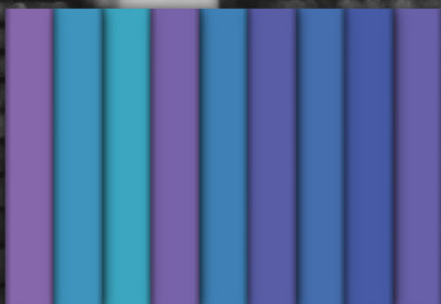


2014



**PERSPEKTIV PÅ
FÖRNYBAR EL**

CHALMERS

PERSPEKTIV PÅ FÖRNYBAR EL

2014

Redaktörer
Björn Sandén & Mikael Odenberger

Göteborg 2014

Version 1.1

E-publicerad på:

http://www.chalmers.se/sv/styrkeomraden/energi/perspektiv_ny_teknik/

Layout: BOID

Publicerad av: Chalmers

ISBN 978-91-980974-3-6

FÖRORD

MÖJLIGHETER OCH UTMANINGAR MED PRODUKTION OCH ANVÄNDNING AV EL FRÅN FÖRNYBARA ENERGIKÄLLOR

El driver en ökande mängd mänskliga aktiviteter och har utvecklats till industrisamhällets livsnerv. Trots energieffektiviserande åtgärder kommer den globala efterfrågan på elkraft sannolikt att fortsätta att växa i årtionden framöver. I sig är el en ren och lättanvänd energibärare, men produktionen av elenergi från icke-förnybara energikällor leder till klimatförändringar och miljöproblem och skapar inte sällan sociala och politiska dilemman. En radikal omställning till förnybar elkraft är därför önskvärd.

Omställningen till förnybar elenergi är dock inte problemfri. Det finns många frågor som kräver svar: Finns det tillräckligt med förnybar energi för att ersätta alla icke-förnybara energikällor? Vilken miljöpåverkan har produktion och användning av nya typer av kraftverk? Hur balanseras tillgång och efterfrågan när solen inte lyser och vinden inte blåser? Vad krävs av beslutsfattare och investerare för att en storskalig expansion av den nya tekniken skall komma till stånd och hur genomförs förändring om etablerade maktstrukturer hotas av det nya som vill in?

Det saknas slutgiltiga svar på dessa och andra viktiga frågor. Men om vi studerar förnybar el från olika perspektiv kan vi berika bilden, döda myter, klargöra konflikter och fördjupa förståelsen.

Perspektiv på förnybar el är en levande e-bok med årliga uppdateringar. Du kanske också vill läsa böckerna [Perspektiv på eldrivna fordon](#) och [Perspektiv på förädling av bioråvara](#).

Björn Sandén
Mikael Odenberger
Göteborg

INNEHÅLL

1. FRAMTIDEN FÖR FÖRNYBAR ELPRODUKTION	6
2. ÄNDRADE FÖRUTSÄTTNINGAR MED FÖRNYBAR ELKRAFT	8
3. ÄR DE FÖRNYBARA RESURSERNA STORA NOG?	10
4. TEKNOLOGIER FÖR FÖRNYELSEBAR ELPRODUKTION	12
5. NÄT OCH ELENERGILAGER	14
6. MILJÖBEDÖMNING AV FÖRNYBAR ELPRODUKTION ...	16
7. ENERGIBALANS OCH KLIMATPÅVERKAN – EN LITEN INVESTERING GER STOR EFFEKT.....	18
8. SKADAR MARIN ELPRODUKTION HAVENS EKOSYSTEM?.....	20
9. UTMANINGAR MED EN ÖKAD ANDEL EL FRÅN SOL OCH VIND I ELNÄTET.....	21
10. KAN ELANVÄNDNINGEN ANPASSAS TILL VARIERANDE ELPRODUKTION?.....	23
11. SAMSPelet MELLAN TERMISK PRODUKTION OCH INTERMITTENT PRODUKTION	24
12. NYTTIGGÖRANDE AV ÖVERSKOTTSEL: FALLET ELEKTROBRÄNSLEN.....	26
13. HUR MÖTER ELBOLAGEN UTMANINGEN FRÅN FÖRNYBAR EL?	28
14. OM KOSTNADSDISKUSSIONEN – HAR VI ”RÅD MED” FÖRNYBAR EL?	29
15. VARFÖR EN STRATEGI FÖR HAVSBASERAD VINDKRAFT?.....	30
16. BEHOV AV INVESTERINGAR OCH KOMPETENS – EXEMPLET HAVSBASERAD VIND	31

1

FRAMTIDEN FÖR FÖRNYBAR ELPRODUKTION

Björn Sandén

Institution för Energi och miljö, Chalmers*

*Avdelning för miljösystemanalys

Elektricitet är en mycket viktig, kanske den allra viktigaste, energiformen i dagens samhälle. Elen får industrins motorer att snurra, lyser upp i mörkret och värmer och kyler våra hus och vår mat. Elen driver datorer och kommunikationsutrustning som förändrar näringsliv och relationer över hela världen och snart står även transporterna inför en omfattande elektrifiering.

Elkonsumtionen i världen har under de senaste tjugo åren ökat med ungefär tre procent per år, vilket betyder nästan en fördubbling över samma period. Det är troligt att den globala elkonsumtionen fortsätter att öka de närmsta årtiondena till följd av ökad befolkningsmängd, ekonomisk tillväxt och att el ersätter andra energibärare.

Användning av el ger i sig inga utsläpp av vare sig giftiga ämnen eller växthusgaser, men elen måste produceras på något sätt. Elproduktionen i världen är idag till 80 procent baserad på fossila bränslen och kärnkraft. Runt dessa tekniker hopar sig en lång rad problem relaterade till miljö och global säkerhet. Detta skapar en stark drivkraft att öka andelen av, eller helt gå över till, el från förnybara energikällor.

Produktion av el från förnybar energi är inte heller den helt problemfri. Olika förnybara resurser har olika stor potential och tillgången varierar både i tiden och mellan olika platser. Utnyttjandet av olika resurser kan påverka naturen och konkurrera med andra intressen. Produktionen av de kraftverk som behövs skulle kunna leda till nya miljö- och resursproblem. Till detta kan läggas problem som har med omställningen att göra. Sol- och vindkraft ställer nya krav på elsystemet. Etablerade aktörer försvarar sina positioner och gamla tankestrukturer förändras

långsamt. En central fråga är hur olika aktörer, inklusive det politiska systemet, kan stödja en omställning till förnybar elproduktion som både är snabb och långsiktigt hållbar.

Den här boken, som bygger på en längre engelsk version, är tänkt som en populärvetenskaplig orientering kring vad en övergång till ett elsystem baserat på förnybar el skulle kunna innebära. Boken spänner över områden som resurstillgång (kapitel 3), teknik för elproduktion och lagring (kapitel 4 och 5) och miljöeffekter (kapitel 6-8). Vidare diskuteras frågor kring hur energibalansen kan gå ihop på olika tidskalor (kapitel 9-12), hur etablerade aktörer i energibranschen och det politiska systemet har hanterat och skulle kunna hantera en omställning (kapitel 13-15), och slutligen vilka krav som ställs på kompetensförsörjning och finansiella investeringar när förnybar elproduktion skall byggas ut på stor skala (kapitel 16).

2

ÄNDRADE FÖRUTSÄTTNINGAR MED FÖRNYBAR ELKRAFT

Tomas Kåberger

Institution för Energi och miljö, Chalmers*

*Avdelning för fysisk resursteori

Under slutet på 1900-talet var vi många som argumenterade för att förnybar energi för elproduktion skulle i framtiden ge den billigaste elen. För sol- och vindenergi är bränslekostnaden noll, och driften borde också vara billigare eftersom solceller inte har några rörliga, mekaniska anordningar och vindkraftverk bara hade turbin och generator, inte de system för bränslehantering och vattenkokning som fossileldade anläggningar eller kärnreaktorer har.

Det som då saknades var den industriella erfarenhet som successivt sänker kostnader i de flesta branscher.

Danmark, och senare USA, Tyskland, Spanien och Kina har betalat uppbyggnaden av vindkraftsindustrin. Japan, Tyskland och sedan Kina har stått för kostnaderna för solcellsindustrins erfarenhetsuppbyggnad och kostnadssänkningar. Dessa länders satsningar har gjort att sol och vind nu nått konkurrenskraft.

Utvecklingen kan fördröjas, olika lagstiftningar kommer att avgöra vilka länder som effektivast och snabbast utnyttjar den nya tekniken. Men förnybar energi kommer att ta över stora delar av världens energiförsörjning under de närmaste decennierna. Då kommer vi att uppleva perioder när överskott på el utan marginalkostnader ger tillgång på gratis el. Men, när det är mörkt och vindstilla, blir det istället högt värde på el. Då kommer vattenkraftverk, biobränsleverk eller fossileldade verk kunna tjäna pengar.

