

Ett pålitligt elsystem - Ingen självklarhet

Peter Mellberg 2022-08-26 R17



Framtidens Elsystem

- Det är mycket vi inte vet
 - Hur kommer marknaden att se ut?
 - Hur kommer politiken att se ut i Sverige, Norden, EU, Världen
 - Hur kommer bas och reglerkraft säkras (kärnkraft, råvaror som kol, olja och gas)
 - Hur fort kommer teknikutvecklingen att gå?
 - Hur mycket kommer elförbrukningen att öka?
 - Vilka lösningar för elnäten kommer att finnas? (tex nätutbyggnad, lagring, vehicle to grid)
 - Ju längre fram man tittar desto större är osäkerheterna, ingen vet.
 - Men alla förväntar sig att el alltid finns i våra eluttag!
 - Säker tillgång till el är grunden till hela vår välfärd!
 - **Det är inte självklart framöver!**

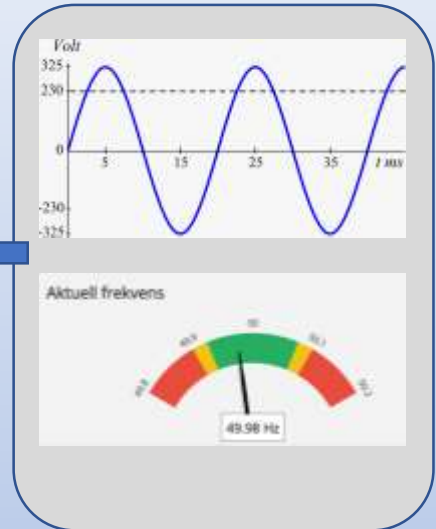


Innehåll

1. Elsystemets syfte
2. Sveriges elsystem och elområden
3. Vad är elbrist, effekt och energi?
4. Effektbalans
5. Elsystemet design, risker och leveranssäkerhet
6. Olika kraftslags egenskaper
7. Vad är problemet?
8. Sveriges Elproduktion 2021
9. Ökad konsumtion
10. Varför blir det så dyrt
11. En närmare titt på Januari 2040
12. Lagring
13. Vad kan jag göra själv
14. Möjlig lösning 2040
15. Summering

Elsystemets Syfte

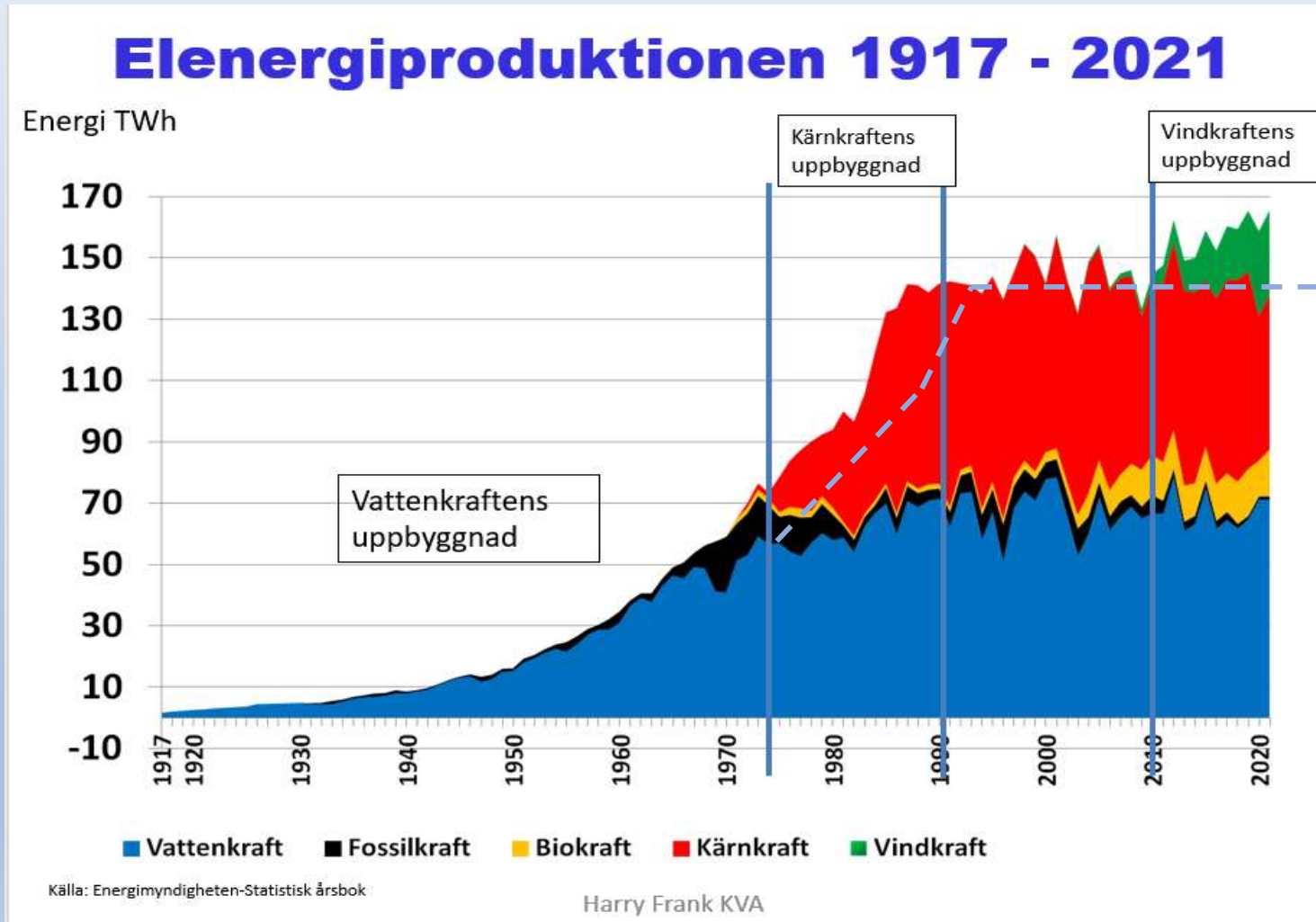
- Elsystemet är byggt för ett **primärt syfte**
- Sen finns sekundära syften som "klimatsmart", "hållbar", "grön" etc.
- Sekundära syften kan dock aldrig prioriteras över det primära
- **Därför är det viktigt att klarera det primära syftet**
 - Att leverera el -> med rätt kvalitet, hela tiden



- **Prio 1 Tillgängligt med rätt kvalitet**
- **Prio 2 Billigt**
- **Prio 3 Helst med låga utsläpp**

Sveriges elsystem och elområden

Sveriges elsystem, uppbyggnad



- Det viktigaste var leveranssäkerhet
- Man byggde för robusthet.
- Förbrukningen har i stort sett legat runt ca. 140TWh sen 1987.
- Ingeting har hänt med konsumtionen men nu står vi inför en historisk ökning.
- **Det är momentan konsumtion av effekt som ökar .**
- Det motsvarar i **efterhand** en viss energi.
- Därför kan man i utbyggnaden av elsystemet inte prata om energi!

Elområden

- Sedan år 2011 är Sverige indelat i fyra elområden.
- För att främja en inre marknad och skapa incitament för nya etableringar där behoven är som störst.
- Väderförhållanden och dylikt ger att det uppstår situationer med över- respektive underskott på el i de olika områdena.
- Det kan i sin tur leda till olika prisnivåer på grund av överföringsbegränsningarna i snitten mellan områdena.
- I och med den “hårda” koppling till elområden utanför Sverige som krävs med oplanerbar kraft blir vi också påverkade av elområden utanför Sverige som kan innebära stora prisskillnader inom Sverige. Man kan säga att vi då också importerar prisbilden.



Figur 2. Elområden i det nordiska och baltiska kraftsystemet. Svarta elområden tillhör samma synkrona område, de röda är sammankopplade vid HVDC.¹

Elområden, överföringskapacitet

- Kapaciteten mellan områden är begränsad.
- Och det är skillnad i olika riktningar.
- Det måste i varje ögonblick råda **effektbalans** mellan alla anslutna områden, inte bara Sveriges.
- Om det inte är balans så uppstår **effektbrist**



Transmissionsnätet, 17000 km ledningar

Vindkraftsparker



- Sen är det mer komplicerat vilket kan ses här.
- Förgreningarna för vindkraftsparker gör systemet än mer komplicerat.
- Med mycket flera kombinationer av ovanliga driftsfall som SVK måste hantera.
- I varje ögonblick.

Vad är Elbrist, effekt och energi?

Vad är elbrist?

Effektbrist – i ett givet ögonblick räcker inte den tillgängliga produktionen till.

Nätkapacitetsbrist – effekt finns men elnäten kan inte transportera den efterfrågade elen.

Energibrist – över året kan inte den efterfrågade energin produceras.



- Om man har effektbalans har man alltid den energi som behövs.
- Det omvända gäller inte!

Vad är elbrist?

Man kan ha elbrist och elöverskott samtidigt beroende på vad man tittar på.

- Om man alltid har effektbalans så har man alltid tillräckligt med energi eller energiöverskott.
- Det omvända gäller att man kan ha energiöverskott men tidvis inte effektbalans dvs ett dåligt fungerande elsystem som hacker och tidvis stannar och kopplar ifrån förbrukare.

Så:

Säger man att vi har elöverskott har man rätt. (energi per år)

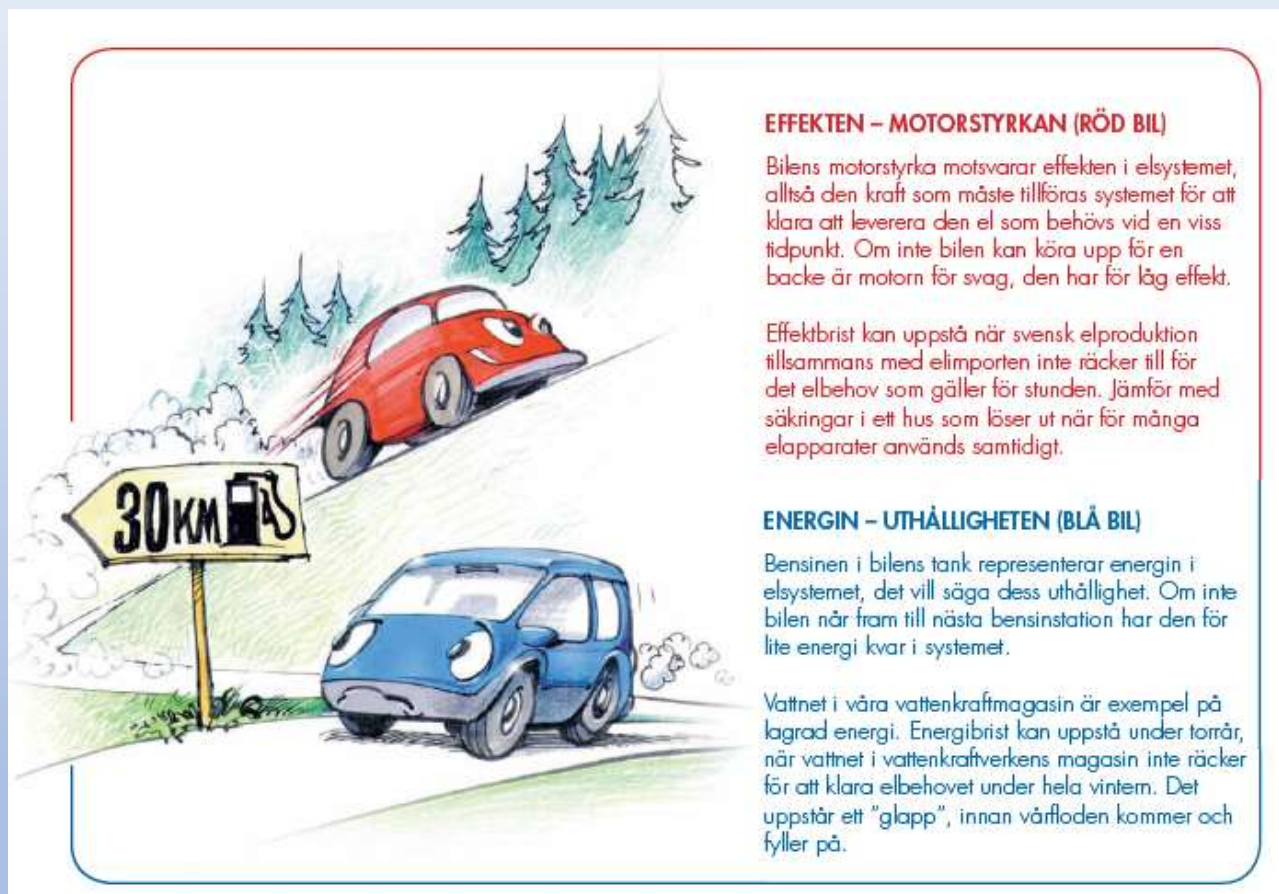
Säger man att vi har elunderskott har man rätt (effektbalans och överföringskapacitet)

Säger man att vi inte har problem har man fel. (redan nu finns inga eller mycket små marginaler i område 3 och 4)

Att vi har energiöverskott per år betyder inte alls att systemet är ok. Det syns inte i energi diskussionen eftersom det är ett retroaktivt begrepp där även ett väldigt opålitligt elsystem som slår till och från fortfarande kan ha ett stort överskott per år.

**Det är därför politiker och media ofta pratar om energi för det syns inte då att något dåligt håller på att hända med elsystemet.
Man pratar således om något som låter bra men inte fungerar!**

Effekt (kW) och Energi (kWh)



NÅGRA TUMREGLER

Energi

- 1 kWh är ungefär den energi som utvecklas i en elektrisk kokplatta under en timme
- 1 MWh är den energi som en normal kyl och frys förbrukar under ett år
- 1 GWh är den elenergi som 40 direktelvärmda villor förbrukar på ett år
- 1 TWh motsvarar Sveriges energiförbrukning under ett dygn (i genomsnitt över året)

Effekt

- 1 kW motsvarar effekten på en elektrisk kokplatta
- 10 kW motsvarar effekten på en villapanna
- 100 MW motsvarar effekten på en hetvattencentral i ett fjärrvärmenät som kan förse ca 20 000 lägenheter med värme

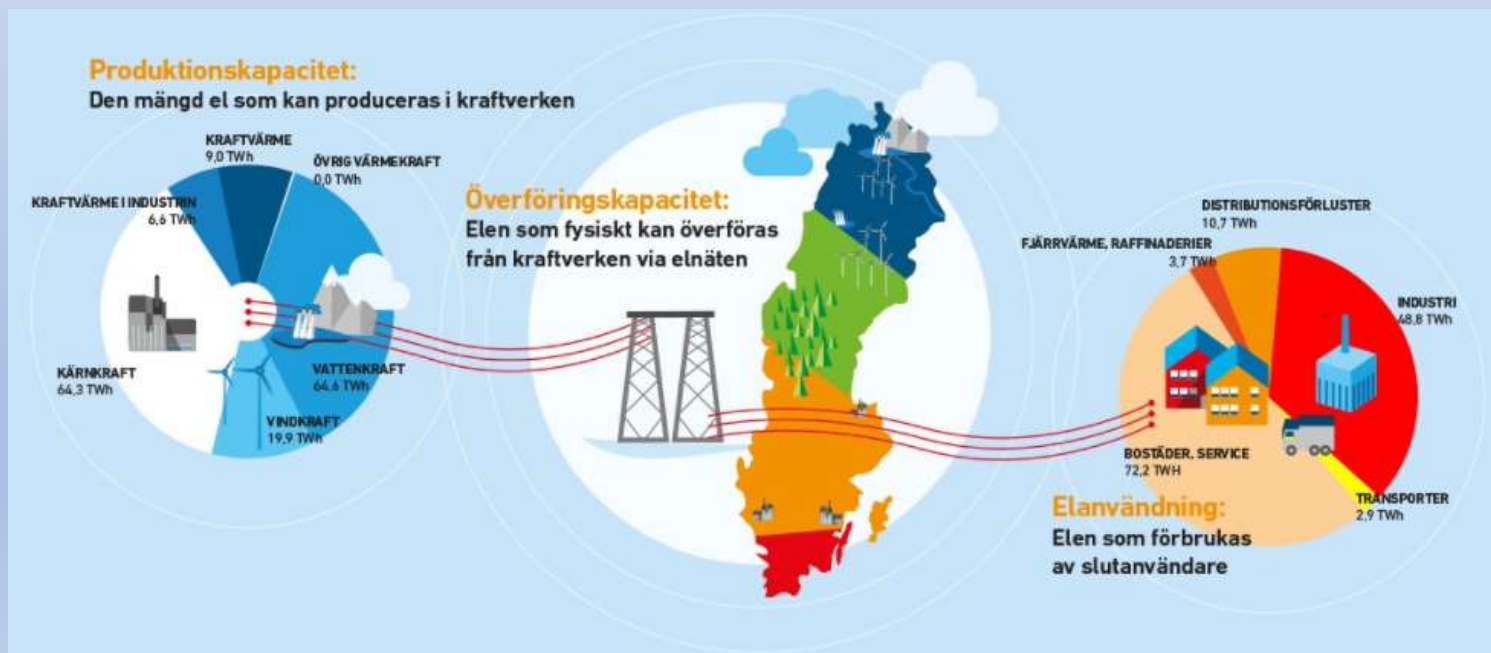
Det skall noteras att 1 TWh är 1 miljard kWh.
Det är enorma mängder energi i de uttrycken.

Effektbalans



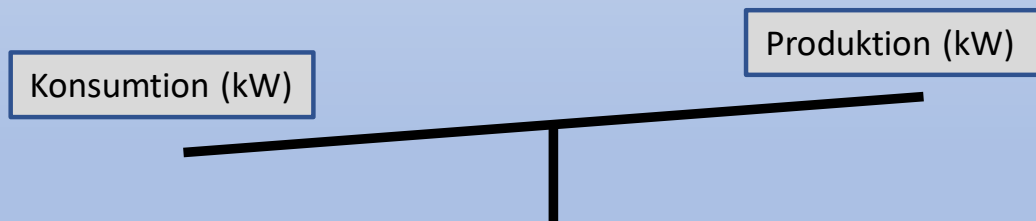
Elsystemet – en effektbaserad maskin

- Ett elsystem är grovt beskrivet en maskin vars effektivitet beror på förhållandet mellan förmågan att producera och överföra el (effekt).
- Effekten (kw) är det som används och är momentan.
- Om producerad och konsumerad effekt inte är i balans i varje tidpunkt börjar systemet direkt att reagera och i värsta fall kollapsa.

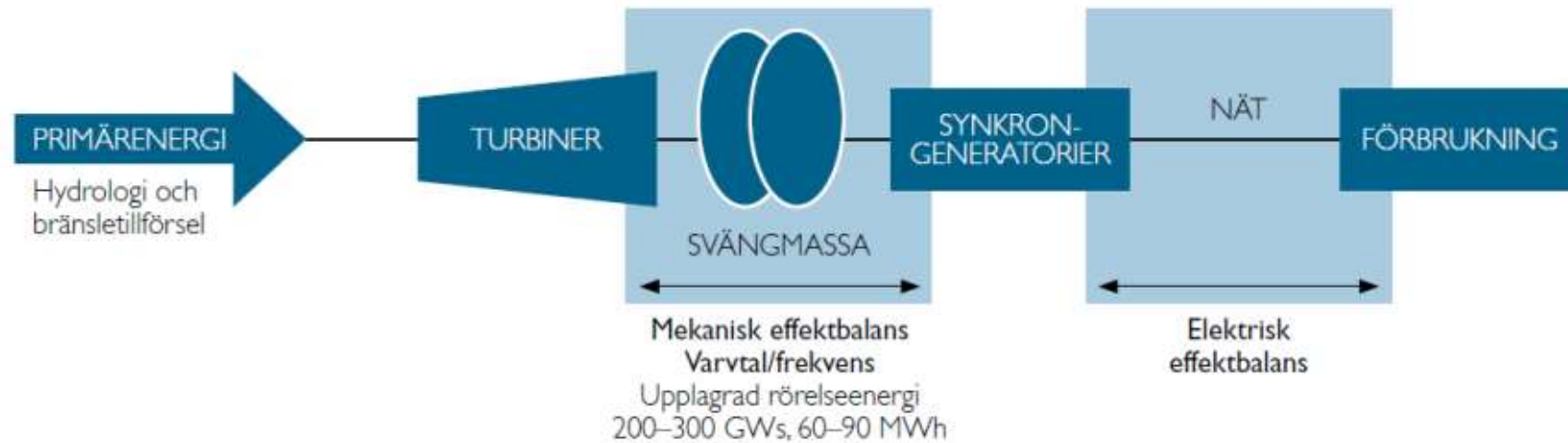


Effektbalans

- El kan inte lagras i stor omfattning (kWh)
- Om användningen av el skulle bli större än vad som för stunden är möjligt att producera, eller importera, uppstår en **effektbrist (kW)** och frekvensen i nätet går ner!
- Då detta skulle kunna leda till allvarliga konsekvenser i samhället finns det förberedda åtgärder för att både förebygga och lindra konsekvenserna av det.
- Hela vår välfärd bygger på säker tillgång till el.



Effektbalans, både mekanisk och elektrisk



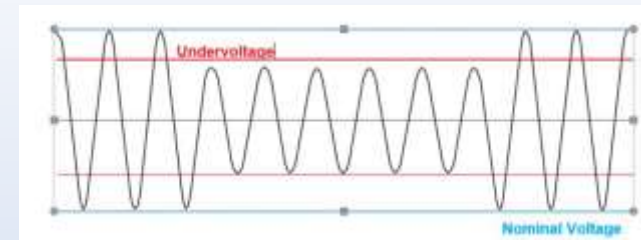
Figur 8. Balans mellan produktion och förbrukning av effekt i ett elsystem. Källa: Svenska kraftnät.

- För kortvariga snabba svängningar i nätet behövs stora svängmassor för att stabilisera systemet så att inte ansluten utrustning skadas.
- Det finns stora svängmassor i kärnkraft och vattenkraft men inte i vindkraft och solkraft.

Elsystemets design

Risker och leveranssäkerhet

Systemets funktion



- Ett elsystem i balans är ett måste för leveranssäkerheten och elkvalite.
- Svenska kraftnät beräknar hela tiden hur flödena i nätet troligtvis kommer att bli inklusive planerade avbrott och underhåll.
- Systemet måste också klara plöstliga bortfall av stora produktions källor det s.k. N-1 kriteriet
- Detta måste klaras alla dagar om året i varje ögonblick inklusive en 10-års vinter.
- Stora satsningar på okontrollerbara energilag minskar marginalerna i systemet drastiskt.
- Omställningen som pågår kräver omfattande ombyggnation av hela det svenska elsystemet.
- Distributionsnätet och reservkraft blir oerhört viktigt för leveranssäkerheten.

