



Överföring och lagring av energi

EN FAKTARAPPORT INOM IVA-PROJEKTET ENERGIFRAMSYN SVERIGE I EUROPA

Utgivare Kungliga ingenjörsvetenskapsakademien, IVA

Bearbetning Miljöordet, Anne Laquist

Grafisk form Stefan Lundström, Blue media AB

Tryck Multitryck, Eskilstuna, 2002.

För tryckning och distribution ansvarar Statens energimyndighet.

Rapporterna kan beställas från Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna och via hemsidan www.stem.se

Innehåll

Sammanfattning.....	2
Överföring och lagring – nya tekniker för el och gas.....	3
El – förbrukning och försörjning	3
Gas – förbrukning och försörjning	5
Olika energigaserna	5
Överföring och lagring av elektrisk energi	6
Överföring med växelström	6
Stamnätets flaskhalsar	7
Flaskhalsar mot grannländerna.....	9
Överföring med högspänd likström	9
Ny flexibel teknik	10
Markkabel eller luftledning	10
Energilagring i elektriska kraftsystem	12
Obalanser och elkvalitet	12
Gas – överföring och lagring.....	14
Rörtransport.....	14
Fartygstransport	15
Olika typer av gaslager	16
Bil- och järnvägstransport.....	17
Framtida samspel mellan el och gas.....	18
Referenslitteratur	20

Sammanfattning

På 20 års sikt kommer inga drastiska förändringar att ske i överföringssystemet för el. Transmissionskapaciteten kommer huvudsakligen att byggas ut mellan de nordiska länderna och mellan Norden och övriga Europa. I särskilt känsliga miljöer kommer luftledningarna till viss del att ersättas av kabel. Elsystemet kommer att utnyttjas effektivare genom att övervakning och styrning förbättras med hjälp av komponenter som reglerar spänning och effekt.

Det är troligt att infrastrukturen för gas i Sverige byggs ut och att det blir vanligare att använda gas för småskalig elproduktion och energilagring. Vätgasen får ökad betydelse som energibärare för el från förnybara energikällor. Det gäller vid såväl energilagring som energitransport och miljövänlig energianvändning.

Denna faktaöversikt begränsas till överföring och lagring av elektrisk energi och gas. Överföring av fjärrvärme/fjärrkyla samt transport av kol och olja och andra fossila bränslen liksom transportsektorns förbrukning av energi diskuteras däremot inte.

Rapporten behandlar förhållandena i Sverige och tar upp nuläget samt vilken utveckling som kan förväntas under de närmaste åren.

Den som söker mer utförliga fakta hänvisar vi till Energimyndigheten, Elforsk, Svenskt Gastekniskt Center samt internationella organisationer som EU, CIGRE och Eurogas. (Se referenslistan sist i rapporten.)

Rapporten har författats av Åke Ekström, KTH, Ulf Moberg, Svenska Kraftnät, och Martin Valleskog, Nova Naturgas AB, med Åke Ekström som huvudansvarig.

Synpunkter på rapporten har inhämtats via projektets hemsida.

Åke Ekström är civilingenjör vid KTH elektro 1957 och har haft sin huvudsakliga verksamhet vid ASEA/ABB fram till pensioneringen 1999. Han var under 1970- och 1980-talen tekniskt ansvarig för HVDC inom ASEA och var under 1990-talet ansvarig för samordning av teknisk forskning och utveckling inom ABBs segment för transmission och distribution. Han är sedan 1986 professor i högeffektelektronik vid KTH.

Ulf Moberg är civilingenjör och arbetar sedan 1989 med frågor inom områdena nätplanering och kraftsystemanalys. Han anställdes på Vattenfall 1988 och kom 1992 till Svenska Kraftnät, där han sedan 1998 är chef för enheten Kraftsystemanalys.

Martin Valleskog är civilingenjör vid KTH 1967, värmeteknisk gren. Han har arbetat med energifrågor inom sektorerna industri och fjärrvärme/kraftvärme genom anställningar vid Electro-Invest och Götaverken/Maskinverken samt är sedan 1989 verksam inom gasbranschen hos Nova Naturgas med bl a ansvar för forsknings- och utvecklingsverksamhet.

Författarna ansvarar själva för innehållet i rapporten.

Överföring och lagring

– nya tekniker för el och gas

Förbättrad energiöverföring och utveckling av kostnadseffektiva energilagringmetoder är nödvändiga för att möta marknadens behov av konkurrenskraftig energi som uppfyller höga miljökrav. Vätgasen kan i framtiden få stor betydelse som energibärare vid elproduktion från förnybara energikällor.

Elektrisk energi skapas från en rad olika energikällor: vatten, uran, vind, kol, gas m.m. Den produceras i vatten-, kärn-, vind-, kol- respektive gaskraftverk – ofta långt från de områden där den stora förbrukningen sker. Det är därför nödvändigt att kunna överföra energin över stora avstånd.

