

SMART LEDNING

**Drivkrafter och förutsättningar
för utveckling av avancerade elnät.**



Titel: Smart ledning - Drivkrafter och förutsättningar för utveckling av avancerade elnät

Författare: Örjan Larsson & Benjamin Ståhl - Blue Institute

Serie: VINNOVA Analys VA 2011:01

ISBN: 978-91-86517-29-8

ISSN: 1651-355X

Utgiven: Februari 2011

Utgivare: VINNOVA –Verket för Innovationssystem

VINNOVA Diariennr: 2009-02796

VINNOVA utvecklar Sveriges innovationskraft för hållbar tillväxt

VINNOVA är Sveriges innovationsmyndighet och ska öka konkurrenskraften hos forskare och företag i Sverige.

Vår uppgift är att främja hållbar tillväxt i Sverige genom finansiering av behovsmotiverad forskning och utveckling av effektiva innovationssystem. För att göra detta har vi cirka 2 miljarder kronor att investera i nya och pågående projekt varje år.

En viktig del av VINNOVAs verksamhet är att öka samarbetet mellan företag, högskolor och universitet, forskningsinstitut och andra organisationer i innovationssystemet. Vi gör det på flera sätt, bland annat genom långsiktiga investeringar i starka forsknings- och innovationsmiljöer, genom att investera i projekt som ska öka kommersialiseringen av forskningsresultat eller genom att skapa katalyserande mötesplatser.

VINNOVA är ett statligt verk under Näringsdepartementet och nationell kontaktnätsmyndighet för EU:s ramprogram för forskning och utveckling. Sammanlagt arbetar drygt 200 personer på VINNOVAs kontor i Stockholm och Bryssel. Generaldirektör är Charlotte Brogren. VINNOVA bildades 1 januari 2001.

I serien VINNOVA Analys publiceras studier, analyser, utredningar och utvärderingar som tagits fram inom eller på uppdrag av VINNOVAs avdelning för Verksamhetsutveckling.

Smart ledning

**Drivkrafter och förutsättningar
för utveckling av avancerade elnät**

Projektet drivs av Blue Institute, en tankesmedja grundad av Mercuri Urval, med fokus på strategi- och tillväxtfrågor. Mercuri Urval är ett svenskt konsultföretag som arbetar för att stärka sina kunders konkurrenskraft genom att identifiera, utveckla och tillföra rätt kompetens och förmåga som gör det möjligt att bygga upp organisatorisk och strategisk styrka. Analysarbetet och rapporterna inom ramen för *Framtida tillväxtmöjligheter för Sverige* är en del av den verksamhet som Blue Institute bedriver för att skapa och sprida kunskap om marknadsutveckling och de strategiska utmaningar som näringslivet står inför. Genom att arbeta utifrån ett industriellt nätverk, med en industriell tidshorisont och i nära samarbete med de företag som är involverade i tillväxtområdena har den kunskapen kontinuerligt validerats och spridits. Projektet drivs med bidrag från VINNOVA.

VINNOVAs framsynsverksamhet fokuserar på framväxande globala tillväxtområden och förutsättningarna för att med offentliga satsningar på forskning, utveckling och innovation bidra till hållbar tillväxt i Sverige inom ramen för dessa. Framsynsverksamheten syftar dessutom till att identifiera andra typer av policyinsatser än investeringar i forskning, utveckling och innovation som är viktiga för att möjliggöra ekonomisk tillväxt och jobbtillväxt inom framväxande tillväxtområden. Därmed bör den kunna utgöra ett viktigt underlag för svensk närings- och tillväxtpolitik.

Förord

Sverige är ett exportberoende land som framgångsrikt skapat tillväxt, arbete och välstånd genom att företag utvecklat internationellt konkurrenskraftiga innovationer. Fortsatt konkurrenskraft och tillväxt förutsätter dock att nya innovationer ständigt utvecklas för framgång på nya och växande marknader, i en allt hårdare global konkurrens. *Framtida Tillväxtmöjligheter för Sverige* syftar till att identifiera framväxande globala tillväxtområden och beskriva svenska företags möjligheter, roller och ambitioner inom dessa.

Smarta Elnät är ett växande tillväxtområde som har stor betydelse för samhällets energiförsörjning. Inom detta tillväxtområde finns en stor marknadspotential för många svenska företag. Den svenska konkurrenskraften har historiskt varit stark inom elbranschen. Smarta Elnät förändrar förutsättningarna. Marknaden karaktäriseras av både osäkerhet och öppenhet vilket gör att nya aktörer och konstellationer kan etablera sig, samtidigt som gamla affärslogiker inte längre är lika gångbara som tidigare. Nya värdesystem skapas där branscher konvergerar och där det formas nya mönster för värdeskapande.

I den här skriften analyseras drivkrafter och motkrafter för utvecklingen av marknaden för Smarta Elnät, vilka aktörer som kan positionera sig, de tekniska möjligheterna och statusen på forskning och utveckling. Vår förhoppning är att rapporten bidrar till strategiprocesser i företag och hos myndigheter. Studien har utförts av Blue Institute i nära samarbete med företag som berörs av området. Vi vill tacka alla som medverkat, lämnat information och delgivit sin analys av området. Öppenheten och osäkerheten i marknaden innebär dock att rapporten inte gör anspråk på att vara en fullständig beskrivning. Det är en analys som beskriver och kommenterar utvecklingen och som syftar till att skapa debatt och underlätta diskussion.

Stockholm i februari 2011

Göran Liljegren
VD, Blue Institute

Göran Marklund
Avdelningschef, Verksamhetsutveckling, VINNOVA

Innehåll

Sammanfattning.....	7
----------------------------	----------

Del 1. Det Smarta Elsystemets Marknad och Dynamik	19
--	-----------

Inledning	19
Grunderna i Smart Elnätsteknik.....	22
Energiekvationen - Hur världen ska klara sin energiförsörjning.....	28
Efterfrågestyrning och Prisdynamik	35
Smarta Hem och Hus	41
Anpassade Spelregler	44
Nya affärslogiker	56
Att Stimulera.....	61
Att Investera	63
Världens Smartaste Elnät – vad byggs var?	68
Elnätens Byggmästare	78
Avslutande Sammanfattning.....	91

Del 2. Fördjupning	93
---------------------------------	-----------

Hur Fungerar ett "vanligt" elnät...?	93
....och det Smarta Elnätet?	97
Super Grids.....	108
Cybersäkerhet.....	112
Energilagring	116
Elkvalitet.....	124
Eleffektivitet.....	127
Lathund över teknik i Smarta Elnät	133

Sammanfattning

Den här rapporten beskriver utvecklingen av Smarta Elnät, eller Smart Grids. Den är indelad i två delar som följer efter den här sammanfattningen. Den första delen belyser grunderna i vad som kallas "smart" elnätsteknik, vilka de bakomliggande drivkrafterna är och hur förutsättningarna för marknadsutvecklingen ser ut. Här skildras också konsekvenserna för konsumenter, framväxande affärslogiker samt pågående investeringar och stimulansåtgärder i världen. Den första delen avslutas med en aktörskarta över marknaden. Den andra delen består av fördjupningar inom några centrala delområden samt en lathund över teknik som berör Smarta Elnät.

Vilken är den mest betydelsefulla tekniska innovationen under 1900-talet? Frågan ställdes i en artikel i tidskriften the Economist i oktober 2009. Var det bilen, transistorn eller kanske datorn? Svaret, som kom från den amerikanska ingenjörsakademien **National Academy of Engineering**, var ett helt annat - nämligen **elnäten**. Varför? Därför att elnätet är en förutsättning för nästan all annan teknisk utvecklingen. Knappast någon av de stora landvinningarna hade kunnat bli verklighet utan elektricitet. Industrialismen och sedan informationssamhället vilar stadigt på en grund av elektrotekniska innovationer.

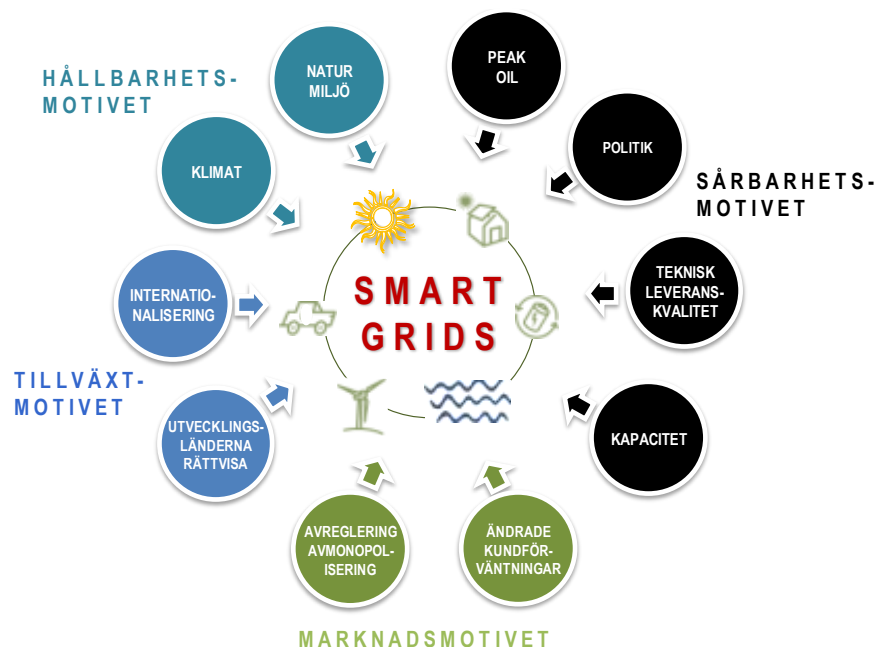
Medan bilar och datorer genomgått en radikal utveckling och blivit allt mer sofistikerade har elnätstekniken på många sätt förblivit vad den alltid varit. Om **Thomas Edison** eller vår svenska motsvarighet **Jonas Wenström** kunnat se in i framtiden skulle de förmodligen nickat ganska igenkännande. Kraftproducenterna matar nu som då el till nätet med en förhoppning om att den kommer fram till slutdestinationen. Än i dag är det kunderna som måste slå larm om leveransen uteblivit - om det har blivit strömvabrott.

Nu är något stort på gång. En rörelse med politiska grunder och tekniska förtecken förespråkar både nya energikällor och effektivare energianvändning. Den största konsekvensen är att hela energimarknaden kommer att skifta till att bli efterfrågedriven. En förutsättning för att hantera det framtida energilandskapet är att elkonsumenterna blir (och tillåts bli) aktiva deltagare i energisystemet. Marknadsförutsättningarna förändras och helt nya marknader och investeringsbehov uppstår. Allt detta har lett till febril aktivitet världen över. Intensiv utveckling pågår av nya energisystem och vår inställning till att använda energi är på väg att ändras.

Att utveckla elnäten är en förutsättning för nya energistrategier

Energisituationen i världen påkallar genomgripande förändringar. Behoven kan härledas till fyra olika grupper av drivkrafter: **hållbarhet** som berör klimatet och miljön; **sårbarhet** som rör energiförsörjningen ur ett säkerhetsperspektiv och de fossila resursernas

ändlighet; **marknad** som visar på konkurrensen mellan världens regioner och hur de mikroekonomiska spelreglerna kan förbättra energihushållningen; och till sist **tillväxt** som rymmer utvecklingsländernas välbefinnande - större delen av världens befolkning saknar fortfarande elektricitet - och den pågående internationella sammankopplingen av elsystemen.



Figur 1: Olika drivkrafter för elnätsteknikens utveckling

Drivkrafternas styrka skiljer sig åt mellan länder och regioner, men var för sig och tillsammans uppmanar de till att finna nya strategier för den så viktiga energiförsörjningen. De fossila bränslena bör om möjligt ersättas med förnybara och/eller annan koldioxid-neutral energiproduktion. Det gäller såväl för bränslen som för elproduktionen. Ett karaktärsdrag för många av de förnybara alternativen - som vindkraft och solceller - är att den förekommer i stor mångfald samtidigt som produktionen per enhet är mycket mindre än hos till exempel ett kolkraftverk. Dessutom är de distribuerade över stora geografiska områden. De har en annan profil eftersom de baseras på naturliga och variabla fenomen. Soliga och blåsiga dagar är bra för kraftproduktion och tvärt om. Privatpersoner som investerar i egen elproduktion från sol eller vind i framtiden kommer vilja att sälja sitt överskott till elnätet när det egna behovet är uppfyllt. Resultatet av allt detta blir en **mer diversifierad och därmed också en mer oförutsägbare elförsörjning**.

En annan viktig faktor är övergången till alternativa **fordonsbränslen**. El för bilar är sannolikt den största enskilda möjligheten att fullt ut kunna utesluta bensin och diesel för vägtrafiken och kanske också i framtiden till sjöss och i luften. Men parallellt, inte

minst för den tunga trafiken, kommer det under överskådlig tid att behövas flytande bränslen. De kräver också energi för framställningen, bland annat i form av elektricitet. Ytterligare en möjlighet som diskuteras är elektrifiering av de stora vägnäten för att kunna försörja den tunga transporttrafiken. Slutsatsen av detta resonemang är att såväl **utbudssidan** som **efterfrågesidan** för elektricitet blir **mindre förutsägbar** och **mer komplex**. Ungefär som en balansvåg i ständig otakt.

Det **avancerade elnätet** som denna studie behandlar har egenskaper som gör att det kan hantera komplicerade försörjningslägen – till exempel vid bristsituationer, eller när många elbilar behöver laddas samtidigt, eller att vid fel isolera och förhindra ett större strömvabrott. Allt detta är viktigt för försörjningsbalansen och säkerheten, men en överordnad uppgift är också att minska energiförbrukningen. Den typ av avancerade elnät som nu börjar byggas brukar kallas **Intelligenta Elnät** eller **Smarta Elnät**, på engelska **Smart Grids**. I teknisk mening får det Smarta Elnätet sina egenskaper genom en kombination av elektroteknik, datorer, kommunikation och informationshantering.

Smart politik och smart teknik är nödvändig för att göra visionen till verklighet

Med grund i klimat- och miljöpolitiken är uppbyggnaden av nya avancerade elnät ett område som kommer att få stor betydelse under de närmaste decennierna. Infrastruktur för elektricitet är ett av tvåtusenålets största investeringsområden. Enligt den internationella energibyrån **IEA** behövs det **14 000 mdr USD** för att möta investeringsbehoven de närmaste 20 - 30 åren.¹ Hälften för att bygga om och bygga ny kraftproduktion och den andra hälften för elnäten.

Som ett systemskifte med goda syften har Smarta Elnät blivit en politisk framgång. Mycket kapital i form av statliga subventioner investeras just nu för att pröva den teknik som behövs och de regler som måste till för att uppförandet av nya elnät ska kunna ta fart på riktigt. Demonstrationsprojekt byggs i USA, Europa, Japan, Sydkorea, Saudi Arabien, Australien, Kina och Indien. I Sverige finns **Norra Djurgårdsstaden** där bland annat **Fortum** och **ABB** är involverade. Ett annat planerat projekt på **Gotland** företräds av **ABB** och **Vattenfall**. I båda projekten bidrar **VINNOVA** och **Energimyndigheten** med delfinansiering till förstudier som bland annat syftar till att kartlägga utvecklingspotentialen och hur man kan stimulera små och medelstora företag att ta del av utvecklingen. Det politiska intresset är ”smart” därför att investeringar i effektivare energianvändning är samhällsekonomiskt lönsamt även om det inte alltid gäller för de enskilda aktörerna. Kostnad och nytta kan uppstå på olika ställen. Det finns, bland annat av det skälet, potentiella tekniska, ekonomiska, politiska och praktiska hinder av olika karaktär. En av de viktiga politiska uppgifterna är att underlätta när det uppstår problem under utvecklingen.

¹ International Energy Agency, 2008, World Energy Outlook

Den smarta eltekniken går ut på att **spara energi** och att göra det möjligt att **producera energi utan miljöbelastning**. Den tekniska ”ryggraden” som sträcker sig från kraftverken till våra hem bär upp den ambitionen. Den bekostas med skatter, avgifter och priser. Det sista steget i kedjan av energisparande åtgärder måste hushåll och näringsliv - mer eller mindre² - själva ta ansvar för. Ett grundläggande villkor för att det ska kunna ske är kunskap. Politiker, företag och branschföreningar har därför en folkbildande uppgift. För att uppnå ett energieffektivt samhälle behövs goda ”energimedborgare”. En önskvärd jämförelse är hur starkt återvinningssystemen i allmänhet har etablerats hos konsumenter i Sverige.

Goda energimedborgare kan utrusta sina hem och företag med hjälpmedel så att de når långt i ambitionen om energieffektivitet. Fastigheter kan förses med apparater som kommunicerar med varandra och med eldistributören vilket ger möjlighet för leverantören att varje minut meddela vad elpriset är. För konsumenten gäller det då att ta ställning och bestämma sig för hur mycket man är beredd att betala för att köra tvättmaskinen, ta ett bastubad eller ladda elbilen. Tekniska hjälpmedel gör det möjligt att i förväg sätta sina preferenser och överlåta resten till automatiken – till exempel att starta torktumlaren när det är som billigast.

Den här metoden kallas för **Demand Response**, eller **efterfrågestyrning**. När priset får större utrymme, blir dynamiskt och informeras i realtid innebär det att vi kan åstadkomma två viktiga fördelar. Den ena är **att energiförbrukningen minskar** och den andra är att perioder **då det är ”trångt” på elnätet kan jämnas ut och att toppbelastningar kan flyttas i tiden**. Ungefär som med trängselavgifter i trafiken som dels minskar bilkörningen och dels jämnar ut trafikflödet för att undvika stockningar. Precis som varierade trängselavgifter kan leda till att alla vägar inte behöver vara sexfiliga (det kanske räcker med fyra körfält) kan vi spara pengar på att dimensionera elnäten lägre, och inte för ”det värsta fallet”. För att det ska bli verklighet krävs att stora mängder information loggas, lagras och överförs – vilket innebär en stor expansion av informationsteknologi i elsystemet.

För att göra de Smarta Elnäten kompletta behövs ytterligare ett antal tekniska funktioner som kräver vidareutveckling. Ett viktigt exempel är **energilagring**. De variabla kraftkällorna som vind och sol behöver back-up-möjligheter när vädret inte tillåter dem att leverera. **Vattenkraft** är ett gott exempel på sådan lagringskapacitet och får därför ett nytt värde i framtiden. Men det kan också vara stora **batterier**, eller andra slag av teknik som gör det möjligt att skapa buffertar. Här behövs mer utveckling och forskning så att lösningarna blir tillräckligt kostnadseffektiva. **Elkvalitet** är en annan utmaning för elnätet att hantera. Det handlar om att vi ökar mängden apparater som är känsliga för ”ojämn” el samtidigt som antalet objekt skapar ojämnheter ökar. Elnätet behöver hantera detta genom olika former av teknik.

² Även här kan olika stöd och stimulansåtgärder bli aktuella.

Eleffektivitet är ett av huvudsyftena för att bygga nya elnät. Effektivitetsvinster går att hitta hela vägen från kraftkällan via transmissions- och distributionsnäten till slutförbrukaren. I brist på balans och i frånvaro av bästa teknik för små överföringsförluster *försvinner energi nog att försörja Indien, Tyskland och Kanada tillsammans*. Olika typer av apparater kan göra ett vanligt hem till ett **Smart Hem** – en stor del av effektiviseringspotentialen finns hos hushållen. I Sverige står den privata och tjänsterelaterade elkonsumenterna för nära hälften av totalen. Men tekniken för energieffektivisering i hemmen måste göras attraktiv, billig och lättanvänd om den ska bli en framgång. De smarta hemmen innebär även att olika energisystem kan samverka. Energilagring kan ske i vattenlager (varmvattenberedaren är ett vardagligt exempel), värmepumpar kan få ökad betydelse och elbilarnas batterier kan användas för elförsörjning av hemmet när den står parkerad. På så vis avlastas elnätet i stort.

Med informationsteknologi och kommunikation kommer ytterligare en utmaning - **cybersäkerhet**, d v s att viktiga samhällsfunktioner i och med datorisering blir mer sårbara. Det kan vara frågan om allt från datorvirus till medvetna attacker från fientliga nationer. Mycket möda måste därför ägnas att göra de nya systemen så säkra som möjligt.

Den **privata integriteten** behöver skyddas oavsett vilken teknik som används. När vår privata elförbrukning kan mätas med hög tidsupplösning ökar möjligheten att kartlägga våra vanor. När lagar vi middag? När ser vi på TV? Duschar eller badar vi? Hur många finns i hushållet? Hur många är hemma? Sådan information kan bli värdefull för leverantörer av olika produkter och tjänster. Att inte säkerställa individuell integritet skulle kunna bli ett hinder för utvecklingen som helhet.

Till den nödvändiga tekniken hör också förmågan att transportera elektricitet över långa avstånd och i mycket stora mängder, **transmissionsteknik**. I Sverige måste vi förflytta energi från vattenkraften i norr till de stora förbrukarna i söder. I Kina uppstår samma fenomen i mycket större skala när det industrialiserade östra Kina ska förses med vattenkraft från de västra delarna. Vi behöver också koppla samman olika länder för att få ett mer flexibelt och smidigt system. Om Sveriges och Norges elsystem ansluts bättre till norra Europa skulle det lösa en hel del problem förknippade med vindkraftens karaktär. Teknikutvecklingen här går mot högre spänningsnivåer och handlar om likström samt supraledande teknik. Området har fått ett eget namn - **Super Grids**.

De avancerade elnätens marknadsdynamik

Avregleringen (eller som den här rapporten argumenterar, *omregleringen*) av världens olika elmarknader har hittills varit en begränsad succé. Det hävdas att marknaderna tekniskt fungerar men de förväntade vinsterna för konsumenterna har uteblivit. Priserna har ökat snarare än minskat och på vissa håll har det lett till eftersatt underhåll och tillförlitlighetsproblem. En del av privatiseringsprojekten har backats tillbaka till mer reglerade strukturer. En anledning till denna utveckling kan vara höga inträdeshinder för nya producenter. En annan kan vara vinstmaximering i stället för investering. Ytterligare

re en förklaring är att prisbildningen till så stor del består av styravgifter att utrymmet för prissänkning i handelsledet är litet.

Kan den nya elnätstekniken förändra situationen? Kostnaden för att bygga avancerade elnät ligger i stora infrastrukturinvesteringar, som elkonsumenterna kommer att få bära. Energieffektivisering är en betydande besparingspotential, men mycket av den ligger i att gå från fossila energikällor (som bensin och diesel) till el. Att en högre elförbrukning skulle leda till lägre elpriser i det korta perspektivet är inte sannolikt. Det är snarare en fråga om att investera för miljön och för att ersätta de fossila bränslen som kommer att ta slut. Endast om prishöjningarna på el kompenseras av minskade energikostnader på annat håll blir kalkylen positiv för konsumenterna.

Med Smarta Elnät uppstår också ett nytt fenomen på elmarknaden. När informationshantering, småskalig elproduktion och energilagring blir centrala delar i elsystemet uppstår en mer mångfacetterad grund att göra affärer på. Det går att tänka sig att aggregera tillgångar av olika slag (till exempel energilagring hos eldistributörer eller effektpotential hos hushåll) och sedan sälja värdet av den till olika aktörer som vid en specifik tidpunkt behöver den. Idén är att det kan vara lönsamt att betala ett högre pris för den tillhandahållna resursen i stället för att själv investera för motsvarande kapacitet. Med många sådana affärsmodeller skapas ett ömsesidigt beroende. Poängen är att det totalt sett kan bli mer resurseffektivt.

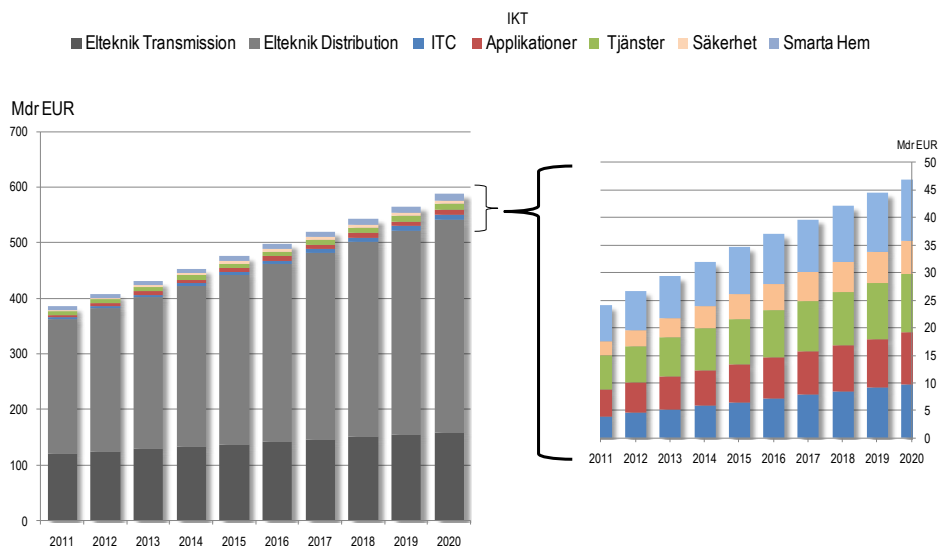
Smarta elnät innebär kanske århundradets största teknikinvestering

Utan tvekan är marknaden för elenergiprojekt betydande de kommande decennierna. Behoven uppstår i form av rena nyinvesteringar i länder som Kina, Indien, en del länder i Sydamerika och i Afrika. I västvärlden handlar det om att uppgradera den föråldrade energiförsörjningen. I båda fallen innebär det att det behöver dras ledningar, att apparater måste produceras någonstans för att installeras någon annanstans och att ingenjörer behöver utbildas.

Men allt detta är inte någon nyhet. Under många år har vi rullat stora investeringsbehov framför oss - och betat av del för del. Det nya är (för den traditionella elbranschen) det ovana teknikinnehållet som innebär att man inte bara skickar elektroner i en riktning, utan i två. Dessutom innebär det att förmedla information mellan producenter, förbrukare och tredje parter.

I och med att IT- och telekomföretag uppmärksammat den stora marknadsmöjligheten har en ny typ av uppmärksamhet skapats kring elsystemet. Enligt **Cisco** är kommunikationsbehovet större i elnätet än hela Internet. IT- och telekomföretag har en lång erfarenhet och tränad förmåga att omvandla visioner till en tillgänglig marknad. Företag som **IBM**, **Oracle** och **Cisco** utvecklar och erbjuder följaktligen produkter och tjänster specifikt för Smarta Elnät. Konsulter som **Tieto**, **Cap Gemini** och **Logica** positionerar sig på olika sätt. Andra aktörer är **Ericsson**, **Intel**, **Sun** och kanske mer överraskande **Google** och **Microsoft**.

Men alla dessa namnkunniga företag representerar endast toppen av investeringarnas isberg. Den stora delen döljs under ytan - utan att det talas speciellt mycket om saken - och är öronmärkta för företag som **ABB, Siemens, GE, Arreva, elkonsulter** och många andra i den traditionella elektrotekniska branschen. Dessa företag positionerar sig naturligtvis också och har gjort förvärv som stämmer väl in för att ta större andelar av den Smarta Elnätsmarknaden.



Figur 2: Marknadsutveckling för elnätstekniken inklusive de "smarta" komponenterna. Källor: IEA, Europeiska Kommissionen, Peak Research, Blue Institute.

I Figur 2 framgår tydligt att den dominerande delen av investeringar i elnät består av den elektriska infrastrukturen och dess olika styr- och skyddssystem. Det är fakta som knappast avspeglar sig i debatten som helt domineras av IT och telekommunikation. **Men den kraftiga hävstång som investeringarna i smart teknik ger är värd mycket.** Det är de smarta komponenterna som driver fram anpassningen till ett förändrat behov, möjliggörare för nya affärslogiker och drivkraft för en trolig branschglidning.

Smarta elnät - hur ligger sverige till?

Den svenska infrastrukturen, planerade investeringar samt tekniska och politiska förutsättningar för Smarta Elnät är avancerade. Sammantaget är slutsatsen att svenska eldistributörer bör förbereda sig och sina olika system för efterfrågestyrning och dynamiska prismekanismer. Konsumenternas Smarta Elnät kan vara här fortare än vad vi anar.

I juli 2010 blev Sverige det första europeiska landet - och möjligen det första i världen - att uppnå 100 procent smarta elmätare. Systemet har gjort det möjligt att läsa av mätarna på distans en gång per månad och debitera den verkliga elförbrukningen löpande.

Utbyggnaden innebär också att Sverige har förutsättningar att bli bland de första att införa efterfrågeprissatta elleveranser. De smarta mätare som är installerade kan i 90 procent av fallen samla in data per timme, därtill finns i många fall lämplig kommunikationsteknik redan tillgänglig.³ Problemen finns längre bak i kedjan inom till exempel datalagring och datahantering hos elnätsbolagen. Genomförandet av ett dynamiskt elprissystem i Sverige är därför nu till stor del en fråga om investeringar i administrativa system och om regler och lagstiftning. Tidigare i år meddelade Näringsdepartementet att regeringen överväger att ändra debiteringssystemet från dagens månatliga genomsnittspriser till timdebitering.⁴ Energimarknadsinspektionens rekommendationer innebär en stegvis anpassning till timvis mätning. Till att börja med ska abonnenter som förbrukar minst 8000 kWh per år omfattas, men elnätsbolagen ska kunna ansöka om ett tidsbegränsat anstånd med att införa modellen.⁵

Tydlig timmätning och timdebitering har många fördelar och är önskvärda av flera anledningar: tillsynsmyndigheterna stödjer det, elhandeln skulle minska risken för prisosäkerhet och konsumenterna skulle kunna spara energi och pengar. Till de kortsiktiga nackdelarna hör de investeringar i förändrade interna processer och stödjande IT-system som krävs för att hantera de avsevärt större datamängderna. **Men konsumentengagemang är utan tvekan nyckeln till ett energieffektivt samhälle.** Timdebitering (eller på sikt kanske ännu oftare) skulle maximera potentialen hos Sveriges installerade smarta mätare och ge konsumenterna möjlighet att kapa efterfrågetoppar. För det krävs förutom infrastruktur också kontraktsformer som uppmuntrar förändrade beteenden.

Timdebitering har införts i Sverige i industrin (från 1996 - 2006 beroende på abonnemang) vilket innebär att 70 procent av den totala elförbrukningen i Sverige redan tillämpar principen. Det är också här som den största effekten av nya regler uppstår. Energimarknadsinspektionens förväntningar är att ett ökat industriellt engagemang i elkraftreserven⁶ också ökar insikt och motivation för att ytterligare förbättra situationen.

En studie från **Mälardalen högskola** i Västerås⁷ har visat på att svenska hushållskonsumenter är positiva till ett incitamentsbaserat prissystem. I studien jämförs data från hundra svenska hushåll, med direkt elvärme, elpanna, värmepump, kombinerade system och icke-elektrisk värme. Även data per timme från distributören undersöktes. Studien visar att konsumenter med elektrisk uppvärmning som också hade tillgång till timuppgifter om energiförbrukningen vidtog åtgärder för att avsevärt sänka sina elräkningar. Den menar också att tätare mätvärdesinsamling bör minska konsumtionen av fossila bränslen.

³ Energimarknadsinspektionen, EI R2008:13

⁴ Riksdag & Departement, 8 mars 2010

⁵ Energimarknadsinspektionen, EI R2010:22

⁶ D v s att vid effekttoppar vara beredda att mot ersättning minska elförbrukningen med kort varsel.

⁷ Bartuscha et al., 2010, Potential of Hourly Settlements in the Residential Sector of the Swedish Electricity Market - Estimations of Risk Reduction and Economic Result

Under tiden pågår också arbetet mot det ambitiösa målet att installera 30 terawattimmar (TWh) vindkraft till 2020. För att balansera detta skifte mot mer intermittent förnybar energi hävdas allmänt att den geografiska spridningen av nya vindanläggningar över landet är den bästa lösningen. Detta bör bidra till att bättre integrera och hantera vindkraftsproduktionen och på sikt samtidigt dra nytta av efterfrågestyrt smart elmätning. Strategin skulle också hjälpa till att svara upp mot brist på vattenlagringskapacitet som används för att kompensera för vindintermittens.

Det pågår även omfattande förstärkningar av infrastrukturerna speciellt vad gäller transmissionsnäten.⁸ Anledningen är **Nordelsamarbetet** som syftar till att skapa bättre förbindelser mellan de nordiska länderna, anslutning av de stora **vindkraftsparkerna** och kapacitetsökade **kärnkraftverk**.

En annan förändring som berör konsumenter och som kan öka behovet av avancerade elnät är att nätavgiften för inmatning på elnätet har slopats för säkringsabonnemang på max 63 A. Förslag på att införa s.k. **nettodebitering** finns också. Det innebär att egen elproduktion från till exempel solceller kan säljas på nätet genom att inmatad energi dras ifrån den förbrukade.

Ytterligare en åtgärd är indelningen av Sverige i **elspotområden**. Tanken är att ökad prISRörlighet inom mindre geografiska delar ska mana till att förbrukningsdynamiken blir mer finstämd, och därmed anpassad till nätets fysiska förutsättningar.

Överlag behöver **stamnätet** förnyas och nätstationerna uppdateras från sextio- och sjuttioalsteknik till moderna ställverk och komponenter för ökad driftsäkerhet och effektivitet. Vidare krävs förstärkning av de nord-sydliga förbindelserna i Sverige. De årliga planerade investeringarna ökar upp emot 5 mdr SEK 2014, jämfört med en nivå på 1990-talet och början av 2000-talet kring 500 MSEK.⁹

Många svenska företag är väl positionerade för omställningen

När nya elnät ska byggas över hela världen har svenska företag och den svenska exportindustrin en framträdande position. Sveriges elteknikkuster är världsledande och med ett exportvärde på över 60 mdr SEK är det viktigt för Sverige. Elindustrin försörjer 130 000 personer och är tillsammans med bilindustrin den största industribranschen i Sverige.

Genom främst **ABB** är elöverföring ett specifikt område där svensk industri är världsledande. Det gäller produkter, anläggningar, grundforskning och utveckling. I uppbyggnaden av nya transmissions- och distributionsnät är ABB en självklar partner med redan mycket höga marknadsandelar. I en annan sfär av de Smarta Elnätens leverantörer finns kvalificerade IT- och telekombolag. Här syns **Ericsson** och även många kunskapsföre-

⁸ Svenska Kraftnät, www.svk.se

⁹ Ibid.

tag i form av konsulter och systemintegratorer. **Vattenfall** är ett av världens största och mest kompetenta energiföretag med tung representation i stora delar av Europa. Andra med stark närvaro i Sverige är **Fortum** och **EON**. Organisationer som **Power Circle** och **Elforsk** bidrar till att kraftsamla kring viktiga frågor för svensk elektroteknisk industri.

Ett kvitto på svensk kompetens och svenska affärsframgångar är det ansvar som EU delegerat till svenska institutioner inom forskning för elnäts- och informationsteknik inom ramen för det paneuropeiska programmet **European Institute of Innovation and Technology (EIT)**. Inom EIT organiseras olika **Knowledge and Innovation Communities**, där **KTH** är ett centrum inom EIT ICT Labs (inriktat mot mjukvaruteknik och IT-tjänster) och **KTH, Uppsala universitet, Vattenfall** och **ABB** utgör ett kompetenscentrum inom KIC InnoEnergy (inriktat mot Smarta Elnät och elektrisk energilagring).

Slutsatser

Med den energistrategi som världen nu väljer - som innebär mer av vind-, våg- och solkraft och mindre av olja och kol - är mer avancerade elnät helt enkelt nödvändiga. Elnätet hanterar den ökade komplexiteten som uppstår i både utbuds- och efterfrågeändan av värdesystemet och ser till att energibalansen kan upprätthållas. Följaktligen pågår utvecklingen av tekniken och marknaden ganska synkront över hela världen, om än drivet av olika motiv. Det innebär i sin tur att det läggs olika tonvikt på vad som är väsentligt med ett Smart Elnät. **USA** har ett marknadsperspektiv med konsumenten och elmätaren i fokus. **Kina** satsar på transmissionssystem och i **Europa** spelar omställningen till förnybara energikällor en huvudroll.

Oberoende av var man befinner sig i världen **är starkt kundengagemang** ändå den viktigaste drivkraften i utvecklingen av de nya elnäten. Under många decennier har elkunderna tvingats vara passiva, men för Smarta Elnät är en passiv kundbas ett direkt hinder för utvecklingen. Alla konsumenter behöver bli aktiva deltagare i energisystemet och kommer i slutänden att bära både kostnader och fördelar av investeringarna. Det innebär i sin tur att Smarta Elnät kommer att vara **elanvändarnas verktyg** för att kompensera för högre energipriser genom att den totala energieffektiviteten inom industrin, för kommersiella fastigheter och i bostäder ständigt förbättras.

Den processen har knappt börjat. Det är långt ifrån en fråga om enbart teknik och **det finns flera potentiella hinder**. Det krävs fortfarande **teknikförbättringar**. Bland de viktigaste är kostnadseffektiva energilager som är helt nödvändiga för att realisera de nya, smarta, elnäten. Dessutom måste **spelreglerna på elmarknaden** anpassas efter de nya behoven. Smarta Elnät **förändrar elmarknaden** genom att utrymme ges för många nya sätt att tjäna pengar och därför kan nya aktörer med **nya affärslogiker** förväntas att engagera sig. Mer avancerade elnät och energieffektivisering ger nya gränssnitt mot konsumenterna, där målet blir att sälja mindre - inte mer - elenergi. Det är ett hot eller åtminstone en utmaning för de etablerade elleverantörerna och deras affärsmodeller.

Helhetsperspektivet är avgörande för att undvika att enskilda aktörer förfördelas och kanske bromsar utvecklingen. Det är i sin tur en av de föreskrivande myndigheternas viktigaste uppgifter.

Utvecklingshastigheten är hög i jämförelse med vad som traditionellt brukar gälla i den elektrotekniska branschen, **men till viss del är det en synvilla**. IT och telekommunikation påverkar effektivt de ”lätta” delarna av tekniken medan den ”tunga” elektrotekniska utvecklingen och investeringarna håller sitt normala tempo. Trots att IT och kommunikationsteknik har fått det största uppmärksamhetsvärdet utgör det endast en bråkdel av hela den ekonomiska marknadspotentialen. **IT är toppen av isberget**. Men det är en avgörande del - utan IT och kommunikationsteknik blir det inga Smarta Elnät. En konsekvens av de ökade tekniska möjligheterna är att det är nödvändigt att se till **olika delmarknader** - med olika drivkrafter - för att förstå i vilken takt totalmarknaden kan utvecklas

Kunskapsspridningen mellan olika regioner och institutioner ökar också i takt med att erfarenheterna från olika demonstrations- och försöksprojekt i olika länder börjar sammanfattas. Det är en viktig del i utvecklingsprocessen. Att lära av andras erfarenheter, framgångar och misstag bör prioriteras och stimuleras. En stabil grund, minimerade risker och stark tillväxt utgör fundamentet för att attrahera kapital till de nya elnäten.

Slutligen har svenska företag och svensk exportindustri mycket goda förutsättningar att bli framgångsrika och ledande på världsmarknaden för Smarta Elnät. Tillgången till kompetens, väl positionerade företag och forskning talar starkt för det. Men det sker inte utan vilja, engagemang och ledarskap och därtill politisk insikt och handlingskraft.

Del 1.

Det Smarta Elsystemets Marknad och Dynamik

Nya krav och ny teknik lockar nya aktörer - resultatet blir konvergens på många plan

Inledning

*Med facit i hand står det klart att försörjningssystemet för elektricitet fungerade utmärkt de första hundra åren. Det har funnits el i ledningarna när vi behövt den. Elektriciteten har gjort en fantastisk ekonomisk utveckling möjlig - mellan 1920 och 1960 ökade elanvändningen med hela sju procent per år. Kostnaderna har varit förutsägbara och minskande - 1967 var priset 95 procent lägre än vid förra sekelskiftet och efter det närmast konstant. Valmöjligheterna har i och för sig varit begränsade (och myndigheterna har på gott och ont fattat besluten åt oss). Men det har varit ett förutsägbart system. **Nu händer något som vänder upp och ner på många invanda begrepp.** Elsystemet förbättras för nästa sekel av - förhoppningsvis - framgångsrik utveckling, men med förändrade förutsättningar.*

Genom att komplettera de "ointelligenta elledningarna" med informationsteknik, smarta sensorer, digital mätutrustning och ett kommunikationsnät som liknar Internet kan **elnäten** bidra till effektivare användning av energin. **Brattle Group** uppger att de indirekta besparingar som Smarta Elnät kan ge uppgår till ca 280 mdr EUR fram till år 2050, bara i USA. **Realtidsinformation** över elanvändningen skulle kunna minska elkonsumtionen med 6,5 procent i genomsnitt.¹⁰ Om elpriserna varierade med belastningen på nätet – **dv s att priset direkt signalerar tillgång och efterfrågan** - skulle förbrukningen kunna minska med 10 - 15 procent under tider med toppbelastning. Enligt samma studie skulle besparingen kunna dubblas en gång till om man inför automatik i hemmen som stänger av valda förbrukare när priserna och belastningen ökar.

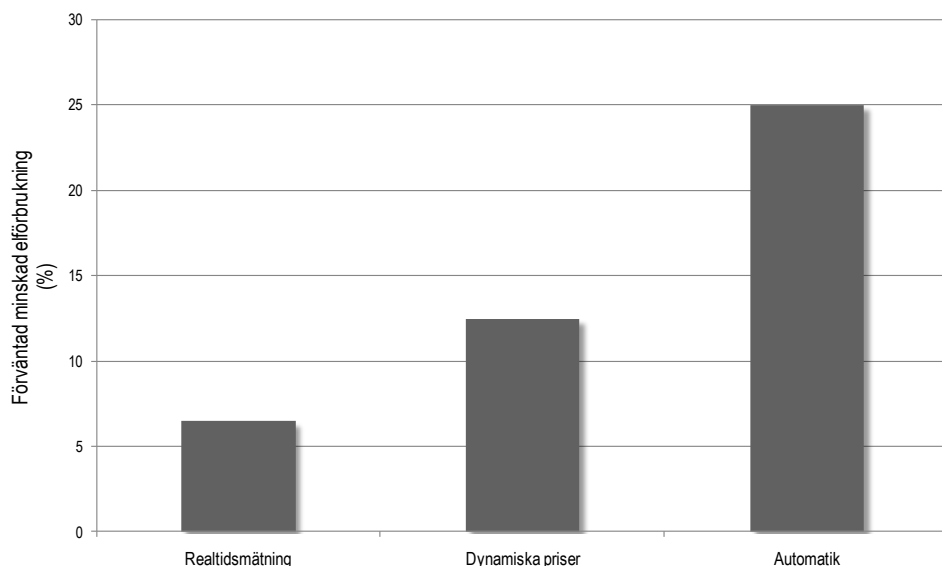
Ekonomiska fördelar tillsammans med miljömål gör att regeringar runt om i världen är beredda att öronmärka stimulanspengar för att bygga nya avancerade elnät. På det följer leverantörerna av elteknik som spenderar stora summor på utvecklingen. **Siemens**, till exempel, uppskattar att värdet av den del av marknaden som de adresserar är 30 mdr EUR fram till år 2014 och strävar efter en marknadsandel på 20 procent.¹¹ Sedan kommer riskkapitalisterna som under senare år bara i USA har spenderat en miljard dollar för att bygga företag och utveckla produkter och tjänster.¹² Dessutom finns alla IT-företag, telekomföretag och konsulter som ser en ny och mycket stor marknad öppnas

¹⁰ Brattle Group, 2009, The iGrid Project. Inklusive elbilar skulle effekten vara ca 570 mdr USD och rakt översatt till hela världen skulle det motsvara 1 400 mdr EUR.

¹¹ Siemens, 2009, Press Release, AXX200909.81 e

¹² The Economist, Wiser Wires, 8 oktober 2009

för deras tjänster och produkter. Intelligent elnät utgör en stor del av **IBM:s Smarter Planet Vision**. **Cisco**, en av världens största tillverkare av nätverksutrustning, förväntar sig att de Smarta Elnätens underliggande kommunikationsnät kommer att vara 100 eller 1 000 gånger större än internet.¹³



Figur 3: Besparingspotential vid införande av mätning, incitament och automation/Smarta Hem. Källa: Brattle Group

I en andra våg kan olika typer av **tjänsteleverantörers** engagemang bli omfattande. Möjligheten att göra affärer med de informationsflöden som följer när nya gränssnitt uppstår mot konsumenterna, kommer att vara stora. **Google** och **Microsoft** har redan visat att de vill vara med i matchen.

Behovet av att utveckla elnäten är inte någon ny idé. Det är väl känt att tekniken för överföring och distribution av el (oavsett var i världen) är sårbar och kan göras effektivare. Stora mängder energi förloras varje år på grund av tekniska problem eller stölder - upp till 10 procent i USA och i Europa och mer än 50 procent i vissa storstäder i utvecklingsländerna. Elavbrott kostar den amerikanska ekonomin mellan 150 och 200 mdr USD varje år.¹⁴

Att Smarta Elnät fått en så stor uppmärksamhet just nu har flera skäl. Redan för ett par årtionden sedan fanns visioner om ett energilandskap med mycket distribuerad och lokal elproduktion och högre grad av automatisering. Den teknik som krävs har i mångt och mycket funnits sedan lång tid. Men det är först nu som klimatåtaganden och stimulansåtgärder fått så stor effekt att ett dylikt energilandskap börjar bli verklighet. En annan

¹³ CNET, 2009, Cisco: Smart grid will eclipse size of Internet

¹⁴ The Economist, Wiser Wires, 8 oktober 2009

bidragande orsak till den stora uppmärksamheten att **IT- och telekomsektorn** har insett affärspotentialen. Den **ekonomiska krisen** i kombination med att elnäten har tillåtits åldras allt för mycket är en tredje orsak.

Klimatdebatten och stigande energipriser gör Smarta Elnät till en **politisk symbolfråga** och ett investeringsområde för att med statlig stimulans ta ansvar för klimat och miljö och samtidigt skapas sysselsättning. **US Department of Energy** har påbörjat tilldelningen av de 7,1 mdr USD som öronmärkts för Smart Grids i landets stimulanspaket. I **Tyskland** kommer smarta mätare att bli obligatoriska i nya byggnader från och med 2010. **Storbritannien** planerar att genomföra en utbyggnad av Smarta Elnät till 2020. **Kina** har en femårsplan för vad som kallas ett ”**Starkt och Smart nät**”.

Men när de kommersiella intjäningsmodellerna för Smarta Elnät ska beräknas är det mycket svårare än att bedöma kostnader och intäkter för traditionella elsystem och för energieffektivisering. Investeringskostnaderna är stora och hur intäktsströmmarna ser ut är otydliga. Det enda som är säkert är att det kommer att ta tid innan investeringarna är återbetalade. Men det senare är inget nytt inom elbranschen som är van vid långa återbetalningstider. Det som tillkommer i de nya elnäten är kostnaderna för ”intelligensen” och konsekvensen av dess förhållandevis snabba utveckling. Då uppstår osäkerhet om tekniska livslängder och ekonomiska avskrivningstider.

Andelen informationsteknik är dock inte speciellt stor i förhållande till mer välkända investeringsobjekt som kraftledningar, transformatorstationer och ställverk. Ungefär som toppen på ett isberg. Det innebär inte att informationstekniken ska negligeras, men att omedelbart vända upp och ner på alla gamla sanningar är förhastat. Mindre aktörer står förvisso inför större utmaningar än de stora eftersom kostnaderna för informationstekniken relativt sett blir större. Det gäller speciellt för distributionsföretagen som drabbas av relativt högre merkostnader än transmissionsbolagen. Å andra sidan är tanken att investeringarna ska ge stora fördelar över tiden och skapa värden som *måste* returnera intäkter för de som varit beredda att satsa. Om inte så sker fungerar inte affärsmodellerna.

Det finns många osäkra faktorer. Bland annat därför finns en jättemarknad för konferenser, bloggar, forum och rapporter (som denna) där dessa frågor stöts och blöts. Inte minst finns det ett flertal pilot- och demonstrationsprojekt som effektivt försöker skaffa svar på frågorna.

Den nya elnätstekniken är ett område av strategiskt stor betydelse för den framtida energiförsörjningen. Det är dessutom ett område som rör sig mycket snabbt framåt, både tekniskt och kommersiellt. I rapporten har vi därför prioriterat att ge en god grundförståelse av teknik, marknad och affärslogik för att läsaren sedan ska kunna dra sina egna slutsatser. Rapporten består av två delar. Den första delen börjar med att beskriva grunderna i smart elnätsteknik och fortsätter med att diskutera drivkrafterna och förutsättningarna för marknadsutvecklingen. Här beskrivs energimarknaden, hur

smarta elnät arbetar med efterfrågestyrning och dess konsekvenser för konsumenter samt hur olika affärslogiker kan fungera. Vidare beskrivs de stimulansåtgärder, investeringar och demonstrationsprojekt som finns i världen idag. Del 1 avslutas med en ingående beskrivning av marknaden för smarta elnät, indelad i delmarknader och med fokus på företag med ambitioner i området. Den andra delen av rapporten är en fördjupning inom några områden som kan vara intressant för den mer nyfikne läsaren. Sist i rapporten finns en lathund över teknik i de Smarta Elnäten.

