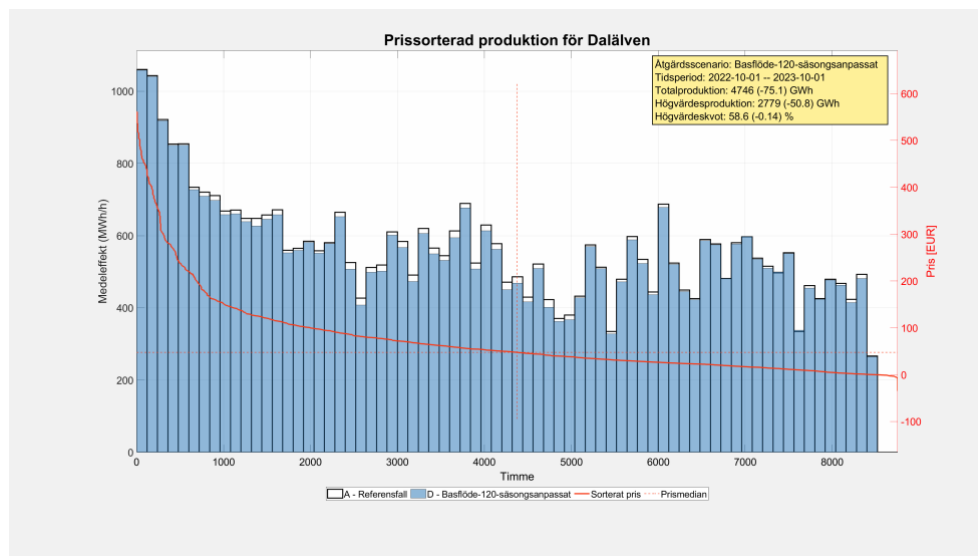


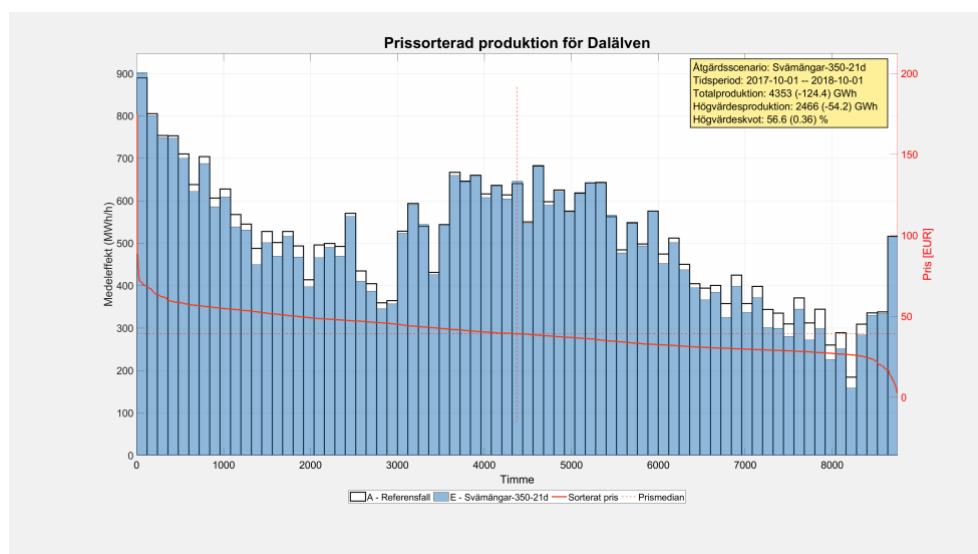
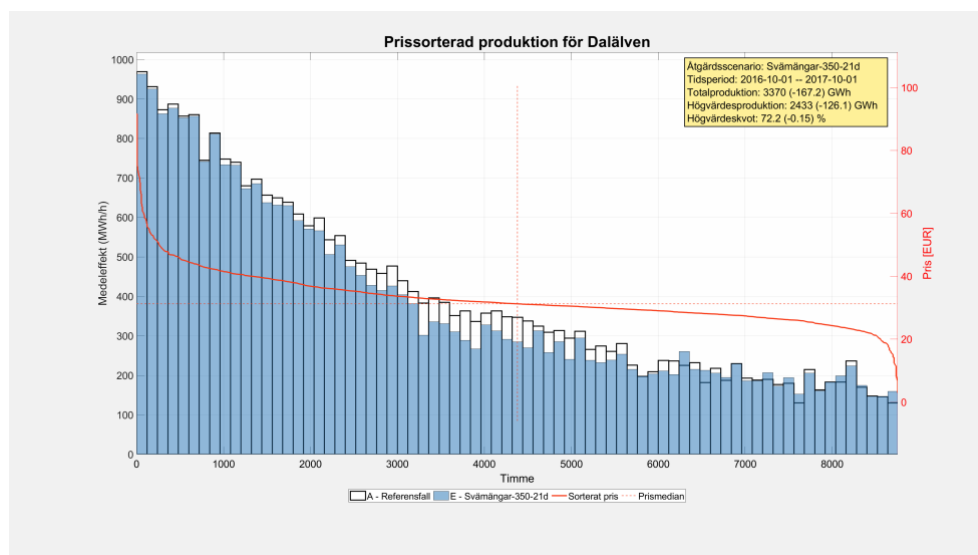
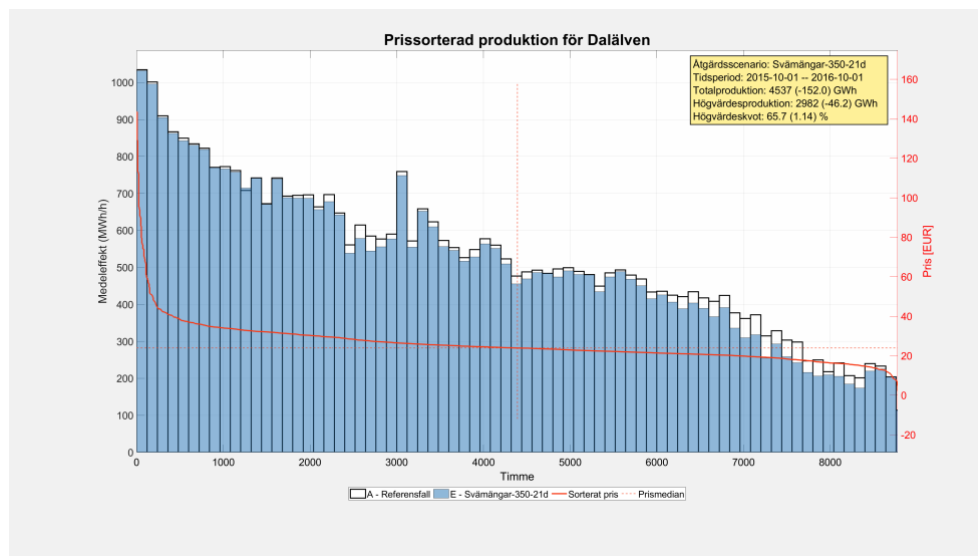


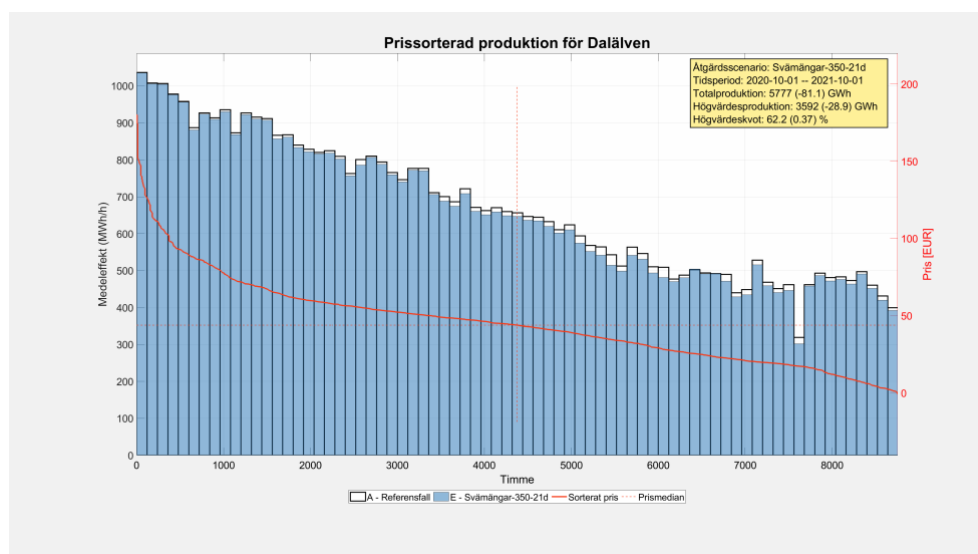
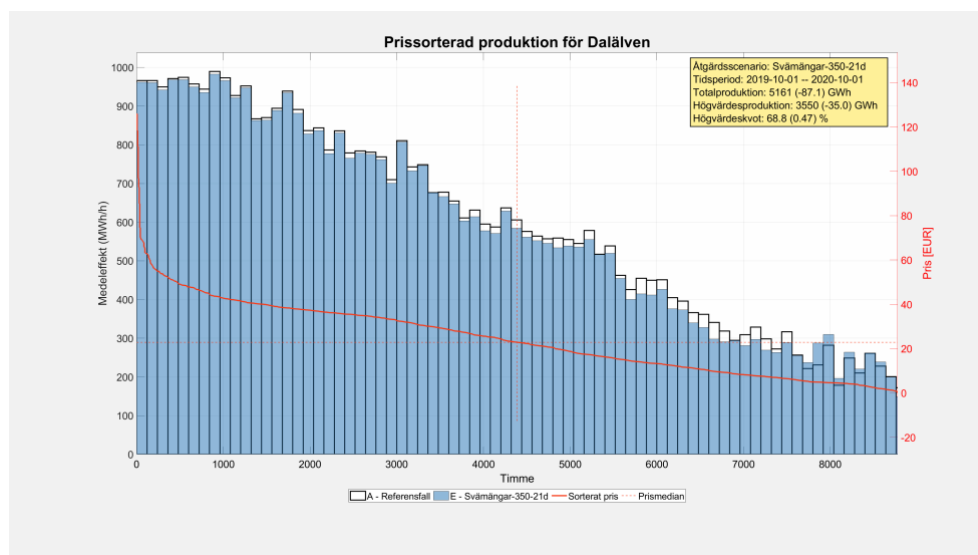
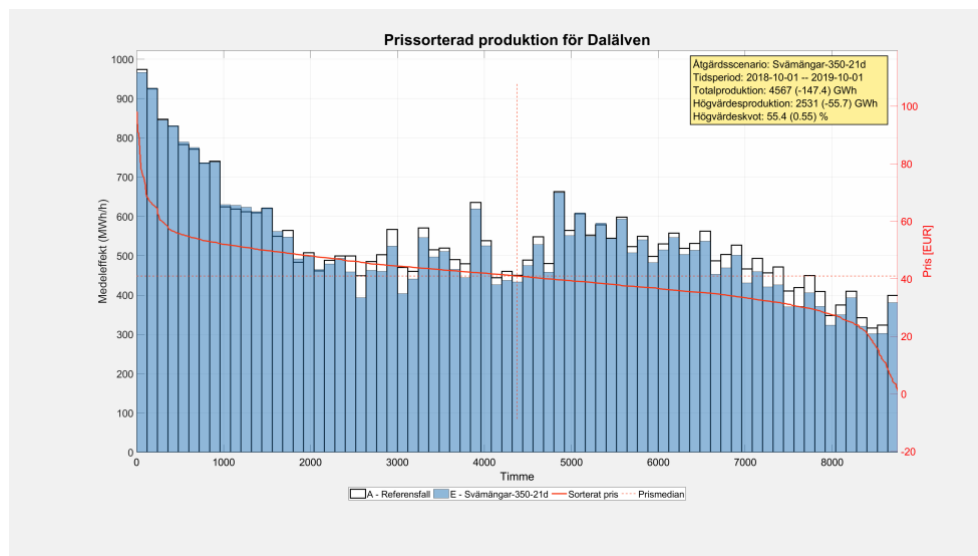


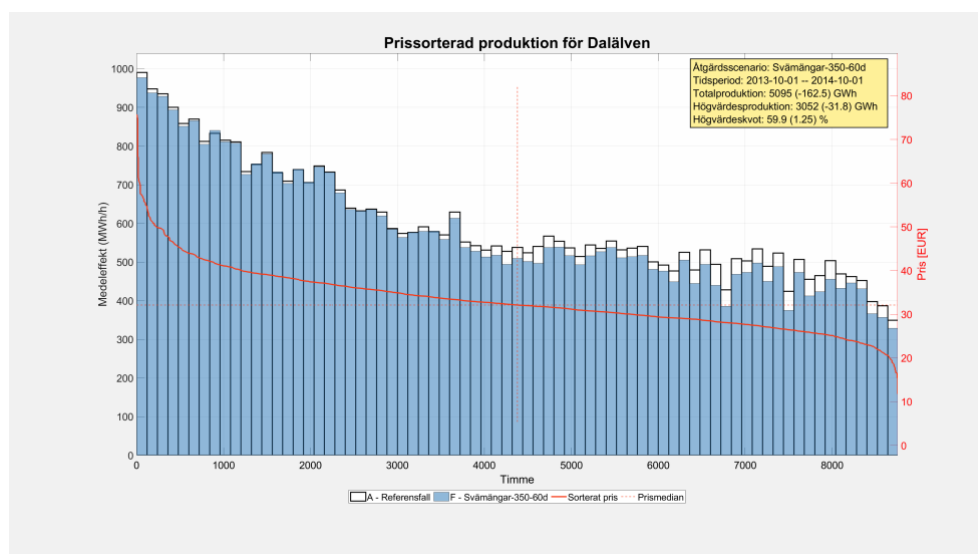
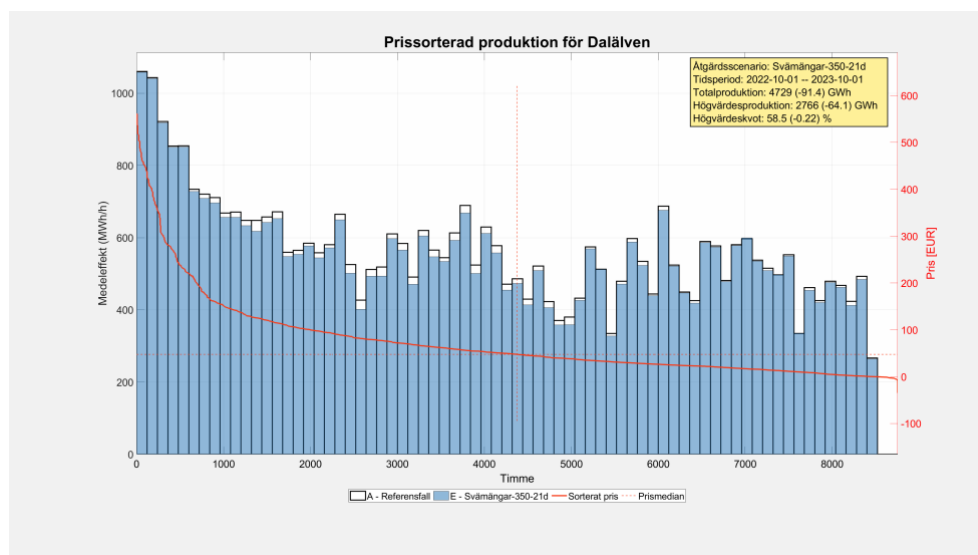
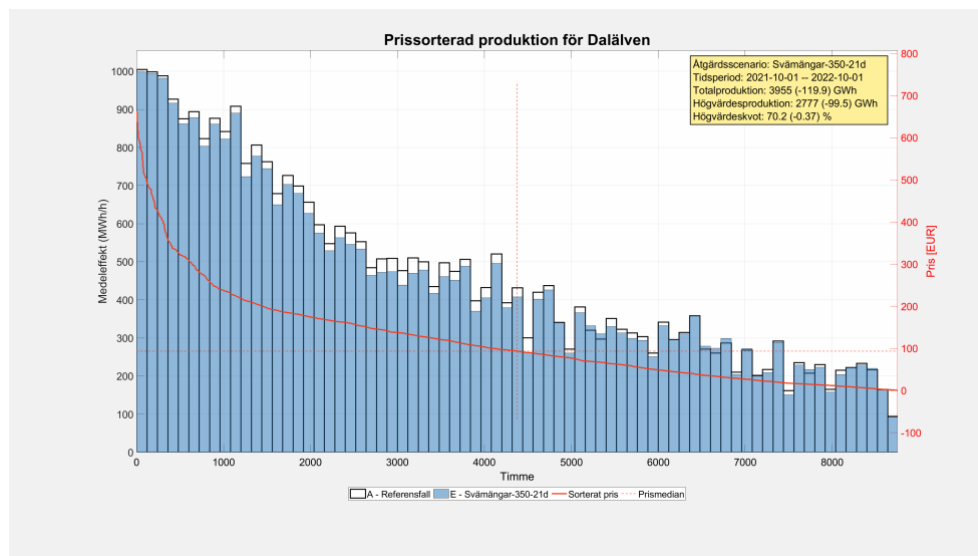


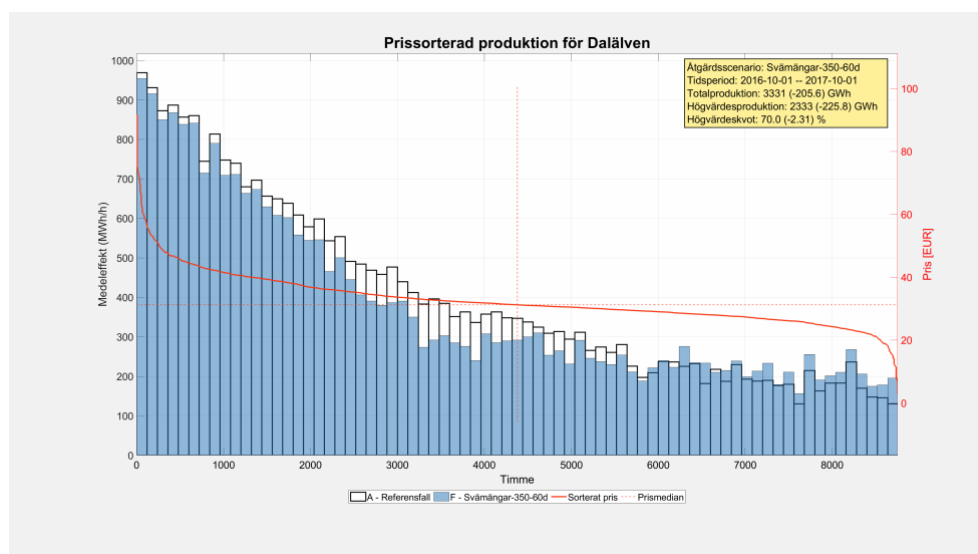
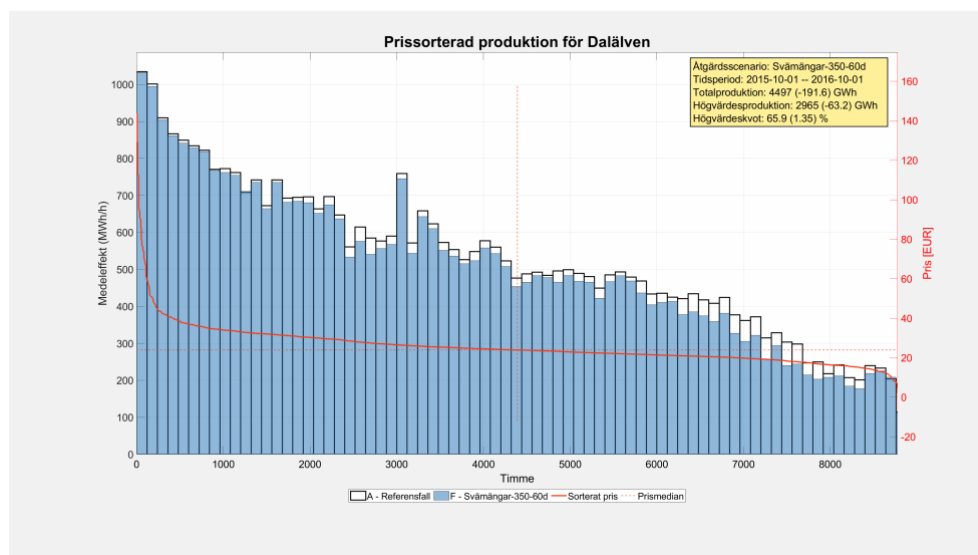
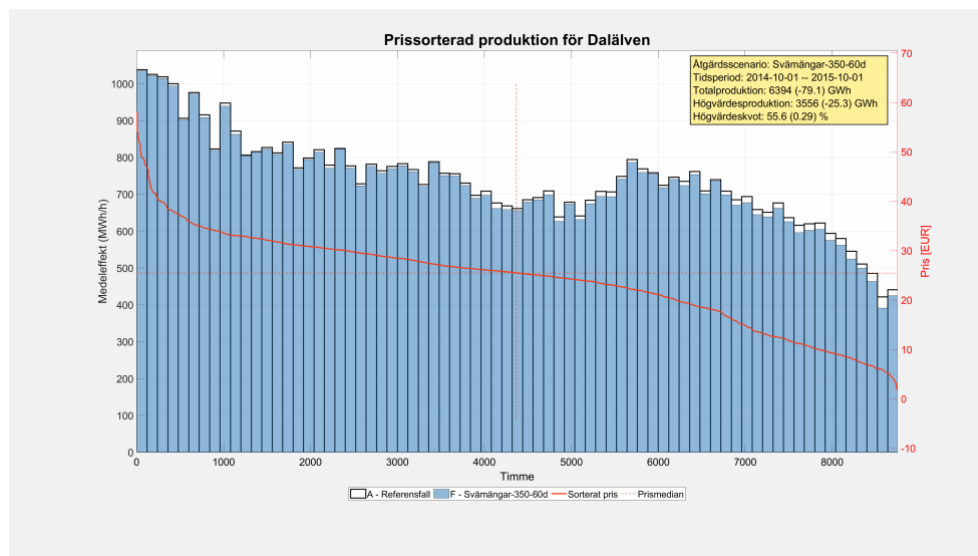