Men det finns andra sätt att hantera variationer i tillgången på billig förnybar el: (1) Att använda informationsteknik för att styra användningen av el till de stunder då

det är god tillgång med lågt pris (tex smart styrning av varmvattenberedning eller luftkonditionering lagrad som is) och att undvika att använda dyr el. (2) Att lagra el från när den är billig till de timmar när den är som dyrast med batteriteknik eller andra ellager, och (3) elöverföring som blir mer lönsam då det finns en geografisk spridning och variation i tiden i tillgång på el till låg kostnad.

Informationsteknikens utveckling de senaste decennierna har underlättat utvecklingen. Det har också den utveckling av elkablar för överföring vid höga spänningar som utvecklats i Sverige och Kina för att minska förlusterna. Slutligen har de allra senaste årens utveckling av elbilar drivit fram batterier med lägre kostnader som kan göra lokala elsystem med batterilagring till konkurrenskraftiga alternativ till att köpa el från nationella elnät.

När de största kraftverken gav billigast el blev världens elsystem i allmänhet monopol under statlig reglering. Små elverk med förnybar energi kan nu konkurrera ut stora kol- och kärnkraftverk. Det har gjort det möjligt att öppna elnäten för handel med el i konkurrens.

När förnybar energi blivit tillgänglig med en marginalkostnad som är nästan noll har gamla principer för uppbyggnaden av elproduktionssystem också blivit irrelevanta. Tidigare byggdes "baskraftverk" med de billigaste bränslena, som kol och uran, för att producera året om och knappt täcka den minsta förväntade konsumtionen (typiskt det elbehov som finns under nätterna den varmare delen av året). Dessutom byggdes "topplast" elverk, förhållandevis billiga att bygga men på grund av exempelvis dyrt bränsle dyra att köra, för att producera den extra el som behövdes för att i varje stund balansera den varierande konsumtionen med produktionen.

Nu kan konsumtionen styras av vad elen kostar. Gamla "baskraftverk" konkurreras ut av förnybar el. Tillsammans kommer utvecklingen av teknik och marknad att ge världen ett effektivare elsystem vars låga kostnader ger möjlighet för hela världen att få en god levnadsstandard utan att förstöra för kommande generationer. De följande kapitlen handlar om hur man kan förverkliga dessa möjligheter.

3

ÄR DE FÖRNYBARA RESURSERNA STORA NOG?

Björn Sandén
Linus Hammar
Fredrik Hedenus

Institution för Energi och miljö, Chalmers*

*Avdelning för miljösystemanalys (B. Sandén, L.Hammar), Avdelning för fysisk resursteori (F. Hedenus)

Är det förnybara energiflödena stora nog för att ersätta all annan energitillförsel i världen, all fossil energi och kärnkraft, och till och med öppna för ökad energianvändning? Finns det verkligen tillräckligt med sol, vindar och vattenkraft i världen för att förse tio miljarder människor med lika mycket energi som en genomsnittlig svensk använder idag? Vårt korta svar på den frågan är ja.

Att ha en känsla för potentialer är nödvändigt om man vill förstå vilken framtida utveckling som är möjlig, trolig och önskvärd. Men diskussioner om framtiden blir ofta förvirrade därför att man blandar ihop potentialer som utgår från olika sorters begränsningar. Vissa potentialer begränsas av naturlagar och fysiska flöden, andra av tekniska möjligheter, ekonomiska antaganden om kostnader och betalningsvilja eller uppskattningar av miljöpåverkan och funderingar kring social acceptans. Det är uppenbart att en del begränsningar som naturlagar och fysiska flöden är fasta och står sig över tid (om de är rätt uppskattade), medan andra, som ekonomiska förutsättningar, snabbt kan ändras. När potentialer diskuteras bör därför alltid fråga sig vad som egentligen avses.

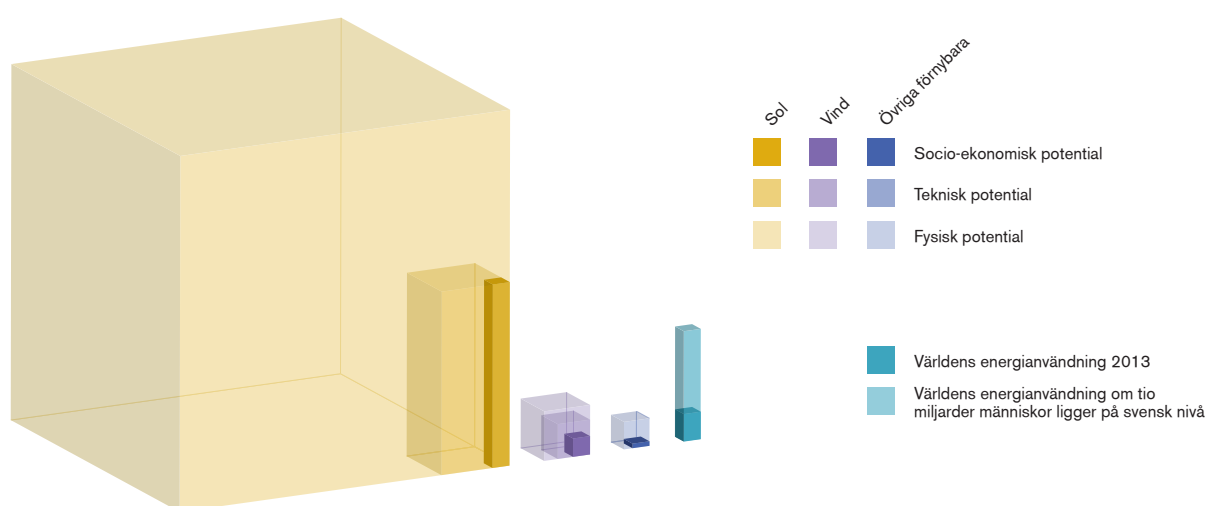
Här har vi gjort ett försök att gå igenom befintlig vetenskaplig litteratur och uppskatta vad vi valt att kalla "fysiska", "tekniska" och "socio-ekonomiska" resurspotentialer för flödande förnybara energikällor. I den fysiska potentialen ingår hela det energiflöde som i teorin skulle kunna konverteras till el vid jordens yta. I den tekniska potentialen avgränsar vi oss till den typ av områden där resursen idag utnyttjas och till dagens verkningsgrader. I den socio-ekonomiska potentialen gör vi en rimlighetsbedömning av hur stora områden som skulle kunna tänkas tas i bruk med hänsyn till konkurrerande intressen. Energiflödena härrör ursprungligen från solinstrålning, värmeflöden från jorden inre och gravitationskrafter (tidvatten). En

liten del av solenergin lagras tillfälligt i växter. Potentialen för denna "bioenergi" tas upp i boken Perspektiv på förädling av bioråvara.

Figur 3.1 illustrerar storleken på dessa potentialer i förhållande till världens samlade efterfrågan på energi. 2013 var världens totala energianvändning 150 000 TWh (den lilla turkosa kuben). Elkonsumtionen var 23 000 TWh. Om världsbefolkningen växte till tio miljarder och om dessa använde lika mycket energi (dvs. all energi inte bara el) som en svensk gör idag skulle energitillförseln fyrdubblas till 600 000 TWh.

Den fysiska solelpotentialen (den stora gula kuben) är 720 000 000 TWh per år, eller nästan 5000 gånger större än dagens energianvändning. Vår bedömning av en rimlig socio-ekonomisk solelpotential (den smala gula stapeln) är 1 000 000 TWh per år vilken därmed överskrider världens energianvändning även om den skulle fyrdubblas. Vi uppskattar att en övre gräns för vindkraftens socio-ekonomiska potential ligger runt 100 000 TWh per år. Den samlade socioekonomiska potentialen för el från övriga förnybara energiflöden, dvs. vatten-, våg-, ström- och tidvattenkraft, geotermisk kraft och el från salt- och temperaturgradienter, uppskattar vi till 10 000 TWh per år. Merparten av detta utgörs av vattenkraft varav ungefär hälften redan utnyttjas.

Solenergin är relativt jämnt fördelad över jordklotets yta och kan utvinnas överallt. Även vindresursen är ganska utspridd, medan övriga energikällor är koncentrerade till vissa områden. Detta gör att dessa kan ha stor lokal betydelse, som vattenkraften i Sverige och den geotermiska energin på Island, även om de i ett globalt perspektiv är små i förhållande till sol och vind. Ett problem med sol- och vindresurserna är att de varierar över dygnet och året. Eftersom de andra förnybara energiflödena varierar på ett annat sätt, ibland mer förutsägbart och ibland, som i vattenkraftens fall, även reglerbart, kan de utgöra viktiga komplement i elsystemet.