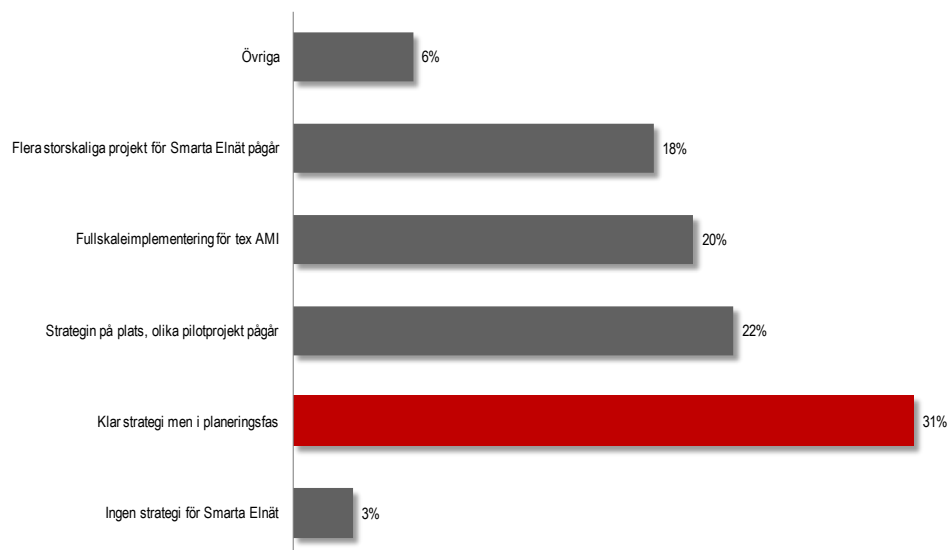
Grunderna i Smart Elnätsteknik

I de följande avsnitten kommer de nya elsystemens marknad och dynamik att diskuteras. Som grund presenteras här en översikt över de Smarta Elnätens definitioner och strukturella uppbyggnad.

Som ofta när tekniken gör nya landvinningar uppstår en tid av begreppsförvirring, teknikfragmentering och brist på kunskap. När tingen blivit vardag har nomenklaturen kommit på plats liksom den allmänna teknikacceptansen och ingen funderar speciellt mycket mer på det. Smarta Elnät befinner sig just nu i skedet där de professionella och berörda börjar ha en mycket klar uppfattning om vad det innebär. Enligt en undersökning av det amerikanska undersökningsföretaget **Green Tech Media** har större delen av elverksbolagen i USA en klar strategi för hur de vill gå vidare (se figur nedan).¹⁵ Men bland folk i allmänhet gäller fortfarande att Smart Grid eller Smarta Elnät är ett ganska okänt begrepp eller åtminstone är uppfattningen om vad det är ganska vag.

Vilken mening en terminologi får hänger samman med nationella förutsättningar, kultur och hur långt utvecklingen har nått. Det gäller även Smarta Elnät. I **USA** finns ett kundcentrerat resonemang som rör sig runt ”**Smart Metering**”, den smarta elmätaren och vilka möjligheter den kan ge. **IT och kommunikationsteknik** dominerar begreppet. I **Europa** förs ett mer tekniskt resonemang kring system, förnybar energi och tillgänglighet. I **Kina** ses den kraftiga utbyggnaden av elsystemet som en förutsättning för tillväxt och senast möjliga teknik är en självklarhet.

¹⁵ Green Tech Media, 2009, Smart Grid Strategies – End-to-End Communications Infrastructure



Figur 4: Planeringshorisont bland amerikanska elbolag (AMI = Advanced Metering Infrastructure). Källa: Green Tech Media Research.

En enhetlig beskrivning av Smarta Elnät finns därför inte, men det saknas inte definitioner. Några av dem är:

- EU:s Technology Platform för Smart Grids¹⁶ har formulerat det så här:

Smart Grid is an electricity network that can cost efficiently integrate the behaviour and actions of all users connected to it - generators, consumers and those that do both - in order to ensure economically efficient, sustainable power system with low losses and high levels of quality and security of supply and safety.

- Elbranschens paneuropeiska intresseorganisation **EURELECTRIC**, definierar på ett snarlikt sätt:¹⁷

A smart grid is an electricity grid that can intelligently integrate the behaviour and actions of all users connected to it - generators, consumers and those that do both - in order to efficiently ensure sustainable, economic and secure electricity supply

- Standardiseringsorganet **IEC**, International Electrotechnical Commission, har föreslagit följande breda definition och förklaring:¹⁸

Smart grid, intelligent grid, active grid: Electric power network that utilizes two-way communication and control-technologies, distributed computing and associated sensors, including equipment installed on the premises of network users.

- Den amerikanska elindustrins forskningsinstitut **EPRI**, Electric Power Research Institute använder följande definition:¹⁹

¹⁶ Directorate-General for Research, Sustainable Energy Systems, 2006, Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future, www.smartgrids.eu

¹⁷ EURELECTRIC, 2009, Smart Grids and Networks of the Future

¹⁸ ERGEG, 2009, Position Paper on Smart Grids

The term 'smart grid' refers to a modernization of the electricity delivery system so it monitors, protects and automatically optimizes the operation of its interconnected elements - from the central and distributed generator through the high-voltage network and distribution system, to industrial users and building automation systems, to energy storage installations and to end-use consumers and their thermostats, electric vehicles, appliances and other household devices.

Ett annat begrepp som förekommer är **Super Grid**.²⁰ Det har sitt ursprung i den amerikanska organisationen för kraftindustrin, **EPRI** och dess grundare **Chauncey Starr**. Visionen är ett kontinentalt nät som kombinerar transporten av elektricitet och vätgas, där vätgasen används för att kyla det elektriska nätet till supraleddande nivå. Vätgas och el skulle produceras i kärnkraftverk på olika ställen efter nätet. Elektriciteten leds sedan av till existerande växelströmsnät och även vätgasen skulle lämna nätet på olika tappställen. Den skulle kunna driva bränslecellsbilar eller användas för energilagring. Emellertid har begreppet alltmer börjat användas för att beskriva internationella och nationella transmissionsnät med ultrahöga spänningsnivåer. Organisationen **Friends of the Super Grid**, en intressesammanslutning för att ena Europa med hjälp av mellanstatliga transmissionsledning, använder följande definition:

"Supergrid is defined as "An electricity transmission system, mainly based on direct current, designed to facilitate large-scale sustainable power generation in remote areas for transmission to centres of consumption, one of whose fundamental attributes will be the enhancement of the market in electricity".

För att ytterligare röra till begreppen, så används namnet **Super Smart Grid (SSG)** ofta som synonym för den integrerade visionen om ett enat transmissionssystem mellan Europa, Mellanöstern, Nordafrika och CIS-länder (delar av forna Sovjetunionen).

I denna studie menar vi att det som särskiljer de Smarta Elnäten är **deras avancerade förmåga att hantera komplexitet**. Ökad komplexitet är till stor del en konsekvens av ett förändrat energilandskap, vilket i sin tur är en konsekvens av sinande fossila resurser, hänsyn till klimatet och säker energiförsörjning. Vi betraktar **Smart Grid/Smarta Elnät** (vi använder ömsom båda begreppen i texten) som ett paraply för:

- **Avancerade distributionsnät** som kan hantera hög grad av komplexitet. Det innebär bland annat dubbelriktat informationsflöde och dubbelriktat kraftflöde.
- Nationella, kontinentala och interkontinentala transmissionsnät av olika typer och spänningsnivåer som i sin förlängning är integrerade med ett eller flera avancerade distributionsnät.

och/eller:

¹⁹ EPRI, 2009, Report to NIST on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap, www.nist.gov/smartgrid/

²⁰ Se även fördjupningsavsnitt angående Super Grids i Del 2.

- **Avancerade transmissionsnät** av typen HVDC och UHVAC.²¹ För dessa enskilt använder vi begreppet **Super Grids**.



Figur 5: Smart Grids hanterar den ökade komplexiteten i båda ändarna av elvärdekedjan. Till Smart Grids räknas i denna studie avancerade distributions- och transmissionsnät samt transmissionsnät som är integrerade med avancerade distributionsnät

Det smarta elnätets struktur

De olika funktioner som krävs för att ett elnät ska betraktas som "smart" kan förenklas till tre olika tekniska nivåer, som på engelskt datorspråk ibland kallas "stacks". Dessa omgärdas av olika säkerhetslösningar och naturligtvis olika typer av integrationstjänster som fogar samman delsystem. Fler tekniska beskrivningar återfinns i rapportens fördjupningsdel.

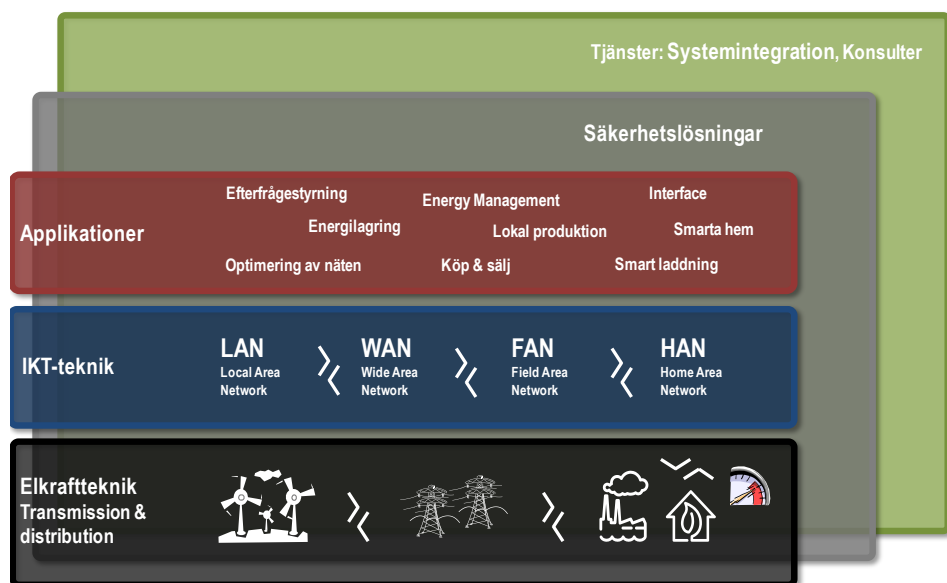
Det nedersta lagret [svart i figuren] utgörs av **elkraftteknik**, från kraftverket fram till konsumenterna. Väl där sker avancerad elmätning, eller på engelska **AMR**.²² Det är en nyckelfunktion för att hålla reda på elförbrukningen och vart den sker. Hittills är mättekniken också den del av marknaden som uppmärksammas mest, till nytta för tillverkare såsom **General Electric** och **Landis+Gyr**. Mer än 76 miljoner mätare hade installerats i världen vid slutet av år 2009 enligt marknadsundersökningsföretaget **ABI Research**. Deras prognos är att installationsbasen kommer att öka till 155 miljoner till år 2013.²³ Till detta kommer behovet att hantera mätdata och att kommunicera den till centralt belägna servrar och databaser. Sådana nätverk kan automatiskt konfigurera sig själva när nya mätare läggs till. Kablar, ledningar, transformatorer och nätstationer är andra naturliga delar i den här nivån som tydligast representeras av leverantörer som **ABB**, **Siemens** och **General Electric**. Ett annat särskiljande drag från de flesta av da-

²¹ HVDC: High Voltage Direct Current; UHVAC: Ultra High Voltage Alternating Current

²² Automatic Meter Reading

²³ Smart Meters for Smart Grids, 2010

gens elnät är den inbyggda förmågan att hantera elektriskt flöde från småskalig, privat, elproduktion ut på nätet, d v s dubbelriktad matning.



Figur 6: Schematisk modell över de olika tekniklagren som behövs för att bygga Smarta Elnät

Mellanlagret [blått i figuren] hanterar informationen från fältet och kombinerar den med andra data - som priser och efterfrågan. Med andra ord handlar det om **kommunikation mellan datorer och databaser**. Här erbjuder företag som **Cisco**, **Ericsson** och många fler sina tjänster. **Hemmanäten** för vanliga hushåll kallas **HAN**²⁴. Den branschen har som ambition att lägga beslag på all Smart Grid-teknik *innanför* elmätaren i hemmen. Visionen är det **Smarta Hemmet** med funktioner som trådlösa nätverk med datorer och displayer som visar hushållens elförbrukning i realtid och termostater och andra givare som är kopplade till elmätaren och smarta apparater som kan slås av och på automatiskt. Utöver det kan hemmanätverket också kontrollera säkerheten (till exempel inbrottslarm och brandlarm) och naturligtvis olika mediekanaler med strömmande bild och ljud. Det finns redan en stor mängd företag som siktar in sig på marknaden för hushåll och kommersiella fastigheter.

Det tredje lagret [rött i figuren] härbärgerar alla de olika IT-system och programvaror som styr, övervakar och stödjer de funktioner som behövs för att kedjan från den elektriska generatoren till det Smarta Hemmet (och elbilen) ska hålla och dessutom vara effektiv. Här vill **IBM** erbjuda sin hjälp med att integrera olika system, bygga tillämpningar och analysera de stora mängder data de producerar. **Oracle** och **SAP** är också

²⁴ Home Area Network

med i den främsta linjen och erbjuder s.k. **end-to-end** lösningar, från början till slutet av värdesystemet.

Det bakre lagret [grått i figuren] är av stor vikt för att skydda viktiga samhällsfunktioner när dator och kommunikationssystem på olika sätt öppnar sig mot Internet. Farorna ligger inte bara i virus, malware (sabotageprogram) och hackare. Den datoriserade och uppkopplade världen blir allt mer en arena för angrepp, spionage och krigshandlingar, vilket den sofistikerade attacken 2010 med trojanen **Stuxnet** mot iranska kärnkraftverket Bushehr vittnar om. Att skydda infrastrukturerna är en stor uppgift som även innebär en stor marknad. Förutom de etablerade antivirusföretagen tar försvars- och flygindustrin ett steg in på detta område. Exempel är **Raytheon, Boeing, Lockheed Martin** och svenska **SAAB AB**.

Ytterligare en aspekt på **cybersäkerhet** är integritetsskyddet. Ökad information om hushållen såsom elförbrukning på minutnivå, kan omsättas till värdefull marknadsinformation. Med tanke på den diskussion som pågår idag vad gäller datalagring av kommunikation kan det tänkas bli en allt viktigare faktor.²⁵

Till sist innebär tjänstelagret [grönt i figuren] en stor marknad för systemintegratörer och konsulter. Bland dem som positionerat sig starkt kan nämnas **IBM**, men här finns utrymme för en mängd lokala och nischade tjänsteleverantörer.

Med tanke på den stora uppmärksamheten, de stora stimulansåtgärderna (se avsnittet *Att Stimulera*) och antalet nya och gamla företag som ger sig in på marknaden för Smarta Elnät kan man kanske förvänta sig att den nya tekniken raskt blir tillgänglig. Men situationen är mer komplex än så. Det finns tre skäl till att allt inte kan ske på några få år. **Det första** är att regler, lagar och standarder måste anpassas innan tekniken på allvar kan börja penetrera marknaden. Det är en process som bara har börjat och som inte är enkel. **Det andra skälet** är att mycket av den elektriska infrastrukturen visserligen behöver byggas om och ut, men i slutänden måste någon betala. Även om summorna för att investera i IT och telekom är enorma är de ändå blygsamma i jämförelse med vad som krävs för att bygga ny kraftproduktion och nya kraftledningar. Affärsmodeller, finansieringsformer och riskanalyser behöver komma i fatt. **Det tredje skälet** är att tekniken ännu inte är helt komplett. Det mesta finns i någon mening men det finns utrymme för utveckling.

För somliga aktörer ter sig processen kanske alltför långsam, men för elbranschen och med historiskt perspektiv går det ändå väldigt fort. Till viss del är det en ”synvilla”, där IT-utvecklingen gärna lyfts fram, före den elektrotekniska. Men elbranschen är i förändring, nya aktörer tillkommer och konsumenterna håller på att vakna. Precis som vid många andra systemskiften går de nya elnäten igenom sin **hype cykel**.²⁶ Efter en period

²⁵ Se även fördjupningsavsnitt angående Cybersäkerhet i Del 2.

²⁶ Hype cycle: Ett begrepp myntat av konsultföretaget Gartner Group.

av uppblåsta förväntningar brukar det komma ett bakslag, där optimismen ersätts av desillusion. Innan utvecklingen till slut tar fart igen och lutningen på utvecklingskurvan ökar. Var vi befinner oss med Smarta Elnät just nu är svårt att veta, men tecken finns på att ”hype-puckeln” är på väg att passeras och då går vi in i den verkliga utvecklingen av världens elektriska system.

Energiekvationen - Hur världen ska klara sin energiförsörjning

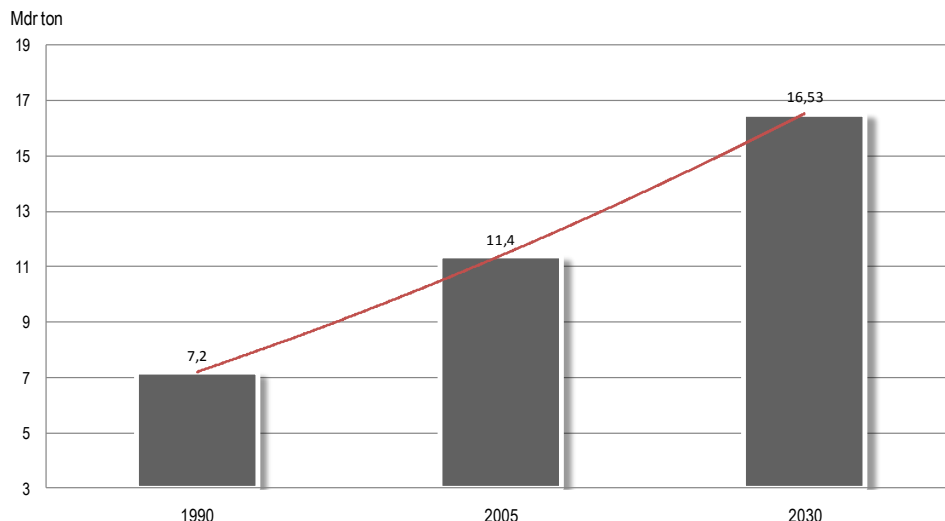
Miljarder människor i världen reser sig nu ur fattigdom. Världsbefolkningen ökar från dagens sex miljarder till nio miljarder människor och världsekonomin kan förväntas femdubblas till år 2050. Det är inte svårt att föreställa sig vilka påfrestningar det innebär för planeten. Konkurrensen om resurser kan skapa allvarliga spänningar i både lokala samhällen och det internationella samfundet.

Det finns framförallt fyra motiv för att världen behöver en ny strategi för sin energiförsörjning:

- **Hållbarhetsmotivet** - Berör klimatet och miljön
- **Sårbarhetsmotivet** - Är viktigt för försörjningssäkerhet och nationell suveränitet
- **Marknadsmotivet** - Visar på konkurrensen mellan världens regioner och hur de mikroekonomiska spelreglerna kan förbättra energihushållningen
- **Tillväxtmotivet** - Rymmer de snabbt växande och stora utvecklingsmarknaderna (Kina, Indien), men även den internationella sammankopplingen av elsystem som är på väg att ske. Rättvisaspekten kan placeras in under detta motiv: större delen av världens befolkning saknar elektricitet.

Genom politik, lagrum, incitament och innovationer kan det globala energisystemet påverkas åt önskat håll. I praktiken leder det till en omställning av energiproduktionen och effektivare energianvändning. *Avancerad elnätsteknik är ett nödvändigt centrum i processen, som gör det möjligt att effektivisera och att bland annat använda sol, vind och vågor som kraftslag.*

Det största förändringstrycket är - paradoxalt nog - en konsekvens av de bränslen som under mer än hundra år tjänat som drivmedel för tillväxt och ökat välbstånd. Den sammansatta energianvändningen i världen består till 80 procent av kol, naturgas och olja, varav mer än en tredjedel utgörs av **petroleumprodukter**. Energinbehovet fortsätter att öka i snabb takt när de stora utvecklingsländerna industrialiseras. Mellan år 1990 och år 2030 kommer energiförbrukningen mer än fördubblas (se figur). Vi ska närmare studera de olika fossila energislagen och andra fenomen som driver behovet av ett nytt system för att distribuera, optimera och kontrollera energin.



Figur 7: Världens energiförbrukning i mdr ton oljeekvivalenter. Källa: IEA

Oljan Sedan 2003 förbrukar världen mer olja än vad som upptäcks i nya fyndigheter. En fortsatt utveckling i samma takt innebär att nya oljefält som **motsvarar kapaciteten av sex nya Saudiarabien** måste vara i produktion inom två decennier.²⁷ De lättillgängliga reserverna är snart uttömda och att ta vara på olja som är mer svårtillgänglig betyder högre kostnader för utvinning och förädling. Ett annat frågetecken har dykt upp i samband med katastrofen på oljeborrplattformen **Deepwater Horizon** i Mexikanska Golfen (april 2010), nämligen att riskerna med oljeutvinning kan öka. När prospektering sker i miljökänsliga områden ställs högre krav på teknik och säkerhet, vilket också ökar kostnaderna. Att oljepriset ökar i takt med att tillgången minskar är en ofrånkomlig del av marknadsekonomin.

Naturgas svarar för en fjärdedel av världens energiförsörjning. I Europa är siffran en femtedel, i Norden sju procent och i Sverige två procent.²⁸ Flera europeiska länder ersätter naturgas kol och olja i anläggningar för elproduktion. Ett gasformigt bränsle innebär att en högre verkningsgrad kan uppnås. I den mån naturgas ersätter kol och olja kan den därför bidra till att sänka koldioxidutsläppen. Fyndigheter finns på många ställen runt om i världen bland annat i Ryssland, Iran, Algeriet och Nordsjön. Den ryska naturgasen svarar för drygt 40 procent av världens samlade naturgasreserver.²⁹ För trettio år sedan motsvarade de kända tillgångarna av naturgas 59 års ytterligare produktion, år 2005 var motsvarande uppgift att reserverna räcker för 65 års produktion.³⁰ Trots att naturgas kan vara ett bättre alternativ till olja och kol kvarstår därför att den inte tillhör

²⁷ IEA, World Energy Outlook 2008

²⁸ Svenska Gasföreningen, <http://www.gasforeningen.se/>

²⁹ Svenska Gasföreningen

³⁰ BP Statistical Review of World Energy 2006

de förnybara energislagen. Vissa förespråkar menar därför att en mer rättvisande benämning skulle vara **fossilgas**.

Kolet Under lång tid ansågs världens **kolreserver** räcka i ytterligare 200 år. I takt med stigande förbrukning har detta över tiden reviderats till runt 150 år. Inom den internationella kolbranschen diskuteras om detta är en relevant beskrivning av verkligheten. Det finns uppgifter om att de idag exploaterbara reserverna endast utgör cirka tio procent av de faktiska och att det ytterst är priset/kostnaderna i en avlägsen framtid som avgör hur mycket som i praktiken kan komma att utnyttjas.³¹ Kolreserverna synes med andra ord ha en i det närmaste obegränsad livslängd i jämförelse med olja och naturgas om man bara ser till de fysiska resurserna.

De fossila bränslena kommer alltså att praktiskt kunna förse oss med energi för dagligt bruk ännu ett tag. Prognoserna pekar på att oljan sinar först, följd av naturgasen och på lång sikt så småningom kolet. Konsekvensen över tiden blir ökade priser vilket i sig själv är motiv för att söka nya alternativ. Men det finns ytterligare frågetecken. Främst handlar det om hur koldioxidfrågan kommer att utveckla sig i det långa perspektivet, men också om hur tillgången på energi kan säkerställas.

Nationell säkerhetspolitik blir en allt viktigare strategisk aspekt för försörjningen av energi. Det råder en situation med nya konkurrensvillkor på marknaderna för olja och gas. Det som en gång dominerades av de stora amerikanska och europeiska bolagen är nu föremål för statsägda nationella olje- och energibolag som i många fall drivs med mått av politiska målsättningar. Journalisten **Thomas Friedman** har i ett välkänt citat sagt att:

"the price of oil and the pace of freedom always move in opposite directions".³²

Det säkerhetspolitiska motivet för alternativ till oljan har länge varit självklart i USA - som förbrukar ca 25 procent av all olja i världen³³ - och driver på diversifieringen av landets energiförsörjning. Det har hittills varit en viktigare faktor än klimatfrågan. Trots att Europas beroende av importerad energi är omfattande upplevs det i allmänhet ännu inte som ett problem. Men tecken på att den inställningen är på väg att förändras finns dock. Europa är redan världens största importör av energi och andelen importerad energi förväntas växa till 70 procent av förbrukningen år 2030.³⁴ Ett stort och ökande beroende av rysk naturgas bidrar till att säkerhetsfrågan väckts.

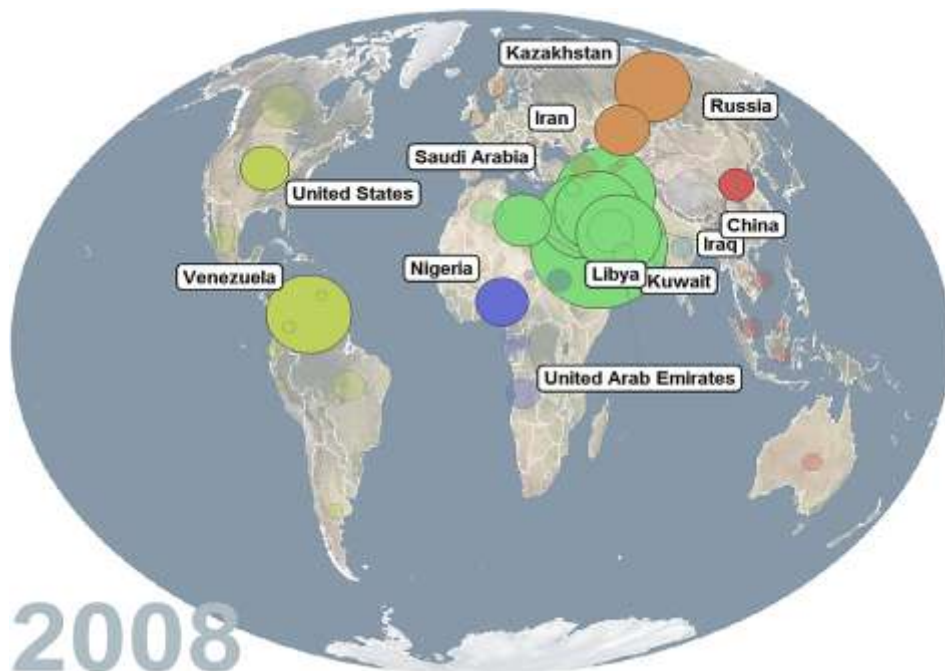
³¹ Svenska Kolinstitutet, nyhetsbrev maj 2008

³² Friedman, 2006, The First Law of Petropolitics, Foreign Policy

³³ Energimyndigheten, Tar Oljan Slut, 2004

³⁴ Maitah, 2009, EU Energy Dependency, The 67th International Atlantic Economic Conference

Det går att se en förskjutning där fossila resurser i högre utsträckning kommer från politiskt instabila regioner. Omkring två tredjedelar av de kända oljereserverna finns till exempel i länderna i Mellanöstern.³⁵



Figur 8: Jämförelse av världens kända oljereserver 2008. Källa: Världsbanken, Gapminder.

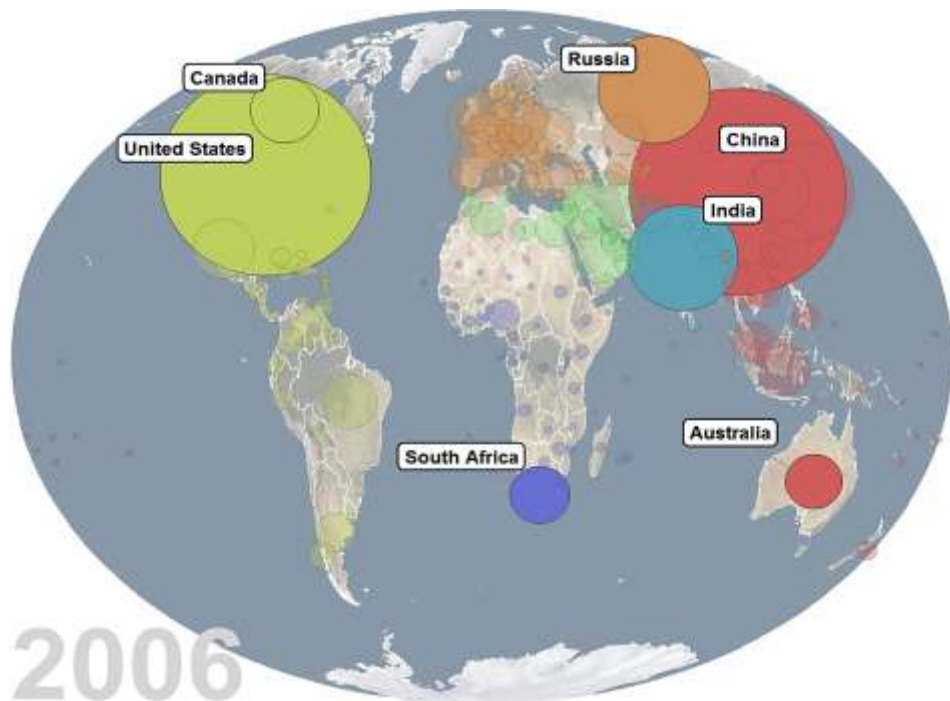
Den globala uppvärmningen är ändå den fråga som skapar flest rubriker. I debatten om den globala uppvärmningen beror på oss människor, eller är ett naturligt (cykliskt) fenomen, har försiktighetsprincipen anammats. Konsekvenserna *kan* annars bli stigande vattennivåer, utbredd torkmark och extrema väder, som omsatt i ekonomiska termer till en kostnad mellan 5 och 20 procent av världens BNP årligen.³⁶

Den största potentialen att minska utsläppen av koldioxid och andra växthusgaser hänger samman med att öka andelen förnybar elproduktion, finna alternativa fordonsbränslen och samtidigt minska de fossila kraftverkens belastning på miljön. Det senare kan ske genom minskad förbrukning och genom teknik för koldioxidlagring. Inom EU är målet att öka andelen förnybar energi till 20 procent av den totala efterfrågan. Samtidigt ska förbrukningen minska med 20 procent och andelen växthusgaser reduceras med 20

³⁵ Energimyndigheten, 2004, Tar Oljan Slut

³⁶ Stern, 2006, The Economics of Climate Change

procent (i förhållande till nivåerna år 1990) fram till år 2020. Målen för år 2050 indikerar 80 - 95 procents reduktion av växthusgasutsläppen i jämförelse med år 1990.³⁷



Figur 9: Jämförelse av koldioxidutsläpp vilket delvis svarar mot mängden förbrända fossila bränslen. Källa: Världsbanken, Gapminder.

Parallellt kan geopolitiska och ekonomiska förskjutningar förväntas. Områden med naturliga fördelar kan få ökad betydelse som energiexportörer. Solens instrålning gynnar länderna runt ekvatorn och planer finns för jättelika solkraftverk på många ställen. Tillgång till vattenkraft och biomassa får ett ökat värde i de nordliga regionerna, i Sydamerika och delar av Asien. Vindkraft, som vid det här laget är en mogen teknik, fortsätter att öka i betydelse överallt. Havsvågornas och strömmarnas inneboende energi kan utnyttjas av kustländerna. Dessutom ökar motiven för att hushålla och göra energianvändningen mycket mer effektiv - den allra smartaste kilowattimmen är trots allt den som aldrig förbrukas: ”negawatten”.³⁸

³⁷ ERGEG, European Regulators Group for Electricity and Gas, Position Paper on Smart Grids, dec 2009

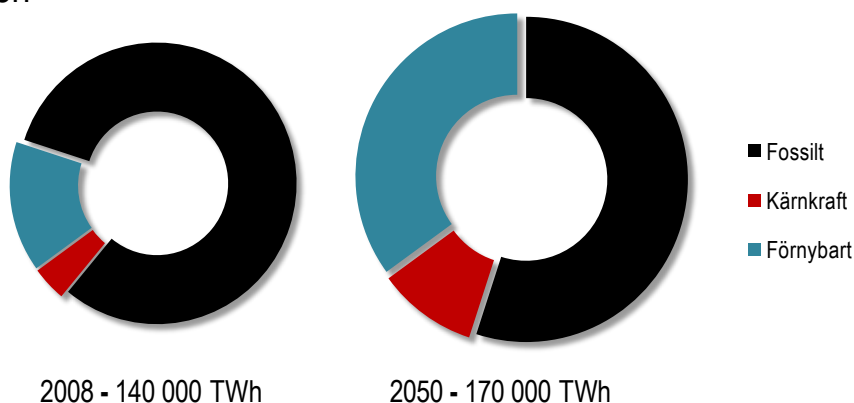
³⁸ Begreppet sägs vara myntat av Amory Lovins, Rocky Mountain Institute

Framtiden

Så hur kan världen se ut om fyrtio år? Till år 2050 kan man räkna med att stora förändringar har genomförts. Enligt **KVA**, Kungliga Vetenskapsakademien,³⁹ finns den största potentialen för icke-fossil energi i de redan befintliga energikällorna - **vattenkraft, bioenergi, kärnkraft och vindkraft**. På längre sikt har **solenergin** den största utvecklingspotentialen. Men det är knappast realistiskt att räkna med en fossilfri värld redan 2050. Även om användningen av fossila bränslen minskar kommer de ändå att stå för hälften av världens energiförsörjning. Istället blir vi tvungna att reducera koldioxidutsläppen med teknik, till exempel koldioxidlagring med **CCS-teknik** (Carbon Capture and Storage). Sverige har ett bra utgångsläge med endast drygt 33 procent fossil energi, främst olja. Nästan all elproduktion (97 procent) är fossilfri liksom stora delar av värmeproduktionen.

En avgörande del i att förändra energisystemet mot mindre fossilberoende är energieffektivisering och att öka användningen av fossilfri elektricitet. Andelen elenergi på global nivå beräknas att mer än dubbleras från **20 000 till 45 000 TWh**. Vind-, våg- och solkraft kommer att bli viktiga delar i omställningen av energisystemet. Men när det inte blåser eller solen inte skiner måste det finnas effektreserver i form av energi från andra källor, vad som kallas **basenergi**. Energilagring kommer också att spela en stor roll för att göra alternativa energikällor möjliga och lönsamma. Solkraftverk i ökenområden baserade på så kallad **CSP-teknik** (Concentrating Solar Power) i kombination med värmelagring kan slå igenom i stor skala till år 2050. Tekniken gör det möjligt att ta ut vattenånga och producera el även nattetid när solen inte lyser.⁴⁰

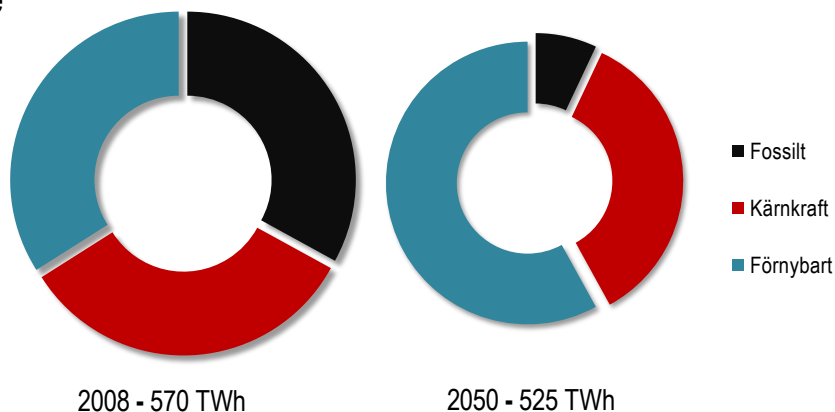
Världen



³⁹ KVA, Vetenskapliga Argument i Energidebatten no 7 april, 2010; KVA, Om Energin 2050

⁴⁰ Se även fördjupningsavsnitt angående Energilagring i Del 2.

Sverige



Figur 10: Utvecklingen av tillskott av primärenergi i världen respektive Sverige. Observera att graferna beskriver den totala energianvändningen, inte enbart elektricitet. Källa: KVA

Inom världssamfundet finns en insikt om behovet av utmaningarna. Det kommer att krävas ökad samordning på både regional och global nivå. Jordens energiproblem handlar inte bara om absoluta resurser utan även om fördelning. En och en halv miljard människor i främst Afrika och Sydostasien saknar elektricitet 2008. Det är en situation som endast sakta blir bättre. Om tjugo år kommer fortfarande 16 procent av världens befolkning att sakna el.⁴¹ Kort sagt är stabil elförsörjning en förmån för endast en tredjedel av jordens befolkning medan den övriga delen saknar elförsörjning eller endast har tillgång till el då och då.

IEF, International Energy Forum, är världens största sammankomst av energiministrar och täcker 90 procent av det globala utbudet och efterfrågan av olja och gas. Det är ett exempel på samverkansorgan som ser energifrågorna i ett helhetsperspektiv. Ytterst är det så som de stora investeringsbehoven i världens kan förklaras. Sammanfattningsvis handlar det om:

- Att byta ut och bygga nya, rena resurser för kraftproduktion - centralt, lokalt, på land och till havs
- Att transportera el i stora mängder över långa avstånd
- Att distribuera el till konsumenter på ett sätt som ger incitament för sparsamhet och timing - dvs. gör kunderna till aktiva användare och beslutsfattare
- Att ersätta bensin och olja med el för fordonstrafiken
- Att bygga nya infrastrukturer i utvecklingsländerna

Alla intressenter har olika roller när det kommer till att förnya de olika delarna av energisystemet. Det senare har inneburit att det finns samsyn om att **Smarta Elnät** är en

⁴¹ IEA, World Energy Outlook 2009

förutsättning för att nå målen om minskad klimatbelastning och att bryta beroendet av de fossila energislagen.⁴² Nationella och regionala myndigheter har en viktig uppgift i utvecklingsprocessen genom att mana till samarbete, att identifiera hinder och se till att överbygga dem samt att stimulera utvecklingen.

*Men samsyn är inte detsamma som att enas om mål och styrmedel, vilket inte minst visat sig i de internationella förhandlingarna kring ett **post-Kyoto** fördrag. Både förutsättningar och drivkrafter skiljer sig åt mellan länder. Men Smarta Elnät är en förutsättning för att realisera alla olika ambitioner: hållbarhet, tillväxt och säkerhet. Utmaningarna är stora och energisystemet ändras inte över en natt. Det handlar om anpassade ramverk, ny teknik och inte minst ett förändrat beteende – både för leverantörer och för konsumenter. I de följande avsnitten beskriver vi mer ingående vilka de förändringarna är.*

Efterfrågestyrning och Prisdynamik

“Consider all the studies, the statistical work, the knowledge that price seems to affect demand - - not a surprise - - so why all the uncertainty about how customers will act? This industry, perhaps, does not know its own customers”.

Sixth Annual Carnegie Mellon Conference on the Electricity Industry, April 2010

*Hur kan de Smarta Elnäten integreras i resonemanget - bli en ”game changer” - och göra marknaden mer följsam eller dynamisk om inte förutsättningarna för ökad konkurrens ökar? **Efterfrågestyrning**, eller Demand Response (som även kallas Förbrukningsrespons/Förbrukningsflexibilitet)⁴³ är ett nyckelbegrepp för att förstå vad de Smarta Elnäten kommer att betyda för kunder, producenter och miljön. Tekniken möter marknaden och tycke uppstår förhoppningsvis - annars fungerar inte tanken om Smarta Elnät.*

Starka kundrelationer är en viktig **hörnsten** i utvecklingen av de nya elnäten. Under många decennier har elkunderna varit passiva, så länge de bara betalat sina räkningar har alla varit nöjda. **Utvecklingen av Smart Grids gör att en sådan passiv kundbas blir ett hinder för utvecklingen.** För att få strategin med Smarta Elnät att fungera behövs förutom teknik också kunder som deltar aktivt på alla möjliga sätt. Det kan innebära medvetenhet om hur och hur mycket energi man använder, att man tar aktiva situationsanpassade beslut eller genom att man investerar i teknik. Att branschens aktörer har starka kundrelationer är viktiga därför att de utgör en förutsättning för att inse kundbehoven. Som kunder förväntar vi oss bra service utan att kanske inse vad vi menar med det. För leverantörer på de nya elmarknaderna måste i sin tur begreppet bra service vara mer än en tydlig elräkning och få elavbrott. Den måste bestå av elektricitet men också

⁴² ERGEG, 2009, Position Paper on Smart Grids

⁴³ Det finns också ett annat begrepp - Demand Side Management (DSM). Begreppet myntades redan under 1970-talets energikriser.

av tjänster som upplevs vara värdefulla. Det kan handla om lägre elförbrukning, om nya funktioner, om mer komfort, mer tid eller om integration i det smarta hemmet.

Funktionerna för efterfrågestyrning i distributionsnäten är ännu på försöksstadiet och tekniken för att göra det möjligt är ännu inte introducerad, åtminstone inte utanför demonstrations- och pilotprojekt. Kunderna är till största delen omedvetna om att en sådan utveckling överhuvudtaget pågår. Men om bara några år är möjligheten stor att många av våra hushållsapparater har inbyggd ”intelligens” och är uppkopplade samt automatiskt använder energin på det billigaste och mest effektiva sättet. Konsumenterna kan ha tillgång till realtidsdata över sina förbrukningsuppgifter och vara fullt informerade om konsekvenserna av sina egna val. De som försöker spå i framtiden menar att energikonsumenterna i stället blir till **energimedborgare**. Man kan också anta att konsumenterna kommer att minska sin energiförbrukning om man visualiserar de personliga och hushållets utsläpp av **växthusgaser**. De flesta känner trots allt ett ansvar för klimat och miljö.

Men att införa ny teknik och förändringar av invanda processer kan vara både känsligt och få helt oväntade proportioner. Det vittnar **Bakerfields-effekten** som beskrivs nedan om:

År 2010 kommer i USA:s elnätshistoria vara känt för ett av de större bakslagen någonsin. Installationen av nya elmätare i staden Bakersfield, Kalifornien sammanföll olyckligt med kraftigt stigande elräkningar. Brist på kommunikation, dåliga kundrelationer och felaktiga förväntningar bland konsumenterna ledde till negativ publicitet och protestmöten som gav politiska implikationer. Att liknade problem sedan uppstod i **Oncor**, Texas gav ytterligare bränsle på brasan. Efter månader av utredningar och av oberoende prövning stod det klart att det inte fanns några större tekniska fel eller systemfel. Elmätaren var oskyldig. Prisökningarna berodde på ackumulerade effekter av leverantören **PG&E:s** investeringar i förnybar energi, emissionsavgifter och andra regulatoriska kostnader från myndigheterna i Kalifornien.

För många konsumenter i USA har introduktionen till det smarta elnätet nu kommit i form av det nationella nyhetsflödet från Bakersfield samt från organisationer och advokater som börjat driva kampanj mot den nya tekniken. Elbranschen har varit överraskande dåligt förberedda på att möta frågestormen, speciellt ur ett kundperspektiv. Vissa grupper har bekymrat sig över hälsorisker förenade med farlig strålning från elmätarna. Det är ett exempel på något som normalt borde vara lätt att tillbakavisa men där stämningssläget nu är sådant att några samhällen helt enkelt inte accepterar att elbolagen installerar smarta elmätare. Detta är i sin tur en konsekvens av att myndigheter och politiker har svårt att hantera situationen.

Det positiva med historien är en nu ökad lyhördhet hos elbolagen och en större omsorg när det gäller att förstå sina kunder. Men mer kommunikation behövs. I en amerikansk studie konstaterades att Smart Grids i negativ bemärkelse förknippades med ord som

Cost, Privacy, Control, Government, och Expensive. De positiva associationerna handlade om **Savings, Good, Efficient** och liknande ord, men studien konstaterade även att medvetenheten om vad Smart Grid innebär var begränsad - 69 % kände **inte** till begreppet.⁴⁴

Efterfrågestyrning

Efterfrågestyrning syftar dels till att minska den totala energiförbrukningen i bostäder, kontor och fabriker och dels till att undvika belastningstoppar under rusningstider på elnätet. Praktiskt går det till så att elförbrukningen kontinuerligt övervakas och att apparater som förbrukar mycket energi förvaltas aktivt. Nödvändiga delar i systemet består av programvara, smarta mätare, rörlig prissättning, intelligenta hus med smarta apparater och gränssnitt (till exempel paneler, TV:n, mobilen eller datorn) för information och val. Tillsammans bildar detta ett system som tillåter både elleverantören och konsumenten att reagera på variationer.

Under perioder då elnätet är ansträngt kan distributionsföretaget skicka meddelanden som uppmanar konsumenterna att minska energiförbrukningen genom att stänga av (eller dra ner på) apparater som inte är kritiska. Om tillräckligt många konsumenter följer elleverantörens rekommendationer kommer man att kunna undvika att ta reservkraft i anspråk, vilket innebär att den dyraste elproduktionen kan elimineras. För att öka antalet konsumenter som följer rekommendationerna kan elleverantören erbjuda olika incitament. Man kan anta att en lägre elräkning blir det vanligaste sättet men andra incitament som till exempel kontant betalning, rabattcheckar, premiegåvor eller visualisering av koldioxidutsläpp kan vara effektiva under vissa förhållanden.

Efterfrågestyrning kan tillämpas på en ännu större skala för större effekt. Tillväxtmarknader som Kina kan erhålla stora fördelar genom att redan från början bygga in efterfrågehantering som del i energisystemet. Energieffektivitet i Kina är fortfarande betydligt lägre än i de flesta utvecklade länder och potentialen är därför mycket stor. Kina kan möta den växande efterfrågan på energitjänster men ändå undvika att bygga hundratals kraftverk genom att investera i insatser för laststyrning (till en lägre kostnad). Analyser av elförbrukningen för olika typer av industriell produktion visar att energiintensiteten är mellan 6 och 36 procent högre än motsvarande produktion i industriländerna. Uppskattningar av Kinas potential för **Demand Side Management** ger slutsatsen att energi-effektivisering kan minska Kinas elbehov med cirka 220 terawattimmar (TWh) till år 2020. Genom att införa incitament för efterfrågestyrning skulle behovet av produktions-

⁴⁴ Eco Align , 2010, Separating Smart Grid from Smart Meters? Consumer Perceptions and Expectations of Smart Grid Survey Report

kapacitet kunna minska med mer än 100 GW år 2020, vilket motsvarar nästan tre gånger Sveriges kraftkapacitet.⁴⁵

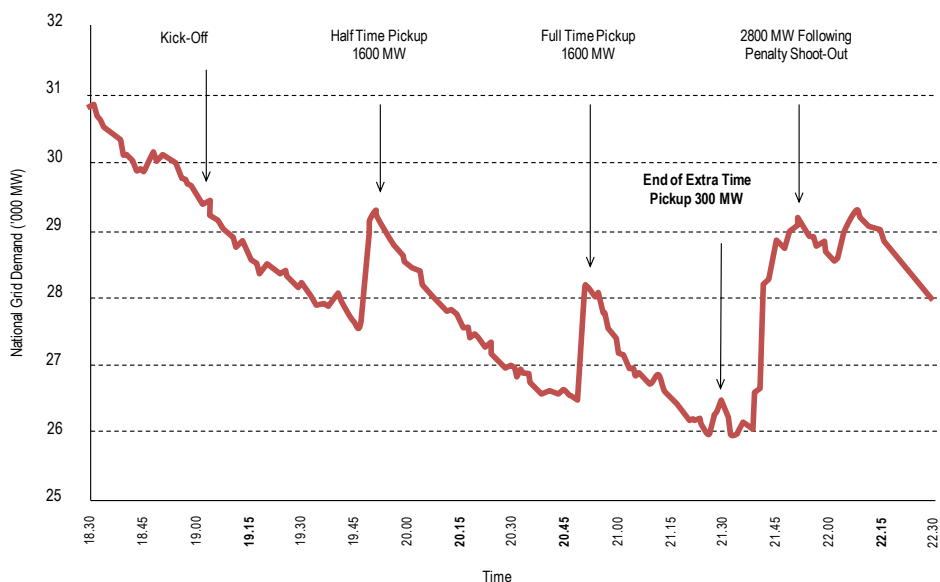
Prisdynamik

Meningen med dynamisk prissättning är att göra värdet och kostnaden för konsumentens energianvändning synlig. Det ger möjlighet att se när kostnaden överstiger värdet. När konsumenterna väljer dynamisk prissättning - vanligen som **realtidpris** eller **Time of Use**-pris - kan de reagera på prissignaler genom att flytta sin efterfrågan från tider med toppbelastning till tider med lägre efterfrågan. Den principen kallas också **Time-Shift**.

Tanken med prisdynamik beskrivs enklast som att skapa en efterfrågeelasticitet. Eftersom efterfrågan är oelastisk kan det resultera i extremt höga priser då utbudet vid toppbelastning är begränsat (endast dyr reservkraft eller importerad el kan användas). Elnätet kan också bli mycket ansträngt eller helt sluta att fungera. Om efterfrågan kan göras mer elastisk genom olika åtgärder minskas förbrukningen vilket också leder till lägre marknadspriser.

Ett exempel på hur vårt samlade beteende har påverkan av stora mått är ”**TV-pick-ups**”. Det är benämningen på den stora efterfrågan på el när till exempel en fotbollsmatch slutar eller har paus. När tittarna lämnar fåtöljerna, tänder lampor, öppnar kylskåpen och kokar kaffe är effekten på nätet tydlig. Den TV-pick-up som åtminstone i England betraktas som den största var semifinalen mellan England och Västtyskland i Världscupen 1990. Diagrammet nedan visar brittiska efterfrågan på el före, under och efter matchen som inleddes den 4 juli klockan 19.00.