Risker, leveranssäkerhet

- Svenska kraftnät har i ett antal år uttryckt bekymmer för den framtida nätfunktionen och att effektbalansen snabbt försämras genom kärnkraftens avveckling och satsningar på oplanerbar kraft.
- Redan idag är det stora problem i område 3 och 4. Systemet är på gränsen den kalla årstiden.
- Enbart ett förstärkt nät räcker inte heller. Överproduktion i Norr kommer att slukas av kommande industrietableringar i Norr.
- **Historiskt regelbundna mönster bryts nu.**
- **Systemet blir mindre förutsägbart och elpriserna kommer att bli mer volatila och kopplade till priser på kontinenten – dvs högre snittpriser.**

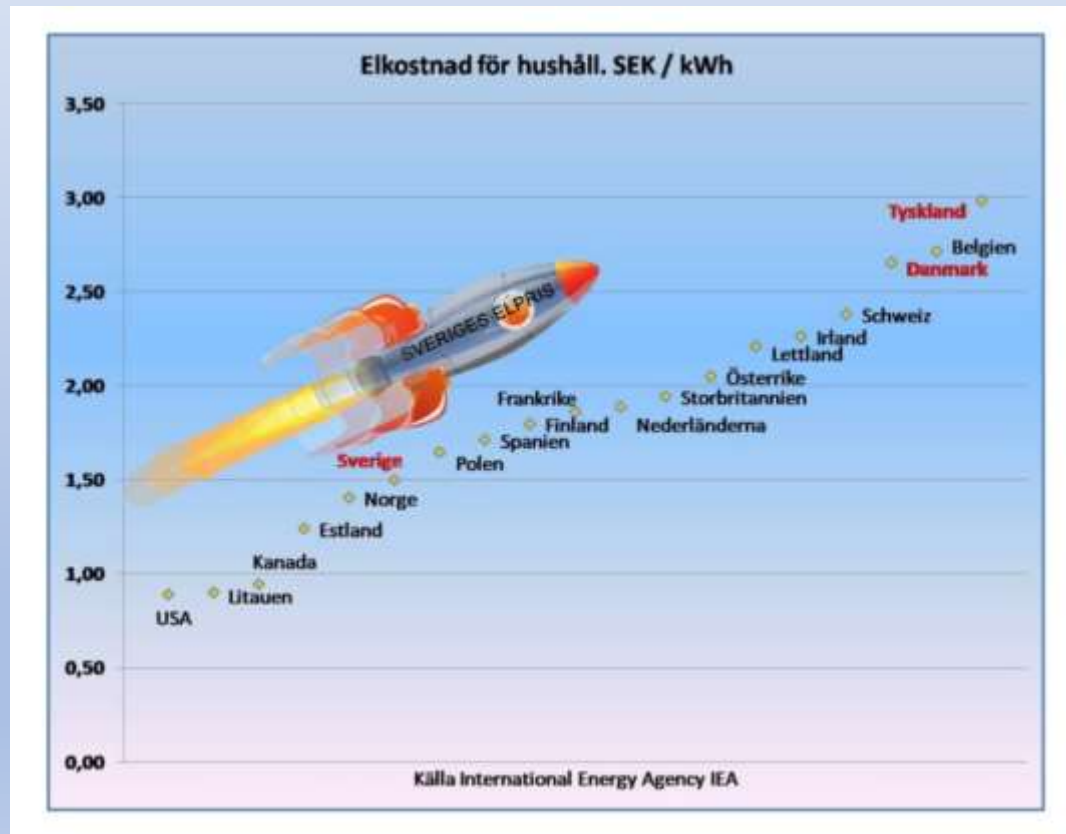
Enligt Svenskt Näringslivs senaste så kallade [scenarioanalys](#) kan framtidens svenska elsystem ha över 5 000 "systemkritiska timmar" per år. Det vill säga vara på gränsen till blackout mer än varannan dag.

Risker, leveranssäkerhet

- De trender som är allvarliga nu och måste brytas före 2030 är:
 - Effekthalansen minskar.
 - Överföringskapaciteten minskar.
- Marginalerna är små och de minskar fort.
 - När vår konsumtion nu tar fart är de små marginaler som finns snabbt borta.
- 70/30 regeln med EU bryts för att hålla systemt stabilt
 - Vi får inte stoppa export enligt marknadregler även vid bortkoppling i Sverige.
 - Överföringskapacitet stryps, för risken för en dominoeffekt ökar, d.v.s att ett litet fel leder till en kedja av fel.
- Antalet störda driftsfall ökar fort, redan nu 200 per år!
- En konsekvens analys av oplanerbar kraft behövs.
- Det kommer att ta minst 10 år att fixa effekthalansen om vi börjar nu med byggande av bas och reglerkraft som complement till utbyggnaden av oplanerbar kraft.

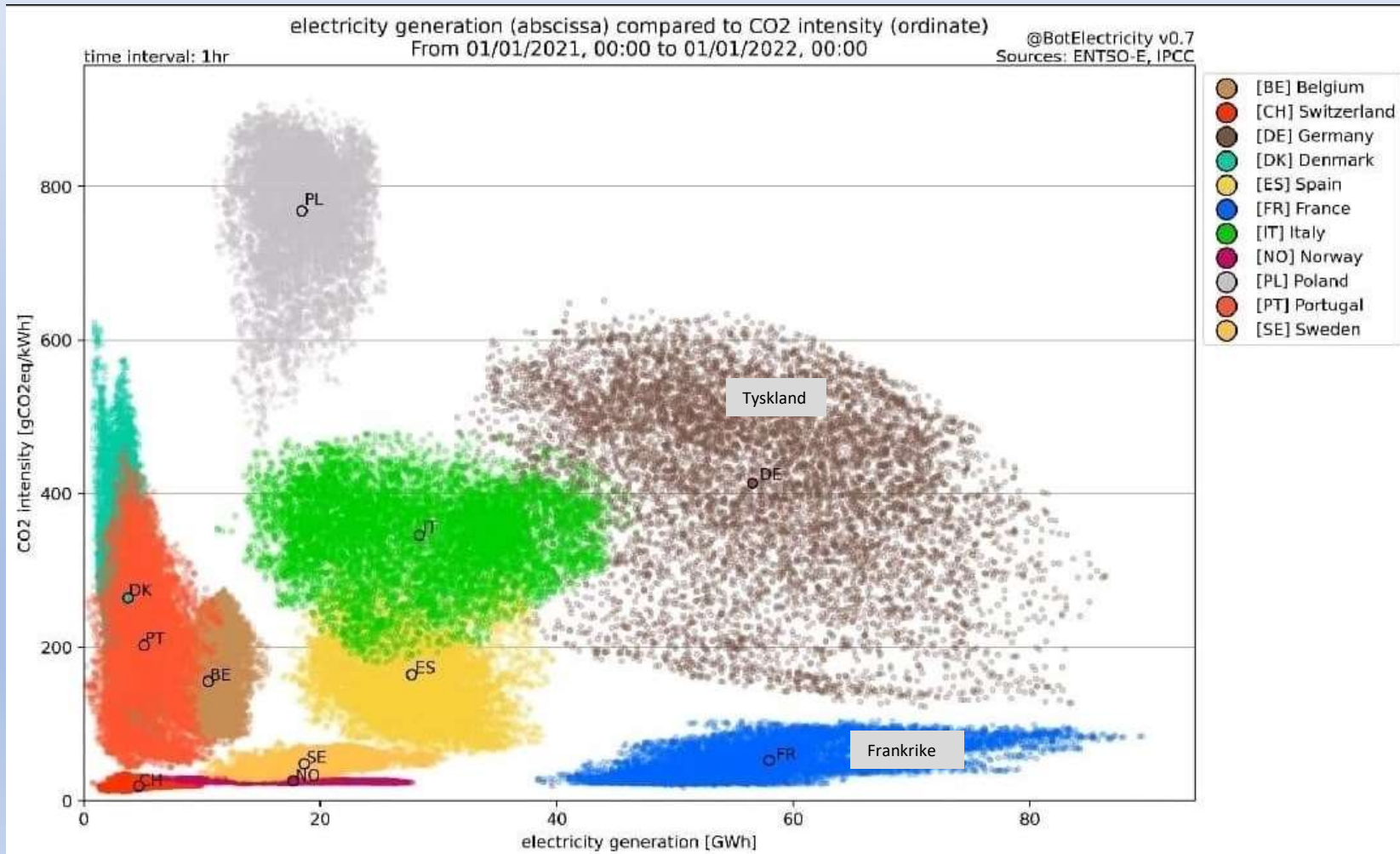
Risker, Elpriser

- Högst elkostnader har Europas ledande vindkraftsländer Danmark, Belgien och Tyskland.
- Vilka också har Europas högsta koldioxidutsläpp.



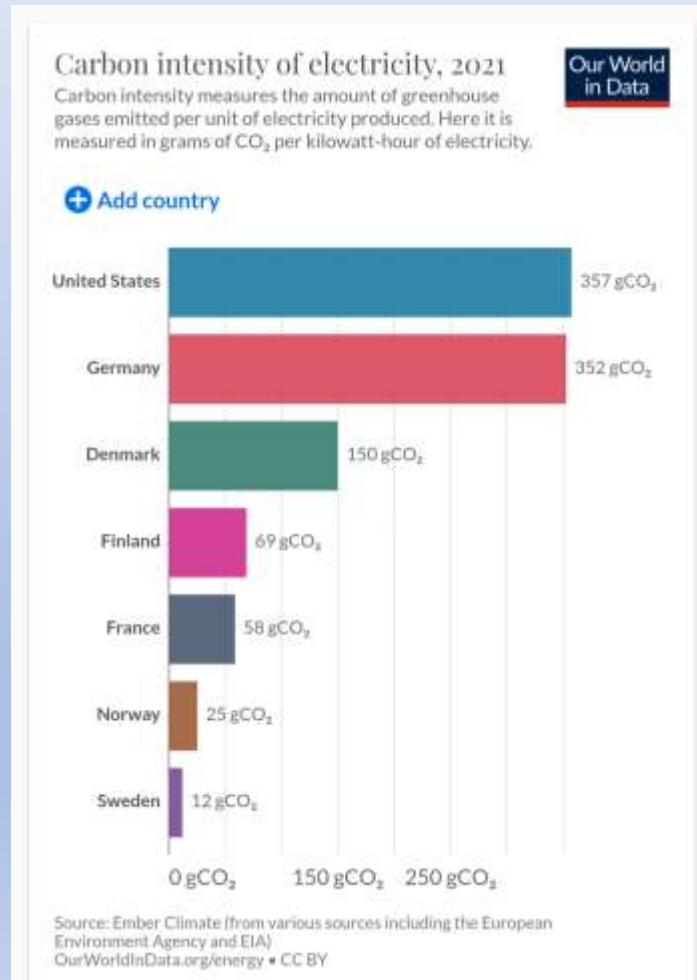
Risker, Höga Elpriser -> Höga utsläpp

- Högst elkostnader har Europas ledande vindkraftsländer Danmark, Belgien och Tyskland.
- Vilka också har Europas högsta koldioxidutsläpp.



Risker, Höga Elpriser -> Höga utsläpp

- Exempel på några Europeiska länders medel utsläpp 2021.
- De är tydligt att Tyskland inte lyckats minska Co2 utan tvärt emot ökat utsläppen.

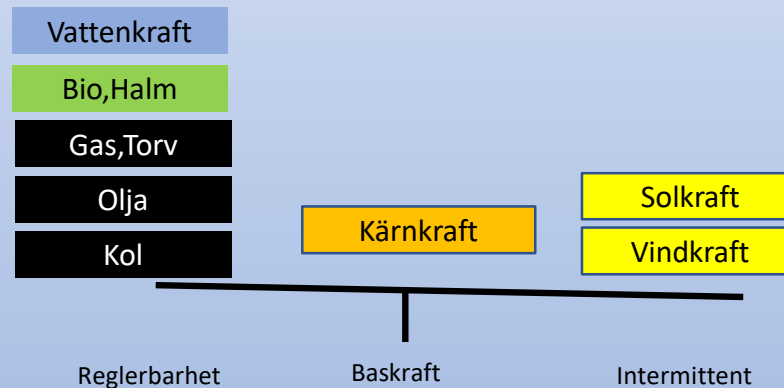


- Om systemet inte är i balans krävs snabb backup av reglerkraft.
- När inget annat finns är det kol och oljekraft som används.
- Därför går utsläppen upp i ett obalanserat system.

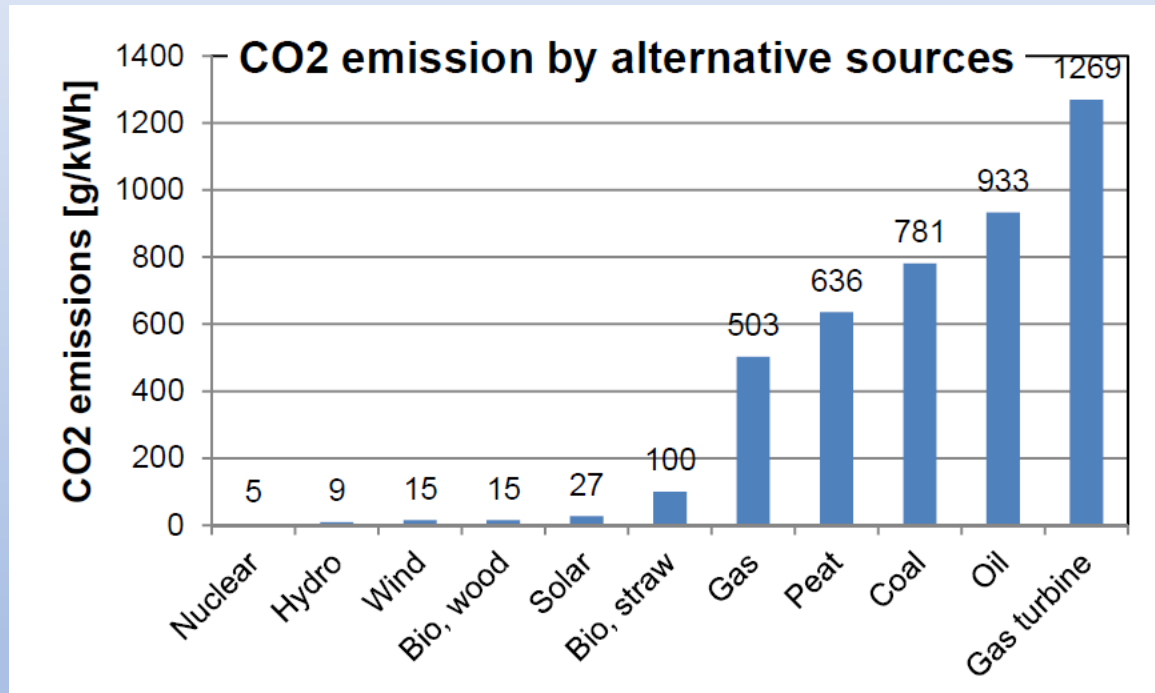
Olika kraftslags egenskaper

Alla kraftslag räknas

- Alla kraftslag räknas och i ett system måste man alltid titta på helheten.
- Det måste vara noga genomtänkt och balans mellan mängden av de olika kraftslagen.
- Vad händer när det blir en stor del okontrollerbar kraft i elsystemet?



Vad släpper de olika kraftslagen ut över sin livslängd

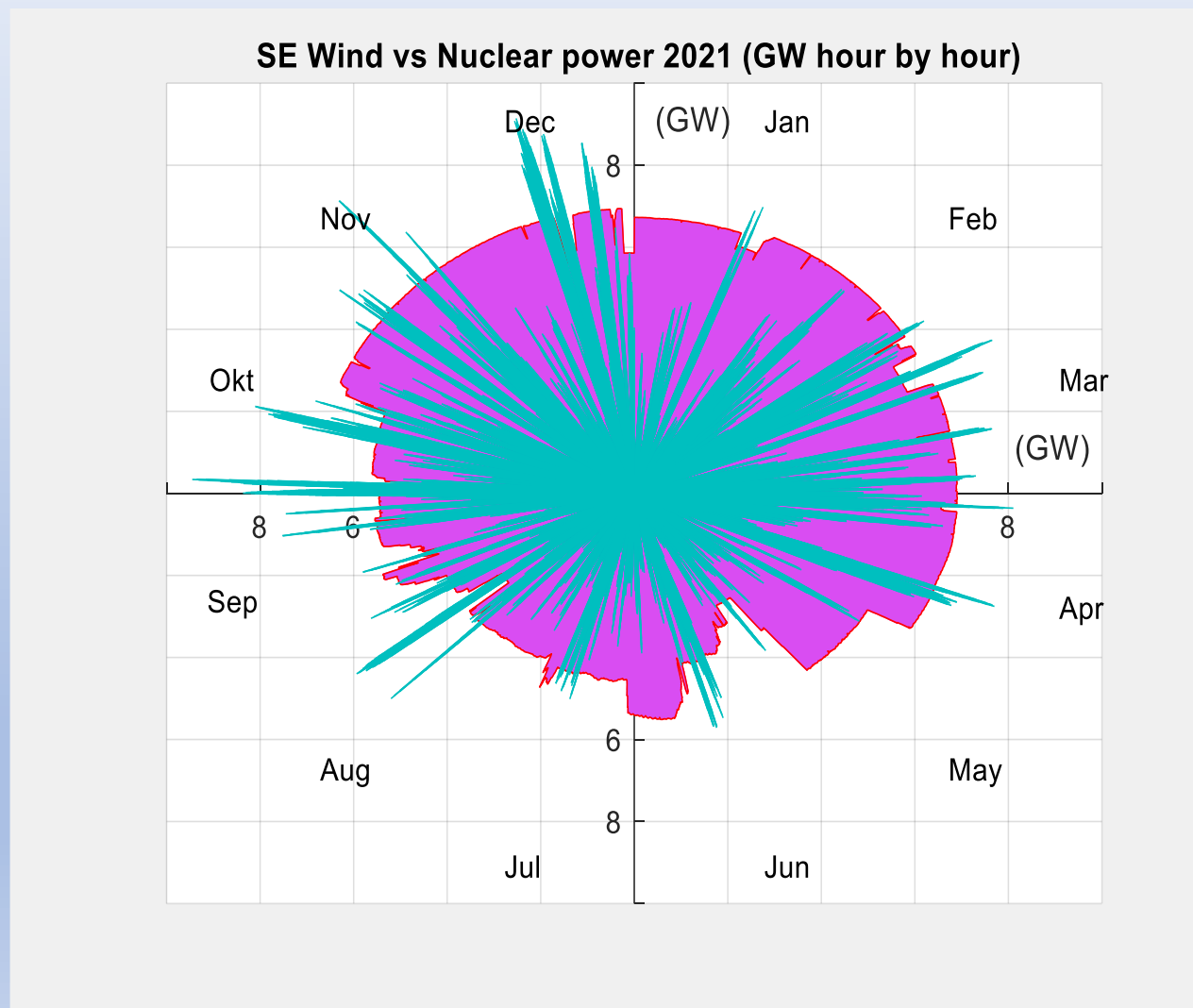


2021 ökade Tyskland förbrukningen av

- Gas med 15 %
- Stenkol med 36 %
- Brunkol med 44 %

- Om systemet inte är i balans krävs snabb backup av reglerkraft.
- När inget annat finns är det kol och oljekraft som används.
- Därför går utsläppen upp i ett obalanserat system.

Kärnkraft jämfört med vindkraft 2021

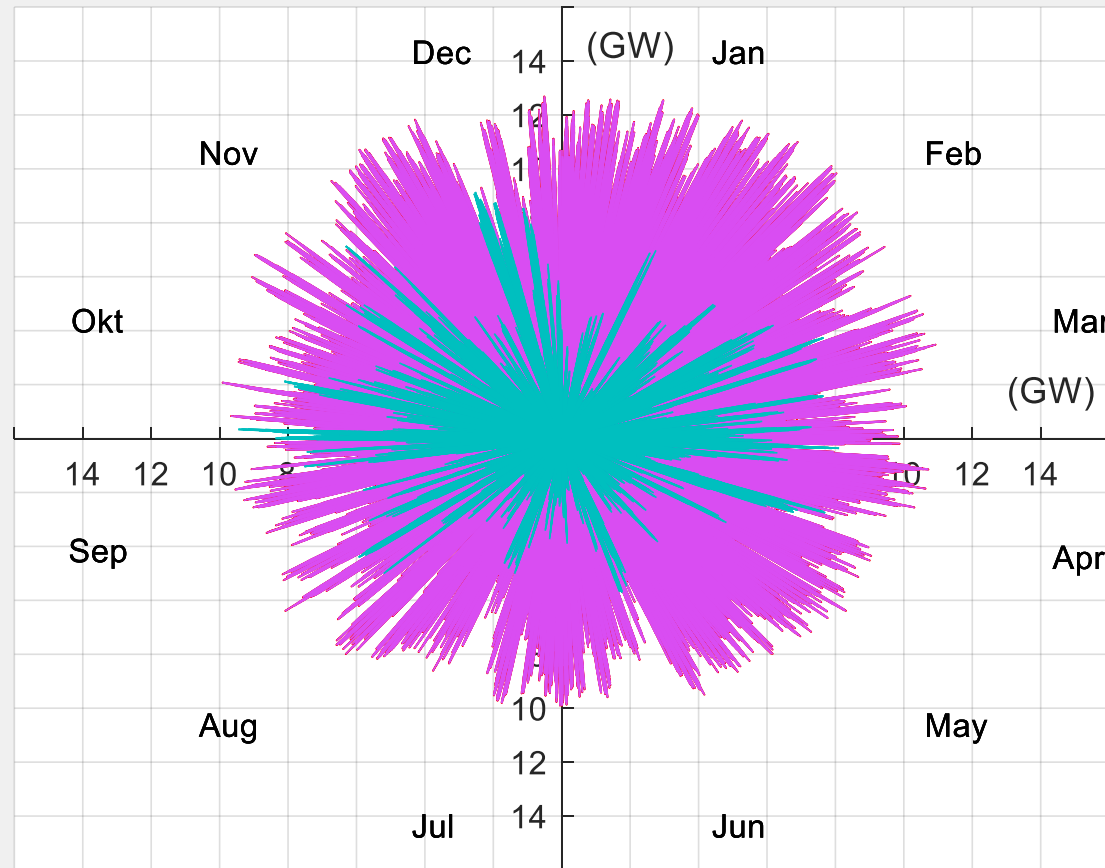


- När det inte blåser behöver annat kraftslag kompensera med effekt för de kraftiga variationerna.
- När baskraften minskar blir det större konsekvenser av den oplanerbara kraftens karakteristik.
- När det blåser behövs också stödtjänster för reaktiv effekt och lagrad rotations energi.

