

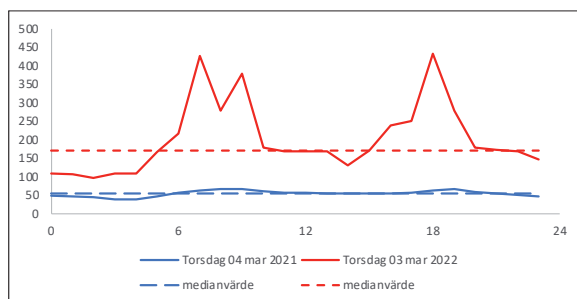
Modellering av elproduktion

Den här vintern är elpriser en fråga som berör hela samhället. Då kan man passa på att göra statistiska modelleringar i klassrummet och diskutera hur matematik kan användas som argument för olika politiska beslut.

Att elpriserna nu är högre än vad de brukade vara förr beror främst på att elproducenterna säljer till kontinenten, som betalar mer än vad vi själva har varit vana vid. Att elexporten driver upp priset gör det lönsamt att bygga ut elproduktionen och därmed blir det en debatt om vilka sorters elproduktion som blir bäst. Att bygga och simulera statistiska modeller ger tankestöd i denna debatt. Här ges exempel på lite olika typer av simuleringar och reflektioner kring dem. Källhänvisningarna ger direkt tillgång till databaser för egna simuleringar i klassrummet.

Volatilitet

Ordet *volatil* är belagt i svenskan sedan 1700-talet. Volatil i kemin avser ämnen som lätt avdunstar och i ekonomin betyder det priser som ändras snabbt uppåt och nedåt. I hemkunskapens kemi kan det vara trevligt med volatilitet, åtminstone om dofterna är goda och vi känner matens smak långt innan den hamnar på tungan. I ekonomin är volatilitet mindre populärt då både utgifter och inkomster blir svårare att förutsäga på kort sikt. Figur 1 visar både höga priser och stor volatilitet för elpriset i elområde 4 första torsdagen i mars 2022 jämfört med motsvarande dag 2021.



Figur 1.
Elpriser i elområde 4 första torsdagen i mars år 2021 och 2022 klockan 00–24 (öre/kWh).

För aktiekurser och andra varor definieras volatilitet som *standardavvikelse dividerat med medelvärde*, men för skolmatematiken kan det vara enklare att arbeta med medianer och definiera volatilitet som *medianen av alla absolutavvikelser runt medianen dividerat med medianen*. Ett litet räkneexempel med tre datapunkter får illustrera detta. De tre datapunkterna 54, 67 och 98 har median = 67. Absolutbeloppet för avvikelserna är $|54 - 67| = 13$, $|67 - 67| = 0$ och $|98 - 67| = 31$. Medianen av 13, 0 och 31 är 13, alltså är volatiliteten $13/67 \approx 19\%$.

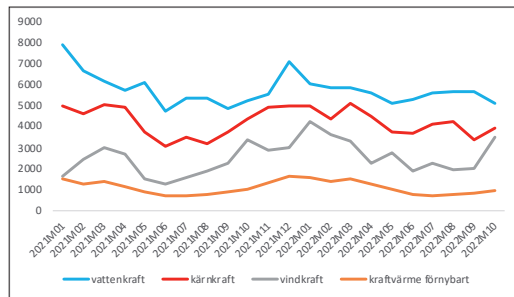
För den röda kurvan i figuren är medianen 160 öre per kWh (röd streckad linje). Klockan 04 är elpriset 108 öre och medianavvikelsen blir då $|108 - 169| = 61$ öre. Medianen av alla sådana medianavvikelser är 54 öre. Volatiliteten beräknas då som $54 / 169 \approx 32\%$. För den blå kurvan gäller att medianen är 54 öre (blå streckad linje) och medianavvikelsen är 6,6 öre, vilket ger en volatilitet på $6,6 / 54 \approx 12\%$.