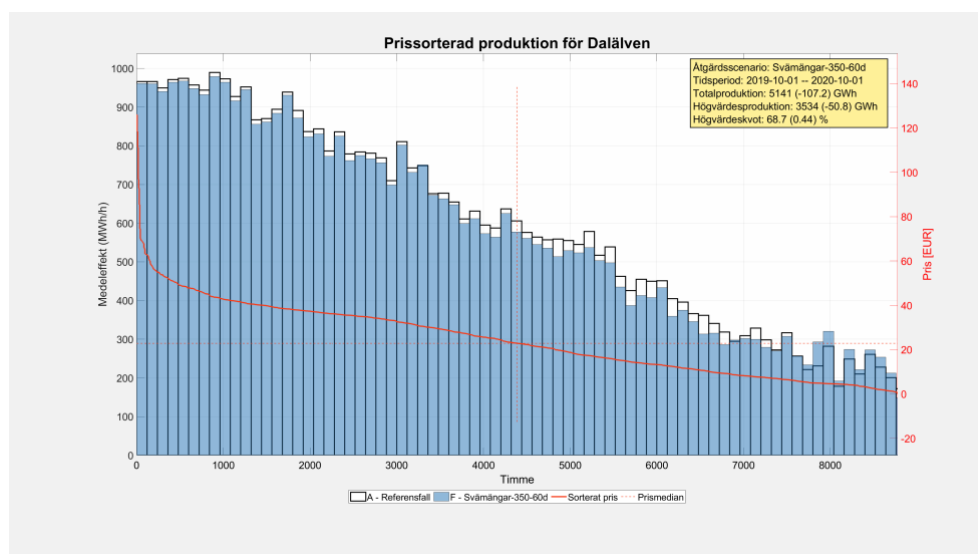
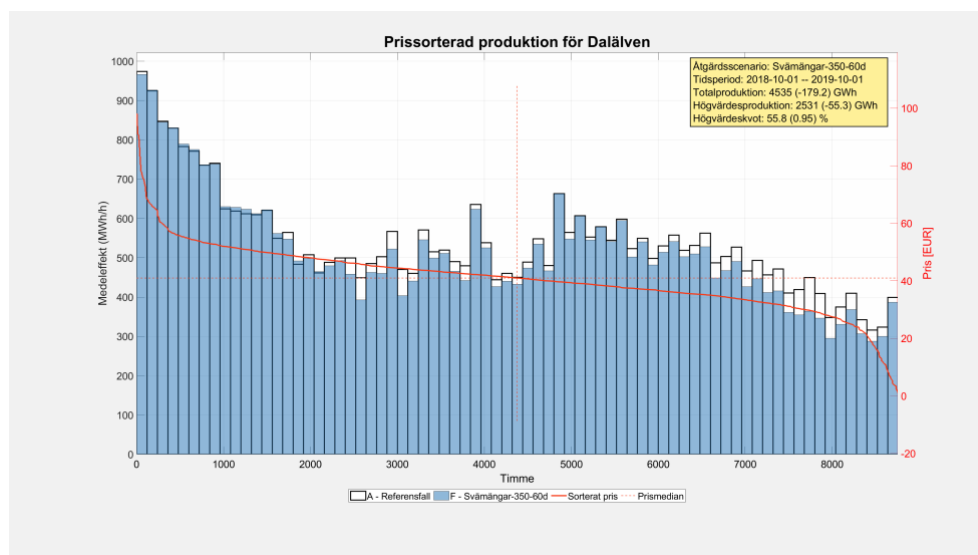
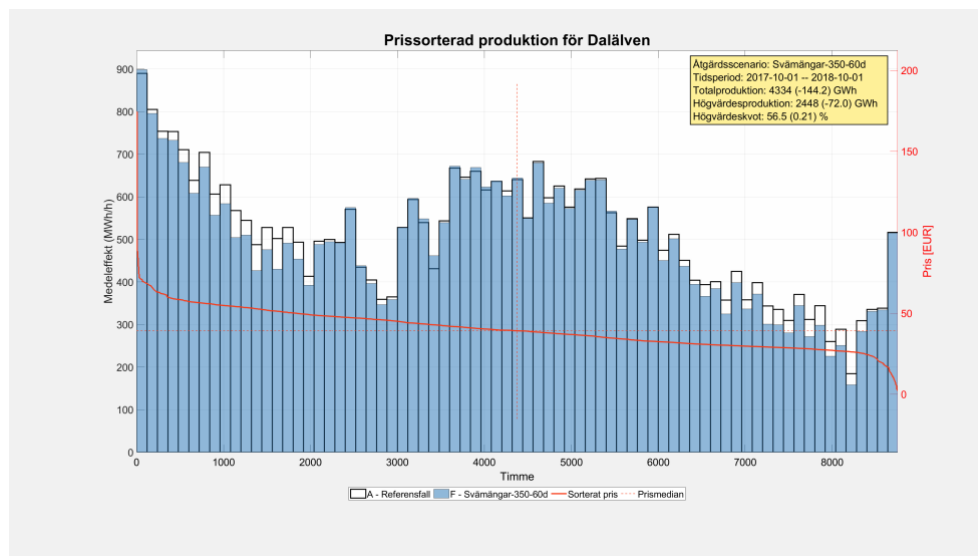


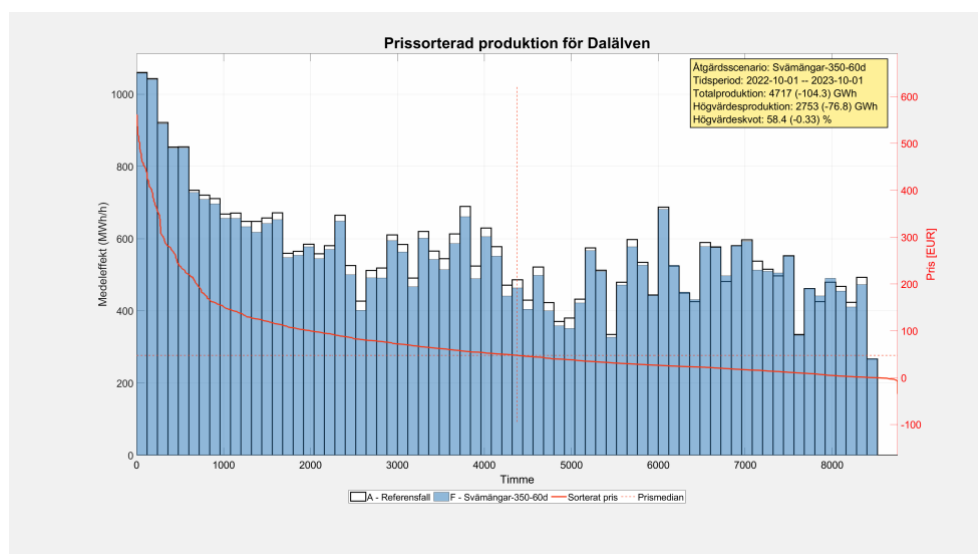
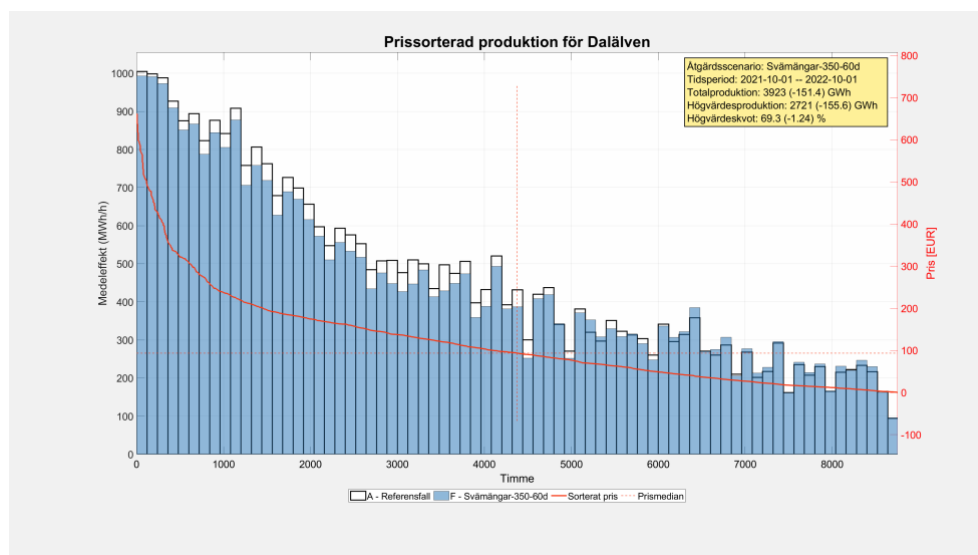
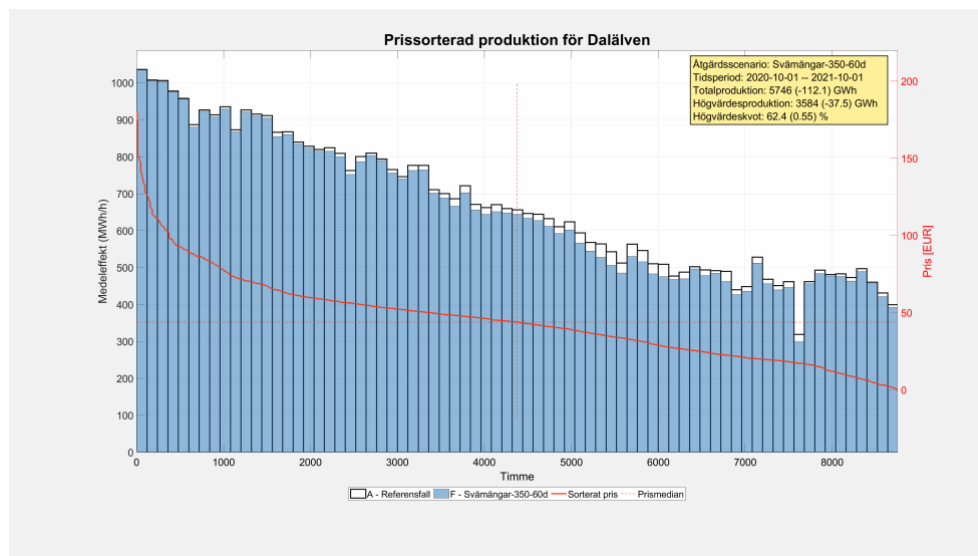


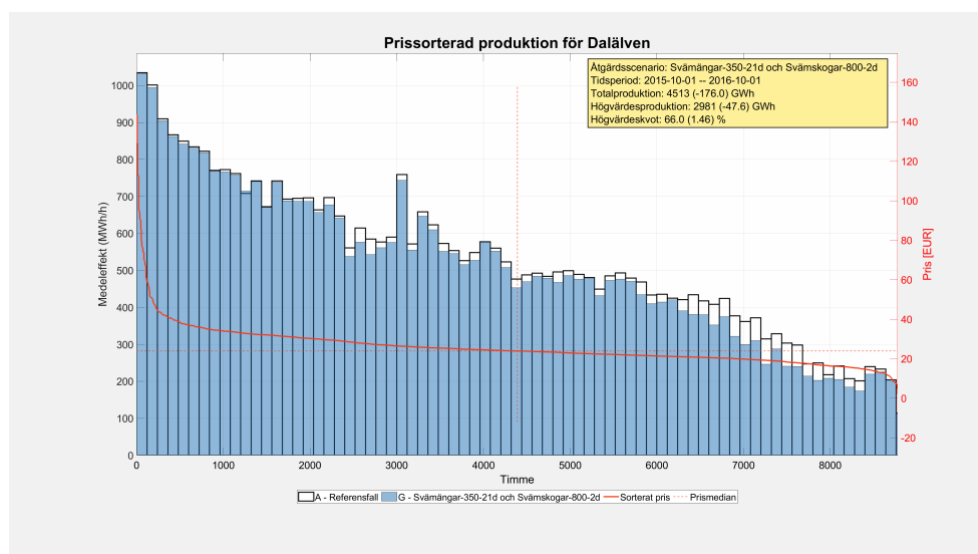
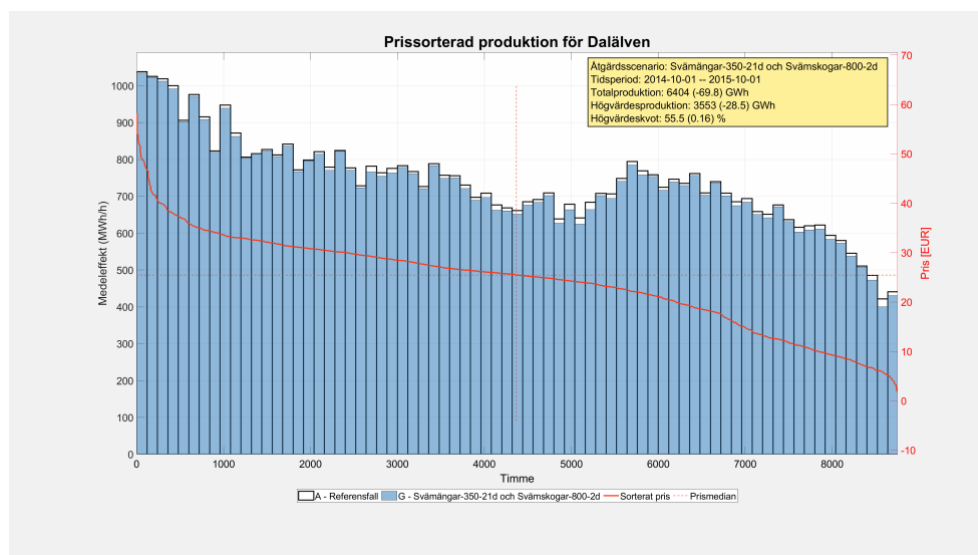
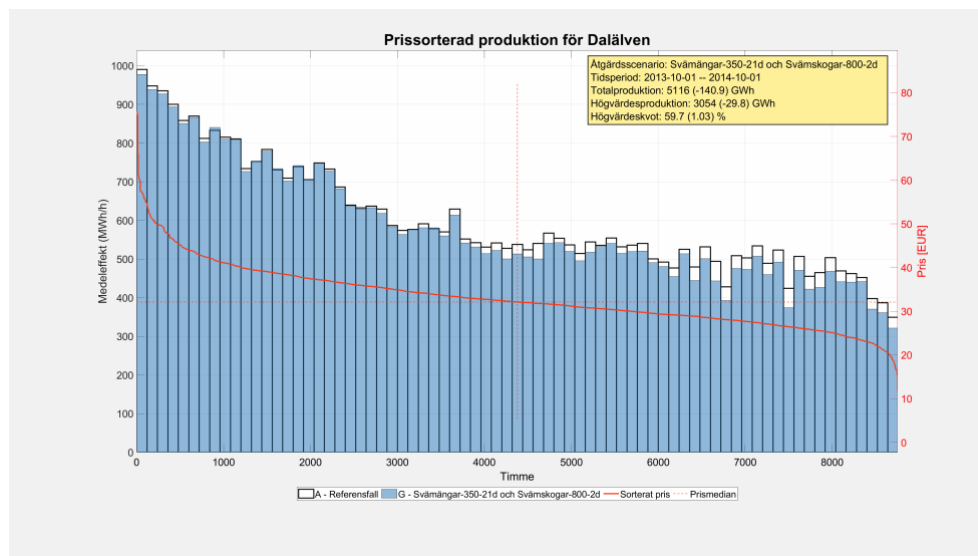


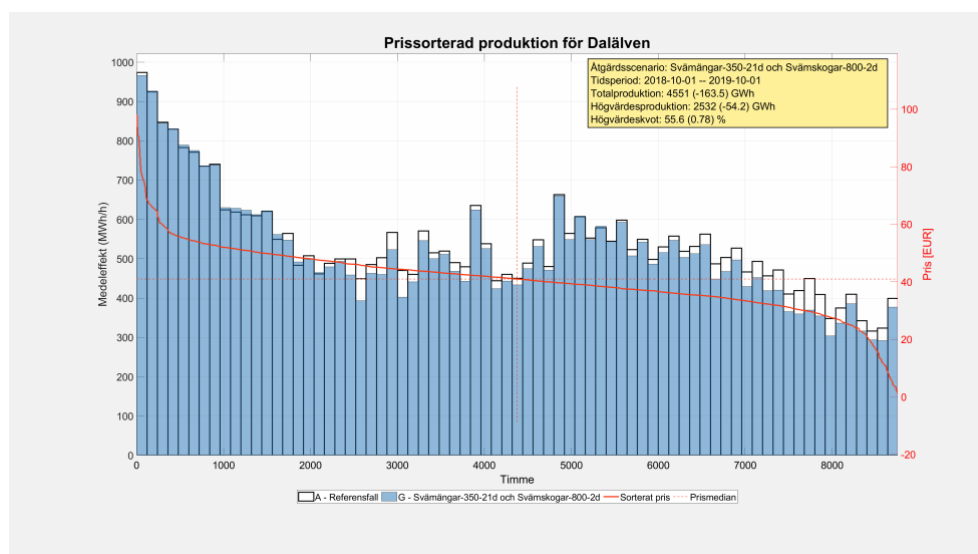
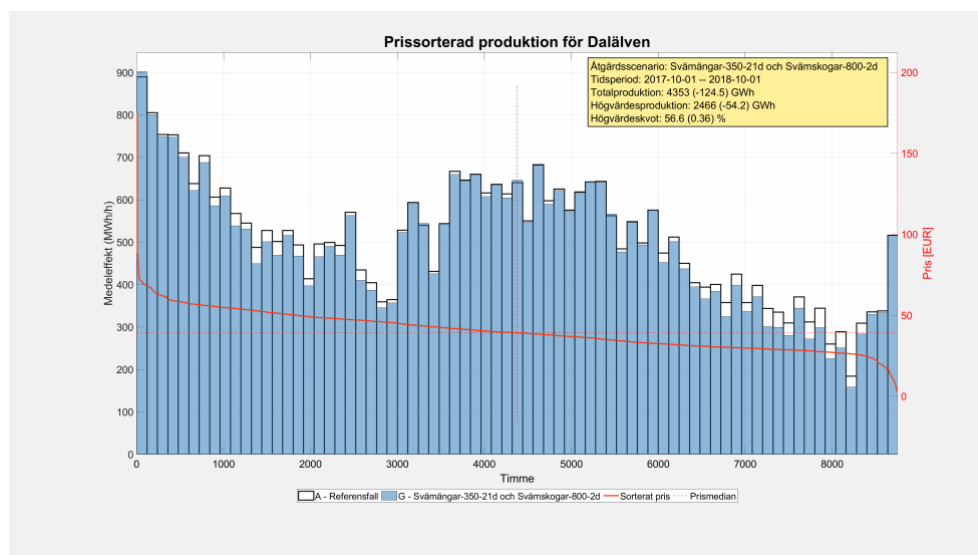
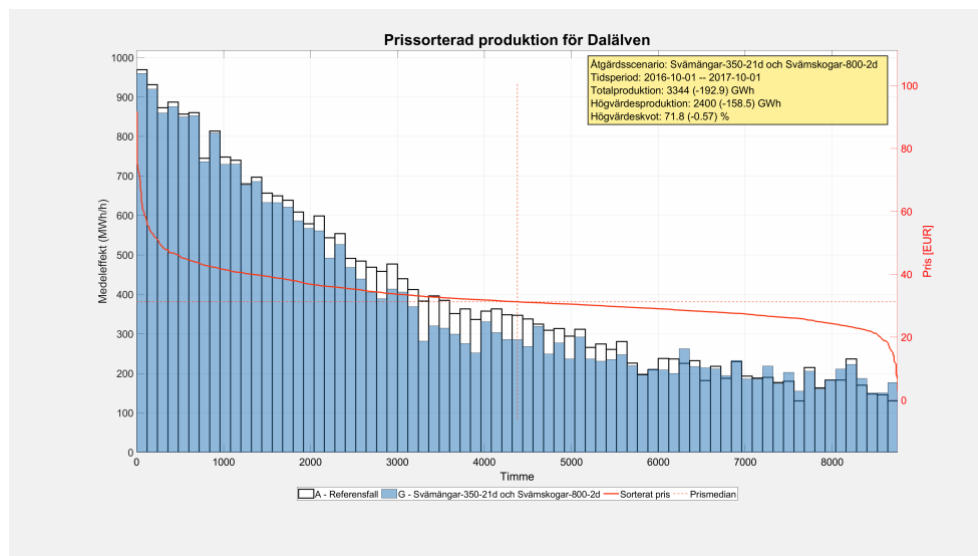