Då det ibland dessutom är önskvärt att kunna generera energi med andra dygns- och årstidsvariationer än variationerna i den aktuella förbrukningen, finns det behov av att kunna lagra energi på ett kostnadseffektivt sätt. Om lagring kan ske nära förbrukningsstället, minskar kraven på överföringskapacitet vilket även ger fördelar vad gäller leverans- och spänningskvalitet.

Lagring av stora mängder elektrisk energi är dock relativt dyrbart och ger ökade förluster, varför genereringen av elektrisk energi i Sverige normalt anpassas till aktuell förbrukning genom reglering av befintliga vattenmagasin.

Gas är för både överföring och lagring av stora energimängder mer effektiv som energibärare än elektrisk energi. Exempelvis kan man under ett år överföra 5–8 TWh elektrisk energi på en 400 kV ledning jämfört med 100–300 TWh värmeenergi i en gasledning med en meters diameter. Förlusterna är också mindre eller mycket mindre. Dock bör beaktas att maximalt cirka 60 procent av gasens energi kan omvandlas till elektrisk energi med dagens teknik.

Gaslager används också för att säkerställa leveranser till kund vid en eventuell störning av tillförseln av gas.

EL – FÖRBRUKNING OCH FÖRSÖRJNING

Trots stora effektiviseringar förväntas elförbrukningen i de nordiska länderna öka med i genomsnitt 0,7 procent per år fram till 2005. I Sverige beräknas motsvarande ökning bli 0,4 procent per år.

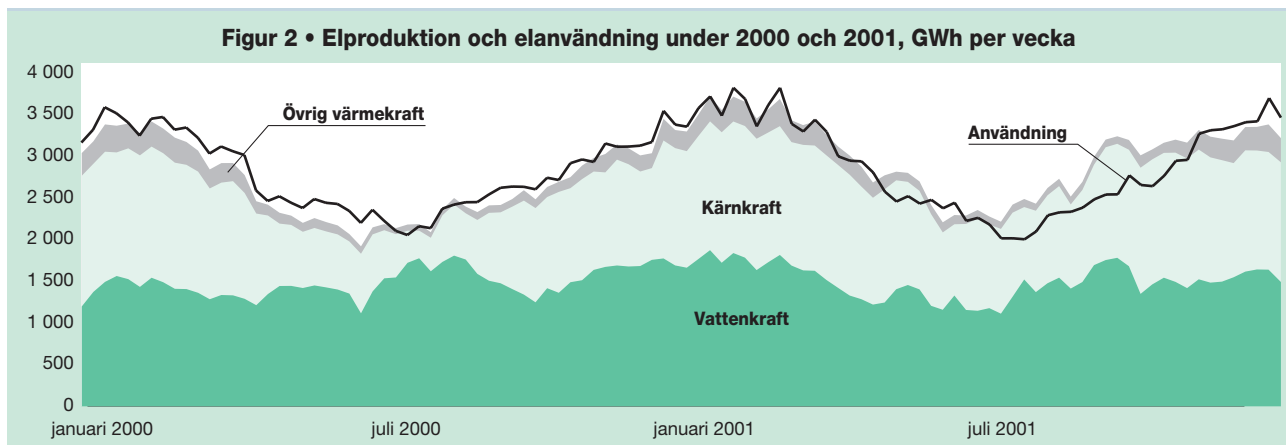
Energiförsörjningen i Sverige skiljer sig från övriga Europas. I Sverige produceras huvuddelen av den elektriska energin med vattenkraft och kärnkraft, medan naturgasen är relativt outnyttjad.

Naturgasen svarade år 2000 för cirka 9 TWh eller drygt 2 procent av Sveriges totala energianvändning på 392 TWh. Detta kan jämföras med den totala elförbrukningen på 144,8 TWh (varav 10,7 TWh i distributionsförluster). I sydvästra Sverige, där infrastrukturen för gas är utbyggd, används naturgas i samma utsträckning som genomsnittet för Europa (23 procent).

Bostäder, service och industri svarar för den huvudsakliga användningen av elenergi i Sverige. Mellan år 1987 och 2000 ökade den totala elanvändningen med 0,5 procent per år. Mest ökade användningen inom bostads- och servicesektorn.

Elförbrukningen varierar kraftigt under året, vilket naturligtvis beror på att en stor del av den elektriska energin till bostäder och service används för uppvärmning. Kärnkraften svarar för den huvudsakliga säsongsmässiga variationen i produktionen, medan vattenkraften används för att reglera kortvariga förbrukningsvariationer när vattenmagasinen så tillåter.