Figur 3.1 Hur stora är resurserna? Tre typer av potentialuppskattningar för el från solenergi, vindenergi och övriga förnybara energiflöden jämförda med världens energianvändning 2013 och om tio miljarder människor skulle använda lika mycket som en svensk gör idag.

4

TEKNOLOGIER FÖR FÖRNYELSEBAR ELPRODUKTION

Ola Carlson
Linus Hammar
Zachary Norwood
Emil Nyholm

Institution Energi och miljö, Chalmers*

* Avdelningen för elteknik (O. Carlson), Avdelningen för miljösystemanalys (L. Hammar),
Avdelningen för energiteknik (Z. Norwood, E. Nyholm)

Alla förnyelsebara energikällor har solen som sitt ursprung och omvandlingen till elenergi kan vara direkt eller ha flera steg innan vi som människor kan använda elenergin. Den direkta sol- till elomvandlingen sker i solceller, dessa kan vara av flera olika typer, de vanligaste i dag är poly- eller mono-kristallina celler. Solcellerna kan placeras nära användaren, på hustak eller väggar. Cellerna ger ifrån sig en likström som måste omvandlas till växelström om elenergin skall matas ut på elnätet. Detta är den vanligaste formen av användning. Solceller används också på många avlägsna platser som inte har något stort elnät i sin omgivning. Då är elsystemet ofta ett likströmsnät. Solcellerna kan också placeras i stora grupper om flera tusen solcellspaneler och då blir den sammanlagda effekten stor och jämförbar med stora kraftverk (MW-GW). Solens strålar kan också fångas upp av solfångare som tar till vara värmen i strålarna, det kan vara mindre anläggningar som värmer vatten till ett bostadshus eller större anläggningar på många MW (kraftverksskala) som med hjälp av solvärmen skapar ånga till en turbin som i sin tur driver en generator. Summerat över hela världen är den totala elproduktionen från solen över 150 TWh vilket är jämförbart med Sveriges total elproduktion på ett år.

Solen värmer på jordens yta och det skapas vindar, dessa vindar kan fångas upp av vindkraftverk som omvandlar vindens rörelseenergi till elenergi. Utvecklingen av de moderna vindkraftverken har givet att de flesta vindkraftverk har en turbin med tre blad och en generator som är ansluten till elnätet med hjälp av kraftelektronisk utrustning. Vindkraftverken placeras lämpligen där det blåser mycket, i Europa är det den nordvästra delen som är blåsigast. Sedan 1980-talet har ett typiskt vindkraftverk vuxit från ett 10-tal kW till flera MW idag. 8 MW är det största vindkraftverket i drift (2014) men på ritbordet finns så stora som 20-MW:are. Bladen är upp

till 80 m långa och tornen över 100m höga. De flesta vindkraftverken är placerade på land och den stora elproduktionen kommer från grupper med 100-tals vindkraftverk, havsplacering blir allt vanligare och potentialen är enorm. Den samlade elproduktionen världen över av elenergi från vind var 2013 500 TWh.

Solen som värmer jordytan skapar också avdunstning av vatten som stiger upp och skapar regn, då regnet faller på höga landområden skapas sjöar, floder och forsar. Vattnet på hög höjd kan ledas till vattenkraftverk som omvandlar vattnets lägesenergi till elenergi. Vattenkraften i Europa och Nordamerika är utbyggd så mycket som är ekonomiskt och naturmässigt försvarbart, i övriga världen finns en potential att bygga mer kraftverk. Den totala elproduktionen från Vattenkraft är 3700 TWh, vilket motsvara 16 % av världens elbehov.

Att utvinna elkraft från tidvatten är i dag en begränsad företeelse, det finns ett fåtal fast vattenkraftverk som använder tidvattnets nivåskillnader för elproduktion. Vidare pågår försök att utvinna elkraft ur strömmande vatten. Strömmarna kommer från tidvatten eller havsströmmarna i haven. Exempel på kraftverk för strömmande vatten är av typen vindkraftverk som står under vattnet eller ett kraftverk som liknar ett äldre flygplan som flyger i vattnet med en fast punkt på havsbotten och vars turbin sitter där propellern sitt på gamla flygplan.

Vinden som blåser över en vattenyta skapar vågor, stora vid stormar och mindre vid låga vindhastigheter. Det finns hundratals olika förslag på maskiner som omvandlar vågornas energi till elkraft, dock har inget typiskt vågkraftverk utkristalliserat sig i dagsläget. Det finns några prototyper som provas i kontinuerlig drift.

Sammantaget kan det konstateras att det finns bra teknik som fungerar mycket pålitligt med att omvandla naturens förnyelsebara krafter till elkraft. Potentialen är enorm, fast det kräver mycket investeringar och mer utvecklingsarbete innan all elkraft kommer från förnyelsebara energikällor.

5

NÄT OCH ELENERGILAGER

Jimmy Ehnberg

Yujing Liu

Maria Grahm

Institutionen för Energi och miljö, Chalmers*

* Avdelningen för elteknik (J. Ehnberg, Y. Liu), Avdelningen för fysisk resursteori (M. Grahm)

Jämfört med andra konsumtionsvaror är el speciellt. I varje tidpunkt måste tillgången på el och elen som används vara i balans, s.k. effektbalans. Elproduktion där naturen bestämmer produktionsmönstret ställer nya krav på elnätet att balansera fluktuerande energikällor som t.ex. vind och sol. Idag är elnätet ofta uppbyggd från få stora produktionskällor (ex. kärnkraftverk) medan i framtiden kommer de att behöva hantera många små geografiskt väl spridda produktionskällor (ex. vindkraftturbiner). För att hantera många små källor behöver man antingen kraftigt bygga ut dagens elnät eller använda det befintliga nätet mer effektivt. Ett sätt att minska behovet av ett utbyggt elnät är att installera elenergilagrar. I framtiden kommer det att behövas en bred blandning av lagringstekniker för att möta kraven för ett fungerande elnät, t.ex. jämn och säker tillgång på el. Kostnaderna för de olika teknologierna varierar kraftigt men också deras användningsområde. I figur 1 beskrivs teknologiernas lämpliga arbetsområde med hänsyn till tekniska begränsningar, ekonomi och krav på rätt geografiska förutsättningar.

Det kommer att behövas lagring som gör det möjligt att producera el vid ett tillfälle för att konsumeras vid ett senare och för att minska hård belastningen på elledningar under vissa timmar på året, det vill säga hantera effektbalansen. Det kommer också att finnas behov för andra mer eller mindre kompakt lagring på lokal nivå t.ex. bostadsområde eller för att lagra energi under kortare tid som en sekund eller mindre. Nedan följer exempel på lagringsteknologier för längre och kortare behov som idag är möjliga att använda.

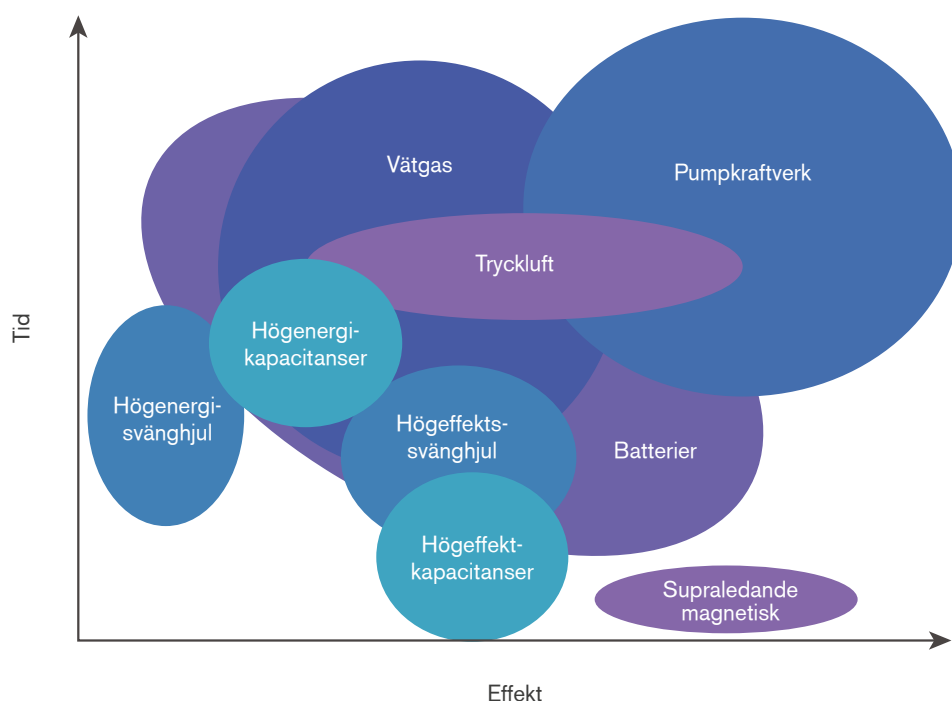
För längre lagringsbehov används pumpvattenkraftverk, turbiner drivna av komprimerad luft och vätgas. Dessa kan leverera mycket effekt under lång tid men är mycket stora och kostsamma att bygga. Pumpkraftverk lagrar potentiell energi genom att pumpa upp vatten (ex. från en sjö i en dalgång till en högre belägen fjällsjö). El får man sedan tillbaka då vattnet faller ner genom en turbin. Tekniken är lämpligast för stora installationer med stora vattendammar som har stor nivåskillnad. Av den el man måste använda för att pumpa upp vattnet till den högre höjden kan man vid senare tillfälle få tillbaka el med en total effektivitet på ca 60-75%.