Notera även att ett enskilt hushåll där många är hemifrån dagtid skulle kunna spara pengar på dygnsvolatiliteten då priserna vanligen är lägre nattetid. Ett fastprisavtal är ett dygnsgenomsnitt plus en riskpremie för elbolagen. Ett rörligt elprisavtal tillsammans med att flytta delar av sin elanvändning till natten ger lägre elkostnader. Exempelvis kan en tidsstyrd tvättmaskin och diskmaskin köras på natten, liksom laddning av elbil.

Väderberoende volatilitet

Vindkraft och solkraft är väderberoende och har därför rykte om sig att vara volatila vad gäller förmåga att leverera elektricitet. Det produceras ganska lite el en kall och lugn vinternatt när det varken blåser eller är solsken, vilket händer då och då. Figur 2 visar SCB:s statistik för energiproduktion för hela Sverige från januari 2021 till och med oktober 2022 mätt i enheten GWh/månad. Volatiliteten för de kalla månaderna (november till april) är 1,5% för kärnkraft och 15% för vindkraft. Figuren visar också att vattenkraft förefaller kunna balansera en hel del för vindkraftens väderberoende volatilitet. Exempelvis gav november och december 2021 något mindre el från vindkraft men i gengäld en ökad mängd el från vattenkraft. Vid sådana tillfällen importeras även vattenkrafts-el från Norge. Samtidigt visar figuren att vindkraften i genomsnitt svänger ungefär i takt med kärnkraften över säsongerna och kan alltså öka genomsnittsproduktionen under de kalla månaderna.

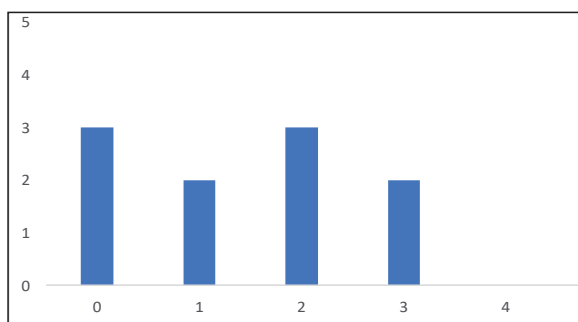
Figur 2.
Produktion av vatten-, kärn-, vind- och förnybar kraftvärme under perioden januari 2021 (M01) till oktober 2022 (M10).



Teknikberoende volatilitet

Kärnkraften svänger alltså med säsongen trots att den inte är väderberoende. Anledningen är att kärnkraftverk kräver underhåll som är tidskrävande och görs på sommarhalvåret. Dessutom sker ibland oplanerade stopp i kärnkraftverk. Två sådana exempel är ett oplanerat stopp av reaktorn i Oskarshamn några dagar under december 2022 och Ringhals 4 hade ett planerat stopp i augusti 2022 som blev ett oplanerat förlängt stopp till februari 2023. Ur SCB:s statistik går det att räkna fram att kärnkraften står för ett årsgenomsnitt på cirka 30% av elproduktionen, vilket betyder att varje stillastående kärnkraftverk av de sex vi nu har motsvarar ett bortfall på cirka 5% av effektbehovet.