⁴⁵ Zhaoguang Hu et al., 2005, Demand-Side Management in China's Restructured Power Industry. Sveriges kapacitet för alla kraftslag var enligt Svensk Energi ca 34 GW år 2008.



Figur 11: Elförbrukningen i England under världscupmatchen i fotboll 1990. Källa: National Grid UK.

De flesta åtgärder för att påverka efterfrågan som diskuteras handlar om att med hjälp av prissignaler förmå elkonsumenter att inte förbruka så mycket el under tider med toppbelastning. Dessa signaler finns i några olika former:

Realtidsprissättning innebär i praktiken att energipriserna är bestämda för en viss tidsperiod i förskott. Priset kan ändras beroende på prisförändringar i marknaden. Priset som betalats för förbrukad energi är normalt känt för konsumenterna en dag eller en timme i förväg vilket ger möjlighet att anpassa konsumtionen.

Time of Use, TOU, avser prissättning där priserna fastställts för intervaller över lång tid, till exempel sommar och vinter. TOU motsvarar kostnaderna för energi och den smarta elmätaren kan ha en intern kalender som aktiverar en viss taxa som avgör om förbrukningen skall registreras i en hög eller låg taxa.⁴⁶

Critical Peak Pricing, CPP, är en annan del av den dynamiska prissättningen. Det innebär att det maximala priset får stiga till mycket höga nivåer vissa dagar för att återspegla systemets kostnader och behov vid just den perioden av toppbelastning. CPP är normalt överlagrad en TOU-prissättning. En relaterad typ av prisstyrning är **Critical**

⁴⁶ I Sverige var tidigare dag- och natttaxor vanliga men togs bort för några år sedan. Möjligheten finns dock kvar hos en del nätbolag. Vilka som erbjuder det har bland annat att göra med vem som investerat i elmätare med fler än ett räkneverk eller med loggningsfunktion och som klarar att hantera data hela vägen från mätaren till elhandelsbolaget. I praktiken innebär det att endast elhandelsbolag som är kopplade till elnätbolag kan erbjuda denna tjänst. För konsumenterna uppstår också svårigheter med att utvärdera olika prisavtal, då tariffunktionerna sällan är jämförbara mellan olika leverantörer.

Peak Rebate, CPR, som innebär rabatter som betalats ut till kunderna för dokumenterade sänkningar av använd energi under toppbelastningsperioder.

Låter sig elkonsumenterna styras?

Bakersfield-effekten är ett exempel på att det inte alltid är så lätt att styra elförbrukningen med hjälp av prissättning. Men det finns andra exempel och studier som visar på att elkonsumenter är benägna och villiga att anpassa sin förbrukning. För industrin och för kommersiella fastigheter är det en fråga om lönsamhet, då elkonsumenterna är en insatsvara eller en rörelsekostnad som direkt påverkar resultatet. Det är troligtvis hushållen som är den osäkra faktorn i efterfrågeekvationen.

En omfattande studie som gjorts i Göteborg av forskningsinstitutet **Elforsk** i samarbete med **Göteborg Energi** och **Din El/Plus Energi** visar att efterfrågestyrning kan fungera.⁴⁷ I studien deltog hushåll med eluppvärmning och projektet testade både **direkt styrning** och **indirekt styrning** av kundernas elförbrukning. Hos de direkt styrda kunderna reglerades husets uppvärmningssystem på distans och effektuttaget kunde sänkas under perioder med höga priser. De indirekt styrda kunderna gavs kontinuerlig information om elbörspriiset via en hemsida och förväntades att själva anpassa sin förbrukning. Resultatet av projektet pekar på att det finns betydande möjligheter att styra efterfrågan på el med hjälp av priset. Det indikerar också att det finns goda förutsättningar att skapa en bättre dynamik med hjälp av priser på elmarknaden.

För att få hushållen att ställa upp i försöken behövdes en avtalskonstruktion som gav tydliga fördelar och som kunde motivera kunderna. Ett elavtal som kallades ”Fastpris med returrätt” användes, som byggde på ett rörligt elpris samtidigt som en del av den inköpta volymen el prissäkrades. De direkt styrda kunderna fick även rabatt på elkostnaden för att man tillåtit att uppvärmningssystemet fjärrstyrdes. Det visade sig att avtalen inte var självklara för alla kunder. Den direkt styrda gruppen hade dålig uppfattning om vad tariffen gick ut på medan de indirekt styrda kunderna hade bättre grepp. Ett antal personer har inte uppfattat att tariffer med rörligt pris kan innebära en ekonomisk risk, och ansåg de att detta borde betonas starkare i avtalet. Det framkom också att det var svårt att förstå skillnaden mellan effektstyrning och reduktion av energiförbrukningen.

Efterfrågestyrning och prisdynamik är centrala för att få den önskade effekten av Smarta Elnät – att minska energiförbrukningen och säkerställa en stabil försörjning. Det medför också att det behövs utrustning som kan mäta, kommunicera och fjärrstyras. Nyckeln till att det ska fungera ligger i hur elkonsumenterna accepterar och använder de tekniska möjligheterna. Medan industrin och kommersiella fastigheter har en relativt tydligare kalkyl att ta ställning till måste hushållens attityder och beteende förändras. Om det ska lyckas krävs inte bara att utrustning och styrmekanismer finns på plats ur

⁴⁷ Elforsk, 2009, Att följa elpriset bättre – Prismodeller och styrteknik i fältförsök, 09/70

ett producentperspektiv, utan också att konsumenterna ser ett mervärde i att förändra sitt beteende och aktivt investerar i ny teknik. Det är temat för nästa avsnitt.

Se även fördjupningsavsnitt i Del 2 angående efterfrågestyrning och kraftreserven i Sverige.

Smarta Hem och Hus

Att vara **uppkopplad** börjar, för oss i den industrialiserade delen av världen, vara en självklarhet. Var vi än befinner oss finns ”täckning”. Hemma har vi trådlösa nätverk och vi kan nå hela världens kunskap från favoritfåtöljen. Vi kan beställa vad vi vill på nätet och strömma musik och filmer. Parallellt finns kabel-TV samt fasta och mobila telefonlinjer. Kanske finns koppling till ett vaktbolag för inbrottslarmet och brandvarnaren kan larma brandkåren. Snart är det möjligt att också få sjukvårdstjänster över nätet. Infrastrukturen hemma börjar bli omfattande. Men det finns fortfarande **ett** område som saknar ”täckning” - det är elnätet, paradoxalt nog det som gör allt det andra möjligt.

I Europa har den offentliga diskussionen kring Smarta Elnät hittills i det närmaste uteblivit. I USA förhåller det sig annorlunda. Den nya elnätstekniken är en av de mest ”hypade” tekniska företeelserna överhuvudtaget. Men trots att reducerad energiförbrukning och minskad klimatpåverkan är huvudmålen med den utvecklade elnätstekniken har bevakningen mest handlat om spenderade statliga medel, om riskkapitalet och förmedling av IT-industrins budskap. Men naturligtvis finns det balanserande insikter och åsikter. **Richard E. Schuler**, professor vid Cornell University, har uttryckt det så här i en artikel:⁴⁸

“The standard industry and political line is that customers do not care about energy efficiency. But they do care about their iPhones/mobile information/entertainment devices and programs that track the value of their assets. They just don’t think much about the underlying electricity system that powers them.

What if we could connect the two? What if we could enable customers to monitor, in real time (or plug into an automated computer “app”), their energy budgets through the things they do care about, family and friends, buying goods and services, or making travel and entertainment plans? Wouldn’t that send imaginations soaring?

Or suppose customers could connect their individual actions with “sustainability” through the smart grid? Today the terms “smart grid” and

⁴⁸ Schuler, 2010, The Smart Grid: A Bridge between Emerging Technologies, Society, and the Environment, National Academy of Engineering

“sustainability” mean something different to nearly everyone who talks about them. But, if end-use customers were brought into the smart-grid mix in real-time electricity markets, then these terms would have to be quickly clarified because of their impact on people’s pocketbooks. My hypothesis is that if customers have the necessary smarts, the smart grid can be a pathway toward a sustainable society.”

För femtotalet år sedan, i kölvattnet på Internet, såg vi hur idén om det Smarta och Intelligent Hemmet för första gången växte fram. Vitvarutillverkarna visade koncept med kylskåp som tipsade om lämplig middagsmat och dessutom skötte inköpen. Det var tidiga visioner om nätet som handelsplats och det var robotar som städade. Den gången uteblev succén. I dag framstår dåtidens visioner kanske mer som ett uttryck av teknikglädje än praktisk nytta. Frågan är vad som skulle göra skillnad nu?

Att använda **mindre energi** i stället för mer - som varit paradigmet i hundra år - kan bli en uppgift med begränsad framgång om inte tekniken tas till hjälp. I ett hushåll finns det pengar att spara på att inte slösa. Men i många fall räcker inte det argumentet. Speciellt om elkostnaderna i en mindre lägenhet är blygsam. Men sammantaget kan det motsvara många kolkraftverk, och därför är samhällsnyttan stor. Ett problem här är att vissa kostnader (till exempel abonnemangsavgifter) inte är dynamiska. Det får effekten att ju mer som sparas desto högre blir priset utslaget per kWh. För villa- eller fastighetsägarna blir ekvationen mer en investeringskalkyl med återbetalningstid. Men oavsett motiv ökar förutsättningar att lyckas med sparbetinget avsevärt om det sker per automatik.

De hemmanätverk som håller samman hushållets teknik brukar kallas **Home Area Network** eller **HAN**. En av de mest intressanta plattformarna använder öppen källkod och kallas **OSHAN - Open Source för Home Area Networks**. Open Source-lösningar som Linux, MySQL och XBMC har ett gott rykte för sin höga kvalitet, tillförlitlighet, säkerhet och flexibilitet. De skapas för bråkdelen av kostnaden för traditionell utveckling och minskar risken att produkter inte kommer att fungera tillsammans.

En annan infallsvinkel är **slaget om hemmets alla apparater**. Bättre teknik, mer information om hur man använder dynamisk prissättning och mängder av val, kommer att vara både befriande och besvärande för de flesta hushåll. Många elkunder längtar redan tillbaka till förr, när allt var enkelt och förutsägbart. Det innebär att affärsmodeller som gör det enkelt för privatkunderna att dra nytta av en konkurrensutsatt elmarknad är de som kan lyckas bäst. Till det paketet hör också teknik som gör det enkelt att leva. Det kanske inte behöver handla om kWh och energi utan går att beskriva på andra sätt. Sannolikt är det så att informationen kommer över flera olika kanaler, inte enbart som ”appar” i mobilen eller på husets instrumentpanel. Liksom på andra marknader måste tjänsterna anpassas och personifieras till olika individer för att minska energiförbrukningen. Genom att rikta erbjudanden för att passa olika livsstilssegment kan de göra något så tråkigt som att spara energi till en efterfrågad tjänst.

För leverantörerna - vilka de än är - innebär det att effektivt ta vara på möjligheterna med Smart Grid-tekniken och alla de andra applikationerna och tjänsterna som ligger före i utvecklingen. Dit kan vi räkna bland annat Internet, kabel-TV, telefoni och övervakning. Möjligheterna att ta marknadsandelar genom att addera förvaltningen av hushållens energiförbrukning borde vara lockande för de aktörer som redan finns på plats i hemmen. Det öppnar möjligheter att tjäna pengar både på behovet av olika apparater, på att installera dem, men framförallt på det livslånga ”ticket” av **Smarta Tjänster**.

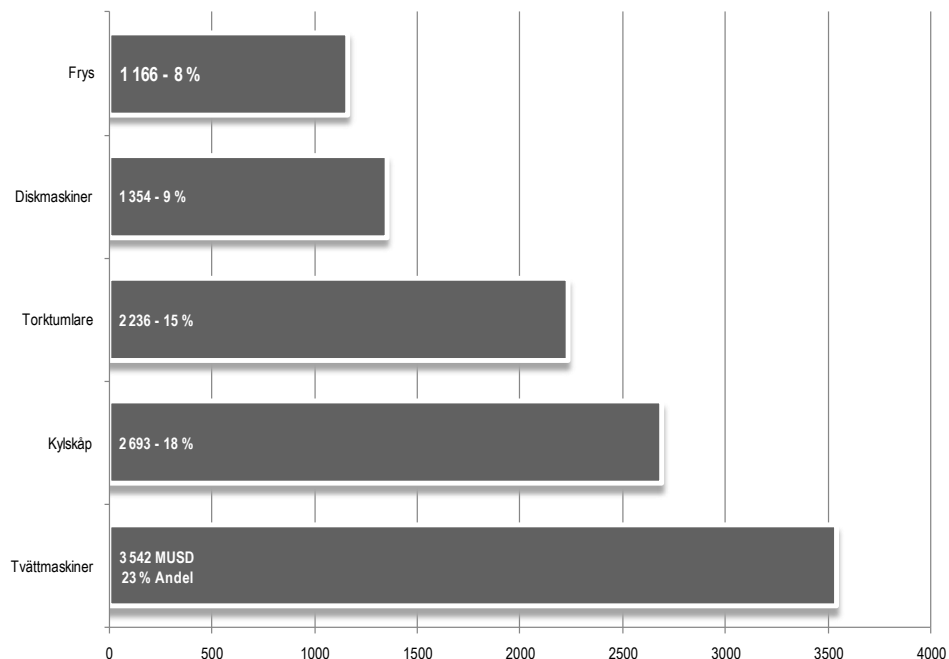
Farhågorna börjar rota sig hos elbolagen och det får nog anses vara befogat. Risken är att de kommer att förlora kontrollen över **hushållens informationsnav** innan de kan frigöra sig från regleringar och invanda tankemönster. Och kanske är de traditionella elverksbolagen inte de mest lämpade för att paketera lösningar och erbjuda ”coola” produkter. Det finns flera andra som redan är på plats.

Under tiden som hushållens tjänsteleverantörer mobiliserar till strid om kundernas plånböcker finns det andra sektorer som också förbereder sig. Vitvarutillverkarna ser en stor möjlighet i det som kallas **Smart Appliances**. Det innebär att vitvarorna är förberedda för att gå online. Kanske blir det Smarta Kylskåpet verklighet till sist? De stora vinsterna finns ändå i att spara energi och pengar. En smart diskmaskin eller tvättmaskin kan lätt instrueras att bara köras under förhållanden när elen är billig och belastningen på elnätet är låg. Från år 2011 till år 2015 förväntas enligt från det amerikanska konsultbolaget **Zpryme** den globala marknaden för smarta hushållsapparater växa från **3 mdr USD till 15 mdr USD**. Smarta tvättmaskiner och kylskåp kommer tillsammans att nå försäljningsvolymen på över 6 mdr USD (se figur).⁴⁹ Zpryme menar att det är genom smarta vitvaror som gemene man kommer att förstå fördelen med Smart Grids. I dag är 74 procent av amerikanerna och 90 procent av engelsmännen omedvetna om elnätsens utveckling men när de väl informeras positiv inställda.⁵⁰

Men även vitvarutillverkarna efterlyser en öppen kommunikationsstandard mellan den smarta elmätaren och hushållsapparaterna. Standarder och regler är nödvändigt för att branschen ska känna sig trygga i satsningarna. Företag som **Whirlpool** och **Electrolux** är med i både **AHAM** (den amerikanska branschorganisationen) och **CECED** (den europeiska branschorganisationen) och de försöker via organisationerna driva fram de standarder som passar branschen. Exakt hur dessa standarder utformas är en fråga av stor kommersiell betydelse. **Electrolux** menar att de antagligen löser problemet med att ta fram kommunikationskort för befintliga produkter som klarar flera standarder. Till exempel **plc** (powerline communication) bredband genom elnätet och trådlösa radiobaserade tekniker som **wi-fi** och **Zigbee**.

⁴⁹ Zpryme, 2010, Smart Grid Insights: Smart Appliances

⁵⁰ Ipsos Market Research, General Electric, juli, 2009



Figur 12: Global marknad och marknadsandelar i förhållande till vitvaror av standardtyp för smarta vitvaror år 2015. Källa: Zpryme Research & Consulting.

Inom ramarna för **EU:s Sjunde Program** pågår ett projekt som heter just **Smart House/Smart Grid**.⁵¹ Avsikten är att pröva olika former av tekniska lösningar och det görs parallellt i tre länder. Det första projektet genomförs i **Holland** och rör förmågan att hantera storskalig och samtidig kommunikation, förhandling och informationsutbyte mellan tusentals smarta energiapparater. Det andra projektet, i **Tyskland**, rör möjligheten att på ett intelligent sätt interagera med kunden (t.ex. villaägare) och levererar optimal energiförvaltning. Möjligheten att kontrollera smarta energiapparater i ett fullständigt decentraliserat nätverk så att optimal energieffektivitet nås på aggregerad nivå samtidigt som försörjningstryggheten ökar för slutanvändaren sker i **Grekland**.

Anpassade Spelregler

Smarta Elnät gör det möjligt att ta bort eller minska svagheterna med det nuvarande elsystemet. Förändringarna kan bli omfattande och många av de gamla spelreglerna måste ändras och anpassas. Förändringsprocessen är igång. Smarta elmätare, direkt åtkomst av mätdata, förnybar energi och nettomätning, efterfrågestyrning och energieffektivitet, nya samarbetspartners o s v - allt finns i de pilot- och demonstrationsprojekt som pågår runt om i världen. Tekniken kan i projekten provas effektivt men en minst

⁵¹ www.smarthouse-smartgrid.eu

lika viktig uppgift är att ge praktiska erfarenheter för hur nya regelverk och styrmekanismer ska utformas.

De nuvarande politiska och rättsliga ramarna för elmarknaden har sitt ursprung i ett system som brukar kallas **vertikala monopol**. En rak modell anpassad för ett rakt flöde från kraftverken till förbrukarna, övervakad av en tillsynsmyndighet för att skydda konsumenterna och stävja maktmissbruk. I en del länder har detta utvecklats vidare till att uppmuntra konkurrens av elproduktion och elhandel. Men när elektronflödet nu ska krönas med informationsflöde kommer de nuvarande regelverken att behöva utvecklas. Det är helt enkelt frågan om att uppmuntra rätt beteenden och skapa incitament för investeringar. Regelverken kommer att behöva anpassas så att konsumenternas intressen sammanfaller med elkraftsbranschens och målen för samhället. Allt till lägsta kostnad för alla inblandade. Det är lätt sagt men mer komplicerat i praktiken.

I värdekedjan idag finns ett **produktionsled**, ett **grossistled** och ett **återförsäljarled**. Däremellan finns **nätoperatörerna**. Grossistmarknadens roll är att tillåta handel mellan producenter, återförsäljare, stora förbrukare och **finansiella intermediärer**, både för kortsiktig leverans av el - spotpriser - och för framtida leveranskontrakt - forward pricing. Näten utgör det som kallas **naturliga monopol**, eftersom det inte är ekonomiskt möjligt att bygga flera parallella elnät. Grosspriset på el sätts på olika elbörser (se även faktaruta) och detaljhandelspriserna sätts av elhandelsbolagen, medan näten finansieras med nätavgifter.

I många avseenden kommer säkert denna grundstruktur som avspeglar värdesystemets logik från källa till användare att bestå. Men de öppningar som mer avancerad elnätsteknik ger manar nya typer av aktörer att ge sig in på energimarknaden. Inte minst kommer tjänsteutbudet med all sannolikhet att växa. Men för elleverantörernas gamla affärsmodeller kan nya tjänsteleverantörer bli ett verkligt hot. Leverantörer som ser möjlighet att tjäna pengar på att kombinera information från elmätaren med dynamisk prissättning, prisstruktur och förenkla för kunderna, har stora chanser att ta kontroll över hemmets informationsnav eller portal. Frågan är vem som är ”smartast”. Teleoperatörer, TV-bolag och internetföretag finns ju redan på plats.

För att föreställa sig hur policy och regler behöver förändras i framtiden måste man rimligen utgå från att resultatet ska bli lägre energiförbrukning, minskade koldioxidutsläpp och en ökad försörjningstrygghet. Det innebär fortsatta kompromisser mellan reglering, fri marknad och kostnader för konsumenterna, samtidigt som det finns en balans mellan avkastningskrav och risker.

Ansvar för investeringar på de avreglerade marknaderna har till stor del legat på den privata sektorn. I gengäld har de fått en reglerad avkastning. På en mogen marknad innebär detta en relativt låg risk, men även låg utdelning - regulatorfunktionen har med tiden blivit tämligen effektiv.

Den relativt höga riskprofilen som investeringar i Smarta Elnät däremot innebär kommer att kräva politiska och rättsliga ramar som skjuter risken till de aktörer som kan diversifiera den mest effektivt. Det kan till exempel innebära att risken delas mellan kunderna (antingen genom elräkningen och/eller genom skattsedeln) och elbolagens aktieägare, så att riskerna balanseras till minsta möjliga sammanlagda kostnad för kunderna. Det senare är viktigt för både realismen i projektet och för att inte riskera förmögenhetsöverföring.

Det finns ingen som riktigt vet hur dessa modeller ska se ut och på de få ställen där man har prövat finns frågetecken om huruvida det sker effektivt. Om det inte fungerat som tänkt kan det sannolikt förklaras med att:

- 1 **Kapital och/eller driftskostnaderna har varit för höga.** Stora fasta kostnader kan hänföras till bland annat kommunikationsnäten. Hårdvarukostnaden för dyra avancerade nätstrukturer har inte kunnat återbetalats genom stordriftsfördelar. Dessutom har oprövade mjuk- och hårdvarulösningar samt integrationen av dem blivit dyrare än beräknat.
- 2 **Affärslogiker och intäktsmöjligheter har begränsats av de nuvarande spelreglerna.** Det uppstår främst när riskkostnader inte har kunnat fördelas. Ett exempel är vem som är ansvarig för energilagring och vem som äger den lagrade energin? Vem äger all data som kommer att produceras i det nya systemet? Det är ett generellt problem med att det finns få incitament för innovation och att det snarare är ”business as usual” som belönas.

Utformningen av framtida reglering måste därför variera beroende på situation. De måste förmodligen återspegla nivån på det tidigare regelsystemet (och dess historia), tillgångar och ägarstrukturer så att en uppsättning mekanismer som ger de bästa incitamenten i hela värdekedjan uppstår. Riskerna måste fördelas optimalt. Privata investerare måste få ett rimligt skydd och resultaten levereras till lägsta kostnad för konsumenterna.

Vi ska ge några exempel på **marknadsmekanismer och strukturer** som är viktiga att förstå för att rimliga och effektiva spelregler ska kunna sättas på plats. Grunden för dessa marknadsmekanismer finns att finna i den ökade komplexiteten i elenergisystemet som i sin tur de Smarta Elnäten ska kunna hantera.



Figur 13: Värdekedjan från produktionsled via Smart Grids och kunder

Energiförsörjningens sammansättning

Kolkraft, naturgas, vattenkraft och kärnkraft - d v s **basenergin** - kommer att behövas under överskådlig tid. Men de behöver förbättras. Kolkraften kan förses med koldioxidlagring. Den tredje generationens kärnkraftverk har förbättrad säkerhet och är effektivare. Fjärde generationens kärnkraft som kan bli kommersiellt tillgänglig om 15 - 20 år är ännu effektivare och kan använda avfallet från dagens kärnkraftverk som bränsle. Vattenkraften behöver byggas ut (även om det inte sker i Sverige) och förbättras. Men allt detta innebär mycket stora investeringskostnader.

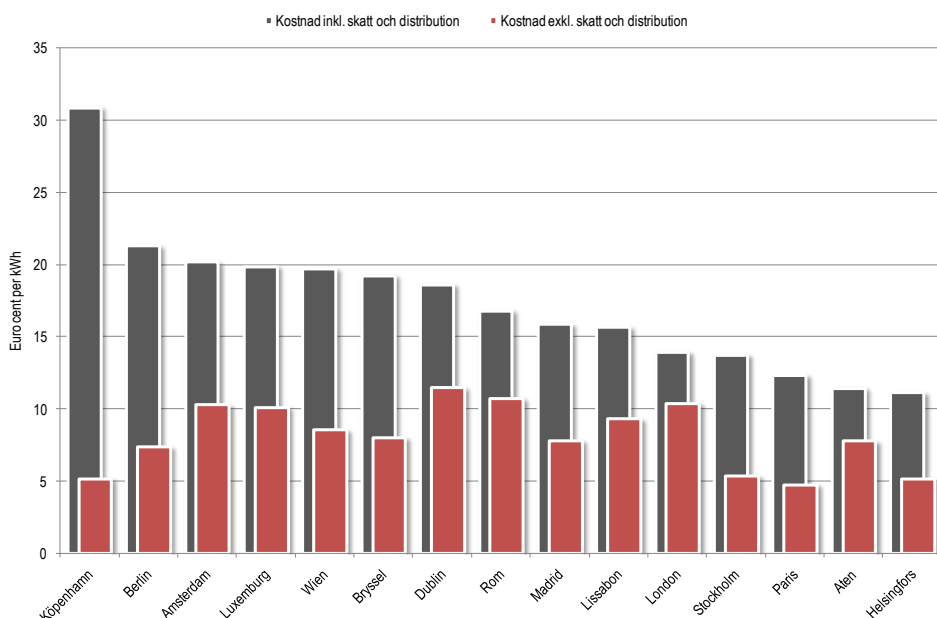
Förnybar energiproduktion kommer definitivt att öka i förekomst för att begränsa koldioxidutsläppen. För att nå de mål som finns innebär det mycket stora kapacitetsinvesteringar. Det är troligt att restriktionerna för utsläpp skärps ytterligare och stimulansåtgärderna ökar. Men förnybar elproduktion kommer så småningom att måsta stå på egna ben, utan stödpengar. Det tvingar fram nya affärsmodeller för elleverantörerna om de ska kunna svara upp mot investeringsbehoven.

Sammankopplingen av elnäten innebär att det egentligen är kraftproduktionen som läggs samman. Det sker nu över nationsgränser och mellan regioner. Det gör marknaderna större och mer effektiva vilket i slutändan, idealt, kan leda till mer konkurrens, lägre priser och ett bättre utnyttjande av resurserna. Det här sker steg för steg.

I Norden har vi redan en gemensam elmarknad med Nord Pool Spot som handelsplats. När kraften från olika källor blandas har det medfört förändringar för alla deltagande länder. Totalt sett består ungefär hälften av resurserna av vattenkraft. Den har egenskapen att volatiliteten (förändringen över tiden) mellan dag och natt är liten, medan över hela året kan karaktäriseras av stora svängningar som beror på årstider och väderlek.⁵²

⁵² Det är därför vi tidigt på hösten kan förutsäga hur elpriserna kommer att bli under vintern, fyllnadsgraden i vattenmagasinen, hydrobalansen, kan variera med flera tiotals terawattimmar.

Den termiska kraftproduktionen (kol, gas, kärnkraft) har precis motsatt karaktär. Prissättningen sker på marginalen - från ena ytterligheten till den andra är vind- och vattenkraft billigast att producera (resursen är gratis), följt av i stigande grad kärnkraft, kraftvärme, kol, gas och olja. Hur mycket vattenkraft som finns att tillgå avgör därför vid vilken typ av kraftslag som efterfrågekurvan skär utbudet och därmed priset på el i Norden. Nu kopplas det nordiska systemet allt mer till resten av Europa vilket gör att vattenkraften blir värdefull som reglerkraft och marginalkostnaden för kolkraft kommer att styra elpriserna de närmaste åren. Vi kommer förmodligen även att se en utjämning av elpriserna (exklusive skatter och avgifter) inom den europeiska marknaden.



Figur 14: Jämförelse av elpriser i europeiska huvudstäder juni 2009. Källa: Vaasa ett, e-control

Decentraliserad energiproduktion

Aktiva kunder och konsumentdecentraliserad teknik är en förutsättning för det Smarta Elnätet. **Prosumers**, d v s att kunderna agerar både som producenter och konsumenter, kan på längre sikt förändra förutsättningarna för elhandeln och utmana den förhärskande stordriftslogiken. Om småskalig privat kraftgenerering blir konkurrenskraftig påverkar det naturligtvis de nuvarande elproducenterna. Det som bromsar en sådan distribuerad modell och den nuvarande är kostnaden för småskalig förnybar energiproduktion. Lika-så kommer ny byggnadsteknik – till exempel passivhus och plushus⁵³ - på lång sikt att

⁵³ Passivhus är hus där värmeförlusterna är så små att de värms av solinstrålning, apparater och människor. Plushus är fastigheter som producerar mer energi än de förbrukar.

minska behovet av el till fastigheter. Även industrin förutses att radikalt kunna minska sin energiförbrukning.

Frågan hänger också ihop med bedömningen av vilket medel som är bäst för att stimulera grön energi. Många länder har valt **inmatningstariffer** medan andra (till exempel Sverige, Norge och England) primärt valt ett subventionssystem med **gröna certifikat**. Båda är marknadskonforma, d v s använder marknadskrafterna för att nå uppsatta mål, men på lite olika sätt. Skillnaden ligger väsentligen i att certifikatsystemet kostar väsentligt mindre medan inmatningstarifferna anses ge en snabbare utveckling.

Inmatningstariffer är en typ av subvention som innebär att små producenter av el får en ersättning som överstiger marknadspriset. Ofta är stödet bundet över lång tid - tio till tjugo år - för att vara förutsägbart och skapa stabilitet. Inmatningstariffer framstår också alltmer som ett komplement till elcertifikaten för att exempelvis styra mot speciella energislag. Ett exempel är att Storbritannien infört inmatningstariffer för solel från april 2010 vilket förväntas innebära en kraftig ökning av mängden installerade solpaneler. Marknaden spås i år (2010) växa fem gånger och 2015 kan den ha blivit 30 gånger större.⁵⁴ I Kina används systemet för att stimulera den landbaserade vindkraftsutbyggnaden.⁵⁵

En förutsättning för inmatningstariffer är att små producenter **tillåts** mata in el till elnätet. I Sverige är det möjligt från 1 april 2010 för hushåll med max 63 amperes abonnemang att mata in lokalt producerad el på nätet utan att betala nätavgifter, under förutsättning att den egna förbrukningen är större än produktionen. Högsta effekt är begränsad till 43,5 kW. Hittills har nätavgiften legat på mellan 3 000 och 5 000 kronor per år och gjort det till en förlustaffär för små elproducenter att låta överskottseln komma till användning.

En relaterad styrmekanism är **nettodebitering** som innebär att inmatad el kvittas mot förbrukningen från nätet. Med ökande elpriser kan man anta att intresset för egenproducerad el från sol och vind ökar. Men det kräver - liksom till exempel investering i bergvärmepumpar - en rimligt lång återbetalningstid.

Enligt Världsnaturfonden, **WWF**, bedöms det tyska systemet som det mest effektiva när det gäller att använda verktyg som inmatningstariffer, tätt följt av Mexiko och USA.⁵⁶ De tyska incitamenten för privata installationer av solceller har lett till en sammanlagd produktion motsvarande två-tre medelstora kolkraftverk 2008.⁵⁷ WWF konstaterar vidare att inmatningstariffer för el inte bara är bra för klimatet och miljön utan också för ekonomin och jobben, vilket faller sig logiskt eftersom systemet driver fram nya marknader. Att Tyskland utmärker sig som föregångare beror, enligt WWF, på deras stor-

⁵⁴ PriceWaterhouseCoopers, 2010, On the brink of a bright future?

⁵⁵ PriceWaterhouseCoopers, 2009, Renewables Deal: 2009 Annual Review

⁵⁶ WWF, The best and worst policies for climate and economic recovery, 2009

⁵⁷ Dixon & Gorecki, 2010, Sustainability, Kogan Page

satsning på energieffektivisering i byggnader samt inmatningstariffer för el från förnybara källor som solpaneler. WWF konstaterar också att systemet med inmatningstariffer testats med goda resultat i mellan femtio och sextio länder. Stödet reducerades dock från och med juli 2010, med motiveringen att branschen är översubventionerad, vilket marknaden reagerat på.⁵⁸ Företag som **Q-Cells**, **Solarworld** och **Phoenix Solar** har tappat mycket i aktievärde sedan dess. Men på några års sikt kommer priserna på solceller att gå ner ytterligare samtidigt som verkningsgraden på dem ökar.

Prismekanismer

Priset på el är ett ofta debatterat ämne. Priser i allmänhet är i grunden en funktion av utbud och efterfrågan. Höga priser ökar enligt skolboken utbudet genom att investeringskapital lockas till att bygga ny produktion. Men hur konkurrensutsatt är elproduktionen?

År 1996 skedde som en omfattande regeländring av den svenska ellagstiftningen som ofta benämns som ”**avregleringen**”. Syftet var bland annat att konkurrensutsätta produktionen och handeln med elektricitet. Begreppet avreglering är dock inte helt rättvisande - mer korrekt är att beskriva det som en **omreglering**. Den har inneburit att vissa delar av elmarknaden fått skärpta regler, medan andra har släppts mer fria. För de privata elkunderna är det synliga resultatet att man själv kan välja vilket bolag man vill ha som elleverantör.

De första marknaderna som privatiserades var i Sydamerika. Redan i slutet av 1970-talet och början av 1980-talet omreglerades **Chiles** elmarknad, följt av **Argentinas**. **Världsbanken** engagerade sig under 1990-talet i försök att skapa hybridmarknader i bl a Peru, Colombia och Brasilien,⁵⁹ men framgången uteblev. De **engelska** energibolagen följde därpå med en modell som även kom att inspirera **Australien**, **Nya Zeeland** och vissa delstater i **USA**. Utvecklingen har sedan fortsatt mot ökade marknadsinslag i elsystemen. Men precis som för den nordiska elmarknaden har kritik riktats mot elbörserna och producenterna. Ökade priser och ibland tveksam tillförlitlighet i leveranserna gör att modellen ifrågasatts. I USA har avregleringsförsöken lett till en struktur med betydande oreda, vilket leder till att alla försök till ytterligare omregleringar med stor sannolikhet kan leda till nya oönskade konsekvenser. Ett slags moment tjugotvå. Av tjugotre stater som avreglerade elhandeln har åtminstone åtta avbrutit eller delvis försökt återinföra tidigare reglerade system. Resten har infört någon form av statlig planering och översiktsprocesser.⁶⁰

⁵⁸ Ibid.

⁵⁹ Xiao-Ping Zhang, *Restructured Electric Power Systems: Analysis of Electricity Markets*, 2010

⁶⁰ Fox-Penner, Peter: *Smart Power*, Chapter One 2010

Världens Elbörser			
Australien	AEMO; IMO	Nya Zeeland	New Zealand Electricity Market
Filippinerna	Philippine Wholesale Electricity Spot Market	Singapore	Energy Market Authority, Singapore; EMC
Frankrike	Powernext	Skandinavien	Nord Pool Spot
Indien	Indian Energy Exchange	Spanien	OMEL Electricity Market
Irland	SEMO	Storbritannien	Elaxon
Italien	GME	Tyskland	European Energy Exchange (EEX)
Japan	Japan Electric Power Exchange (JEPX)	USA	PJM, ERCOT Market, New York Market, Midwest Market, California ISO, New England Market
Kanada	IESO; AESO	Österrike	EXAA Energy Exchange
Nederländerna, UK, Belgien	APXINDEX		

Tabell 1: Elbörser i olika länder

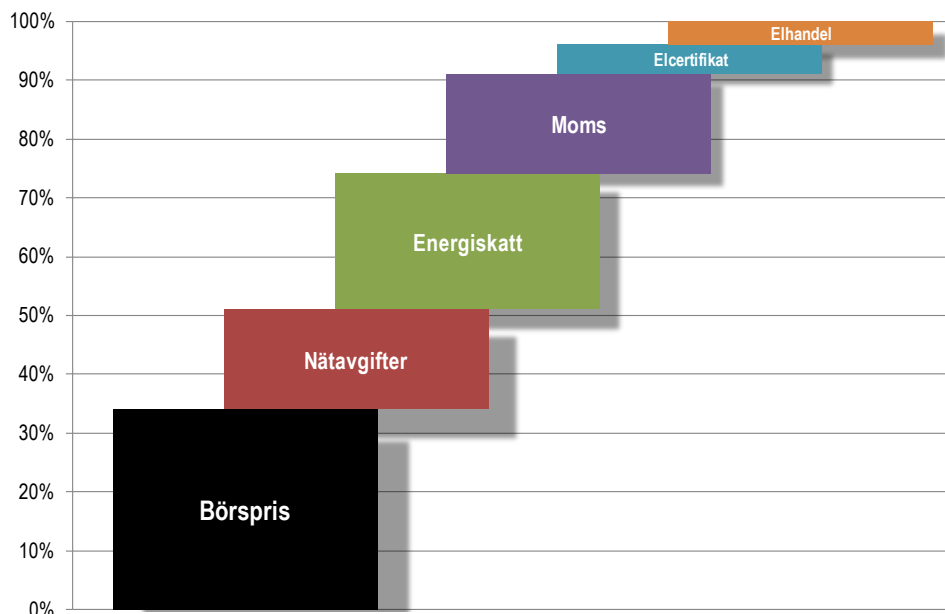
Elmarknaden i varje land domineras av några få stora elproducenter även om nya aktörer formellt tillåts att gå in på marknaden. Med andra ord är elmarknaden konkurrensutsatt. Men i verkligheten finns så många och höga hinder för hågade intressenter att de i praktiken är svåra att överkomma. På de allra flesta marknaderna kommer basproduktionen av el från kol, gas, kärnkraft och vattenkraft. Bortsett från fossila bränslen - som av flera skäl som berörts inte har så lysande framtidsutsikter - så är det med hjälp av kärn- eller vattenkraft som konkurrenter till de riktigt stora producenterna skulle kunna skapas. Båda alternativen är dock omgärdade av omfattande reglering och kräver mycket stora investeringar. Då återstår vindkraften, men dess bidrag är än så länge litet och kan generellt inte påverka marknadspriserna. Förhållandet är snarast det omvända eftersom vindkraften behöver subventioner för att kunna byggas och drivas. Certifikatsystemet gör det möjligt i Sverige. Ett effektivt utnyttjande av en kraftigt ökad andel vindkraft skulle dessutom innebära stora variationer i elpriserna och behov av reglerkraft i takt med att vinden växlar.

Slutsatsen är att de vertikalt integrerade monopolen visserligen har brutits isär men har ersatts av statligt reglerade oligopol av den mest lönsamma elproduktionen. De hinder som beskrivits sätter i praktiken den fria marknaden ur spel. Det enda som kan ske är att existerande anläggningar kan byta ägare, men det förändrar inte utbudet. På en marknad där utbudet inte kan öka lika snabbt som efterfrågan blir höjda priser konsekvensen.

Om vi nu i stället tar som utgångspunkt att utbud och efterfrågan ser ut som det gör, fungerar marknaden då? Om vi begränsar oss till den nordiska elbörsen så har det gjorts många olika studier och de flesta pekar mot att svaret är ja, inklusive tillsynsmyndigheterna.⁶¹ De ökade priserna kan dels förklaras med väderlek (på utbudssidan torrår som

⁶¹ NordREG, 2010, The Nordic financial electricity market, Report 8/2010

2002/2003 och på efterfrågesidan till exempel sträng vinter som 2009/2010) och dels med kraftigt ökade skatter och avgifter.⁶² Men själva marknadsmekanismen verkar fungera som det var tänkt. Utan en omreglerad elmarknad hade Sverige kanske inte klarat balansen mellan utbud och efterfrågan den gångna vintern (2009/2010). Då hade man fått tillgripa ransonering med stora samhällsekonomiska konsekvenser och utan tidvis höga elpriser skulle incitamenten att investera i eller bevara reservkapacitet saknas.



Figur 15: Det svenska elpriset faktoruppbyggnad i ungefärliga andelar - den fria elhandelsmarginalen har liten påverkan på priset. Källa: Blue Institute.

Hur ser då elpriset ut i detalj? Det är en viktig fråga eftersom den andra delen av elmarknaden är detaljhandeln, d v s de bolag vi köper vår hushållsel ifrån. Genom att bryta ner konsumentpriset i dess olika faktorer klarnar bilden en aning. Börspriset i grafen ovan innefattar elproduktionen samt bland annat transmission av elen i stamnätet. Stamnätet är statligt ägt och inte konkurrensutsatt. Efter skatter, moms och elcertifikat, som utgör mer än hälften av priset, är nätavgifterna den återstående största delen. Distributionsnäten ägs av olika nätbolag och är inte heller konkurrensutsatt. Påläggerna för elhandeln är endast några få procent. VTT⁶³ har på uppdrag av NordREG⁶⁴ studerat

⁶² Från 1996 (9,7 öre) - 2010 (28 öre)

⁶³ Technical Research Centre of Finland

⁶⁴ Samarbetsorganisation för nordiska reglerande myndigheter inom energiområdet

elhandelsmarginaler under perioden 2003 till 2007. I Norden varierar elhandelsmarginalen mellan 0 - 10 öre per kWh under den perioden.⁶⁵

Slutsatsen är att de lokala förutsättningarna påverkar elpriserna i hög grad. Det förekommer yttre faktorer som väderlek, politiska faktorer som skatter och pålagor med avsikt att styra och förändra samt marknadsimperfektioner som oligopol och monopol. För branschens aktörer är det rimligt att också beakta kostnaden för viktiga råvaror som behövs för att driva, bygga och underhålla elsystemet. Dessa har ökat i reella termer under de senaste 5 - 6 åren, med undantag för raset i samband med finanskrisen. Metallpriser och kostnaden för kablar och linor har mer än fördubblats. Priserna på bränslen som naturgas, olja och kol har också ökat kraftigt.

De prismodeller vi kan förvänta oss att se i framtiden innefattar bland annat **dynamisk prissättning** som är en förutsättning för att investeringar i smarta elmätare och program för energieffektivisering ska kunna leverera sin fulla potential. För att förändra energianvändningen behövs incitament. Om vi som kunder upplever att vi kan styra en del av kostnaderna blir vi förmodligen också mer nöjda och därmed trogna leverantören. Kundernas önskemål kan motsvara ett brett spektrum av nya produkter, tjänster och val som innebär nya affärsmöjligheter för både de nuvarande elleverantörerna och många andra. Utmaningen för elbranschen är att bestämma sig för vad den vill med den dynamiskt prissatta och konkurrensutsatta marknaden innan någon annan gör det.

Effektpris är en annan prismekanism som kan bli aktuell. För att skilja på effekt (kW) och energi (kWh) brukar liknelsen med en vattenledning vara pedagogisk. Energi motsvarar flödet av vattnet från kranen och effekten kan liknas vid trycket i ledningen. Om alla kranar öppnas (analogt med att många elapparater kopplas in) behövs det så småningom en ökning av trycket, annars kommer vattnet endast att droppa. I elsystemet motsvaras det av att fler kraftverk kopplas in, och till sist måste kraft köpas in från andra marknader och kan då innefatta oönskade fossila kraftslag. Med en del av elpriset som speglar effektuttaget skulle priset bli högre under toppbelastning och lägre när elanvändningen är låg. Om man dessutom visste att topparna aldrig blir problematiskt höga kan näten dimensioneras snålare och bli billigare att bygga och driva vilket skulle gynna alla konsumenter.

Eftersom upp till 30 procent av ett hushålls elkostnad utgörs av den fasta nätavgiften kan **rörliga nätavgifter** spela en viktig roll. Nätavgiften försvagar incitamentet för energieffektivisering eftersom en stor del av den totala elkostnaden inte kan påverkas genom att minska elanvändningen. Distributionskostnaderna skulle istället kunna regleras i affärssuppgörelser mellan nätföretagen och elbolagen. På det sättet kan hela elpriset göras rörligt för privatkunderna vilket skulle innebära att energieffektivisering i hushållen blir lönsammare. Sänkt elanvändning minskar i sin tur behovet av distributionskapa-

⁶⁵ VTT och NordREG fann att de svenska marginalerna var högst och varierar mellan 5-10 öre/kWh. Norska marginaler varierar mellan 0-5 öre/kWh och de finska låg runt 0 öre/kWh.

citet, vilket återigen kan sänka distributionskostnaderna genom att utbyggnader kan undvikas.

Elbolagens intäkter är i regel en funktion av elpriset och volymen. Incitamentet för att minska elförbrukningen är därmed negativt. Försök har gjorts med att införa särskilda effektivitetsincitament, t.ex. vita certifikat, som även beskrivs på annan plats i denna rapport. I USA har man i några fall gått längre och **frikopplat** elpriset från försäljningsvolymen.⁶⁶ Genom att dessutom garantera en avkastning på de installerade tillgångarna oberoende av såld volym minskar incitamentet för att öka försäljningen. Resultatet blir att ansträngningarna inriktas på att minska energianvändningen - den s.k. "systembolagsmodellen".⁶⁷ Tanken är att metoden ska vara en transitåtgärd från en råvarubaserad till en tjänstebaserad affärsmodell.

En annan metod är att genom reglerade avkastningsmodeller koppla bonus- och sanktionsmekanismer till nyttan av nätet. Dessa bör konstrueras så att de riktar in verksamheten mot målen som satts i arbetet med att specificera det (specifika) Smarta Elnätet. I princip ska alltså den som har det mest effektivt elnätet per enhet producerad el få den högsta avkastningen.

Projektering

Oavsett om investeringarna i energisystemet riktar sig mot produktion, överföring eller effektivare användning finns en hel del grundläggande erfarenheter som kan återanvändas. De kan minimera riskerna och öka effektiviteten av investeringsprojekt som ofta är stora, dyra och komplicerade. Bland annat bör nedanstående faktorer beaktas:

NIMBY är ett amerikanskt begrepp som betyder **Not In My Back Yard**, d v s "gärna ny teknik, bara det inte stör min vardag". För branschen finns ett NIMBY-problem när nya kraftverk, transmissionsledningar eller distributionsanläggningar behöver byggas i tätbefolkade områden eller där känsliga naturintressen finns. Det finns farhågor att NIMBY kan komma att stoppa delar av utvecklingen av elsystemet. I Sverige finns det till exempel ett motstånd mot **SydVästlänken**.⁶⁸ Den positiva sidan på myntet är att NIMBY driver fram nya lösningar och ny teknik.

När väl spaden sätts i jorden är **riskfördelning** en nyckelfråga eftersom tekniska risker i samband med byggandet av Smarta Elnät inte uteslutas. Över tiden kommer riskerna att minska med erfarenheterna. Men innan dess är det viktigt att regelverken fördelar projektriskerna på de parter som bäst kan hantera dem. Aktieägarna måste ta en risk som är balanserad på så sätt att det gynnar konsumenterna men inte är så stor att det avskräcker

⁶⁶ Fox-Penner, 2010, *Smart Power*, Island Press

⁶⁷ D v s i att som affärs- och vinstdrivande företag ha målsättningen att sälja så lite som möjligt.

⁶⁸ SydVästlänken är en likströmsförbindelse av VSC typ (se fördjupningsdel) med knutpunkt norr om Nässjö som byggs av Svenska Kraftnät i syfte att förbättra elförsörjningen till Sydsvetige. Bl a Lantbrukarnas Riksförbund har invändningar mot planerna. Se www.svk.se och www.lrf.se

från att gå in i projekten. Genom bonus- och sanktionsmekanismer kan leverantörer och beställare förhandla fram avtas som minimerar och sprider riskerna. Även på myndighetsnivå bör det finnas riskacceptans. Kort sagt alla parter behöver vara med genom både negativa och positiva incitament. Det är bland annat för att praktiskt prova olika metoder för riskminimering och fördelning som demonstrationsprojekten har en sådan stor betydelse. Standardisering spelar också en stor roll för att minimera risker.

Kommunikationsstrukturen kommer att utgöra en av de större delarna av investeringarna i Smarta Nät. Snabba datainfrastrukturer är grundläggande för tillväxten i alla länder. Eftersom olika nätverk behöver fylla likartade behov kan man få stordriftsfördelar om de samordnas. Konsumenterna ska inte behöva betala för flera kommunikationsnät än nödvändigt. Ett bekymmer med en sådan lösning är att olika infrastrukturer ofta sorterar under olika företag, myndigheter och tillsynsmän. Ansvar vilar alltså på politikerna att se till att lösa regleringsfrågorna och uppmana till kostnadseffektiva lösningar. Detta sätt att fördela kostnaderna är intressant inte minst i diskussionen om de ”**Smarta Städerna**” där samordning av el, tele, vatten, avlopp, fjärrvärme o s v är en viktig dimension. Ibland kallas det för **Multi Utility**.

Nya investeringar kan dessutom leda till **överblivna tillgångar**, d v s att installerad befintlig och värdefull utrustning bli över i samband med att näten byggs om och blir smartare. Det kan innebära att deltagande aktörer förlorar pengar. Även om det kan anses vara naturlig risktagning i affärer finns en uppenbar risk att sådana situationer sätter käppar i hjulen för utvecklingen. I förväg genomtänkta mekanismer för att undvika hinder av det slaget kan därför vara en klok strategi.