Variationer i effektuttag under dygnsnyckeln är mycket stora, speciellt under vinterhalvåret då en



Elproduktion och elanvändning (GWh/vecka)

Figuren visar den svenska elbalansen vecka för vecka under år 2000 och 2001. Elproduktionen varierar med elanvändningen, vilket innebär att produktionen är hög under vintern och låg under sommaren. Källa: Elmarknaden 2001

temperatursänkning med en grad ger ett ökat effektbehov av cirka 400 MW.

Vindkraften svarar för en mycket liten del av elproduktionen i Sverige. Under år 2000 tillförde den endast 0,3 procent. Vindkraften har därför ännu ingen påverkan på kraven på energilagring och energiöverföring.

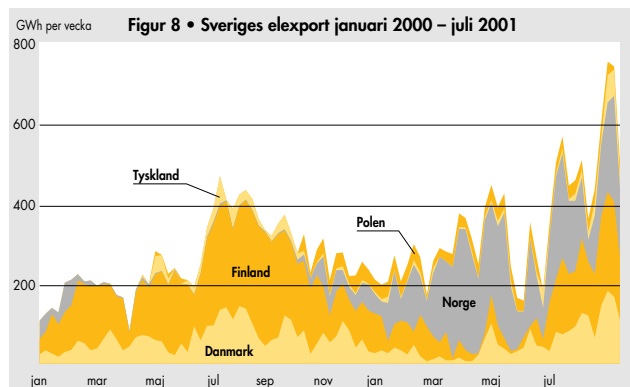
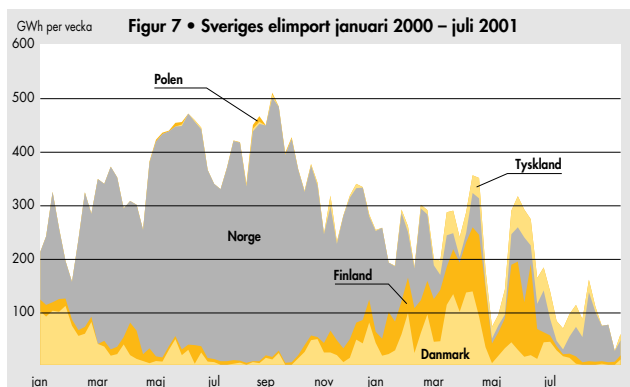
Situationen kan bli helt annorlunda om vind-

kraft introduceras i större skala. Då vi i Sverige har relativt stora vattenkraftmagasin, finns det teoretiskt sett möjligheter att kompensera variationer i vindkraftproduktionen genom att variera produktionen av vattenkraft. Det förutsätter dock att man kan anpassa det befintliga elsystemets produktionsapparat och överföringssystem till dessa variationer.

I länder där en större del av elkraften produce-

Sveriges import och export av el

Under år 2000 förändrades Sveriges handel med el jämfört med tidigare år: Från nettoexport till nettoimport trots riklig tillgång på vatten och hög tillgänglighet i kärnkraftverken. En förklaring är att kraftföretagen börjat anpassa elproduktionen efter elpriset. Största delen av importen kom från Norge. Under 2001 förändrades handelsströmmarna återigen. Importen sjönk och exporten steg jämfört med samma period föregående år. Under sommarveckorna exporterade Sverige främst till Norge men även till Danmark och Finland. Källa: Energiläget 2001



ras med naturgas, t ex i Danmark där den svarar för 20 procent, i Finland där den står för 12 procent och i Tyskland där dess andel är 8 procent – att jämföra med den svenska andelen på 0,5 procent – finns större möjlighet att kompensera variationerna i vindkraften genom att öka elproduktionen med gaskraftverk.

De skilda produktionssätten för el i Sverige och våra grannländer tillsammans med den avreglerade elmarknaden har under senare år resulterat i ett allt större behov av att överföra elenergi mellan länderna. Såväl import som export från Sverige varierar nu kraftigt och väntas fortsätta så framöver, bland annat mot bakgrund av den pågående avregleringen i övriga Europa.

GAS – FÖRBRUKNING OCH FÖRSÖRJNING

Det är troligt att Sverige i ökad omfattning kommer att försörjas med gas i framtiden. Där en rörinfrastruktur efterhand byggs upp kan naturgas, biogas och vätgas samspela, medan flytande gas och gasol beräknas få ökad betydelse på hela marknaden. Det befintliga gasnätet har kapacitet att fördubbla eller trefaldiga tillförseln.

I USA förutser energidepartementet DOE att vätgasen i framtiden får stor betydelse som energibärare från förnyelsebara energikällor. Vätgasens mångsidiga framställning i kombination med dess lagrings- och transportmöjligheter samt miljövänliga användning gör den mycket intressant som energiförsörjare i det framtida samhället.

Utvinningen av biogas kan öka framförallt genom att vallgrödor tillförs rötprocessen. Med välutnyttjad rötningsteknik beräknas energipotentialen i Sverige uppgå till 15–20 TWh per år.