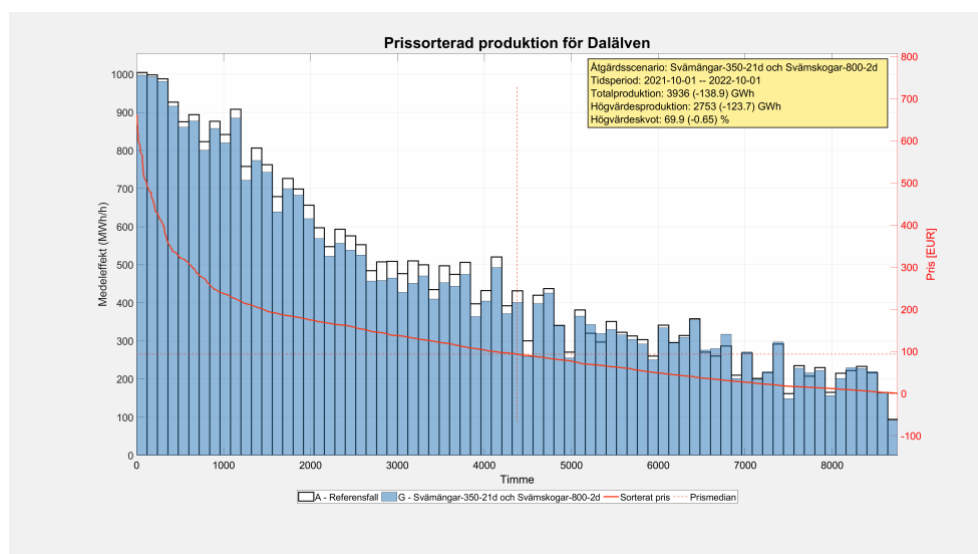
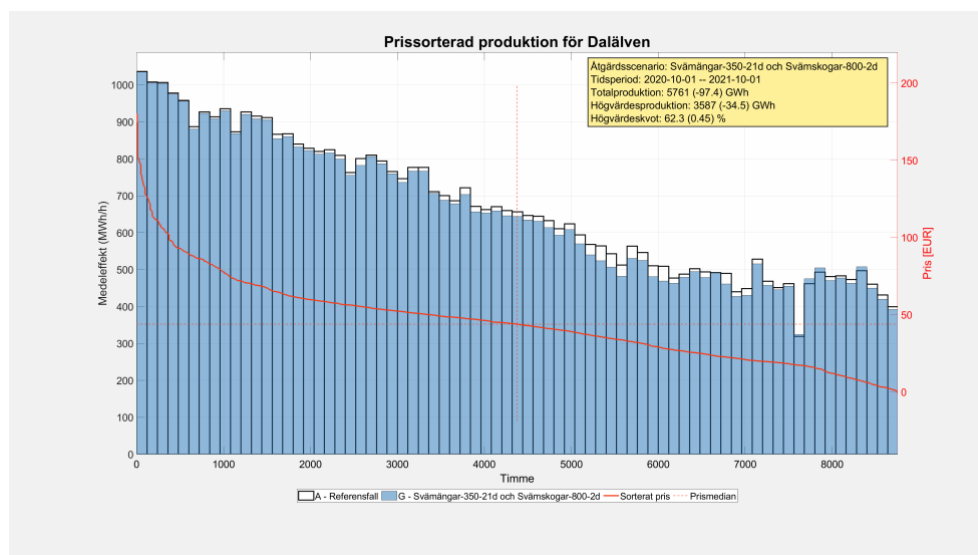
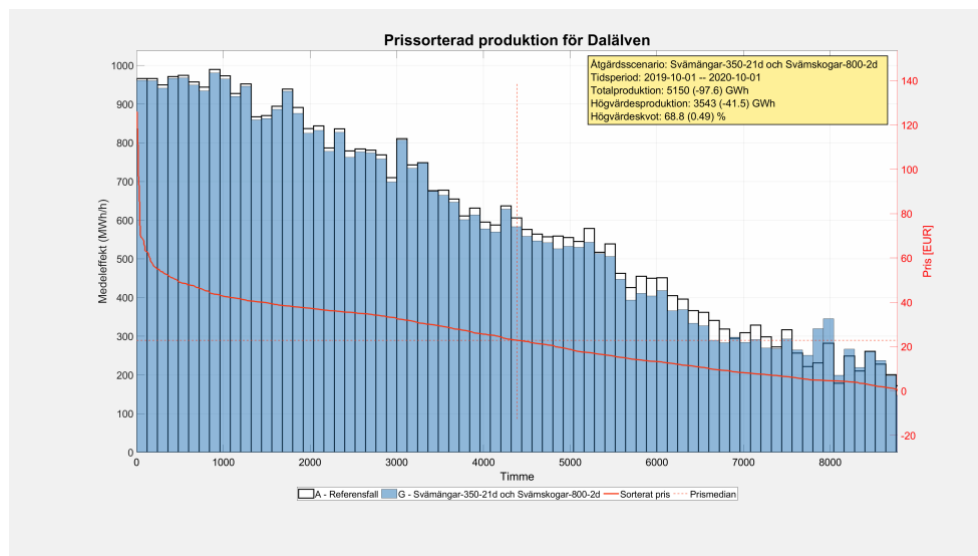


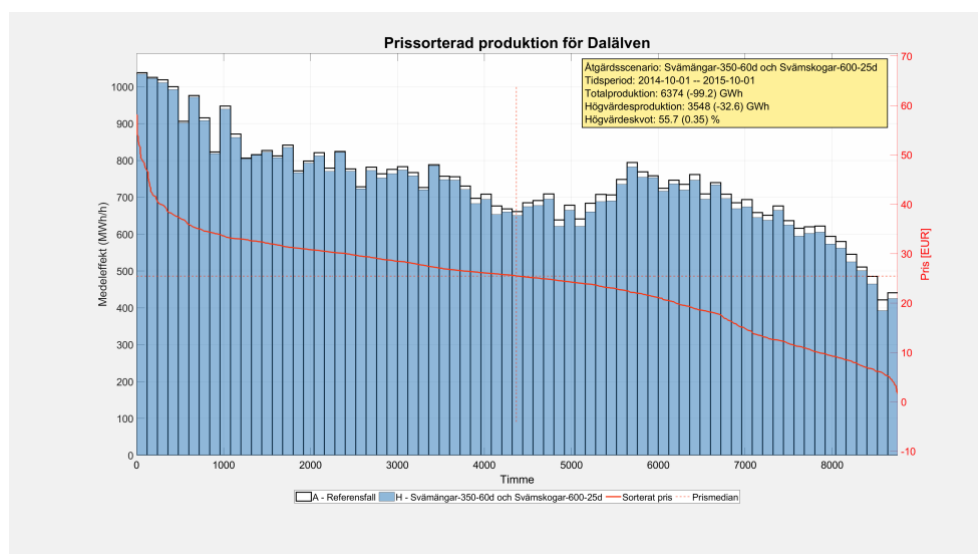
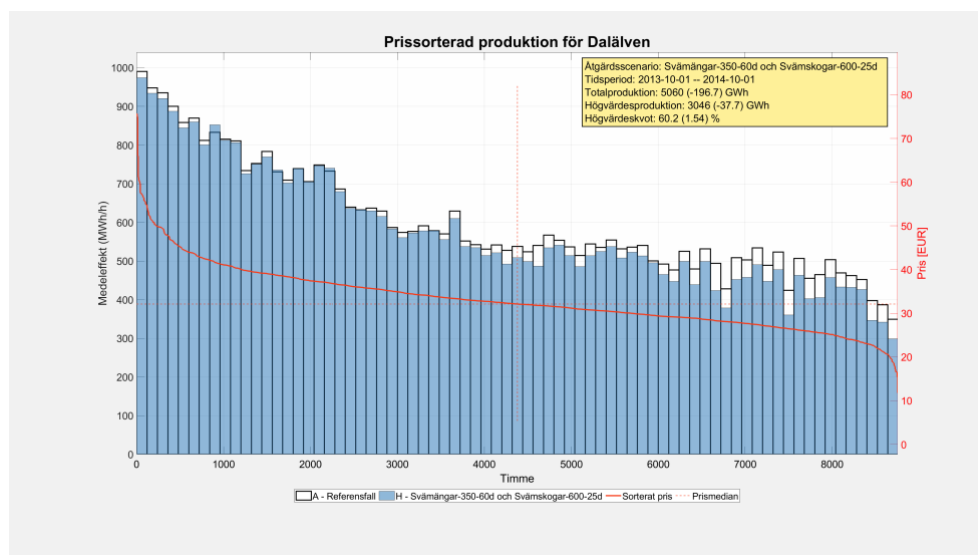
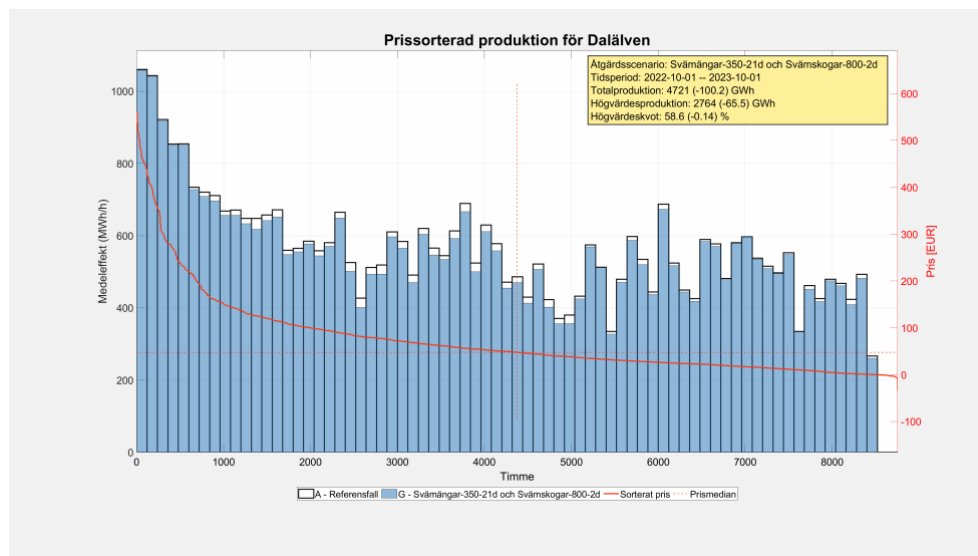


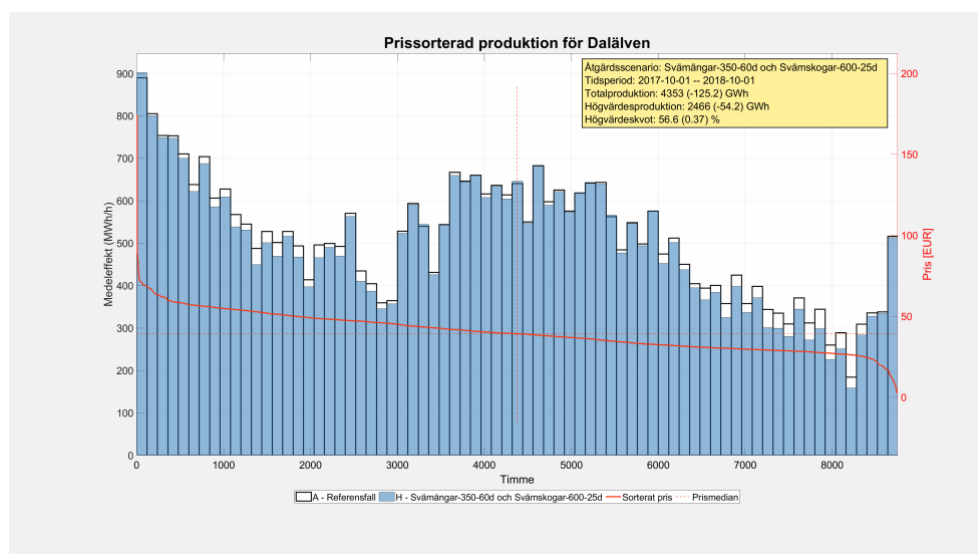
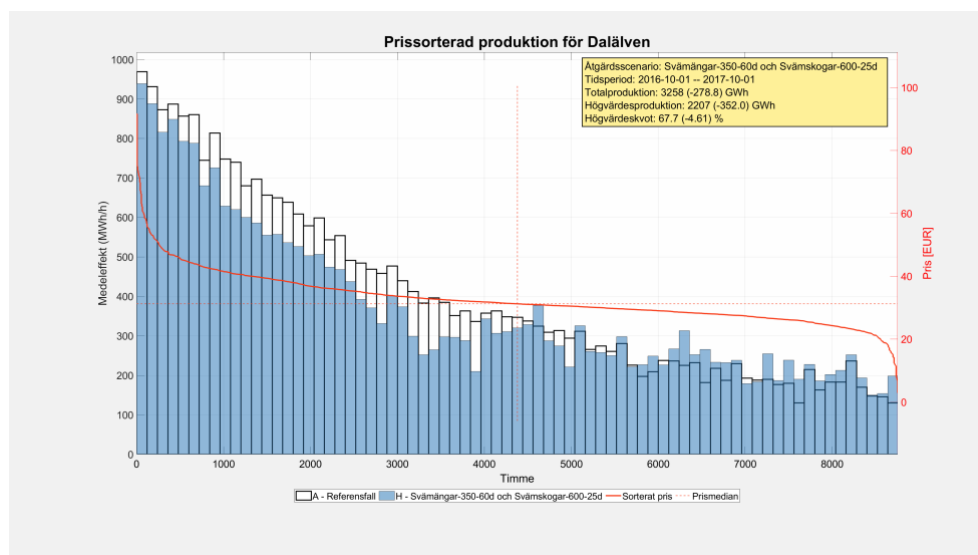
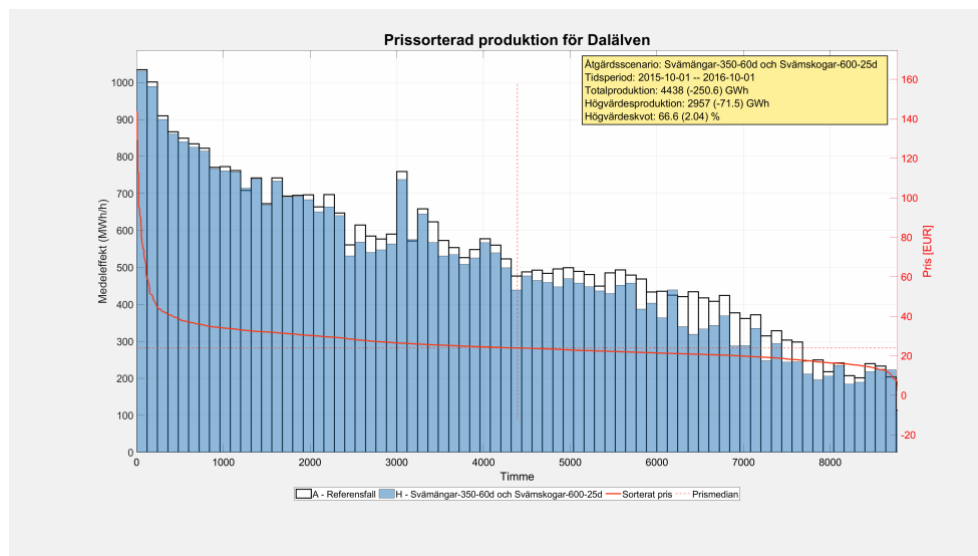


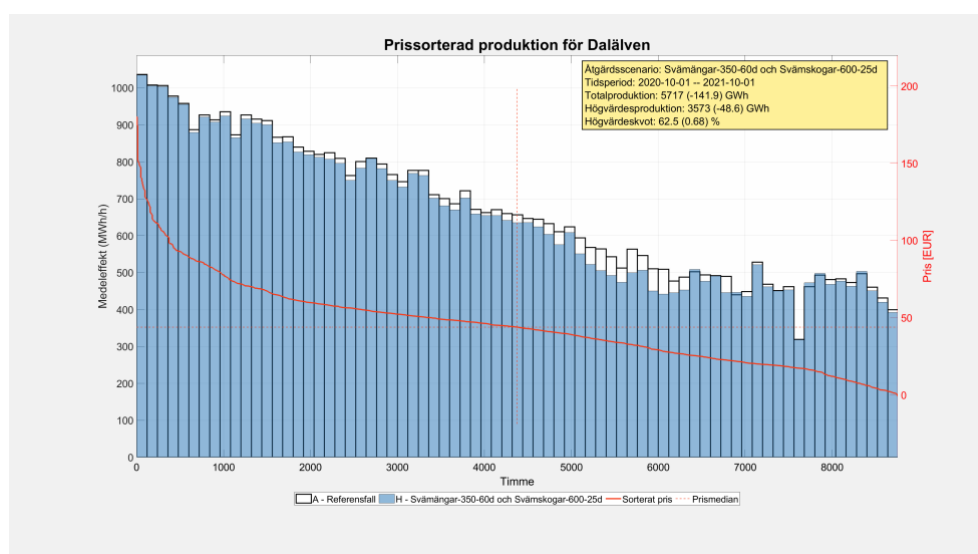
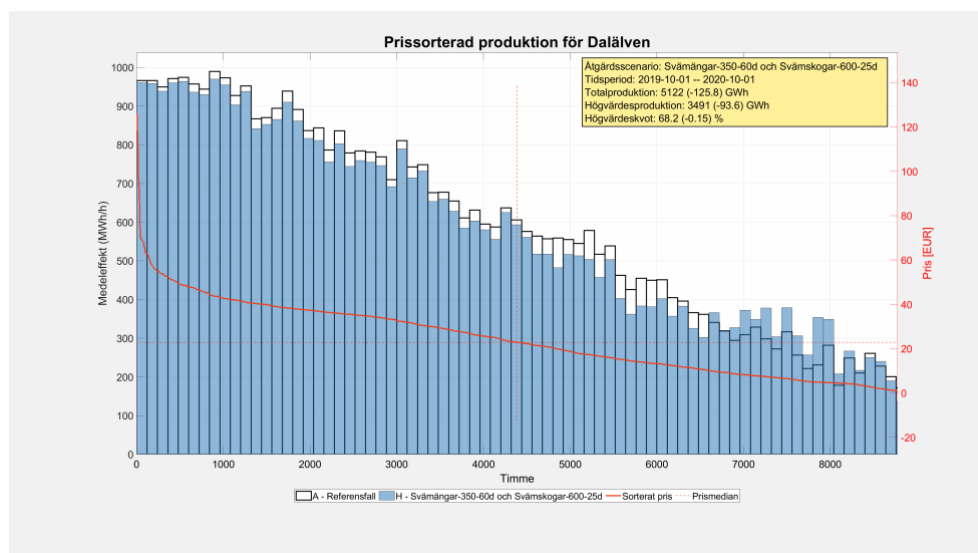
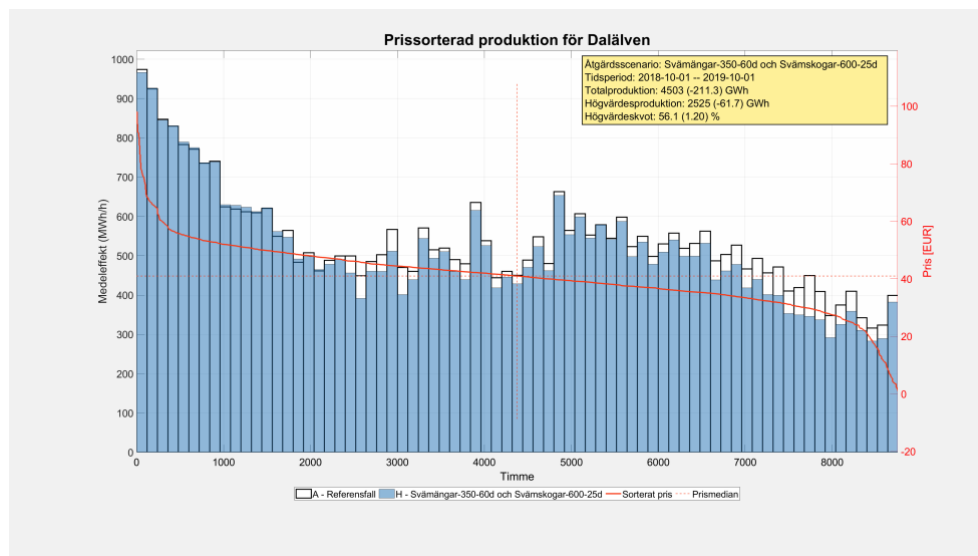


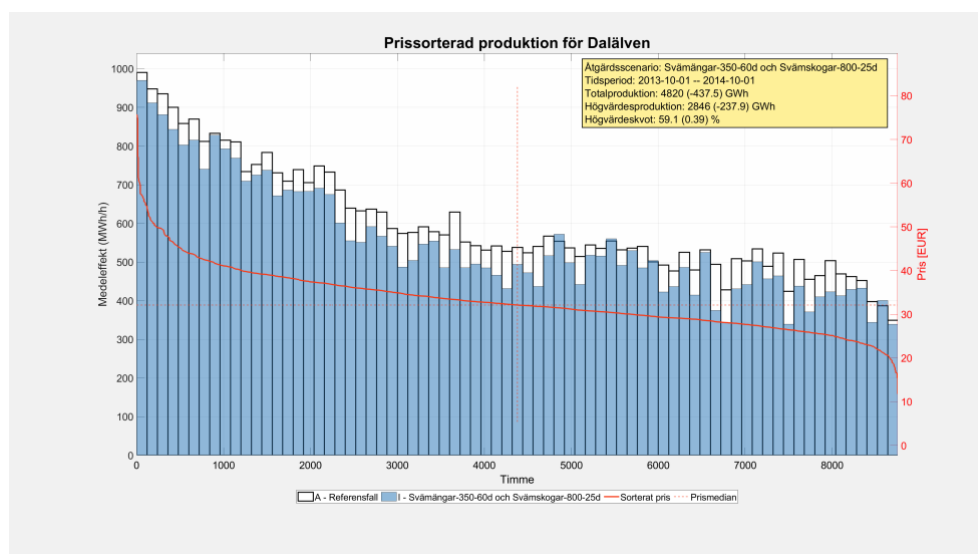
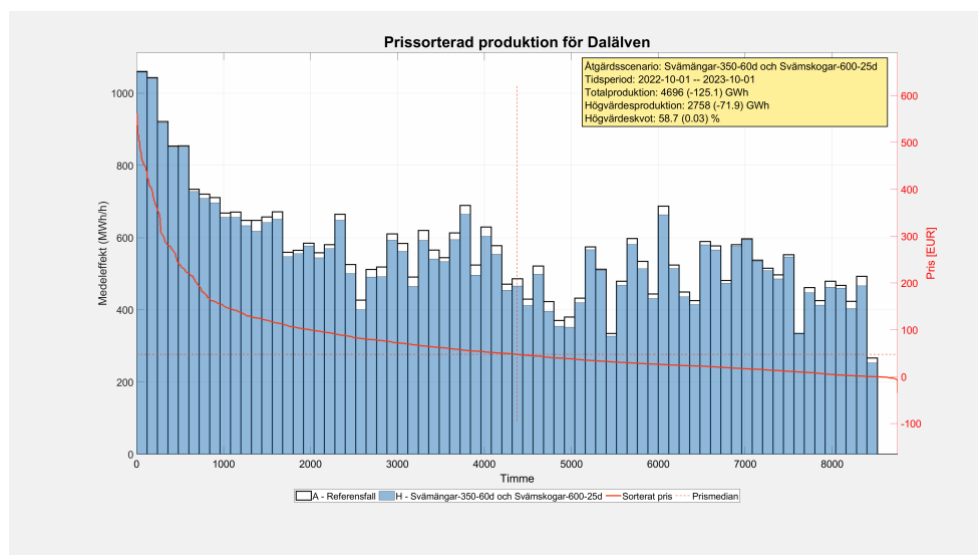
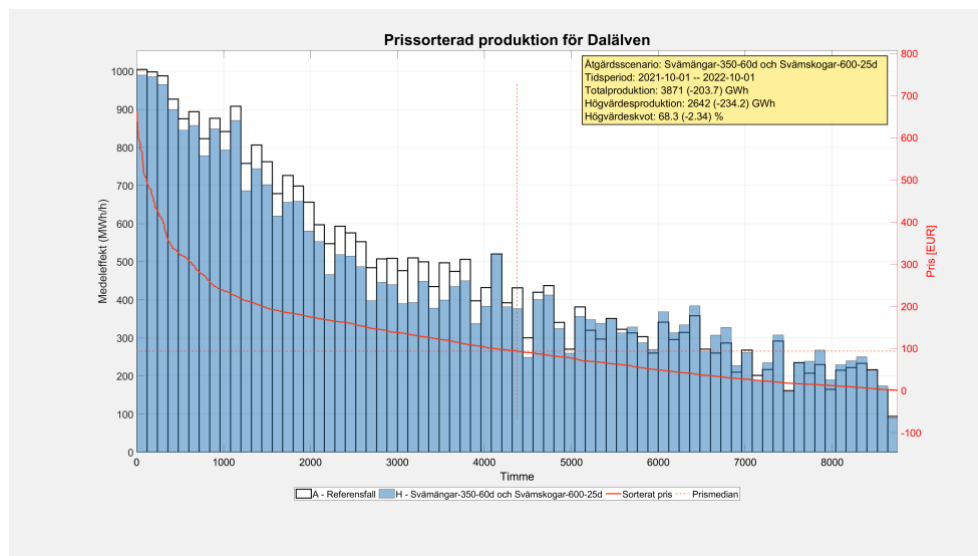