Tryckluftlagring är en annan lagringsteknik som använder potentiell energi i luften genom att komprimera luft för lagring. När behovet av el ökar används trycksänkningen från den komprimerade luften att driva en turbin. Teknikens effektivitet är ca 60 – 75 %. Teknikens nackdel är att det kräver stora behållare. Man diskuterar om det är möjligt att exempelvis använda nedlagda gruvor som lagringsplats. Lagring av energi med hjälp av vätgasteknik innebär att energin lagras kemiskt. Genom att spjälka vatten med hjälp av elektrolys (driven av el) till bland annat vätgas (även syrgas) som sedan kan användas som bränsle i bränsleceller eller gasturbiner när man vill ha tillbaka elen. Teknikens effektivitet är mellan 60 – 70 %.

För kortare lagringsperioder används t.ex. batterier och svänghjul. Batterier lagrar kemisk energi och avger el (laddar ur) vid behov. Det finns många olika typer av batterier för olika ändamål bl.a. el-bilar. Den totala effektiviteten varierar mellan 50 – 92 % och det är stor spridning på priset för olika batterityper. I svänghjul lagras energi genom rotationsenergi (kinetisk energi) genom att accelerera ett tungt hjul med en elmotor. Hjulet driver vid ett senare tillfälle en generator som producerar el när elen behövs. Teknikens effektivitet är 80 – 85 %.

Två tekniker som kan spela roll i framtiden är supraledande magnetisk lagring och lagring med superkapacitans. I ett supraledande magnetiskt lager laddas en spole upp med ett extremt starkt magnetfält som vid ett senare tillfälle kan konverteras tillbaka till el. Total effektivitet är upp till 95 % men det är en mycket dyr, teknisk komplicerad och fortfarande under utveckling.

Superkapacitans lagring innebär att ett starkt elektriskt fält byggs upp som sedan kan ge tillbaka elen. Total effektivitet är mellan 70 - 80 % men även denna teknik är under utveckling.



Figur 5.1 Praktisk urladdningstid och kapacitet för olika lagringsteknologier. Figuren är endast indicativ. Tidskalan är logaritmisk från sekunder till månader medan effektskalan är logaritmisk från kW till GW.

6

MILJÖBEDÖMNING AV FÖRNYBAR ELPRODUKTION

Sverker Molander
Rickard Arvidsson

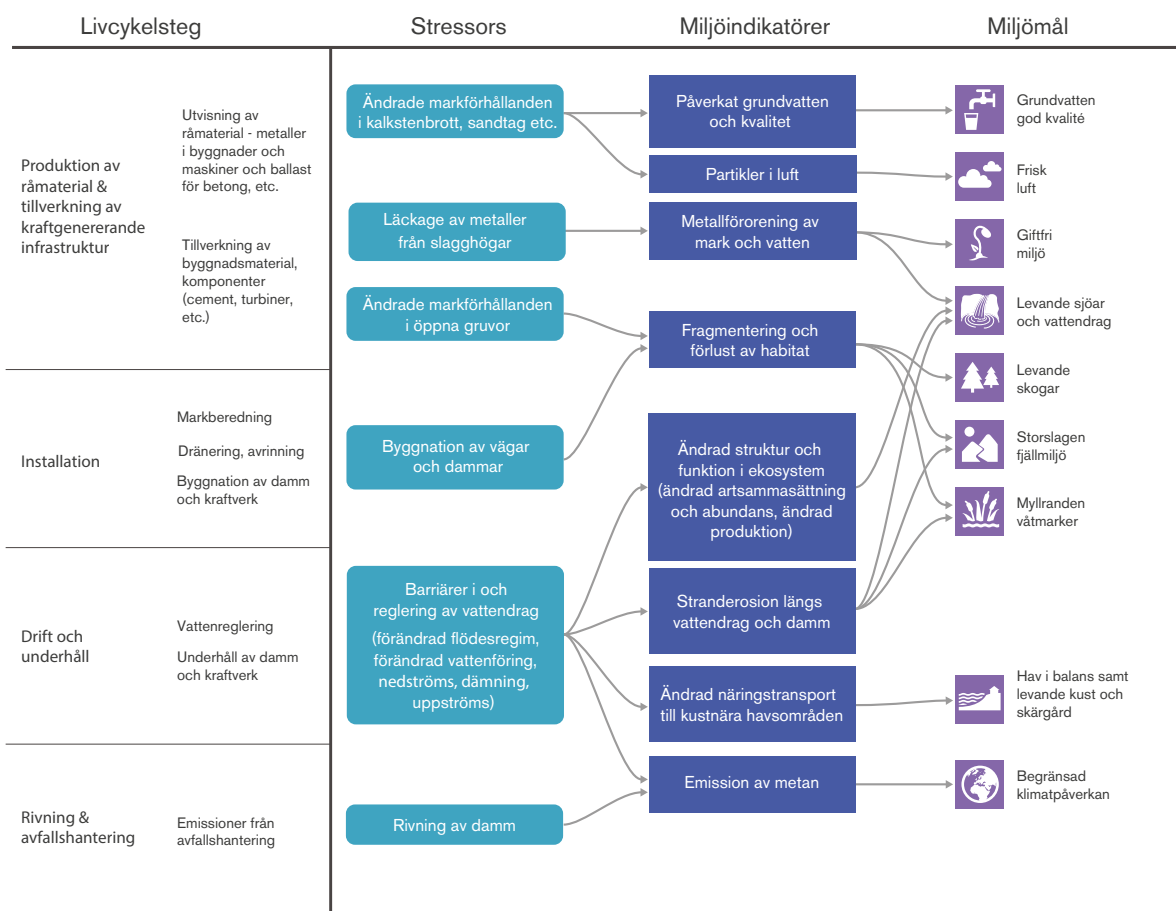
Institutionen för Energi och miljö, Chalmers*

* Avdelningen för miljösystemanalys

Rent intuitivt kan man tycka att förnybar energi alltid är "miljöbra". Men det finns ingen elproduktion som är helt utan miljöpåverkan. Däremot skiljer sig olika förnybara elenergikällor åt på flera sätt när det gäller deras miljöpåverkan - vattenkraft kan innebära att stora arealer däms upp, vindkraft att körvägar tar skogsmark i anspråk. Men de förnybara energikällorna har alla den stora gemensamma skillnaden gentemot fossilbaserade energikällor att de inte alls eller mycket lite bidrar till växthuseffekten och klimatförändringen.

Att göra rättvisande jämförelser mellan olika förnybara energikällor blir på grund av olikheterna en ganska svår metodfråga och det är omöjligt att hitta ett enda mått som kan fånga in de olika energikällornas skillnader i en enda jämförelse mellan ett par olika siffror. En viktig orsak till detta är att de förnybara elenergikällorna ofta utnyttjar en platsspecifik naturresurs - ett specifikt vattenfall i ett enskilt vattendrag, en speciell lokalisering av ett vindkraftverk - och att den inverkan som energiutvinningen orsakar ger så olika effekter i ekosystemen. Vattenkraftsdammar kan vara vandringshinder för fiskar, vindkraftverk kan utgöra kollisionsrisker för fåglar och fladdermöss. Det är dessutom svårt att jämföra påverkan på en fiskpopulation med den yta skogsmark som tagits i anspråk för en körväg till ett vindkraftverk. Försök att göra jämförelser med hjälp av enkla indikatorer tar inte hänsyn till den komplexitet som finns i de ekosystem som utnyttjas.

För att försöka beskriva de skillnader som finns mellan olika energisystem behövs ett flexibelt och rymligt ramverk. Ett sådant kan man konstruera genom att kombinera livscykelräkningar med miljörisikanalysens förenklade orsak-verkan-kedjor. I figuren nedan har vi exemplifierat hur det kan se ut för storskalig vattenkraft, den energikälla som levererar 40-45% av Sveriges elkraft.



Figur 6.1 Tillämpning av ett ramverk för analys av miljöpåverkan där exemplet utgörs av vattenkraftverk med damm. Det använda ramverket är baserat på livscykeltänkande och miljöriskanalys, där påverkan på, i det här fallet, de svenska miljömålen utgör ändpunkterna för de miljömässiga orsak-verkan-kedjor som påbörjas av åtgärder och verksamheter under olika livscykelsteg i vatten. Längs orsak-verkan-kedjorna kan olika mätbara miljöeffekter identifieras som i sin tur har bäring på de svenska miljömålen.