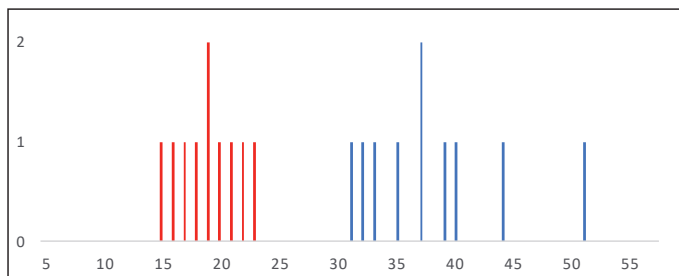
Med de stora talens lag går det att simulera tillgängligheten och därmed volatiliteten i teknisk tillgänglighet hos få men stora elproducenter jämfört med små men många elproducenter. Det går att räkna på detta med hjälp av konfidensintervall, men för att göra det tillgängligt redan i grundskolan är det bättre att använda tärningar och som digitalt alternativ går det bra att använda kalkylbladsfunktionen [=SLUMP.MELLAN(1; 6)] för att generera slump-heltal från 1 till 6. Använd sex vanliga tärningar för att simulera de sex kärnkraftverken och räkna antalet ettor som antal kärnkraftverk är ur drift. Detta motsvarar att de är oplanerat ur drift 1/6 av tiden. Det är inte realistiskt men illustrerar hur de stora talens lag fungerar. Närmre faktiska resultat vore att räkna ettor ur en 60-sidig tärning som "avstängda" åtminstone under vinterhalvåret eftersom kärnkraftens väderberoende volatilitet då är cirka 1,5% medan planerade driftstopp brukar ske under sommarhalvåret.



Figur 3. Simulering av antal avstängda kärnkraftverk av totalt 6 vid 10 måttillfällen.

Gör tio försök med de sex tärningarna. Simuleringen redovisad i figur 3 visar på x-axeln hur många kraftverk som är avstängda (hur många ettor som kom upp) och på y-axeln hur ofta detta sker. Exempelvis är alla i drift (noll avstängda) i tre av tio kast, medan tre är avstängda samtidigt i två av kasten. Totalt kommer tio ettor upp på tio kast. Detta innebär att i genomsnitt är *ett* kraftverk ur drift vid varje tillfälle, men att man då och då får räkna med upp till *tre* är ur drift samtidigt, vilket motsvarar hälften av alla kärnkraftverk. För att nästan alltid ha en produktionskapacitet motsvarande 5/6 av totalkapaciteten, alltså fem kraftverk, skulle ytterligare två fungerande reservkraftverk behöva tas i drift och det motsvarar en överkapacitet på $2/6 \approx 33\%$. En sådan överkapacitet blir dyr i längden. Ska man vara riktigt noga, så måste man simulera fallen med 7, 8 eller 9 kraftverk och undersöka hur många som behövs för att minst fem är i drift under exempelvis 95% av tiden, men som grov approximation nöjer vi oss med att påstå att 33% överkapacitet räcker till.

För att simulera vindkraftverken, kasta 100 eller 200 tärningar i tio försök, se figur 4. Simuleringen visar att antalet avstängda vindkraftverk sällan är över 25%. För att alltid ha en produktionskapacitet motsvarande $5/6 \approx 83\%$ av totalkapaciteten så behövs $83 + 25\% = 108\%$, alltså 8% överkapacitet. För 5000 vindkraftverk går det att under samma förutsättningar och med hjälp av konfidensintervall att beräkna överkapaciteten till cirka 1%. Alltså, om det vore samma tekniska felrisk för många små respektive få stora kraftverk, så visar de stora talens lag att den nödvändiga överkapaciteten med ett fåtal stora kraftverk blir ganska stor vilket leder till högre elpriser. Detta argument talar mot kärnkraft, som egentligen inte behöver ha lägre volatilitet i drifttid, men som enligt de stora talens lag kräver en större överkapacitet.



Figur 4. Simulerat antal avstängda vindkraftverk av totalt 100 (röda staplar) respektive 200 (blå staplar) vid 10 måttillfällen.