Det är således problem som måste hanteras i systemet både när det blåser och när det inte blåser

Vattenkraft jämfört med vindkraft 2021

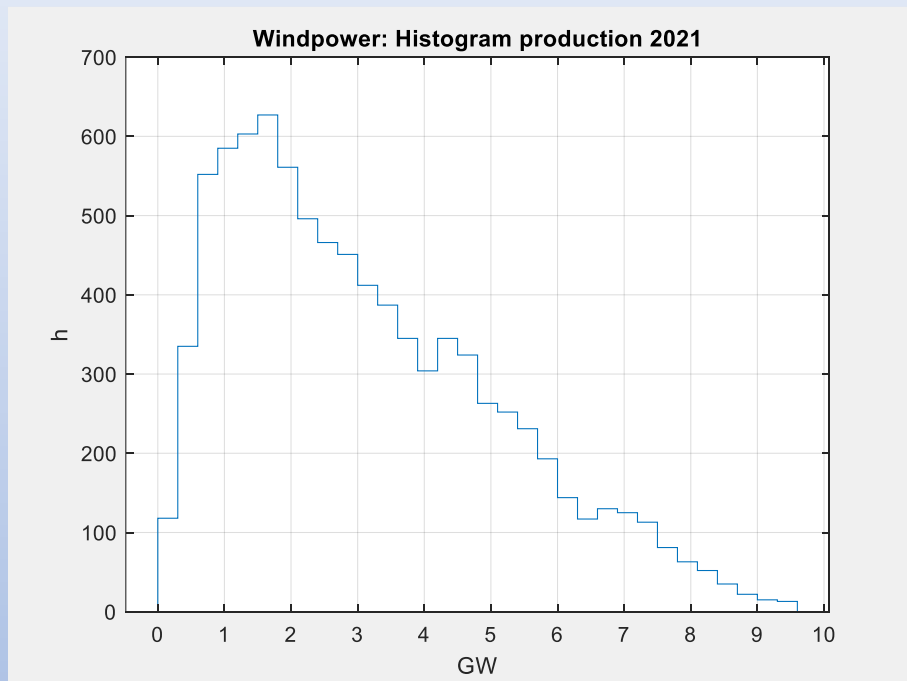
SE Wind vs Hydro power 2021 (GW hour by hour)



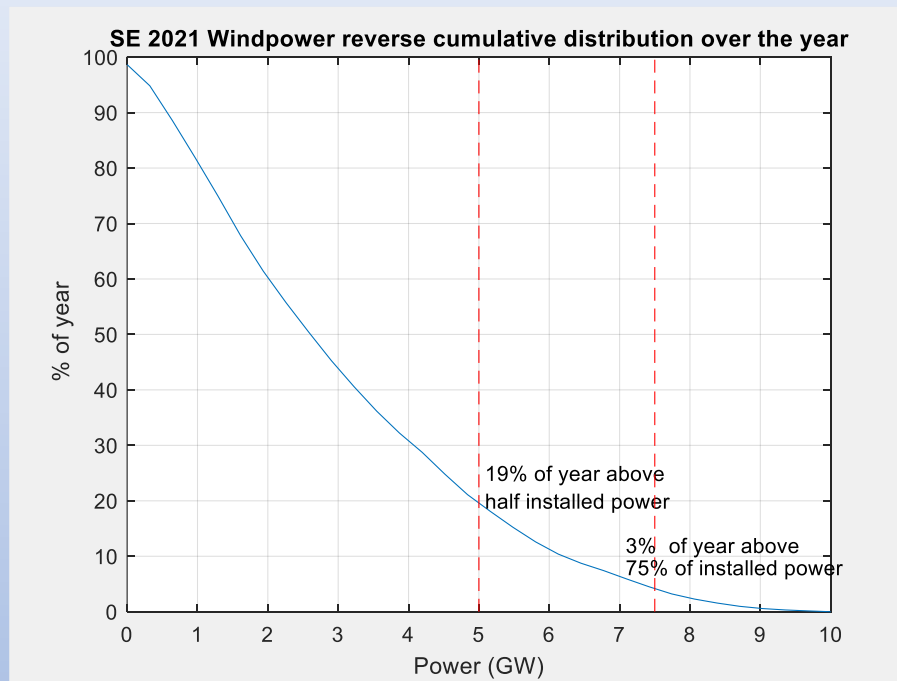
- Vattenkraften kompenserar på gränsen för sin förmåga och används nu på ett sätt den inte är byggd för.
- Vattenkraft kommer inte att byggas ut och kommer inte alls att räcka till för reglering när vår effekt konsumtion ökar.
- Den variation som vattenkraften nu utsätts för orsakar ökad erosion och störningar av det akvatiska livet.

Vindkraftens prestanda 2021

Medeleffekten 2021 var 3.1 GW av 10GW installerat



- Diagrammet visar hur många timmar en viss effekt producerades.

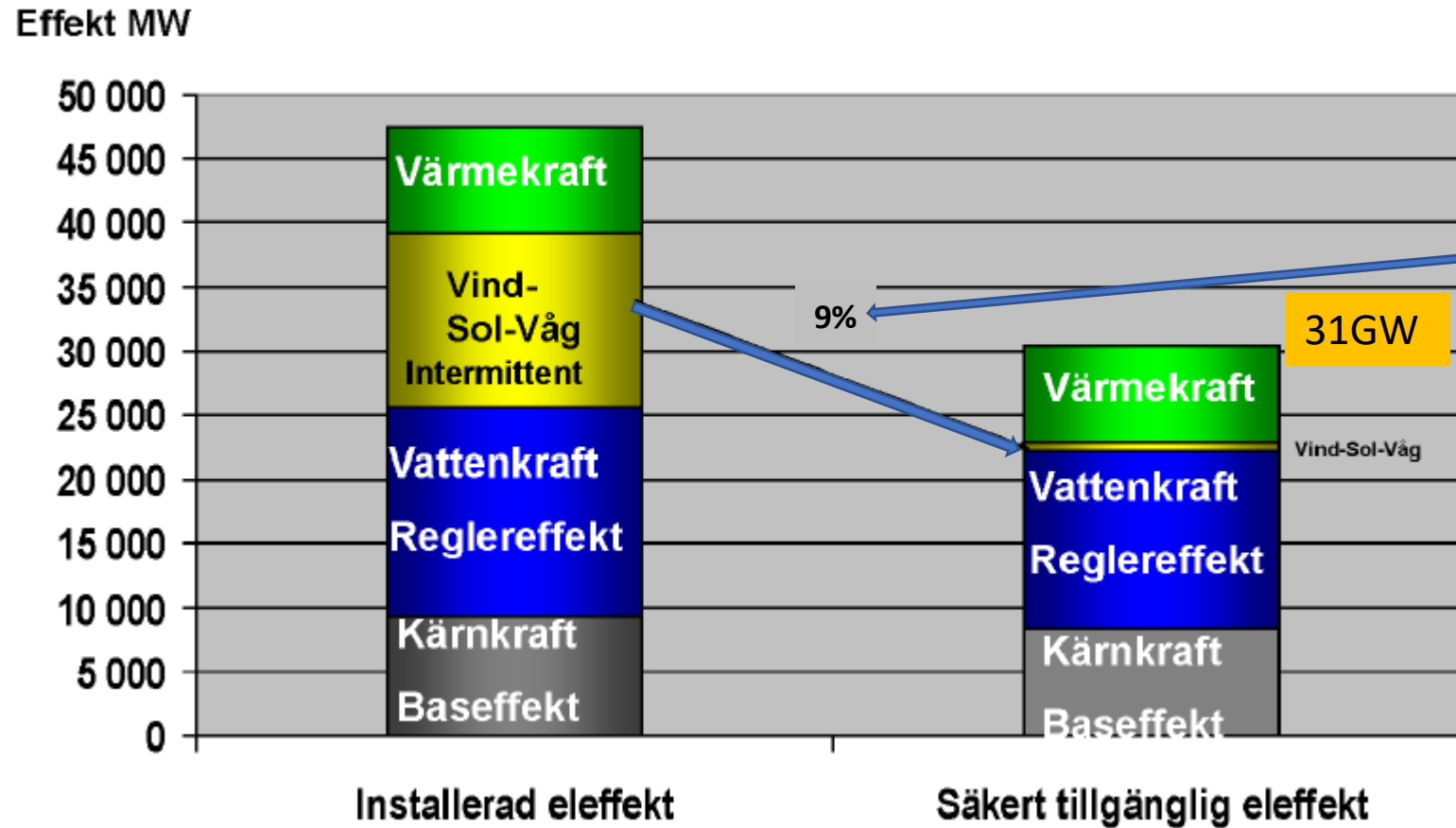


- Samma data som till vänster men visat så att man ser hur stor del av året det producerades över en viss effekt.
- Den största delen av året var man således under halva effekten.

- Problemet här är att den säkert tillgängliga effekten man kan räkna med för dimensionering av systemet inkl N-1 kriteriet är väldigt mycket mindre än den totala installerade effekten.

Säkert tillgänglig effekt

Scenario 2050 Energiutskottet (från 2011, Effektbalansen i Sverige kalla dagar)

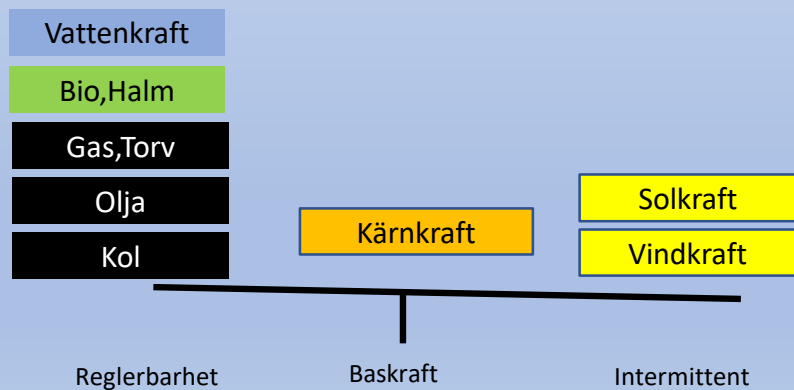


Eftersom man inte kan prata om energi när man dimensionerar systemet är det den säkert tillgängliga effekten som måste användas.

- 31GW kan nu spås bli 45-50GW eller mer.
- Med bara vindkraft krävs då 500-550 GW installerad effekt.
- Ca 40000-100000 vindkraftverk
- 2021 ca 4400 installerade.

Vad blir resultatet?

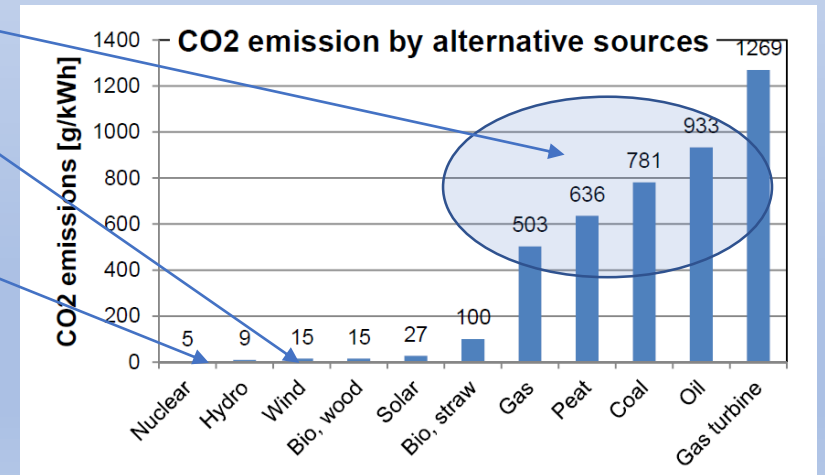
- Eftersom man måste kompensera effekt ögonblickligt och kärnkraft och vattenkraft inte räcker till så finns i princip bara fossila lösningar kvar som backup.
- Med den marginalprissättning som används är det den dyraste kWh i området som sätter priset.
- Eftersom fossilt är dyrt och kräver utsläppsrätter etc så går då också priserna upp kraftigt!
- Resultatet blir som man sett i alla vindkraftsländer som gått all-in, ökade priser och ökade utsläpp!



3.) Men hamnar här

2.) Man vill vara här

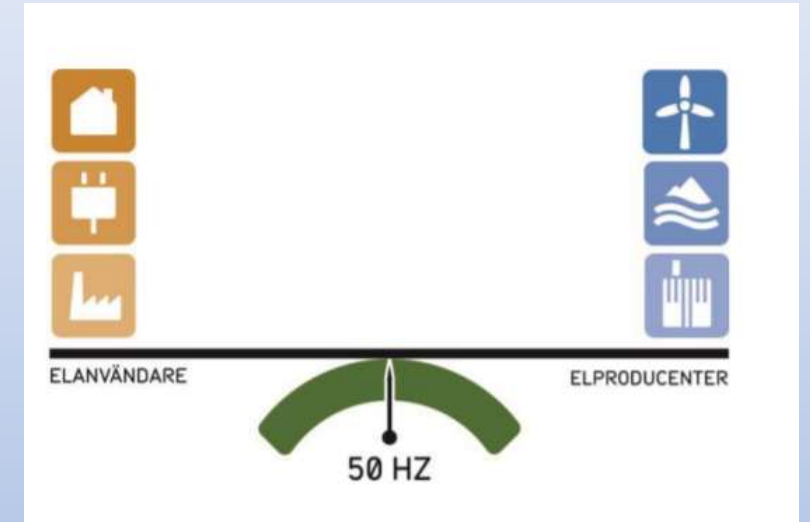
1.) Man var här



Vad är då problemet?

Vilka är utmaningarna för effektbalansen? (SVK)

- Större andel oplanerbar produktion.
- Nedläggning av planerbar produktion.
- Minskad rotationsenergi (frekvens stabilisering) och reaktivt effektstöd (spänningstabilisering)
- Minskande överföringskapacitet



- Dessa faktorer tillsammans ger ett opålitligt system med små marginaler som försvinner fort när vi ökar vår konsumtion.
- Dessutom blir backupkraften fossilbaserad vilket ökar priser och utsläpp.

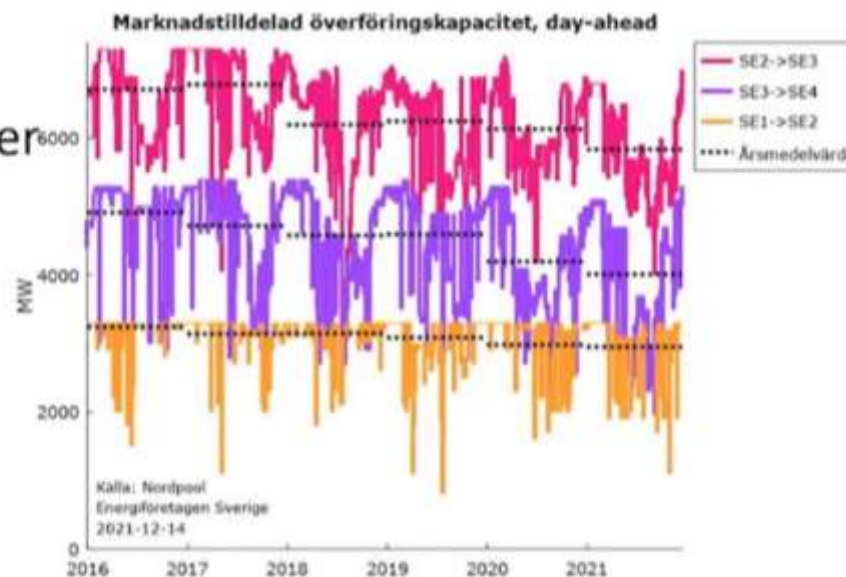
Per Wikström ang överförings kapacitet

- Per Wikström med över 20 år på SVK, nu på Energiföretagen varnar för den minskande effektbalansen och överförings kapaciteten.
- I en presentation 2021 visar han på hur den tilldelade kapaciteten minskar när den måste öka.

Det krympande systemet

- Tilldelad medelkapacitet sjunker
- Systemet har krympt (Max NTC)

Utvecklingen går åt fel håll
Nedlagd kärnkraft, Nya länkar –
ger nya flöden...men det är också
brist på reaktiva resurser.

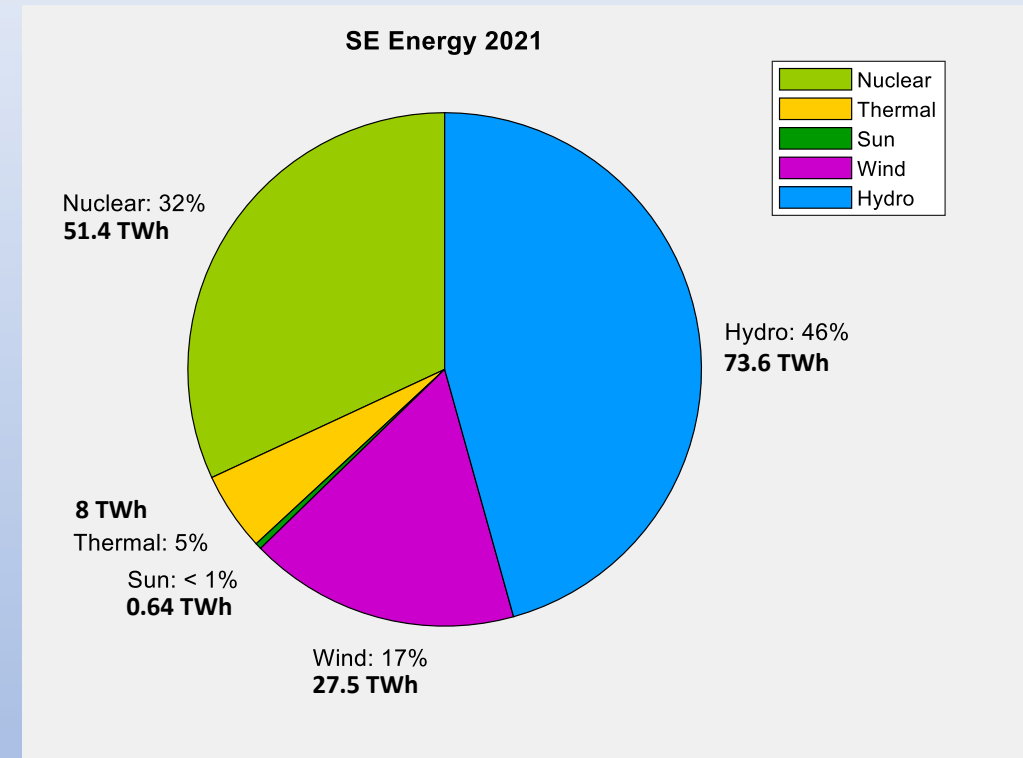
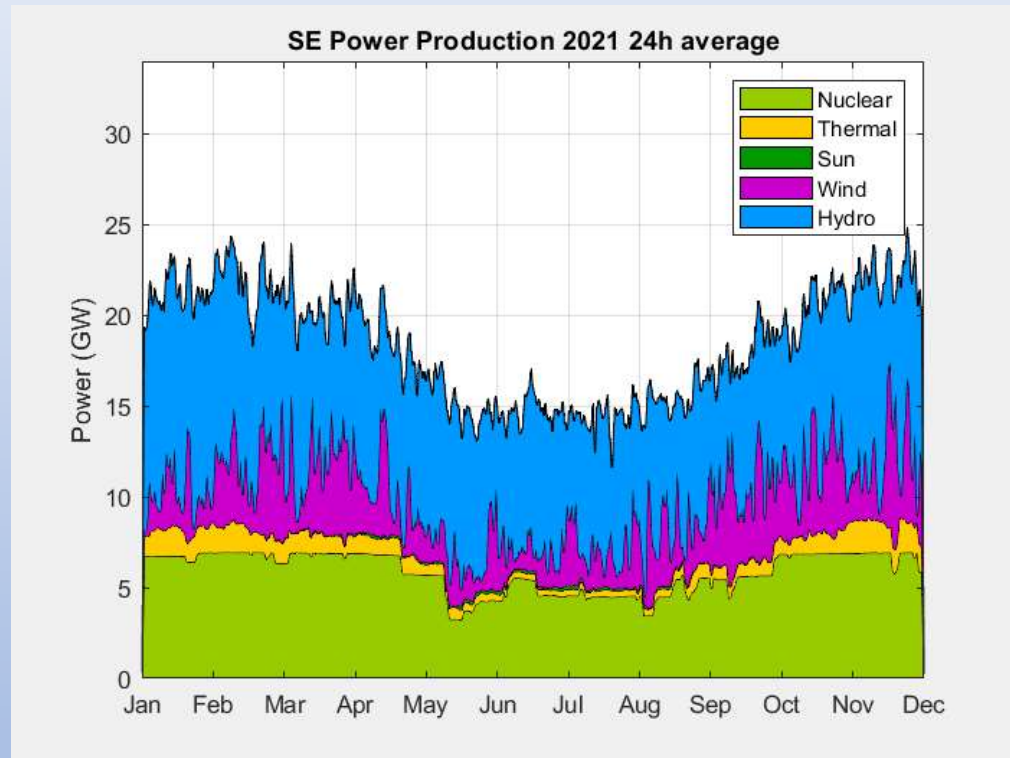


Det stora problemet!

- Ett elsystem måste byggas genomtänkt baserat på baskraft och reglerkraft med en genomtänkt inte för stor del oplanerbar kraft.
- Sverige har gått en väg där man utan konsekvensanalys lagt ner baskraft och i princip enbart satsat på oplanerbar kraft och i detta inte beaktat den historiska ökning av elkonsumtion som kommer att ske.
- Oplanerbar kraft kräver kraftigt utbyggt nät och hantering av flaskhalsar och kräver andra stödtjänster som reaktivt stöd, lagringstekniker och tillräcklig rotationsmassa i systemet.
- Det som händer med systemet är att effektbalansen minskar, kapacitets marginaler minskar och när det inte går ihop blir systemet i vissa lägen opålitligt och på grund av stöd i form av fossilkraft ökar både pris och utsläpp.
- Vidare ger det med de elområden och flaskhalsar som finns i överföringskapacitet stora skillnader inom Sverige.
- Det krävs också med oplanerbar kraft tight koppling till grannländer vilket gör att elbrist utanför Sverige också drabbar Sverige och man kan säga att man importerar prisbilden från tex Tyskland som har stor brist och producerar mycket fossilt baserad kraft.
- Möjliga lösningar för 2040 tittar jag på längre fram i detta material.