7

ENERGIBALANS OCH KLIMATPÅVERKAN – EN LITEN INVESTERING GER STOR EFFEKT

Björn Sandén

Institution för Energi och miljö, Chalmers*

Anders Arvesen

Norwegian University of Science and Technology

**Avdelning för miljösystemanalys*

Ett syfte med att öka elproduktionen från förnybara energikällor är att undvika utsläpp av växthusgaser, men hur stora utsläpp sker vid tillverkning av de kraftverk som behövs för att omvandla energiflödena till el? En relaterad fråga är hur mycket energi som krävs vid tillverkning i jämförelse med hur mycket energi man får tillbaka under anläggningarnas livstid.

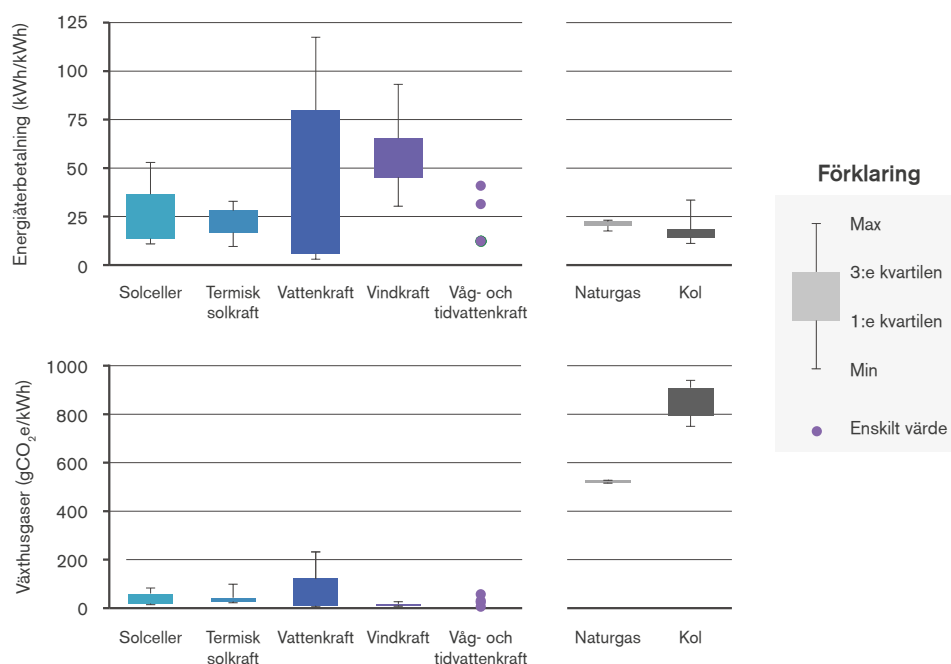
En nyligen genomförd översikt utförd på uppdrag av UNEP (FNs miljöavdelning) visar att en energiinvestering i förnybar elproduktion ger en minst lika stor återbetalning av energi som en investering i kol eller naturgas. Figur 7.1 visar att produktionen av förnybar el under kraftverkens livstid typiskt är 15-60 gånger större än den energiinvestering som krävs för produktion och avfallshantering av kraftverken. Det innebär att även om man använder fossila bränslen för att producera kraftverken så blir utsläppen under hela kraftverkets livscykel, d.v.s. under tillverkning, användning och skrotning, betydligt lägre för solceller, termisk solkraft, vattenkraft, vindkraft, och våg- och tidvattenkraft än för kol och naturgas (Figur 7.1).

Hur stora utsläppen av växthusgaser kan antas bli i tillverkningen beror på det omgivande industrisystemet och i synnerhet på vilken sorts energi som används. Om producenten av ett vindkraftverk köper el från kolkraft och stål från ineffektiva stålverk blir utsläppen högre. Vid en övergång till mer förnybar energi skulle utsläppen vid tillverkningen av kraftverken minska. Ett vindkraftverk som tillverkas med el från vindkraft skulle ge upphov till mindre än hälften så mycket utsläpp som ett vindkraftverk som tillverkas med el från kolkraft. Om utsläppen vid transporter och utvinning och bearbetning av metaller och andra material också skulle minska, reduceras vindkraftverkets klimatpåverkan ytterligare.

Även om energiåterbetalningen i dagsläget inte är något större problem har det inte alltid varit så. I början av 1970-talet gav solceller inget eller mycket litet överskott, medan de idag ger en elproduktion som under livstiden är ca 15-30 gånger större än investeringen. Det beror på att större produktionsvolymerna gett möjlighet till effektivare processer och man över tid har lärt sig hur man kan effektivisera produktionen och höja verkningsgraden.

Medan teknik- och processutveckling leder till ökad energiåterbetalning, kan resursbegränsningar verka i motsatt riktning. Om man tvingas söka sig till mindre lämpliga platser kan energibalansen försämras. För sol är detta inte av stor betydelse eftersom solenergin finns överallt och skillnaden från plats till plats är relativt liten. För geografiskt mer begränsade energislager kan det ha större betydelse. Den stora spridningen för vattenkraftens värden på energiåterbetalning i Figur 7.1 illustrerar skillnaden mellan vattenkraftdammar i gynnsamma och ogynnsamma lägen. Om man i högre utsträckning tvingas söka sig till ogynnsamma lägen på grund av att de bästa platserna redan är exploaterade försämrar energiutbytet. För vindkraft till havs är trenden tvetydig. Elproduktionen ökar tack vare starkare vindar än på land, men samtidigt krävs större investeringar i kraftverk, kablar och underhåll på grund av den besvärligare miljön och de längre avstånden till platser där elen används.

Vår slutsats är att i alla normala tillämpningar är koldioxidutsläppen från förnybar elproduktion mycket lägre än för fossila bränslen och energiutbytet är idag inte ett större problem för förnybar energi än det är för fossilbaserad elproduktion. I design av enskilda anläggningar kan det vara en faktor att ta hänsyn till men det har ingen avgörande betydelse för möjligheten att kraftigt öka tillförseln av förnybar el i världen. En liten energiinvestering ger mångfalt tillbaka.



Figur 7.1 Energiåterbetalning, dvs. elproduktion dividerat med energiinvestering vid tillverkning, underhåll och skrotning av anläggningen (övre), och utsläpp av växthusgaser under livscykeln (nedre).

8

SKADAR MARIN ELPRODUKTION HAVENS EKOSYSTEM?

Kapitlet finns tyvärr inte på svenska ännu. Läs den engelska versionen [Systems Perspectives on Renewable Power](#) på Chalmers hemsida.

9

UTMANINGAR MED EN ÖKAD ANDEL EL FRÅN SOL OCH VIND I ELNÄTET

David Steen

Joel Goop

Lisa Göransson

Shemsedin Nursebo

Institutionen för Energi och miljö, Chalmers*

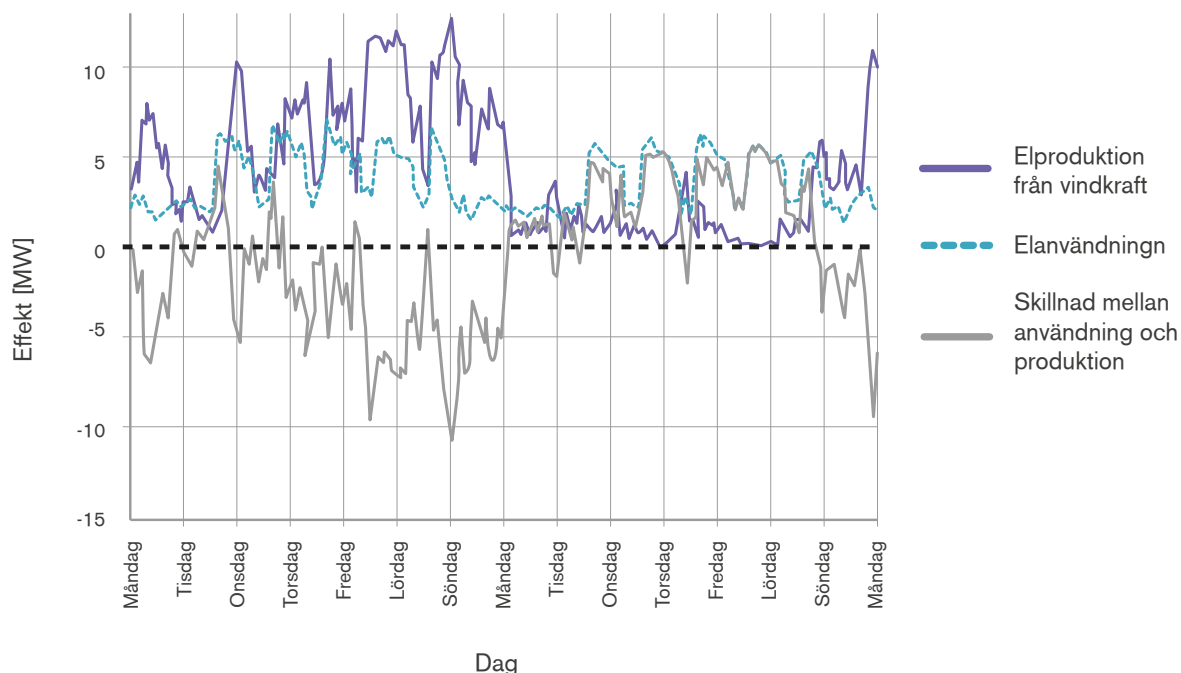
Magnus Brolin

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

*Avdelningen för elteknik (D. Steen, S. Nursebo), Avdelningen för energiteknik (J. Goop, L. Göransson)