Slutsatsen är att även om mycket av den nödvändiga tekniken för Smarta Elnät är tillgängliga idag återstår viktiga politiska utmaningar för att skapa ett hållbart, integrerat energisystem – vilket innebär att få olika intressen att samarbeta. Samarbeten utöver de traditionella branschgränserna blir helt nödvändiga för att energipolitiken ska bli framgångsrik. Regeringarnas och myndigheternas roll blir därför att skapa förutsättningar för öppna partnerskap och att uppmuntra initiativ som leder åt rätt håll. Skillnaden mellan en investering i ett ”vanligt” och ett ”smart” elnät är inte så stort kapitalmässigt – den stora utmaningen ligger i beteenden. Progressiva och visionära länder och städer som vill agera katalysatorer i processen har därför stora möjligheter att göra det. Genom att testa lösningar i allt större miljöer kommer vi lära oss vad som krävs för att göra de nya elnäten verkliga. Nästa avsnitt beskriver närmare de affärslogiker som kan komma att råda i framtidens energisystem.

Nya affärslogiker

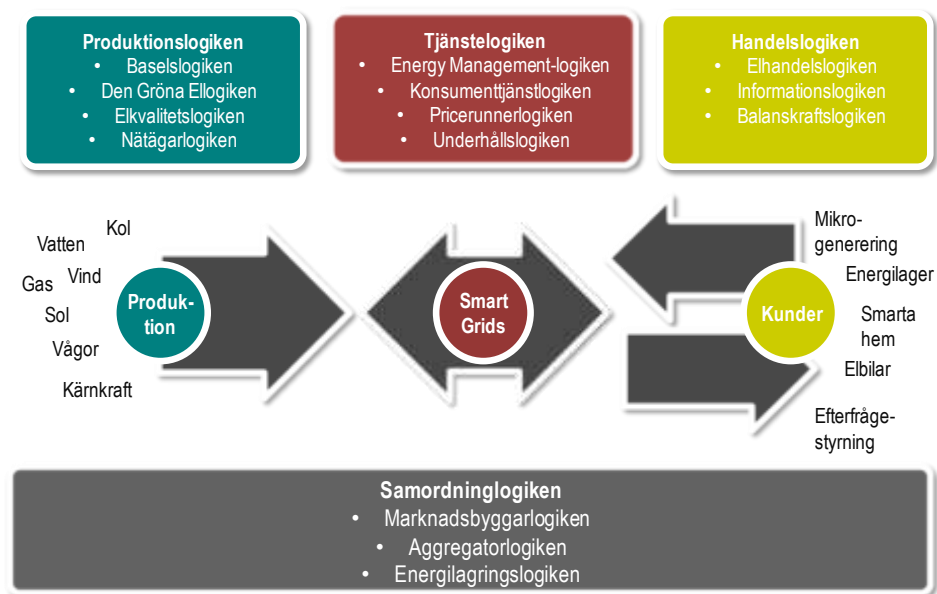
Den rättframma affärsmodell som hittills gällt på elmarknaden - dvs. leverera kraft med hög tillgänglighet och ta betalt - blir med det Smarta Elnäten möjlig att utveckla i flera riktningar. Det kallas ibland att gå från en ”ensidig” till en ”flersidig” affärsplattform. I en flersidig affärsvärld är alla beroende av varandra för att det ska uppstå en helhet som fungerar, saknas något faller kanske hela konstruktionen. Det är just därför det är svårt att överblicka de ekonomiska och affärsmässiga konsekvenserna av Smarta Elnät. I det här avsnittet beskrivs olika affärslogiker.

I rapporten har hittills kunnat konstateras att:

- 1 ”Realtidselnäten” är här för att stanna. Om inte energilagringstekniken plötsligt gör oväntade och sensationella genombrott är elektricitet i allt väsentligt en vara som levereras ”just in time”.
- 2 När förändringen rör sig mot decentralisering och mångfald behövs det samordning för att kompensera för de bristande skalfördelar som uppstår. Det är en aggregeringsmöjlighet för entreprenörer.
- 3 El och information kan flöda i två riktningar - från producent till konsument och vice versa. Konsumenten kan bli producent och tillverka el för egna behov och exportera överskott till det gemensamma nätet. Även information skapas, skickas och bearbetas av båda parter.
- 4 Smarta Elnät är funktionen ”mitten mellan” som hanterar komplexiteten. I ett vanligt elnät är det producenter eller handlare som kan tjäna pengar på marknaden. Med Smarta Elnät kommer marknaden hos konsumenterna att bli större. Nya koncept för att spara energi och förvalta hemmanäten innebär affärsmöjligheter.

Frågetecknet är vilka affärsmodeller som kan förväntas passa in på den nya plattformen av tekniska förutsättningar och nya regelverk. Möjligheterna är naturligtvis många och svåra att föreställa sig fullt ut och en del affärsidéer kommer säkert att uppstå som konsekvens av andra. Varför skulle inte olika typer av derivatinstrument kunna appliceras på handeln med lagrad energi, balanskraft eller energibesparing i hushållen?

Nedan beskrivs ett antal affärslogiker som skulle kunna attrahera kapital och ge avkastning om Smarta Elnät blir en verklighet. De olika affärstillämpningarna kan placeras ut i värdesystemet enligt figur 16. För överskådlighetens skull har vi kategoriserat dem i fyra olika affärsgrupper: produktion, tjänster, handel och samordning.



Figur 16: Olika affärslogiker i kombination med det Smarta Elnätets värdesystem

Produktionslogiken

Baselslogiken Detta är ryggraden i elförsörjningen. El i stora mängder från vatten, kärnkraft, kol och gas kommer så långt vi kan se framöver att sakna alternativ. Men elproducenterna behöver förändra sig och investera för att bygga ny produktion och göra den befintliga mindre skadlig för miljön. Teknik och nya bränslen kommer att vara delar av denna stora och kostsamma utveckling. Det anger riktningen mot specialiserade elproducenter. Elnäten skiljs ut av politiska men även allt mer av affärsmässiga skäl. Basproduktionen av el är på många håll redan konsoliderad, men att andra finansiellt starka intressenter (till exempel oljebolagen) går in på denna marknad är möjligt.

Den Gröna Ellogiken Eftersom de Smarta Elnäten tillåter en mer diversifierad energimix som kan vara långt decentraliserad kan man dela upp elproduktionen i (åtminstone) tre grupper: den tunga basproduktionen i botten och den lätta ”roof top-produktionen” på toppen, och däremellan ett segment som redan är ett affärsområde: utrymmet för mellanstora producenter med strategin att tillverka grön el. Vi har redan sett dessa aktörer investera framförallt i vindkraftsteknik och segmentet kan ha god utvecklingspotential.

Elkvalitetslogiken Eftersom andelen störande fenomen ökar och kraven på ren jämn el också ökar i takt med att datorer och apparater blir mer känsliga, kan man tänka sig en affärslogik där man får betala för en högre kvalitet och/eller tillgänglighet.⁶⁹

⁶⁹ Se även fördjupningsavsnitt angående Elkvalitet i Del 2.

Nätägarlogiken bygger på att erbjuda den gemensamma resursen som alla andra behöver för att göra sina affärer. Fler än ett elnät är inte realistiskt. Hittills har uppgiften finansierats med nätavgifter som svarar mot kostnaderna för att tillhandahålla nätet. Nätägaren är att den som skall ta en stor del av kostnaderna för att bygga de Smarta Elnäten. Frågan är om finansiering enkelt kan ske med höjda nätavgifter eller om det går att finna andra modeller som mer effektivt skickar kostnader bakåt mot producenterna och framåt mot konsumenterna? En förutsättning är **dynamiska nätpriser**. Som vi diskuterat tidigare försvagar fasta nätpriser incitamenten för att minska energianvändningen.

Tjänstelogiken

Energy Managementlogiken Olika tjänster för energianvändning, till exempel att välja elleverantör, att införa smart mätning, data och tariffhantering, konsulttjänster för att bygga elanläggningar, energioptimering, analys och historikgranskning och fakturahantering. Kunderna är både hushåll och företag, beroende på land och marknad. Ett exempel på denna logik är det tyska företaget **Ista**.

Konsumenttjänstlogiken Slaget om kundernas elmätare/informationshub/portal och hemmanätverket som håller reda på all information är en vidare specialisering av **Energy Management**. Det finns en poäng med att samla hushållets eller småföretagets alla behov i ett enda system. Det är lätt att föreställa sig de många leverantörerna som vill vara med i hemmens infrastruktur. Många är redan inne i hemmet utan att vara specialiserade på el – genom nöjesutbud, ”family management”, telefoni och internettjänster. Tillverkare av hårdvara, mjukvara, installatörer och serviceföretag och de som ska leva på ”ticket” är aktörer som kan förväntas agera här.

Hug Energy [i San Francisco] startades av Marcus Tallhamn på grund av hans passion för ingenjörskap och viljan att knäcka ett viktigt samhällsproblem. **WePowerDown** blev lösningen, som med sitt Facebook Connect-anpassade system framstår som mycket användarvänligt.

”Ingen vettig människa lämnar huset med vattenkranarna på. Tyvärr är vi inte lika duktiga när det gäller energi. Vi bygger därför en produkt som levererar värde och tillfredsställelse utöver rena besparingar. Den kombinerar en mängd heta områden som spel, sociala medier, informationsutvinning, beteendeanalys och annonsering”.

Tjänsten genererar intäkter genom att följa användarnas energiförbrukning och identifiera effektiva sätt att reducera den – genom produkter. När användarna köper produkter genom WePowerDown får företaget en kommission från leverantören.

Källa: Svenska Dagbladet, 17 aug 2010

Prisjakslogiken Aktörer som håller rätt på bästa elpriset och hjälper användaren att byta leverantör finns redan (i Sverige är **Elskling** ett exempel). Dessutom har man möjlighet att använda den mängd information man får, både från leverantörer och konsumenter, till att göra marknadsanalyser och erbjuda konsulttjänster. Elbolagen betalar provision till leverantören för varje genomfört byte. De lockas att rapportera in varje kampanj till sajten för att inte gå miste om nya kunder. Konceptet är klart utvecklingsbart till att omfatta andra delar av marknaden för de Smarta Elnäten.

Underhållslogiken Medan nya aktörer på denna marknad ser slutkundstjänster som hägrande affärer måste någon leverera tekniken och traditionella handfasta underhållstjänster även i fortsättningen. Därför kommer det att finnas plats för traditionella underhållsavtal, akutservice och timdebiterade jobb. En tänkbar utveckling är att tjänsten kommer att "outsourcas" om elleverantörerna går mot att bli mer diversifierade, kundorienterade tjänsteleverantörer.

Handelslogiken

Elhandelslogiken Elhandel framstår som en av de minst komplicerade affärslogikerna. Det går ut på att köpa energi från elbörser och profilera sig med distinkta varumärken och god service. Tillräckligt stora volymer ger nominella vinster även om handelsmarginalen är ganska låg. Här finns även möjligheter till – för elsystemet – nya handelslösningar som till exempel förskottsbetalning på samma sätt som mobiltelefonins kontantkortslösningar. Speciellt på utvecklingsmarknaderna kan det vara intressanta komplement.

Informationslogiken Här har **Google** och **Microsoft** redan positionerat sig med sina applikationer för elmätarövervakning. Syftet är naturligtvis att utan mellanhänder få tillgång till användarnas informationsflöde och uppmärksamhet genom annonsering. För marknadsföring är denna typ av data över hushållens beteenden mycket värdefull. Det går att tänka sig specialiserade företag som kan hitta intjäningsmöjligheter genom att förädla och sälja information från hushållen vidare. **Integritetsproblemet** är en viktig fråga som måste hanteras varsamt.

Balanskraftslogiken Förutom produktion av basenergi och mellanutbud finns ett annat alternativ för den som vill arbeta med elhandel och produktion. Det är att skapa en stabil plattform för den förnybara energin eftersom det på de flesta marknader kommer att finnas behov av balanskraft. En affärsidé är att sälja denna tjänst till Energy Management -företag som förvaltar andra företags energibehov. Dessa skulle i gengäld kunna minska sina nätkostnader.

Samordningslogiken

Marknadsbyggarlogiken När distribuerad småskalig kraftproduktion blir tillgänglig finns ett utrymme att skapa en energiportfölj genom att mobilisera privatkunder, eller mindre företag, som partners. Entreprenören bygger marknad genom att erbjuda kapital, teknik, bygg- och konstruktionstjänster, drift och underhåll etc. för små lokalt placerade sol- och vindkraftverk eller energilagringssystem. En sådan logik skulle uppmuntra till lagring av energi, till elbilar, till nettomätning och andra möjligheter i större skala än annars. Plattformen kan sedan användas för andra säljare och leverantörer som kan erbjuda ytterligare tjänster och ta ut avgifter för förvaltningen av distribuerade energianläggningar och energieffektivisering i hemmen.

Aggregatorlogiken Aggregator är ett nytt begrepp inom elbranschen och kommer från IT-branschen och innebär ett nytt sätt att hushålla med resurser. En aggregator betalar företag för att *inte* använda elektricitet när det är ”rusningstid” på nätet. På distans kan elförbrukningen styras och minskas under efterfrågetoppar. I gengäld betalar distributionsföretag och nätoperatörer aggregatorerna för att de minskar belastningen på nätsystemet. Två av de större aggregatorerna är **Comverge** och **EnerNOC** i USA. De tjänar alltså inte pengar på skillnader i elpriset utan på att delta på regleringsmarknaden, vilket också har anknytning till Balanslogiken, enligt ovan.

Energilagringslogiken Ytterligare en logik är att samla många mindre energilagringenheter som tillsammans representerar en stor lagringskapacitet. Detta är ytterligare en samordningsmöjlighet i en distribuerad teknisk miljö. Visionen om miljoner elbilar vars batterier kan användas för att backa upp elnätet när det behövs är en lockande tanke. Än så länge är det en vision. Men som affärslogik håller det att dirigera en stor mängd lagringsmöjligheter för att stödja nätet i geografiska och tidsmässiga koordinater. Förtjänsterna kommer från aktörer i systemet som kan öka värdet på sina tjänster genom att erbjuda el för förstärkning, d v s aggregatorer och balanskraftsleverantörer.

Det finns naturligtvis fler möjligheter men slutsatsen är att ganska få skillnader mellan dagens elnät och de Smarta Elnäten drastiskt ökar möjligheten att investera och ta ut vinster på fler ställen.

Frågan om vem som ska betala de Smarta Elnäten besvaras också genom att förstå de olika affärsmodellerna. I slutändan är det kunder (direkt eller som skattebetalare) som får betala, men ett högre pris behöver inte upplevas som, eller vara, kostsamt. Om det kompenseras med lägre förbrukning och högre funktionalitet kan det tvärtom leda till besparingar. Det är sannolikt nyckeln till de framgångsrika affärslogikerna.

Men det är viktigt att det finns mekanismer som gör att investeringarna faktiskt tar fart. På de flesta marknader sker det mer eller mindre som statliga initiativ med skattemedel vilket innebär att styrfarten blir extra hög i länder som Kina (där 95 procent av branschen är statligt ägd) och Indien (ca 90 procent).⁷⁰ Västvärlden kan inte tveka för mycket om konkurrenskraften ska behållas och miljön skyddas.

I de följande avsnitten diskuteras frågan om investeringsbehoven, subventionerna, hindren och den fråga som kanske är viktigast för svensk industris räkning, nämligen: Vem ska bygga de Smarta Näten?

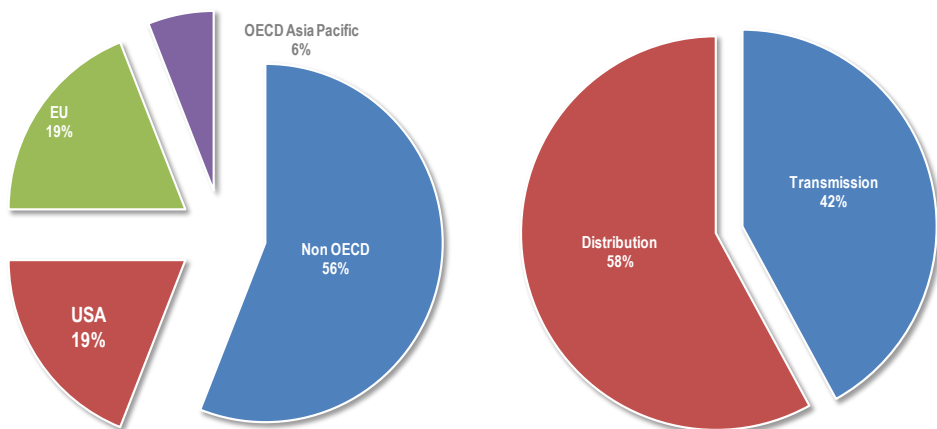
⁷⁰ IEA, 2009, World Energy Outlook 2009

Att Stimulera

Enligt IEA:s rapport *World Energy Outlook 2008*, uppgår investeringsbehoven för världens elförsörjning till i storleksordningen **13 600 mdr USD** fram till 2030,⁷¹ fördelat på lika delar produktion och kraftöverföring. Kraftöverföringsinvesteringarna kan delas upp i **transmissionsteknik**, d v s överföring av el över långa avstånd med hög spänning, och **distributionsteknik** till hushåll, industri och fastigheter.

Det är stora belopp som krävs för att möta utvecklingsländernas behov av mer elenergi, parera den globala uppvärmningen och effektivisera och modernisera de gamla elsystemen. Västvärldens kraftöverföringsteknik är i hög föråldrad och håller den teknisknivå som rådde när de stora nybyggnationerna skedde på 1950- och 1960-talet. Liknelsen med att det skulle vara som att telenäten fortfarande skulle bestå av mekaniska växlar, eller till och med sladdar och pluggar, ligger inte alltför långt borta.

Av IEA:s beräknade 7 000 Mdr USD för kraftöverföringar utgör transmissionsnäten dryga 40 procent och utbyggnaden av distributionsnäten nära 60 procent. Den geografiska fördelningen domineras föga överraskande av Kina och Indien som står för över hälften av alla framtida investeringar.



Figur 17: Framtida investeringar i elnät fördelade på region samt på transmission och distribution. Källa: IEA

Ett effektivt sätt att få investeringshjulen att börja snurra är att erbjuda praktiska samarbetsarenor i form av demonstrationsprojekt, med offentliga medel och privata motprestationer. Teknikdemonstrationer prövar tekniska lösningar under förhållanden och i tillräckligt stor skala för att kunna bedöma hur det fungerar i verkligheten. De flesta demonstrationsprojekten för Smarta Elnät som avser att vara helt systemtäckande är initierade under det senaste två åren och är därför ännu inte utvärderade. Det kommer att dröja ytterligare några år innan vi börjar få en bra bild över vad tekniken och system-

⁷¹ Enligt deras referensscenario

skiftet verkligen kan innebära. Ett annat sätt att använda statligt kapital för stimulans är att stödja innovationssystemet. Den typen av subventioner sker också över hela världen.

I ett utbuds- och efterfrågediagram innebär en subvention att efterfrågekurvan endera kommer att skifta upp eller utbudskurvan ned. Ett bidrag som till producenten tenderar att leda till ett lägre pris medan en subvention till konsumenten tenderar att resultera i en ökning av priserna. Båda fallen leder till en ny ekonomisk balans. Även om de flesta ekonomer anser att subventioner snedvrider marknader och skapar ineffektivitet finns det ett antal fall där subventioner kan vara lämpliga. Om det rör kollektiva nyttigheter, exempelvis, är det svårt att få till stånd investeringar. Elnät är i hög utsträckning en kollektiv nytta, men ämnet är debatterat. Hursomhelst stimuleras elnätinvesteringar runt om i världen i stor skala (se tabell nedan).

Land	Stimulans (MUSD)	Ranking	Stimulans per Capita (USD)	Ranking	Stimulans % av BNP	Ranking
Kina	7 323	1	5,47	6	0,154	1
USA	7 092	2	23,09	1	0,050	4
Japan	849	3	6,68	5	0,017	6
Syd Korea	824	4	17,00	3	0,103	2
Spanien	807	5	19,90	2	0,056	3
Tyskland	397	6	4,82	7	0,012	9
Australien	360	7	16,92	4	0,039	5
England	290	8	4,75	8	0,013	8
Frankrike	265	9	4,14	9	0,010	10
Brasilien	204	10	1,03	10	0,014	7

Tabell 2: Initiala subventioner för Smart Elnätsteknik i olika länder. Källor: CIA World Factbook, nationell statistik

En annan tanke som berör energipolicy är om man kan flytta leveransgränsen av el till nyttan den skapar ”innanför” elmätaren. Ett sätt att ändra ansvarsgränser och mana till samarbeten är att med **Vita Certifikat** göra energileverantörerna ansvariga för att uppnå effektiviseringsmål inom sin kundkrets. På så sätt slipper energiföretaget att utsättas för ”systembolagsproblemet” och behöver bara ta ansvar för att målen uppnås på ett resurseffektivt sätt. Idén går ut på att överskott från energibesparingsåtgärder omvandlas till krediter som energibolagen kan köpa och sälja på en marknad - på samma sätt som Gröna Certifikat fungerar i dag (se nedan). Marknaderna är tänkta att vara nationella.

Gröna certifikat är ett annat marknadsbaserat instrument för att stimulera förnybara energikällor inom elproduktionen. Inom systemet med gröna certifikat har elen och produktionens miljömervärde och övriga mervärde frigjorts från varandra och säljs på olika marknader. Den producerade elen säljs som ”grå” el till elmarknaden medan produktionens miljömervärde och det övriga mervärde som användningen av förnybara energikällor medför säljs som gröna certifikat. Syftet med systemet är att dels öka användningen av förnybar energi där det är kostnadseffektivast, dels eliminera belastning-

en som elöverföringen medför. Gröna certifikat är ett bevis på att en viss mängd el har producerats med förnybara energikällor. Antalet certifikat är lika stort som den producerade mängden elektricitet - produktion av en megawattimme ger ett certifikat.

Inmatningstariffer tillhör också stimuleringsarsenalen. Som tidigare nämnts är syftet att betala ett högt (över marknadspriset) pris för förnybar el och därmed driva investeringar i särskilda energislag, och ofta i småskalig produktion.

Inom EU finns också ett system med **utsläppsrätter** som sätter ett tak för utsläppen av växthusgaser. Varje medlemslands ekonomi är indelad i en del som ligger under taket - den "handlande sektorn" - och en del som ligger utanför, den "icke-handlande sektorn". I den handlande sektorn ingår den tunga industrin (till exempel stål, massa och papper) och all typ av elproduktion. De samlade utsläppen från dessa får inte överstiga en viss bestämd nivå. Det företag som tillhör den handlande sektorn och som vill öka sina utsläpp tvingas därför köpa utsläppsrätter från något annat företag i den handlande sektorn.

Systemet sätter alltså gränser för hur mycket växthusgaser som får släppas ut. Vem som släpper ut bestäms genom handeln med utsläppsrätter. Ju mer eftertraktade utsläppsrätterna är, desto högre blir priset. Den förutbestämda nivån för de totala utsläppen kan (och kommer) genom politiska beslut successivt att sänkas vilket i sin tur driver upp priset. El för elbilar produceras i den handlande sektorn. Det innebär att fler elbilar ger större efterfrågan på utsläppsrätter och därmed höjer priset på utsläppsrätterna – och dessutom för in delar av transportsektorn under utsläppstaket.

Grunden har lagts för mycket av de incitament och stimuli som behövs för att öka farten mot ett bättre och uthålligare energisystem. Men vilka är det som kommer att dra nytta av stimulanserna? Det är temat för nästa avsnitt.

Att Investera

Det pågår en diskussion om huruvida **Smart Grids** är riskinvesternas nya kronjuvel inom den gröna energi- och teknikutvecklingen. På sitt sätt kan vissa områden inom den smarta elnätstekniken framstå som mindre riskfulla än inom till exempel kraftgenerering och det finns en tendens bland investerarna att dra sig undan den högt kapitaliserade förnybara energiproduktionen.⁷² På samma gång kan energibranschen förväntas genomgå en omstöpning som leder kapitalflöden från olje- och gasindustrin till de förnybara energislagen.

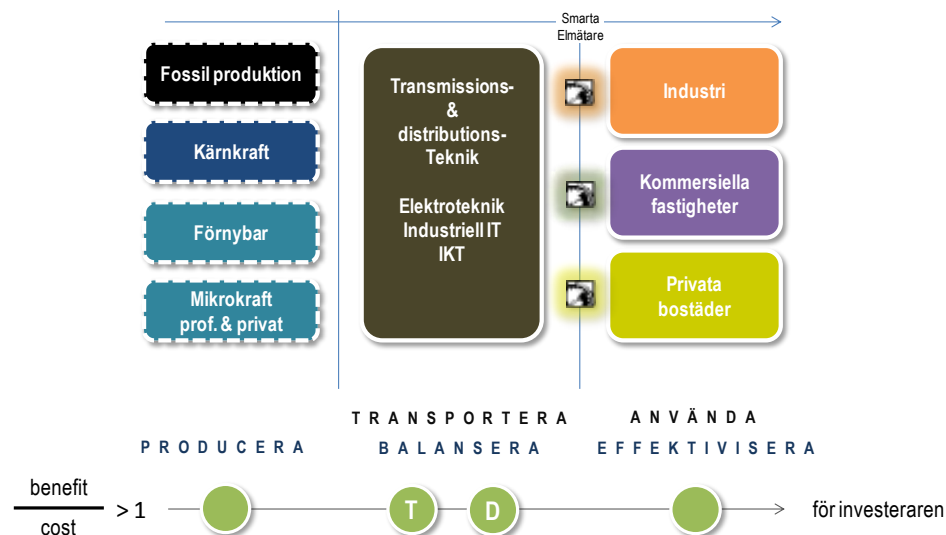
Riskinvesterarlogiken leder naturligt nog till de mindre kapitalintensiva och "kortare" områdena inom energisektorn. Dit hör bland annat elmätarteknik, energieffektiviseringstjänster och mjukvara. Men elbranschen behöver injektioner från olika håll för att

⁷² Green Tech Grid 26 juli, 2010

de reella investeringarna bortom pilot- och demonstrationsanläggningar ska komma igång. Dessa måste komma endera från offentliga medel, egna kassaflöden eller riskkapital. Investeringarna måste verka för både teknikutveckling hos underleverantörerna och att anläggningsbyggen realiseras. Stommen i **leverantörsledet** består naturligt nog av de redan stora aktörerna inom elektroteknik, IT och telekom, toppad med mindre nya och existerande företag. I **slutkundsledet** regerar den traditionella elbranschen, men här kan stora förändringar förutses. Om oljeindustrin blir till elindustri faller det sig naturligt att branscherna konvergerar, vilket det redan finns exempel på: **BP** och **Statoil** rör sig till exempel i riktning mot elbranschen genom investeringar i förnybar energiproduktion.

För att skapa tydlighet kan det vara lämpligt att tala om **två huvudmarknader** för Smarta Elnät. Den ena är den professionella **transmissions- och distributionsmarknaden** utökad med IT och telekom. Den andra stora delmarknaden är **”Innanför Elmätaren Marknaden”**. Den marknaden går i huvudsak ut på att **minska** energianvändningen genom effektivitet, kontroll och styrning. Det finns dessutom åtminstone tre olika kundsegment: **industrin** som drivs av en logik som ser energi som en insatsvara, **kommersiella fastigheter** som ser energi som en rörlig kostnadspost möjlig att rationalisera för bättre lönsamhet/konkurrenskraft, samt **hushåll** som drivs av en önskan att minska utgifterna och kanske lockas av statusbetingande apparater och ”coola” funktioner. Över hela denna marknad förekommer såväl elektroteknik som datorteknik men med helt olika förutsättningar, krav och prisnivåer.

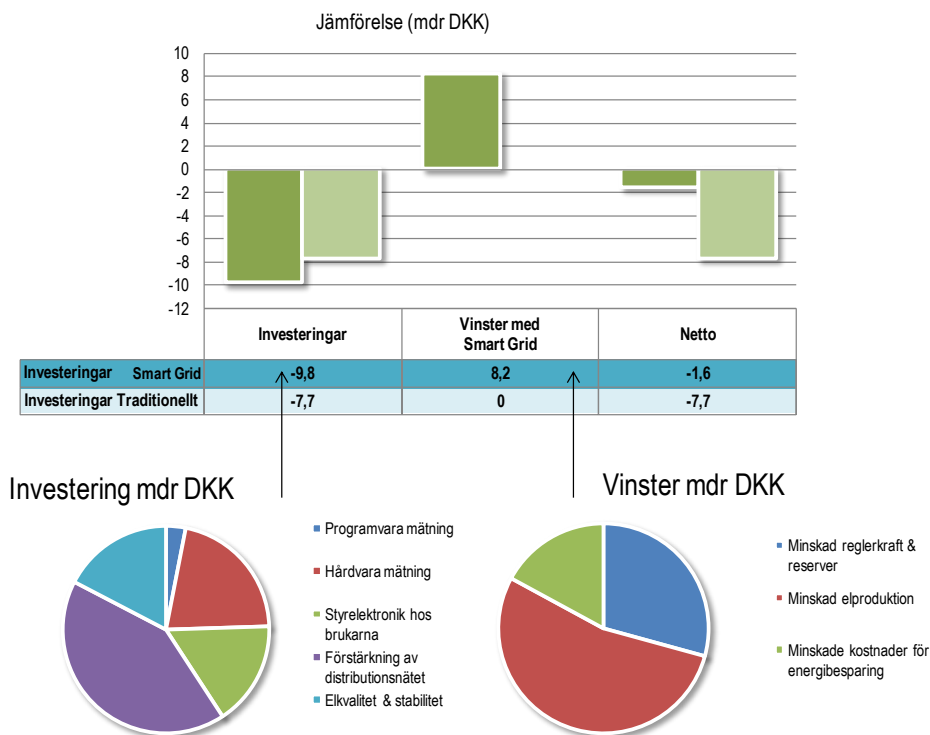
Vidare är det viktigt att förstå vart kostnader och vinster uppstår inom de olika marknadssegmenten. Svårigheten är att intäkterna inte nödvändigtvis uppstår där kostnaderna är som störst. Relationen ”Cost/Benefit” är troligen enklast att balansera i början och slutet av näringskedjan. **Produktionsinvesteringarna** kan tydligt beräknas på längre eller kortare tid, ibland med hänsyn taget till existerande och kommande subventionssystem. **Energieffektivisering** inklusive ”smart” teknik - innanför elmätaren - inom industri, fastigheter och bostäder är hanterbar och möjligt lönsam ur investeringsperspektiv. Däremellan finns **transmissions- och distributionssystemen** som tydligast är av infrastrukturkaraktär, där svårare investeringsbeslut uppstår. Inom transmissionsområdet är kalkylen mindre problematisk eftersom den är samhällsekonomiskt motiverad och finansieringen i regel offentlig. Den är dessutom i allt högre grad samfinansierad bilateralt eller regionalt allteftersom den internationella sammanknytningen av energisystemet fortskrider. Mest problematisk ur ett företagsekonomiskt perspektiv ter sig **distributionsnäten**. Tekniken som tillhandahålls är dyrbar och utgör grunden för många olika affärsmöjligheter inom **efterfrågestyrning**, vars intäkter inte nödvändigtvis tillfaller nätägaren. Åtminstone inte med nuvarande spelregler.



Figur 18: Marknaden för Smarta Elnät bör delas upp i olika marknadsdefinitioner för att bli riktigt begripliga. Det råder olika underliggande affärslogiker. Avkastningen på investeringarna (för aktörerna) på de olika marknaderna är tydligast i produktions- och användarledet

Problemet med att intäkterna inte nödvändigtvis uppstår på samma ställe som kostnaderna innebär inte att nyttan på en samhällsnivå uteblir. I Danmark, som får ses som en marknad i framkant av utvecklingen, har man gjort noggranna utredningar som visar på att "business-caset" för Smarta Elnät är bra. I en rapport från **Dansk Energi** och **Energinet DK**⁷³ är slutsatsen att en etablering av ett intelligent elsystem i Danmark kräver insatser och investeringar av alla elsektorns aktörer och andra som agerar på kommersiella villkor både innanför och utanför branschen. **Om alla bidrar kan den samlade nyttan med ett Smart Elnät realiseras.** Vidare konstateras att elbranschen gärna tar en aktiv roll i att försäkra en gemensam och koordinerad utveckling av elsystemet i landet. Därför bör det också försäkras att de politiska förutsättningarna främjar en proaktiv inställning för alla inblandade aktörer. Danmark kan välja att uppgradera elsystemet på konventionellt sätt eller att bygga ett framtidssäkert system som kan hantera ytterligare mängder av förnyelsebar energi genom mätning, elektronik och automatik hos konsumenterna och i elsystemet - därmed skapas ett Smart Elnät. Beräkningarna som gjorts visar på stora samhällsekonomiska fördelar med den avancerade elnätstekniken.

⁷³ Smart Grid i Danmark



Figur 19: Lönsamhetskalkyl avseende investeringar i elnätet i Danmark. Slutsatsen är att alternativet med den intelligenta elnätstekniken ger den största nyttan. Källa: Dansk Energi och Energinet DK

Bland investerare i underleverantörsled är det IT och kommunikationsdelarna som drar till sig mest intresse eftersom den delen även utgör grunden för många nya affärsidéer och affärslogiker av ”lättare” slag än den tunga elektrotekniska infrastrukturen. Men för den traditionella kraftbranschen är detta okänd mark som man åtminstone delvis måste beträda. Det är i sig ett problem som kan vara omskakande och måste övervinnas. Ur elbranschens perspektiv finns det helt klart en risk, om man inte är tillräckligt insiktsfull och snabbfotad, att andra krafter kan ta kommandot genom att lägga beslag på de värdeskapande (men mindre kapitalkrävande) delarna av strukturen, d v s datorer, datornät, programvaror och nya tjänster.

IT- och telekombolag kan erbjuda internationell bredd, erfarenhet, finansiell tyngd och robusta ”business-case” som attraherar både privat kapital och offentliga stöd. När det kommer till att bedöma rörelserna inom Smarta Elnät ur investerarperspektiv är det klokt att definiera några områden som över tiden speglar utvecklingen. Så sker också bland analysföretagen. **Förvärv och sammanslagningar, allianser, förmågan att attrahera kapital för produktutveckling** och förstås **företagens ekonomiska utveckling** är typiska sådana ”benchmarks”. Det finns några generella tendenser:

- Det finns en ganska tydlig trend mot ökad **konsolidering** hos leverantörerna av utrustning för de Smarta Näten. Ett exempel är **ABB:s** förvärv av **Ventyx**.
- Antalet **allianser** ökar, vilket ökar affärsmöjligheterna genom att erbjuda bredare lösningar. Enligt analysföretaget **Memoori** är ökningen tydlig i jämförelse med vad som sker inom den elektrotekniska branschen som helhet.⁷⁴ Ett exempel är **IBM:s** amerikanska samarbete för Smarta Elnät där bland annat **ABB** ingår.
- Andelen privata riskkapitalarrangemang sägs öka för Smart Grid-teknologi, medan en minskning kan iakttas för ”cleantech” i allmänhet.
- Resultaten förbättras för företag som är aktiva inom Smarta Elnät. Företag som **Itron, Landis+Gyr, Sensus, EnerNoc, Johnson Control** och **Honeywell** visar förbättrade prestationer. Mindre och nyetablerade bolag tenderar att öka i volymer, medan resultaten fortfarande i många fall är negativa. Elmätarföretagen verkar prestera väl i allmänhet och har en optimistisk tro på framtiden.

Sammanfattningsvis verkar marknaden vara på väg att ta fart och ter sig robust, vilket kan bekräftas av många andra iakttagelser i denna rapport. Men det finns naturligtvis - som i all annan teknisk och ekonomisk utveckling - **hot och hinder** av olika karaktärer. Det kan vara kompetens, ekonomi, opinion, markanvändning, säkerhet o s v.

Vissa aktörer kan till att börja med bli sin egen flaskhals. Utöver att hantera en alltmer föråldrad infrastruktur behöver branschen förnya sig på flera plan. Bristyrken är ett ökande problem som bara kan pareras med utbildningssatsningar och att öka attraktionskraften för yrken inom elkraftsektorn. Elkraftingenjörer är redan ett bristyrke och stundande pensionsavgångar kommer ytterligare att öka efterfrågan. Samtidigt kommer nya kompetenser att krävas för att både utveckla och använda den teknik som de smarta elnäten använder. En värld där elkraft, elektronik, nanotillämpningar och programvara kombineras på nya sätt kommer att vara det som driver utvecklingen av Smarta Elnät framåt.

I Sverige visar en enkät gjord av **Svensk Energi** på att 7 000 nya elingenjörer behövs fram till 2014. En annan förfrågan till tio av landets största elkraftföretag visar en brist på 2 500 ingenjörer, samtidigt som högskolorna rapporterar att de har svårt att fylla utbildningsplatserna.⁷⁵

Ett annat potentiellt hinder handlar om att förutsättningarna för att bygga elnät varierar beroende på land och region. Därför måste den lokala jurisdiktionen både tillgodoses och ges en vidare tolkning så att lokala standarder och regler inte hämmar utvecklingen i stort. Både i USA och inom EU bedrivs generell lobbying för lokala särintressen vilket

⁷⁴ Memoori, 2010, Acquisitions, Alliances, IPO's & Fundings Indicate Strong Confidence in Smart Grids Future, <http://www.memooriblog.com/>

⁷⁵ Källa: Ny Teknik, 10 november 2010

kan kosta tid, pengar och bromsa utvecklingen. Därför pågår aktiviteter som syftar till att undvika att särintressen sätter käppar i hjulen för en utveckling som är nödvändig för att skydda klimat och miljö.

Ett annat realpolitiskt hinder utgörs av fysiska begränsningar i tätbebyggda områden som gör att anläggning av nya elnät kan bli problematiska. Långa ledtider för tillståndsgivning kan också bromsa utvecklingen. Det tar för närvarande cirka tio år i både Europa och USA från planering till att större infrastrukturprojekt är genomförda.

Den ökande belastningen på näten skulle, om inget görs, kunna medföra allvarliga tillförlitlighetsproblem. Många menar att myndigheterna borde göra konsumenterna medvetna om att priset för ett tillförlitligt nät kan jämföras med en försäkring mot fel och avbrott. I USA finns hos industrin också en ökande oro över att Smart Grid-teknik kommer att prioriteras före nödvändiga tillförlitlighetsuppgaderingar av gammal utrustning.

Ytterligare ett potentiellt hinder är att omfattande informationsloggning och kommunikation kan innebära att den personliga integriteten hotas. Redan finns exempel på att den tekniska utvecklingen ifrågasätts. I Holland skapade införandet av Smarta Elmätare med kontinuerlig avläsning en negativ opinion hösten 2009 på grund av att den personliga integriteten inte ansågs vara tillfredsställande.⁷⁶

Ett exempel på mer tekniska hinder är att ett distribuerat elnät förlitar sig på intermittenta kraftkällor. Energilagring blir därför en förutsättning för att kunna skapa ett tillförlitligt elsystem. Idag finns inga bestämda uppfattningar om när till exempel vatten, termisk teknik, batterier eller tryckluft ska användas. Batteritekniken behöver också utvecklas och bli billigare.

Till sist är det värt att notera att även de Smarta Elnäten har sina definitiva motståndare. I USA och England finns en rörelse som heter **Off Grid**, som försöker skapa opinion för rätten att vara fri från elnätet överhuvudtaget.⁷⁷ Argumenten mot de Smarta Näten specifikt är de höga kostnaderna som drabbar kunderna, integritetsfrågorna och en tveksamhet kring hela strategin samt tvivel om att det ska fungera.

Världens Smartaste Elnät – vad byggs var?

Eftersom kompletta Smarta Elnät saknas spelar pilot- och demonstrationsprojekten en viktig roll. Mycket offentligt och privat kapital satsas på att bygga fullskaliga försöksanläggningar. Det är naturligtvis av stor betydelse för utrustningsleverantörerna, som är med och finansierar projekten, men minst lika viktigt för att pröva marknadens mekanismer och hur samhällets intressen skall uttryckas.

⁷⁶ NRC Handelsblad, 2009-04-08, Smart energy meters will not be compulsory

⁷⁷ <http://www.off-grid.net/2010/05/09/smart-grid-doubts-grow/>

*Trots många gemensamma utmaningar ser drivkrafter och motiv de facto olika ut i olika länder. Något förenklat är **efterfrågesidan** mest i fokus i **USA**, eftersom man där har problem med toppbelastning. Ett exempel är att många kylaggregat igång kan vara ett besvärande dilemma i de varma delarna av landet. **Krafttransmissionen** är angelägen i **Kina** eftersom det finns stora behov av elkraft i de moderna östra delarna av landet medan kraftresurserna i form av vatten och kol finns i väster. I **Europa** har införandet av **förnybar** kraftproduktion fått stor uppmärksamhet, mycket beroende på EU:s 20-20-20-mål. I det här avsnittet ger vi en orientering över drivkrafterna för att utveckla Smarta Elnät i världens olika regioner och beskriver de pågående projekten.*

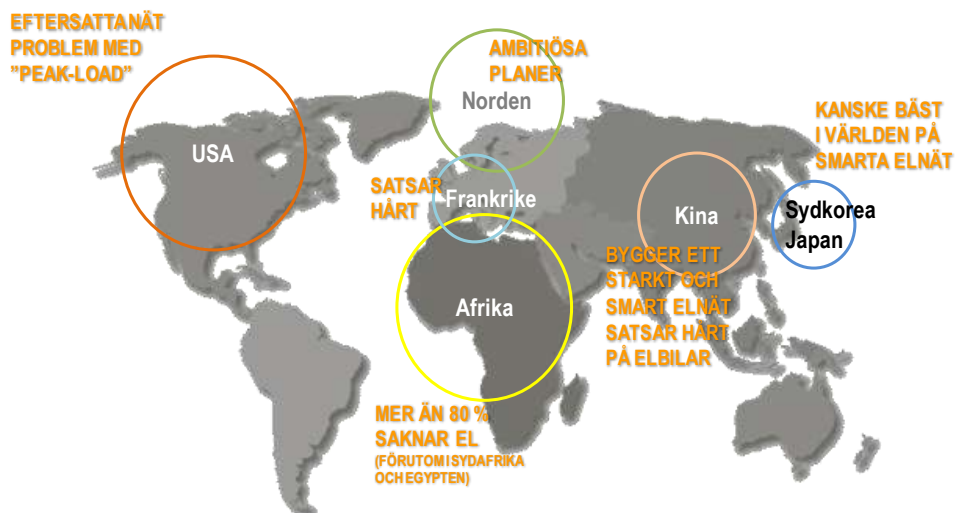
USA:s eftersatta underhåll och utbyggnad kan leda till oplanerade avbrott då efterfrågan på energi samtidigt ökar, med höga samhällsekonomiska kostnader som följd. Snittåldern för en transformatorstation i USA är 42 år, man har femton olika överföringsspänningar (från 23 kV till 765 kV) och använder alla tänkbara varianter av utrustning som tillverkats under de senaste femtio åren. Det betyder att även om ambitionen är att addera stora mängder förnybar energi blir det allt svårare att utöka och bygga nya anläggningar och ledningar som passar in i den åldrade strukturen. Investeringsbehovet är därför mycket omfattande och i vissa fall akut.

I juli 2009 beslutade **US Department of Energy** att skjuta till ytterligare 47 MUSD till åtta pågående demonstrationsprojekt för Smarta Elnät, utöver de 17 MUSD som tidigare beviljats.⁷⁸ De flesta projekten avser teknik för överförings- och distributionssystem, men några är direkt kopplade till förnybar energi. Till exempel kommer staden **Fort Collins, Colorado** att utveckla och demonstrera ett samordnat och integrerat system av blandad energiteknik och distribuerade energikällor. Det ska göra det möjligt att minska toppbelastningen av elnätet med minst 15 procent.

I **San Diego, Kalifornien** började man redan år 2003 att pröva ut olika tekniska möjligheter för automatiserad efterfrågestyrning i elnätet. Från 2007 erbjuds förbrukare (över 20 kW) att ansluta sig till systemet. Andra demonstrationsprojekt finns i **Austin, Texas** och **Boulder, Colorado**. Energibolaget **Xcel Energy** bygger i Boulder ett helt samhälle för att pröva den nya tekniken. Projektet som kallas **Smart Grid City** är USA:s första helt integrerade demonstrationsprojekt för smart elnätsteknik, och förväntas vara slutfört under våren 2010. I konsortiet ingår bl.a. **Accenture, Current Group, GridPoint, ISOsoft, Schweitzer Engineering Laboratories** och **Ventyx**, som nyligen förvärvats av **ABB**.⁷⁹

⁷⁸ <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm>

⁷⁹ Se <http://smartgridcity.xcelenergy.com/>



Figur 20: Smarta Elnät i världen

Statligt stöd för smarta elnät blev lagstadgat i USA genom **Energy Independence and Security Act of 2007**. Enligt denna ska 100 MUSD per år under perioden 2008 - 2012 användas för att bygga smarta elnät. **The American Recovery and Reinvestment Act of 2009** medför att ytterligare 11 mdr USD ska investeras i Smarta Elnät de närmaste tio åren. Förutom att förbättra elnäten kommer det att skapa en hel del sysselsättning (se tabell).⁸⁰

Kategori	Antal sysselsatta i uppbyggnadsperioden (2009 - 2012)	Antal fortvarigt sysselsatta (2013 - 2018)	Kommentarer
Nya direkta jobb	48 300	5 800	Anläggningsarbeten etc.
Jobb som omvandlas	-11 400	- 32 000	Jobb (t.ex. mätaravläsning) transiterade till andra roller/områden
Contractors	19 000	2 000	Externa installatörer och serviceföretag
Systemleverantörer	117 700	90 000	Teknisk utrustning, t.ex. mätutrustning
Underleverantörer	79 300	22 500	Underleverantörer till systemleverantörer av t.ex. teknisk utrustning
Nya typer av tjänsteföretag	25 700	51 400	Jobb baserade på nya affärsmodeller
Totalt	278 600	139 700	

Tabell 3: arbetstillfällen inom Smarta Elnät som beräknas skapas i USA. Källa: KEMA

⁸⁰ KEMA (för GridWise), 2008, The U.S. Smart Grid Revolution

Men förmodligen kommer ännu fler jobb att skapas. Utveckling av vindkraft till havs kan enligt **AWC:s**, Atlantic Wind Connections, och **Oceana** skapa mellan 133 000 och 212 000 nya jobb till 2030.⁸¹ AWC är ett konsortium som avser att bygga ett ryggradsnät som gör det möjligt att ansluta offshore vindkraft. I jämförelse med Europa (som har tjugo års erfarenhet) är det här första steget för att göra det möjligt att ansluta kraftverken. Bland investerarna märks **Google**, **Good Energy** och japanska **Marubeni Corporation**. Transmissionsnätet som byggs med högspänd likströmsteknik (HVDC) planeras att byggas av **Trans-Elect Development Company**. Projektet kommer att ha en kapacitet på 6 000 MW.

Europas elförsörjning utgör ett av de största tekniska systemen i världen. Det betjänar 430 miljoner människor med hjälp av 23 000 mil högspänningsledningar (mellan 220 kV och 400 kV) och 500 000 mil distributionsnät (mellan- och lågspänningsnivå). De ackumulerade investeringarna i de europeiska elnäten hittills överstiger 600 miljarder EUR. En betydande del av de europeiska elnäten byggdes för över 40 år sedan, men är generellt bättre underhållna än de amerikanska. Elförbrukningen i Europa är också ca hälften så stor per capita som i USA. Förnyelse är ändå nödvändigt och det sker redan - enligt **IEA** kommer cirka 500 miljarder EUR att investeras fram till 2030.⁸²

Integrationen av förnybar energi har i Europa ägnats uppmärksamhet under ganska lång tid men även här uppstår problem när nya förnybara och intermittenta resurser ska anslutas till näten. En utredning av **Accenture** hävdar att så lite som 7 procent vindkraft på lågspänningsnätet i Belgien kommer att ställa till stora problem.⁸³ Infrastrukturen och regelsystemen är helt enkelt inte konstruerad för detta. I många fall både kan och vill små bolag och enskilda hushåll positivt bidra till energiförsörjningen. Men med existerande teknikstruktur och regelverk skapar det paradoxalt nog stora problem.

I **Sverige** är **Norra Djurgårdsstaden** ett av demonstrationsprojekten i världen vars syfte är att utveckla **hållbara städer**. Bland projektets initiativtagare återfinns **Fortum** och **ABB**. Målet är en stadsdel med 10 000 bostäder och 30 000 arbetsplatser som till år 2030 skall vara helt fossilfritt i sin energianvändning och som använder energin effektivt, inklusive transportsystemet som ska inkludera elbilar och laddningsmöjligheter. Kretsloppen ska vara lokala och återanvändning skall optimeras. Elen ska kunna produceras lokalt och hållbar fjärrvärmeproduktion med förnybara bränslen ingår. Det Smarta Elnätet är en viktig del av systemtanken. Värtahamnen är en del av projektet och målsättningen är även där att belastningen på miljön minskas – till exempel att kryssningsfartygens uppehållsservice vid kaj sker med el istället för fartygsdieslar på tomgång. Tanken är också att regelfrågor och behov av nya affärsmodeller ska prövas, liksom en

⁸¹ Oceana, 2010, Untapped Wealth: Offshore Wind Can Deliver Cleaner, More Affordable Energy and More Jobs Than Offshore Oil

⁸² EU Technologist Platform, Strategic Deployment Document (SDD) april 2010

⁸³ Accenture för The World Economic Forum, Accelerating Smart Grid Investments, 2009

”hållbar livsstil” i sig. **KTH** kommer i ett forskningsprojekt följa byggandet och dess konsekvenser.