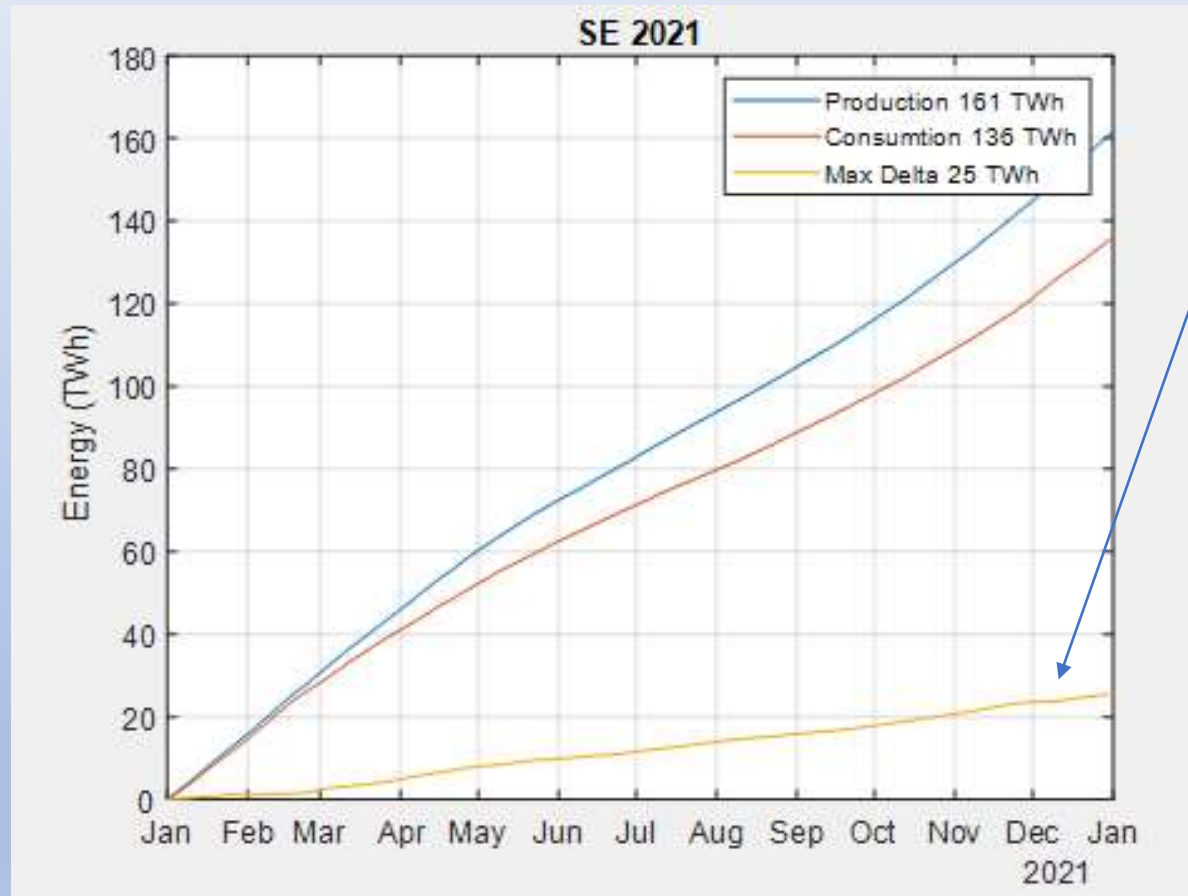
Sveriges Elproduktion 2021

Sveriges Elproduktion 2021, 161TWh



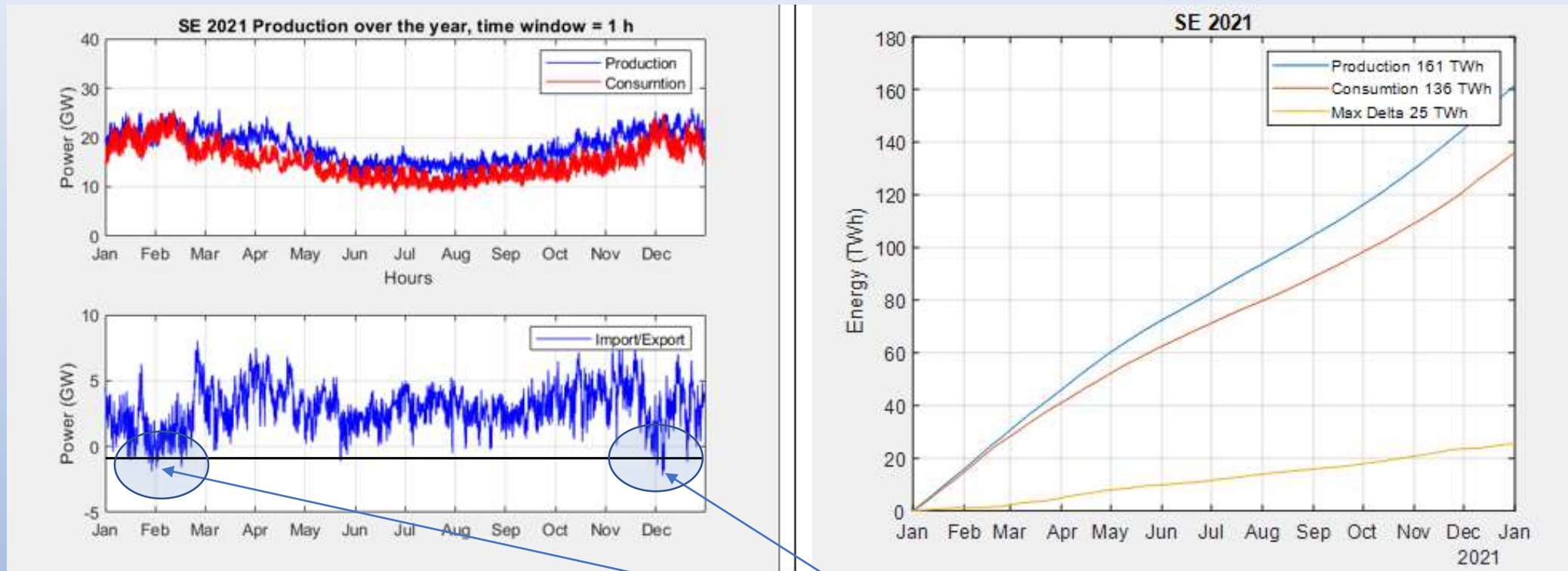
Sveriges Elproduktion 2021

Energiöverskottet



- Det är ofta politiker och media pratar om energi överskottet.
- Det säger dock ingenting om hur “maskinen” mår!
- Därför låter den uppskattade mängden energi som installationer kan åstadkomma på ett år väldigt attraktiv!
- Men att “maskinen” hackar och att elsystemet inte fungerar pålitligt eftersom effektbalansen inte går ihop syns inte!
- Resultatet blir höga priser och höga utsläpp och hotar därmed hela välfärden!
- Det är därför ett vilseledande resonemang att prata om energi!
- Man måste prata om effekt och effektbalans!

Produktion och konsumtion 2021

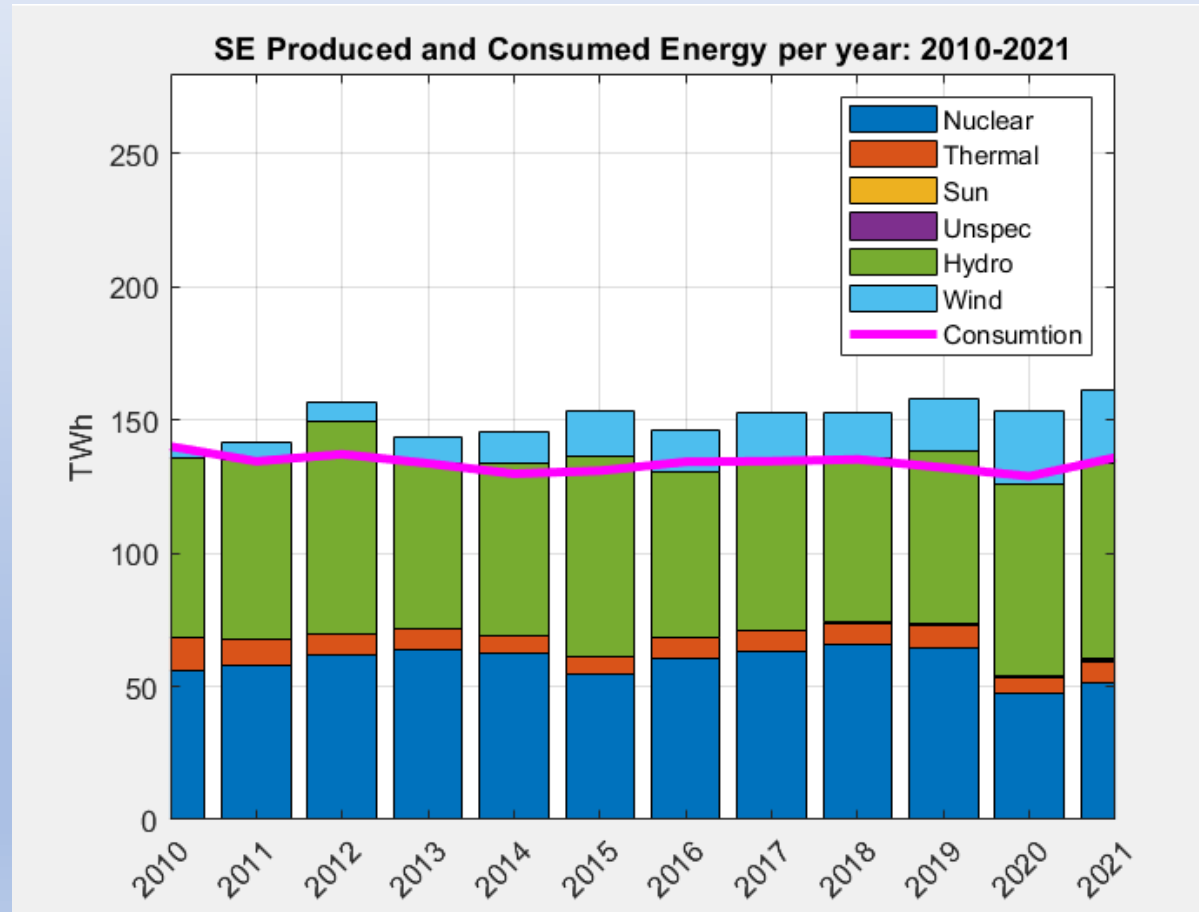


- Område SE3 och SE4 har stora problem och marginalerna är små.
- Så små att 70/30 regeln bryts för att det skall vara stabilt.
- SE4 är dessutom kopplad till Tyskland och Europa och blir då ett mycket större underskottsområde så att brist i t.ex. Tyskland är brist i Sverige också.

- Här kommer problemen när vi ökar vår konsumtion och effektproduktionen inte räcker till i.e. negativ effektbalans!
- Den kommande ökningen är så stor att den omöjligt kan lösas med import!
- Ju mer oplanerbar kraft ju mer förstärkning av detta i.e. effekthålen blir så stora att det dessutom är omöjligt att täcka med lagring!

Produktion och konsumtion 2010-2022

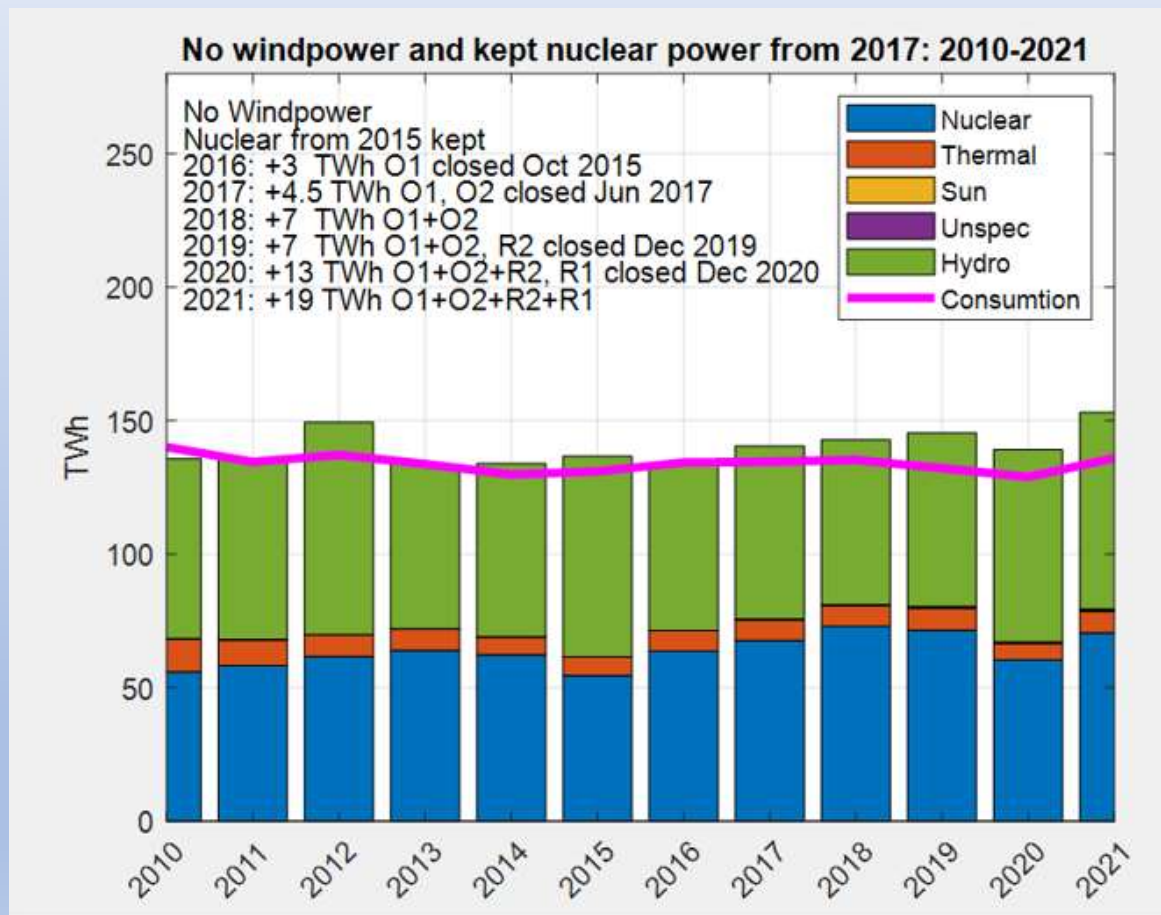
Energi



- Här kan man notera att vindkraftens producerade energi ganska precis motsvarar exporten

Produktion och konsumtion 2010-2022

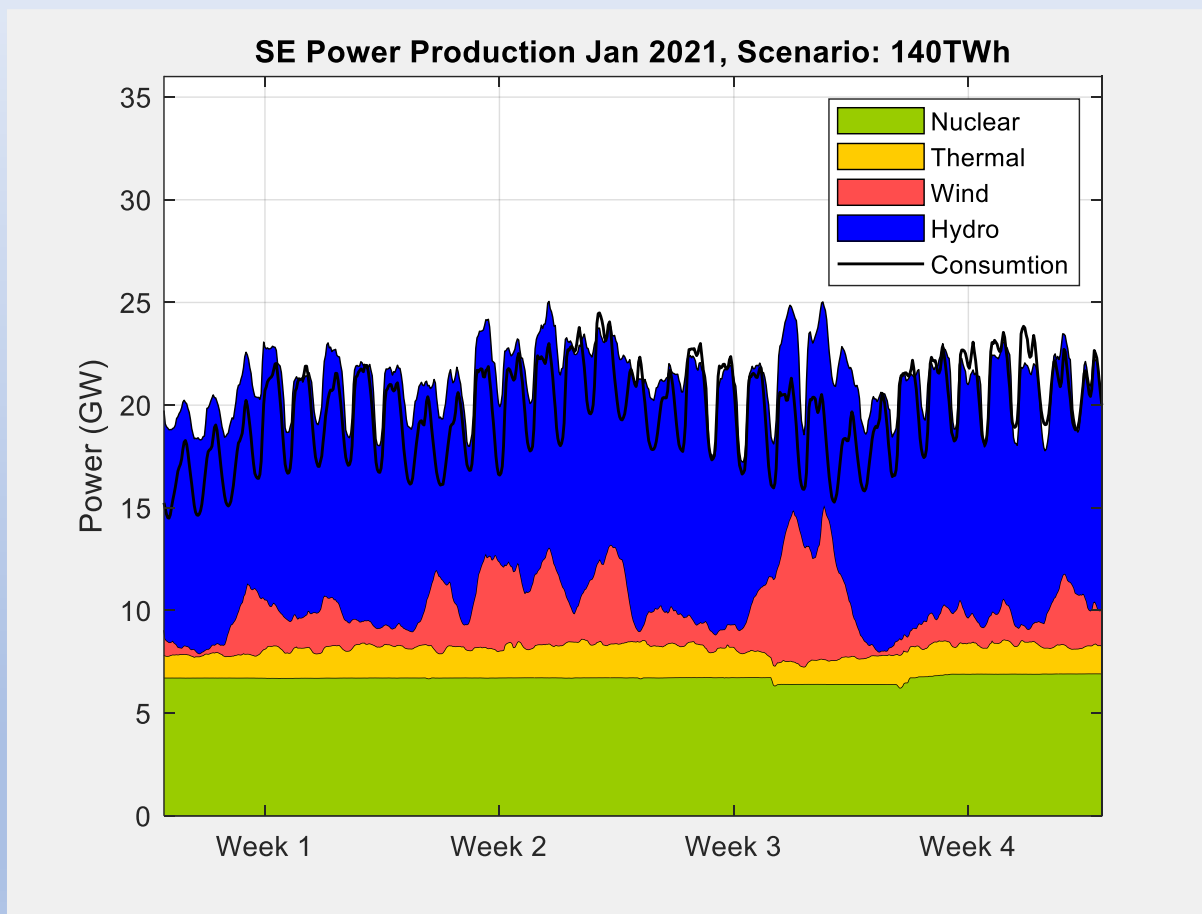
Om vi hade behållit Kärnkraften hur hade det sett ut?



- Vi hade haft ett pålitligt system som hade räckt till och industrin i område 3 och 4 hade haft god planerbar tillgång till el och det hade varit en bra grund för vår framtid!
- Eftersom vindkraft är prioriterad kraft orsakar dess varierande bidrag till effekt produktionen voltatila priser som ger dålig ekonomi för alla kraftslag inklusive vindkraften själv

Produktion och Konsumtion Januari 2021

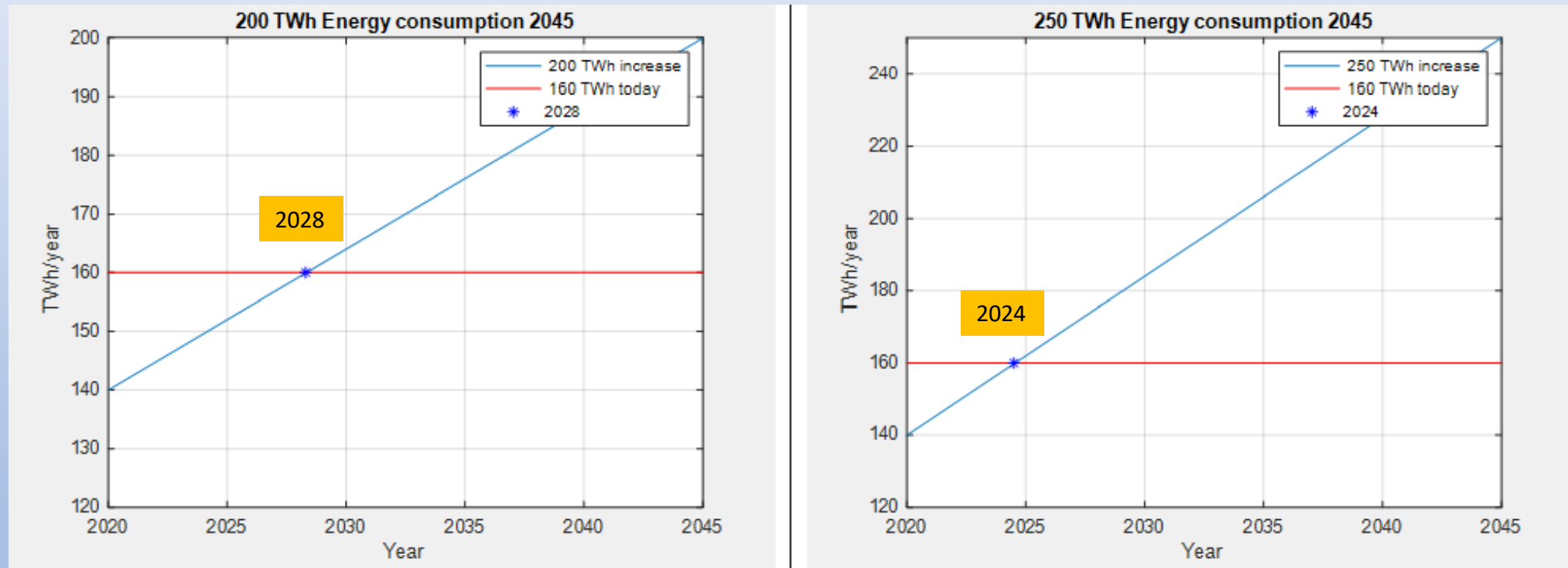
Effekt, baskraft är ett måste



- Max konsumtion under 2021 var 25.3GW.
- Det är tydligt att om baskraften tas bort fungerar inte systemet.
- När vi ökar vår konsumtion måste något fylla effekt hålen när det inte blåser.
- Högsta effekten någonsin i Sverige var 5 Feb 2001 med 27GW.
- I framtidens scenarion med upp till 40-50GW blir det viktigare med en pålitlig bas och regler kraft .
- Eftersom effektbalansen måste gå ihop i varje ögonblick blir det i framtiden så stora effekthål att hela elsystemet och välfärden hotas.
- Det är därför man inte kan prata om energi, man måste titta på tillgänglig effekt och ha omedelbar backup.
- I framtiden har hela Europa ökat sin konsumtion så det är inte troligt eller möjligt att de ökade behoven kan mötas med import.
- Inte heller går det med lagring då det är extremt absurda mängder energi som behövs vilket kan ses i bilderna för Jan 2040 i detta material.

Ökad konsumtion

Scenario 2045



- I regeringens nya nationella strategi 2022 är nu 250TWh förutspått redan 2045.