Elproduktionen från vind- och solkraft har ökat kraftigt under de senaste tio åren och utvecklingen förväntas fortsätta. Utbyggnaden av dessa förnybara kraftslag innebär stora utmaningar för vårt elnät, som till stor del byggdes under en tid då elförsörjningen såg helt annorlunda ut. De största utmaningarna ligger i att produktionen av el från sol och vind varierar med vädret samt att produktionsanläggningarnas placering skiljer sig från placeringen av traditionella kraftverk. Tekniskt sett finns det inga begränsningar för hur mycket vind- och solex som kan integreras. En storskalig utbyggnad kommer dock leda till nya förhållanden som elnätet måste anpassas till.

Elnätet kan förenklat delas in i transmissionsnät och distributionsnät, där transmissionsnätet ansvarar för att förflytta stora mängder el över långa avstånd, t.ex. från vattenkraftverken i norra Sverige till konsumenterna i söder. Distributionsnätets uppgift är att fördela ut elen till varje enskild konsument inom ett mindre område, t.ex. en stad. Att integrera sol och vindkraft i lokala distributionsnät är, vid små nivåer, oftast positivt för elnätet då elen produceras närmare konsumenterna och man behöver inte överföra lika mycket el till området, vilket leder till minskade förluster. När mer sol och vindkraft installeras kan det finnas tillfällen då mer el produceras än vad som används inom området, vilket kan ses i Figur 9.1. Man får då överföra elen ut från området och det finns då en risk att komponenter i elnätet överbelastas. Detta kan dock lösas med hjälp av olika tekniker eller genom att förstärka distributionsnätet.



Figur 9.1 Elanvändning, elproduktion och skillnaden mellan dessa för ett distributionsnät i södra Sverige. Här ses att under vissa tider, när den röda kurvan är negativ, överstiger elproduktionen elanvändningen vilket leder till att el måste transporteras ut från området.

För transmissionsnätet består utmaningarna till stor del i de bästa platserna att installera sol- och vindkraftverk skiljer sig från de platser där kraftverk tidigare byggts. Det kan till och med vara en fördel att sprida ut sol- och vindkraftverk för att få en jämnare produktion och minska risken för att alla kraftverk har låg produktion samtidigt. Detta innebär att nätet kan behöva byggas ut för elen från alla utspridda kraftverk ska kunna nå konsumenterna. Redan idag finns också så kallade flaskhalsar i nätet där nätets kapacitet inte alltid räcker till och där nätet kan behöva förstärkas. Med mer sol- och vindkraft kan flaskhalsarna uppstå i andra delar av nätet och vid andra tidpunkter än tidigare. Utbyggnaden av sol- och vindkraft kan alltså vara avgörande för planeringen av hur transmissionsnätet ska byggas ut i framtiden.

De största utmaningarna för att öka mängden el från sol och vind är dock kanske inte tekniska utan ekonomiska. För att nya kraftverk ska byggas och för att den nödvändiga utbyggnaden av näten ska bli av, behöver investeringarna vara lönsamma. Här spelar elmarknaden en viktig roll, dels för att skapa incitament för investeringar i förnyelsebar elproduktion och dels för att säkerställa att det finns tillräcklig produktionskapacitet i övriga kraftverk och överföringskapacitet i näten. Förändringar av hur elmarknaden fungerar idag kan bli nödvändiga när mängden sol- och vindkraft ökar.

10

KAN ELANVÄNDNINGEN ANPASSAS TILL VARIERANDE ELPRODUKTION?

Kapitlet finns tyvärr inte på svenska ännu. Läs den engelska versionen [Systems Perspectives on Renewable Power](#) på Chalmers hemsida.

11

SAMSPELET MELLAN TERMISK PRODUKTION OCH INTERMITTENT PRODUKTION

[Lisa Göransson](#)

[Liv Lundberg](#)

Institutionen för Energi och miljö, Chalmers*

* Avdelningen för energiteknik (L. Göransson), Avdelningen för fysisk resursteori (L. Lundberg)

Runt 80 % av världens elproduktion sker i termiska produktionsanläggningar, så som fossileldade kraftverk och kärnkraftverk. Termiska produktionsanläggningar är mest effektiva och ofta konstruerade för att producera el på en jämn, hög nivå. För att reducera koldioxidutsläppen från elproduktionssystemet integreras allt mer vindkraft och solkraft. Vind- och sol-kraftproduktionen varierar med omgivande förhållanden, den är intermittent. Det här avsnittet diskuterar hur sol- och vindvariationer påverkar de termiska produktionsanläggningarna.

Efterfrågan på el (konsumenternas behov) varierar över tid. De mest uttalade variationerna är de mellan natt och dag och mellan sommar och vinter. Elproduktionssystemet har alltid anpassats till variationerna i efterfrågan genom att anpassa förhållandet mellan baslastproduktion och topplastproduktion. Termiska anläggningar designade för baslastproduktion, t.ex. kolkraftverk, har låga rörliga kostnader så länge de håller en jämn, hög produktionsnivå. Men en avstängning av anläggningen följt av en uppstart medför typiskt höga kostnader. Termiska anläggningar designade för topplastproduktion, t.ex. gasturbiner, har relativt höga rörliga kostnader, men kan i gengäld startas och stoppas utan stora kostnadspåslag.

Vind- och solproduktionen varierar på alla tidsskalor, från sekund till sekund och från år till år. Variationer över kort tid speglar lokala förhållanden och jämnas ut i ett system med välutbyggt elnät och geografiskt utspridd sol- och vindproduktion. Det är framförallt variationerna från timme till timme och från säsong till säsong

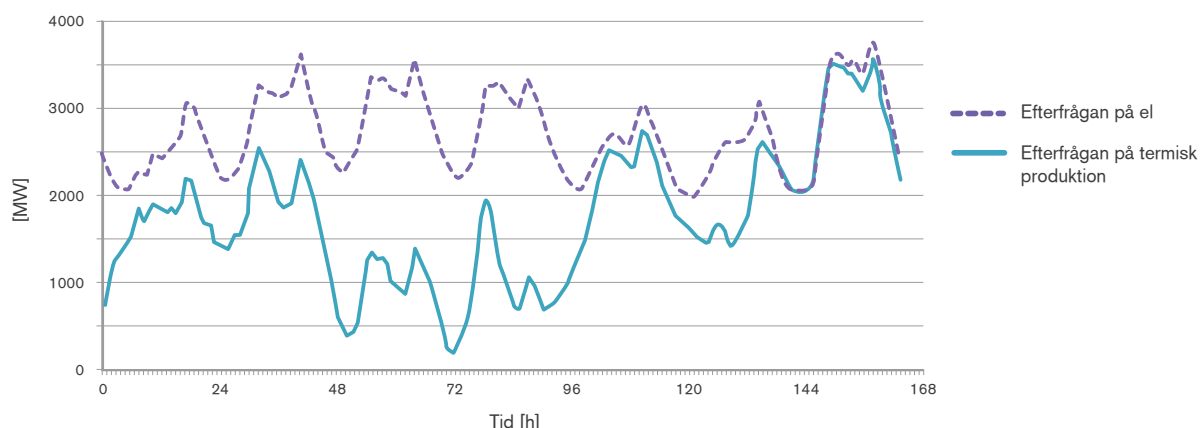
som påverkar produktionsmönstret hos de termiska anläggningarna. Mellanårsvariationerna påverkar investeringsbesluten.

Ett elproduktionssystem med termisk produktion och sol- och vind-produktion kan möta variationer på tre olika sätt; genom att starta/stoppa termiska anläggningar, genom att köra termiska anläggningar på dellast (dvs kraftverk producerar inte på sin maximala nivå vilket ger en ökad kostnad per producerad kWh el) eller genom att spilla sol- och vind-kraft (dvs att vid vissa tidpunkter med mycket el från sol och vind strunta i att använda denna elen). Variationens storlek och varaktighet, liksom föregående och efterföljande variationer avgör vilken kombination av de tre strategierna som används.