Figur 21: Investeringar i transmissionsledningar inom Europa och de olika bakomliggande drivkrafterna. Källa: ENTSO-E

Gotland är ett annat exempel där **Vattenfall** och **ABB** planerar att göra en unik storskalig demonstration av de flesta idag kända tekniker på en och samma plats. Gotland har utmärkta förutsättningar för Smarta Elnät. Det är tillräckligt stort för att innebära en seriös satsning men är samtidigt ett avgränsat område. Gotland skulle kunna bli en pilotanläggning som lockar hela EU:s intresse och demonstrerar morgondagens lösningar: elnätens motsvarighet till Turning Torso, Öresundsbron, Hammarby Sjöstad eller andra omvälvande samhällsbyggnadsprojekt. I båda projektet (liksom i Norra Djurgårdsstaden) bidrar **VINNOVA** och **Energimyndigheten** med delfinansiering till förstudier som bland annat syftar till att kartlägga utvecklingspotentialen och hur man kan stimulera små och medelstora företag att ta del av utvecklingen.

I Helsingfors i **Finland** ska **ABB** delta i ett samarbetsprojekt med det kommunala energibolaget **Helsingin Energia** och **Nokia Siemens Networks** för att utveckla, bygga och installera ett Smart Elnät i stor skala i den nya stadsdelen **Kalasatama** (Fiskehamnen)

mitt i staden.⁸⁴ Projektet är en del av en större satsning för att lyfta Helsingfors miljöprestanda. Energilösningarna ska inkludera system som gör att överskott av energi från förnybara energikällor inom stadsdelen (exempelvis solpaneler på hustak) kan matas in i elnätet, att elfordon kan laddas från elnätet respektive mata tillbaka energi in i elnätet, att energi kan lagras, att användarvänliga tjänster och funktioner utformas och att distributionsnätet får en hög grad av flexibilitet och transparens för att på dessa sätt minska energianvändning och utsläpp. Området ska få bostäder för cirka 18 000 invånare samt kontor med cirka 10 000 arbetsplatser. Stadsdelen får också ett innovationscenter som kommer att presentera den nya tekniken som utvecklas och testas där. Helsingin Energia är ett av de största energibolagen i Finland med elleveranser till mer än 400 000 kunder i Finland och fjärrvärmeleveranser som täcker 90 procent av uppvärmningsbehovet i Helsingfors.

I **Danmark** ansluter nu **Nordjysk elhandel**, som kontrollerar den el som genereras av 163 decentraliserade vindkraftverk, även enskilda fastigheters värmepumpar. Målet är att värmepumpar ska användas aktivt för att parera vindkraftsproduktionen. Med intelligent fjärrkontroll av många enskilda värmepumpar kan de, i stället för att bli extra belastning på nätet, kunna stödja elsystemet när vinden inte blåser och elpriset går upp. I samarbete med forskare vid **Aalborgs universitet** och **Neogrid Technologies** utvecklas en "virtuell kraftverkserver" för att kunna hantera tusentals värmepumpar tillsammans. Tricket är att utveckla en algoritm baserad på data från värmepumpsystem och byggnader för att avgöra om en värmepump kan kopplas bort eller inte. Försöksprojektet pågår t o m 2011. Danmark har, som nämnts, en väl genomtänkt plan för att införa ett nationellt Smart Elnät, där nyttan har beräknats till närmare 8 mdr DKK.

I **Amsterdam** finns sedan juni 2009 ett initiativ som kallas **Smart City** där konsumenter, myndigheter och företag arbetar tillsammans för att effektivisera energianvändningen, VA-systemen och trafiklösningar för att skapa en mer hållbar stad.⁸⁵ Smarta mätare och hemmabaserade IT-lösningar för att hantera och optimera energiförbrukningen - **Energy Management Systems** - kommer att installeras i 500 hushåll som deltar i pilotprojektet. Inom konsortiet kommer Vattenfallägda **Nuon** och **IBM** att utveckla ett energiledningssystem genom att använda intelligent IT och väl säkerställd webbt teknik. **Cisco** kommer att ansvara för IP-baserad förvaltning i realtid av de privata energilösningarna. Även tillämpningar för **Smarta Hem** med intelligenta hushållsapparater ska leda till effektivitetsvinster. Genom projektet syftar IBM och Cisco till att visa hur intelligens i elnätet kan minska avbrott och fel, förbättra tillgänglighet, hantera aktuella och prognoserad efterfrågan, öka effektiviteten och bättre hantera kostnader. Amsterdam-piloten realiserats med hjälp av flera programpartners förutom IBM och Cisco, som bostadskooperationerna **Far West** och **Ymere**, **Amsterdam Innovatie Motor**, **Home**

⁸⁴ ABB, pressmeddelande 2010-05-31, ABB och samarbetspartners utvecklar smart elnät i Helsingfors

⁸⁵ Se <http://www.amsterdamsmartcity.com>

Automation Europa, ROC Amsterdam, Amsterdams Universitet och nätoperatören **Alliander**. Projektet är finansierat av EU-fonden för regional utveckling.

Tidigare under året har ABB inlett ett samarbete med **T-Systems**, ett dotterbolag till **Deutsche Telecom**, för att utveckla lösningar inom smarta elnät i staden **Friedrichshafen** i södra Tyskland.⁸⁶

På ön **Malta**, med en befolkning på cirka 400 000 människor, är energi, vatten och ekonomin intimt sammankopplade. Landet är beroende av eldrivna avsaltningsanläggningar för över hälften av färskvattenförsörjningen. Cirka 75 procent av kostnaderna för vatten har direkt anknytning till energiproduktionen. Malta är ett exempel på en ö som driver ett vertikalt integrerat och isolerat elsystem och saknar samband med det europeiska elnätet. Två kraftverk producerar energi med hjälp av importerade fossila bränslen. Med den bakgrunden har Maltas bolag för el och vattenförsörjning - **Enemalta Corp** (EMC) och **Water Services Corp** (WSC) - nått ett avtal med **IBM** om att effektivisera verksamheten och funktionerna för kundservice. IBM kommer att ersätta 250 000 elmätare med nya enheter och koppla dessa och befintliga vattenmätare till system för fjärravläsning, förvaltning och övervakning. **ABB** levererar styr och kontrollsystem för övervakning av själva elnätet. Denna lösning integreras med IBM:s applikationer för ekonomi, fakturering och kassaprocesser samt ett avancerat analysverktyg för affärsstöd och kundservice. En portal för interaktion med slutkonsumenterna ingår också. Investeringen uppgår till ca 70 MEUR.⁸⁷

I **Japan** tenderar moderniseringen av elnäten att vara mer integrerade med de stora företagsgrupperna i landet. Nästan all energiproduktion i landet är privatägd.⁸⁸ Ansträngningarna går mot en ”**low carbon emission society**”. Det har redan skett en hel del och investeringar i smarta elnät uppgick till mer än 100 mdr USD under nittiotalet.⁸⁹ Målet har varit att uppgradera genereringskapaciteten, införliva förnybar produktion, investeringar i elnät och **SCADA**-system (Supervisory Control And Data Acquisition).

I mars 2010 annonserades en nyhet som ger en bra bild av dynamiken som råder på världsmarknaden för Smart Grids. Det japanska konsortiet **All Your Grid Are Belong to Us** (sic). som består av 31 japanska företag (bland annat **Hitachi**, **Toshiba**, **Fuji**, och **Panasonic**) deklarerade att de tillsammans med den japanska regeringen räknar med att investera 20 MUSD i demonstrations- och forskningsprojekt i den amerikanska delstaten **New Mexico**.⁹⁰ Japans energi- och Industridepartement, **NEDO**, har tecknat fem avtal med staden **Los Alamos, New Mexico** för att utvärdera ny energiteknik och systemintegration under fyra år. Los Alamos möter den japanska satsningen med 10 MUSD. En viktig del av projektet handlar om standardisering och om IT-säkerhet. I

⁸⁶ T-Systems, pressmeddelande 2010-04-14, Smart grid cooperation

⁸⁷ Enligt IBM och ABB

⁸⁸ IEA, World Energy Outlook 2009

⁸⁹ Tmcnet.com, 2010-01-21, Smart Grid

⁹⁰ New Mexico Business Weekly, 2010-03-05

slutet av september 2010 meddelade **Hitachi** och **Panasonic** ytterligare ett samarbete som innebär att Hitachis **Community Energy Management Systems (CEMS)**, lösningar för att ansluta kraftproduktion till det gemensamma elnätet, kombineras med **Panasonics Home Energy Management Systems (HEMS)**.⁹¹

Utanför OECD är utbyggnaden av elnäten ofta en konsekvens av snabbt ökat välbefinnande. Den teknik som används är i regel den allra senaste. För kraftöverföring över långa avstånd används det som ibland kallas för **Super Grids** som består av högspänningsöverföring av likströmstyp, **HVDC**, eller ultrahög växelspanning, **UHVAC**.

Syd Korea är välkänt för sina satsningar på den nationella infrastrukturen för bredband och mobil trafik. Mindre känt är de konsekventa investeringarna i effektiva elnät. Sydkorea har genom att standardisera spänningar och minska förlusterna i ledningar och transformatorer minskat sina transmissions- och distributionsförluster med 40 procent under trettio år. Deras elsystem anses nu vara ett av de effektivaste i världen och planerar att gå vidare med Smart Grids. Den sydkoreanska staten och det privata näringslivet förväntar sig att spendera motsvarande 15,8 mdr USD på att bygga smarta nätinfrastukturer mellan 2009 och 2016. Sydkoreas statliga **Smart Grid Institute** anger att investeringarna ska bli större än så och kommer överstiga 24 mdr USD till år 2030.⁹²

I ett pilotprojekt på ön **Jeju** söder om Seoul, bygger ett konsortium av tio företag ett fullskaligt och komplett smart elnät. Ön har 570 000 innevånare. Bland konsortiedeltagarna finns ledande telekommunikations- och bredbandsföretag - **LG**, **SK Telecom** och **KT** - tillsammans med **Korea Electric Power**, **GS Caltex** och **Hyundai Heavy Industries**. Korea kommer utan tvivel att kunna använda sin framgångsrika historia inom IT, hemelektronik och nätverk för att bygga avancerade smarta elnät. Ett av syftena är naturligtvis att lägga grund för export av produkter och kunskap till resten av världen. Konsortiet som leder Jeju-projektet säger sig representera 30 procent av den globala industrin för smarta elnät.⁹³ Forskningsinstitutet **Pike** menar att Sydkorea nu är redo att ta en ledarroll på marknaden för Smart Grid-teknologi på global nivå.⁹⁴ I den satsningen ingår också företag som **LG-Chem** (batteriteknik) och cleantech-företaget **Samsung SDI**.

Precis som på de flesta andra håll i världen har även **Kinas** centrala ledning prioriterat utvecklingen av ett intelligent rikstäckande elnät. I juni 2009 meddelade **State Grid Corporation - SGCC**, det statliga och största transmissions och distributionsföretag i landet, att man räknade med att bygga ett landsomfattande **Starkt och Smart Elnät** till

⁹¹ Hitachi, pressmeddelande 2010-09-24, Hitachi and Panasonic to Collaborate in Smart Community Business to Realize a Low-Carbon Society for China and other countries

⁹² Se <http://www.smartgrid.or.kr/eng.htm>

⁹³ Ibid.

⁹⁴ Pike, 2010, Smart Grid in Korea

år 2020.⁹⁵ Även om det i huvudsak beskrivs som alla andra satsningar på Smart Grids, finns vissa skillnader som är värt att beakta.⁹⁶

För det första betonar Kina betydelsen "stark" som en grund för vidare utveckling mot intelligens i näten. Med andra ord förväntar sig Kina nät som är pålitliga, uthålliga och kan överföra stora mängder elkraft över landet. Kärnteknologin i detta avseende är transmissionsnät med ultrahög spänning. Det är en skillnad i jämförelse med det amerikanska synsättet som nästan helt präglas av IT-tjänster (och därmed företag som Cisco och IBM, mer inriktade på den "intelligenta" delen av nätet). Framgångsrika investeringar i **UHVAC**-transmission och planer på vindkraftsfarmer i storleksordningen 10 GW gör att Kina skapar ett av världens mest effektiva och moderna energisystem. Överföringslänken mellan Kinas norra och centrala delar - **Jindongnan-Nanyang-Jingmen** - invigdes i slutet av 2008 och har en kapacitet på 3 000 MVA och 1 000 kV. Det gör att kraftlänken är världsunikt i sitt slag. Projektet är ett demonstrationsprojekt som gör det möjligt att allokera vattenkraft och termisk kraft till områden som varit hänvisade till enbart koleldade kraftverk. Projektet är också värt att uppmärksammas ur ett utvecklingsperspektiv då det innehåller tekniska innovationer och helt är utvecklat i Kina.⁹⁷ Kina förbereder sig för att investera motsvarande 100 mdr USD i Smart Grid-teknologi under åren 2011 - 2020.⁹⁸ Det statliga nätbolaget **SGCC** (State Grid Corporation of China), som representerar 80 procent av landets kraftförsörjning, meddelar också att planen är att ett landsomfattande smart elnät skall vara i drift år 2020. Totalt sett investerar Kina nu mer i elnät än i elproduktionen.⁹⁹

Kinas vision om nätet är starkt centraliserade när det gäller produktionen, medan den amerikanska och europeiska strategin har ett högre beroende av distribuerad kraftgenerering och mikronät. Det kinesiska initiativet är också ett helt statligt uppdrag. SGCC föreslog det "Starka och Smarta Nätet" i en landsomfattande statlig plan vilket innebär att det troligen kommer att finnas mycket få hinder när det kommer till genomförandet på lokal nivå. Sedan staten gett sitt godkännande är heller inte finansieringen något problem. Den kinesiska regeringen har redan avsatt cirka 200 miljarder CNY (30 mdr USD) för de kommande elva åren. Satsningar har också skett i USA och Europa, men skillnaden är att de gamla industriländerna planerat en senare övergång marknadsmässiga investeringar. Det har sina fördelar, men å andra sidan gör framtiden mindre förutsägbar. En annan faktor som kan påverka den relativa konkurrenskraften är att till skillnad mot västvärlden slipper den kinesiska industrin bära kostnaden för att integrera befintliga, åldrade, nät med de nya smarta. I många fall är näten nya och tekniken den modernast möjliga.

⁹⁵ MeteringChina.com, 2009-06-03, Chinese State Power Grid Corp announced smart grid development program

⁹⁶ Liu, Xexin 2009, A China Environmental Health Research Brief

⁹⁷ Transmission & Distribution World, Feb 2009

⁹⁸ Bloomberg News, 2009-08-19

⁹⁹ Shanghai Daily, 2009-06-01

Kinas väst-östliga transmissionsprojekt som beräknas vara i drift år 2020 ska åtgärda bristen på kraftinfrastruktur i västra Kina där det finns rikligt med förutsättningar för vattenkraft och kolkraft. När kraftöverföringen står färdig kommer den att bidra till att matcha efterfrågan i de utvecklade östra delarna med utbudet i väst. Detta innebär ett utmärkt tillfälle för Kina att lägga grunden till smarta nät genom att samtidigt planera för det.

Men även om Kina gör snabba framsteg inom forskning och utveckling av smarta nät står landet också inför en rad utmaningar på både tekniska och institutionella nivåer. Den största utmaningen är precis som i resten av världen bristen på industriella standarder för till exempel smarta mätare, sensorer och gränssnitt till elektriska fordon. SGCC har ännu inte utvecklat sina egna standarder men verkar tveksamma till att överföra relevanta internationella standarder från bl a **IEEE**. Enligt **GE**:s chef för transmission och distribution är intrycket att Kina inte är speciellt angelägna om att importera standarder som inte är skrivna i Kina.¹⁰⁰

Det finns också frågetecken kring tillgång på tillräckligt med kvalificerad arbetskraft både för att bygga och för att sköta driften av de smarta näten i Kina. Även om de producerar fyra gånger så många tekniska specialister som USA kommer de sannolikt att behöva ett par års utbildning efter examen för att nå de tekniska nivåer som krävs.

När det gäller att styra efterfrågesidan på hushållsnivå saknas trots modern teknik i östra Kina en metod för insamling av mätdata och därmed förmågan att driva aktiv **efterfrågestyrning**. I de fattigare västra delarna av landet saknas både teknik och kvantitet. Detta betyder att om Kina avser att utveckla ett rikstäckande Smart Elnät måste dess fokus på ultrahögspänningsledningar åtföljas av en massiv upprustning på distributionsidan och mer ingående forskning kring efterfrågeinformation.

Med de mycket stora investeringsbehov som finns i Kina, men även med den kompetens som snabbt byggs upp, är möjligheter till samarbeten om smarta nät intressanta för både Europa och USA. Samarbete om klimatförändringar och miljöfrågor kan bli en stark drivkraft för att forma nya bilaterala förbindelser. Ett sådant samarbete innebär inte bara en möjlighet att förbättra den regionala och globala luftkvaliteten, utan även att generellt skapa goda relationer. I synnerhet amerikanska företag är redan på väg att på bred front försöka etablera sig för att ta del av Kinas marknad för smarta nät. Det gäller till exempel affärslösningar och IT-tjänster och företag som GE, IBM och Cisco. De ser alla en möjlighet inom distributionsområdet, för att komplettera Kinas eget fokus på ultrahöga spänningar i produktion och överföring.

GE annonserade i mitten av april 2010 att de tillsammans med staden **Yangzhou** kommer att demonstrera Smart Grid-teknik i Kina.¹⁰¹ Yangzhou ligger vid Yangtze-floden i

¹⁰⁰ Liu, Kexin 2009, A China Environmental Health Research Brief

¹⁰¹ General Electric, Press Release 2010-04-19

Jiangsu-provinsen och har drygt en halv miljon innevånare. GE hoppas kunna visa hur deras teknik kan bidra till att bygga en världsledande modell för tillförlitlighet och effektivitet i varje del av energisystemet - i överföring, distribution och konsumtionsledet. Demonstrationsprojektet omfattar elnätsteknik, avancerad mätning med smarta elmätare, dynamisk prissättning och **WiMAX**.¹⁰² Nätinfrastrukturen omfattar även installation och demonstration av laddningsstationer för el- och hybridfordon i hemmen.

Det ryska federala nätbolaget ansöker om ett godkännande att lägga motsvarande 12,9 mdr USD i ett investeringsprogram för omfattande uppgradering av de ryska elnäten. Investeringarna ligger i linje med de innovations- och moderniseringsmål som president Medvedev har skisserat. Inom tre år kommer Ryssland att lägga grunden genom att inleda pilotprojekt för införande av Smart Gridteknik. Uppgradering av elnätet kan bidra till att minska förlusterna med så mycket som 35 TWh per år.

The Federal Grid Company har också undertecknat samförståndsavtal med ryska **Power Machines** och med **Hyundai Heavy Industries** för att producera elektrisk utrustning i **S:t Petersburg**. USA-baserade **Ener1**, ett företag specialiserade på litiumjonbatterier med stor kapacitet, har också kontrakterats. Dessa och andra avtal ska stödja företagets ansträngningar för återuppbyggnaden av Rysslands utslitna kraftinfrastruktur. Ungefär hälften av leverantörerna förväntas bli utländska. Ener1 överväger också att utrusta staden **Sotji** med infrastruktur för elbilar inför olympiska spelen 2014.¹⁰³

*Många länder satsar just nu på att utveckla Smarta Elnät, och med den stora potentialen är konkurrensen redan hård om att starta projekt. Svenska satsningar förespråkas därför av svensk industri. I en debattartikel framhåller till exempel företrädare för **ABB** och **Vattenfall** att det är viktigt att säkra att Sverige förblir ett föregångsland när det gäller elkraftteknik och effektiv energianvändning. De menar att den internationella konkurrensen gör att det är viktigt att alla krafter i Sverige samverkar så att vi inte sackar efter. För att kunna räkna med framtida konkurrenskraft och exportinkomster räcker det inte att följa med, utan man måste ligga i framkant.¹⁰⁴ I nästa avslutande avsnitt beskrivs de aktörer som positionerar sig inom Smarta Elnät idag.*

Elnätens Byggmästare

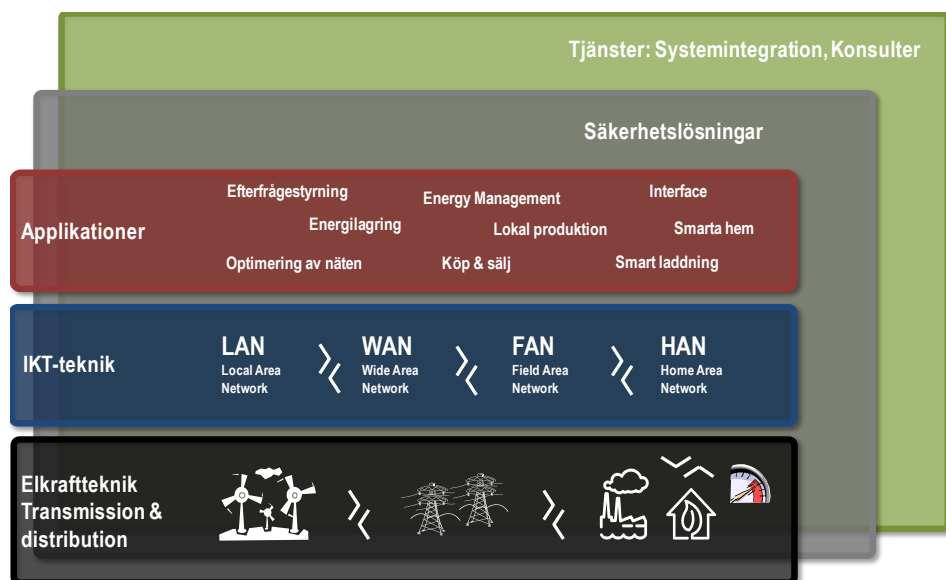
Hösten 2008 presenterade Google ett samarbete med General Electric för smarta elnät. I början av 2009 lanserades GooglePowermeter. Under mottot "Bringing people together to save energy and money" gav sig Microsoft in i konkurrensen samma år. I juni 2009 annonserade IBM bildandet av Green Sigma, en industriell allians med budskapet att de kommande fem åren kommer vara avgörande för energibranschen. GridPoint är

¹⁰² WiMAX (worldwide interoperability for microwave access) är en teknik för trådlösa nätverk men med bättre räckvidd än vanlig wifi.

¹⁰³ The Moscow Times, 2010-06-18

¹⁰⁴ Jakobsson & Wahlborg, 2010-06-14, Vi satsar på Gotland, DI Debatt

ett amerikanskt företag som växer snabbt och som Goldman Sachs redan har investerat 220 MUSD i. Cisco har lanserat en rad olika lösningar avsedda för Smart Grid. ABB köper mjukvaruföretaget Ventyx våren 2010 och SAP erbjuder specialinriktade produkter för Smart Grids. Intel satsar på utveckling för Smarta Nät och tror att marknaden för datorchip inom området är värd miljarder dollar. Det händer med andra ord något ovanligt inom elbranschen just nu. Tankarna om ett smartare elnät har slagit rot hos forskare, investerare, fabrikanter och miljöorganisationen. Dessutom erbjuder politikerna trygg uppbackning. Vi har konstaterat att frågan om vem som ska stå för alla investeringar inte har något tydligt svar, men hindrar inte utvecklingen. Smart Grids fortsätter att vara förutsättningen för visionen om en sundare energiförsörjning.



Figur 22: Funktionerna för att göra elnäten smarta i tre lager främst i bilden. I djupled finns marknaden för olika säkerhets- och integritetslösningar och längst bak marknaden för systemintegratörer och konsulter av olika slag

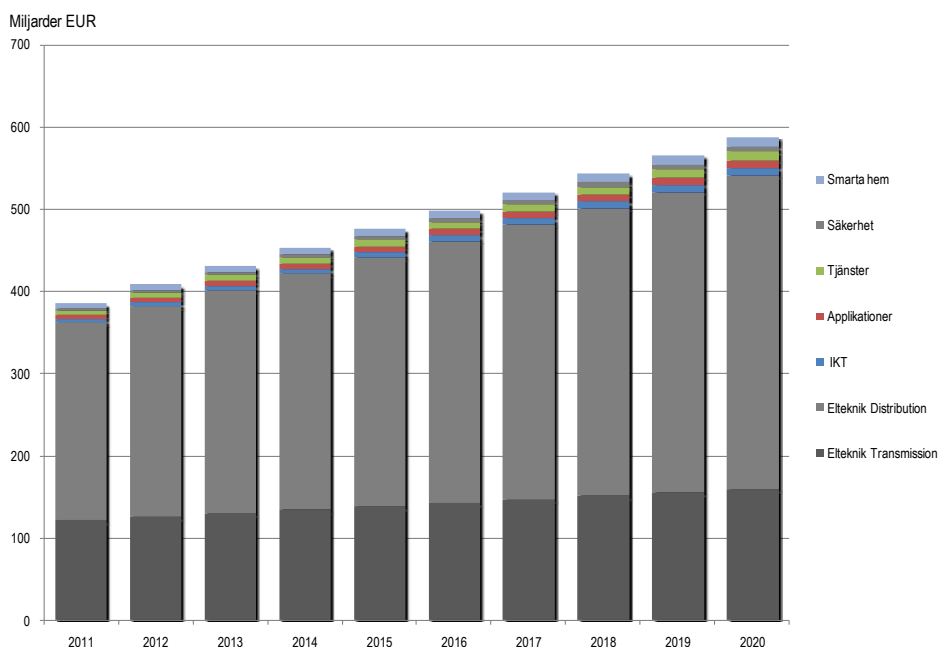
Smarta Elnät innehåller flera komponenter som kan ses som delmarknader. De kan illustreras som lager på varandra och i djupled som tillsammans bygger det Smarta Elnätet (se figur). Genom att utgå från den strukturen presenteras ett urval av representativa företag och deras ambitioner. Tyngdpunkten ligger på det som är nytt, d v s tekniken som behövs för att göra näten ”smartare”: **IT och kommunikation, applikationer, säkerhetsteknik och tjänster**. Hur stora delmarknaderna kartläggs också. Till sist kommer en genomgång av olika forskningsinitiativ och intresseorganisationer.

Investeringar i intelligenta nät förväntas vara i storleksordningen sex procent av eldistributörernas omsättning per år det närmaste årtiondet.¹⁰⁵ Det motsvarar ca 450 mdr

¹⁰⁵ Europeiska Kommissionen, 2007, Monitoring & Control - SMART 2007/047

EUR globalt. Dessa investeringsnivåer kommer kanske inte att uppnås förrän det skapas klarhet om harmoniserade affärsmodeller och marknadsregler, vilket ännu inte är fallet. Det gäller att lösa ekvationer som gör att konsumenter, företag och samhälle blir vinnare.

Vi kan ändå anta att investeringsfrågan löser sig på det kanske mest naturliga och minst uppseendeväckande sättet. I små portioner, här och där, med gamla och nya aktörer och förväntade och överraskande affärsidéer. Men som tidigare diskuterats är det de statliga stimulansbidragen som driver processen för närvarande. Det är ett jätteprojekt som ligger framför oss. EU har drygt 200 miljoner hushåll och 30 miljoner företag. I USA finns mer än 120 miljoner hushåll och många miljoner företag. Att nå alla hushåll och företag är slutmålet för uppbyggnaden av de nya elnäten.



Figur 23: Marknadsutveckling för elnätstekniken inklusive de "smarta" komponenterna. Källor: IEA, Europeiska Kommissionen, Peak Research, Blue Institute

I grafen ovan framgår tydligt att den helt dominerande delen av investeringar i elnät består av den elektriska infrastrukturen och dess olika styr- och skyddssystem. Det är fakta som knappast avspeglar sig i debatten och diskussionen, som helt domineras av "toppen" som berör IT och telekommunikation. **Men den kraftiga hävstång som de 5 - 6 procent av investeringarna i smart teknik ger är värd mycket mer.**

Enligt **Brattle Group** är de indirekta besparingarna att förvänta av Smarta Elnät 227 mdr USD fram till år 2050, bara i USA.¹⁰⁶ Men utöver det kan de kapa förutsättningar för en grönare ekonomi med många nya branscher och nya företag. Realtidsinformation över elanvändningen skulle dessutom kunna minska elkonsumenterna med 6,5 procent i genomsnitt. Med dynamisk prissättning skulle förbrukningen kunna minska med 10 - 15 procent under tider med toppbelastning. Enligt samma studie skulle besparingen kunna dubblas en gång till om man inför automatik i hemmen som stänger av valda förbrukare när priserna och belastningen ökar.

I en annan undersökning, också den för amerikanska förhållanden, går det att utläsa nedanstående förväntade fördelar med Smarta Elnät. Studien genomfördes 2003 av **EPRI**:¹⁰⁷

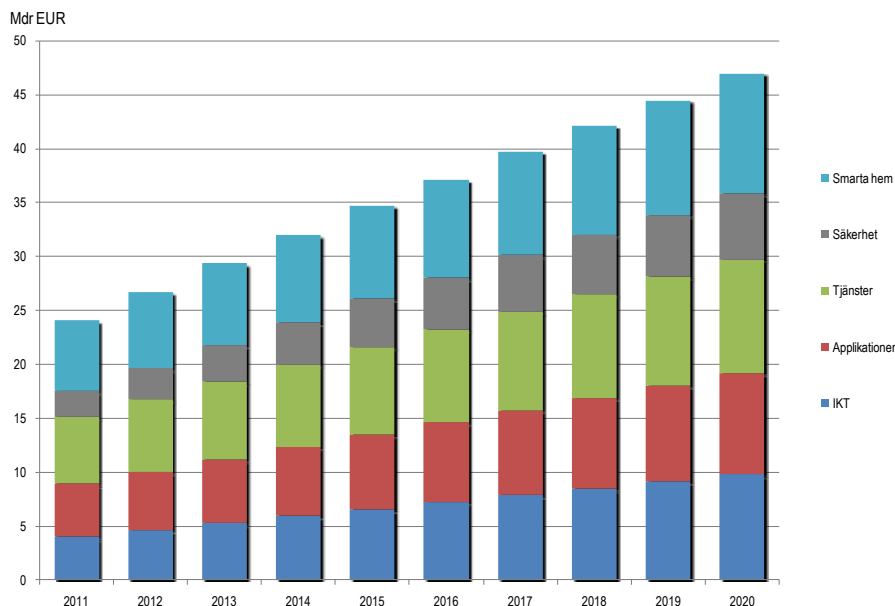
Parameter	2000	2025		
	Bas	Business as Usual - BAU	Smart Grid	Förbättring utöver BAU
Elförbrukning (mdr kWh)	3 800	5 800	4 900 - 5 200	10 -15 % minskning
Elintensitet (kWh/BNP)	0,41	0,28	0,20	29 % minskning
Minskad efterfrågan vid spetslast (%)	6 %	15 %	25 %	66 % bättre
Behov av hög elkvalitet (%)	<10 %	30 %	50 %	66 % ökning
CO ₂ -emissioner (mton CO ₂)	590	900	720	20 % minskning
Produktivitetstillväxt (% /år)	2.9	2.5	3.2	28 % ökning
Kostnader för elavbrott och låg elkvalitet (mdr USD)	100	200	20	90 % minskning

Tabell 4: Fördelar med Smarta Elnät jämfört med existerande lösningar. Källa: EPRI

Det är alltså ingen tvekan om att det finns fördelar med Smart Elnät. I bilden nedan återfinns investeringarna enbart för den ”smarta” tekniken. Även dessa marknader är av respektabel storlek.

¹⁰⁶ Faruqi, Brattle Group, 2009, The iGrid Project

¹⁰⁷ Electric Power Research Institute, 2003, Electricity Sector Framework for the Future Volume I: Achieving the 21st Century Transformation



Figur 24: Marknadsutveckling för de "smarta" komponenterna, IT och kommunikation för Smarta Elnät. Källor: Europeiska Kommissionen, Peak Research

I den följande beskrivningen utgår vi från illustrationen av Smarta Elnät som ett system med många komponenter och belyser de aktörer som är aktiva i de olika delarna.

Elkraftteknik är ett det mest välkända området med välkända, stora aktörer.¹⁰⁸ Den här marknaden är välkonsoliderad med ett fåtal huvudleverantörer som visserligen har olika nationella tyngdpunkter men som agerar globalt. Området innefattar också det som kallas **Grid automation, management** och **optimization**, d v s system som sköter och övervakar de tekniska processerna i nätet.

- De stora heltäckande teknikleverantörerna av utrustning för transmissions- och distributionsteknik är **ABB, Siemens, General Electric, Endesa, Arreva och Mitsubishi** samt delvis **Schneider Electric**.
- För att nå hela vägen fram till och med elmätaren får vi komplettera med några företag till, **Landis+Gyr, Echelon USA, Itron USA, Elster USA** (tidigare ABB Electric) och **Sensus**. Dessa är specialiserade på mätteknik och levererar bland annat smarta elmätare.
- Vidare finns företag specialiserade på analys och presentation av driftkritiska data, exempelvis **Honeywell, OSIsoft** eller **Current**.

¹⁰⁸ Se även fördjupningsavsnittet "Hur fungerar ett 'vanligt' elnät?" och Blue Institute, 2009, *Förnybara Energikällor*

- För laddning av elbilar dyker det upp en mängd företag som erbjuder både elektrisk utrustning som laddstolpar, betalningssystem och mjukvaror för att göra laddningen smart. Här återfinns de stora leverantörerna som **ABB** men också nya aktörer som **Columb Technologies** i USA och det mindre svenska Västeråsbaseade **Park & Charge**.

Informations- och kommunikationsteknik (IKT) inbegriper ett antal delområden:

Local Area Network (LAN) är ett lokalt nätverk och ett begrepp inom datorkommunikation. Med LAN avses ett nätverk begränsat till en byggnad eller en grupp av byggnader som använder ett protokoll i datalänksskiktet, till exempel Ethernet. Över detta körs sedan ett nätverksprotokoll, till exempel IP. Ett LAN är ofta begränsat till ett eller få undernät och har ett begränsat antal anslutningar mot omvärlden via routrar.

Wide Area Network (WAN) är ett datornätverk så stort att det omfattar exempelvis ett land eller en region. Det självklara exemplet är Internet, men även det svenska universitetsdatanätet **SUNET** är ett WAN. WAN används för att koppla ihop LAN och andra olika typer av nätverk så att lokala användare och datorer kan kommunicera med andra användare och datorer på andra platser.

Field Area Network (FAN) är snabbt växande nätverksområde som omfattar ett brett spektrum av tillämpningar. Intelligent noder (till exempel smarta elmätare) i nätverket är installerade inom ett mindre till medelstora geografiskt område för att övervaka och kontrollera processer. Noderna är i allmänhet kopplade till en central gateway som används av en tjänsteleverantör för att övervaka och styra olika applikationer. Den ökade förekomsten av så kallade **Ubiquitous Computing**¹⁰⁹ (datorisering av allting, överallt) kräver nätverksprocessorer inbyggda i vardagsföremål. Inom området verkar många namnkunniga aktörer:

- **Alcatel Lucent** som tillhör de större aktörerna inom nätverksteknik marknadsför sig inom området för Smarta Elnät.
- **Cisco** förväntar sig att kommunikationsnätverken som Smart Grid behöver kan bli mellan 100 och 1 000 gånger större än Internet. Cisco vill använda sin IP-kompetens och nätverksprodukter för att passa in dem i de Smarta Elnäten.
- **Ericsson** säljer redan i dag systemintegrationstjänster till elbolag och driver även ett nät för smarta elmätare hos ACEA, Italiens näst största eldistributör med 1,6 miljoner abonnenter, och ser en ny stor marknad.
- **Nokia Siemens Networks** är en annan global leverantör som erbjuder ett sortiment av nätverksteknik för mobil kommunikation såväl som konsulttjänster inom systemintegration, utveckling, underhåll och service. Företaget skall till-

¹⁰⁹ Kallas även the **Internet of Things**. Se Datainspektionen/Wennersten, 2007, Ubiquitous Computing - en vision som kan bli verklighet, april 2007

sammans med ABB bygga ett demonstrationsprojekt i stadsdelen Fiskehamnen i Helsingfors.

- **GridPoint** har i samarbete med flera amerikanska kraftbolag utvecklat applikationer bl a för att hantera vind och solkraft på näten. Genom förvärv av företaget **V2Green** har de även produkter för att smart laddning av elbilar.
- **IBM** erbjuder ett brett utbud för Smarta Elnät och har varit ett av de mest aktiva företagen när det gäller att driva dessa frågor. Erbjudandet består både av tjänster och programvara. IBM tar gärna rollen som förmedlare, utvärderare och rådgivare. De är engagerade i en mängd pilotprojekt runt om i världen. IBM har också tagit initiativet till en allians i USA som kallas **the Green Sigma Coalition** bestående av Johnson Controls, Honeywell Building Solutions, ABB, Eaton, ESS, Cisco, Siemens Building Technologies Division, Schneider Electric och SAP.¹¹⁰ IBM erbjuder också olika typer av applikationer och lösningar för Smarta Elnät.
- **Intel** ser det smarta nätet som en ”multi-miljarder-dollar-möjlighet” för tillverkare av komponenter som processorer och kommunikationselektronik. I centrum för visionen om Smarta Elnät finns ett behov av nätenheter med mer intelligens och därmed förmågan att kanalisera information till elleverantörerna och konsumenterna. Det är det perfekta jobbet för en halvledare. Men utrustning för elnätet är utformade för en livslängd på minst 10 till 20 år. Det gör det svårt att snabbt införa nya generationer av komponenter som normalt kommer ut i nya versioner varje eller vartannat år. Intel arbetar nu för att identifiera de marknadssegment man vill ge sig in på. Nätstationer, elbilar, hemdisplayer och förnybara energisystem är några områden som öronmärkts. Intel menar att elbranschen måste ändra tankesätt och inte bara se det Smarta Elnätets funktioner som ett sätt att sänka kostnaderna, utan som en väg till att förnya kundrelationerna med mer information och skapa nya affärsmöjligheter.
- **Microsoft** Analytiker förväntar sig att Microsoft kommer att utmana GridPoint, Greenbox och all andra företag som levererar energistyrning eftersom företaget lägger betydande resurser på området. Microsoft siktar på att göra sin produkt **Hohm** till en central del av affärsverksamheten vilket förstärks av lanseringen av **the Microsoft Smart Energy Reference Architecture (SERA)**.
- **SAAB AB:s** afrikanska och majoritetsägda dotterbolag **SAAB Grintek** erhöll 2007 en både tekniskt och kommersiellt kontrakt för eldistributionen i **New Dehli, Indien**.¹¹¹ Den indiska regeringen hade valt att införa ett s.k. ”pre-paid-system” (analogt med kontantkort i mobiltelefonerna) som innehåller en förbe-

¹¹⁰ IBM, pressmeddelande 2009-06-21, IBM Forms Green Sigma™ Coalition; Partners With Metering, Monitoring, Automation, Communication, Software Leaders for 'Green' Solutions

¹¹¹ Se <http://www.smartmeters.com> samt <http://www.saabgrintek.com>

tald mängd kilowattimmar elektricitet. Med nya smarta mätare kommer de att ge indiska konsumenter information om energiförbrukning. Det nya systemet har också möjligheten att direkt upptäcka manipulering av kraftledningarna och att larma säkerhetspersonal vid behov. Systemet medger också att på distans koppla bort belastningar hos en enskild abonnent eller ett helt samhälle. Konsumenterna informeras om sådan lastutjämning eller vid andra planerade avbrott genom SMS eller genom att den smarta elmätaren ger ifrån sig en signal.

Home Area Network (HAN) är ett lokalt nätverk i en bostad (eller bostadsområde). Det används för kommunikation mellan digitala enheter som normalt finns i hemmet, oftast ett antal persondatorer och tillbehör som skrivare och mobila enheter. En viktig uppgift är att dela tillgången till Internet, till exempel bredband via kabel-TV, ADSL eller via elnätet. Dessutom kan en hemmaserver läggas till för ökad funktionalitet. Telebolagen har på senare tid börjat använda HAN för att levererar ”triple-play-tjänster” (röst, video och data) som använder IPTV och IP-telfoni. För det Smarta Elnätet utgör HAN en förlängning innanför elmätaren där även olika hushållsapparater kan kopplas upp för att kunna regleras beroende på förbrukning och elprinsnivåer. Viktiga aktörer inom det här området är:

- **Cisco** Även mjukvaror för att styra energianvändningen hos företag och i privata hushåll har utvecklats av Cisco.
- **Control 4 Corporation** är ett företag som utvecklat en plattform för att tillhandahålla automatisering av energi, bild, ljud, belysning, temperatur, säkerhet och trygghet i hemmen. Bolaget marknadsför och säljer både hårdvara och stödjande mjukvara. Control4 erbjuder ett komplett sortiment av trådlösa och trådbundna IP-baserade produkter.
- **Echelon, Johnson Controls, Honeywell** och **Siemens** införlivar alla Smarta Elnätsfunktioner och energieffektivitet i sina erbjudanden för fastighetsautomation. Johnson Control sägs ha de högsta marknadsandelarna medan Echelon av vissa bedömare anses mest innovativa.
- **Electrolux** förbereder för en ny generation produkter utrustade för Smarta Elnät och minskade energikostnader. De närmaste åren planerar företaget delta i storskaliga pilotprojekt i olika delar av världen där vanliga hushåll prövar företagets teknik och tjänster. I Italien samarbetar Electrolux redan med bland andra Telecom Italia och energileverantören Enel. Enel tillhandahåller ett kontrollsystem för kommunikation mellan telekominfrastrukturen och hushållsapparater. Telecom Italia erbjuder sin bredbandsplattform. Electrolux bidrar med smarta vitvaror och applikationer.
- **Ember Corporation** utvecklar och marknadsför halvledare och programvara för trådlösa hemnätverk som bygger på ZigBee:s trådlösa standard.

- **Google** anger att ambitionen är att verka för öppna protokoll och standarder så att innovationsklimatet gynnas och konkurrensen ökar. Över tiden är målet att utveckla både mängden och kvaliteten på information till hushållen. Ur Googles perspektiv är det naturligtvis frågan om att täcka in så många informationsområden som möjligt för att sälja fler annonser. Som sådant är det ett bra exempel på nya affärsmodeller i elnäten, långt ifrån måtaravläsning och svårbegripliga elräkningar. Men Google har ett vidare engagemang än så. Projekten **RE<C** och **RechargeIT** går ut på att verka för en snabb energiomställning och att öka intresset för laddhybrider. Värdesystemet, från fordon till elnät och förnyelsebar elproduktion, är det som intresserar Google.
- **Microsoft** har precis som Google lanserat en applikation för att kunna följa hemmets energiförbrukning, Hohm. Microsoft har också ett partnerskap med Itron och Landis+Gyr. En viktig skillnad mellan Google och Microsoft är att Google lanserar sin produkt via den ”filantropiska” grenen av företaget, **Google.org**, medan Microsoft ser satsningen som en central del i verksamheten.
- **Tendril Networks** är ett uppstickarföretag i USA som anses tillhöra den mest lovande i kategorin av leverantörer av produkter och system för ”energy management” i hemmen.
- **Whirlpool** ska 2011 börja sälja vitvaror utrustade med smarta program så att elförbrukningen kan styras.

Inom **applikationer/programvaror** finns en mängd olika funktioner för administration av infrastrukturer, affärsflöden, underhåll, inköp, HR o s v. Även om avgränsningen är svår försöker vi här att hålla oss till applikationer som är speciellt utvecklade för elbranschen och Smarta Elnät. Exempel på sådana är **system för avancerad mätning (AMI)**, lösningar för **efterfrågestyrning**, **integration av distribuerad förnybar elproduktion** och **energilagring** där visionen är ett slags Plug&Play-funktionellt och standardiserat sätt att ansluta små energikällor till nätet som tar hand om både den elektriska och informationstekniska problematiken.

- **ABB Ventyx** - ABB förvärvade amerikanska **Ventyx** i maj 2010.¹¹² Ventyx erbjuder mjukvara till kraftindustrin och förvärvet kommer att tredubbla ABB:s försäljningsmöjligheter för programvara till energimarknaden. Produktportföljen omfattar kapitalförvaltningsapplikationer, mobil personalplanering, energihandel och riskhantering, energiproduktion och analysverktyg samt lösningar för planering och prognosering av elbehov. ABB kommer att integrera Ventyx produkter med sina egna i divisionen Power Systems. En av Ventyx viktigaste applikationer för Smart Grids matchar elproduktionen med förbruk-

¹¹² Ventyx är själv resultatet av en konsolideringsprocess under de senaste åren: 2006 köps **Indus** av Vista Equity Partners och läggs samman med **MDSI**; 2007 köper Ventyx **Global Energy Decisions** och **NewEnergy Associates**; 2008 köper Ventyx **Tech-Assist Inc.**; 2010 säljs **Ventyx** av Vista Equity Partners till **ABB**.

ningen ner till hushållsnivå i realtid. Den ger också prognoser för belastningen som kan användas för att integrera förnybara energikällor på nätet och underlätta ”demand response”. Fördelen för kunderna är att de nu kommer att ha en enda leverantör av företagsövergripande plattformar för informationsteknik och kraftsystemsautomation, enligt ABB.

- **Accenture** har lanserat en produkt som heter **INDE** (Intelligent Network Data Enterprise) som beskrivs som en programvaruplattform för Smarta Elnät. INDE möjliggör ett lager mellan rådata från elnätet och elbolagens affärsverksamheter och IT-system. En av de största utmaningarna som branschen står inför idag är att kunna omvandla och analysera rådata till användbar affärs- och driftsinformation. Elbolagen behöver framförallt lyckas med att öka affärsvärdet, prestanda och kundservice så att de investeringar som görs tryggas och skapar långvariga konkurrensfördelar, enligt Accenture.
- **eMeter** tillhör också kategorin nya företag i fronten på Smarta Elnätsvågen. Företaget levererar system för att samla in och hantera data från smarta elmätare.
- **EnerNOC** står för Energy Network Operation and Control och är sannolikt ett av världens största handelsföretag inom **efterfrågestyrning**. Man erbjuder även programvaruprodukter och tjänster för till exempel Risk Management och Energy Management.
- **HP** har lanserat en tjänst som heter **HP Data Center Smart Grid**, en intressant nisch eftersom datacenters börjar vara en mycket stor energiförbrukare. Enligt Tieto förbrukar amerikanska datacenter 610 MWh per år, i England är det 4 % av den totala elförbrukningen och i världen står datorer för lika stort utsläpp av växthusgaser som flyget.¹¹³
- **IBM** är aktivt även här, vilket beskrevs ovan.
- **Oracle** annonserade under andra kvartalet 2009 programpaketet Oracle Smart Grid software, en programsvit som adresserar ett flertal områden i anslutning till elmäthandtering. Oracle förvärvade i januari 2010 även **Sun Microsystems**.
- **SAP** erbjuder heltäckande branschlösningar för elbranschen, så kallade end-to-end-lösningar. Även för integration av data från elmätare finns nu applikationer.
- **SilverSpring Networks** är ett amerikanskt företag som specialiserat sig på den smarta elmätarens infrastruktur.

Till cybersäkerhet räknas aktörer som är specialister på säkerhetslösningar och kan erbjuda kunskap och/eller produkter för att konstruera säkra lösningar för de Smarta

¹¹³ Andersson, Tieto, föredrag på Globe Forum 2010-04-28

Elnäten. Detta är ett snabbt växande segment som attraherar såväl traditionella IT-bolag som försvarsindustrin och en ökande mängd riskkapitalbolag. Vi räknar inte elsäkerhet hit då det hör hemma hos leverantörerna av Elteknik.

- **Accenture, Cisco och IBM** erbjuder kunskap och lösningar för IT-säkerhet inom området Smart Grids.
- **BAE Systems** tillhör den växande skara inom **försvarsindustrin** som söker nya affärsmöjligheter i den civila sektorn. Säkerhet i det Smarta Elnäten har identifierats som en sådan. Andra exempel är **Boeing, Raytheon och Lockheed Martin**. Lockheed Martin har bland annat ett uppdrag på 150 MUSD för American Electric Power Inc.¹¹⁴ bland sina referenser. Dessa företags bidrag är inriktade på tjänster och systematik kring säkerhetsarbetet, till exempel rutiner för anställda, säkerhetsrevisioner, informationsspridning av hot och riskpotentialer mellan olika elbolag.
- **SAAB AB** erbjuder sitt kunnande kring säkerhetsfrågor också i civila tillämpningar med inriktning mot infrastrukturer. Till systemlösningarna kan räknas ledningssystem, intrångsskydd och lösningar för säkerhet under vatten.
- Andra mindre kända företag är: Certicom, Industrial Defender, InGuardians, IOActive, N-Dimension, Northrop Grumman, Subnet Solutions, Waterfall Security och Wurldtech.

Tjänster är ett stort område som omfattar projektledning, konsulttjänster, systemintegration och konstruktion. I jämförelse med traditionell elnätsteknik finns nu plats för IT-konsulterna. Vi ger några exempel nedan, både på mycket stora och mindre företag.