KVA scenario 2045

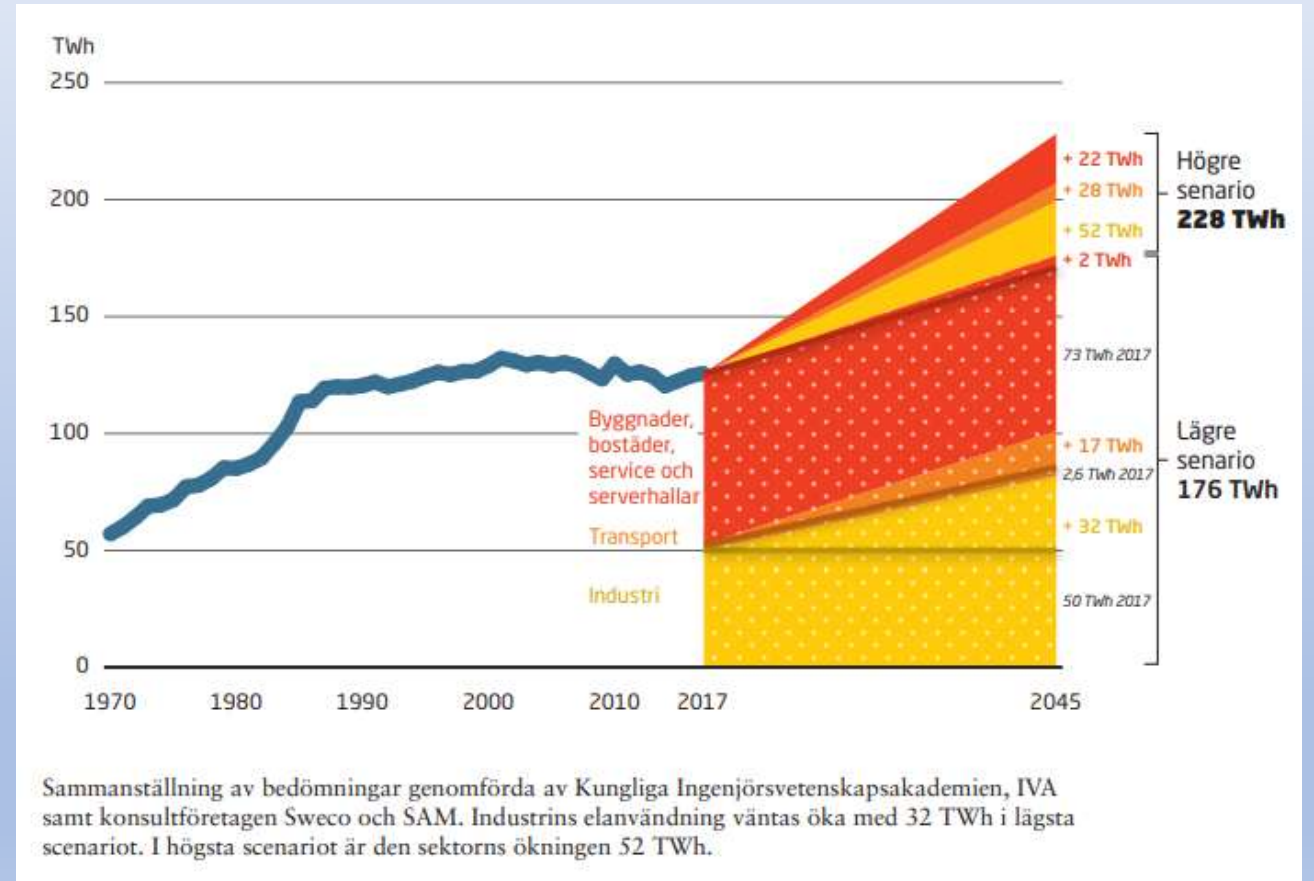
2017 som referens

- **Industrisektor**
 - 50TWh -> 82TWh/104TWh (64%/108%)
- **Transportsektor**
 - 2.6TWh -> 19.6TWh/30.6 TWh (654%/1070%)
- **Bostäder, service och datacenter**
 - 73TWh -> 75TWh/95TWh (3%/30%)

**Totalt: 125.6TWh -> 176TWh/228TWh
(40%/81%)**

**På senare tid har man pratat om 250TWh
och det pratas också om 310 TWh.**

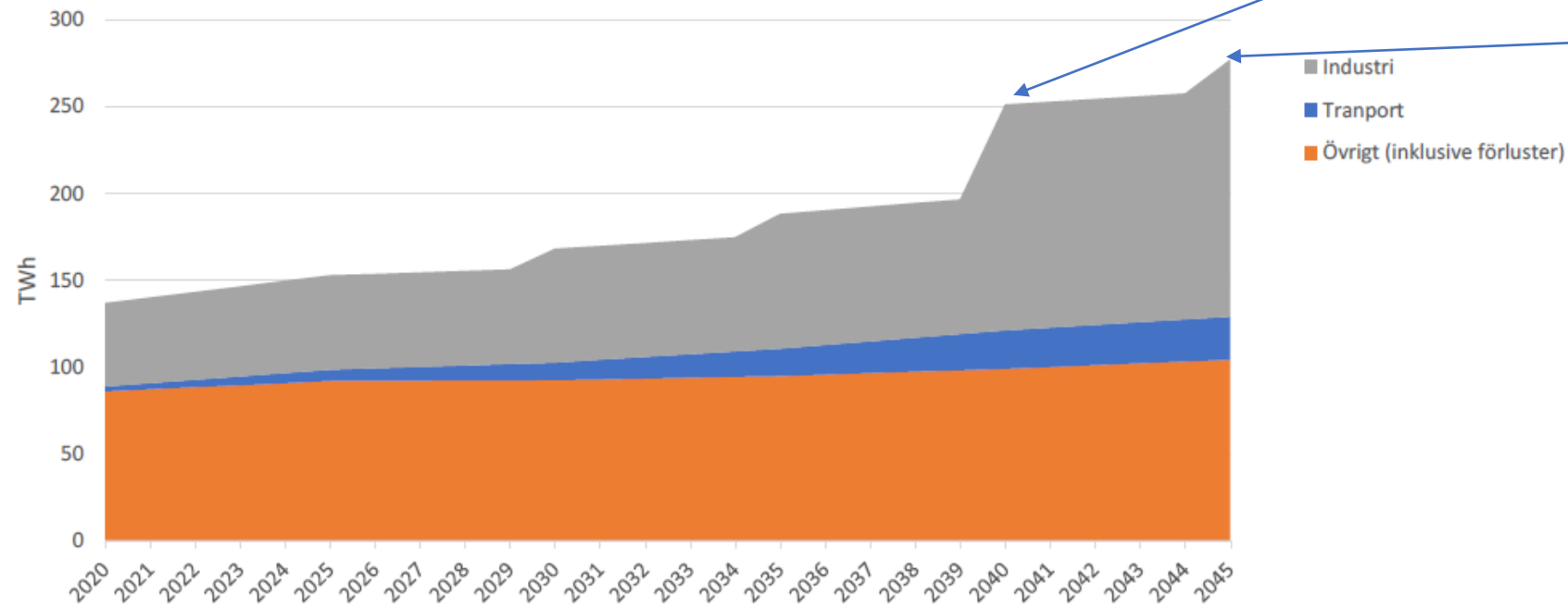
100% till 150% ökning jämfört med 2017.



Sveriges Nationella Strategi

Utgiven Feb 2022

Figur 3 Sveriges möjliga framtida elbehov med hög elektrifiering till 2045



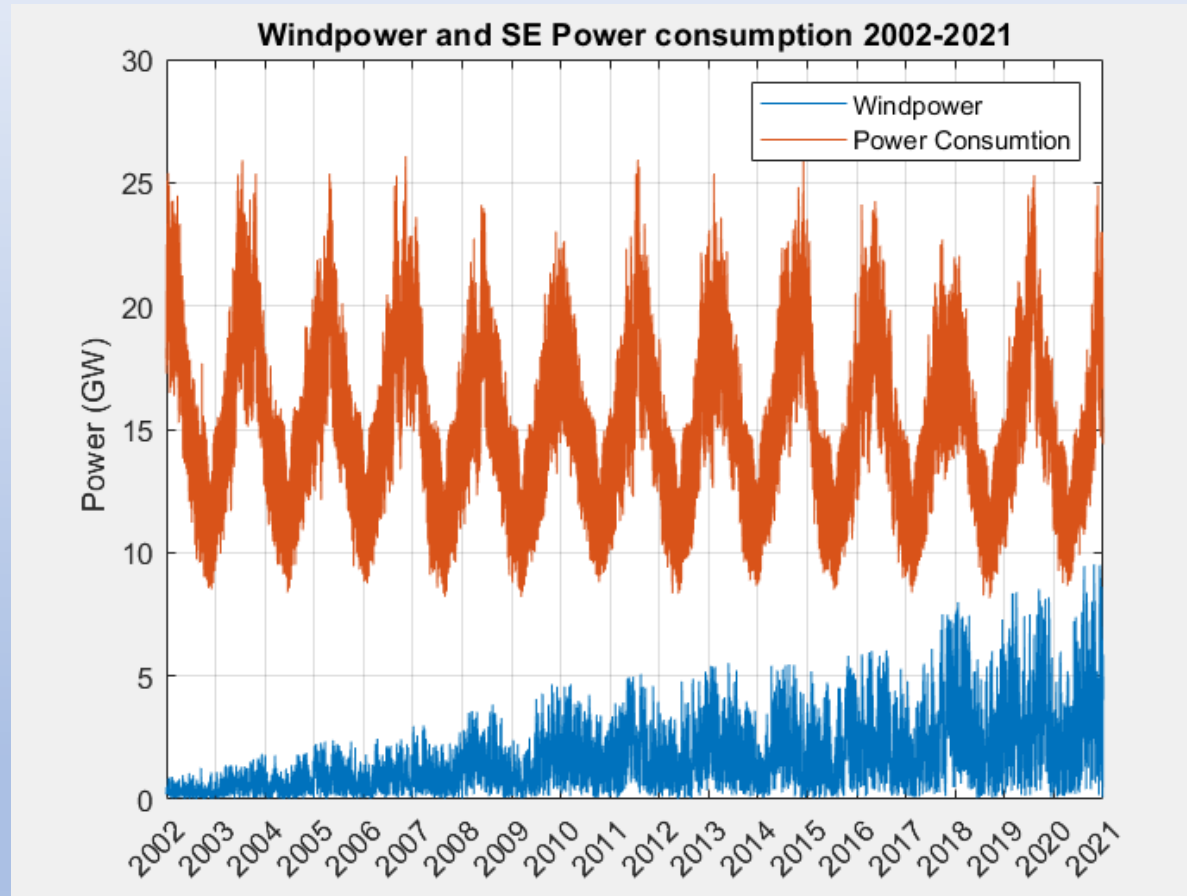
Källa: Framtagen baserad på data från Energimyndigheten (ER 2021:28).

250 TWh 2040
Kräver runt 45GW säkert tillgänglig effekt

270 TWh 2045
Kräver runt 50GW säkert tillgänglig effekt

Ett 300 TWh scenario
kräver runt 54GW säkert tillgänglig effekt

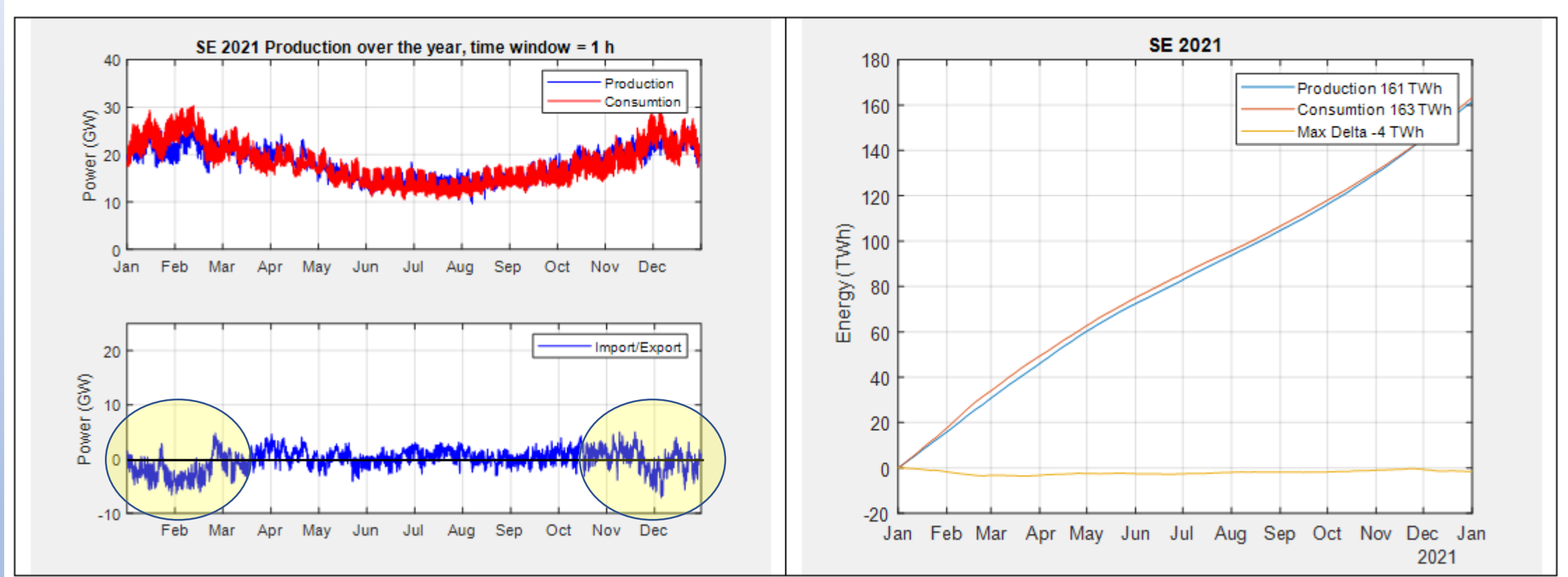
Konsumtion 2002-2021



- Här kan man se sveriges effektkonsumtion sen 2002 och hur vindkraftens varierande del ökat kraftigt!
- Att det fortfarande fungerar är för att konsumtionen ej ökat men de flesta marginaler är borta!
- Effektbalansen krymper!
- Allt fler ovanliga driftsfall uppstår nu!
- Det är därför SVK stryper överföringskapaciteten, för att hålla systemet stabilt!
- Att systemet fortfarande fungerar trots stor del oplanerbar effekt är för att vatten, kärn och värmekraft och import klarar uppgiften själv.
- Ökar effekt konsumtionen 20% till går inte effekt ekvationen alls ihop längre!
- Händer runt 2028!

20% ökning av konsumtion

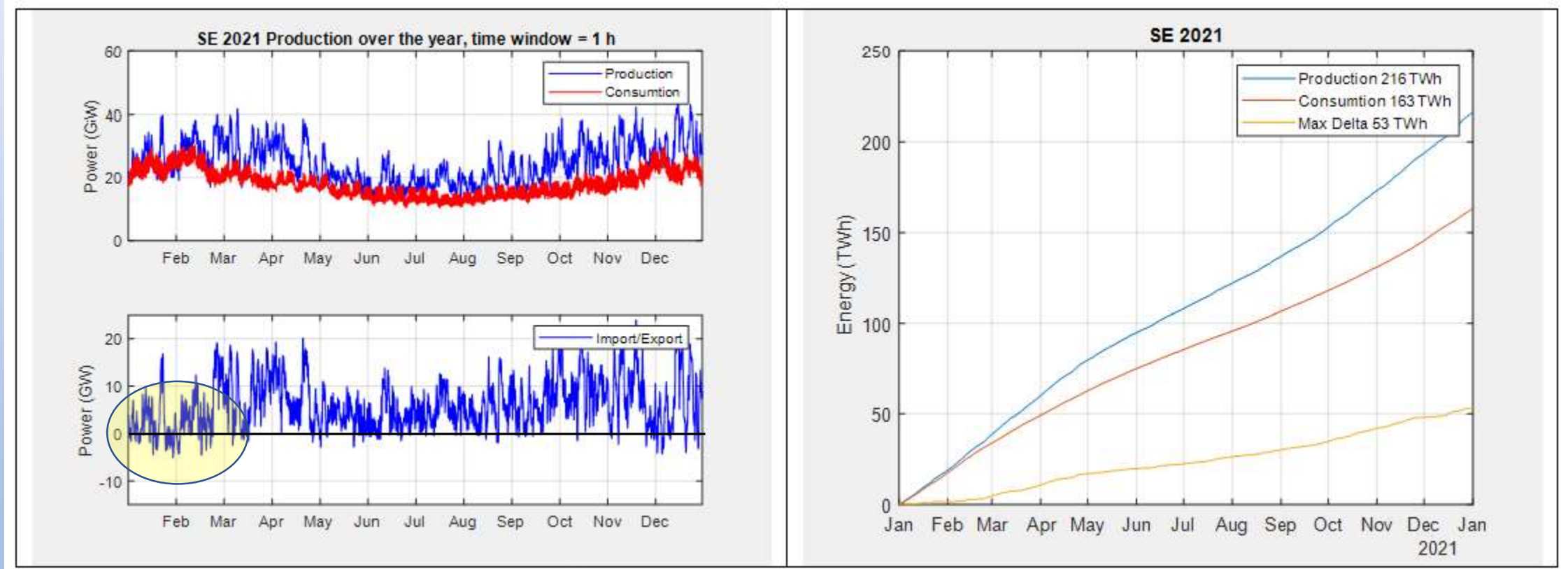
160TWh scenario - 2028



- Här kan man se att export överskottet snabbt är borta när vi ökar vår konsumtion
- Fungerar inte alls om man inte gör någon åtgärd med stödkraft
- Konstant import med större effektnivåer än idag

20% ökning av konsumtion, 3x vindkraft

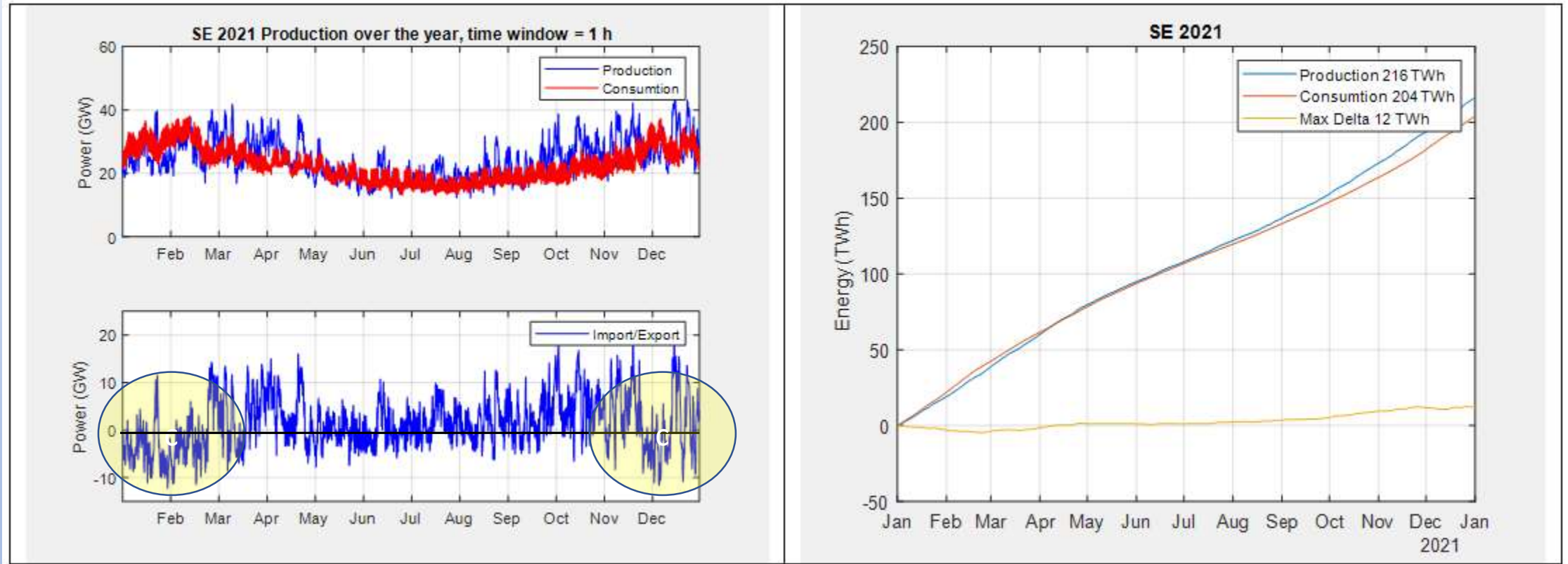
160TWh scenario – 2028



- Kräver stor import. Upp till 5GW import under 150h de kallaste perioderna. Underskott på 250GWh i Jan.
- Exemplet visar att en liten ökning av konsumtionen är svårt att kompensera av drastiskt ökad vindkraft.
- Vändig överproduktion när det inte behövs, inte säkert att såna mängder effekt kan exporteras.
- Men underskottet kommer att vara per elområde, trolig fränkoppling i mellan och södra sverige.

50% ökning av konsumtion, 3x vindkraft

200TWh scenario – 2045

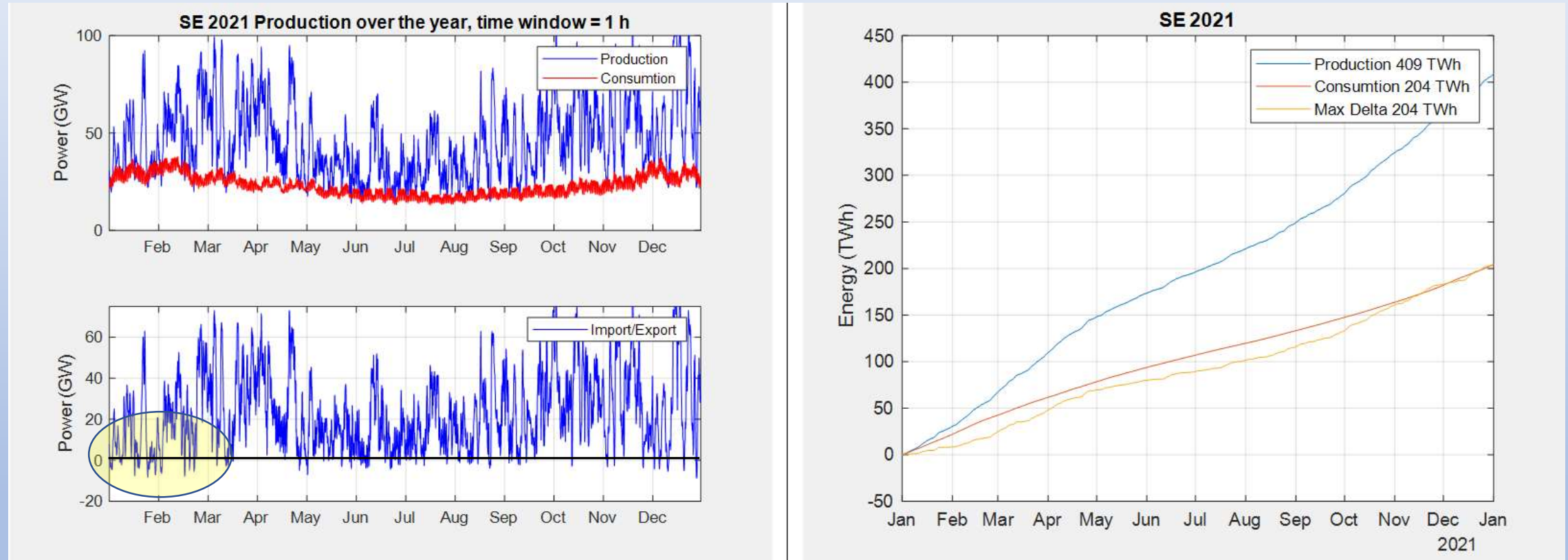


- De kallaste dagarna kräver upp till 12GW import
- Energi motsvarande 4TWh saknas i en 6 veckors period
- Effektbalansen går inte ihop och systemet fungerar extremt opålitligt
- Lagring ej möjlig

- 4TWh motsvarar ca 52 miljoner VW ID4 med 77kwh batteri
- 100 ggr Northvolts årsproduktion