Till skillnad från variationer i efterfrågan är variationerna i vindproduktion oregelbundna. Det innebär att i ett system med mycket vindkraft ändras valet av strategier för att möta variationerna hela tiden. I bland samverkar vindvariationerna med variationerna i efterfrågan, ibland motverkar de varandra. Forskning visar att när vinkraft integreras i ett elproduktionssystem minskar termisk baslastproduktion, medan termisk topplastproduktion är mindre påverkad. Som synes i Figur 1 finns helt enkelt färre långa perioder av hög och jämn efterfrågan på termisk produktion när en del av efterfrågan försörjs av vindkraft.

Om solkraftproduktionen sker i solceller är den regelbundet varierande och motverkar typiskt variationerna i efterfrågan över dygnet. Solkraftproduktion ersätter därmed i första hand topplastproduktion som annars skulle använts för att möta topparna i efterfrågan på el mitt på dagen.

När andelen sol- och vind-kraft ökar i elproduktionssystemet minskar produktionsstimmarna för de termiska anläggningarna. Samtidigt sjunker produktionskostnaden för el under timmar med sol- och vind-produktion till följd av de låga rörliga kostnaderna hos sol- och vindkraft. Det innebär att det blir allt svårare att räkna hem investeringen i termiska anläggningar. Dock kvarstår ett behov av produktionskapacitet som kan möta efterfrågan vid låga produktionsnivåer av sol- och vindkraft. Kanske kommer vi se kraftiga fluktuationer i elpriserna för att de termiska anläggningarna ska kunna räkna hem sina investeringar på ett begränsat antal timmar då de blir prissättande.



Figur 11.1 Efterfrågan på el och efterfrågan på termisk produktion (elefterfrågan reducerad med vindproduktion) i västra Danmark första veckan i januari 2013. Källa: www.energinet.dk

12

NYTTIGGÖRANDE AV ÖVERSKOTTSEL: FALLET ELEKTROBRÄNSLEN

[Maria Grah](#)
[Maria Taljegård](#)
[Jimmy Ehnberg](#)
[Sten Karlsson](#)

Institutionen för Energi och miljö, Chalmers*

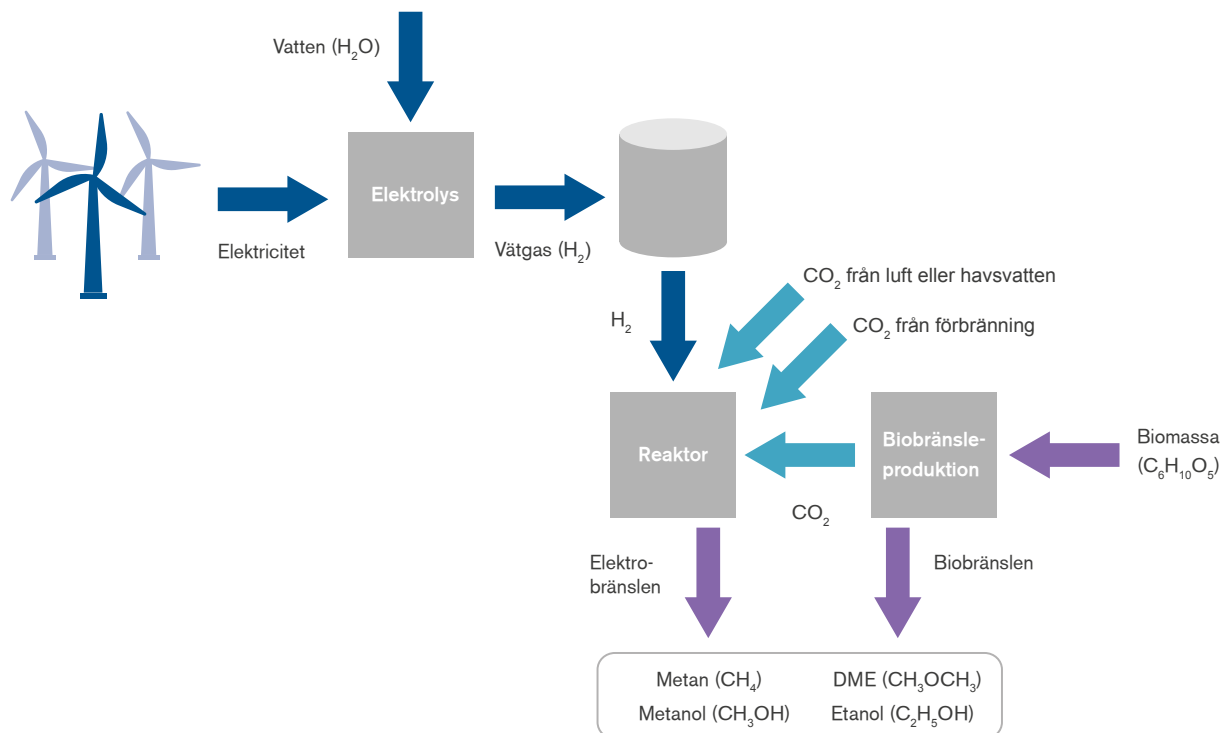
* Avdelningen för fysisk resursteori (M. Grah, M. Taljegård, S. Karlsson), Avdelningen för elteknik (J. Ehnberg)

Varför elektrobränslen? I ett framtida energisystem med en större andel förnyelsebara energikällor, såsom vind och sol, kan det bli nödvändigt att lagra överskottsel som uppstått vid en tidpunkt då produktionen av el var större än efterfrågan. Det finns flera alternativ till lagring av el, t.ex. pumpa upp vatten i dammar, producera vätgas eller komprimera luft. Alla har sina för- och nackdelar. Ett annat alternativ är att använda perioder av överskottsel för produktion av bränslen (t.ex. metan, metanol eller etanol) som kan ersätta olja för olika ändamål, t.ex. som transportbränsle eller inom den kemiska industrin för framställning av plaster, textilier och gödselmedel. Dessa bränslen, som vi kallar elektrobränslen (men som också kallas "power-to-gas" eller "koldioxidåtervinning" i andra sammanhang) skulle alltså kunna bidra till att både ersätta olja och minska mängden överskottsel.

Hur gör man elektrobränslen? Elektrobränslen produceras i tre delsteg: (1) elektricitet används för att splittra vatten till vätgas och syrgas i en process som kallas elektrolys, (2) koldioxid fångas in från olika källor och (3) vätgas och koldioxid blandas i en reaktor där de bildar olika bränslen (se Figur 12.1). Koldioxiden kan exempelvis komma från anläggningar som producerar biodrivmedel (som vid jäsnings av vete till etanol, förgasning av skogsråvara till metan eller rötning av matavfall till biogas). I framtiden kan koldioxid från luften vara ett alternativ även om den tekniken idag är för dyr. Produktion av elektrobränslen testas nu med framgång av bl.a. Audi, E.ON Tyskland och Carbon Recycling International.

Kan kostnaden för elektrobränslen konkurrera med bensin? För att elektrobränslen ska vara ett intressant alternativ krävs att produktionskostnaderna är jämförbara

med dagens alternativ. Resultaten från en jämförelse av produktionskostnaderna av elektrobränslen och bensin visar att med dagens oljepris kan elektroproducerad metanol framställas till ungefär samma kostnad som bensin, under förutsättning att kostnaden för infångning av koldioxid är låg (som då koldioxid tas från rötning eller förgasning) samt relativt optimistiska kostnader för vätgasproduktionen (billigare teknik beräknas finnas på marknaden om 5-10 år). Beroende på elpris och oljepris visar också studien att produktionen bara behöver köras delar av året för att konkurrera med bensinproduktionskostnaden.



Figur 12.1 De olika processtegen vid produktion av elektrobränslen. Den huvudsakliga reaktionen sker i reaktorn där vätgas blandas med koldioxid (CO_2) och bildar bränslen (t.ex. metan, metanol eller etanol). Koldioxiden kan komma från olika källor.

Vad mer avgör om en elektrobränsleindustri utvecklas? Förutom produktionskostnaden kan utvecklingen av en elektrobränsleindustri också bestämmas av faktorer som (1) kostnader och förutsättningar för andra storskaliga lagringsalternativ av överskottsel, (2) andra alternativa transportbränslen med låga utsläpp och låga produktionskostnader och (3) en storskalig användning av koldioxidinfångning med efterföljande lagring.