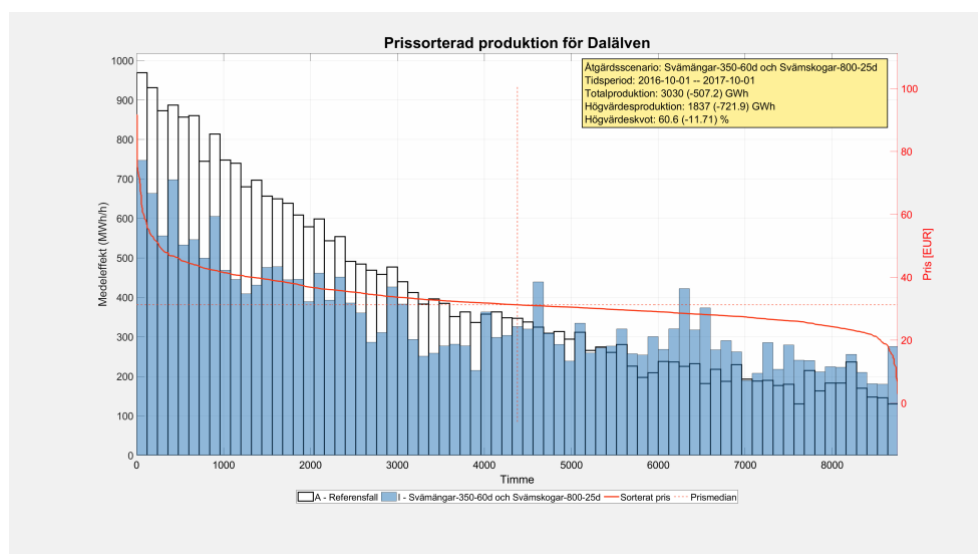
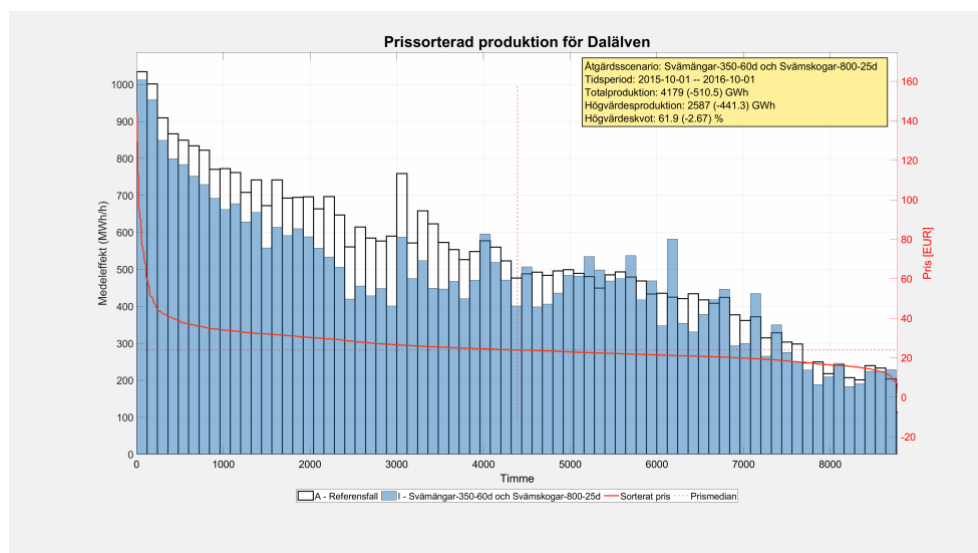
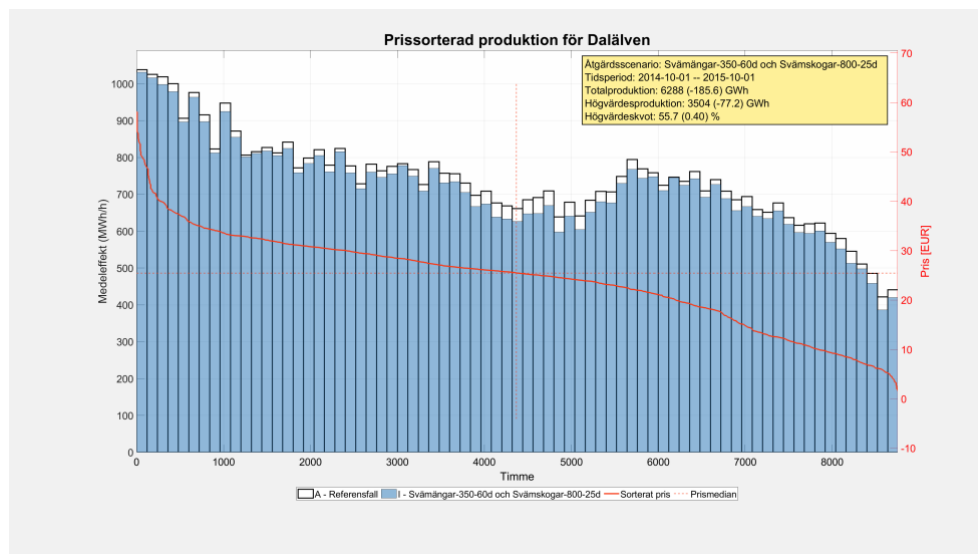


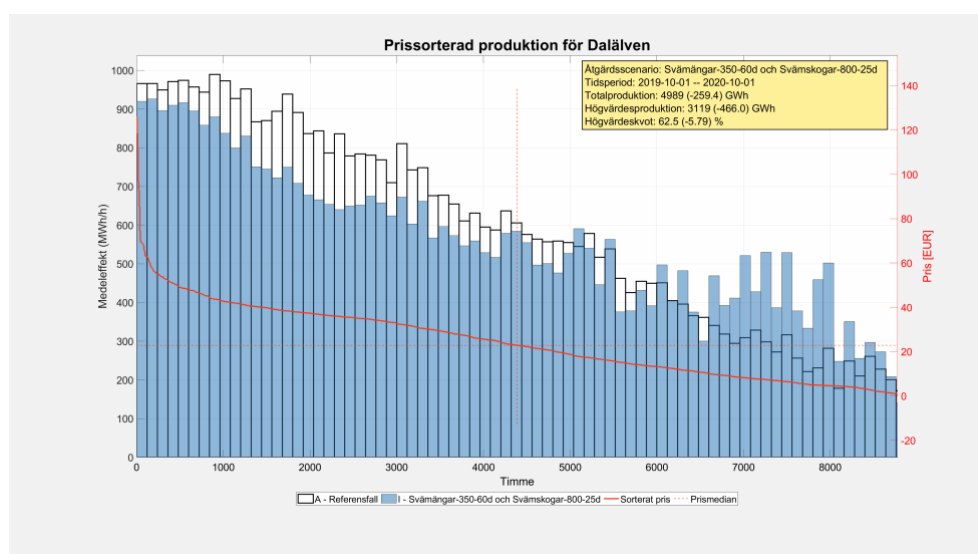
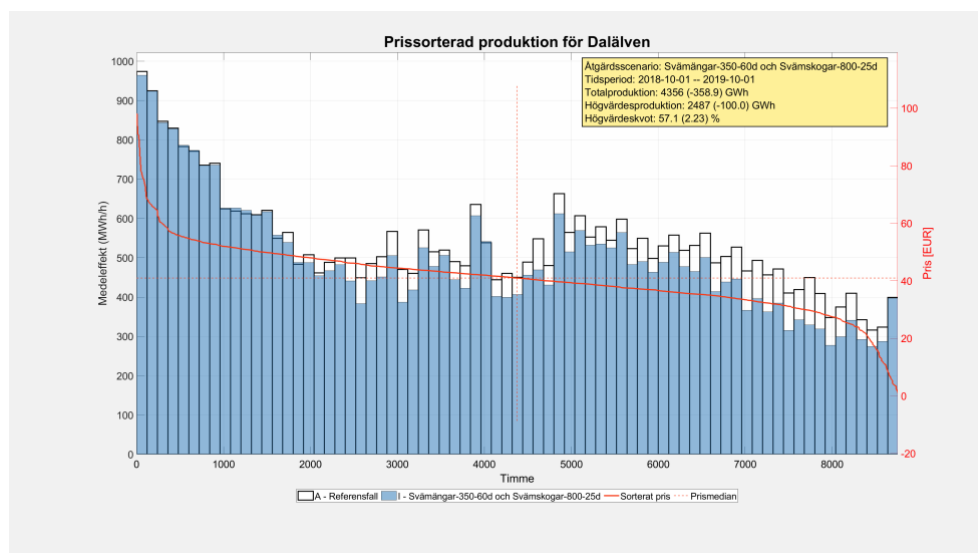
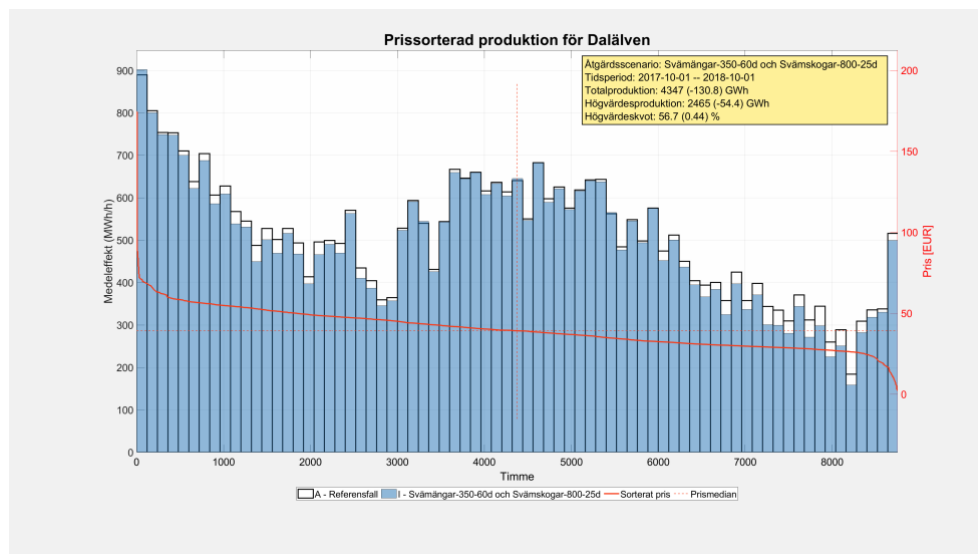


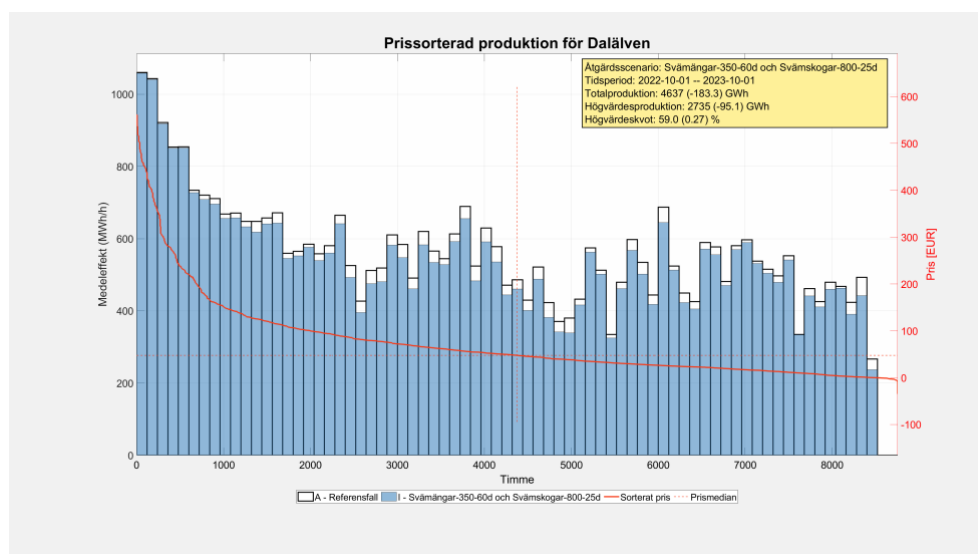
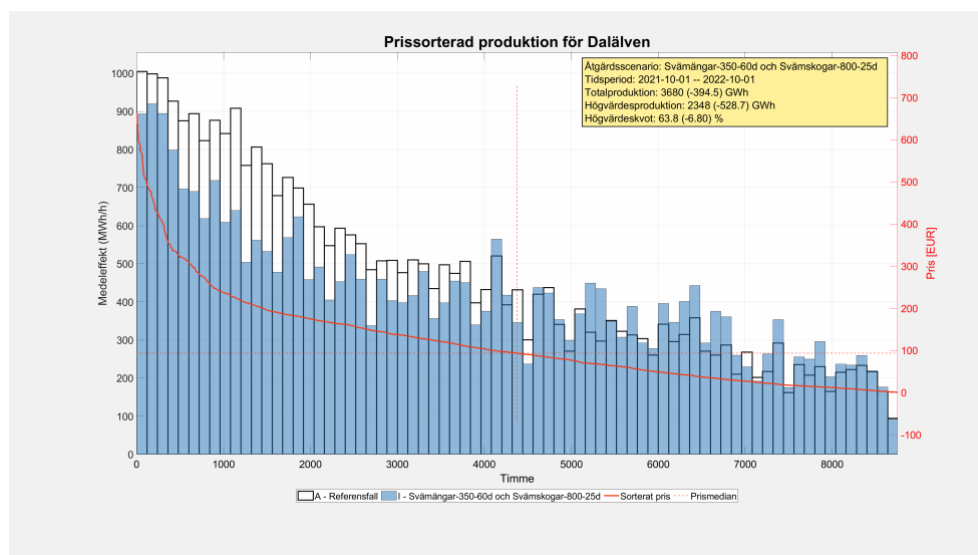
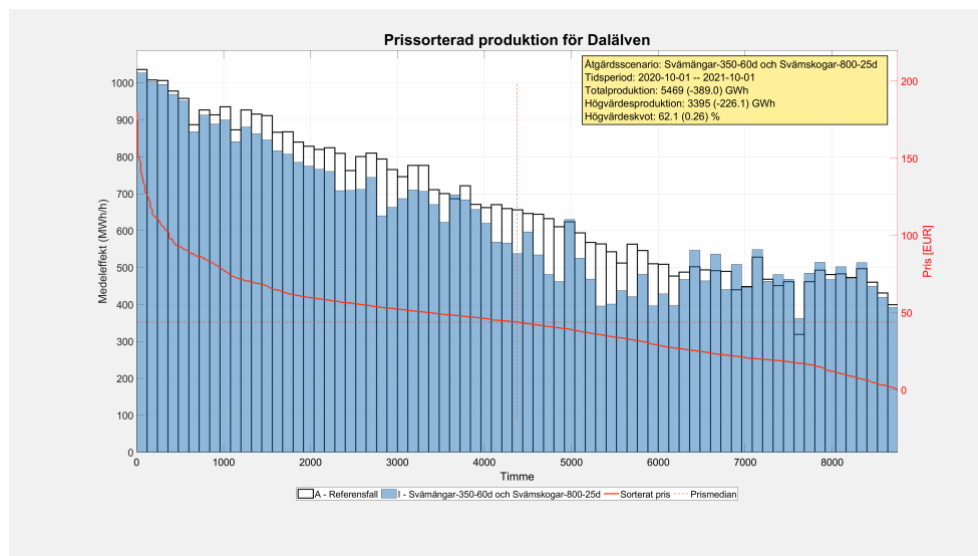








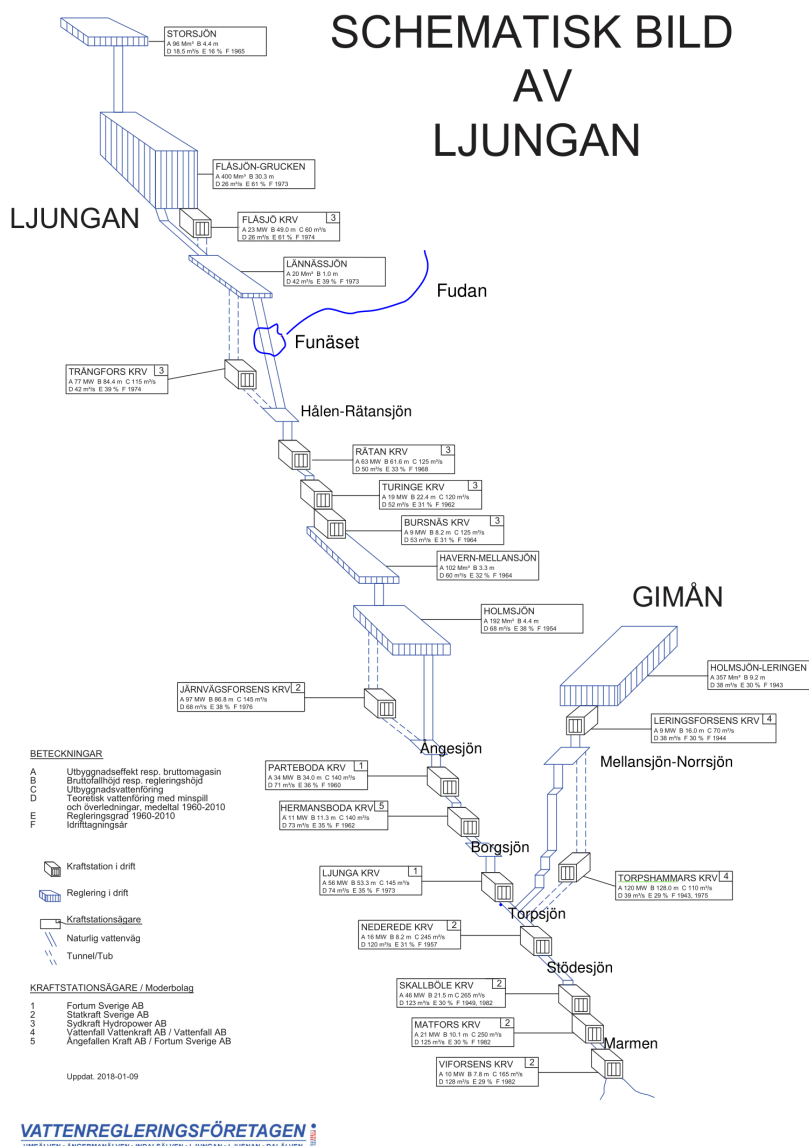




Bilaga B: Exempel från Ljungan och Gimån

Denna bilaga sammanfattar det viktigaste ur modelleringsstudien för Ljungan och Gimån som genomfördes 2021 och som används i denna rapport för att illustrera måtten högvärdesproduktion och högvärdeskvot. För ytterligare detaljer hänvisas läsaren till den fullständiga rapporten [18] som publicerats av både Vattenkraftens miljöfond och Energiforsk.

Figur 17 visar en schematisk skiss över vattenmagasin, dammar och kraftverk i Ljungan och Gimån och Tabell 2 till Tabell 5 visar en översikt över de miljöätgardsscenarioer som visas i rapportens exempel.



Figur 18. Schematisk illustration över vattenmagasin, dammar och kraftverk i Ljungan och Gimån.