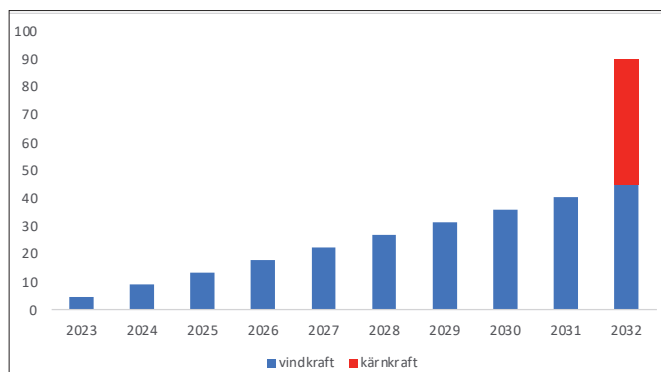
Nybyggnadsvolatilitet

Volatilitet hos priset beror på tillgång och efterfrågan. När det gäller tillgång används i första hand det billigaste sättet att producera elektricitet.

Elenergislag	öre/kWh
Vindkraft på land	32
Solenergi i solparker	43
Kraftvärmeverk	52
Vindkraft till havs	53
Kärnkraft	56
Solenergi i villa	79

Branschorganet Energiforsk gjorde 2021 en utredning om vad genomsnittskostnaderna skulle bli för olika elproduktionsanläggningar över en livscykel. Enligt tabellen fann Energiforsk att vindkraft på land och solparker ger billigast elproduktion medan kärnkraft är dyrare. Möjligen förvånar det att solenergi på villa har högst livscykelkostnad av dessa. Att det ändå lönar sig beror på att den elektricitet man producerar åt sig själv inte behöver gå över elnätet (ingen elnätsskatt) och är momsbefriad. Den el man säljer ut på nätet måste dock betala båda dessa skatter.

En sista jämförelse är utbyggnadstakten av småskalig produktion, exempelvis vindkraft, som nu är drygt 4,5 TWh per år, vilket motsvarar en halv ny kärnkraftsreaktor per år. Figur 5 simulerar detta under tio år och då blir det en linjär ökning av elproduktion motsvarande fem kärnkraftverk. Om vi bums sätter igång med att bygga fem kärnkraftverk och blir färdiga om tio år, så betyder det att ökningstakten i elproduktion är noll ända tills det kommer en "ketchup-effekt" det tionde året.



Figur 5. Simulerat tillskott i elproduktion för utbyggnad av vindkraft + kärnkraft under tio år (beräknat i TWh).

Om utbudet plötsligt ökar mycket snabbare än efterfrågan riskerar det att sänka priset och därmed göra kraftverken olönsamma under några år. Det extrema alternativet att satsa enbart på 45 TWh kärnkraft med produktionsstart om tio år istället för att linjärt öka vindkraft redan från år 1 riskerar även att skjuta upp fossilfri elproduktion under tio år. Det behövs inte särskilt mycket fantasi för att inse att det vore mycket olämpligt för såväl miljö som eltillgång för näringsliv och hushåll samt att det bidrar till ekonomisk osäkerhet.

Vilka slutsatser kan dras som underlag för politiska beslut?

En slutsats av dessa förenklade modeller för volatilitet visar att kärnkraften visserligen har lägre volatilitet under de kalla månaderna när de vanligen producerar el med full kapacitet men att det också blir dyrare el. El från kärnkraft ger alltså en något jämnare tillgång till el och därmed lägre volatilitet på priset men samtidigt en högre genomsnittskostnad.

Mycket förenklat kan man säga att hög andel kärnkraft motsvarar högre fastpris och hög andel vindkraft motsvarar genomsnittligt lägre men rörligt pris. Samtidigt är det också så att så länge vi vill kunna importera och exportera el till kontinenten – och i genomsnitt tjäna pengar på det – så betyder marknadskrafterna förmodligen ännu mer för priset.

KÄLLOR

Energiforsk 2021:

energiforsk.se/media/30970/el-fra-n-nya-anlaggningar-energiforskrapport-2021-714.pdf

Timpris per elområde:

www.vattenfall.se/elavtal/elpriser/timpris/

SCB Elproduktion:

www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__EN__EN0108__EN0108A/Elprod/

Månssons mannar

Universums konstanter



Månsson