- **Cap Gemini** erbjuder Consulting, Technology och Outsourcingtjänster för att utveckla strategier, designlösningar och tillhandahålla den kompetens och de resurser som krävs för att förändra verksamheten inom energiområdet.
- **IBM** betraktar sig som en av de ledande systemintegratörerna förutom att de erbjuder valda applikationer för Smarta Elnätstillämpningar.
- **Logica** har bland annat genomfört Smarta Elnätsprojekt i Australien, Portugal och Spanien.
- **Powel ASA** utvecklar affärskritiska IT-lösningar och relaterade tjänster för energi- och publik infrastruktur. bland annat för Smart Metering, kraftgenerering, administration av elnätverk, vattenförsörjning och avloppshantering.
- **Tieto** är ett IT-tjänsteföretag som erbjuder IT-, FoU- och konsulttjänster. Med cirka 17 000 anställda är Tieto ett av de större IT-tjänsteföretagen i norra Europa och världsledande inom vissa segment. Tieto är en av de största nordiska aktörerna inom AMI och AMR och har bidragit till att över 1 000 000 smarta

¹¹⁴ Se <http://www.portfolio.com> 2009-09-24

mätare hittat hem i Norden. Inom Smarta Elnät är Tieto ansvariga för ”Manage Smart in Smart Grids” på Norwegian Center of Excellence i Halden. Målet är att bättre förstå förutsättningar och drivkrafter för Smart Grids och genom detta utveckla marknads- och tjänstemodeller.

- **Energikonsulter** innefattar de traditionella konsultföretagen som sedan lång tid har djup kompetens när det gäller energitjänster, projektering och konstruktion. Bland företagen finns **Pöyry, ÅF, Rejlers, Sweco** och **Grontmij**.

Avslutningsvis ska vi göra en snabb översikt och identifiera några de viktigare **forskningsinitiativen och organisationerna**. Som forskningsfält är Smarta Elnät en omfattande och tvärvetenskapligt disciplin. Elektroteknik kombineras med informationsteknik och ekonomisk teori. Materialteknik och kemi är viktiga ingredienser liksom hur marknader kan förväntas bete sig. Smarta Elnät som teknikdisciplin är dock inte ett grundforskningsområde, utan snarare tillämpad forskning och utveckling. Smarta Elnät är i det perspektivet ett **system** som kräver många olika kunskaper och resurser från olika håll, vilket betyder att det är ett tekniskt **samarbetsprojekt**. För att det sedan ska fungera behöver tekniken sättas in i ett marknadssystem med nya **affärsmodeller** och **regler**.

Bland de viktigare aktörerna för att förverkliga de Smarta Näten finns kraftindustrin själv, som har starka gemensamma forskningsresurser. I USA finns en av de mest tongivande organisationerna: **EPRI** som bedriver omfattande forskning med en bred programportfölj.

I Sverige finns **Elforsk** som startade sin verksamhet 1993 och ägs av **Svensk Energi** och **Svenska Kraftnät**. Det övergripande syftet är att rationalisera den branschgemensamma forskningen och utvecklingen. Verksamheten är organiserad i de fem programområdena Vattenkraft, El- och Värmeproduktion, Överföring och Distribution, Användning samt Omvärld och System. Eftersom miljötänkande är väsentligt i allt utvecklingsarbete bedrivs projekt med miljöaspekter, eller som innehåller sådana, inom alla programområden.

Inom EU bildades år 2005 en **Smart Grid Technology Platform**¹¹⁵ och i slutet av 2006 inbjöd Europeiska Kommissionen till bildandet av Smart Grid ERA-NET där de nordiska länderna representeras av **Nordic Energy Research (Nordisk Energiforskning)**. Projektet startade den 1 september 2008. Förutom Nordisk Energiforskning finns 19 partners från 10 olika länder samarbetet. Den totala budgeten för Smart Grid ERA-NET uppgår till 2,45 MEUR. Av de nordiska och baltiska länderna är det endast Danmark och Norge som deltar från början, men Sverige, Lettland och Estland förväntas ansluta.

Även om EU de senaste åren har ökat forskningssatsningarna ligger unionen fortfarande efter länder som USA och Japan. Den finansiering som ges till ”alternativa” energikällor är till exempel obetydlig i jämförelse med satsningarna på energiteknologier som kärnkraft och fossila bränslen. En positiv följd av handeln med utsläppsrätter i ETS

¹¹⁵ Se <http://www.smartgrids.eu/>

(med ett uppskattat värde av 6-9 mdr EUR) är att intäkterna vigs till att finansiera stor-skaliga EU-projekt för avskiljning och lagring av koldioxid.¹¹⁶ Nu saknas inte insikter om att vi måste lägga in högre växlar på fler områden. Med den uttryckta ambitionen att göra Europa till den mest framstående regionen för innovationer inom informations- och kommunikationsteknologi och hållbar energi har ett nytt paneuropeiskt program skapats - **European Institute of Innovation and Technology (EIT)**.¹¹⁷ Arbetet inom EIT organiseras inom olika så kallade **KIC:s, Knowledge and Innovation Communities** som vardera har en årlig budget på 1,5 miljarder kronor och ska arbeta långsiktigt med ett 7–15 års perspektiv. Avsikten är att skapa mötesplatser för att öka förbindelserna mellan näringsliv, forskning och utbildning, vilket ska leda till ökat - och kanske en ny typ av - entreprenörskap och större kreativitet. KTH har utnämnts till att bli centrum i två av kunskapstrianglarna:

EIT ICT Labs är inriktat mot mjukvaruteknik och IT-tjänster. Konsortiets huvudnoder är Stockholm, Berlin, Eindhoven, Helsingfors och Paris. Den svenska noden, med KTH som största partnern i samarbete med SICS, Ericsson och TeliaSonera, ska bland annat ansvara för utbildningsfrågor och för området mobil kommunikation. En central del i konsortiet är att omsätta forskning i affärsidéer, företagande och tillväxt. Inom ”EIT ICT Labs” kommer KTH att skapa en rad aktiviteter i Kista. Tillsammans med bland andra STING och Electrum-stiftelsen ska man driva projekt som integrerar utbildning, forskning och innovation för att stärka det lokala innovationssystemet.

Inom konsortiet **KIC InnoEnergy** ansvarar KTH och Uppsala universitet i ett samarbete med ABB och Vattenfall för områdena Smarta Elnät och elektrisk energilagring. I konsortiet ingår även noderna Karlsruhe, Grenoble, Eindhoven/Leuven, Barcelona och Krakow. Framgången för Stockholm/Uppsala visar att Sverige är en ledande aktör inom hållbara energisystem och energiutveckling. Tanken är att mer än (60 procent) hälften av projektets resurser skall användas för pilot- och demonstrationsprojekt, en tredjedel för utbildningssyfte i masterprogram och doktorandutbyte och resterande 10 procent i forskningsprojekt.

I **High Voltage Valley** i Ludvika, Sveriges kunskapscentrum inom kraftöverföring, ska man undersöka hur elen ska kunna lagras i batterier.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut forskar på, utvecklar och utvärderar ny teknik för batterier, sol-, och vindenergi liksom mätteknik för lagring, överföring och intermittens i framtidens smarta elnät.

I **Tyskland** drivs ett omfattande forskningsprojekt som kallas **E-Energy** som ska vara en *”nationell fyr”* med syfte att motivera företag och regioner att skapa ett effektivt informations- och kommunikationsteknologidrivet energisystem. Hela värdesystemet inkluderas: från kraftgenerering via nät och användarnas energieffektivisering och lagringsteknik. Projektet omsluter 140 MEUR.

¹¹⁶ Adelle et al., 2009, Climate Change and Energy Security in Europe - Policy Integration and its Limits

¹¹⁷ Se <http://eit.europa.eu/>

Inom ramarna för **EU:s Sjunde Ramprogram** pågår ett projekt som heter just **Smart House/Smart Grid**,¹¹⁸ som beskrivits tidigare i den här rapporten. Parterna i projekt-konsortiet består av **SAP**, forskningsinstitutet **Fraunhofer IWES**, tyska **MVV-Energie**, det holländska forskningscentret **ECN**, det grekiska forskningsinstitutet **ICCS** och grekiska **PPC**.

Avslutande Sammanfattning

Här slutar rapportens första del. Avsikten har varit att ge en bred och heltäckande bild av vad Smarta Elnät är och vad de innebär.

Vi har konstaterat att världens energisystem av flera orsaker behöver förändras och att ett nytt sätt att hantera transporter av elektrisk energi är nödvändigt om en sådan förändring ska bli möjlig. Mer energi från förnybara, intermittenta kraftkällor och en ökad andel lokal, småskalig elproduktion är viktiga trender som elnätet måste anpassas till.

En annan aspekt av Smarta Elnät är att begränsa ökningen av energianvändning så långt det är möjligt. Genom att använda avancerad teknik kan det ske utan uppföringar av kapacitet i det industriella systemet eller av bekvämlighet och komfort i hem och kommersiella fastigheter. Det är en viktig förutsättning för världen ska lyckas med att värna energi som knapp resurs och att minimera belastningen på miljön.

En förutsättning för att Smarta Elnät ska lyckas hantera det framtida energilandskapet är att elkonsumenterna blir aktiva deltagare i energisystemet. Det kräver att Smarta Elnät kommuniceras, förklaras och avdramatiseras. Det kräver också att konsumenterna tillåts bli aktiva, vilket i sin tur förutsätter att elmarknadens spelregler anpassas.

Vi har också tittat närmare på hur marknadsförutsättningarna förändras när den traditionella infrastrukturen kompletteras med omfattande mängder av information som kommuniceras åt båda hållen. Dels uppstår helt nya marknader och nya investeringsbehov, och dels utmanas traditionella affärslogiker. Smarta Elnät är ett tillväxtområde, men vissa affärsmodeller kommer att vara svårare att driva framgångsrikt.

Många svenska företag är väl positionerade för att konkurrera på marknaden. Vad som sker beror på hur företag och offentliga aktörer handlar. Det finns i Sverige en stabil grund av företag, en tung kunskapsauktoritet i olika forskningsmiljöer, en infrastruktur i framkant och en passande kraftproduktion.

Rapportens andra del är ett hjälpmedel för läsare som vill öka sin förståelse för olika komponenter och delsystem som påverkar elnät generellt och Smarta Elnät i synnerhet. Respektive avsnitt står för sig själv och kan läsas enskilt eller tillsammans.

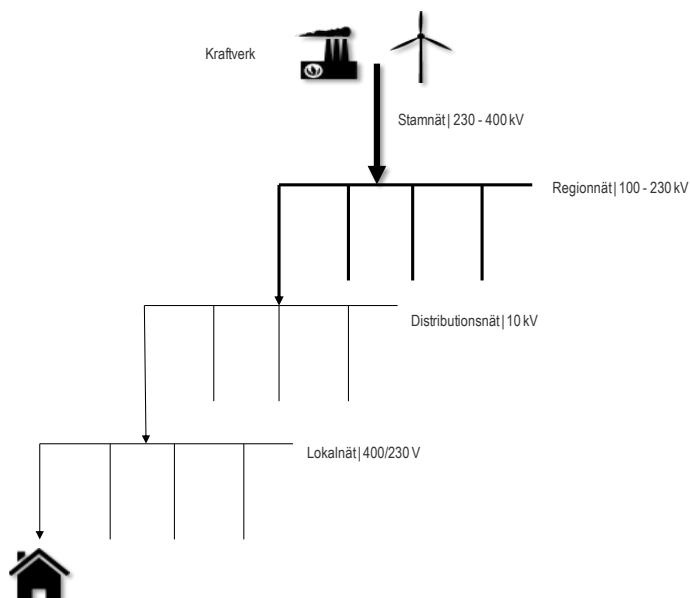
¹¹⁸ Se <http://www.smarthouse-smartgrid.eu>

Del 2. Fördjupning

Hur Fungerar ett "vanligt" elnät...?

Strukturen i dagens elsystem präglas av centralisering av produktionen, storskalighet och hierarkisk distribution. Stora kraftverk producerar mängder av energi som via stamnät, regionnät och distributionsnät grenas ut för att till sist nå slutkonsumenten. Produktionen styrs efter vad man tror sig veta om förbrukningen. Om elen sinar startas reservproduktion som i bästa fall utgörs av vattenkraft och i värsta fall oljeeldade turbin kraftverk. Vi ska i detta avsnitt beskriva hur elnätet fungerar idag med Sverige som utgångspunkt.

De lokala **eloperatörerna** är de som äger, sköter driften och underhåller det lokala elnäten, som också kallas **distributionsnäten**. Dessa är av begripliga skäl mest omfattande i tätorter. Som kund på elnätet betalar man dels för investeringar, drift och underhåll och dels för överföringen av el. På elräkningen noteras det som avgift för elnät. Eftersom det skulle vara omöjligt av ekonomiska skäl att bygga parallella försörjningssystem har den lokala **elnätsoperatören** ett monopol på elnätet. Men det betyder på de flesta håll i världen sällan att nätägaren kan ta ut vilka avgifter som helst. Tillsynsmyndigheten - Energimarknadsinspektionen i Sverige - övervakar prissättningen.



Figur 25: Schematisk bild av ett "vanligt" elnät

På de avreglerade marknaderna för handel med elektricitet har däremot inte **elhandelsbolagen** monopol. Precis som i Sverige väljer konsumenten själv vilket bolag hon/han vill köpa från. Det är ganska vanligt att nätoperatören äger en viss del av den energiproduktion som man säljer och resterande behov köps från andra producenter. I bägge fallen sker noggrann mätning vid varje produktionsenhet. Därmed vet man hur mycket förnybar el och hur mycket ”vanlig” el som produceras och tillförs systemet. Efter mätningen samlas all elenergi som är till försäljning i stamnäten. Via elbörser - som i nordens fall heter **Nord Pool** - kan sedan elhandelsbolagen köpa el och sälja den vidare till sina kunder.

Distributionsnäten får sin elenergi från **regionnätet** via större transformatorstationer. Där transformeras spänningen ner från ca 100 - 230 kilovolt till ca 10 kilovolt. Det lokala elnätet transporterar sedan elen till olika områden, där spänningen växlas ner ytterligare till i det europeiska systemet typiska 400/230 volt och leds vidare till hushållen via ett lågspänningsnät. Regionnäten är i sin tur anslutna till **Stamnät (Backbone-net)** som håller hela elförsörjningen i gång. De stora elproducenterna som **Vattenfall, Eon och Fortum** levererar direkt in på stamnätet. Det gäller främst kärnkraftverk, stora vattenkraftverk, stora vindkraftparker och den el som importeras från andra länder. Stamnätet har en spänning på mellan 220 kV och 400 kV. **Svenska Kraftnäts** roll (och liknande myndigheter på andra marknader) är att övervaka så att det alltid finns balans i elnäten trots att tillgång och efterfrågan hela tiden varierar. När efterfrågan på el blir större uppmanar **Svenska Kraftnät** de olika producenterna att öka kapaciteten vilket också kan innebära ökad import. Reservproduktion är generellt sett kostsam (vilket är en förklaring till att elpriset blir högt) eftersom elpriset sätts på marginalen vid skärningspunkten mellan tillgång och efterfrågan – d v s den sist inmatade kWh bestämmer löpande elpriset.

Energiutbyte med utlandet (GWh)		Import	Export
Danmark		2 309	- 2 988
Finland		2 959	-1 773
Norge		7 114	-1 979
Polen		254	-1 393
Tyskland		1 128	-946
Totalt utlandsutbyte		13 765	-9 080

Tabell 5: Svensk import och export av el, 2009. Källa: Svenska Kraftnät

Skulle stabiliteten i elnätet ändå vara hotad så att spänning och frekvens inte kan hållas inom ramarna för **god elkvalitet** måste kraftreserven tas till. Den består dels av ca **580 MW** i förväg avtalad förbrukningsminskning samt ca **1 300 MW** i extra produktionskällor. Riksdagen har tagit beslut om att Svenska Kraftnät successivt ska öka andelen **förbrukningsreduktion** för att den **2020** helt ska motsvarade effektreserven.

Elproduktionsanläggningar			
Ägare	Anläggning	Effekt (MW)	Energislag
Mälarenergi AB	Aros, block 3	243	olja
Korsnäs AB		120	olja
Karlshamn Kraft AB	Karlshamn, block 1	330	olja
E.O.N. Bråvalla Sverige AB		220	olja
Vattenfall AB Heat Nordic	Slite, Stenungssund och Visby	396	gas & olja
Summa produktion		1309	
Förbrukningsreduktion			
Ägare		Effekt (MW)	
Stora Enso AB		150	
AV Reserveffekt		70,4	
Holmen AB		215	
Befesa ScanDust AB		18,5	
Rottneros Bruk AB		25	
INEOS Sverige AB		30	
Göteborg Energi AB		73,8	
Summa reduktion		582,7	

Tabell 6: Sveriges effektreserver, dels i form av elproduktion och dels i form av förbrukningsminskning. Källa: Svenska Kraftnät

Om den samlade kraftreserven inte heller skulle räcka till uppstår en **elkris**. Då måste krisorganisationer på lokal, regional och/eller nationell nivå mobiliseras. Under den kalla vintern i Sverige 2009/2010 var en sådan elkris bara 1 000 - 1 500 MW¹¹⁹ från att inträffa eftersom en stor del av kärnkraften var avställd för underhåll. Blir krisåtgärder nödvändiga stoppas all elleverans under några timmar enligt ett speciellt rullande schema, som berör olika orter i landet. Det här sker tills produktionen kommer ifatt. Sjukhus och andra samhällsviktiga funktioner har egen reservkraft som kan startas om ett sådant krisläge skulle uppstå.

En central del i hela elsystemet är handelsfunktionen. Varje elhandelsföretag måste prognostisera hur mycket deras kunder kan förväntas göra av med nästkommande dygn. Varje bolag har också ett balansansvar och måste göra prognoser för varje timme. Den typen av förutsägelser bygger på tidigare erfarenheter. Genom att kombinera den kunskapen med väderleksutsikterna kan man komma ganska nära det verkliga behovet. En förfrågan skickas sedan till **elbörsen**. När alla förfrågningar har sammanställts får handelsbolagen besked om hur mycket el de får köpa och till vilket pris. Målet är givetvis att prognosen hamnar så nära det verkliga behovet som möjligt. Elhandelsbolagen tar

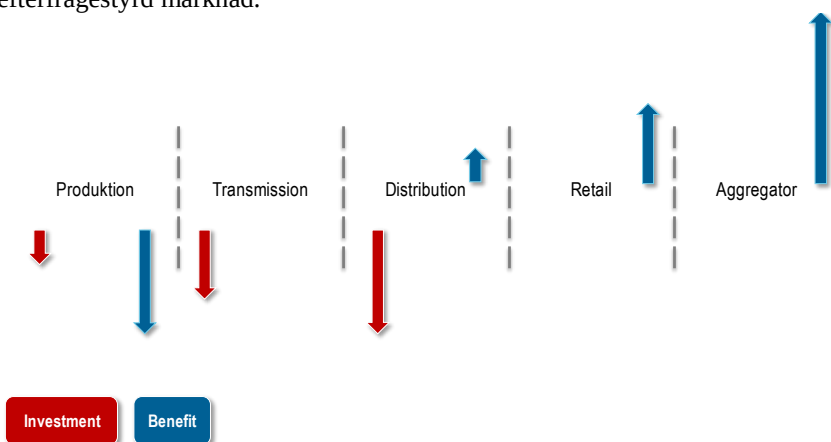
¹¹⁹ Motsvarande mellan en till två kärnkraftsreaktorer. Källa: Mälarenergi Non Stop 1-2010

här en risk eftersom om man köpt in för mycket måste överskottet sälja tillbaka till - i Sveriges fall - Svenska Kraftnät, som är systemansvarig. Men priset är då oftast lägre.

För att täcka det mer långsiktiga behovet behövs dessutom en strategisk utblick. Som elproducent vill man försäkra sig om delar av leveranspriserna över månads- eller årshorisont. Som inköpare och elhandelsbolag vill man kunna erbjuda kunderna fastprisavtal och av den anledningen säkra inköpspriset. Denna långsiktiga **krafthandel** sker mot elbörsen och är helt nödvändig för att jämma ut risker både för producenter och för konsumenter.

På **NordPool** sätts marknadspriset på el för **konsumtion** ett dygn innan fysisk leverans. Priset för reducerad energi som **kraftreserv** är reglerad över längre tid. Allt eftersom nya energikällor och förändrade konsumtionsmönster i form av till exempel egenproducerad energi och elbilar tillkommer finns behov av att marknadsmässigt sätta priset även för energireduktion. En sådan marknad kallas ibland ”**negawattmarknad**” vilket är en ordlek på negativ effekt istället för megawatt. En aktör på en sådan marknad kallas **aggregator**. Det är en växande affärsmöjlighet speciellt i **Nordamerika** där behovet av **efterfrågestyrning** är relativt större än i övriga världen. En aggregators uppgift är precis som ordet antyder att aggregera, d v s att samla på sig industrier och fastigheters energieffektiviseringspotential och sedan erbjuda att reducera energiuttaget hos deltagare i programmet vid kritiska tidpunkter.

Priset på förbrukningsreduktionen motsvarar det samlade värdet av reduktionen över samtliga marknadsled (se figur nedan). Detta gör det hela komplicerat eftersom priset inte kan förhandlas mellan två marknadsaktörer vilket traditionellt sker när producenten tillhandahåller energi på marknaden och den balansansvarige köper. Istället har efterfrågestyrning i positiva effekter för vissa marknadsroller och negativa effekter för andra. För att en potentiell marknad ska kunna skapas måste den positiva effekten gälla som marknadspris. Nedan förklaras några av de ekonomiska effekterna som uppstår på en efterfrågestyrd marknad.



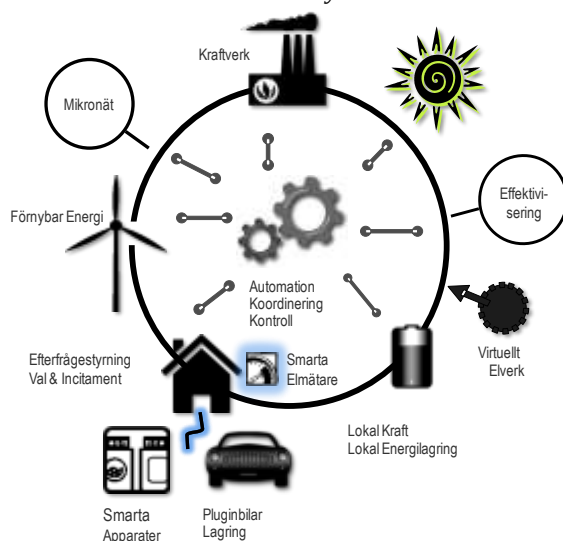
Figur 26: Värdesystemet från produktion till handelsled och aggregator. Källa: Tieto, Daniel Lindén

Marknadsroll	Effekt	Ekonomisk för- eller nackdel
Produktion	Mindre slitage på vattenkraftsstationerna (långsiktig)	FÖRDEL Utjämnade förbrukningskurvor skapar jämna re produktion
	Ökad vatteneffektivitet	FÖRDEL Utjämnade förbrukningskurvor ger bättre planering av vattenanvändningen
	Reducerad inkomst från höga priser	NACKDEL Reducerade intäkter från pristoppar
Transmission Distribution	Reducerade nätverksförluster	FÖRDEL Minskade effektförändringar reducerar förlusterna marginellt
Marknad	Reducerade balanseringskostnader	FÖRDEL Aggregatorer ökar mängden balanskraft och pressar därmed kostnaden.
	Reducerade prisvolymrisker	FÖRDEL Utjämnade förbrukningskurvor reducerar riskerna för pristoppar och prisvolymrisker som följer.
Aggregator	Intäkter från marknadsutbud av reduktion	FÖRDEL Aggregatorintäkt från balansmarknaden.
	Betalning till medverkande företag/konsument	NACKDEL Överenskommen "kickback" till reducerande kunder.

Tabell 7: Effekter och ekonomiska konsekvenser av en efterfrågestyrd elmarknad

....och det Smarta Elnätet?

I grunden hanterar ett Smart Elnät det faktum att den billigaste elektriciteten är den som aldrig förbrukas. I visionen om det smarta elnätet har slutanvändaren därför ett stort inflytande och beslutsmöjligheter för sin egen energianvändning. Det kan innebära att hushåll eller industrin går med på att ordnat stänga ner delar av sin elförbrukning när det blir hög belastning på näten. Som konsument kan man också justera användningen med hänsyn till marknadspris och miljöpreferenser. För att göra detta möjligt så behöver de olika delarna i elsystemet ändras och kompletteras.



Figur 27: Det Smarta Elnätets struktur

Dagens kraftledningar är dimensionerade efter hur mycket el de ska kunna leverera som mest. Det innebär att elnätet mestadels av tiden är för stort och samtidigt är det för litet för att klara en del belastningstoppar. Vi ska i detta avsnitt gå igenom viktigare funktionerna som skiljer det smarta elnätet från ett ordinärt elnät. Vi börjar med konsumenterna (den grupp som allt oftare börjar kallas **Prosumers**).¹²⁰

Den smarta elmätaren är en nyckelkomponent i det smarta elnätet – det är elens ”**point of sale**”. Elmätaren levererar nödvändig information för nätbolagen och elproducenterna. Det är viktigt för styrning, planering och inte minst debitering. Men den kan också drastiskt förändra vårt sätt att förhålla oss till elektricitet som energislag.

I dag får de allra flesta en *uppskattning* av hur mycket el som ha förbrukats den senaste månaden, eller kvartalet, när elräkningen kommer. Om elmätaren kontinuerligt mäter hur mycket energi som går åt och samtidigt kommunicerar med elleverantören ger det hela kedjan från producent till distributör och slutkund betydligt bättre planeringsunderlag. Kompletteras elmätaren dessutom med en **informationsdisplay** eller en speciell **hemsida** på datorn som talar om vad elpriset är för tillfället och hur mycket som förbrukas skulle hushåll och industri kunna ta välgrundade och aktiva beslut om sin energiförbrukning, till exempel att sänka värmen eller vänta med att köra torktumlaren. Vilken tid på dagen som förbrukningen sker kommer att bli en central mätparameter. De flesta med rörligt elpris betalar idag genomsnittspriser på månadsbasis. En del industriföretag har tariffer som speglar den sanna kostnaden för elproduktionen, som kan vara billigare på natten och dyr när förbrukningen peakar och alla kraftverk tas i drift. Hela elsystemet skulle bli mer förutsägbart, dynamiskt och effektivare.

Men intresset från företag som **Google** och **Microsoft** indikerar att möjligheterna är vidare än så. En smart elmätare som integreras med Internet och ständigt kommunicerar med omvärlden kan säga en hel del om ett hushålls vanor. Kartläggning av vanor och inköp kan användas i nya affärsmodeller. Liknelsen med vad som sker i dagligvarubranschen är inte alltför avlägsen, med riktade specialerbjudanden och möjlighet att välja.

Genom att ta ytterligare ett steg skulle i och urkoppling av olika belastningar kunna automatiseras - få finner nöje i att studera elmätaren hela dygnet. Att stänga av förbrukare (också kallat **peak-load shedding** eller **-shaving**) motsvarande så pass lite som 5 procent av förbrukningen kan halvera behovet av dyr spetsproduktion. Nackdelarna för kunderna blir små eftersom undersökningar har visat att 5 procent motsvarar belysning, värme och kyla i oanvända utrymmen, samt tvätt och diskning när belastningen i övrigt är hög.¹²¹

Att införa ett sådant system närmar sig det som brukar kallas **Smarta Hem** och kräver dels att olika typer av hushållsapparater kan ta emot en styrsignal, via ledning eller

¹²⁰ **Prosumer** står för **Producer** och **Consumer**, vilket syftar till att hushållen i framtiden båda kommer att samtidigt kunna vara både producent och konsument på elnätet.

¹²¹ Granger Morgan et. al., 2009, The many meanings of smart grids

trådlöst, och reläer eller styrning som kan slå av och på respektive reglera upp och ner. En framtid där lampknappar och tv-apparater pratar med varandra för konsumentens eget bästa. **The Internet of Things** är nästa naturliga steg med visionen att förena världens alla prylar.

Ur konsumentperspektiv är det viktigt att inse hur integrationen mot elleverantören sker jämfört med andra tjänsteleverantörer till hushållet. Att vi har bredband, kabel-tv och telefon jämsides med elektricitet är en självklarhet. Vad det Smarta Elnätet betyder för det enskilda hushållet handlar till stor del om integration. Kommunikationsleverantörerna - operatörer och tillverkare av hårdvara - kommer att erbjuda allt-i-ett-lösningar som kombinerar all informationshantering över ett och samma gränssnitt (Internetuppkoppling) mot hushållet. Det innebär i förlängningen att vi troligen hanterar kommunikation – inklusive energi - mycket mer samordnat, integrerat och ihopkopplat. Det i sin tur öppnar för nya tjänster och nya affärsmodeller för tjänsteleverantörerna. Traditionella elbolag är bara en av flera aktörer - telebolagen, webbtjänstleverantören och kabel-tv-operatören är andra. Vart detta sedan leder, i form av konvergens och glidning i branschen, återstår att se. Men *att* det kommer att skaka om och skaka ut råder det inget tvivel om.

Oavsett leveransform behöver någon stå för beslutet *om* att olika apparater ska stängas av eller slås på. En viktig policyfråga när de smarta elnäten ska realiseras är just vem som bestämmer när och var belastning ska tillåtas och kopplas bort. En möjlighet är naturligtvis att elleverantören avgör - och i nödlägen eller besvärliga situationer är det säkert den bästa lösningen utifrån ett överblicksperspektiv. Men för den dagliga användningen är det rimligt att kunderna har ansvaret och tar beslut baserat på prissignaler. En förutsättning för att det ska fungera i praktiken är dessutom att verkställigheten - att koppla till och från förbrukare - sker automatiskt.

Tekniskt sett innebär Smarta Elnät bland annat att elmätarna måste kunna läsas av automatiskt. Det brukar förkortas **AMR, Automatic Meter Reading**. Det kan ske med radiolänk på kort eller långt avstånd. På kort distans kan mätarna läsas av med en mottagare i ett fordon som åker runt, s.k. ”drive by”. Det är en lösning med amerikanskt ursprung som knappast hör framtiden till. Istället kan mobilnätens **GSM** eller **GPRS**-nät användas. Mobil **4G**-tekniken förutspås ge stora fördelar genom att till låg kostnad kunna överföra data snabbt och i stora mängder. Avläsning kan ske genom att sända mätdata som en överlagrad signal på elnätet eller genom att en kommunikationsbuss förläggs som samlar data från många mätare till en lokal punkt, lämpligtvis en nätstation, där de packas och skickas vidare över till exempel bredbandsnätet. En annan teknik är **meshnätverk** som innebär att informationen skickas trådlöst från en mätare till en annan för att till sist ha aggregerats och skickats vidare till en central server. Ytterligare en idé är att använda FM-bandets **RDS**-system. Problemet är att det endast erbjuder envägs kommunikation. I USA testar **Google** tillsammans med **Spectrum Bridge** att använda motsvarande luckor i bandbredden inom TV-nätet och därigenom också åstad-

komma kommunikation åt båda hållen. I Sverige är fjärravlästa mätare ett krav sedan 2009 och en utredning pågår om att införa allmän timbaserad avläsning.

Vissa länder har kommit längre än andra när det gäller att införa smart elmätning. **Italien** är ett pionjärland. I början av 2000-talet startade **Enel**, landets största elleverantör, att installera smarta elmätare i de flesta hushållen. Anledningen var bland annat att förhindra el-stöld och tjuvkopplingar genom att kunna stänga av förövarna på distans. Projektet, som kallas **Telegestore**, beräknas uppgå till 18 miljarder SEK. **Sverige** är det första land där alla elkunder har en smart mätare. I **USA** har delstaten **Texas** visat vägen och **Department of Energy** har börjat rulla ut ett omfattande stimuleringspaket, värt nära 4 mdr USD, för Smarta Elnät. I **Tyskland** är smarta elmätare obligatoriska i nya byggnader från år 2010 och i **England** ska smart mätning vara införd till år 2020. **Kina** har en femårsplan för att göra sitt elnät intelligent, vilket innefattar smart elmätning.

Den här utvecklingen är ett uttryck för ett systemtänkande som innebär bland annat att elmätaren definieras om från att vara en simpel leverantör av information till en intelligent **gateway** för konsumenterna som kan anpassas efter individuella behov. Det är en utveckling från centrala databaser till en arkitektur av utspridd informationsanvändning. Det gör att elleverantörens roll förändras från mätaravläsarens till en automatiserad mäklare mellan intelligenta hus och ett aktivt eldistributionsnät. En förutsättning för att det ska kunna ske är **standardisering**. I Europa har den **Europeiska Kommissionen** utfärdat ett mandat (M/441) till de tre europeiska standardiseringsorganen (**CEN**, **CENELEC** och **ETSI**) för att definiera en öppen plattformsmarkitektur för elmätare (och även för gas-, vatten- och värmemätare) och tjänster runt dem. I **USA** är det organisationen **NIST** som har motsvarande roll. I dag finns mer än hundra olika standarder bara för smart elmätning men ingen av dem täcker hela behovet.

Distributionsnäten eller **lokálnäten** är en utmaning för den smarta elnätstekniken. Lokálnät avser både distributionsnät med typisk spänning om 10 eller 20 kV och lågspänningsnätet med spänningsnivån 400 V, vilket de flesta hushåll är anslutna till. Det finns ett antal hot mot leveranssäkerheten i de lokala näten. Väderlek (storm eller åska), sabotage, felaktiga inställningsvärden eller utsliten och på annat sätt bristfällig utrustning kan orsaka elavbrott. I det ”vanliga” elnätet är det i regel kunden som märker om det blivit ett fel - ljuset slocknar helt enkelt. I det smartare nätet detekteras detta automatiskt. Idealt är det elleverantören som får en varning innan slutkunden märker något, och kan proaktivt avhjälpa felet.

De lokala näten är ofta utformade som trädstrukturer där det finns en rotpunkt som grenar ut sig mot förbrukarna. Grenarna kallas för **matningar**. Vid fel kan en hel gren med undergrenar slås ut och ge besvärliga konsekvenser. Genom att koppla samman ”topparna” på två grenar bildas en ring med matning från två håll, s.k. **ringmatning**. På så sätt kan effekterna av ett fel begränsas. Men det kräver utrustning för övervakning och automatisk styrning.

Distribution Automation (DA) eller **Distribution System Automation (DSA)**, med sensorer, datainsamling och skydd som kan positionera och eliminera ett fel förekommer redan i många elnät. I de nordiska länderna där elleverantörerna har funnit det kostnads-effektivt att investera i tekniken är det vanligt. Men även om det är en sedan länge kommersiellt tillgänglig produkt finns det fortfarande en stor installationspotential på marknaden och den tekniska vidareutvecklingen går snabbt.

Distributed Generation (DG) där många små och utspridda energikällor knyts till elnäten innebär både möjligheter och utmaningar. Till fördelarna hör att produktionen sker nära förbrukningen vilket medför att belastningen på de långa överföringsnäten minskar. Bland nackdelarna kan räknas att den effekt som matas in på nätet lokalt består av lik- eller växelspänning som måste anpassas till nätfrekvensen 50 Hz. Den omriktarelektronik som används för att skapa en sinusformad växelström ger tyvärr också ifrån sig **övertoner** till nätet. Övertoner räknas till bristande elkvalitet (se vidare detta avsnitt) och måste filtreras bort, vilket medför extra kostnader. **DG** kan innebära elproduktion eller kombinationsproduktion av värme, kyla och elektricitet. För elproduktion kan det vara frågan om vindkraftverk, småskalig vattenkraft eller solceller. För värme och kyla kan solfångare användas eller små distribuerade kraftvärmeverk designade för el och värmeproduktion från enstaka upp till några tiotals MW. För värme/kyla täcker de i förekommande fall ett närområde medan elen kan distribueras ut på nätet.

Mikro-generering är ett annat begrepp som vanligtvis syftar på den typ av småskalig kraftgenerering som förekommer på fastighetsnivå. Solceller eller små vindturbiner leder det som kallas **"The Rooftop Power Revolution"** - ett marknadssegment som växer med mellan 20 och 40 procent varje år i flera länder. Det saknas en entydig definition av begreppet. I England betyder Microgeneration i regel en uteffekt på mindre än 50 kW. På andra marknader kan installationer i MW-storlek räknas in. Inmatning av lokalt producerad kraft på fastighetsnivå stämmer väl in med **elbilen** som i framtiden kan ses som ett energilager som är redo att både förbruka och leverera el. Tanken är också att konstruera "öar" eller **Micro Grids** (< 400 V) med den lokala kraftkällan i centrum, kombinerad med lokala lagringsmöjligheter i form av till exempel batterier (som kan vara stationära eller sitta i elbilarna) som försörjer sitt närområde och är till- och fränkopplingsbara i förhållande till det stora elnätet. På så sätt kan de avlasta transmissions och distributionssystemen och i nödfall helt kopplas bort för att försörja de mest kritiska belastningarna i närmiljön. Även på fastighetsnivå kan belastningar kopplas ifrån. Det kan vara varmvattenberedare, elvärme eller luftkonditionering som kan stoppas kortare tider. Under den tiden utgör mikronätet en självförsörjande ö i det stora elsystemet. När problemet är undanröjt synkroniseras det tillbaka till det överordnade nätet. Huvudnätet betraktar mikronätet endera som ett kontrollerbart belastningsobjekt och tar betalt för förbrukad el eller som en kraftkälla och betalar för levererad energi. Effektmässigt har ett mikronät installerad effekt på mellan några hundra kilowatt till några megawatt.

Med de nuvarande tekniska och legala strukturerna är sådan funktionalitet inte möjlig men med hjälp av IT, styrsystem och ändrade regler är det genomförbart. Det skulle vara till nytta för både miljön och förbättrad tillgänglighet för konsumenterna. Tekniken runt Micro Grids är redan prövad i militära sammanhang, vilket faller sig naturligt eftersom militära baser och anläggningar är kritiska objekt som måste fungera även om extern energiförsörjning upphör. **BAE Systems** och **Lockheed Martin, Raytheon** och **Boeing** är engagerade i Micro Grid-projekt¹²².

Selective load control är ytterligare en funktion som kan byggas in i det smarta elnätet. Med dagens uppbyggnad av elsystemet leder störningar - till exempel oväder, tekniska fel eller medvetet sabotage - som minskar tillgången på elektricitet under efterfrågenivån oftast till totala elavbrott. Alla kunder på en matningsslinga måste kopplas bort. Det vore en fördel om detta i stället kunde ske selektivt så att till exempel samhällskritiska funktioner behåller sin elförsörjning. För närvarande är denna typ av selektering ovanlig, men i det smarta elnätet med avancerad automation och smarta elmätare kan det bli fullt möjligt ända ner till enskilda objekt i ett hushåll eller i en fabrik.

Kommunikation I de Smarta Elnäten utförs olika aktiviteter som beroende på förutsättningar och eldistributör kan vara ganska olika. De två nätverkstyperna som behövs är förenklat det driftkritiska nätet och företagsnätet. Teoretiskt skulle de kunna dela nätverksresurser. Men kraven är mycket olika med avseende på tillgänglighet, bandbredd, transaktionspriser, latens (fördröjning) och säkerhet.

Driftnätverken omfattar SCADA-system,¹²³ telekommunikation, debiteringsmätning, röst, video och säkerhetstjänster inklusive accesskontroll och CCTV (övervakningskameror). Sannolikt ingår även system för närvarokontroll, allmänna datanät och Internet-tjänster. **Företagsnäten** innehåller de ekonomiska transaktionssystemen, CRM, inköp, underhållsstöd o s v. De driftkritiska delarna av nätet måste klara av att kommunicera med alltifrån modernast möjliga nätstationer till gamla stolptransformatorer, minikraftverk och en rad andra funktioner. För att näten ska vara säkra och effektiva måste de åtminstone stödja följande viktiga krav:

- **Virtualisering** - Möjliggör drift av flera virtuella nätverk via gemensamma (och befintliga) infrastrukturer och nätutrustning samtidigt som de är ömsesidigt isolerade från varandra och har tydligt skilda nivåer av tjänster.
- **Quality of Service (QoS)** - Tillåter i förekommande fall förtur för den driftskritiska trafiken i nätet.
- **Hög tillgänglighet** - Försäkrar konstant tillgänglighet för driftkritisk kommunikation.

¹²² GreentechGrid, 26 juli 2010

¹²³ SCADA = Supervision Control And Data Acquisition

- **Multi-Point till Multi-point-kommunikation** - För styrning och datainsamling i ett nät med många givare och regulatorer.
- **Två-vägs kommunikation** - Stöder samspelet mellan eloperatören och slutkunderna.
- **Mobila Tjänster** - Ökar produktiviteten både inom företaget och i fält.
- **Säkerhet** - Skyddar infrastrukturen från skadlig kod och cyberattacker.
- **Legacy Service Integration** - Inrymmer kopplingar till befintliga och nya Remote Terminal Units (RTU:er), elmätare, sensorer etc.
- **Framtidssäkring** - Innebär att nätet har kapacitet och skalbarhet för att möta inte bara dagens utan också kommande krav.

Virtual Utility (VU)¹²⁴ är ett begrepp som blir allt vanligare. Det är en ny modell för energiproduktion. Många distribuerade el/värmekraftverk (DG) och energilager läggs samman i kluster och bildar ett nätverk som styrs av ett gemensamt **Energy Management System (EMS)**. De underliggande klustren styrs av lokala kontrollsystém, **Local Management Stations (LMS)**. Varje LMS har en momentan bild och en erfarenhetsbild av energibehovet (el, värme, kyla) hos användarna inom respektive kluster, liksom aktuella data för tillgången på energi, nivån i varmvattenlager och batterier. EMS-systemet aggregerar elbehovet från alla underliggande kluster och bestämmer graden av in- och utmatning från vart och ett. En Internetliknande modell används för information och handel. Elkraft köps och levereras till en överenskommen klusterpunkt eller nod. Energekällan, som kan vara vilket kraftverk som helst eller någon form av energilager, bestäms av leverantören. Systemet är möjligt genom informationsteknologi, avancerad kraftelektronik och effektiva energilagringssystem. Fördelen är dels att hela nätverkets produktion kan optimeras, dels att tillförlitligheten ökas genom redundans av elproduktionen och genom att snabbt uppmärksamma och justera för efterfrågeförändringar. Möjligheten att aktivt välja energislag ökar också för varje enskild kund.

Roaming Internationell Roaming (att vandra) är den term som används när man använder mobiltelefonen utanför sin operatörs täckningsområde, d v s är besökare i ett annat nät. På samma sätt kan elbilen i det Smarta Elnätet ta med abonnemanget på resa och få all förbrukning specificerad och reglerad på sin vanliga elräkning. Mobiloperatörer sluter inom samarbetsorganisationen GSM Association roamingavtal sinsemellan. Avtalen reglerar bland annat vilken ersättning som operatörerna tar ut av varandra för att abonnenter ska få använda näten. I de Smarta Elnäten kommer motsvarande funktion ge bättre kontroll över energianvändningen och kostnader vid resor och fritidshusboende.

Särskilt förekommer diskussioner om **Vehicle Roaming (VR)** i relation till elbilen. VR innebär att man har en konsekvent kommunikation nätet oavsett var bilen befinner sig. Prisavtal och tjänster följer bilen, liksom funktionerna **G2V** (teknik som förhindrar att

¹²⁴ Ett annat begrepp som förekommer är Virtual Power Plant (VPP)

elbilsladdning ger höga belastningar) och **V2G** (innebär att bilens batteri kan stödja elnätet).

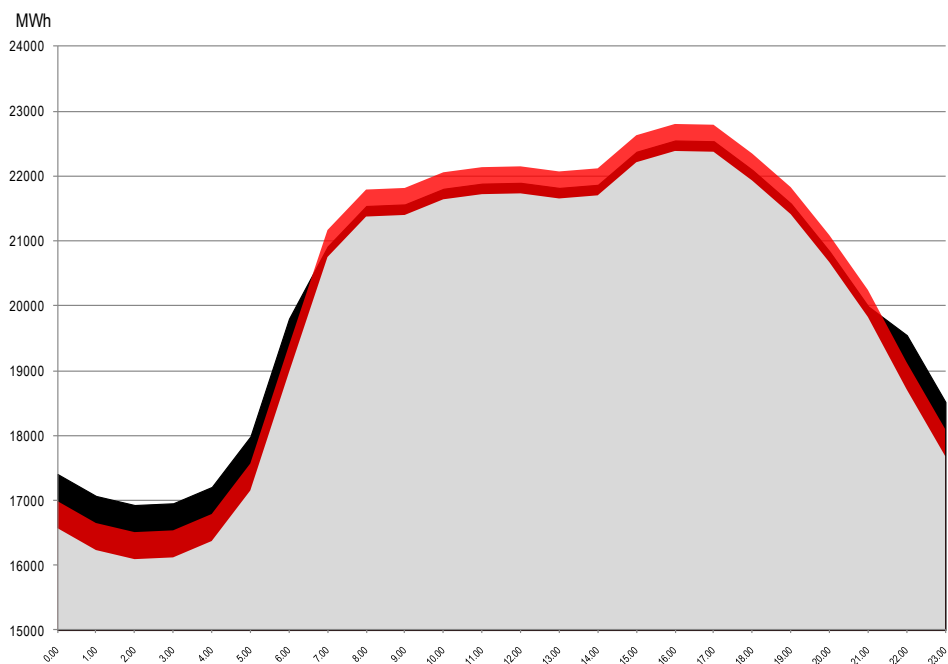
Self Healing Med hjälp av realtidsinformation och styrsystem kan det smarta nätet med automatik undvika elavbrott, förbättra elkvaliteten och minska störningar från underhållsarbeten. I dagens kraftnät med radiala matningar leder fel ofta till större avbrott. Distributionsnätverken utgörs av kablar förlagda i ett system som begränsar ett fel till mindre områden. Det Smarta Elnätet kommer ha möjlighet att analysera sig själv med hjälp artificiell intelligens, neurala nät och s.k. reinforcement learning, en funktion som innebär att nätet lär sig framgångsrika strategier under ständigt förändrade förutsättningar, till exempel överbelastning eller utrustningsfel. Ett sådant system skulle också kunna användas för att styra belastningen mellan olika nätstationer med olika profiler av elproduktion, kostnad och tillförlitlighet.

Static Var Compensator (SVC) i näten har till uppgift att kompensera för reaktiv effekt på näten och ge stabilitet och tillförlitlighet. Vidare finns stationära batterier som ger viktig extrakraft vid behov. Även elbilarnas batterier kan i framtiden användas när de står anslutna vid sina laddstolpar.

Elbilar på elnäten Ett av de stora värdena med att använda el som drivmedel i bilar är förstås att distributionssystemet redan finns på plats. Om bilarna bara laddas när övrig belastning är låg - nattetid - kan dessutom en stor bilpark anslutas utan större åtgärder. Situationen där bilarna lagrar el under låglastperioder och förbrukar den i rusningstrafik förekommer inte helt i verkligheten, men delvis. De flesta bilar vilar när deras ägare gör det. Det innebär att laddning nattetid kommer att vara vanligast. Därefter företas en genomsnittligt kortare tur till en arbetsplats, där bilen kan laddas under dagen. Smart laddningsövervakning (V2G) ser till att laddningen sker när det är lämpligt för nätet, och inte just när alla bilpendlare kommer hem (och samtidigt lagar mat, slår på TV och andra apparater). Det innebär även stora möjligheter till individuella val och värdering av relativa marknadspriser. Efter jobbets slut kommer hemresan och kanske några ärenden och till sist ansluts bilen för nattladdning. Eftersom den genomsnittliga körsträckan för de flesta är mellan 4 - 6 mil per dag, är ett sådant snittscenario troligt. Det innebär att spetsbelastningar i stort kan undvikas, även då elbilarna börjar förekomma mer frekvent. De allra flesta utredningar - oavsett i vilket industriland - kommer till ungefär samma slutsats:

- Elanvändningen påverkas marginellt, typiskt mindre än 10 procent vid mer än 50 procents elbilspenetration.
- Så länge en större del av laddningen sker under nattetid (off-peak) kan en stor del av bilparken vara elbilar, och hanteras av det befintliga elsystemet.
- Lokala nätförstärkningar kan dock behövas.
- Laststyrning under kalla (elvärme) eller varma (AC) dagar, liksom under dygnspeakar, kan lösa en stor del av lastproblemen.

Nedanstående diagram visar den svenska elförbrukningen under dygnets timmar. Sverige har ungefär 4 miljoner bilar. Vi har i studien antaget att 1 miljon av dem är elbilar som förbrukar 2 kWh per mil och i snitt körs 5 mil per dag.



Figur 28: Den svenska elförbrukningen under dygnet, med en miljon elbilar. Rött fält: Jämn fördelning av laddning under hela dygnet. Svart fält: 75 % av laddningen sker under sen kväll och natt. Källor: Svenska Kraftnät, Blue Institute.

Med dessa schematiska antaganden är slutsatsen att:

- Det behövs mindre än 4 TWh för att ”tanka” 1 miljon elbilar. Sveriges energiproduktion 2008 var ca 146 TWh. En miljon bilar motsvarar alltså mindre än 3 procent.
- Vid en jämn fördelning av laddningen under dygnet ökar belastningen med mellan 1,9 - 2,6 procent beroende på tidpunkt.
- Om 75 procent av laddningen sker under nattetid ökar belastningen med mindre än 1 procent under dagtid och ca 5 procent under nattetid.