Tabell 2. Åtgärder för scenario C - Mintappning MLQ, säsongsanpassad

Magasin	Miljöåtgärder	Från	Till	Flöde (m³/s)
Storsjön	Mintappning utskov	01-jan	31-dec	2,1
Flåsjön-Grucken	Mintappning utskov	01-jan	31-dec	3,2
Lännässjön	Mintappning utskov	01-jan	31-dec	5
Hålen-Rätansjön	Mintappning utskov	01-jan	31-dec	7,7
Handsjön	Mintappning utskov	01-jan	31-dec	8,1
Översjön	Mintappning turbin	01-jan	31-dec	8,4
Havern-Mellansjön	Mintappning utskov	01-jan	31-dec	10
Holmsjön	Mintappning utskov	01-jan	31-dec	11,4
Ångesjön	Mintappning utskov	01-jan	31-dec	12,5
Hermansboda	Mintappning turbin	01-jan	31-dec	12,8
Borgsjön	Mintappning utskov	01-jan	31-dec	13
Holmsjön-Leringen	Mintappning turbin	01-jan	31-dec	11
Mellansjön-Norrsjön	Mintappning utskov	01-jan	31-dec	11,1
Torpsjön	Mintappning turbin	01-jan	31-dec	28
Stödesjön	Mintappning turbin	01-jan	31-dec	29
Matfors	Mintappning utskov	01-jan	31-dec	29
Marmen	Mintappning turbin	01-jan	31-dec	30

Tabell 3. Åtgärder för scenario F – Avveckling av Storsjöns regleringsdamm

Magasin	Miljöåtgärder	Från	Till	Kurvas lutning (m³/s / m.ö.h.)	Tröskelhöjd (m.ö.h.)
Storsjön	Avbördningskurva (HQ)	01-jan	31-dec	164,2	564,75
Storsjön	Startyta			564,75	

Tabell 4. Åtgärder för scenario L – Lax och ål till Gimån

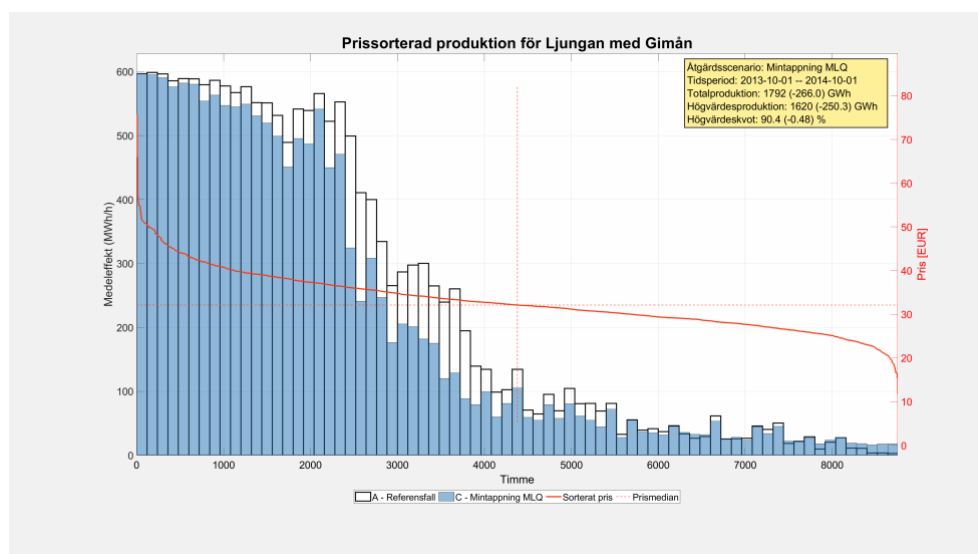
Magasin	Miljöåtgärder	Från	Till	Flöde (m³/s)
Holmsjön-Leringen	Fiskpassage	01-maj	31-okt	1
Holmsjön-Leringen	Mintappning turbin	01-jan	31-dec	11
Mellansjön-	Fiskpassage	01-maj	31-okt	1
Mellansjön-	Mintappning utskov	01-jan	31-dec	11,1
Torpsjön	Fiskpassage	01-maj	31-okt	1
Torpsjön	Mintappning turbin	01-jan	31-dec	28
Stödesjön	Fiskpassage	01-maj	31-okt	1
Stödesjön	Mintappning turbin	01-jan	31-dec	29
Matfors	Fiskpassage	01-maj	31-okt	1
Matfors	Mintappning utskov	01-jan	31-dec	29
Marmen	Fiskpassage	01-maj	31-okt	1
Marmen	Mintappning turbin	01-jan	31-dec	30

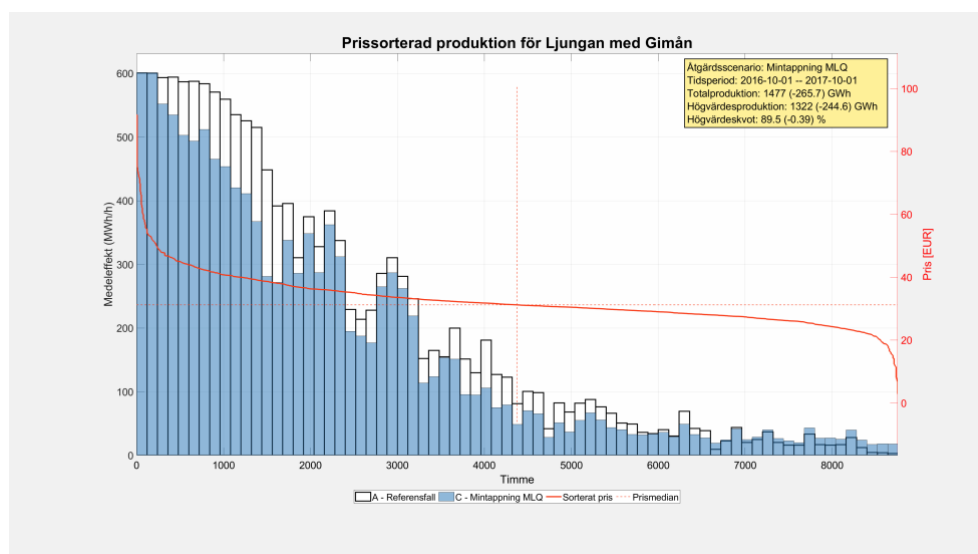
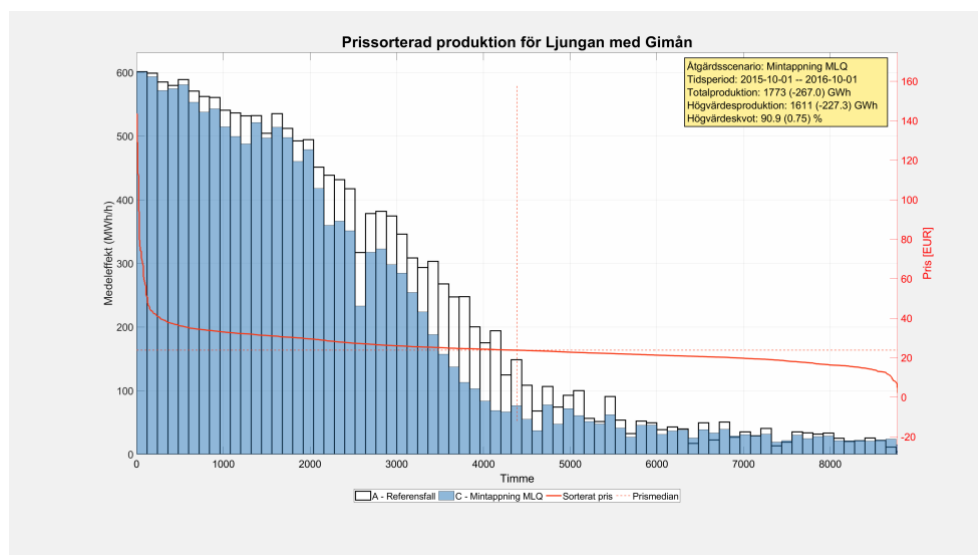
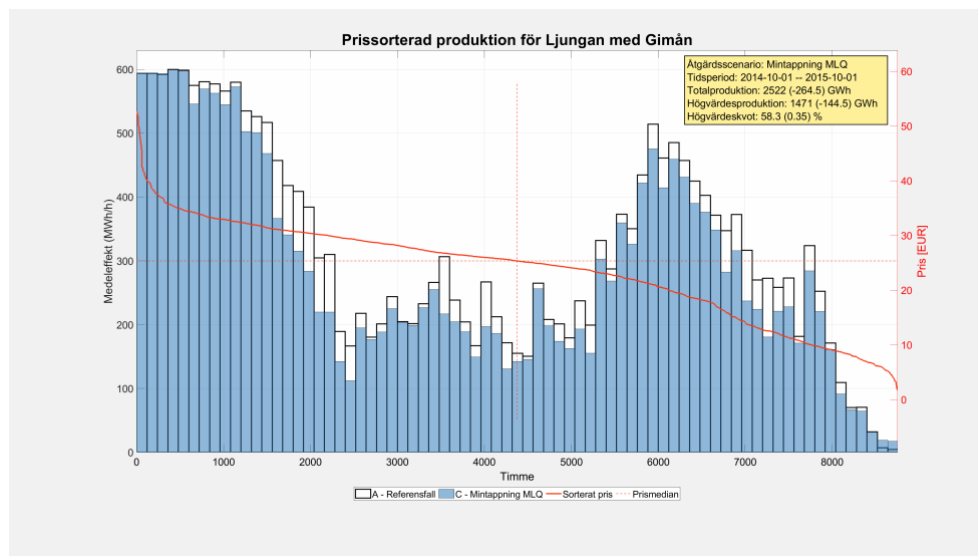
Tabell 5. Åtgärder för scenario N – Avveckling av Haverns och Kyrksjöns regleringsdamm

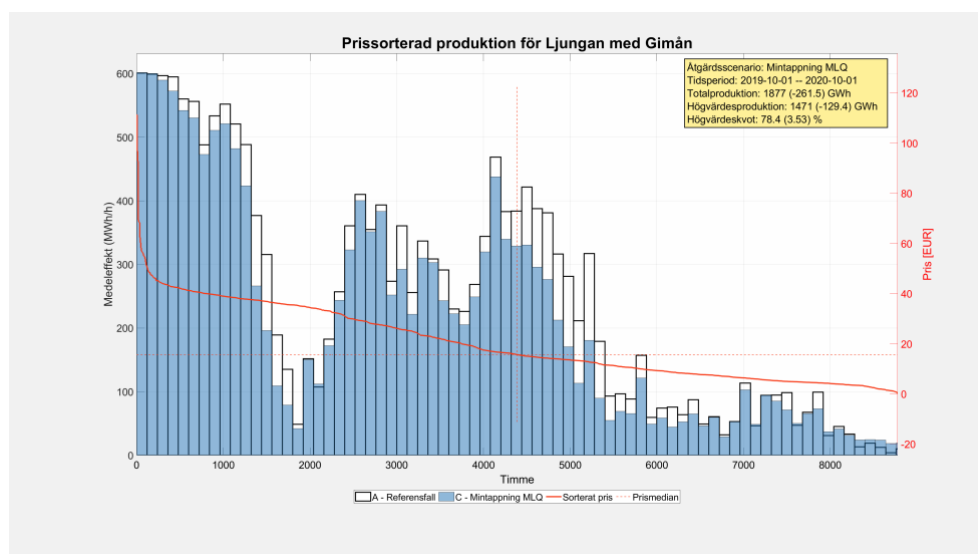
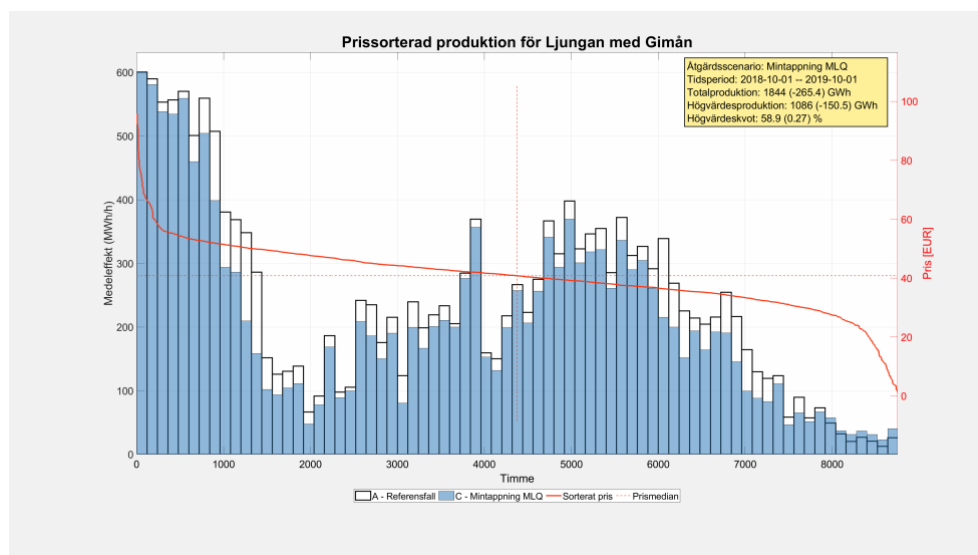
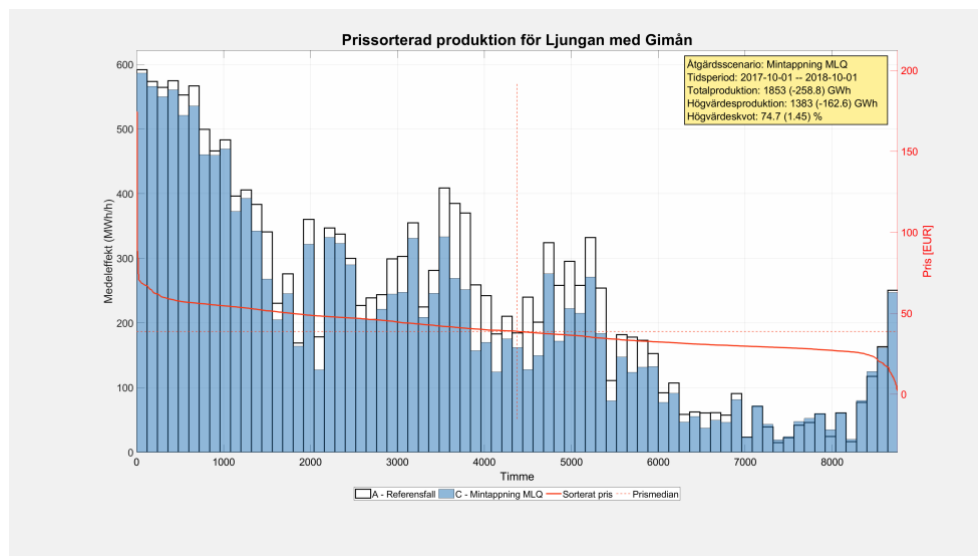
Magasin	Miljöåtgärder	Från	Till	Ytnivå (m.ö.h.)	Ytnivå (m.ö.h.)
Havern-Mellansjön	Vattennivåer (min/max)	01-jan	31-dec	259,35	259,45
Havern-Mellansjön	Start- och slutyta	01-jan	31-dec	259,4	259,4

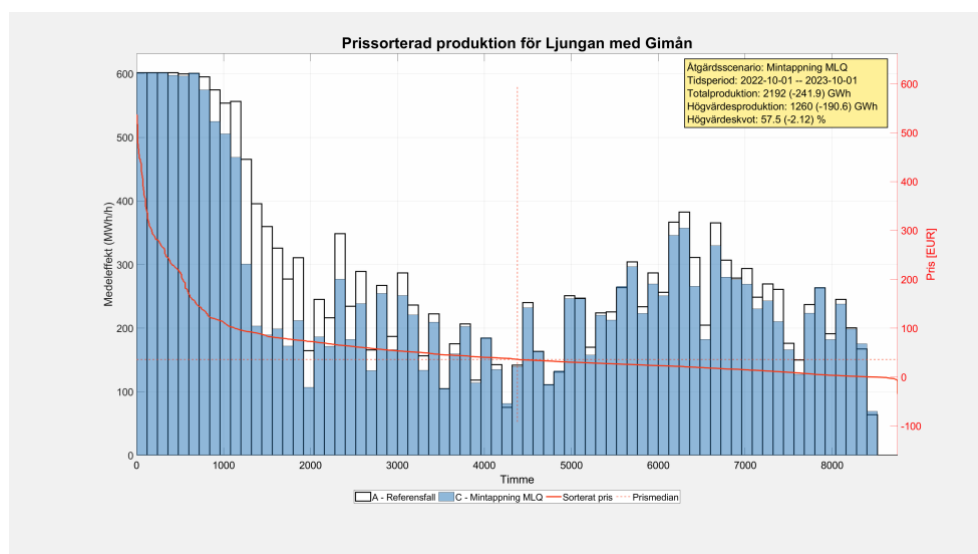
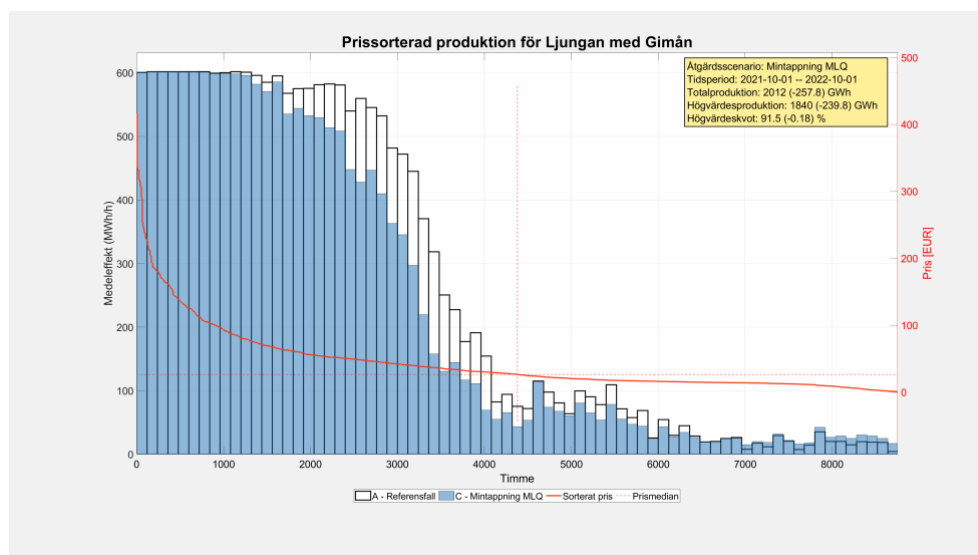
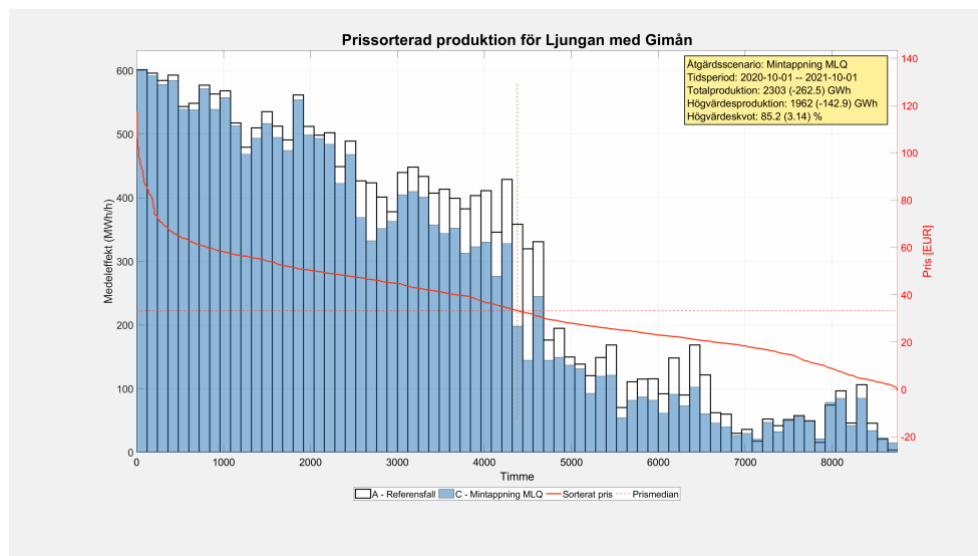
PRISSORTERAD PRODUKTION

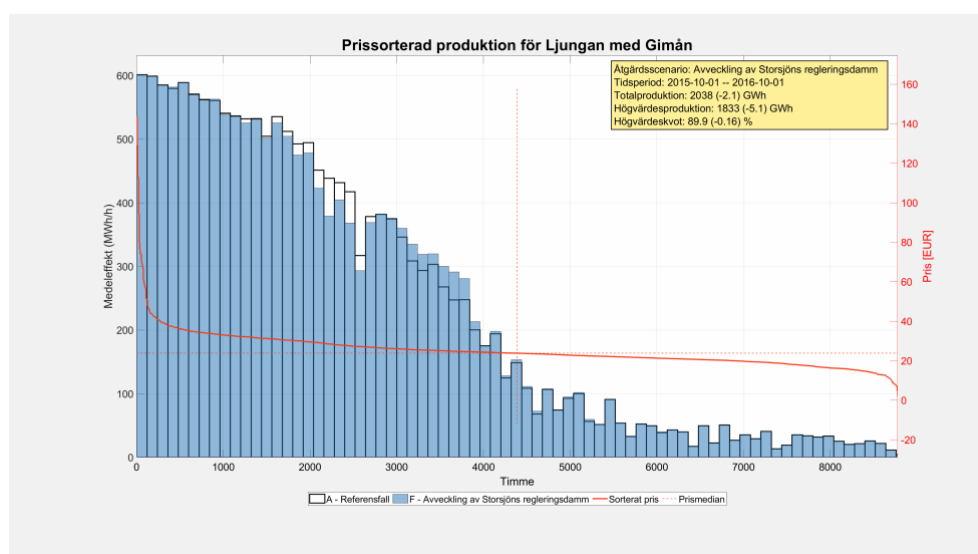
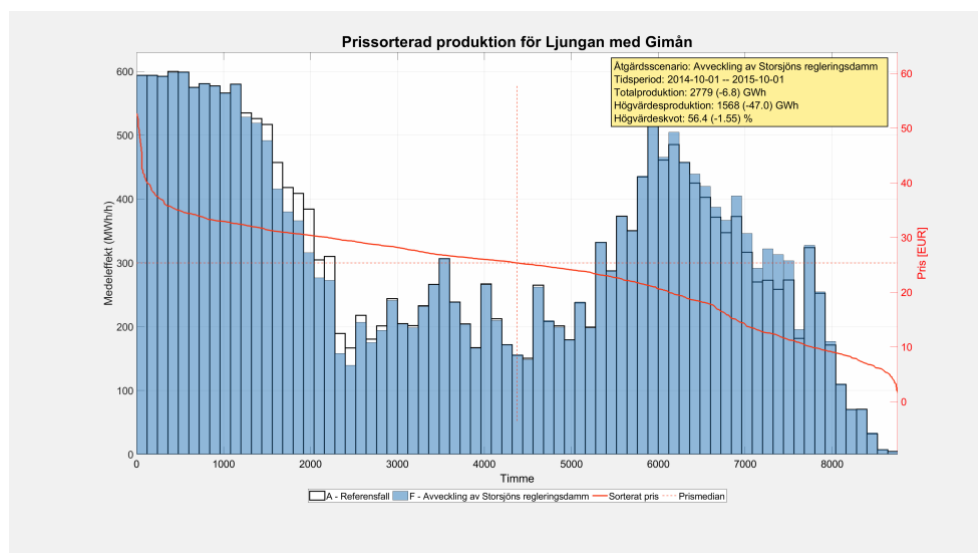
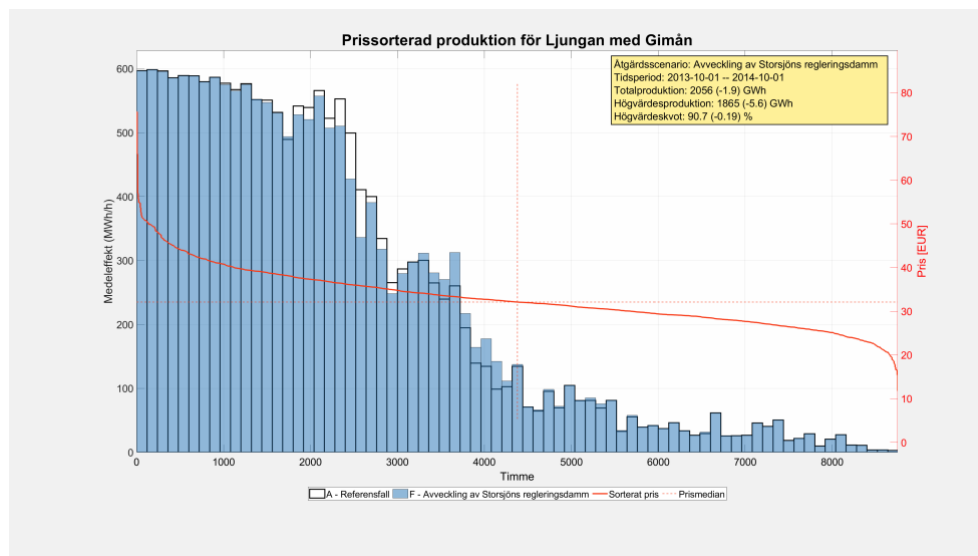
Figurerna i detta avsnitt visar sorterat elpris och prissorterad produktion som 120 timmars medelvärden för Ljungan och Gimån. Ofyllda staplar visar referensfallet och de blåfärgade staplarna visar den prissorterade produktionen i det åtgärdsscenario och under den tidsperiod som framgår av den gula rutan i figuren. I rutan visas också totalproduktion, högvärdesproduktion och högvärdeskvot i referensfallet och inom parentes skillnaden mellan åtgärdsscenariot och referensfallet.