50% ökning av konsumtion, 10x vindkraft

200TWh scenario – 2045

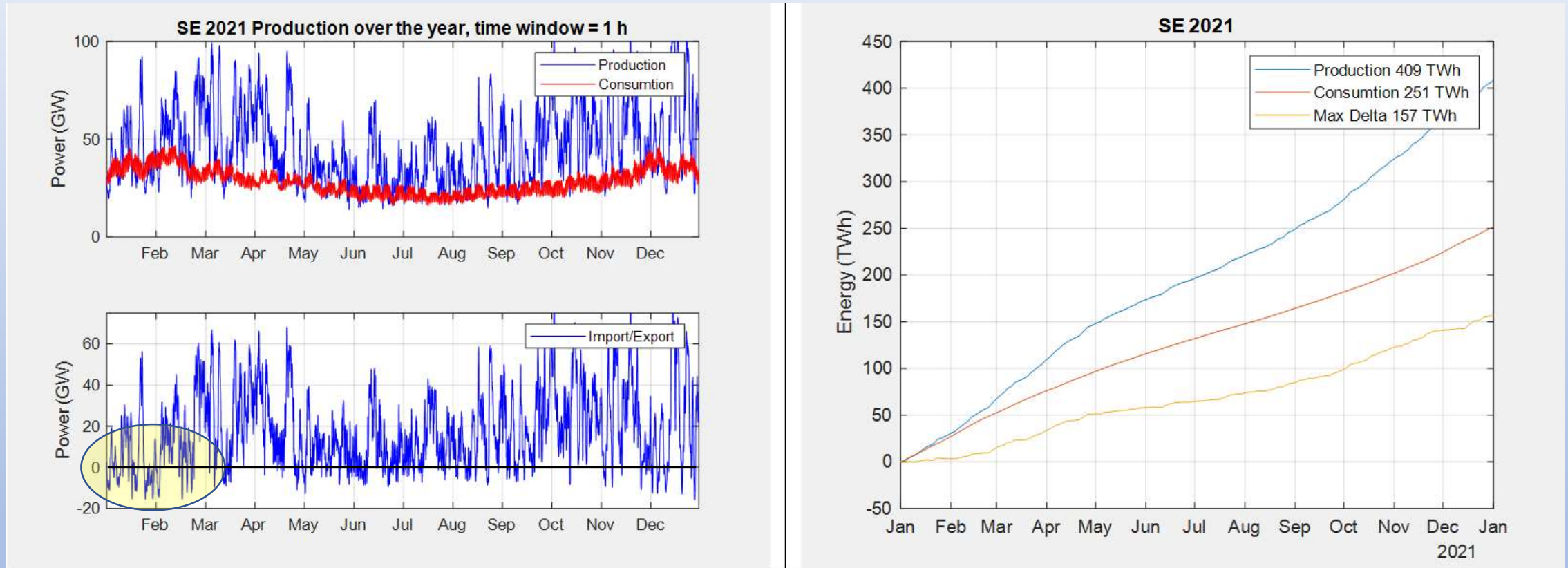


- De kallaste dagarna kräver upp till 8GW import
- Energi motsvarande 100GWh saknas i 30h perioder
- Extrem överproduktion som skulle kräva stopp av en mängd vindkraftverk
- Export lika med konsumtion – ej möjligt att exportera dessa mängder

- 100GWh motsvarar ca 1.3 miljoner VW ID4 med 77kwh batteri
- 2.5 ggr Northvolts årsproduktion

85% ökning av konsumtion, 10x vindkraft

250TWh scenario – 2040 (enligt Sveriges nya Strategi)



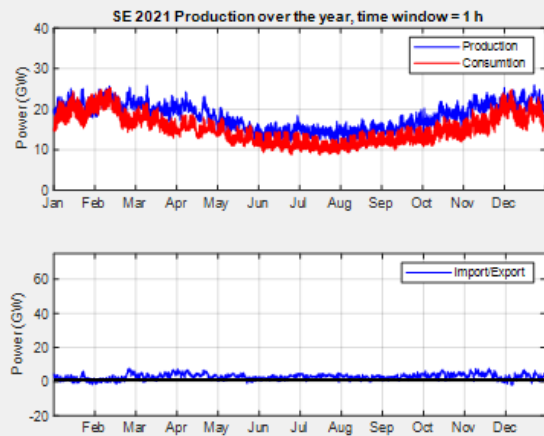
- De kallaste dagarna kräver upp till 12GW import
- Energi motsvarande 1TWh saknas i 150h perioder
- Extrem överproduktion som skulle kräva stop av en mängd vindkraftverk
- Ej möjligt att exportera dessa mängder

- 1TWh motsvarar ca 13 miljoner VW ID4 med 77kwh batteri
- 25 ggr Northvolts årsproduktion

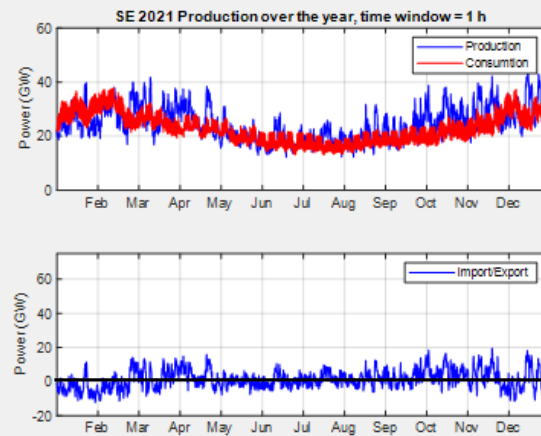
Effektbalansens utveckling

50% och 85% betyder effektkonsumtion motsvarande 200TWh resp 250TWh scenario

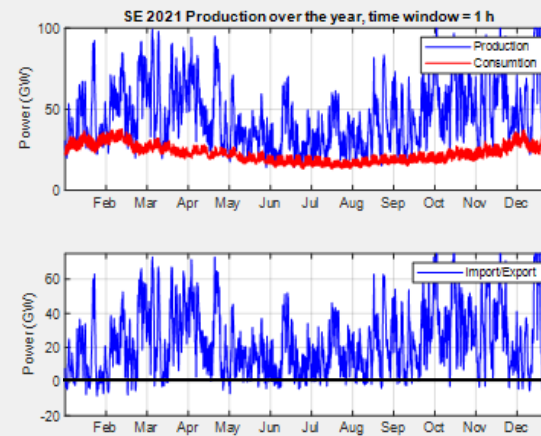
Today



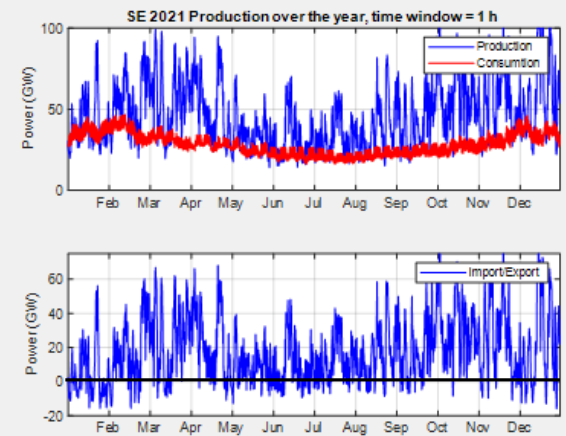
50% 3x Windpower



50% 10x Windpower



85% 10x Windpower



- Fungerar totalt sett men område 3 och 4 är på gränsen den kalla årstiden
- Beroende av import, speciellt i södra Sverige
- Stark koppling till kontinenten ger också stark koppling till elpris utanför sverige
- Kräver upp till 12GW import
- Energi motsvarande 4TWh saknas i en 6 veckors period
- Går ej att lagra
- Effektbalansen går inte ihop och systemet fungerar inte pålitligt
- Väldig nivå på exporten
- Kräver upp till 8GW import
- Energi motsvarande 100GWh saknas i 30h perioder
- Extremt extrem överproduktion som skulle kräva stopp av vindkraftverk
- Ej möjligt att exportera dessa mängder
- Kräver upp till 12GW import
- Energi motsvarande 1TWh saknas i vecko perioder
- Extremt extrem överproduktion som skulle kräva stop av vindkraftverk
- Ej möjligt att exportera dessa mängder

Varför blir det så dyrt?

Underskottsområden



När elen inte räcker får köparna, elhandelsbolagen, inte köpa så mycket el som de önskar.

– Vid de här tillfällena spelar det ingen roll att Sverige exporterar, för totalt sett tillhör de södra delarna ett underskottsområde eftersom vi är sammanlänkade med andra länder. Det är därför krismedvetenheten borde vara lika viktig i Sverige som i våra grannländer med underskott, säger Erik Ek.

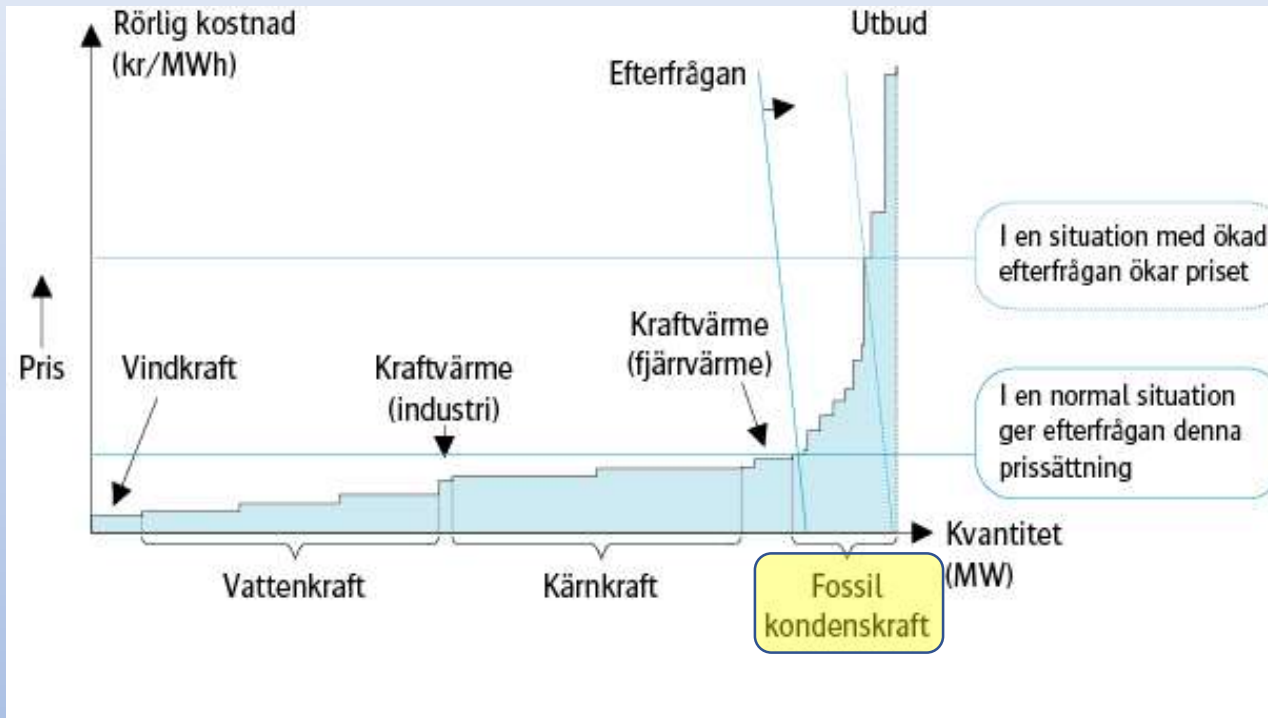
– Det är detsamma som när jag lagar mat hemma och det kommer två ungdomar till, barnens kompisar. Då får alla skära av för att få mindre portioner. Vi delar broderligt.

Även inom Sverige finns överföringsbegränsningar mellan de fyra olika prisområdena. Därför kan en person som bor i till exempel Skellefteå inte göra skillnad genom att spara el, för den elen kommer inte att komma fram till Tyskland, påpekar Erik Ek.

– Det beror på att man har överinvesterat med vindkraft i norra Sverige, fast vi tyckte att man skulle bygga i södra.

Erik Ek, Strategisk driftschef SVK, SVD 15 Aug 2022

Stora skillnader i produktions kostnader



- Rörliga kostnader vid elproduktion består av exempelvis bränslekostnader och produktionsskatter och skiljer sig väsentligt åt mellan de olika produktionsslagen.
- Vindkraft och vattenkraft har låga rörliga kostnader medan kol- och oljebaserad elproduktion har mycket höga rörliga kostnader.
- Vattenkraft som har magasin kan prissättas högre än rörlig kostnad genom att vattnet kan sparas till att användas när priset är högre.
- Här kan man se att höga kostnader är förknippade med fossil-baserad el i.e .det betyder också högre utsläpp
- Med stor del oplanerbar kraft som kräver stöd blir det stödet fossilkraft om man inte har tillgång till annat kraftslag.
- Då blir det dyrt och utsläppen ökar.

Hade kärnkraft i söder hjälp?

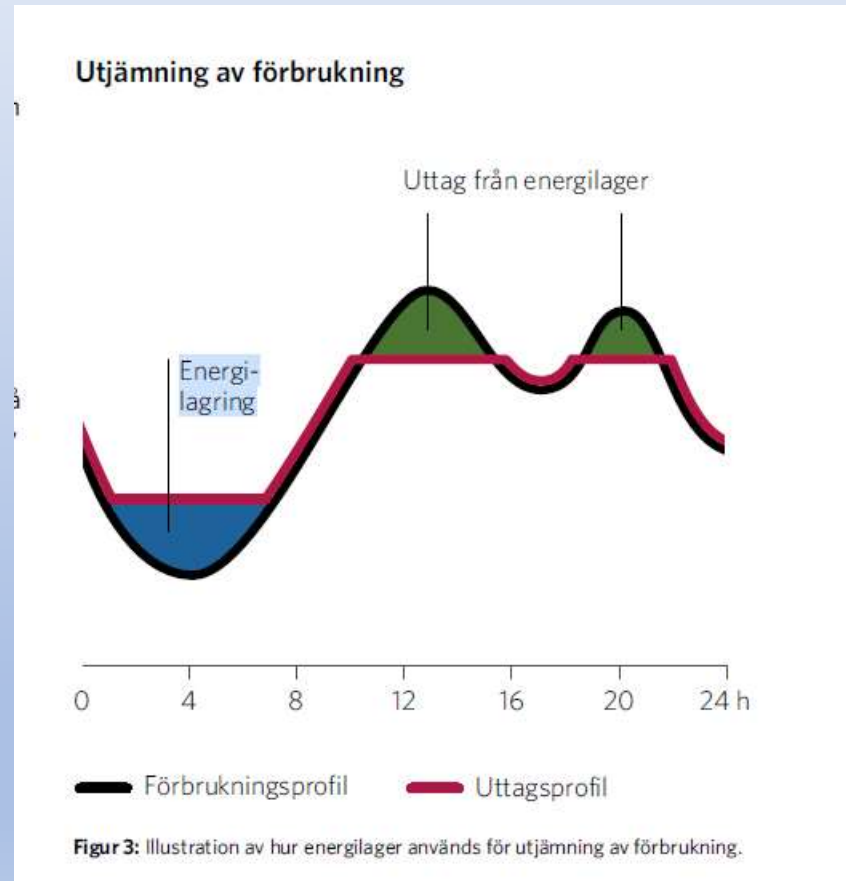


- I och med att SE4 är tätt ihopkopplat med bristområden i Europa t.ex. Tyskland blir bristen i SE4 mer än bara SE4.
- Eftersom om en enda dyr fossil kWh produceras i de ihopkopplade områdena blir priset satt av den.
- För att få ner elpriset i SE4 måste man fylla "rören" ut ur Svergie till max och sedan producera så mycket i SE4 att det blir överskott.
- Då sjunker elpriserna i Sverige.
- Kärnkraft i söder skulle spelat en stor roll i detta.
- Även kärnkraft i Tyskland skulle spelat stor roll.
- Nätmässigt så spelar flaskhalsen SE2-SE3 också en stor roll då mer effekt från norr skulle bidra till att minska underskottet i söder.

Lagring

Lagring

Utgjämning under kortare perioder

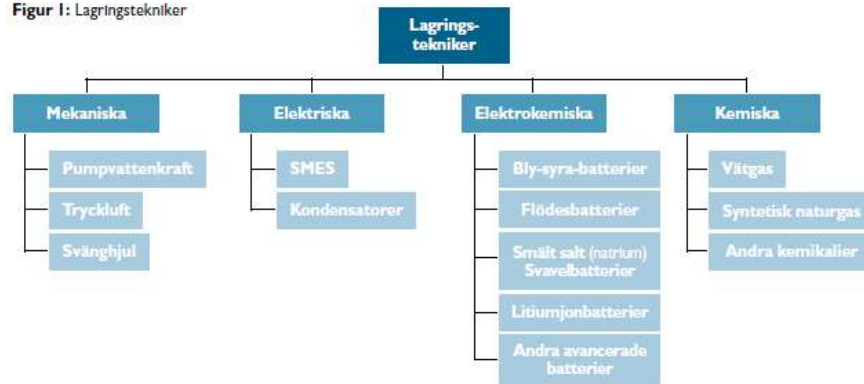


Varken batterilagring eller vätgaslagring kan i praktiken fungera som något annat än att kapa korta effekttoppar i elnätet. Säsongslagring faller på sina orimliga proportioner.

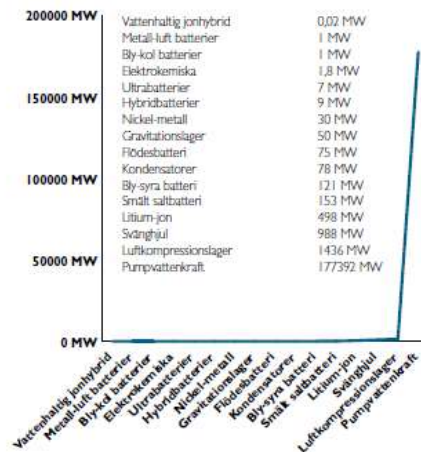
Lagring i världen (IVA)

Investeringar till 2030

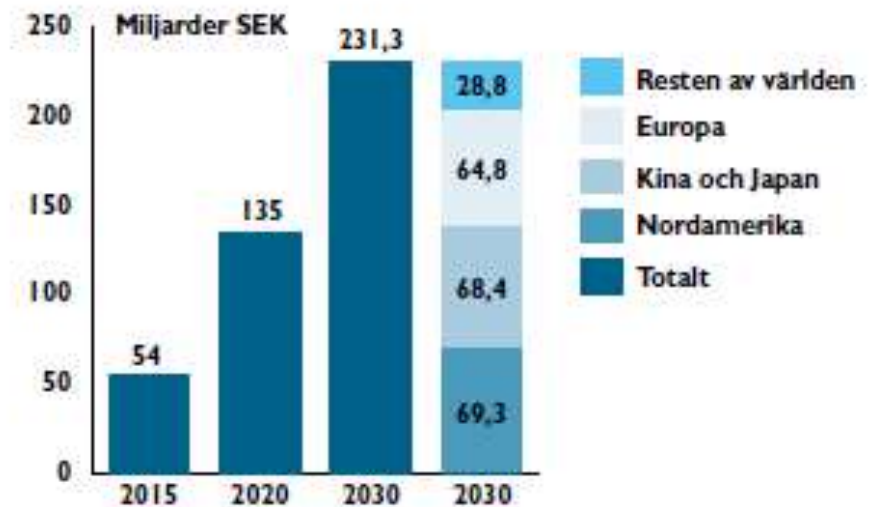
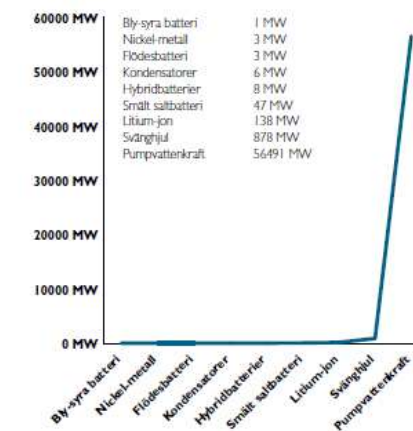
Figur 1: Lagringstekniker



Figur 2: Global installerad lagringseffekt, MW.⁴



Figur 3: Installerad lagringseffekt i EEA, MW.⁵



- 65 Miljarder SEK i Europa
- Motsvarar 65 GWh batterier
- I hela Europa

Lagrings teknologiers mognadsgrad



Västerås 2-3 dagar på batteri

Västerås har 300MW inmatning

Om man skall klara 2-3 dagars drift motsvarar det 10GWh-20GWh

Batterier: 1 miljard/GWh, 20 000ton/GWh

Totalt: 10-20 miljarder SEK, 100000-200000 ton batterier

Vätgas: Hybrit Projektet

Fossilfritt stål, 600MW konsumtion

- 10 miljarder SEK totalt
- **2022: 100m³, 100MWh**, räcker ca 10 minuter, 250 miljoner SEK

För 3-4 dagars drift krävs ett 1000ggr större lagringsrum

- **Mål 2035: 100 000m³, 100 GWh**
- Det krävs enorma rum, tekniken finns inte för detta
- Bergrummen måste vara av högkvalitativt berg
- För att lagra massiva överskott av energi på nationell nivå krävs absurda mängder utrymme och vätgas
- Och det blir ändå bara korta tider
- 1TWh -> 1 miljard kWh -> 1 miljon m³ vätgas

Bygget av Hybrits vätgaslager i Luleå har kommit halvvägs. Ett kommande lager i full skala behöver bli tusen gånger större.



Vad kan jag göra själv?

Vad kan jag göra själv?

- Utfasning av direktverkande el
- Effektivare värmepumpar
- Bättre isolering och ventilation
- Solceller
- Batterilagring

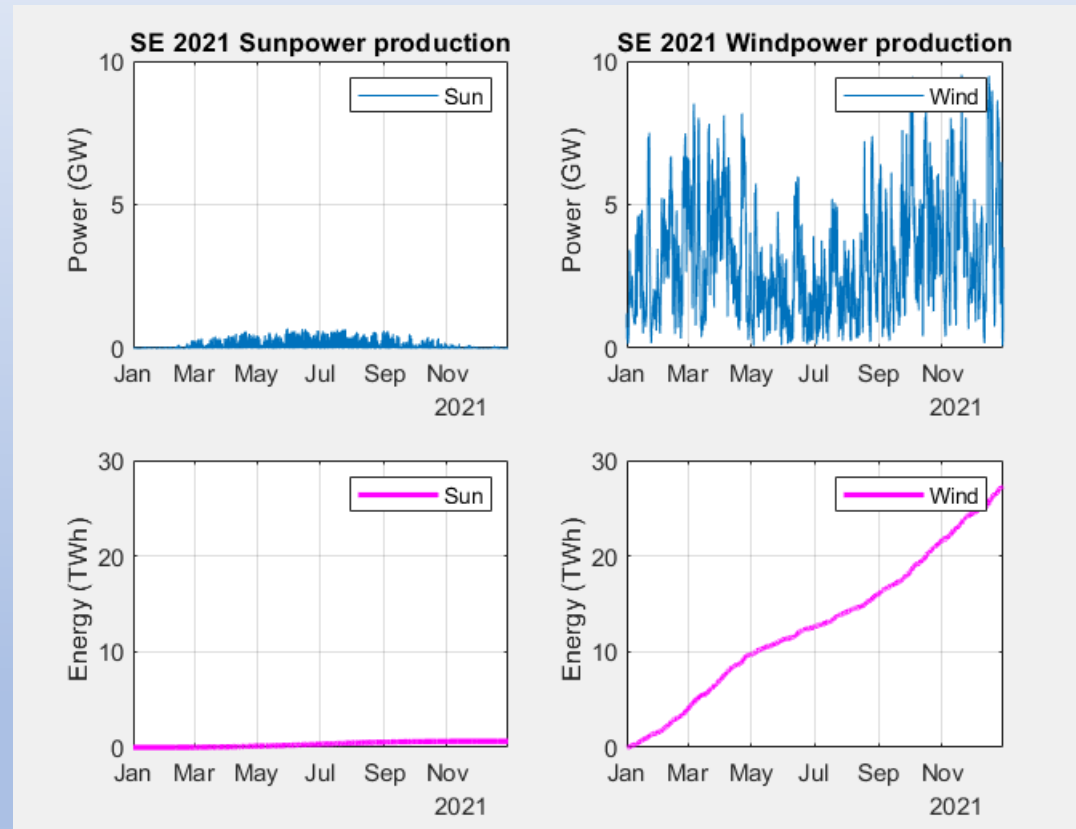
Solceller

- **Solceller**
- Solceller 35 m2 för 107k SEK efter grönt avdrag.
- Solcellerna ger 7500 kWh, Total årsförbrukning på fastigheten. 14 000 kWh.
- Toppeffekt 8kW.
- Ca 12 års återbetalningstid.
- **Batterilagring**
- Option 1 -> 11 kWh 70 169 kr efter grönt avdrag.
- Option 2 -> 22 kWh 99 781 kr efter grönt avdrag.
- Batteriet måste stå i huset och inte i ett kallt garage eller förråd.