Laddning av elbilar innebär att ett nytt och omfattande gränssnitt mot elnäten uppstår. Att ladda en bil kan vara enkelt - ett vanligt motorvärmarruttag kan vara tillräckligt. Men det kan också innebära tekniska utmaningar och stora investeringar i infrastrukturer. Det finns två principer för hur en elbil kan laddas, konduktivt och induktivt. Konduktiv laddning innebär att ansluta bilen via en sladd medan induktiv laddning överför energin ”trådlöst” som ett magnetfält mellan två spolar. Den senare tekniken är etablerad inom

vissa industriella tillämpningar och har även testats för kommunala transportmedel. Elbilsladdning ger upphov till många nya begrepp:

- **Grid to Vehicle Control (G2V)** är en teknik som förhindrar att elbilsladdning ger höga belastningar på näten genom automatisk övervakning och ekonomiska incitament. G2V representerar den typ av funktion som ligger närmast förverkligande.
- **Vehicle to Home (V2H)** innebär att bilens batteri kan försörja hushållet med elektricitet vid belastningstoppar. Det är en lösning som kan vara att föredra i jämförelse med att mata ut energi på nätet vilket är mer komplicerat. Att använda bilens batteri vid strömbavbrott är en annan möjlighet. V2H gör det också möjligt att ordna strömförsörjning för sommarhus eller vid camping.
- **Vehicle to Grid (V2G)** gör det möjligt att mata elektricitet från bilens batteri tillbaka till elnätet. På så sätt kan den intermittenta elproduktionen från sol, vind eller vågor jämnas ut. V2G ligger längre fram i tiden, inte minst därför att batteriernas livslängd förkortas med ständig i och urladdning. De flesta elnät är inte heller funktionellt förberedda. Centrum för utveckling av V2G-system är Kalifornien.
- **Vehicle Roaming (VR)** innebär att bilen kan kommunicera med elnätet och möjliggör G2V och V2G, var den än befinner sig.

GM har tillsammans med Google¹²⁵ redan utvecklat en "app" (ett datorprogram för smarta mobiltelefoner) till Chevrolet Volt som innebär att man kan se på mobilen hur batteripaketet mår. Det går att se laddningsnivå och inmatningsspänning, man kan schemalägga laddning och även starta laddningen visa mobilen. Bilen kan skicka meddelande till telefonen och varna ägaren när det är dags att slå på laddningen. Men hur bilförarna i verkligheten kommer att ladda sina bilar är föremål för många utredningar. Det är betydelsefullt därför att det påverkar alla led i kedjan från kraftverket till bilen och avgör hur systemen ska dimensioneras. I praktiken är det knappast något större problem. Infrastrukturerna kan anpassas efter hand och elproducenter och nätbolag har stor vana att arbeta med ständigt förändrade förutsättningar. Beroende på var man befinner sig och hur mycket tid man har kan man tänka sig olika behov:

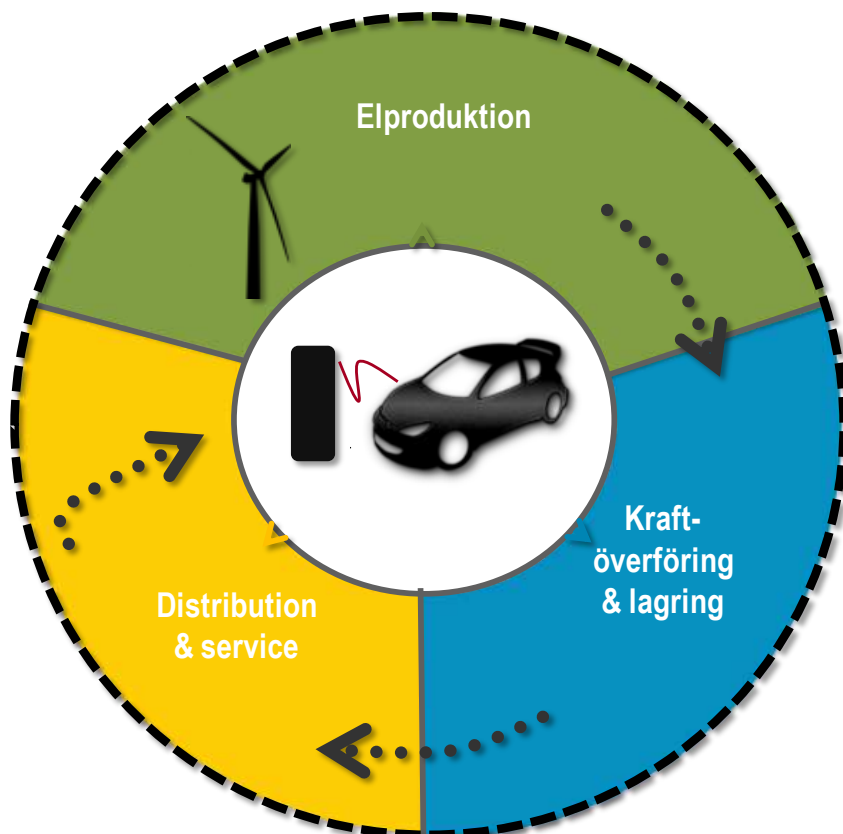
- **Hemma och på Jobbet.** Tidsåtgången är flera timmar. Laddningen sker med lägre effekter, 240 eller 400V och 10, 16 eller 25 amperes säkring. HWC tillfredsställer förmodligen behovet för de allra flesta.
- **Publik Serviceladdning.** Tidsåtgång någon till några timmar. Laddning med medeleffekt, 240 eller 400V och 16 till 35 A säkring. För de som saknar egen bilplats och för servicefordon.

¹²⁵; GM Media, 18 maj 2010

- **Snabb Landsvägladdning.** Tidsåtgång några minuter. Snabbladdning med mycket höga effekter, främst vid långkörning.

Laddning hemma och på jobbet som tar flera timmar i anspråk blir billig. Det kräver inga stora investeringar och kostar några få kronor med den beskattning och de avgifter som gäller idag. Snabbladdning kan antagligen bli en efterfrågad tjänst som ligger närmare traditionell tankning och underlättar längre resor för de helt eldrivna bilarna. Servicestationer för snabbladdning måste tillhandahålla höga elektriska effekter men om man sätter pris på tid i stället för enbart kilowattimmar - ju fler kWh per tidsenhet som kan fyllas på desto högre pris - kan det bli lönsamt där trafiken är tät.

En annan möjlighet som diskuterats är batteribytesstationer där bilens batteripacke är lätt bytbar. Proceduren är tänkt att ske i tvätthallsliknande anläggningar där själva bytet till ett uppladdat batteri är automatiserat. Detta kräver långt gången standardisering och är förstås tänkt för helt eldrivna bilar i första hand. En fråga som måste lösas med utbytesystem är garantier för batteriets kondition och kvalitet så att inte den enskilde bilägarens farhågor för ekonomiska bakslag ska bli ett hinder.



Figur 29: Elbilens försörjningssystem från kraftverk till laddstolpe innebär investeringar i storleksordningen 2 000 – 2 500 mdr USD

Intelligenta transportsystem och Smart Grids Intelligenta Transportsystem (ITS) beskriver en process som med hjälp av avancerad datorteknik, givare och kamerasytem medger kommunikation av olika slag mellan fordon och fordon till infrastruktur och vice versa. Syftet är att styra trafikflödet. Behoven är naturligtvis störst i megastäderna som Tokyo, Mumbai, Shanghai och London. Poängerna är flera - till exempel att reducera energiåtgången och att minska transporttiderna genom optimerade körscheman som tar hänsyn till övrig trafik. Ytterligare en fördel är goda möjligheter att minska antalet incidenter och trafikolyckor. Det har visat sig att det finns ett behov av att utveckla normer för driftskompatibilitet mellan ITS-systems NTCIP-standarder och Smart Grids.¹²⁶

Se även tidigare utgiven rapport inom Framtida Tillväxtmöjligheter för Sverige *Ladda för nya marknader – Elbilens konsekvenser för elnät, elproduktionen och servicestrukturer* (Blue Institute, 2010)

Super Grids

Idén om elöverföring på långa avstånd och i stora mängder föddes under 1930-talet i USA när planerna fanns att överföra elkraft från vattenfallen i norra delarna av landet till Kalifornien. Projektet blev aldrig förverkligat och den första gången begreppet Super Grids används på riktigt var när Storbritanniens olika kraftnät kopplades samman under 1960-talet. I dag präglas världen av ökad mellanstatlig och regional samordning av elnäten och begreppet Super Grids är därmed en realitet och en snabbt växande marknad.

Tekniskt sett har Smarta Elnät kostnadseffektiva kopplingar över både långa och kortare avstånd. **HVDC** - högspänd likström – är en teknik som ursprungligen utvecklades av **ABB** och som används för överföring av stora mängder energi på långa avstånd. En av de stora fördelarna med att använda HVDC-teknik är att motståndet i ledningarna blir lägre, vilket minskar överföringsförlusterna. För att ansluta till exempel en vindkraftspark till elnäten har tekniken vidareutvecklats till det som kallas **HVDC VSC** eller i ABB:s fall HVDC Light och hos Siemens HVDC Plus. Nyligen har ABB också utvecklat teknik för överföring av ultrahög likström, UHVDC, i en lösning för Xiangjia-ba-Shanghai-länken i Kina.

Växelström är bra för att producera el men är inte optimal när det kommer till transporter över längre sträckor. Ett sätt att göra växelströmstekniken mer effektiv är att gå upp i spänningsnivå. De senaste landvinningarna har resulterat i överföringslänkar som hantearar 1,1 miljon volt eller 1 100 kV. Denna teknik brukar kallas **UHVAC**, ultrahög växelspanning.

¹²⁶ IMSA Journal, maj 2010

Vi ska i detta avsnitt beröra några representativa rörelser och projektplaner på olika håll i världen. Det går utan tvekan att se en process där de stora transmissionsnäten harmoniseras och knyts samman. Det är en process som både innehåller ändrade regler, innovationer och förändrade ekonomiska incitament för operatörerna.

I Europa samordnas de nationella systemoperatörerna sedan 2009 i organisationen **ENTSO-E** (European Network of Transmission System Operators) som omfattar 42 elnätoperatörer i 34 länder. Organisationen är skapad genom att **NORDEL** (de nordiska länderna), **UCTE** (Kontinentaleuropa), **UKTSOA** (England) med flera samlas i en gemensam organisation. Utredningar har dessutom genomförts för att förstå möjligheterna till ett ännu vidare geografiskt samarbete med den baltisk/ryska motsvarigheten **IPS/UPS**. Det skulle innebära en gemensam energibas över 13 tidszoner med över 700 miljoner konsumenter och 3 700 TWh årlig förbrukning. Även om de tekniska fördelarna är lätta att inse - till exempel att sprida kraftförbrukningen över flera tidszoner - finns avsevärda politiska stötestenar att forcera innan ett sådant projekt kan bli realitet. Energiberoendet i form av gas från Ryssland är redan stort och det är inte bara den relationen mellan Ryssland och EU som är viktig för energisäkerheten utan även relationerna med och mellan transitländer som Ukraina och Vitryssland.



Figur 30: Olika systemoperatörer och deras geografiska verksamhetsområden. Källa: ENTSO-E

En annan utsträckning av det europeiska elnätet är söderut. Sol- och vindkraft i Mellan-östern och Nordafrika (MENA) kan teoretiskt försörja hela Europa med grön el. Sådan överföring mellan MENA och EU-området måste ske effektivt och med små förluster. Om projektet realiseras är därför högspänd likströmsöverföring den teknik som sannolikt kommer att användas. I konceptet **Desertec** finns visioner om att år 2050 kunna överföra i storleksordning 700 TWh per år. Men även här finns politiska och säkerhets-

mässiga frågetecken. Är det rimligt för Europa att bygga upp ett ungefär lika stort beroende av el från nordafrikanska ekonomier som av gas från Ryssland?

Saharaöknen är med sina nio miljoner kvadratkilometer yta (vilket är 20 gånger större än Sverige) en perfekt plats att ta vara på solenergin och förvandla den till elektricitet. Det skulle räcka med en bråkdel av ytan för att teoretiskt försörja hela världen med el. Endast 2 promille av ytan skulle räcka för att täcka Europas behov. Det krävs dessutom inte visionär framtida teknik utan om att använda den som redan finns. Men det kommer inte att ske i den nära framtiden eftersom investeringskostnaderna är allt för stora. **Desertec Foundation** menar ändå att 100 GW skulle kunna överföras år 2050 till en kostnad av motsvarande 4 500 mdr kronor.¹²⁷

I USA förekom under det sena 1970-talet en debatt om huruvida det nationella elnätet borde förstärkas. Argumenten var det kritiska och gemensamma behovet av ett fungerande transmissions- och distributionsnät. Under 1990-talet hade vinden vänt och beslutet blev i stället att konkurrensutsätta elmarknaden. I dag menar man att den största fördelen består i att investeringsriskerna tas av privat kapital och inte av konsumenterna.¹²⁸ Robusta och tillförlitliga transmissionssystem är en förutsättning för att kunna konkurrera framgångsrikt på bulkmarknaden för elektricitet. **DOE** (Department of Energy) driver således sin verksamhet baserad på principerna om en fri marknad med tydliga regler, lika tillgänglighet, konsumentssäkerhet och ekonomiska incitament snarare än federalt ägarskap och driftsansvar. Att bygga bort flaskhalsar i transmissionssystemet ska först och främst lösas av marknadens representanter baserat på affärsmöjligheter. Förbindningar mellan olika transmissionsnät förutsätts ske på regional nivå, inte federal. När den privata sektorn förväntas kunna göra jobbet är den federala rollen att låta de regionala marknaderna arbeta. Men rörelsen mot regionala transmissionssystem och fri elmarknad måste balansera de olika kraven som finns hos såväl enskilda delstater och regioner och på federal nivå. I slutänden handlar det ändå om att kunderna får ett pålitligt och kostnadseffektivt elsystem.

Ett exempel på hur ett projekt kan växa fram baserat på den fria marknadens principer är **The Tres Amigas Project** som föreslås bli ett marknadsnav för elkraft mellan tre regioner. Målet är att koppla samman Nordamerikas två stora transmissionsnät, **The Eastern Interconnection** och **The Western Interconnection** med det mindre **The Texas Interconnection**. Detta ska leda till enklare integration av förnybara energikällor och samtidigt öka tillgängligheten i **The U.S. Grid**. Tekniskt sker det med tre stycken 5 GW supraledande högspänningsledningar.¹²⁹ Systemet erbjuder ett kontrollerat energiflöde samtidigt som det isolerar växelströmsfrekvenserna på respektive sida från varandra. De enskilda näten är alltså osynkroniserade gentemot varandra. Western Intercon Kopplas

¹²⁷ Desertec Foundation, www.desertec.org

¹²⁸ Department of Energy, 2002, National Transmission Grid Study

¹²⁹ Supraleddare är en perfekt (100%) elektrisk ledare, som nedkyld kan transportera 150 gånger mer elektricitet än en konventionell kabel av samma dimension.

samman med Eastern Intercon med sex HVDC-förbindelser och Texas med två. Tres Amigas skulle bli världens största användare av så kallad **HTS**-teknik (High Temperature Superconductor).

Kablarna förläggs under jord i rör med en diameter på ca 90 cm och är utan elektriska förluster. Det betyder att den supraledande tekniken - när stationen körs på full effekt - sparar **60 MWh** vilket motsvarar trettiotusen hem eller fyrtiotusen ton koldioxid.¹³⁰ Nätets centrum i New Mexico kallas **Tres Amigas SuperStation**. Där kommer stora lagringsbatterier att finnas. Avsikten är att erbjuda snabb, dynamisk access till megawattnivåer av kraft och hantera intermittenta kraftkällor. Även reaktiv effektkompensering för att hålla hög elkvalitet hanteras av samma system. Projektet kan tidigast stå färdigt 2013 – 2014 och sannolikt några år senare. En av de ekonomiska intressenterna är **American Superconductor** som levererar teknik för kraftöverföring med supraleddning, vindkraft och annan energirelaterad utrustning.

Ett annat exempel är att amerikanska **Department of Homeland Security** och New Yorks största distributionsbolag, **Consolidated Edison** ska investera 39 MUSD under de kommande tre åren för att ansluta två nätstationer på Manhattan till varandra. Tekniken som kommer att användas är just så kallad högtemperatursupraleddande kablar (hög temperatur innebär i det här fallet 90 grader Kelvin). Systemet har tidigare beräknats kunna tas i drift under 2010.¹³¹

Kina står inför omfattande utmaningar såväl när det gäller att bygga ut energikapacitet som att transportera den till rätt ställen. Vattenkraftresurserna finns främst i de (syd)västra delarna av landet medan kolkraftresurserna finns nordväst men de stora behoven finns i öst och söder. Uppskattningar som gjorts pekar mot att 100 – 200 GW transmissionskapacitet kommer att behövas för att flytta kraft från väst till öst och från norr till söder de femton närmaste åren.¹³² Den existerande nätstrukturen som består främst av ett 500 kV AC- och ett 500 kV DC-nät kommer inte att räcka till. Med de långa avstånden som råder i landet blir också överföringsförlusterna betydelsefulla. Ett pålitligt och effektivt kraftnät är därför nödvändigt.

ABB har deltagit i **Xiangjiaba-Shanghaprojektet** som innebär en ultrahögspänningsförbindelse (UHVDC) för att förflytta 7 200 MW från Xiangjiabas vattenkraft i sydvästra Kina till Shanghai. Projektet, som kunde sjösättas ett helt år före utsatt tidplan, kommer att leverera elkraft till mer än 30 miljoner människor. Länken är med 200 mil den längsta likströmsöverföringen hittills i världen och sätter dessutom en ny standard genom den höga spänningen om 800 kV. Projektet anses vara det största framsteget inom kraftöverföring vad gäller kapacitet och effektivitet på mer än två decennier.

¹³⁰ www.tresamigasllc.com

¹³¹ MIT Technology Review

¹³² Li, 2009, ASIA Energy Platform, article 00018602

I förlängningen kan ett globalt ihopkopplat elnät vara en lösning för att möta ökade energibehov med så liten miljöpåverkan som möjligt. Visionen om att koppla samman den västra och östra hemisfären med sjökablar skulle göra det möjligt att jämma ut den globala energiförbrukningen. När det är full dag på ena halvan av jorden är det natt på den andra och vice versa.

Cybersäkerhet

Cyberwarfare - cyberkrigföring - är ett nytt ord för de flesta. Det innebär att använda datorer och Internet att för bedriva krig i **cyberrymden**. Cyberwarfare kan beskrivas som ett maktmedel som kan användas för att anfalla, förstöra och/eller störa kommunikationer och informationsflöden. Låga inträdeshinder i kombination anonymitet gör listan på potentiella anfallare lång, från tonåriga hackers till fientliga nationer och terrorister. Dessutom kommer cyberrymdens avsaknad av nationella gränser att utmana de nationella rättssystemen och samtidigt komplicera förmågan att avskräcka och på så sätt reagera på oförutsedda händelser. **Cybersäkerhet** ska därför tas på stort allvar eftersom det handlar om reella hot mot nationers säkerhet.

I februari 2010 släppte det amerikanska militärkommandot **U.S. Joint Forces Command** en studie som bland annat inkluderade en sammanfattning av de hot som cyberkrigföring kan innebära:

”Med mycket små investeringar, och anonymitet, kan motståndare skada våra nationella intressen. Cyberspace kommer att bli en viktig front i alla konflikter. Fiender i cyberrymden kommer att vara både stater och icke-stater och de kommer att utgöras av allt ifrån amatörer till välutbildade professionella hackare. Genom cyberrymden kommer fiendens mål att vara näringsliv, högsolor, myndigheter, liksom militären i luft, mark och sjö. Ungefär på samma sätt som luftanfall förvandlade slagfältet under andra världskriget, finns i cyberrymden möjligheter att bryta de fysiska barriärer som skyddar en nation mot angrepp mot handel och kommunikation.”¹³³

Som en konsekvens av de nya hoten börjar speciella försvarsenheter att bildas. **The Cyber Command** i **USA** är ett av de tidigaste. I **Syd Korea** har ett liknande **Cyber Warfare Command** bildats, förmodligen som ett svar mot Nordkoreanska hot. Även **NATO** har en enhet för Cyber Defence, **Cooperative Cyber Defence Centre of Excellence**, som ligger i Tallin och inledde sin verksamhet i maj 2008. Huvuduppgiften är att samordna Natoländernas cyberförsvar. Man kan förvänta sig att modellen med militära specialenheter kommer att sprida sig till fler nationer. Uppgiften är att hitta och neutrali-

¹³³ Fritt översatt från: THE JOINT OPERATING ENVIRONMENT, February 18, 2010, United States Joint Forces Command

sera cyberattacker. Kommandot i USA uppger redan nu att det finns en obalans mellan den tekniska förmågan och den rådande lagstiftningen.

Det finns många metoder för angrepp i cyberrymden. Nedan rangordnas de viktigast efter ökande allvarlighetsgrad:¹³⁴

Cyberspionage innebär att ta del av hemligheter från enskilda personer, konkurrenter, rivaler, grupper, regeringar och fiender. Syftet är att skapa militära, politiska eller ekonomiska fördelar genom att använda olagliga metoder på Internet, i nätverk, i mjukvara och/eller datorer.

Webbvandalism innebär attacker för att fördärva webbsidor eller överbelasta datorsystem. Denna typ av attack bekämpas normalt snabbt och är av mindre skada.

Propaganda Politiska budskap som kan spridas av vem som helst med tillgång till Internet eller mobiltelefoner.

Insamling av data Klassificerad information som inte hanteras på ett säkert sätt kan snappas upp och modifieras, vilket gör spionage möjligt.

Distributed Denial of Service (DOS) Ett stort antal datorer som kontrolleras av en person eller organisation kan starta en DOS-attack. Genom att alla datorer samtidigt försöker få åtkomst till ett företag eller en tjänst på nätet trängs legitima användare som behöver få tillgång till tjänsten ut.

Utrustningsstörningar Militär verksamhet som använder datorer och satelliter för störning av fientliga militära system. Order och meddelanden kan avlyssnas eller bytas ut, och lura trupper och soldater i riskzoner.

Attacker mot kritisk infrastruktur Kraftsystem, vatten- och avloppsverk, bränsle, kommunikationer, handel och transport kan alla utsättas för cyberattacker.

Falsk hårdvara Hårdvara som används i datorer och nätverk som har skadlig programvara gömd inne i mjukvaran, i s.k. firmware eller till och med i mikroprocessorer.

I april 2009 förekom rapportering om att det amerikanska elnätet hade infiltrerats och att programvara hade placerats som skulle kunna användas för att påverka systemets funktion. Samma månad meddelade Pentagon att de använt mer än 100 miljoner USD under de föregående sex månaderna för att reparera skador från cyberattacker och andra relaterade datorproblem i nätverk.¹³⁵ Även **Wall Street Journal** rapporterade om hur spioner från bland annat Kina och Ryssland ska ha lyckats tagit sig in i de amerikanska distributionsnäten och planerat skadlig kod.¹³⁶ Enligt det statliga forskningsinstitutet **US Cyber Consequences Unit**¹³⁷ är det ett känt faktum att kritisk infrastruktur regel-

¹³⁴ Geers, 2008, Cyberspace and the changing nature of warfare, SC-Magazine

¹³⁵ <http://www.cbsnews.com/stories/2009/04/07/tech/main4926071.shtml>

¹³⁶ Wall Street Journal, 8 april 2009, Technology

¹³⁷ <http://www.usccu.us/>

bundet sonderas av andra nationer. **CIA** uppger också att hackers under 2008 lyckats genomföra angrepp mot elnät i andra länder och stängt av strömmen i flera städer.¹³⁸ De federala myndigheterna i USA medger att elsystemet är mottagligt för cyberattacker. Vissa studier tyder på att ett samordnat strategiskt angrepp skulle kunna sänka 70 procent av kraftnätet i sex månader eller mer, enligt amerikanska **Cyber Defence Agency**.¹³⁹ Vilket naturligtvis skulle vara förödande för ett land.

Även säkerhetsforskare varnar för sårbarheten i de Smarta Elnäten. För att demonstrera hur svagheter kan utnyttjas skapades en nätverksmask som spred sig från en elmätare till nästa. Varje enhet som drabbades visade ordet ”**pwned**” på sina LCD-skärmar. Pwned är ett slanguttryck som betyder att något erövrats. Säkerhetskonsulten **InGuardians**, som har granskat säkerheten i tre pilotinstallationer för Smart Grids i USA, lyckades ta sig in i i digitala elmätare för att ”smyglyssna” och manipulera dem. Rapporten från konsultbolaget har väckt stor uppståndelse i USA. Även företaget **IOactive** har demonstrerat hur styrenheter i smarta elnät kan vara sårbara för nätverksmaskar och liknade typ av skadlig kod.¹⁴⁰

Nuclear Regulatory Commission, har bekräftat att ett datanätverk vid kärnkraftverket **Davis Besse**, Ohio, i januari 2003 infekterades av en så kallad mask, känd som ”Slammer”. Det ledde till att ett säkerhetsövervakningssystem var ur funktion i nästan fem timmar.¹⁴¹

Det är svårt att veta vad som är fakta och inte i alla uppgifter. Att hackare har kommit in i administrativa datasystem i allmännyttiga företag är väl känt. Men de borde inte vara kopplade till den utrustning som kontrollerar elnätet, åtminstone inte i de utvecklade länderna. Huvudreceptet för att hålla elnätens datorsystem fria från attacker och angrepp handlar just om att hålla de driftkritiska systemen tekniskt separerade från datorer och servrar som har kopplingar till Internet. Men det räcker inte. De mänskliga misstagen kan överbrygga även sådana försiktighetsåtgärder. Till exempel är användningen av USB-minnen som kan vara medvetet smittade med farlig kod en säkerhetsrisk. Detta illustrerar att IT-säkerhet är en fråga om att ändra perspektiv, från analogin med att skydda sitt hus från angrepp utifrån och in, till att arbeta med säkerhet inifrån och ut. Säkerhetsfrågorna ägnas nu mycket uppmärksamhet och i arbetet med att etablera standarder för hur smarta elnät ska byggas är Cybersäkerhet en central fråga. Det internationella standardiseringsorganet **IEC**, liksom det amerikanska **NIST**, prioriterar frågorna mycket högt. Att det bland hackers och terroristnätverk hittats 2 600 manualer och undervisningsmaterial för SCADA-system, bara under det senaste året, visar att det är befogat.¹⁴²

¹³⁸ IDG: <http://www.idg.se/2,1085/1,219456/smart-elnat-sarbart-for-cyberattack>

¹³⁹ Computer World 27 april 2009

¹⁴⁰ CNN 21 mars 2009

¹⁴¹ Amin, 2010, Securing the Electricity Grid, National Academy of Engineering, The Bridge spring 2010

¹⁴² Green Tech Grid, 11 oktober 2010

Sverige och Italien är i dag de länder i världen där det finns flest elmätare som skulle kunna kallas smarta, det vill säga att de kan klara av att kommunicera både till och från nätägaren. Nästan alla fem miljoner elmätare som finns i Sverige i dag är av den här typen. Men svenska elmätare har än så länge inte så mycket kontakt med andra mätare och resten av nätet. För att det ska bli riktig kommunikation krävs det ny teknik, både i de centrala systemen och ute i näten, till exempel i transformatorstationerna. Där är vi inte riktigt ännu. Men det är inte bara våra elnät, utan även färskvatten, fjärrvärme och järnvägstrafik som använder datoriserade styr- och övervakningssystem. När systemen integreras allt mer med Internet ökar sårbarheten.

Även om man kan skydda sig från illasinnade attacker finns alltid risken med mänskliga, ofrivilliga, fel. Detta visades tydligt när IT-säkerhetsleverantören McAfee misslyckades med en central uppdatering av ett antiviruskydd den 22 april 2010. Ett fel gjorde att en systemfil i Windows betraktades som ett virus, vilket fick allvarliga följder. Mängder av datorer, telefonväxlar och kassaterminaler hos företag och myndigheter slogs ut av antiviruskyddet under en halv dag eller mer.

En annan aspekt på säkerhet är det **personliga integritetsskyddet**. Smart Grid-teknik är delvis utformade för att ge konsumenterna feedback i realtid om elförbrukning och effektnivåer. När dessa system börjar kopplas upp är det fortfarande oklart hur företag kan tänkas ta vara på och använda den information som systemen producerar. I en studie¹⁴³ gjord av the **Ontario Information and Privacy Commissioner** and the **Future of Privacy Forum** ges exempel på information som skulle kunna tas fram genom att analysera data om ett hushålls elförbrukning. De inkluderar om och hur ofta träningsredskap används, om ett hus har ett larmsystem och hur ofta det är aktiverat, om de boende vanligtvis duschar eller badar, om de har diskmaskin, när de äter frukost, lunch och middag, hur ofta de tvättar sina kläder, etc.

För närvarande finns knappast några kommersiella system installerade som är kapabla till sådan precisionsmätning. Det krävs att mätdata samlas med korta intervall och lagras i en databas för att sedan analyseras, vilket kostar i lagring och bandbredd. För närvarande är mätupplösningen i svenska hushåll på dagsnivå. Men även om elanvändningen inte registrerats minut för minut kan informationen från en kontinuerlig övervakning av elförbrukningen indikera antalet personer i ett hushåll, när de är hemma och när de är vakna eller sover.

Andra risker för integritetsskyddet kan uppstå genom att kombinera information från olika användare, till exempel vid **roaming** på elnätet där ett elfordon laddas. Det skulle kunna skapa eller avslöja ytterligare personlig information om var en individ befinner sig och när.

¹⁴³ SmartPrivacy for the Smart Grid: Embedding Privacy into the Design of Electricity Conservation, November 2009

Enligt amerikanska **NIST** är några av de allvarligaste integritetshoten på det Smarta Nätet:

Personliga Profiler - Ackumulerade och stora datafiler som används och säljs utöver syftet att leverera energi.

Identitetsstöld och Inbrott - Otillräckligt skydd av dessa profiler gör att de kan användas i kriminella syften som kan göra att enskilda konsumenter drabbas.

Aktivitetscensur - Kartläggning av energianvändning som inte är godtagbar eller bör beskattas med en högre skattesats.

Beslut som grundar sig på felaktiga uppgifter - När strömmen till ett eluttag för till exempel hälsoupprätthållande apparater bryts eller oriktiga uppgifter vidarebefordras till myndigheter eller kreditföretag.

Det saknas inte aktörer som är beredda att investera stora summor för att bygga upp databaser och hantera den potentiella våg av information som kan komma. Behovet av att sätta upp regler och policys måste därför ske tidigt, innan utvecklingen har gått för långt. Men det ska betonas att användningen av den omfattande och personligt identifierbara informationen i allmänhet inte förväntas ske inom energibranschen. Farhågorna berör hur denna information kan komma att användas för andra ändamål, till exempel marknadsföring, där exakta uppgifter om personliga vanor, beteenden och livsstilar kan vara extremt värdefulla.

Sammantaget gör allt detta att säkerhetsmarknaden för Smarta Elnät blir kommersiellt intressant. Flera företag inom den traditionella försvarsindustrin börjar erbjuda elbranschen sina kunskaper i fighten om att säkra elsystemet.

Energilagring

Energilagring som är effektiv är kanske den största tekniska utmaningen när den Smarta Elnätstekniken ska realiseras. Mycket få lagringstekniker har nått tillräcklig kommersiell skala för att vi ska kunna veta vad som är bäst och mest kostnadseffektivt. Många företag tillverkar till exempel litiumjonbatterier men elnätsoperatörerna har bara börjat pröva tekniken för att balansera last eller lagra elkraft. Och eftersom batterier kanske inte är den mest optimala lösningen i alla applikationer så är det viktigt att parallellt prova andra lösningar.

Värdet av energilagring återfinns i sådana applikationer där fördelen överstiger lagringskostnaden. Nedan listas ett antal områden som kan motivera energilagring (vi använder de engelska beteckningarna då bra översättningar ofta saknas):

- 1 **Time-Shift** - att köpa energi under förhållanden där den är billig för att lagra och sedan använda den vid perioder med högre priser.

- 2 **Skjuta upp nyinvesteringar** eller helt undvika dem. Genom att tillföra ett litet energilager till ett transmissions- eller distributionssystem som ligger nära överlast kan stora investeringar temporärt undvikas.
- 3 **Time of Use (TOU)** refererar till samma mekanism som Time-Shift men gäller konsumenten, hushållet, som kan lagra energi när den är billig för att undvika förbrukning från nätet när elpriset är högt.
- 4 **Electric Service Reliability** innebär att strömbavbrott på mer än några sekunder kan backas upp med hjälp av ett energilager så att olika förbrukare kan styras ned under ordnade former.
- 5 **Electric Service Power Quality** – Elkvalitet. Ett energilager kan användas för att minska spännings och frekvensvariationer, låg effektfaktor och övertoner.
- 6 **Renewables Energy Time-Shift** - att använda energilager för att lagra energi som produceras under tider när det har ett lägre marknadsvärde för att sälja den när priserna är högre.
- 7 **Renewables Capacity Firming** handlar om att med energilager förstärka intermittenta förnybara energikällor så att kraftflödet blir jämnt. Observera skillnaden mellan Renewables Energy Time-shift, som syftar till att förbättra intjäningsförmågan.

Time-of-Use (TOU) kan behöva ytterligare förklaring. Begreppet avser prissättning där stora intervall används, dvs toppar och dalar av elanvändningen, och där priserna fastställts för intervaller över lång tid, till exempel sommar och vinter. Time-of-Use motsvarar kostnaderna för energi och den smarta elmätaren kan ha en intern kalender som aktiverar en viss taxa som avgör om förbrukningen skall registreras i en hög eller låg tariff.

Ett antal olika metoder för lagring av energi finns redan. Det finns långsiktiga lagringsformer, som pumpkraftverk och batterier av olika slag, och kortsiktiga som kondensatorer och svänghjul. Bland dem har somliga funnits i årtionden. Utmaningen är att göra dem robusta, pålitliga och ekonomiskt konkurrenskraftiga samt att införa den teknik som är lämpligast för att matcha varje enskilt slag av energikälla och/eller dess placering. Varje teknik har unika egenskaper och att finna en teknologi som passar alla tillämpningar är inte realistiskt. Att välja rätt teknik innebär snarare att man noggrant granskar olika alternativ innan man bestämmer sig. I det följande ska vi ge en översikt över exempel på de metoder för att lagra energi som kan vara aktuella nu eller senare i samband med Smarta Elnät.

Pumpkraftverk Principen är att vatten pumpas upp till ett högre liggande vattenlager när det råder överskott på el, för att släppa ner det igen för att driva en generator när det behövs ström. Pumpvattenkraftens effektivitet ligger mellan 70 - 85 procent och är den mest mogna och utbredda tekniken för storskalig energilagring, bortsett från naturliga kraftverksdammar. Kina, Japan och USA har ett stort antal anläggningar med kapacite-

ter från tiotals megawatt (MW) till flera gigawatt (GW). Pumpkraftverk är en bra matchning för vindkraft eftersom vatten som pumpas upp kan bevaras där under mycket lång tid för att portionsvis kompensera luckor i vindkraftsproduktionen. Men i den konventionella formen av pumpbaserad vattenkraft så krävs stora nivåskillnader. Möjligheterna att bygga pumpkraftverk begränsas därför av praktiska geografiska förhållanden, och byggena stör också miljön. Detta gäller inte minst när det behövs högspänningsledningar som skär igenom områden av särskilt stora naturvärden. Så om pumpkrafttekniken ska kunna utvecklas vidare behöver de lämna bergstrakterna och placeras där de bäst behövs.

Batteriteknik Problemet med att lagra energi i stor skala skulle för länge sedan vara löst om batteritekniken med bly och syra hade varit mer effektiv. Tekniken som har legat till grund för bilbatterier under mer än hundra år dras tyvärr med låg energitäthet - de är skrymmande och tunga i förhållande till hur mycket energi de lagrar. De är inte heller bra på att klara upprepade laddningscykler. Vi ska se vilka andra alternativ som finns tillgängliga:

Natriumsvavelbatterier I staden **Presidio** i södra Texas är man ofta drabbad av strömavbrott. Nu får staden ett jättebatteri som ska kunna förse stadens drygt fyra tusen invånare med 4 MW i åtta timmar på en laddning. Batteriet är av typen **natriumsvavel (NaS)** från det japanska företaget **NGK Insulators**. Fördelen med NaS-batterier är att de har en hög energitäthet och kan klara tusentals laddningscykler. Livslängden är enligt leverantören 15 år. Nackdelen är att natrium och svavel måste förvaras i flytande form i separata tankar,¹⁴⁴ och temperaturen för att de ska hållas smälta är mellan 300 - 350 °C. Batterierna kan dessutom få irreparabla skador om de laddas ur helt. Behovet av kraftiga kapslingssystem tillsammans med andra tekniska krav innebär att NaS-batterier kostar ca **3 000 USD** per kilowatt effekt. Det är dyrare än att producera reservkraft från en gasturbin. NaS-batterierna har utvecklats i Japan, ett land som har en installerad lagringskapacitet som kan uppgå till ca 300 MW upp till sex timmar i sträck när det behövs. I USA finns 10 MW NaS-kapacitet på plats och lika mycket till är på väg. Utvecklingen leds av företag som **American Electric Power** och **Xcel Energy** i Minneapolis, Minnesota. Storskalig NaS-lagring står dock inför en ny konkurrent som heter **litiumjon-teknik**.

Litiumjonbatterier Vid **Norfolk-kusten** på östra delen av den brittiska ön har man byggt en mycket vindkraft. Energibolaget **EDF Energy Networks** beslutade 2008 att tillsammans med **ABB** uppföra en demonstrationsanläggning för att förbättra elkvaliteten och styra spänningen från den ojämna vindkraftsproduktionen. Anläggningen är uppbyggd kring ett så kallat **SVC Light-system**, som står för Static VAR Compensation.¹⁴⁵ SVC

¹⁴⁴ Tekniken kallas också för Flow Batteries, pga att elektrolyten pumpas över cellstacken från den ena tanken till den andra

¹⁴⁵ VAR står i sin tur för: Volt Ampere Reaktiv

Light med energilager möjliggör styrning av aktiv såväl som reaktiv effekt i ett kraftsystem, oberoende av varandra. Snabb reaktiv effektkompensering innebär att nätspänning och stabilitet kan styras. Styrning av den aktiva effekten sker med hjälp av energilagret som jämnar ut variationerna från de intermittenta energikällorna, till exempel vind- och solkraft. I fallet med EDF kan batterisystemet leverera 200 kW under en timme. I april 2010, två år senare, lanserade ABB SVC-Light med energilager som en kommersiell produkt. Batterierna av litiumjontyp kommer från franska **SAFT**.

Litiumjonbatterier har en hög energitäthet och en effektivitet på mer än 90 procent. Den stora nackdelen är kostnaden, som delvis påverkas av höga säkerhetskrav och avancerad laddningsövervakning. Batterierna använder litiumsalt i en organisk lösning som är lättantändligt. Det kräver en robust konstruktion för att minimera brand och explosionsrisker. Litiumjonbatterier som tillverkas för hemelektronik kostar för närvarande några hundra dollar per lagrad kilowattimme. Men för tillämpningar i fordon måste kostnaderna komma ner till 200 – 300 USD per kWh och för elnätstillämpningar behövs ännu lägre priser. Säkerhetsfrågorna är dock lättare och billigare att hantera i stationära tillämpningar än i handhållna enheter och i fordon.

Det finns ett starkt stöd för litiumjonteknikens framtid - så starkt att leverantörer är på väg att bygga in sig i en - åtminstone temporär - överkapacitet. Det innebär hård konkurrens mellan olika tillverkare, som var och en hoppas att de ska leda de dramatiska kostnadsminskningarna som blir nödvändiga för att öppna nya marknader. För stationära tillämpningar kan man förvänta sig kapaciteter i storleksordningen en megawatt eller mer under de närmast kommande åren.

En intressant utveckling skulle vara om elbilsbatterier kunde återanvändas i elkrafttillämpningar. Kraven i sådana applikationer är lägre än för fordon, vilket innebär att batteriets livslängd kan ökas om det först används i elbilen och sedan ompaketeras och används livslängden ut i elsystemet. **ABB** och **General Motors** har inlett ett samarbete för att utreda dessa möjligheter vidare.

Luftbatterier Kanske den mest lovande vidareutvecklingen i linje med litiumspåret är den teknik som populärt kallas luftbatterier eller litiummetall-syrebatterier. I litiumjonbatterier är elektroderna gjorda av grafitmaterial medan anoden helt består av litiummetall i ett litiummetall-batteri och den omgivande luften fungerar som katod. Litiummetall-batteriernas energitäthet närmar sig i teorin bränslecellernas. Den högsta energitäthet är beräknad till mer än 5 000 wattimmar per kilo eller mer än 10 gånger effektivare än dagens litiumjonbatterier. Metallluft-batterier är också mycket lättare - i princip kan drygt halva batterivikten elimineras eftersom den ena elektroden (plus-polen) utgörs av syret i atmosfärens luft.

Idén om att använda luften för reagens har funnits länge men varit svår att omsätta i praktisk nytta. Det som begränsar litiumjonbatterier är den positiva elektroden. När man byter ut den mot en reagent som reagerar med luften får man ner storleken och vikten på

batteriet och energitätheten går upp. Problemen har legat i att det är just litium som används i batterierna och det faktum att luften innehåller fukt. Litium reagerar nämligen häftigt vid kontakt med vatten och kan orsaka explosion och även vid försumbara spår av fukt bryts materialet ner. Det amerikanska utvecklingsbolaget PolyPlus säger sig att ha löst problemet med en ”skyddad litiumelektrod”. Enheten består av en platt, rektangulär bit litiummetall överlappad på sidorna med en keramisk elektrolyt som kallas lisi-con. Den fasta elektrolyten är ogenomtränglig för vatten men litiumjonerna kan passera.

En annan lösning som forskning vid **St. Andrews University** i Skottland har kommit fram till är att ersätta den oxid av litium och kobolt som fungerar som positiv elektrod, med poröst kol. Även **IBM** meddelade nyligen att de skall utveckla litiummetall-luftbatterier för smarta elnät och för transportsektorn, målet är att tekniken ska vara tillgänglig inom fem år.

Zink-luftbatterier Det norska forskningsinstitutet **Sintef** sägs vara i slutfasen att färdigställa ett uppladdningsbart zink-luftbatteri som ska kunna ge oss en ersättare till litiumjonbatterier. Denna typ av batteri kostar hälften så mycket att tillverka och är betydligt säkrare än litiumjonbatterier då det helt saknar flyktiga ämnen som kan riskera att brand uppstår. Batteriernas höga energitäthet innebär att de dessutom kan rymma så mycket som tre gånger mer energi. Zink-luftbatterier bygger på en katalytisk oxidation av zink med hjälp av syre från omgivningsluften, vilket ger elektronvandring och därmed ström. Luften fungerar även i detta fall som elektrod medan batterikapseln som kan släppa in luft innehåller en elektrolyt och en zinkelektrod. Batterierna är därför utrustade med lufthål. Zink-luftbatterier används i dag mest för hörapparater. Svårigheten har varit att göra dem uppladdningsbara. Sintef uppger nu att deras prototyper klarar över 100 laddningscykler, något som ska förbättras till omkring 300-500 cykler innan kommersiell lansering. Slutmålet är uppladdningsbara batterier för fordon vilket sägs vara några år bort. Batterierna skall marknadsföras via det avknoppade företaget **Revolt**.¹⁴⁶

CAES i Huntorf, Tyskland finns en teknisk anläggning av ovanligt slag - när efterfrågan på el i det lokala nätet är låg använder anläggningen sitt kraftöverskott för att komprimera luft och pumpa ner den i två underjordiska saltgrottor med en sammanlagd volym på mer än 300 000 kubikmeter. Vid tidpunkter med hög efterfrågan tillåts den komprimerade luften att expandera genom turbiner som på så sätt regenererar el. Huntorf-anläggningen har funnits sedan 1978 och kan leverera nästan 300 MW reservkraft för upp till tre timmar. Systemet används ungefär 100 gånger per år. CAES-tekniken (Compressed Air Energy Storage) är ännu så länge ovanlig, men en liknande mindre anläggning finns i **McIntosh**, Alabama som togs i bruk 1991.

Nettoeffekten med luftkomprimering blir bäst igenom att öka effektiviteten i ett konventionellt gasturbinkraftverk. På lite längre sikt tror den amerikanska kraftföretagsorgani-

¹⁴⁶ <http://www.sintef.no>

sationen **EPRI**, och även andra forskare, att tekniken går att förbättra så att den kan bli ett konkurrenskraftigt alternativ för energilagring, utan inslag av fossila bränslen. Ett sådant avancerat **adiabatiskt**¹⁴⁷ system skulle avskilja och lagra kompressionsvärmen och sedan använda den för att värma den frisläppta luften för att direkt driva en gasturbin, utan något extra bränsle. Gjuterier och masugnar har i många år tagit till vara spillvärme i eldfasta tegel eller liknande material. Att tillämpa tekniken för lagring av komprimerad luft bör därför vara ganska okomplicerat. Verkningsgraden för ett sådant system skulle bli något under 80 procent, vilket är jämförbart med pumplagring av vattenkraft. Den totala kostnaden för att bygga anläggningen, drift och underhåll skulle också vara ungefär densamma. Lämpliga platser för att etablera energilagring med hjälp av komprimerad luft kan hittas i de flesta regioner av världen. Saltgrottor är till exempel inte ovanliga.

Flywheels Ett annat sätt att lagra energi på är i ett snabbt roterande svänghjul. Elektrisk energi omvandlas till kinetisk energi genom en motor som ger fart till hjulet. Den kinetiska energin utvinns när det behövs genom att svänghjulet driver en generator som bromsar hjulet och producerar elektricitet. Återigen är dock verkligheten mer komplex än teorin - svänghjulet måste snurra extremt snabbt och ändå vara starkt nog för att inte slitas isär av centrifugalkraften. Svänghjul som lagringssystem är kommersiellt etablerad och finns bl a i form av avbrottsfri strömförsörjning som kan leverera små mängder kraft på sekund- eller minutbas. För lagring under längre tider är de inte konkurrenskraftiga.

En stor fördel med svänghjul är att de är snabba och kan absorbera energi på mycket kort tid, inom några sekunder eller minuter, och sedan ge tillbaka den lika snabbt. Det är precis vad som behövs för att reglera ett elnät, där avsikten är att hålla en frekvens på 50 eller 60 Hz per sekund. Men om lasten blir för hög riskerar växelströmfrekvensen att påverkas. Man kan tänka sig en generator som i stället för att skicka energin över elledningarna har en "elektrisk axel" som direkt driver olika apparater. Om belastningen blir för hög skulle till slut generatoren inte kunna snurra axeln med samma hastighet, utan bromsar alltså generatoren. Detta är precis vad som händer när frekvensen sjunker under de bestämda 50 Hz. Skulle lasten plötsligt försvinna skulle generatoren rusa, vilket motsvarar att frekvensen stiger över det önskade värdet. Det amerikanska företaget **Beacon Power** säger sig ha ägnat tio år av utveckling för att ta fram ett mycket avancerat svänghjul som är optimerat för frekvensreglering i elsystemet. Hjulet som är två meter högt och en meter i diameter består av en cylindrisk aluminiumkärna som hyser motor och generator och omges av en fälg av kolfiberkomposit. Konstruktionen är upphängd på magnetiska lager inuti en vakuumkammare, där det kan snurra i upp till 16 000 varv

¹⁴⁷ Adiabatic process är en termodynamisk process där ingen värme tillförs eller bortförs från en fluid (vätska eller gas). Ordet "adiabatisk" betyder i avsaknad av värmeöverföring.

per minut. Effektiviteten sägs vara 85 procent och det klarar miljontals uppladdningscykler. Tjugo års livslängd utan större underhåll har varit ett av konstruktionsmålen.

Superkondensatorer Förutom traditionella batterier kan kondensatorer vara en möjlig energikälla. Precis som batterier kan de lagra energi och vara ett komplement till batterierna. Medan batterierna är helt elektrokemiska anordningar är kondensatorer elektrostatiske där plus respektive minusladdningarna fördelas och separeras på två plattor (ungefär som en ballong kan bli statiskt laddad). När energin släpps fram går det att få ut mycket höga momentana strömmar. Till fördelarna hör definitivt att den kan klara hundratusentals i och urladdningscykler utan att tappa effekt. Svagheter är att energimängden är begränsad, liksom den tid som laddningen kan hållas kvar.

En variant av kondensator är **ultrakondensatorn** eller **superkondensatorn** som precis som batterier använder en elektrolyt, med den skillnaden att inga kemiska reaktioner sker. Fördelen är att lagringsförmågan blir mycket större. Det finns också förhoppningar om att kondensatortekniken skulle kunna utvecklas så långt att de helt ersätter batterierna. Ett av många startupp företag som förknippas med utvecklingen är det Texasbaserade **EESore** vars grundare har **patenterat** en speciell ultrakondensator. Lagringsenheten som kallas EESU baseras på bariumtitan och kan enligt uppgift teoretiskt lagra upp till 52 kWh trots att den inte väger mer än 150 kg. Till fördelarna hör en praktiskt taget obegränsad livslängd och att den är billigare att producera än litiumbatterier. Laddningen skulle också kunna bli mycket snabb. Om tekniken kan verifieras och kommersialiseras skulle det innebära ett stort steg framåt. Men som med många andra sensationella uppfinningar skjuts verifiering och lansering gång efter annan på framtiden. Det senaste budskapet (juli 2009) var att produktionsfärdiga prototyper ska verifieras praktiskt under 2010.¹⁴⁸ Men i skrivande stund (oktober 2010) har inget hänt.