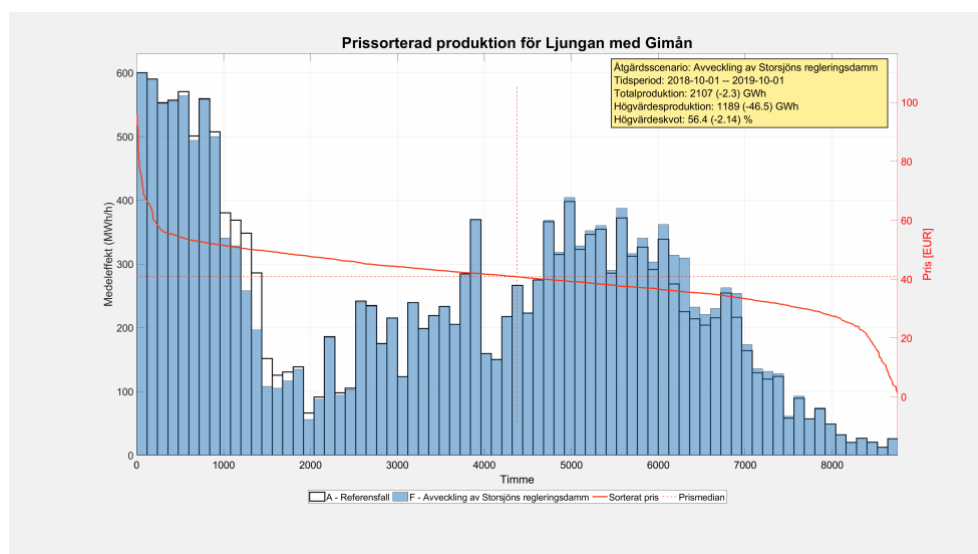
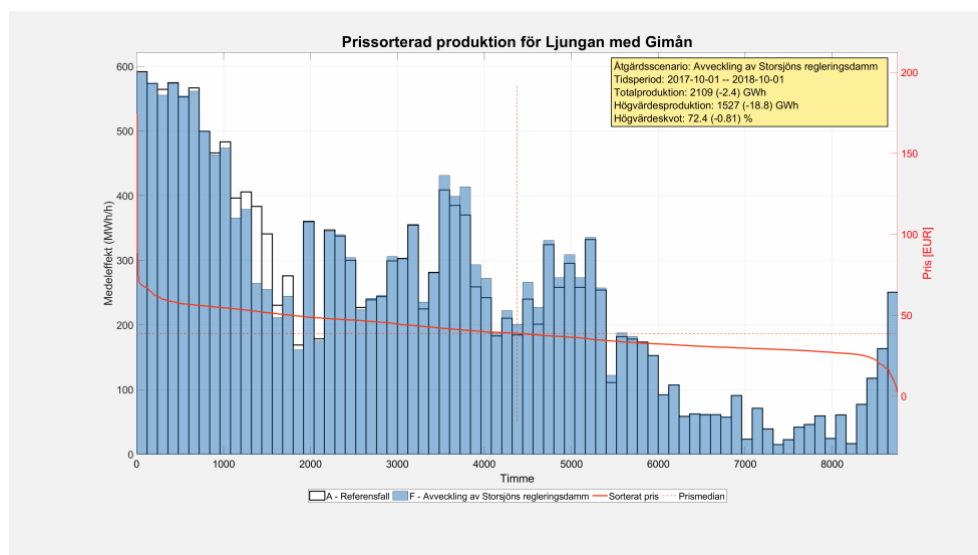
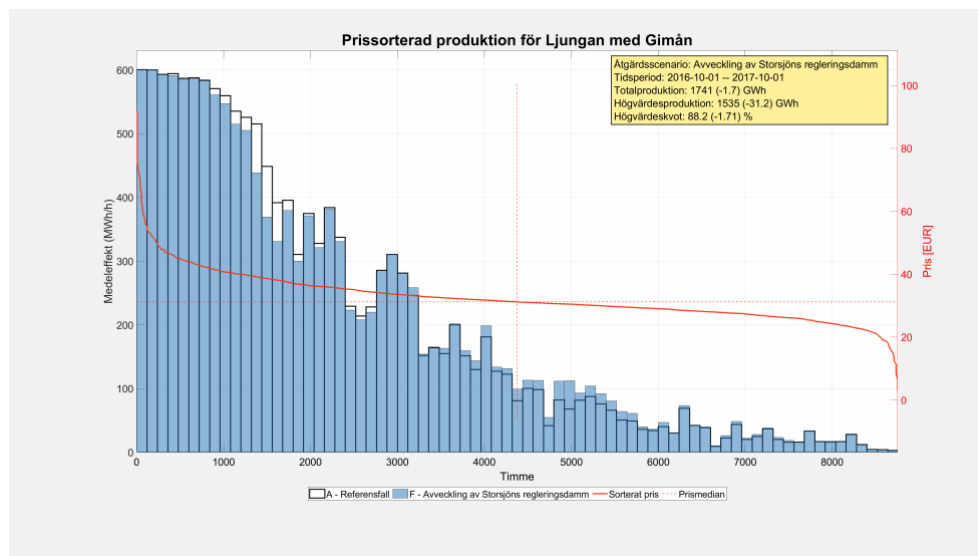


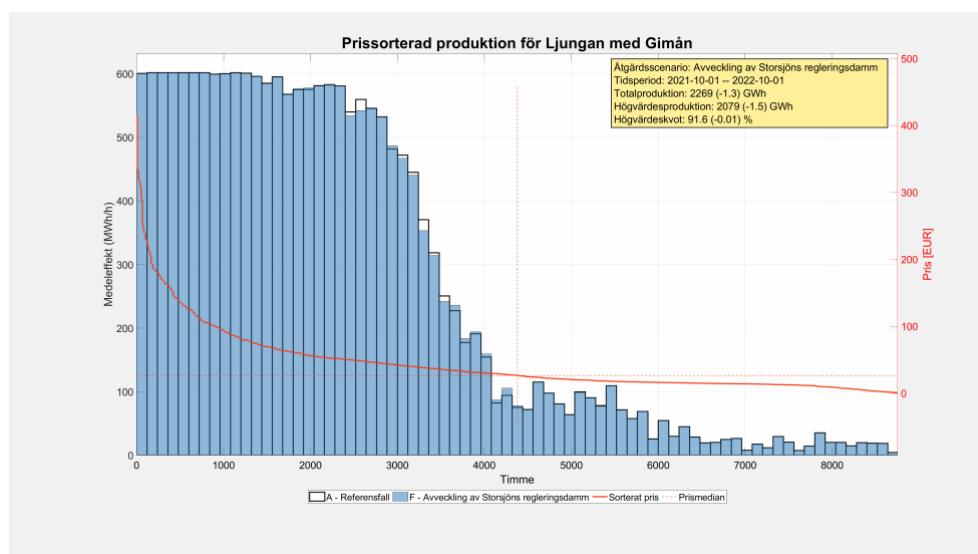
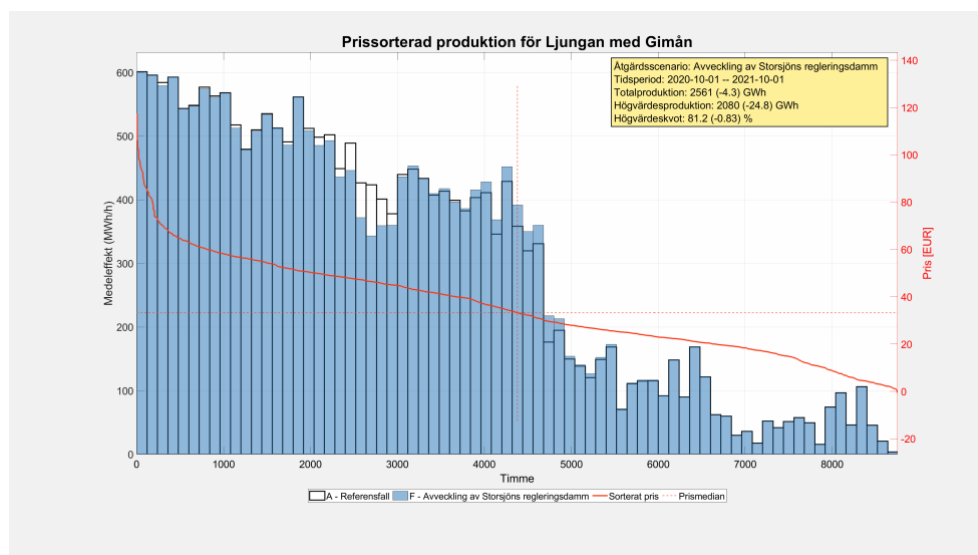
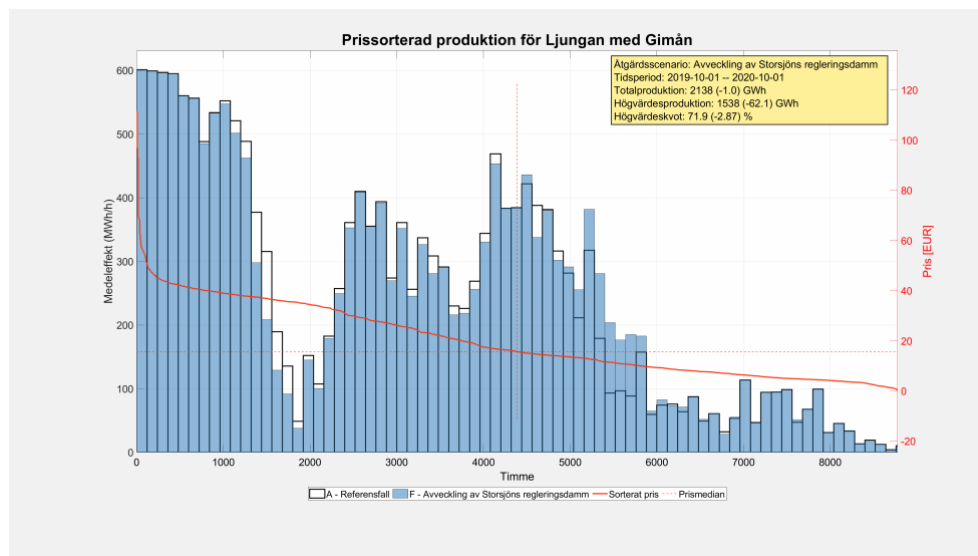


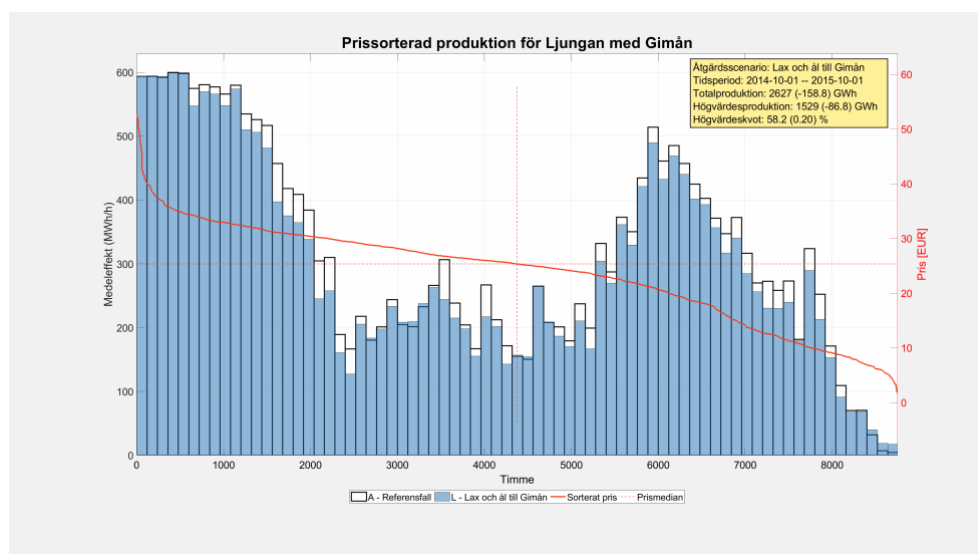
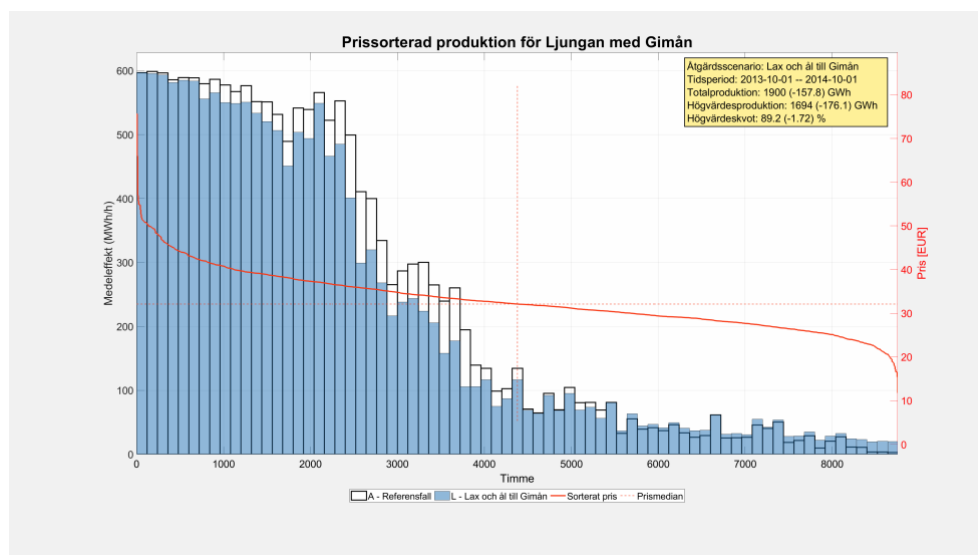
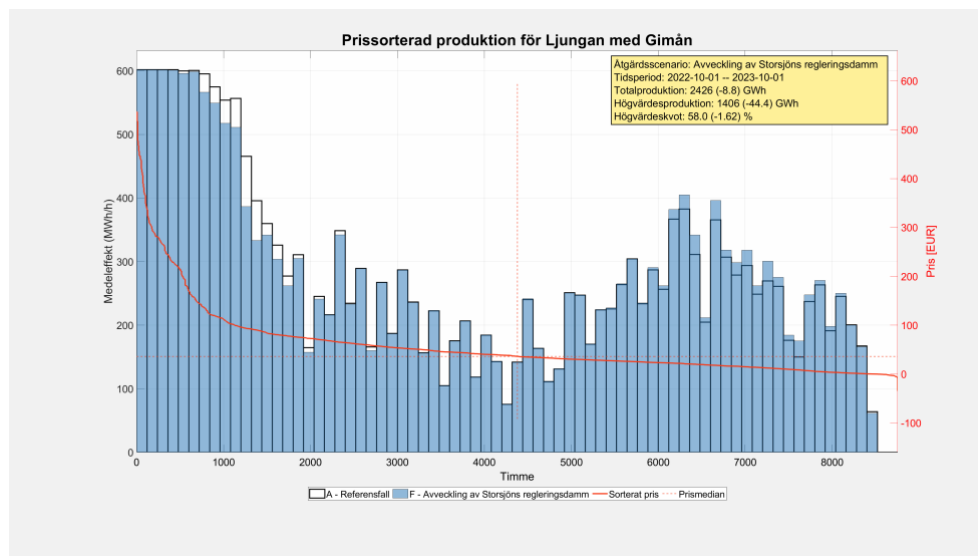


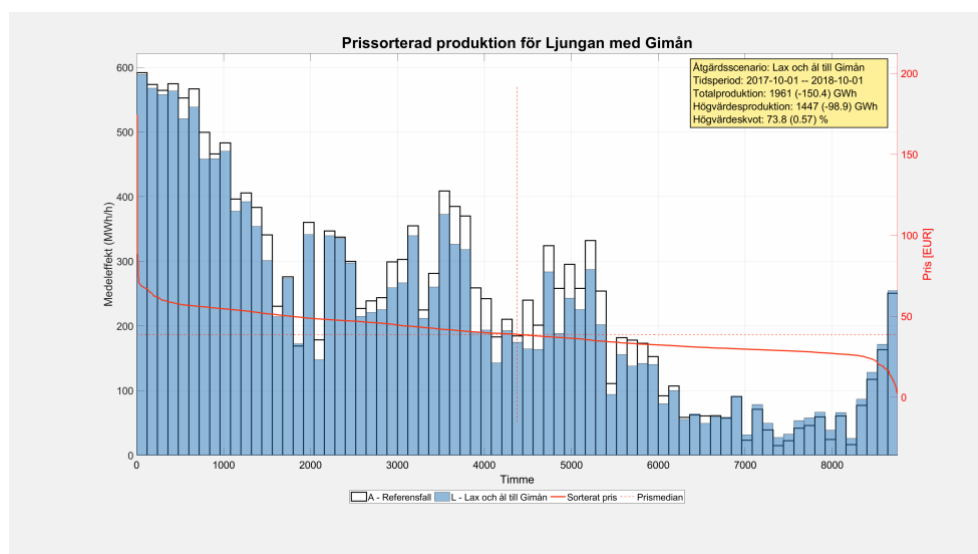
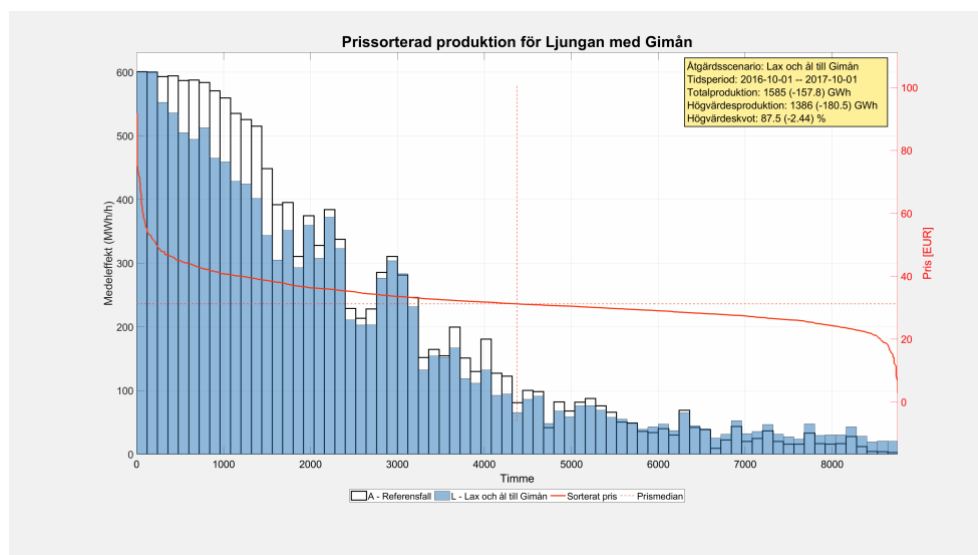
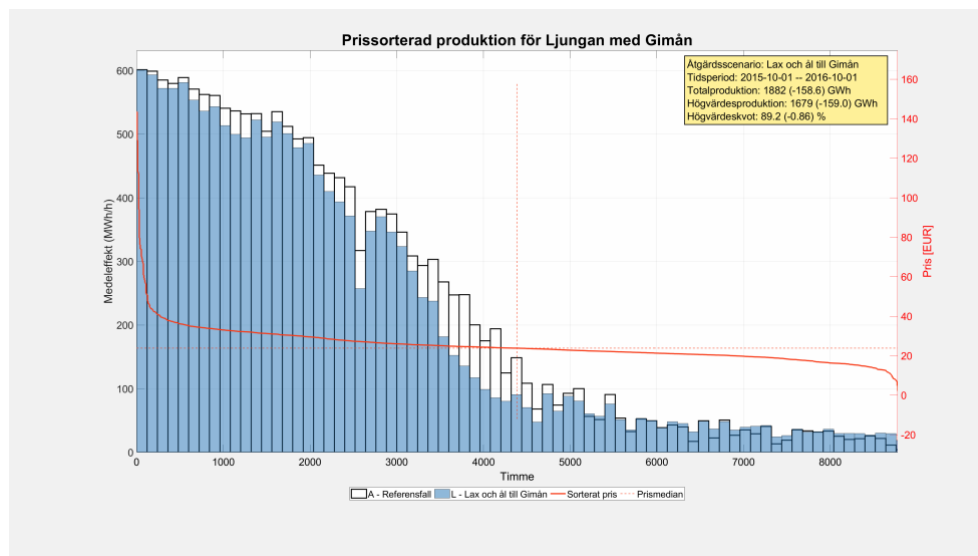