*Ytterligare kostnader kan tillkomma om det är en draging över 5 meter från placering av batteriet till elmätare och/eller växelriktare.

Sol -> Backup till vind

Apropå MP's energipolitiska talespersons uttalande att när det inte blåser så skiner solen så den är backup



- Under den kalla perioden när mest el behövs kan man bortse från sol!
- Det bidraget är nära noll under den årstiden!

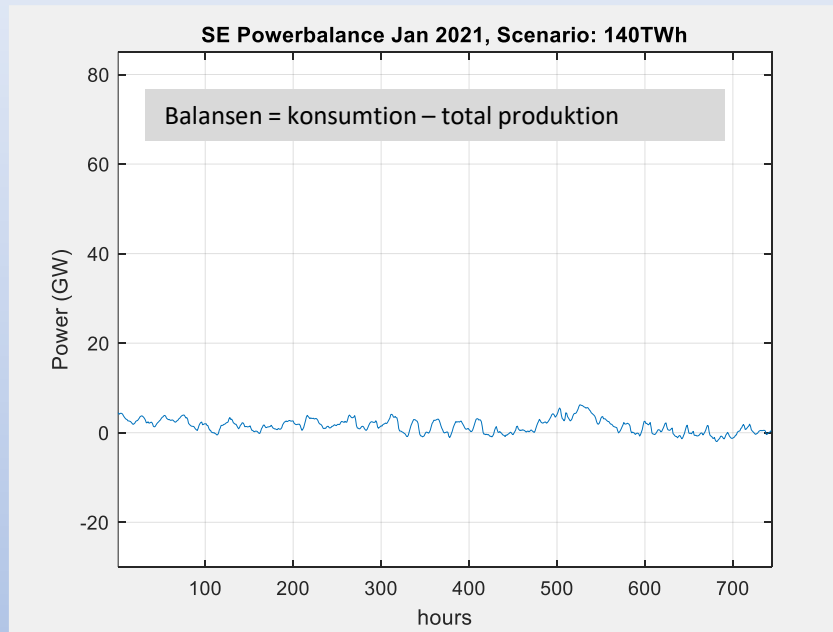
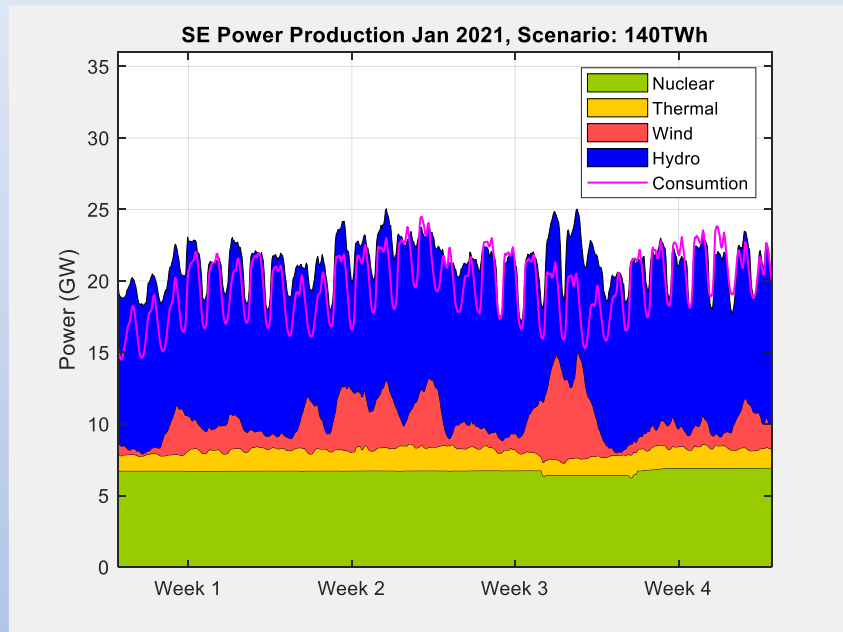
Vad händer framöver?

- En närmare titt på Jan 2040
- 47GW, 250TWh scenario enligt regeringens nationella strategi

Antaganden för prediktion av Jan 2040

- Antaget är 100% överföringskapacitet i hela sverige. Detta kommer aldrig att finnas så verkligheten per elområde är värre än vad som visas här.
- Antaget att Jan 2040 har produktion och konsumtion karakteristik som 2021 men med högre värden.
- 2021 var inte extremt på något sätt med max konsumtion runt 25.3GW.
- Effekt konsumtionen ökas med 20%, 50% och 85% för att motsvara de predikterade kommande behoven enligt regeringens nationella strategi. (160TWh, 200TWh och 250TWh)
- Vattenkraften regleras ner när vindkraft gör att total produktion överskrider total konsumtion.
- Effekt produktionen kompenseras med 3x och 10x mer vindkraft jämför med idag.

Januari 2021, 25GW, 140TWh, Referens

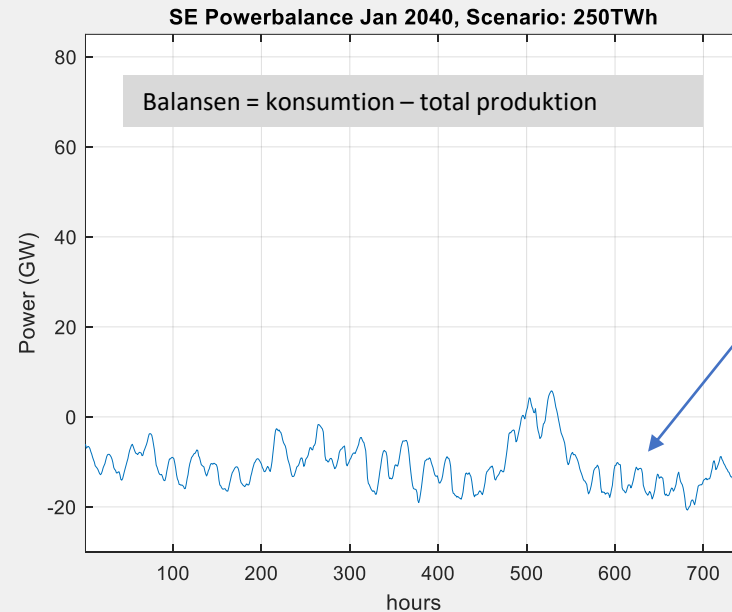
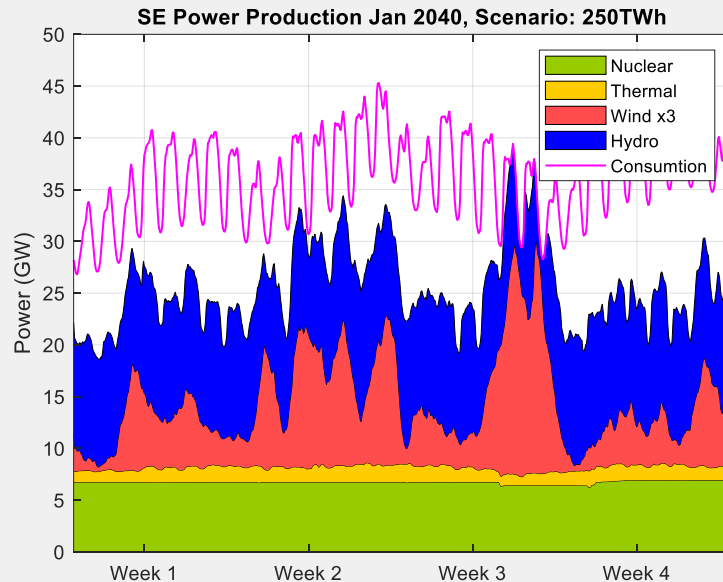


Slutsats:

- Bra balans med korta tider av import upp till 2GW
- Mycket export trots kall period

- 2021 var inget extremt år och kan användas som en representativ referens.
- Max effekt under året var 25.3GW.

Januari 2040, 3x vindkraft, 47GW, 250 TWh



Slutsats:

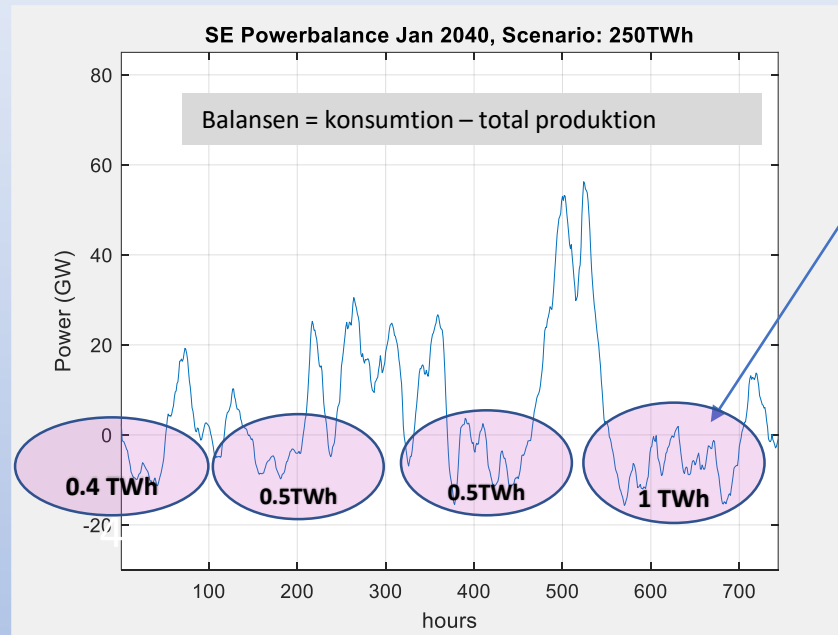
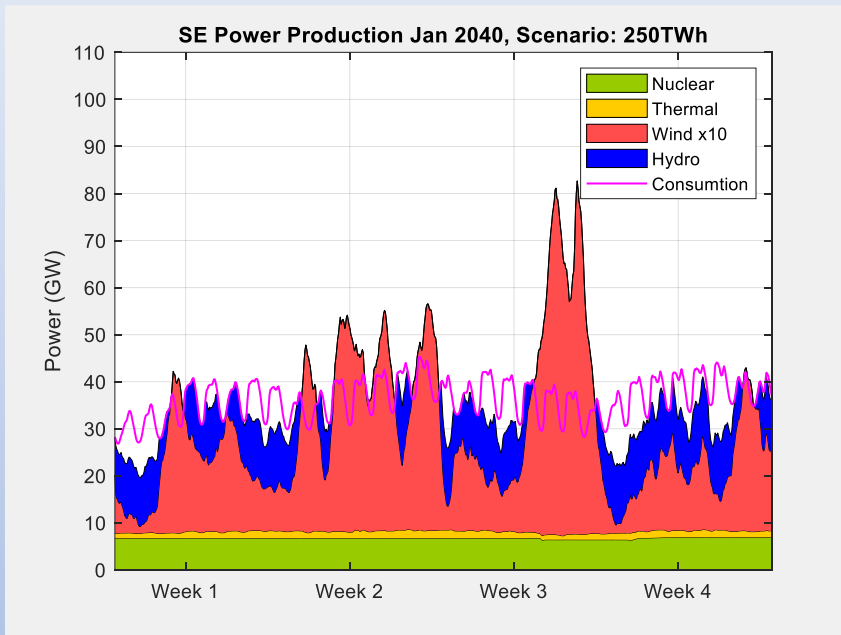
- Med enbart ökad vindkraft uppstår ohanterbara underskott på upp till 22GW.
- I snitt ca 10GW under 700h motsvarande 7TWh.
- Utan kärnkraft är underskottet ca 14 TWh motsvarande underskott upp till 28GW.
- Utbyggnad av de andra kraftslagen krävs också.

7 TWh motsvarar:

- 91 miljoner VW ID4 med 77kWh batteri.
- Batterier motsvarande 175x Northvolts årliga produktion till en kostnad av 7000 miljarder sek.
- Väte motsvarande 175 Hybrit projekt, 17.5 miljoner m3 väte till en kostnad av 1750 miljarder sek.

- För att klara 2040 är det klart att alla kraftslag måste byggas ut och bidra!
- Lagring blir ett viktigt bidrag men kan aldrig ensam klara de enorma underskotten.

Januari 2040, 10x vindkraft, 47GW, 250 TWh



Slutsats:

- Extrem överproduktion vissa timmar även i den kalla perioden
- Väldigt stora effekthål trots den massiva installationen av vindkraft
- Energi hål motsvarande 0.5TWh-1TWh i 50h-100h perioder

1 TWh motsvarar:

- 13 miljoner VW ID4 med 77kWh batteri.
- Batterier motsvarande 25x Northvolts årliga produktion till en kostnad av 1000 miljarder sek.
- Väte motsvarande 10 Hybrit projekt, 1 miljon m3 väte till en kostnad av 250 miljarder sek.

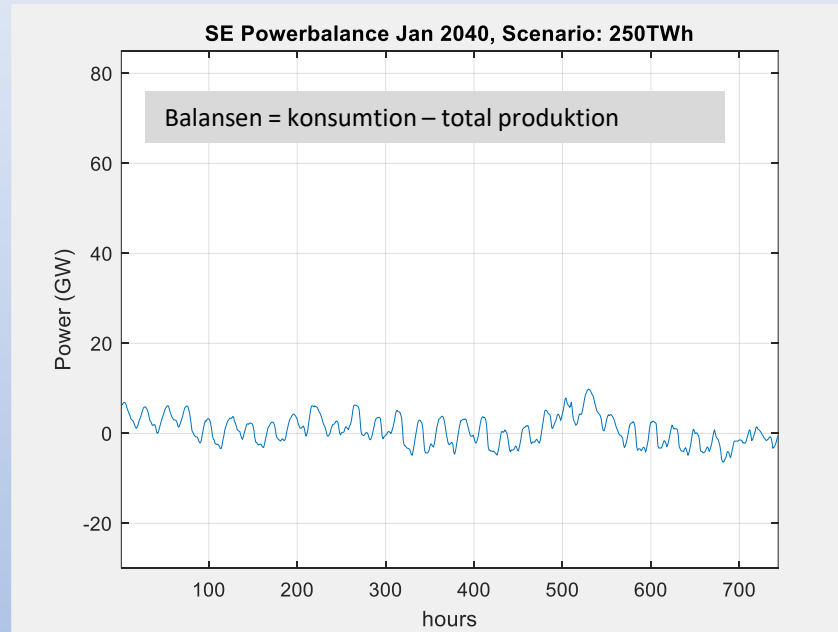
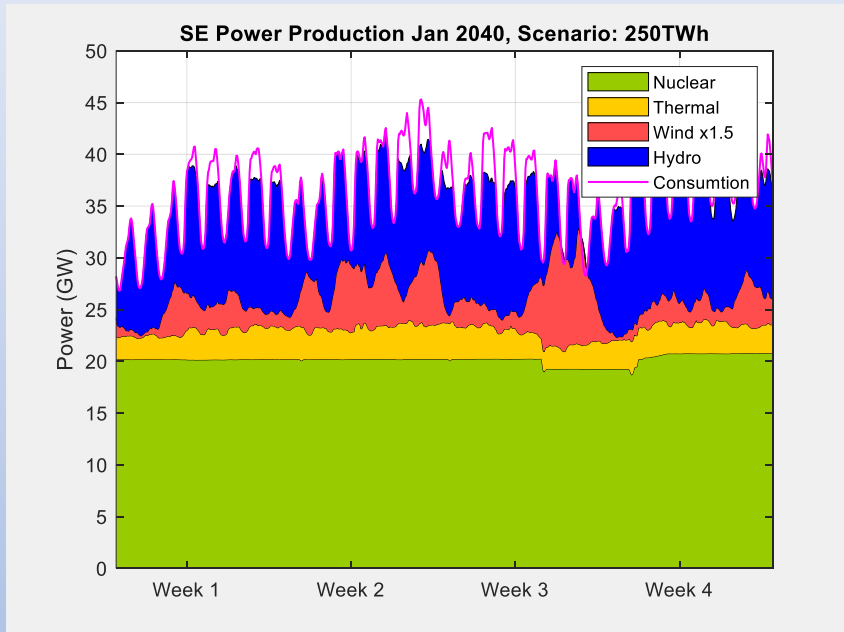
- För att klara 2040 är det klart att alla kraftslag måste byggas ut och bidra!
- Med överinvestering på vindkraft blir det extremt extrem överproduktion över året men samtidigt stora effekt hål som inte klaras av lagring då det är för stora mängder.
- En stor del av året behöver därför de flesta av vindkraftverken stå stilla.

Möjlig Lösning

- analys av effektbalansen vid ökad konsumtion och vilken utbyggnad av kraftslagen som skulle krävas för ett pålitligt system alla dagar om året

Lösning 1: Januari 2040, 47GW, 250TWh

1.5x vind, 3x kärn, 2x värmekraft



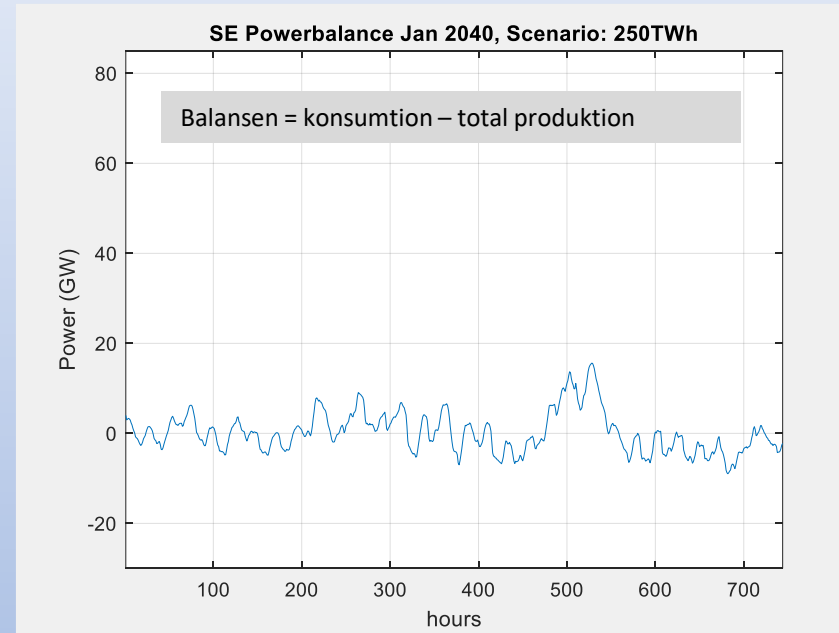
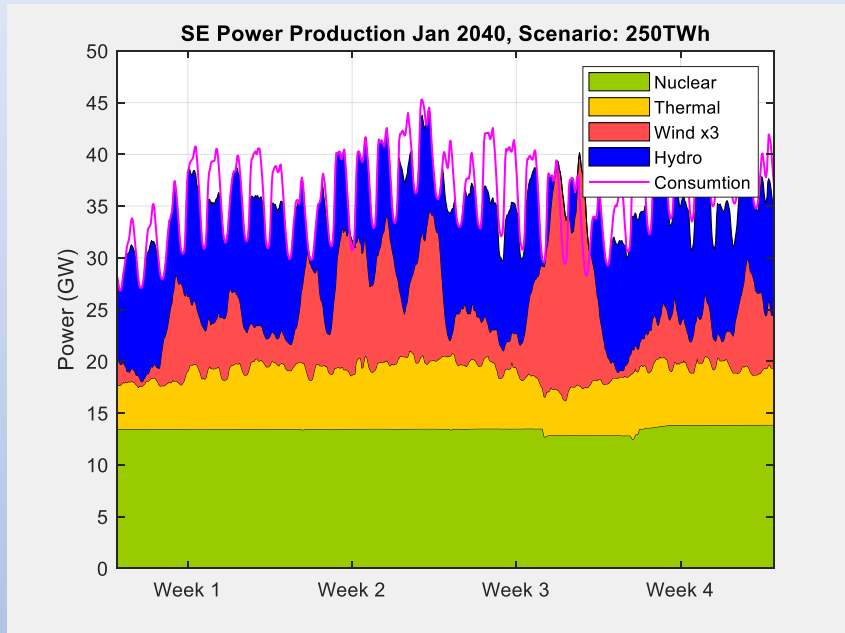
Slutsats:

- Bra balans om backup med import och lagring kan ske.
- Vattenkraften kan möjligtvis bidra med 20%-30% mer men räknar ej in detta för att behålla det mer realistiskt.
- Effekt gap på 2GW-5GW under 10-20h perioder.
- 1.5x vindkraft betyder den fortsatta utbyggnaden från 2021 men ej mer.
- 3x kärnkraft betyder runt 18 reaktorer i.e. 1.5x vad vi en gång hade.
- Värmekraft behövs troligen bara i sporadiskt under den kalla perioden.

- Alla kraftslag måste bidra och byggas ut!
- Inget enskilt kan ställas mot något annat kraftslag!
- Kärnkraft kan ej läggas ner!
- Vattenkraft behålls efter omprövningen på sin nuvarande nivå!

Lösning 2: Januari 2040, 47GW, 250TWh

3x vind, 2x kärn, 4x värmekraft



Slutsats:

- Bra balans om backup med import och lagring kan ske.
- Vattenkraften kan möjligtvis bidra med 20%-30% mer men räknar ej in detta för att behålla det mer realistiskt.
- Effekt gap på 3GW-8GW under 10-50h perioder.
- Mer än 3x vindkraft är ej lämpligt ur ekonomiskt och funktions mässigt perspektiv.
- Det blir annars extrem överproduktion stora delar av året och ändå stora effekt hål.
- Nätutbyggnaden blir ännu mer komplex och kostsam.

- Alla kraftslag måste bidra och byggas ut!
- Inget enskilt kan ställas mot något annat kraftslag!
- Kärnkraft kan ej läggas ner!
- Vattenkraft behålls efter omprövningen på sin nuvarande nivå!

Lösning 1 2040, 47GW peak, 250TWh

Kraftslag	Faktor mot 2021	Installerad effekt	Energi potential
Vindkraft	1.5x	15GW (26%)	50 TWh (17.5%)
Kärnkraft	3x	21GW (36%)	150 TWh (52.6%)
Värmekraft	2x	6GW (10%)	15 TWh (5.3%)
Vattenkraft	1x	16.5GW (28%)	70 TWH (24.6%)
Totalt		58.5 GW*	285 TWh

- Under den kalla perioden när mest el behövs kan man bortse från sol!
- Det bidraget är nära noll under den årstiden!

Då prediktionen av konsumtionen 2040 löpande ökar har här värmekraft lagts till som ett viktigt tillägg till reglerkraft med vattenkraften.