Bränsleceller En bränslecell omvandlar kemisk energi till elektrisk energi i en direkt process. Bränslecellen kan liknas vid ett batteri som "tankas" med ett bränsle. Det vanligaste bränslet är vätgas som enklast kan sönderdelas elektrokemiskt. Vid anoden delas vätet upp i elektroner och protoner. Elektronerna leds genom en elektrisk ledning och bildar en ström. Protonerna vandrar genom ett elektrolytmembran till katoden, där protoner och elektroner reagerar med luft och bildar vanligt vatten. En bränslecell kan ge en spänning på 0,7-1 Volt och effekt på 1 Watt per kvadratcentimeter. Således krävs precis som för batterier att ett antal celler seriekopplas för önskad spänning. Problemet med tekniken - förutom att den är komplicerad och dyr i dagsläget - berör främst miljön och distributionen. I de försök som görs reformeras oftast naturgas till vätgas, vilket är det billigaste sättet. Men en sådan process är inte speciellt miljösamt då naturgas är ett fossilt bränsle. En annan metod är elektrolys av vatten, men precis som vid laddning av batterier avgörs graden av miljöpåverkan hur elen produceras. Kolkraft gör vätgas till ett fossilt bränsle medan vindkraft gör det grönt.

¹⁴⁸ Enligt General Motors

I en rapport från **IEA** konstateras att kostnaden för vätgasframställning behöver - beroende på teknik - reduceras mellan 3 till 10 gånger under de närmaste årtiondena.¹⁴⁹ Bränslecellerna måste bli mellan 10 och 50 gånger billigare. Det behövs också ett nytt distributionsnät för vätgas, som är svår och dyr att komprimera, lagra och transportera. Andra vanliga invändningar mot vätgas är att den har låg energidensitet och inte är någon primär energikälla.

SMES Superconducting Magnetic Energy Storage fungerar så att energin lagras i magnetfältet kring en supraledare. Magnetfältet uppstår då ström körs genom spolen som sedan hålls nedkyld under materialets kritiska temperatur. Det innebär att motståndet i spolen elimineras och inga energiförluster uppkommer annat än vid i- och urladdning. Under urladdningen tappas ström ur magnetfältet med hjälp av induktionsteknik.

Termisk energilagring Termisk energilagring kan indelas på flera sätt, bl a i kortidslager för timmar och dagar samt i säsongslager för flera månader. Ett annat sätt är att klassificera lagren är efter det medium och den teknik som används. De olika lagringsteknikerna har börjat finna sina mest lämpliga användningsområden vad gäller att lagra värme och kyla för både korta och längre perioder.

Koncept med undermarkslagrad energi har sedan början av 1980-talet ägnats mycket uppmärksamhet och utvecklingskostnaderna kan till i dag räknas i mångmiljardbelopp. Området kallas **UTES** (Underground Thermal Energy Storage) och omfattar vattenlager under mark, lagring direkt i jord och berg och i **akviferer** (grundvattenmagasin). Redan år 1960 utnyttjades grundvattenakviferer i Kina som energilager för att både kyla och värma industriprocesser, lokaler och flygplatser. Amerikanska kontinenten och större delen av Europa har också de geologiska formationer i jord och sedimentärt berg som möjliggör denna lagringsteknik.

System med akviferlager är kommersiella i USA, Kanada, Holland, Belgien, Japan och även i Sverige. Pay-off-tider på två till sex år uppnås och är bättre än jämförbara konventionella alternativ som kylmaskiner och värmecentraler. Lagringen sker genom grupper av varma och kalla brunnar som förs ned till 20-100 m djup. Kallt grundvatten kyler lokaler och industriprocesser på sommaren och det uppvärmda vattnet lagras sedan till vintern.

Lagring i akviferer med höga temperaturer upp till hundra grader Celsius har provats i pilotskala men svårigheterna med vattenkemin, utfällningar, igensättningar i brunnar och värmeförluster är ännu inte tillfredsställande lösta. Användningsområden för dessa varmare lager är solvärme, kraftvärmeproduktion, spillvärme och andra energikällor med höga temperaturer. Sverige har svarat för flera milstolpar i utvecklingen av andra UTES-tekniker som t ex markvärmelager.

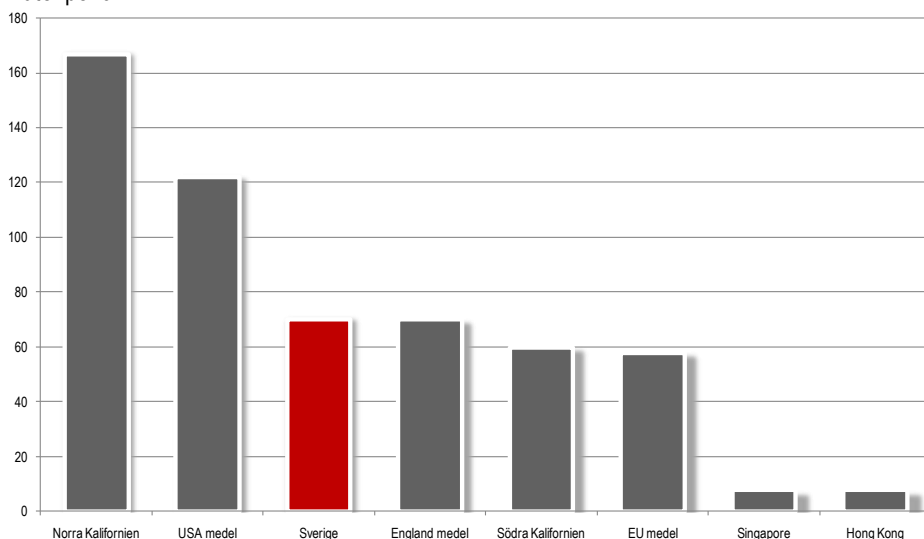
¹⁴⁹ IEA, 2005, Prospects on Hydrogene and Fule Cells

Energilagring i olika ämnen genom så kallad fasomvandling - mellan smält och fast form - är en sedan länge känd och kommersiell teknik. Det vanligaste av dessa system är islager för kyla, som vanligen utgörs av vattentankar med rörsystem där isen fryses genom att ett köldmedie cirkuleras. Kyllagren används för att reducera toppbelastningar på elnäten när kylmaskiner i varma länder används flitigt. För korttidsvärmelager är ämnen som salthydrater eller paraffin ett tekniskt alternativ till varmvatten i ackumulatorer. Smältvärmelagren har hög lagringskapacitet per kubikmeter. Tekniken kan till exempel användas för lagring av industriell spillvärme, dygnsutjämning i växthus och elvärmelager. Länder som satsar mycket på fasomvandlingsteknik är USA, Tyskland, Frankrike, England, Polen och Turkiet och framför allt Japan.

Elkvalitet

En stor del av ledningsnäten i världen är konstruktioner som är 50-60 år gamla och i behov av utbyte. Elnäten opereras dessutom i stort på samma sätt som för femtio år sedan trots att behoven och antalet kunder har förändrats dramatiskt. Allt detta bidrar till att tillförlitlighetsproblem fortfarande är mer regel än undantag i stora delar av världen. Mer och fler störande objekt på nätet samtidigt som fler kvalitetskänsliga apparater ansluts gör att elkvalitet blir en allt viktigare aspekt.

Minuter per år



Figur 31: System Average Interruption Duration Index, SAIDI, är ett kundviktat tillförlitlighetsindex. Svensk tätort drabbas varje år av sammanlagt 20 - 25 minuter avbrott, glesbygden 100 - 400 minuter

Elkvalitet har tidigare närmast jämförts med det som brukar kallas **spänningsgodhet**. Ett idealt fungerande elkraftsystem kan grovt beskrivas med att alla anslutna kunder får en förväntad spänning som kännetecknas av alltid vara rent sinusformad och med en

stabil frekvens, amplitud och full symmetri. Alla avvikelser, både långvariga och kortvariga, från detta önskeläge kan beskrivas och karakteriseras med hjälp av olika kvalitetsbristfenomen. Men även begrepp som **strömghodhet** och korta och långa **avbrott** ska inkluderas.

Att hålla hög elkvalitet blir en allt viktigare egenskap hos elnäten när känslig elektronik och datorteknik ansluts. Andra sidan av myntet är dessutom att antalet störande belastningar ökar. Lågenergilampor och industriell automationsutrustning, värmepumparnas kompressorer och i framtiden elbilarnas laddningsaggregat är exempel på objekt som kan försämra elkvaliteten. Nätspänningen skadas när växelströmmens jämna sinusvåg hackas upp med hjälp av **switchad** kraftelektronik, som idag är väldigt vanlig. Elen i vägguttaget blir långt ifrån välformad efter att tyristorer och nätaggregat har satt taggiga spår. Konsekvenserna av att storskaligt ersätta glödlampor med lågenergilampor kan också visa sig kräva investeringar i elsystemet.

Dålig elkvalitet är förenat med höga ekonomiska kostnader. Med det nuvarande systemet innebär det bara i USA mer än 200 mdr USD per år för oplanerade avbrott och fel.¹⁵⁰ Andelen energi som förloras genom avbrott, läckage och stöld uppgår till 10 procent i Amerika och i Europa och mer än 50 procent i vissa stora städer i utvecklingsländerna.¹⁵¹ I allmänhet verkar det dock som om det europeiska elsystemet inte är lika sårbart som det amerikanska. Skälen bedöms vara att ansvarsfördelningen är tydligare och samarbetet mellan olika system fungerar bättre. På elmarknaden har Europa också redan gett efterfrågestyrning större vikt, vilket minskar risken för incidenter som orsakas av obalanser i näten. Den typ av avbrott som kan förväntas i framtiden är de som kommer från den förnybara energiproduktionen, främst vindkraften. Nedan ska vi gå igenom vilka vanliga typer på bristande elkvalitet som finns, vilka konsekvenser det kan få och hur de rättas till:

Avbrott är det mest grundläggande problemet med elkvalitet. Det kan vara från några sekunder upp till i extremfall i månader. I Storbritannien uppgår det totala genomsnittliga strömavbrottet till cirka 70 minuter per år, precis som i Sverige. Men enskilda händelser kan vara mycket korta och mycket mer frekventa. Skydd mot kompletta strömavbrott kräver två typer av åtgärder: installationen måste utformas så att man eliminerar antalet svaga punkter och åtgärder måste vidtas för att analysera behovet av reservkraft.

Dippar är kortsiktiga minskningar av matningsspänning som varar från en bråkdel av en sekund upp till flera sekunder. Dippar och korta avbrott är en ofrånkomlig företeelse och en del av det skyddssystem som elnätet måste ha för att vara säkert. Orsaken kan vara kortslutningar, jordfel, omkopplingar och återinkopplingar av ledningar och transformatorer på olika spänningsnivåer. Åskurladdningar är ofta den primära felorsaken. I

¹⁵⁰ Lawrence Livermore National Laboratory

¹⁵¹ The Economist, 8 oktober 2009

lågspänningsnät och industrinät orsakas dippar även av kortslutningar och inkopplingar av stora motordrifter.

Effekten av en dipp kan vara lika allvarligt som en fullständig blackout, med samma följdskostnader, materialförluster och produktionsbortfall. För datorbaserad verksamhet kan det ta tid att återstarta ett stort antal arbetsstationer och återuppta pågående transaktioner. Kassaterminaler är en typ av datorer som också kan vara känsliga för näddippar.

Transienter är spänningsstörningar med mycket kort varaktighet (upp till några millisekunder) men hög nivå (upp till flera tusen volt) och mycket snabb stigtid. För det mesta uppstår transienter som effekt av blixtnedslag eller omkoppling av tunga eller reaktiva belastningar.

Flimmer är snabba spänningsvariationer som får ljuset att blinka. Frekvensen på blinkningarna ligger normalt mellan 7 och 25 Hz, vilket är det område där det mänskliga ögat är mest känsligt för ljusvariationer. Orsaken är mycket snabba lastvariationer som påverkar spänningen i till exempel ljusbågsugnar, valsverk och svetsar. Flimmer kan spridas över stora geografiska områden kring storkällan, speciellt om nätet är svagt. Störningarna kan minskas genom att stabilisera effektuttaget, men ibland måste ännu effektivare lösningar installeras. **SVC** - Statisk kompensering av reaktiv effekt är en sådan teknisk lösning.

Osymmetri Obalanserade belastningar och ofullständigt transponerade (vridna) högspänningsledningar gör att det blir osymmetri mellan faserna. Det kan orsaka överlaster på växelströmsmaskiner. En strömriktare som snedbelastas kan generera övertoner (se nedan). Konsekvenserna är förkortad livslängd på apparater och eventuellt maskinhaverier. Även här hjälper SVC-tekniken. Med styrd faskompensering kan problemet nästan helt avhjälpas genom att tillföra och avleda reaktiv effekt.

Harmonisk distorsion innebär att kurvformen påverkas av icke-linjära belastningar på elnätet och resulterar i strömmar som är högre än förväntat och innehåller harmoniska frekvenskomponenter. Dessa orsakar kraftigt ökade förluster i transformatorerna på nätet. Eftersom förlusterna är högre blir temperaturen också högre och livslängden begränsas, med medföljande stora ekonomiska konsekvenser. Harmonisk distorsion är *inte* samma sak som övertoner.

Övertoner skapar flera typer av problem, t ex förluster i maskiner och apparater och resonansproblem mellan nätets induktiva och kapacitiva delar. Felfunktioner i styrsystem, störningar i elektronik och datorer, höga strömmar i nollledare och haverier i kondensatorbatterier för faskompensering är andra konsekvenser. Lösningen på problemet är filterteknik av olika slag.

Verkningsgrad Hög verkningsgrad i nätet innebär maximal överföringsförmåga och minimala förluster. Verkningsgraden kan förbättras genom att reaktiv effekt tillförs så nära en förbrukare som möjligt. Det gäller att balansera förhållandet mellan aktiv och

reaktiv effekt. Verkningsgraden kan även förbättras om övertonshalten minskas (se ovan).

Eleffektivitet

*De gamla elsystemen speglar en tid när energi var billig och omsorgen om miljön närmast obefintlig. En konsekvens är att stora delar av världens elnät inte är speciellt effektiva - snarare tvärtom. I brist på balans och i frånvaro av bästa teknik för små överföringsförluster försvinner årligen energi nog att försörja **Indien, Tyskland och Kanada under ett helt år**. Om USA:s elsystem var 5 procent effektivare skulle det motsvara både bränsle och utsläpp av växthusgaser från 53 miljoner bilar.¹⁵² Följaktligen har elnäten även här en uppgift för att göra världens elsystem effektivare.*

Eleffektivitet är ett väldigt enkelt koncept som kanske bäst kan sammanfattas med **att göra mer med mindre**. Fördelen av eleffektivitet är uppenbar, oavsett om man i sitt hushåll försöker spara värme och belysning eller i ett industriföretag ser el som en stor kostnad bland insatsvarorna. Inom industrin står elmotorer för så mycket som 70 procent av all elförbrukning. Därför finns det på flera håll i världen normer för hur mycket el en elmotor får dra. Inom EU är sådana direktiv på gång. Men redan för ett par år sedan¹⁵³ slogs en standard fast i Europa som delar upp motorers verkningsgrad i tre klasser, **IE1, IE2 och IE3**, där den sistnämnda är den effektivaste. På agendan finns även ett utkast på ytterligare en klass, **IE4**. I stort sett minskar förlusterna med 15 procent mellan de olika IE-klasserna. Från sommaren 2011 blir det förbjudet att inom EU sälja eller ta i bruk motorer som är sämre än IE2. Förbudet gäller så gott som alla vanliga motorer inom industrin i effektläget 0,75 till 375 kW. Steg två kommer år 2015. Då ska stora motorer - de över 7,5 kW - klara IE3, medan alla motorer måste nå samma prestanda två år senare. Ytterligare potential för förbättring finns i att varvtalsreglera motorerna i stället för att strypa luft och vätskeflöden genom spjäll och liknande. Det kan minska energiförbrukningen med upp till 65 procent.

Inom EU och USA finns också regler som tvingar fabrikanter av vitvaror för hushåll att deklarerat energiförbrukningen. Andra exempel för hemmen är direktivet för användningen av lågenergilampor som förväntas minska energiförbrukningen i Europa med nära 40 TWh (det motsvarar till exempel all elvärme i Sverige). Även Kalifornien och Australien har restriktioner mot att använda vanliga glödlampor.

En annan spännande teknikutveckling pågår inom ett område som ibland kallas **Micro Level Smart Grid**. Idén går ut på att använda små **trådlösa sensorer** som sprids över till exempel en butiksyta, i en fastighet eller industri. Sensorerna samlar in mängder av mätdata (temperatur, luftfuktighet och ljusintensitet mm) och kan på så sätt beskriva

¹⁵² Enligt IBM

¹⁵³ 2008

ytan i detalj, eller i mikroklimatzoner. Data skickas trådlöst till en server som bearbetar informationen och skickar styrdata till en annan server som styr temperatur och kyla. Detta ”finlir” har visat sig kunna spara så mycket som 30 procent energi i till exempel livsmedelsbutiker. Det japanska företaget **Crossbow** ligger bakom utvecklingen av konceptet som kallas **EcoWizard**.

Termen **effektivitet** är vanligtvis förknippas med hur energi förbrukas hos slutanvändaren, men begreppet effektivitet kan också tillämpas på hur energi produceras och distribueras. I det följande fokuserar vi oss främst på elsystemet, vilket omfattar de flesta användningsområdena utanför trafik/transporter och uppvärmning. El i transportsektorn berörs i slutet av avsnittet.

Den centrala frågan vid mätning av energieffektiviteten är: **Effektivt i förhållande till vad?** Det är därför rimligt att mäta energieffektivitet med någon typ av index eller serieindex för att se relativa förändringar. Nedan följer några exempel på metoder som var och en har sina egna specifika styrkor och svagheter.

Marknadskorg Metoden beräknar energikonsumtionen för en uppsättning av energitjänster (marknadskorg). Enskilda kategorier av energitjänster kontrolleras i förhållande till deras andel i indexet. Denna metod för indexering är en typ av botten-upp-metod. Avsikten är att försöka ta all energianvändning i beaktande.

Comprehensive approach Är ett övergripande sätt att beakta all energianvändning. Mätningen startas med så många indikatorer som möjligt. Över tiden speglas förändringar i beteende, väder, struktur och energieffektivitet. Effekter som är oberoende av förändring i energieffektiviteten tas därefter bort. Denna metod är en typ av top-downstrategi. Det kan liknas med att skala bort alla effekter tills endast resultatet av energieffektiviseringen återstår.

Faktoruppdelning Energianvändningen delas upp i komponenter - verksamhet, strukturella effekter, och intensitet. Varje effekt mäts genom att hålla de andra två konstanta. Metoden är vanlig och används bland annat av **IEA**.

Divisia index kan användas för att bryta ner tidsbaserade trender till olika faktorer, såsom struktur och intensitet. Resultatet kan mäta energibesparing över tiden.

Best practice Enligt detta synsätt utgör skillnaden mellan den genomsnittliga energiåtgången för att producera till exempel ett ton stål med den effektivaste processen. Olika typer av ”best practice” kan användas som referens beroende på vilken typ av analys som utförs. Den kan också användas för att jämföra en enda anläggning eller en enda process inom en verksamhet.

Effektivitet i elproduktionen För att uppskatta vad ökad effektivitet kan betyda är det lämpligt att undersöka det pris vi betalar för ineffektivitet. Ingenstans framstår det så tydligt som i produktionsledet av elektricitet. Processen går ju ut på att ta vara på den latent energin i ett bränsle - kol, gas, uran – och att omvandla den till mekanisk energi

för en generator och slutligen till elektrisk energi. Vindkraft och vattenkraft använder den energin som finns i luft eller vatten för att producera elektrisk energi. Bränsleceller fungerar så att kemiska reaktioner genererar elektrisk energi.

Gemensamt för alla processer är att en del av den tillförda energin går förlorad. Produktionseffektiviteten varierar kraftigt beroende på vilken teknik som används. I ett traditionellt kolkraftverk, till exempel, blir endast cirka 30-35 procent av energin i kolet i slutänden elektricitet. Så kallade "superkritiska" kolkraftverk kan nå effektivitetsnivåer runt 40 procent och kombicykelkraftverk, **IGCC**, kan nå effektivitet på över 60 procent. De mest effektiva gaseldade kraftverken kan också vara ungefär lika effektiva. Men även vid 60 procent effektivitet stannar en enorm mängd energi kvar i produktionsfasen. Det innebär högre tillverkningskostnad samt ett betydande slöseri med begränsade resurser. Det finns alltså stora ekonomiska och ekologiska incitament att förbättra effektiviteten i kraftproduktionen. Nu finns det en mängd olika sätt att förbättra verkningsgraden i kraftverk, till exempel att optimera förbränningen med hjälp av moderna styrsystem. Men eftersom fokus på den här rapporten är kraftöverföring ska vi koncentrera oss på den delen av elsystemet.

Effektivitet i kraftöverförings- och distributionsnäten När elektrisk energi alstras måste den omedelbart transporteras till de platser där den kommer att användas. Detta kallas transmission och innebär att stora mängder elkraft skickas långa sträckor. Det är skilt från distributionen. Eldistribution definieras vanligen igenom att de innefattar transformatorstationer och matningar som tar kraften från högspänningsnätet och gradvis stegar ner spänningen för att den så småningom ska nå våra hem och arbetsplatser.

Längs vägen förloras en del av den energi som ursprungligen levererats på grund av motstånd i ledningar och annan utrustning som elen passerar. Merparten av denna energi omvandlas till värme. Generellt sett är förlusterna mellan 6 och 8 procent. Det är möjligt att räkna ut vad detta innebär i kostnader genom att se på skillnaden mellan den mängd elektrisk energi som genereras och den mängd som säljs i distributionsledet. I USA var enligt **Energy Information Administration** transmissions- och distributionsförlusterna 239 miljoner MWh, vilket motsvarade 6,1 procent av nettoproduktionen år 2005. Om man multiplicerar den siffran med det nationella genomsnittspriset på el det året kan man beräkna förlusterna till ca 19,5 mdr USD.¹⁵⁴

Kapacitetsbrist på elnätet utgör en betydande del av ineffektiviteten i systemen men avges endast delvis av de fysiska egenskaperna hos själva nätet. Kapacitetsunderskott uppstår när det planerade eller faktiska flödet av el begränsas antingen genom fysiska begränsningar på en viss enhet eller av att säkerhetssystemen sätter gränser för att skydda utrustningen. För att möta efterfrågan måste då den balansansvarige hitta en alternativ kraftkälla på en geografiskt fördelaktig position, för att undvika elbrist. Alternativ

¹⁵⁴ ABB, 2007, Energy Efficiency in the Power Grid

generering kommer alltid att vara mindre ekonomisk och därför mindre effektivt ur ett marknadsperspektiv. Ett mer robust transmissions- och distributionssystem ökar möjligheten för att olika typer av effektiv produktion ska kunna konkurrera med varandra, vilket gynnar marknaden som helhet. Som exempel anger Kaliforniens motsvarighet till Energimarknadsinspektionen i Sverige att kapacitetsbristkostnaderna på näten var 1,1 mdr USD 2004, 0,67 mdr USD 2005 och ca 0,5 mdr USD år 2006. Kostnaden för ineffektivitet i transmissions- och distributionssystem är alltså betydande.

Att förbättra effektiviteten i distributionssystemet kan vara mycket framgångsrikt under förutsättningen att åtgärder vidtas systematiskt och i större omfattning. Att till exempel ersätta äldre distributionstransformatorer kanske ger några få procent bättre verkningsgrad per styck, men adderat till ett helt land eller region blir det snabbt mycket stora effekter. I Europa och USA tillsammans, finns närmare 100 miljoner sådana transformatorer.

Det finns andra initiativ när det gäller distributionstekniken, men om vi koncentrerar oss på de åtgärder som har störst förbättringspotential kommer vi oundvikligen in på området för krafttransmission. Det finns en mängd tekniker som redan har införts, och ännu mer som ännu inte uppnått full kommersiell standard. I det följande berör vi dem kortfattat (**se också avsnittet om Super Grids**).

HVDC De flesta transmissionsnät är byggda för principen med högspänd växelström (HVAC). Likströmsöverföringar (HVDC) ger stora fördelar jämfört med växelströmstekniken - ca 25 procent lägre linjeförluster, två till fem gånger högre kapacitet än hos en AC-linje vid motsvarande spänning. Dessutom ger det möjlighet att exakt styra kraftflödet. Historiskt sett har tekniken varit begränsad till de verkligt långa kraftöverföringarna på grund av de höga kostnaderna för terminalstationerna i varje ände. Men med införandet av en ny typ av HVDC-teknik - **VSC HVDC**¹⁵⁵ - blir kostnaderna lägre och tekniken möjlig att applicera även för kortare distanser.

FACTS är en förkortning av **Flexible AC Transmission Systems** och utgörs av en familj av kraftelektronikprodukter. Kanske den mest uppenbara fördelen med den här teknologin är att befintliga växelströmsledningarna kan belastas hårdare utan att risken ökar för störningar i systemet (se även avsnittet om Elkvalitet). Kraftindustrins erfarenheter har visat att FACTS-utrustning kan öka överföringskapaciteten med 20 – 40 procent.

Gasisolerade ställverk De flesta utomhusställverk i form av understationer lägger beslag på ganska stora markområden. Därför är det inte lämpligt att placera dem på dyrbara tomter med centrala lägen - där de faktiskt borde vara placerade. När energiflödet igenom en transformatorstation växlas ner till lägre spänning går energi förlorad. Likaså när den passerar brytare, frångiljare och annan utrustning. Effektiviteten i lågspän-

¹⁵⁵ Utvecklad av ABB.

ningsledningarna som leder ut från transformatorstationen är också klart lägre än på högspänningssidan. Om strömmen skulle kunna överföras vid högre spänning till en transformatorstation som ligger närmare slutförbrukarna skulle betydande effektivitetsvinster vara möjliga. I gasisolerade stationer kapslas utrustningen in i ett tätt metallhölje. Luften inuti ersätts med en speciell inert gas som gör att alla komponenter kan placeras betydligt närmare varandra utan risk för överslag. Resultatet är att det nu är möjligt att bygga en transformatorstation i till exempel källaren på en fastighet eller i andra trängre utrymmen. Högspänningstekniken kan på så sätt utnyttjas så långt/nära som möjligt, till förmån för energieffektiviteten.

Supraledare Supraledande material, vid eller nära temperaturen för flytande kväve, har förmågan att leda el med nära nog inget elektriskt motstånd. Så kallade högtemperatur-supraledande (HTS) kablar är nu under utveckling. De kräver fortfarande viss kylning, men de kan bära tre till fem gånger så mycket energi som traditionella kablar. Förlusterna i HTS-kablar är också betydligt lägre än förlusterna i konventionella kablar och linor, även om kylkostnaderna räknas in. Supraledande material kan också användas för att ersätta kopparlindningarna i transformatorer. Det kan minska förlusterna med så mycket som 70 procent i jämförelse med dagens anläggningar.

Wide Area Monitoring System En stor del av kraftöverföringssystemet skulle kunna belastas högre om det inte vore för att höga tillförlitlighetsmarginaler är nödvändiga. Om nätet kunde övervakas i realtid, och mycket exakt, skulle dessa begränsningar kanske kunna tas bort. Ett pedagogiskt exempel handlar om att ledningarna töjs när de blir varma. Under olyckliga omständigheter kan de då komma i kontakt med träd eller andra jordade föremål med avbrott som följd. Med **WAMS** är till exempel termisk linjeövervakning möjligt. Genom att hålla reda på en specifik lednings termiska gränser kan man öka belastningen under helt kontrollerade former.

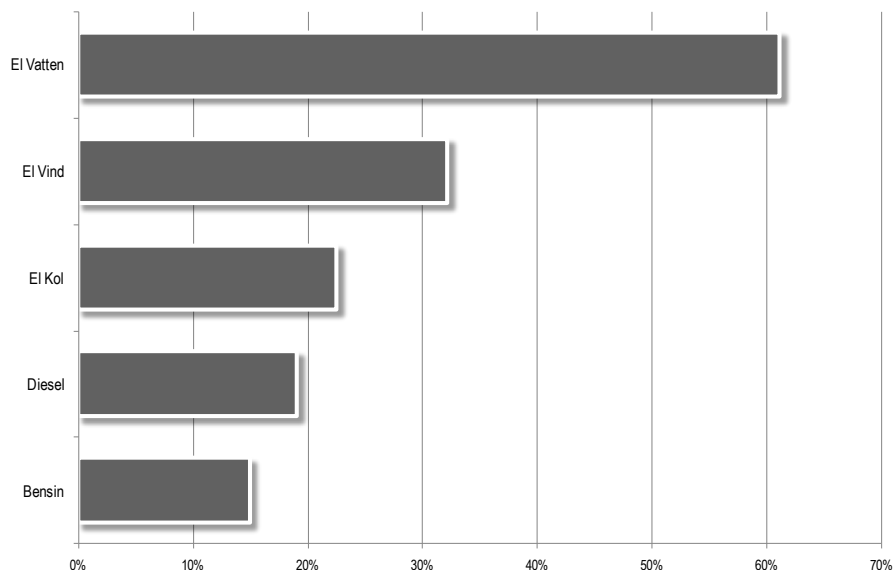
Den möjliggörande teknik som vi har beskrivits ovan är bara exempel på många fler tillgängliga alternativ för att förbättra energieffektiviteten i elnäten. På andra ställen i denna rapport förekommer till exempel:

- Distribuerad Elproduktion och Mikronät
- Distributionsnät i form av nedgrävda kablar
- Energilagring
- Högre driftspänning i kraftöverföringen
- Spänningsoptimering med hjälp av reaktiveffekt-kompensering
- Transformatorer med Kraftelektronik
- Distributions Automation
- Optimerade Underhållsplaner
- Bättre Effektfaktor
- Smarta Mätare
- Smarta Hem och fastigheter

Effektiva transporter med elektricitet En väsentlig uppgift för det smarta elnätet är att leverera ett alternativ till de fossila fordonbränslena. Av den anledningen är det intressant att jämföra elektricitet med andra typer av drivmedel. Slutsatsen i studier av det slaget visar oftast att den totala effektiviteten är överlägset högst i elsystemet. Att det elektriska drivsystemet som helhet är mer energieffektivt beror dels på att det har betydligt färre rörliga delar, som gör att friktionsförlusterna blir små. Elmotorn går inte heller på tomgång när bilen står stilla och det är möjligt att ta till vara energi genom regenerativ bromsning. Mest betydelsefullt är dock att elektricitet är en högkvalitativ form av energi som på ett mycket ordnat sätt driver elmotorn, till skillnad från den mer kaotiska termisk-kemiska energiprocess som ser till att röra kolvarna i en förbränningsmotor.

Moderna oljeraffinaderier är mycket energieffektiva - i grunden beror det på att destillationen och separationen av råolja till andra produkter behöver tillskottsenergi men inte kräver att råvaran i sig själv bränns. Ytterligare energi går åt vid katalytisk krackning i hög temperatur och tryck, vilket är nödvändigt för att konvertera tunga, långa kedjor av kolvätemolekyler till de lättare komponenter som finns i bensin. Slutligen måste det flytande bränslet distribueras via rörledning och/eller tankbil. Effektiviteten i processen med oljeraffinering är enligt USA:s Department of Energy respektabla 83 procent.

När det gäller produktion av elkraft i konventionella kraftverk för kol, olja eller naturgas är verkningsgrader i närheten av 80 procent mycket fjärran. Kondenskraftverk för kol eller naturgas har typiska verkningsgrader mellan 30 och 40 procent. För kraftvärmeverk som också producerar fjärrvärme blir siffran totalt över 90 procent. För jämförelsen kan också nämnas att kärnkraftverkens verkningsgrad är omkring 30 procent och vattenkraftens 90 procent.



Figur 32: Energiverkningsgrad för el respektive flytande drivmedel, från produktion till bilens drivhjul. Källa: Blue Institute

När el transporteras uppstår också energitapp i ledningarna, som beskrivits tidigare. Baserat på dessa antaganden går det att jämföra det elektriska systemet med flytande bränslen, hela vägen från produktionen till bilen på vägen.

Slutsatsen är att trots låg verkningsgrad i kol och naturgaskraftverk kan elsystemet vara upp till 60 procent mer effektivt än de flytande bränslena med förbränningsmotorer. Multipliserat på en miljard bilar blir vinsten betydande. Om elbilarna kan drivas med elkraft från vatten eller vind blir effektivitetsvinsten uppåt fyra gånger jämfört med bensinbilen. Bland annat därför är länder som Sverige lämpliga marknader för att demonstera både smarta elnät och elbilar.

Lathund över teknik i Smarta Elnät

Teknik	Beskrivning	Kommersialisering
<i>Aktiv Koordinerad Effektflödesstyrning. Unified Power Flow controllers (UPFCs)</i>	Koordinering av effektflödena (aktiva och reaktiva) i transmissionssystemen har potential att bli en viktig del av systemens reglering. Det kan ske med mekaniska brytare eller kraftelektronik (FACTS, HVDC). Det medger hög nominell överföringskapacitet eftersom lasten vid problem eller nödlägen snabbt kan regleras. Samtidigt kan systemspänningen stabiliseras och transmissionsförlusterna minimeras. Okoordinerad kontroll av kraftflödet kan däremot skapa suboptimala driftsituationer.	Tekniken är kommersiellt tillgänglig och börjar användas. Men tillämpning handlar lika mycket om regelverk och gränsöverskridande samarbeten.
<i>Distribuerad kraftgenerering (DG)</i>	Mindre och distribuerade (lokala) generatorer gör att kraftkällan kan placeras nära förbrukaren. På så sätt minskar behovet av att överföra kraft på nätet. Distribuerad kraft kan vara av traditionell typ som dieselgeneratorer eller små vattenturbiner, alternativt solceller eller små vindkraftverk.	Kommersiellt tillgängliga och etablerade på vissa marknader. Solkraft i till exempel Spanien och Tyskland. Fortsatt etablering handlar till stor del om kostnadsutveckling och regelverk kring lokala inmatningstäriffer och avgifter.
<i>Effektivare dimensionering av kraftledningstornen</i>	Med hjälp av optimering av kraftledningstornen kan överföringskapaciteten ökas.	Denna typ av hjälpmedel är kommersiellt tillgänglig och används allt mer.
<i>Energilagring</i>	Energilagring medger att energi som produceras när förbrukningen på nätet är låg, kan sparas för att användas när efterfrågan är hög - billig energi kan spridas över tiden. Olika typer av energilagrar kan också användas för att öka kontrollen på nätet och elkvaliteten. Tekniker som används är bl.a. dammar, pumpkraftverk, tryckluft, supraledande magnetiska lager (SMES), svänghjul och olika typer av batterier.	Viss teknik används redan, medan till exempel batterier genomgår snabb utveckling som leds av behovet för elbilar. Ekonomin för energilagring förutses därför att i snabb takt bli bättre. Även elbilarnas batterier kan i en framtid komma att användas för elnätets behov av kapacitetsutjämning.

Teknik	Beskrivning	Kommersialisering
<i>Flexibla Växelströmsöverföringssystem (FACTS)</i>	FACTS-utrustning använder sig av kraftelektronik för att förbättra styrning och effektiviteten vid högspänd växelströmsöverföring. Med hjälp av FACTS kan befintliga kraftledningar utnyttjas bättre. FACTS består huvudsakligen av de två teknikerna - seriekompensering och shuntkompensering.	Anläggningspriserna är på väg ned i takt med att utvecklingen går framåt, samtidigt som antalet anläggningar i världen ökar i rask takt. Även här var ABB först med att introducera tekniken redan på femtiotalet och har levererat mer än 600 projekt.
<i>Förbättrad apparatövervakning</i>	Många högspänningsapparater som ingår i transmissionssystemen är begränsade av sin termiska karaktäristik. De höga arbetsspänningarna gör direkt temperaturmätning svårtillämpad. Konsekvensen blir att apparaterna av försiktighet inte utnyttjas fullt ut. Resultatet blir lägre överföringskapacitet än nödvändigt. Nya dynamiska givare kan motverka detta.	Ny teknik är kommersiellt tillgänglig som till exempel mäter ledningsförmåga eller baseras på optiska mätprinciper.
<i>Högspänd Likströmsöverföring (HVDC)</i>	HVDC är ett alternativ till högspänd växelström vid kraftöverföring över längre avstånd. Fördelen är bl.a. lägre förluster. Likströmssystem kan också användas för att koppla samman asynkrona växelspänningsnät. Vid krafttransmission över vatten och långa avstånd är HVDC ett fördelaktigt alternativ då återledaren kan utgöras av vattnet själv. Tekniken är i dag tillämpad över hela världen.	Kostnaden för att bygga omformarstationer mellan växelspanning och likspanning minskar i takt med att utvecklingen av kraftelektronik fortgår. Tillsammans med låga förluster gör det tekniken attraktiv. ABB var pionjärer inom HVDC-området.
<i>Intelligenta Operatörshjälpmedel</i>	Ökad grad av automatiserad kontroll och övervakning av transmissionssystemen, går hand i hand med att behoven för manuellt operatörsstöd ökar. Exempel på sådana funktioner kan vara: Varningsystem för tidig varning av oönskade tillstånd, stöd för analys/selektering av stora mängder indata, automatiska manövrar för snabba åtgärder och minimering av operatörsmisslag, reservsystem för kritiska funktioner.	Denna typ av stöd införs succesivt i takt med att tekniken blir kommersiellt tillgänglig. Det pågår omfattande forskning och utveckling, inte minst i Sverige.
<i>Kompositledare</i>	Nya typer av ledningar med kärnor av kompositmaterial i stället för stål, minskar vikten och medger ett större kraftflöde.	Testas kommersiellt, men mer erfarenhet behövs för att optimera kostnad och livslängd.
<i>Modulär Utrustning</i>	Kan ge mer flexibla transmissionssystem som är lätta att ändra och anpassa. En annan konsekvens är att tillgången på reservdelar blir större.	Många standarder existerar redan, men mer arbete behövs inom detta område.
<i>Sex- eller tolvfasöverföring</i>	I stort sett alla växelströmssystem arbetar i dag enligt trefas-principen. Att utveckla sex- eller tolvfassystem skulle innebära att överföringskapaciteten kan öka samtidigt som de elektromagnetiska fälten minskar.	Demonstrationsöverföringar har byggts, men problemet är än så länge höga kostnader och integrationen mot de existerande trefassystemen.

Teknik	Beskrivning	Kommersialisering
<i>Supraledande kablar</i>	Supraledande keramiska kablar kan bära betydligt mer ström än konventionella ledare av samma dimension. Anledningen är att resistansen blir extremt låg. Det kräver dock kylning som gör investerings- och driftkostnaderna höga.	Demonstrationsprojekt finns på flera håll, bl.a. i Danmark. Världens största kommersiella användning hittills planeras i det amerikanska projektet Tres Amigas.
<i>Säkerhet i ITC-systemen - Cybersäkerhet</i>	Digital säkerhet för SCADA-system är ett område av ökad betydelse. I takt med att systemen alltmer baseras på standardprogramvara innebär det att den typiska IT-sårbarheten som förekommer i kontorsmiljö även uppstår i driftkritiska system.	Området är föremål för omfattande forskning.
<i>Trådlös kraftöverföring</i>	Trådlös kraftöverföring som baseras på endera mikrovågor eller laser och solceller är föremål för forskning. En av drivkrafterna är behovet av kraftöverföring från jorden till satelliter.	Praktiska tillämpningar är inte att förvänta inom den närmaste tjugårsperioden. Då för mycket speciella tillämpningar, som inom rymdteknologi.
<i>Ultra Hög Växelspänningsöverföring (UHVAC)</i>	Högspänningsledningar kan transportera mer elkraft än lågspänningsledningar. Fram till i dag har spänningar upp till ca 800 kV använts mer frekvent. Högre spänningar betyder högre behov av rektiv-effektreserver och inducerar även kraftigare elektromagnetiska fält.	Överföring med 1000 kV har byggts i Japan. I Kina har nyligen en 1 100 kV-ledning tagits i drift.
<i>Underjordskablage</i>	Används allt mer i distributionssystemen. För högspänningsöverföring är kostnaden mellan 5 - 10 gånger högre än för traditionell kraftledningsteknik. Den elektriska karaktärstiken gör också att sträckningen begränsas till ca 40 km för växelströmsteknik. För högspänd likströmsöverföring finns inte dessa begränsningar i samma utsträckning. Utvecklingen mot effektivare isoleringsmaterial går snabbt framåt och innebär att kablarna kan göras mindre och smidigare.	Används mest i tätbefolkade områden. Forskning pågår för att förbättra och förbilliga tekniken.

Teknik	Beskrivning	Kommersialisering
<i>Wide Area Monitoring System (WAMS)</i> <i>Phasor Measurement Units (PMU), Fasvektormätning</i>	Ny givarteknologi och bredbandskommunikation mellan transformatorstationer och driftcentraler ger möjlighet att utveckla övervakningssystem som arbetar i realtid vad gäller kraftsystem- och apparatstatus. Traditionella övervakningssystem kan mäta storheter som spänning och ström men inte samordnad mätning av parametern fasvektor (ett komplext tal som representerar amplituden och fasen av en sinuskurva) som ger värdefull information om tillståndet i nätet. Med hjälp av s.k. PMU:er mäts fasvinkeln på olika ställen i nätet och kan jämföras på ett koordinerat sätt med tidssynkning från GPS-systemet. Systemet kan optimera nätet så att mer effekt kan överföras och fel detekteras tidigt.	Sedan några år finns WAMS-tekniken tillgänglig och installerad på ett antal ställen runt om i världen. ABB är en av leverantörerna.

VINNOVAs publikationer

Februari 2011

För mer info eller för tidigare utgivna publikationer se www.VINNOVA.se

VINNOVA Analys

VA 2011:

- 01 Smart ledning - Drivkrafter och förutsättningar för utveckling av avancerade elnät
- 02 Framtid med växtverk - Kan hållbara städer möta klimatutmaningarna?

VA 2010:

- 01 Ladda för nya marknader - Elbilens konsekvenser för elnät, elproduktionen och servicestrukturer
- 02 En säker väg framåt? - Framtidens utveckling av fordonssäkerhet
- 03 Svenska deltagandet i EU:s sjunde ramprogram för forskning och teknisk utveckling - Lägesrapport 2007 - 2009. *Finns endast som PDF. För kortversion se VA 2010:04*
- 04 SAMMANFATTNING av Sveriges deltagande i FP7 - Lägesrapport 2007 - 2009. *Kortversion av VA 2010:03*
- 05 Effektanalys av stöd till strategiska utvecklingsområden för svensk tillverkningsindustri. *För kortversion på svenska respektive engelska se VA 2010:06 och VA 2010:07*
- 06 Sammanfattning - Effektanalys av stöd till strategiska utvecklingsområden för svensk tillverkningsindustri. *Kortversion av VA 2010:05, för engelsk kortversion se VA 2010:07*
- 07 Summary - Impact analysis of support for strategic development areas in the Swedish manufacturing industry. *Engelsk kortversion av VA 2010:05, för svensk kortversion se VA 2010:06*
- 08 Setting Priorities in Public Research Financing - context and synthesis of reports from China, the EU, Japan and the US
- 09 Effects of VINNOVA Programmes on Small and Medium-sized Enterprises - the cases of Forska&Väx and VINN NU. *För svensk kortversion se VA 2010:10*
- 10 Sammanfattning - Effekter av VINNOVA-program hos Små och Medelstora Företag. Forska&Väx och VINN NU. *Svensk kortversion av VA 2010:09*
- 11 Trämanufaktur i ett uthålligt samhällsbyggande - Åtgärder för ett samverkande innovationssystem. *Finns endast som PDF*

VINNOVA Information

VI 2011:

- 01 Framtidens personresor - Projektkatalog
- 02 Miljöinnovationer - Projektkatalog
- 03 Innovation & Gender

VI 2010:

- 01 Transporter för hållbar utveckling
- 02 Fordonsstrategisk Forskning och Innovation FFI
- 03 Branschforskningsprogrammet för skogs- och träindustrin - Projektkatalog 2010
- 04 Årsredovisning 2009
- 05 Samverkan för innovation och tillväxt. *För engelsk version se VI 2010:06*
- 06 Collaboration for innovation and growth. *För svensk version se VI 2010:05*
- 07 Cutting Edge. *Kinesiskt/engelskt VINNOVA Magasin*
- 08 Vinnande tjänstearbete - Tio forsknings- & utvecklingsprojekt om ledning och organisering av tjänsteverksamhet. *Finns endast som PDF*
- 09 NO WRONG DOOR Alla ingångar leder dig rätt - Erbjudande från nationella aktörer till SMF - Små och Medelstora Företag
- 10 Därför behöver Sverige en innovationspolitik
- 11 Omställningsförmåga & kompetensförsörjning - Projektkatalog. *Finns endast som PDF*
- 12 Smartare, snabbare, konvergerande lösningar - Projektkatalog. Adresserar området IT och data/telekommunikation och ingår i IKT-programmet "Framtidens kommunikation"
- 13 Mobilitet, mobil kommunikation och bredband - Projektkatalog. Branschforskningsprogram för IT & telekom

VINNOVA Policy

VP 2010:

- 01 Nationell strategi för nanoteknik - Ökad innovationskraft för hållbar samhällsnytta
- 02 Tjänsteinnovationer för tillväxt. Regeringsuppdrag - Tjänsteinnovationer. *Finns endast som PDF*

VINNOVA Rapport VR 2011:

- 01 Hundra år av erfarenhet - Lärdomar från VINNVÄXT 2001 - 2010

VR 2010:

- 01 Arbetsgivarringar: samverkan, stöd, rörlighet och rehabilitering - En programuppföljning
- 02 Innovations for sustainable health and social care - Value-creating health and social care processes based on patient need. *För svensk version se VR 2009:21*
- 03 VINNOVAs satsningar på ökad transportsäkerhet: framtagning av underlag i två faser. *Finns endast som PDF*
- 04 Halvtidsutvärdering av TSS - Test Site Sweden - Mid-term evaluation of Test Site Sweden. *Finns endast som PDF*
- 05 VINNVÄXT i halvtid - Reflektioner och lärdomar. *För engelsk version se VR 2010:09*
- 06 Sju års VINNOVA-forskning om kollektivtrafik - Syntes av avslutade och pågående projekt 2000 - 2006. *Finns endast som PDF. För kortversion se VR 2010:07*
- 07 Översikt - Sju års VINNOVA-forskning om kollektivtrafik. *För fullversion se VR 2010:06*
- 08 Rörlighet, pendling och regionförstoring för bättre kompetensförsörjning, sysselsättning och hållbar tillväxt - Resultatredovisning från 15 FoU-projekt inom VINNOVAs DYNAMO-program
- 09 VINNVÄXT at the halfway mark - Experiences and lessons learned. *För svensk version se VR 2010:05*
- 10 The Matrix - Post cluster innovation policy
- 11 Creating links in the Baltic Sea Region by cluster cooperation - BSR Innonet. Follow-up report on cluster pilots
- 12 Handbok för processledning vid tjänsteutveckling
- 13 På gränsen till det okända. Utmaningar och möjligheter i ett tidigt innovationsskede - fallet ReRob. *Finns endast som PDF*
- 14 Halvtidsutvärdering av projekten inom VINNPRO-programmet. VINNPRO - fördjupad samverkan mellan forskarskolor och näringsliv/offentlig sektor via centrumbildningar. *Finns endast som PDF*
- 15 Vad gör man när man reser? En undersökning av resenärers användning av restiden i regional kollektivtrafik
- 16 From low hanging fruit to strategic growth - International evaluation of Robotdalen, Skåne Food Innovation Network and Uppsala BIO

- 17 Regional Innovation Policy in Transition - Reflections on the change process in the Skåne region. *Finns endast som PDF*
- 18 Uppdrag ledare - Om konsten att bli en bättre centrumföreståndare
- 19 First evaluation of CTS - Centre for Transport Studies and LIGHTHOUSE. *Finns endast som PDF*
- 20 Utvärdering av FLUD - Flygtekniskt utvecklings- och demonstrationsprogram. Evaluation of the Swedish Development and Demonstration Programme in Aeronautics
- 21 VINNOVAs utlysningar inom e-tjänster i offentlig verksamhet 2004 och 2005 - Kartläggning av avslutade projekt
- 22 Framtidens personresor - En utvärdering av programmets nytta, relevans och kvalitet. *Finns endast som PDF*

Produktion & layout: VINNOVAs Kommunikationsavdelning

Omslag: Anders Gunér, www.guner.se

Tryck: Edita Västra Aros AB, Västerås, www.edita.se

Februari 2011

Försäljning: Fritzes Offentliga Publikationer, www.fritzes.se

Smarta, avancerade elnät kompletterar elledningar med informations-teknik, smarta sensorer, digital mätutrustning och kommunikationsnät. De är möjliggörare för den gröna ekonomin och en förutsättning för att förnybar energi ska kunna ersätta de fossila bränslena. Utvecklingen får stora konsekvenser och revolutionerar elmarknaden när det ges utrymme för nya affärsmodeller och aktörer. Avancerade elnät är en affärsmöjlighet för många olika typer av företag – inte bara de inom den traditionella elbranschen – och svensk exportindustri har goda förutsättningar för att bli framgångsrika.

ISBN 978-91-86517-29-8, ISSN 1651-355X



VERKET FÖR INNOVATIONSSYSTEM – SWEDISH GOVERNMENTAL AGENCY FOR INNOVATION SYSTEMS

VINNOVA, SE-101 58 Stockholm, Sweden Besök/Office: Mäster Samuelsgatan 56
Tel: +46 (0)8 473 3000 Fax: +46 (0)8 473 3005
VINNOVA@VINNOVA.se www.VINNOVA.se