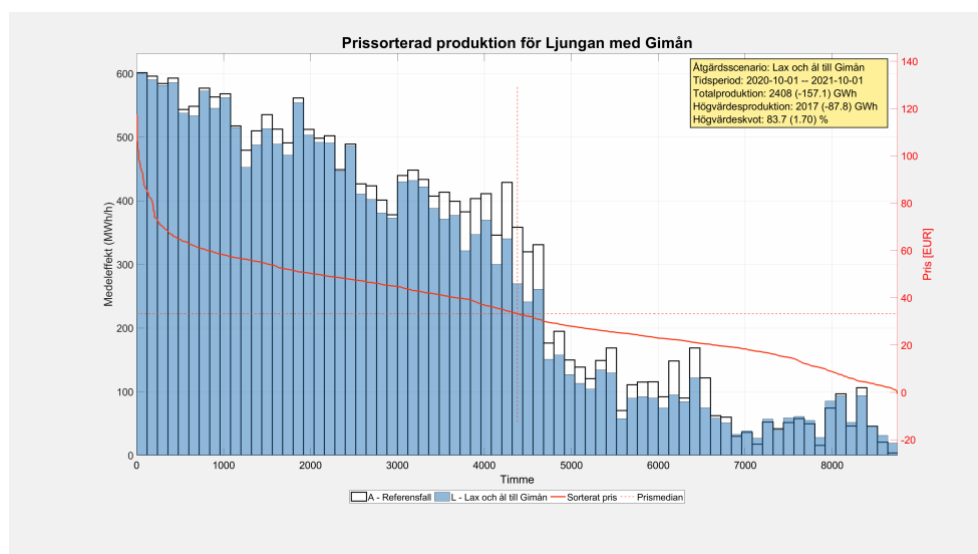
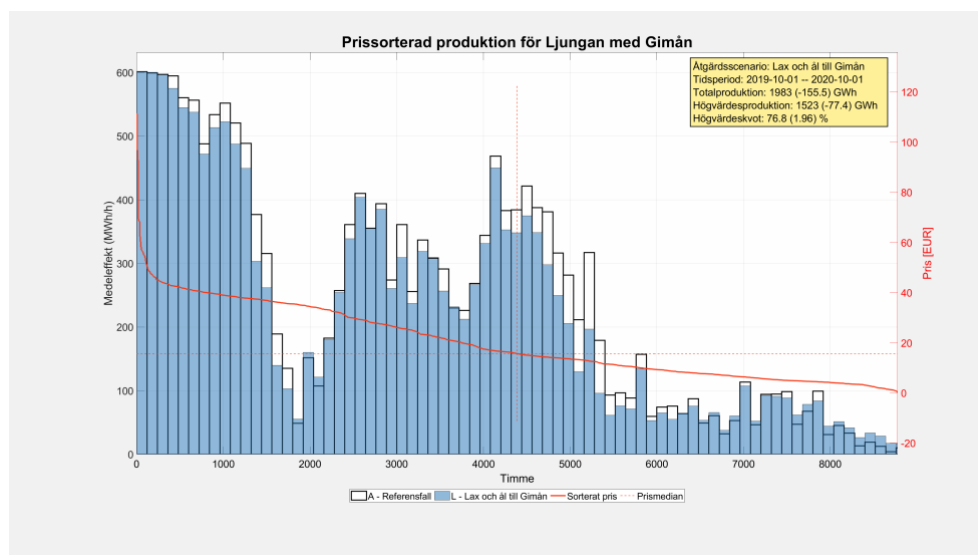
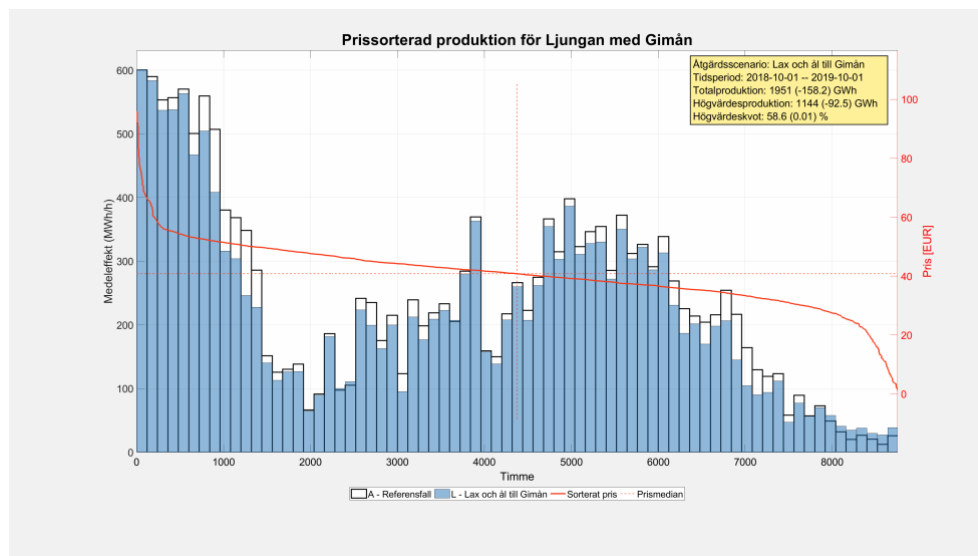


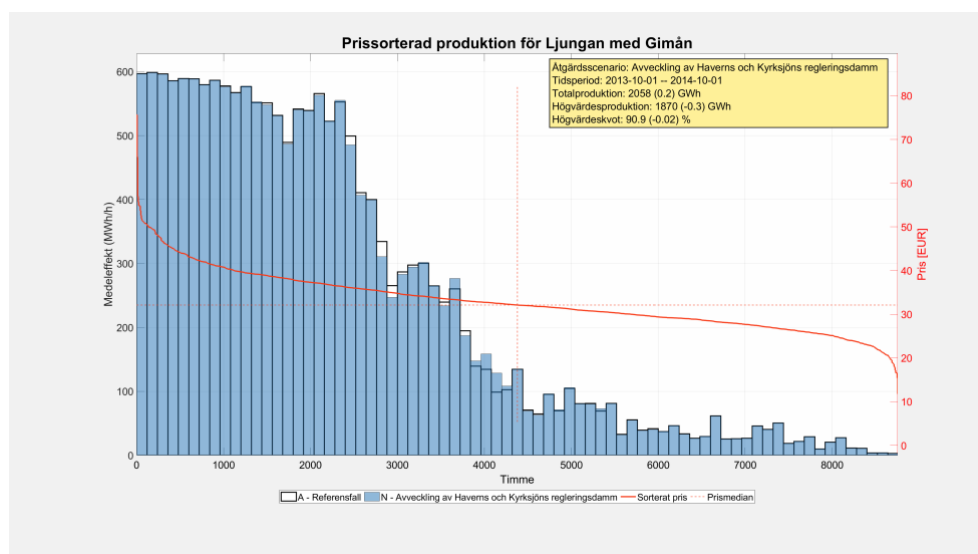
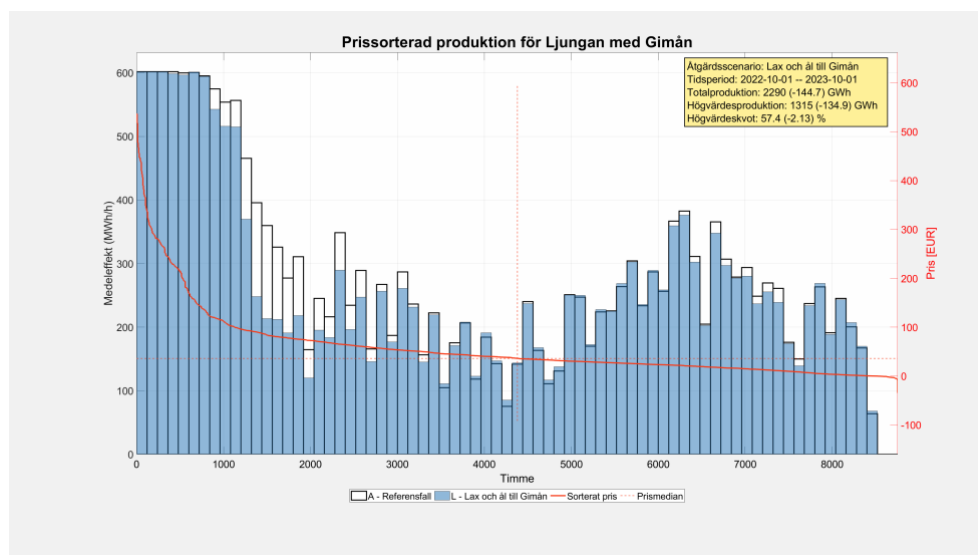
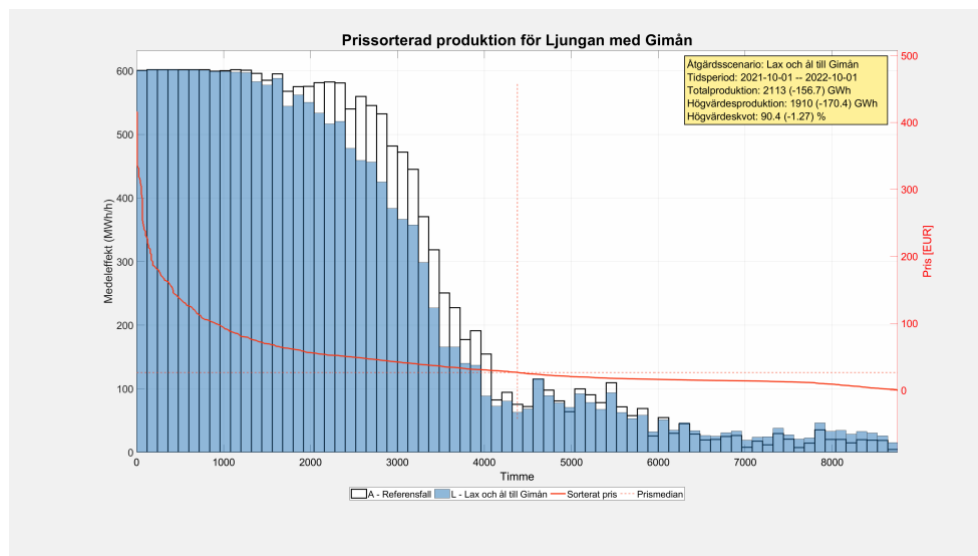


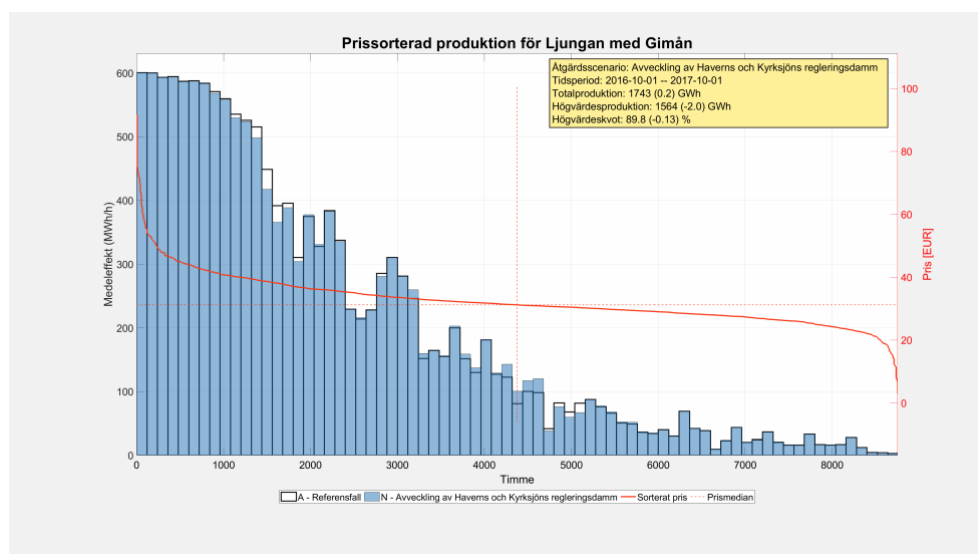
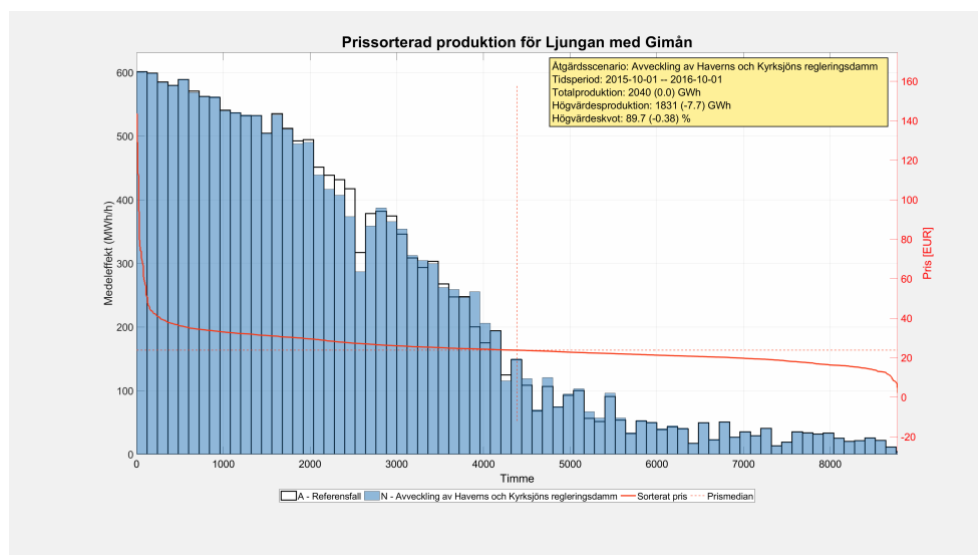
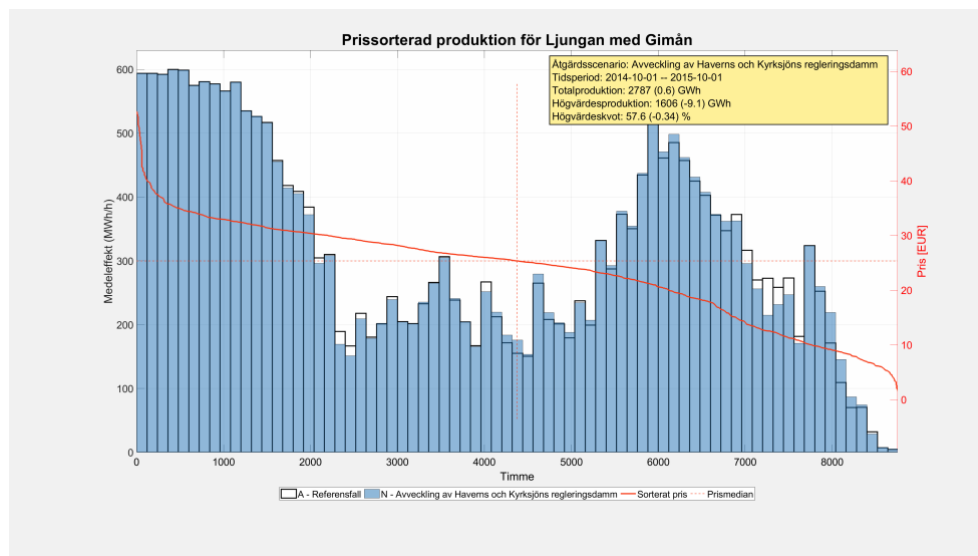


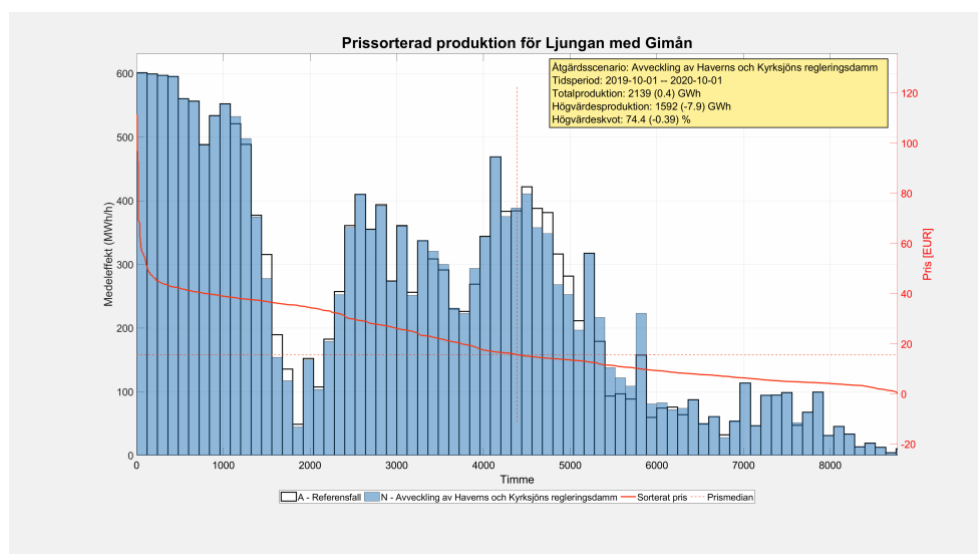
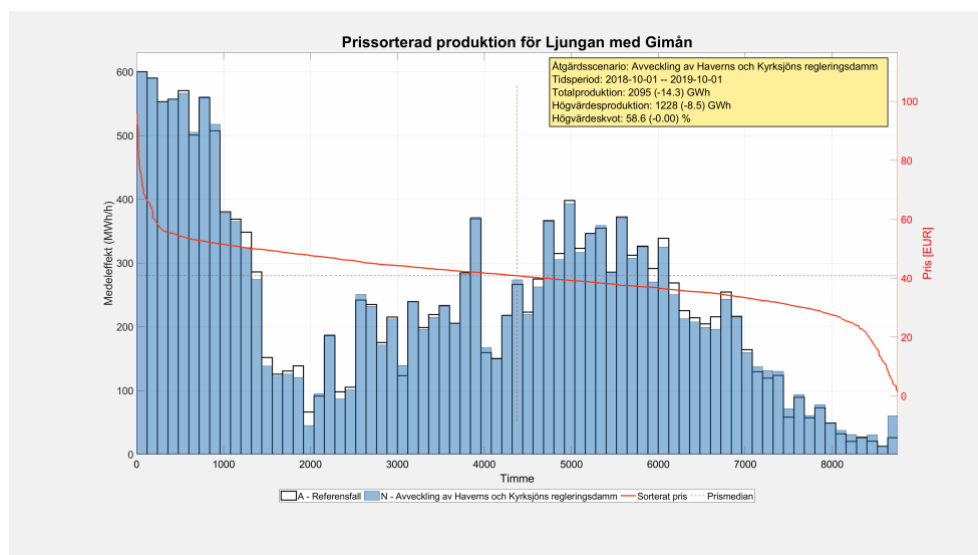
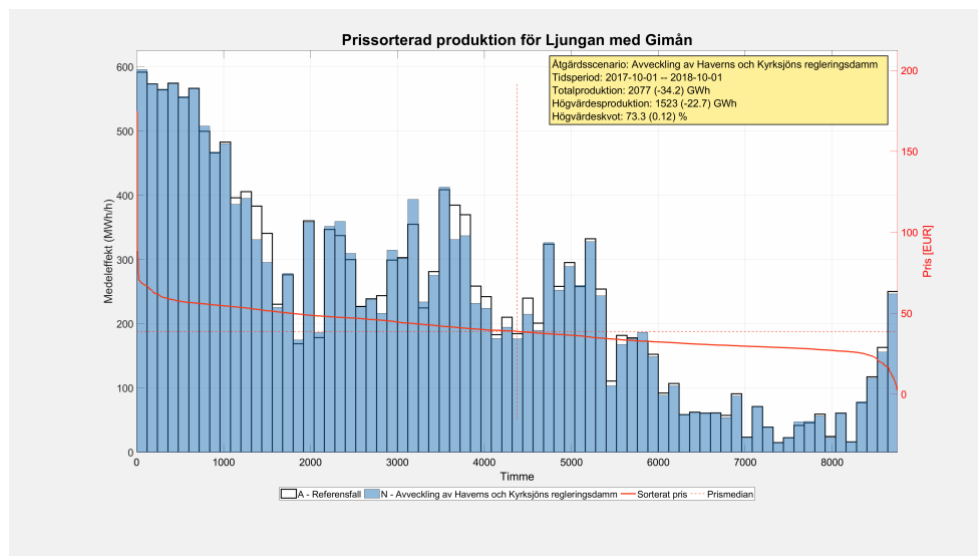