Är elektrobränslen en bra idé? Fördelarna med elektrobränslen är att det är ett bränsle som inte förknippas med samma resursbegränsning som biodrivmedel, inte har några stora koldioxidutsläpp (om koldioxidkällan och elkällan är förnyelsebara), och som kan användas i dagens infrastruktur och av alla transportslag (även flyg och sjöfart som kan få problem med användning av el i batterier och vätgas). Ett argument mot elektrobränslen är att infångad koldioxid bidrar än mer till minskade utsläpp om den lagras under jorden istället för att bilda bränsle där koldioxiden släpps ut igen efter användning. I korthet skulle elektrobränslen kunna hjälpa till att nyttiggöra ett eventuellt elöverskott om framtidens energisystem i betydligt högre grad än idag baseras på "väderberoende" energikällor.

13

HUR MÖTER ELBOLAGEN UTMANINGEN FRÅN FÖRNYBAR EL?

Kapitlet finns tyvärr inte på svenska ännu. Läs den engelska versionen [Systems Perspectives on Renewable Power](#) på Chalmers hemsida.

14

OM KOSTNADS- DISKUSSIONEN – HÄR VI ”RÅD MED” FÖRNYBAR EL?

Kapitlet finns tyvärr inte på svenska ännu. Läs den engelska versionen [Systems Perspectives on Renewable Power](#) på Chalmers hemsida.

15

VARFÖR EN STRATEGI FÖR HAVSBASERAD VINDKRAFT?

Kapitlet finns tyvärr inte på svenska ännu. Läs den engelska versionen [Systems Perspectives on Renewable Power](#) på Chalmers hemsida.

16

BEHOV AV INVESTERINGAR OCH KOMPETENS – EXEMPLET HAVSBASERAD VIND

Kersti Karltorp
Staffan Jacobsson
Björn Sandén

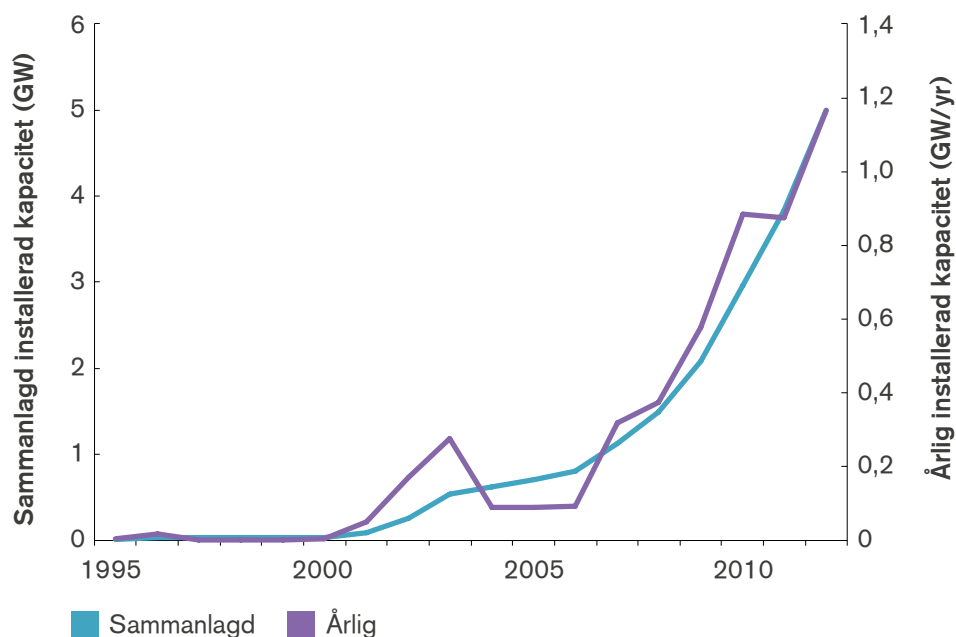
Institution för Energi och miljö, Chalmers*

*Avdelning för miljösystemanalys

En ökning av andelen förnybar energi medför stora tekniska utmaningar, men också utmaningar av icke-teknisk natur. Ett exempel på detta är behovet av investeringar och kompetensförsörjning i växande industrier. I detta kapitel beskrivs dessa utmaningar med hjälp av exemplet havsbaserad vindkraft inom EU.

Under 2013 investerades 5- 6 miljarder Euro i 13 parker om totalt 418 turbiner. Om EU:s medlemsländer når målen satta för 2020 skulle den sammanlagda produktionen från havsbaserad vindkraft kunna uppgå till 140 TWh per år (idag skulle detta motsvara 4% av elproduktionen i EU). Detta motsvarar investeringar på 130-150 miljarder Euro.

Hittills har huvuddelen av investeringarna kommit från kraftbolag. Europeiska investeringsbanken och olika exportråd har också spelat en viktig roll. Men nu framträder en rad investeringsutmaningar. För det första krävs det mer externt kapital om kraftbolagen ska utveckla fler parker parallellt, dvs. kraftbolagen kan inte äga alla parker som de bygger. Men tekniken är fortfarande förknippad med höga risker och höga kostnader vilket får potentiella investerare att tveka. Dessutom har finanskrisen medfört förändringar på finansmarknaden, vilket lett till att fler partner måste gå samman för att ge lån till stora projekt som havsbaserad vindkraft. Detta leder i sin tur till ökade kostnader för själva finansieringen.



Figur 16.1 Sammanlagt och årlig installation av havsbaserad vindkraft i Europa. Källa: (EWEA [2013](#))

I de länder där utbyggnad av havsbaserad vindkraft nu pågår, t.ex. Storbritannien, stöds den av ekonomiska subventioner vilket reducerar marknadsrisken men ökar den politiska risken. På sikt kan detta leda till ökad erfarenhet, sänkta kostnader och minskad risk. Ett alternativ är att styra investeringar mot förnybar energi genom att utfärda obligationer och fonder som enbart får investeras i förnybar energi.

En annan utmaning för havsbaserad vindkraft är att tillgodo se behovet av kompetens för utveckling och utbyggnad. Den europeiska vindkraftsbranschens organisation (EWEA) har beräknat att de 30 000 som arbetar med havsbaserad vindkraft kommer att behöva öka till 300 000 år 2030. Redan idag finns brist på vissa områden, t.ex. ingenjörer som kan arbetat med drift och underhåll. Just ingenjörer utgör en nyckelresurs inom området och till år 2020 beräknas 10 000 ytterligare ingenjörer behövas, huvudsakligen hos turbintillverkare och kraftbolag. Den stora flaskhalsen är elkraftingenjörer, men även flera andra ingenjörskompetenser behövs. Det kommer att finnas behov av nya kombinationer, både kombinationer av olika typer av ingenjörskompetenser och ingenjörskompetenser kombinerade med andra kunskapsområden t.ex. meteorologi och projektledning. Redan idag finns utbildningar riktade mot vindkraft på flera håll i Europa. Ingenjörer med efterfrågad kompetens kan också rekryteras från andra industrier. Trots detta behöver fler utbildningsprogram och kurser utvecklas och anpassas till det behov som förutspås.

Sammanfattningsvis kräver en storskalig introduktion av förnybar energi inte bara utveckling av teknik utan även en anpassning av olika delar av samhället, inte minst finanssektorn och utbildningssystemet.

EN PLATTFORM FÖR LÄRANDE OM HÅLLBARA TEKNIKSYS-TEM

Energi- och klimatutmaningen är enorm och jordens befolkning är på väg mot en osäker framtid. Teknikens roll i samhällsutvecklingen är tveeggad. Å ena sidan är tekniken definitivt en del av problemet men på samma gång kan vi inte ställa om samhället mot en hållbar utveckling utan ny teknik. Vi behöver därför lära oss mer om vilken teknik som är önskvärd och hur teknikutvecklingen kan styras.

Chalmers Styrkeområde Energi har initierat satsningen "Perspektiv på ny teknik". Satsningen har en tvärvetenskaplig utgångspunkt och den har hittills samlat ett sjuttiofem forskare för att bedöma ny teknik med avseende på potential och risker och vilka tekniska, ekonomiska och politiska förutsättningar som krävs för att ny teknik skall slå igenom och nå storskalig spridning i samhället. Satsningens ambition är att skapa en plattform för lärande om teknikområden med stor betydelse för framtiden. Resultatet är en serie "levande" e-böcker som vi i ljuset av ny kunskap uppdaterar varje år. Vi avser inte att ge ett slutgiltigt svar, men vi vill ge underlag till en fördjupad och breddad diskussion. Serien består nu av tre böcker:

Perspektiv på förnybar el - möjligheter och utmaningar med produktion och användning av el från förnybara energikällor

Perspektiv på eldrivna fordon – möjligheter och utmaningar med eldrivna transporter av gods och människor

Perspektiv på förädling av bioråvara – möjligheter och utmaningar med produktion av kemikalier, material och bränslen från skog och jordbruk

Om de mångfasetterade resultaten skall sammanfattas i en mening kan vi konstatera att det vimlar av hinder att ta sig över och fallgropar att undvika men också av framkomliga vägar, så det finns all anledning att samtidigt vara mycket orolig och mycket hoppfull.

Björn Sandén, huvudredaktör