Slår man ihop värme och vatten så blir fördelningen följande:

Energi potential: Vind=50 TWh, Kärn=150 TWh, Vatten+Värme=85 TWh

Fördelning: ca 1/3, lite större än 1/3, ca 1/3

*statistiskt säkert tillgänglig 37.6GW, import och lagring support upp till 47GW

Lösning 2 2040, 47GW peak, 250TWh

Kraftslag	Faktor mot 2021	Installerad effekt	Energi potential
Vindkraft	3x	30GW (41%)	100 TWh (33%)
Kärnkraft	2x	14GW (19%)	100 TWh (33%)
Värmekraft	4x	12GW (17%)	30 TWh (10%)
Vattenkraft	1x	16.5GW (23%)	70 TWh (23%)
Totalt		72.5GW*	300 TWh

- Under den kalla perioden när mest el behövs kan man bortse från sol!
- Det bidraget är nära noll under den årstiden!

Då prediktionen av konsumtionen 2040 löpande ökar har här värmekraft lagts till som ett viktigt tillägg till reglerkraft med vattenkraften.

Slår man ihop värme och vatten så blir fördelningen följande:

Energi potential: Vind=100 TWh, Kärn=100 TWh, Vatten+Värme=100 TWh

Fördelning: 1/3, 1/3, 1/3

*statistiskt säkert tillgänglig 37.2GW, import och lagring support upp till 47GW

Staffan Quist Rapport för Svenskt Näringsliv

KRAFTSAMLING ELFÖRSÖRJNING

Långsiktig Scenarioanalys



Sammanfattande förord

Lina Håkansdotter

Projektledare Kraftsamling Elförsörjning, Svenskt Näringsliv

Introduktion

Inom ramen för projektet Kraftsamling Elförsörjning har Qvist Consulting med hjälp av ett stort antal experter på det svenska elsystemet och internationella experter på kraftsystemsoptimering tagit fram rapporten 'Långsiktig Scenarioanalys' åt Svenskt Näringsliv. Rapporten utreder hur det framtida svenska elsystemet långsiktigt kan möjliggöra en konkurrenskraftig och fossilfri ekonomi. Modelleringen minimerar investeringar och driftskostnader från givna ingångsvärden. Underlaget kommer att användas för att utveckla nödvändiga konkreta rekommendationer för att Sverige ska kunna övergå till ett fossilfritt samhälle.

7 Sammanfattade resultat och slutsatser

Det kostnadsoptimala framtida teknikneutrala svenska kraftsystemet består på årlig produktionsbasis i huvudsak av:

- $\frac{1}{3}$ Bibehållen vattenkraft
- $\frac{1}{3}$ Vindkraft
- $\frac{1}{3}$ Bibehållen och ny kärnkraft

- Intressant är att slutsatsen med min metod är väldigt lik slutsatsen i Staffans rapport

Summerring

Summaring

- I dagens system minskar effektbalansen och överföringskapaciteten – båda måste öka.
- Marginalerna i systemet är i princip borta i SE3 och SE4.
- När vi nu står inför en historisk ökning av vår konsumtion måste alla kraftslag bidra.
- Den oplanerbara kraften får inte ha för stor del vilket både visas här och också i Staffan Qvists rapport för Svenskt Näringsliv.
- Därför behövs utbyggnad av alla kraftslag plus näten
- Analysen här visar två möjliga lösningar för att klara 2040 jämfört med 2021 :
 - L1: 1.5x vindkraft, 3x kärnkraft, 2x värmekraft
 - L2: 3x vindkraft, 2x kärnkraft, 4x värmekraft
 - + Kraftigt förstärkt nät
 - + Support av lagring för att kapa toppar och att klara de svåraste perioderna utan för stort import behov.
- Om det ökade effekt behovet kompenseras av enbart oplanerbar kraft som vindkraft blir systemet icke fungerande vissa perioder och får extremt extrem överproduktion vissa perioder.
- Kärnkraften kan inte läggas ner utan måste byggas ut.
- L1 är att föredra då den inte påverkar människor och miljö i lika stor utsträckning och kräver inte lika komplicerad nätutbyggnad.
 - 1.5x vindkraft betyder bygg klart det som pågår under 2022-2023 och sen inget mer.

Slutord: Effekten är “maskinen”

- Det är effekt som produceras.
- Det är effekt som överförs i nätet.
- Det är effekt som används.
- Det är effekt som konsumtionsökningen består av.
- Det är effekt som måste vara i balans.
- Effekten är maskinen.
- Energin är ett retroaktivt begrepp där man ser vad effekten producerat över tid.
- Därför måste diskussionen om utbyggnad av elsystemet handla om att hantera effektbalansen annars kommer framtidens system inte fungera pålitligt eller tidvis inte fungera alls, inte vara affordable och hela välfärden är hotad av det som pågår!

- **Backup**

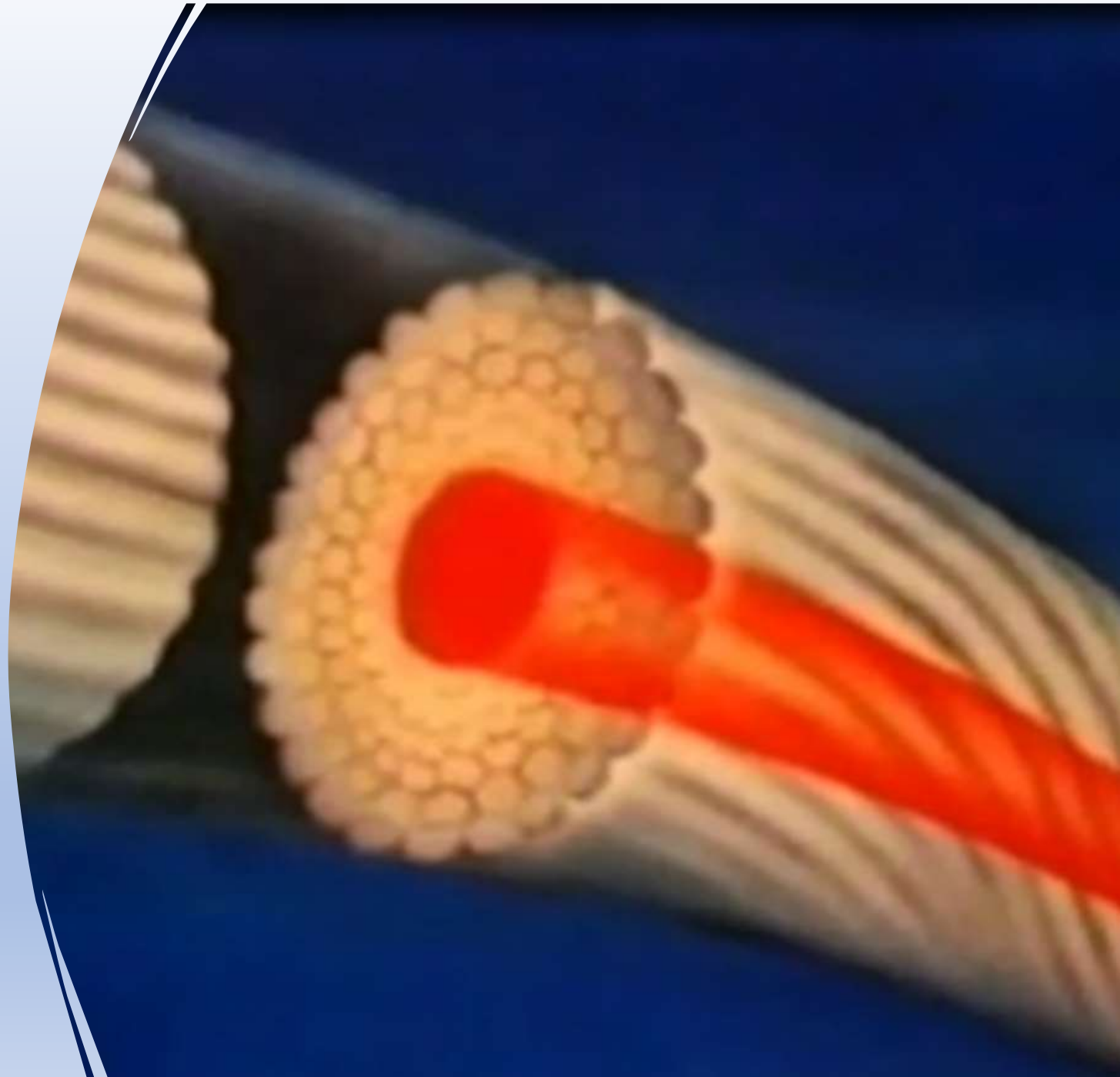


Foto: JESSICA GOW/TT

**Hade de senaste decenniernas politiker
förstått de naturvetenskapliga
konsekvenserna av sina beslut hade de
fattat andra.**

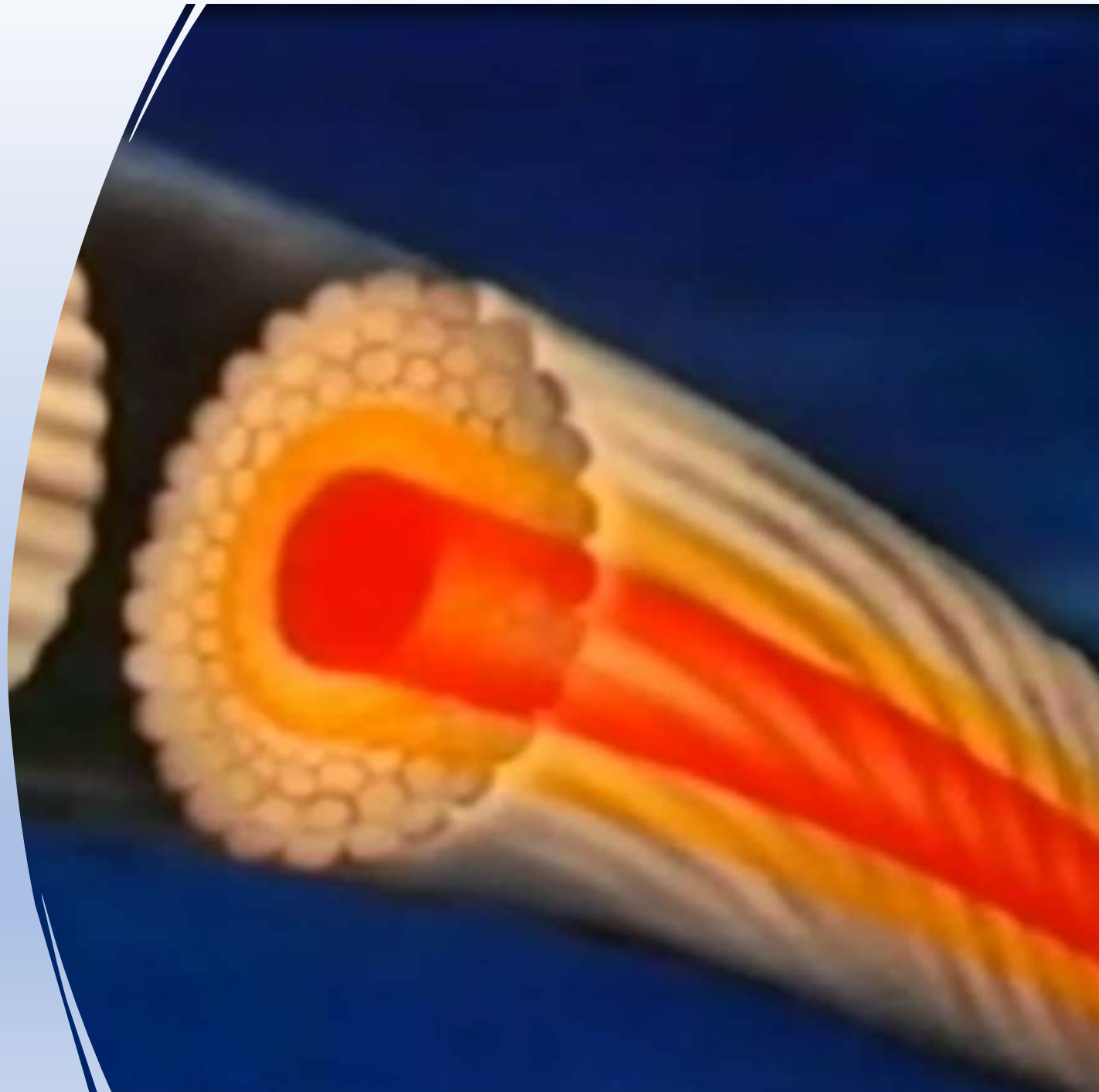
Reaktiv effekt

- Strömmen i ledningarna har en aktiv komponent som används för att transportera användbar effekt



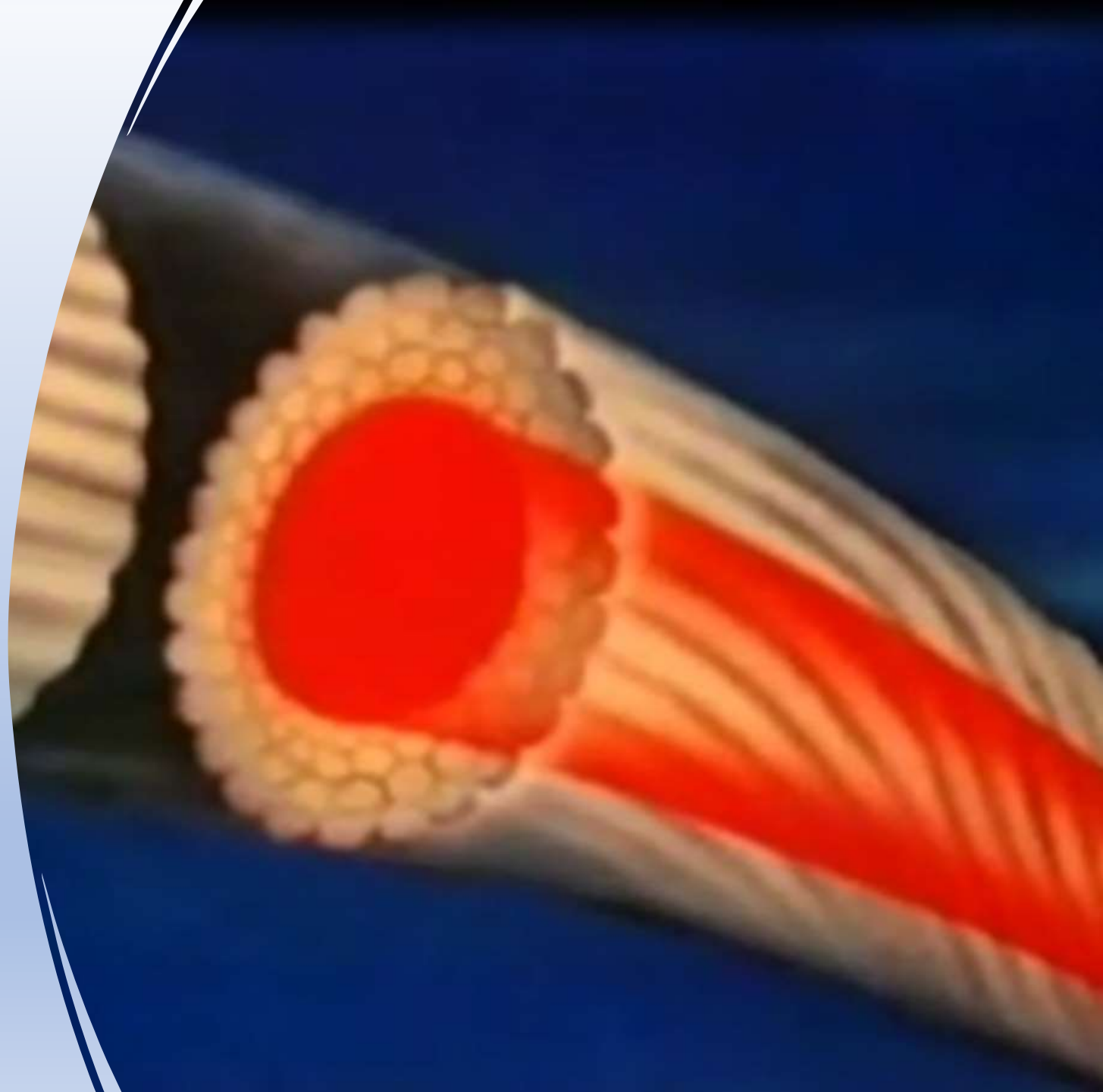
Reaktiv effekt

- Sen finns det en reaktiv ström komponent, det gula, som inte gör något användbart jobb utan bara stjäl utrymme i ledningen

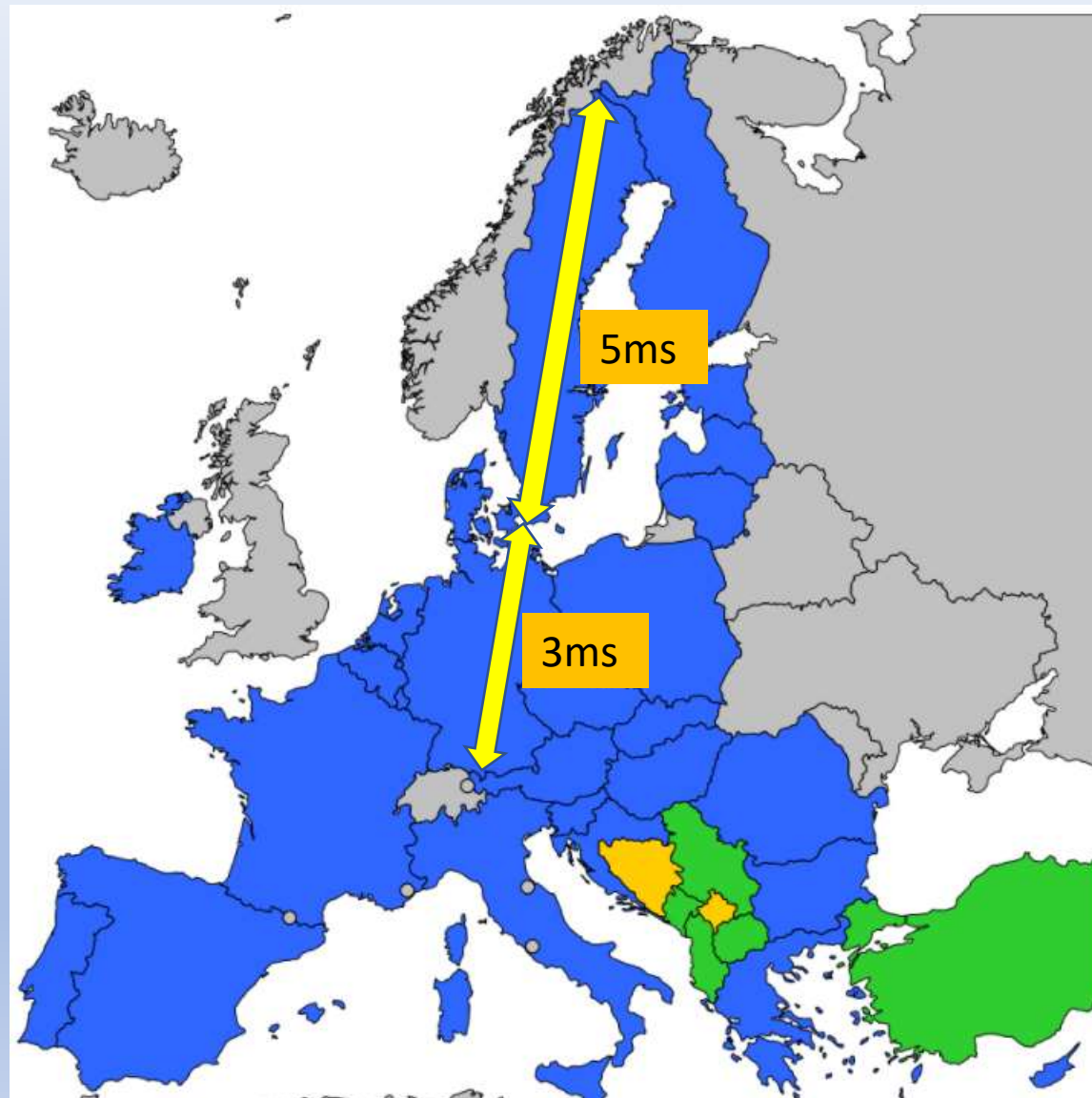


Reaktiv effekt

- Med reaktiv kompensering kan man minska den reaktiva delen i strömmen så att det finns plats för mer aktiv ström dvs man kan transportera mer användbar effekt



El går snabbt!



Hastighet $\approx 300000\text{km/s}$

Norra Sverige till Södra Tyskland 8ms

Naturvårdsverket

Man kan inte som naturvårdsverket prata om att ersätta energi med annan energi. Man måste alltid prata vilken effekt man ersätter med annan effekt med fokus på den säkert tillgängliga effekten det är det som systemet designas för så att det blir ett pålitligt system

Alla kraftslag behövs

Vi behöver därför tänka annorlunda kring begreppet elbrist. När strömmen går är bristen på el total, oavsett hur mycket el Sverige exporterar på ett helt år. Dessutom är skillnaden stor mellan norr och söder. Att hänvisa till ett överskott i norr när det råder brist i söder löser inte problemet. Att hänvisa till att det löser sig bara elnätet byggs ut, när vi vet att det kan ta uppemot 20 år, är inte heller det en praktisk lösningen.

Vad kan man ersätta kärnkraft med?

Den avvecklade kärnkraften kommer inte kunna ersättas av ett enda kraftslag, utan av en kombination av lösningar. I Naturskyddsföreningens vision för Sveriges energisystem 2040 är kärnkraften helt avvecklad och ersatt med 70 TWh ny vindkraft och 14 TWh sol. Det gör att kärnkraften kan avvecklas utan att biobränsleanvändningen ökar i elsektorn.

Lagring av överskott

- Vindkraft i snitt 3GW 2021 -> 72GWH/dag
 - 1 vecka produktion med 72GWH 500GWh, 5 Hybrit projekt, 500000m³ vätgas
 - 1.5 dag= 1 Hybrit 100000m³ vätgas
-
- Men det troliga vid överskott är hög produktion 6-8GWv -> ca 140GWh/dag-190 GWh/dygn
 - 1 vecka produktion 980-1300 GWh/dag, 10-13 Hybrit projekt 1.3 miljoner m³ vätgas

Some data for the energy system summarized in the table below



Type	Max Power	Average Power	Energy 2021
Total produced	26 GW	18.4 GW	161.4 TWh
Total consumed	25.3 GW	15.5 GW	135.9 TWh
Total export	8 GW	2.9 GW	25.5 TWh
Wind	9.5 GW	3.1 GW	27.5 TWh
Nuclear	7 GW	5.9 GW	51.4 TWh
Hydro	13 GW	8.4 GW	73.6 TWh
Thermal	2.2 GW	0.9 GW	8 TWh
Sun	0.7 GW	0.07 GW	0.64 TWh
Unspecified	0.2 GW	0.03 GW	0.3 TWh

Table 1. Data for SE 2021

The highest power demand ever recorded in Sweden was 5th Feb 2001 and was 27GW. The future power demands will take Sweden over and above that around 2030.