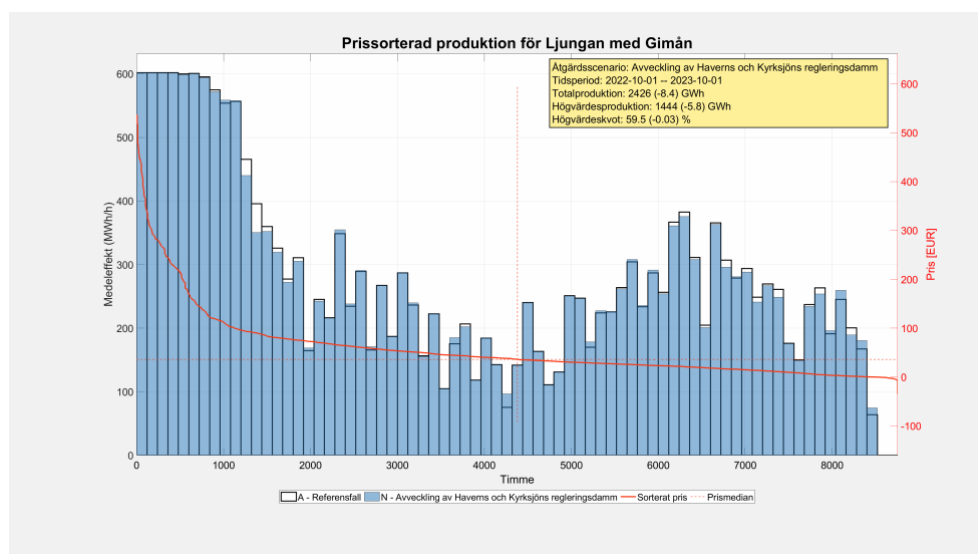
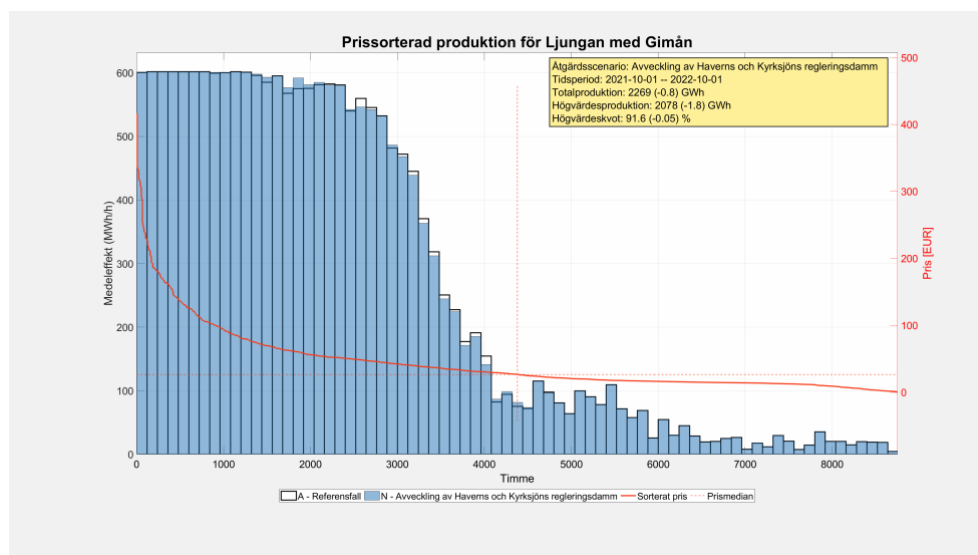
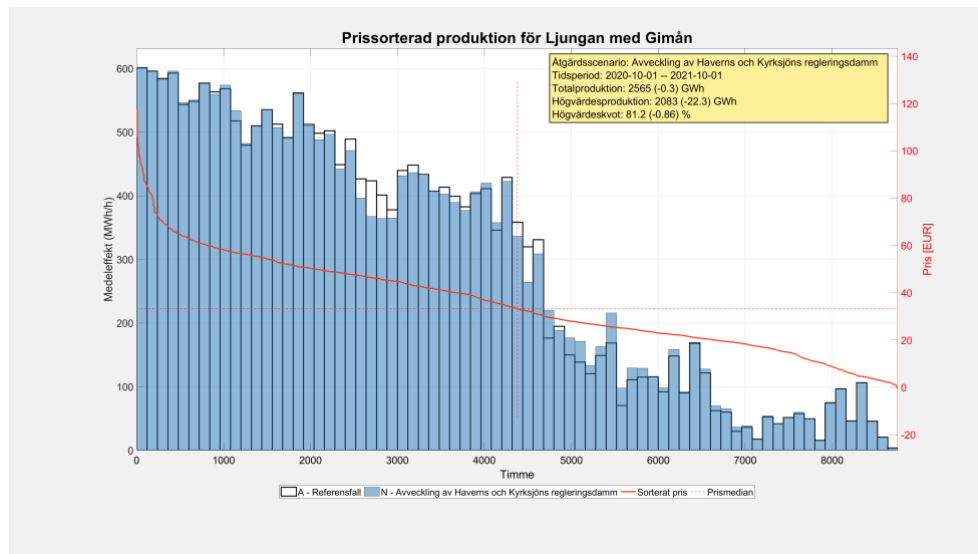












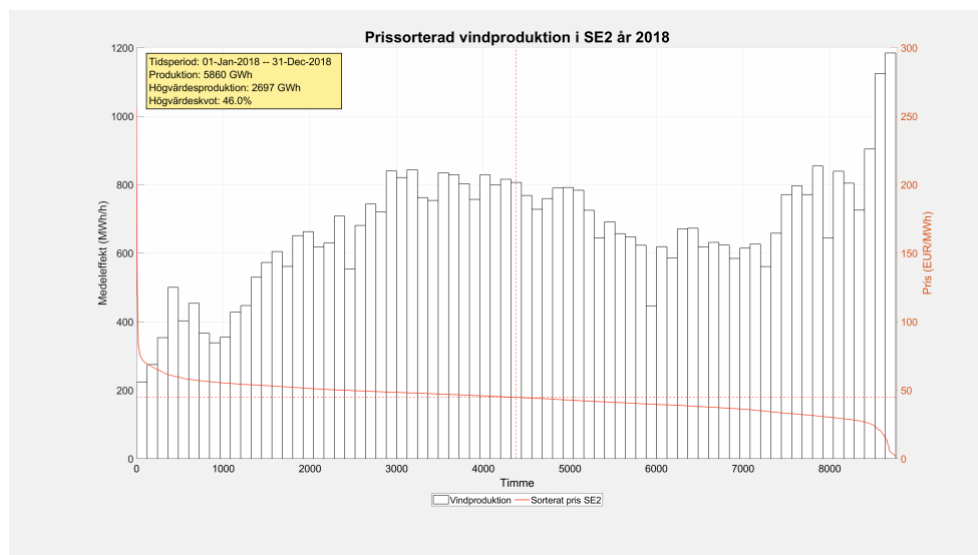
Bilaga C: Prissorterad produktion för vindkraft

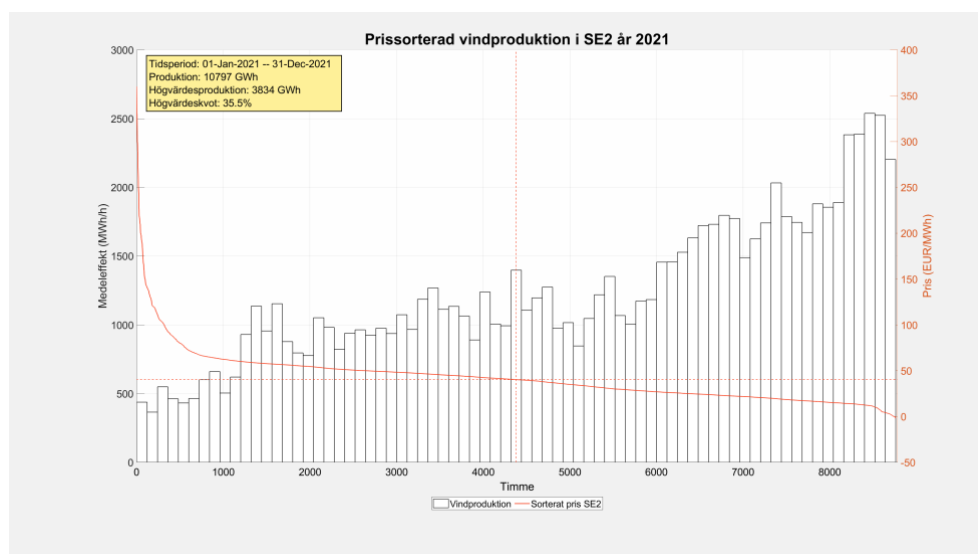
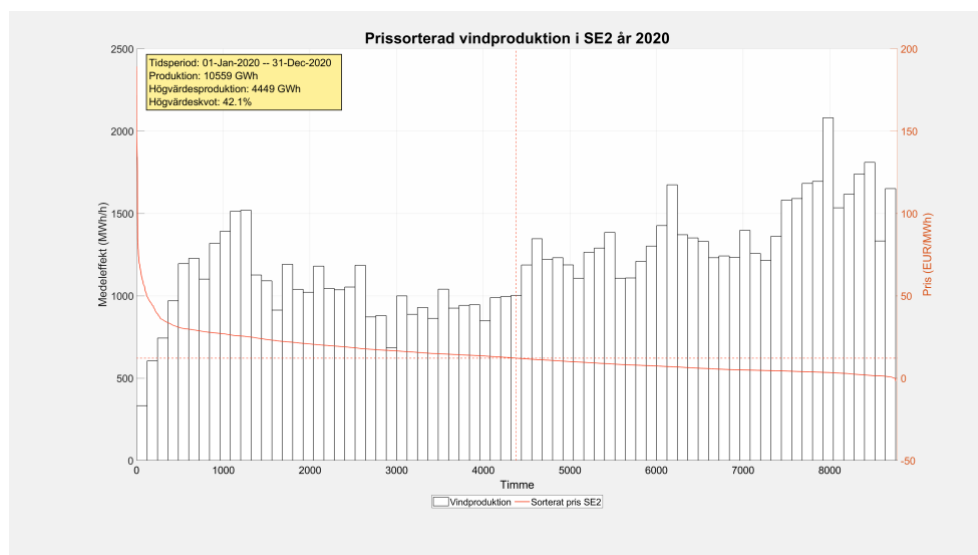
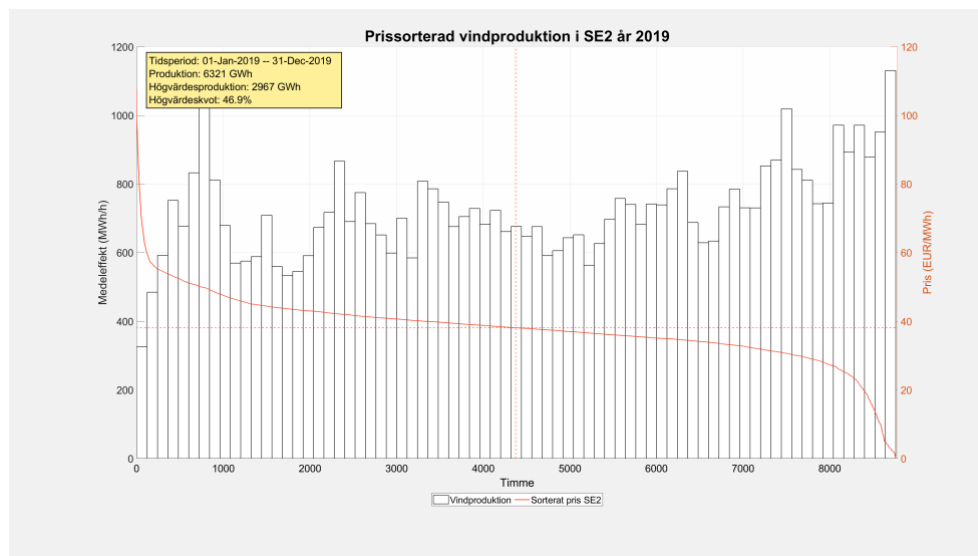
I denna bilaga visas prissorterad produktion för vindkraft, vilket är intressant som jämförelse med vattenkraften. Graferna visar tydligt att vindkraften producerar mer vid låga priser, vilket gör att den prissorterade produktionen får sin tyngdpunkt i den högra halvan av figurerna och en högvärdeskvot under 50%. Det är förstås inte så att vindkraften styr produktionen mot låga priser, det är priset som pressas nedåt när det blåser mycket.

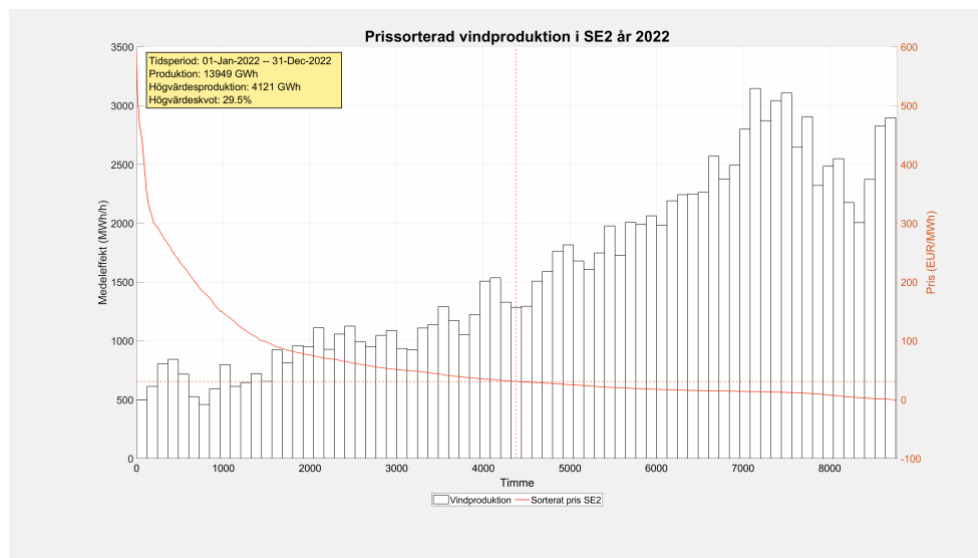
Om man studerar graferna i kronologisk ordning tycks högvärdeskvoten för vindkraften minska över tid. Eftersom vi inte gjort någon närmare analys av detta som ser ut att vara en trend, vill vi inte spekulera alltför mycket kring om det är en trend och vad denna i så fall beror på, men vi kan konstatera att detta resultat ligger i linje med vad som visats i andra studier angående vindkraftens påverkan på priset, det som brukar kallas för kannibaliseringseffekt.

Givet utseendet på den prissorterade produktionen för vindkraft och dess eventuella trend över tid kan det inses varför det också behövs ett planerbart kraftslag med stora energilager som kan producera när det inte blåser och bidra till att jämna ut priserna.

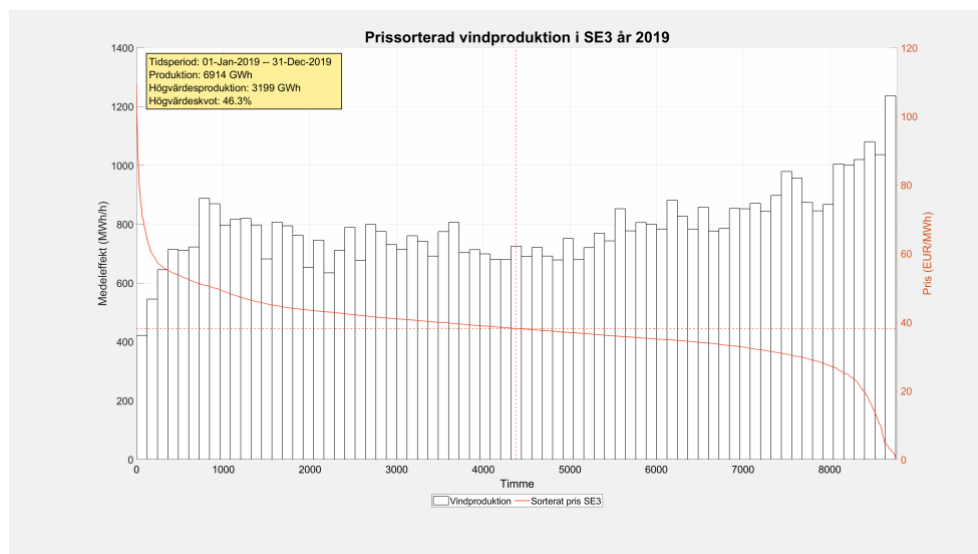
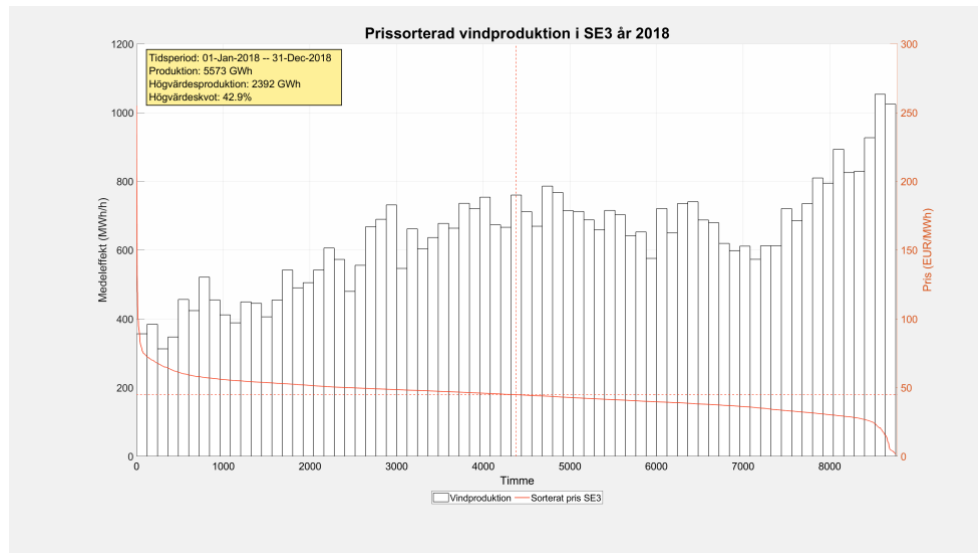
ELPRISOMRÅDE SE2 ÅREN 2018 – 2022

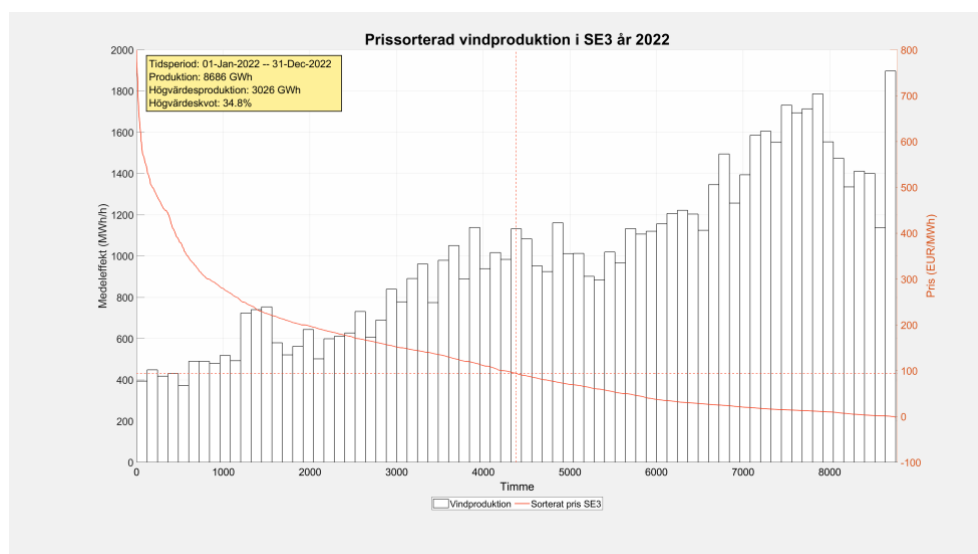
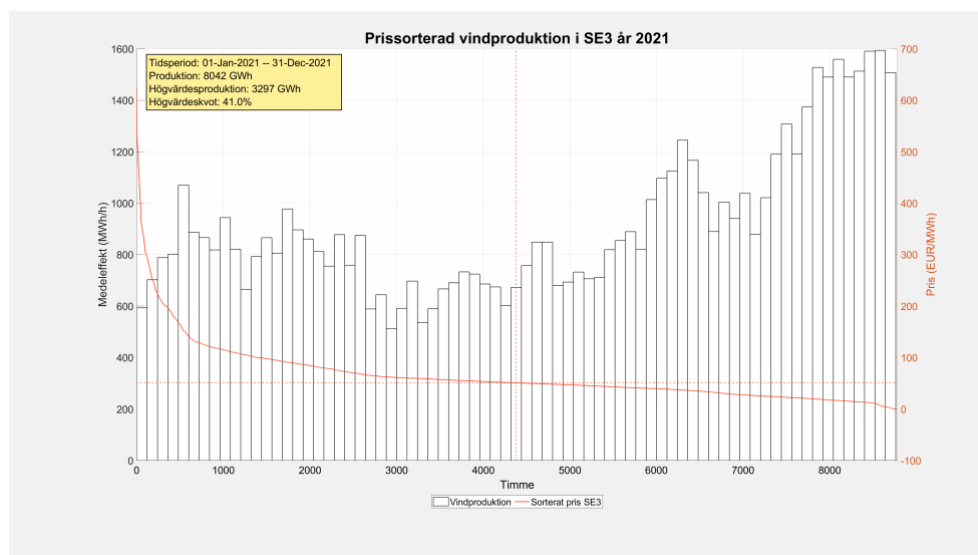
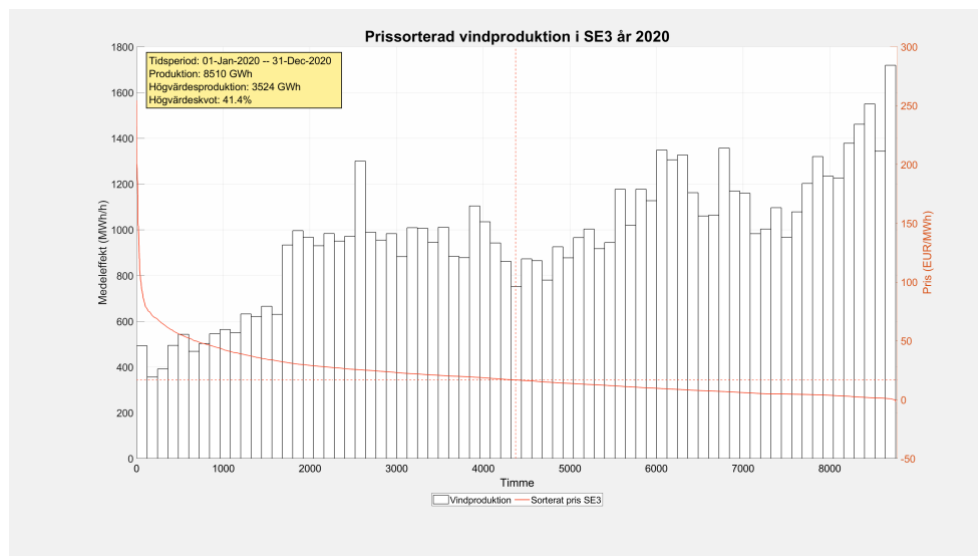






ELPRISOMRÅDE SE3 ÅREN 2018 – 2022





HÖGVÄRDESPRODUKTION OCH HÖGVÄRDESKVOT

Ibland behövs komplicerade analyser för att fatta bra beslut, men en allt för hög komplexitet kan skymma sikten. "Everything should be made as simple as possible, but not simpler", lär Alber Einstein ha sagt. Keep it simple stupid (KISS) är en etablerad princip inom ingenjörsvetenskap, design och produktutveckling. Sammanhanget och behovet avgör. I denna rapport föreslås högvärdesproduktion och högvärdeskvot som enkla nyckeltal för att mäta och visualisera reglerförmåga hos en elproduktionsresurs.

Rapporten är skriven utifrån ett svenskt vattenkraftsperspektiv, där åtgärder som kan bli aktuella inom ramen för omprövningarna för moderna miljövillkor används som illustrativa exempel. Nyckeltalen som sådana och resonemangen bakom är dock inte knutna till just vattenkraft utan skulle gå att tillämpa även i andra sammanhang.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.