Koksugns- och hyttgas används i vissa stålverk, medan gasol redan är etablerad på den marknad som finns utanför rörinfrastrukturen.

Stadsgasen kan i framtiden ersättas med naturgas.

Olika energigas

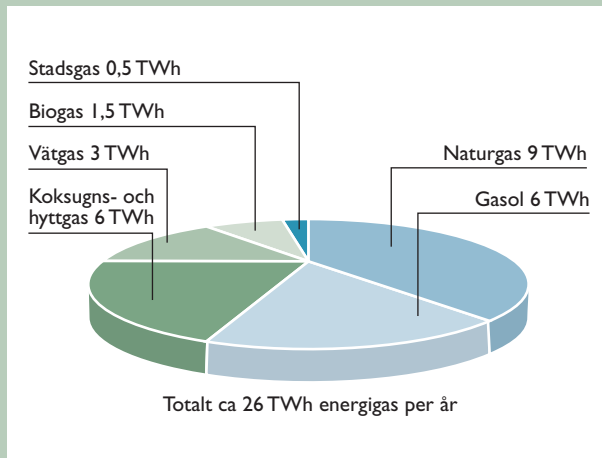
Naturgas består till största delen av den enklaste kolväteföreningen metan. Den utvinns från rena gasfält eller från oljefält där gasen finns inblandad, s k associerad gas. Sedan 1985 importeras naturgas till Sverige från de danska gas- och oljefälten i Nordsjön. Gasen transporteras via det danska nätet till det svenska nätet längs västkusten. Naturgasen används i dag huvudsakligen inom industrin samt för kraftvärmeproduktion.

Gasol består huvudsakligen av de något tyngre kolväteföreningarna propan och/eller butan. Gasol utvinns vid olje- och gasfält och fås som biprodukt vid raffinering av petroleumprodukter. Gasol transporteras i bulk i flytande form vid normal utomhustemperatur med hjälp av ett mindre övertryck. Den har sin huvudsakliga användning inom industrin och som direktdistribuerad flaskgas.

Vätgas är en mycket miljövänlig energikälla, restprodukten vid förbränning består huvudsakligen av vattenånga. Vätgas framställs genom att naturgas ombildas i en särskild process (reformerings) eller genom sönderdelning av vatten med hjälp av el (elektrolys). Dessutom pågår forskning kring en rad andra framställningstekniker.

Biogas används i två former, dels rötgas som framställs i rötchammare av biologiskt avfall, dels deponigas som utvinns via perforerade rör nedlagda i soptippar. Utvinningen kan ökas framför allt genom att vallgrödor tillförs rötprocessen.

Biogasen kan uppgraderas till näst intill ren metan och kan som sådan t ex matas in i naturgasnätet.



Användningen av gas i Sverige

I dag används cirka 26 TWh energigas per år fördelade på drygt 9 TWh naturgas, cirka 6 TWh gasol, cirka 6 TWh koksugns- och hyttgas, cirka 3 TWh vätgas, cirka 1,5 TWh biogas och cirka 0,5 TWh stadsgas.

Överföring och lagring av elektrisk energi

Under den närmaste 20-årsperioden kommer el att överföras på i stort sett samma sätt som i dag och på befintligt nät. Ett ökat nordiskt och europeiskt energiutbyte kommer dock att ställa krav på ökad överföringskapacitet. Utvecklingen av elnätet fokuseras på att minimera de flaskhalsar som redan nu kan identifieras.

Den friare elmarknaden förväntas i framtiden ställa allt högre krav på överföringskapacitet. Detta eftersom avregleringen tros leda till att befintliga produktionsresurser kommer att utnyttjas annorlunda samtidigt som nya produktionsresurser tillkommer, t ex småskalig generering och vindkraft. Den fria marknaden gör att det i dag är svårare än tidigare att överblicka behoven av överföringskapacitet, eftersom elen inte längre produceras och överförs inom ett och samma företag. Då det samtidigt blir allt svårare att få tillstånd för att bygga nya luftledningar, ökar kraven på ett flexibelt system som kan utnyttjas mer optimalt.

Trenden går mot att utnyttja det befintliga systemet mer effektivt med hjälp av förbättrad kommunikation och överordnad övervakning samt mer avancerad kontroll och styrning av effekt och spänning. Med hjälp av dessa åtgärder kan man överföra mer energi på befintliga ledningar. Detta kan även åstadkommas genom förbättrad övervakning av systemet för styrning av spänning och effektflöden.

För miljökänsliga avsnitt i överföringssystemet kan det bli aktuellt att ersätta luftledningar med kablar för växelström. I enstaka fall, beroende på var ny produktion lokaliseras, kan det bli aktuellt med större förstärkningar i form av nya eller ombyggda luftledningar eller kablar. Högsänd likström kan då vara en lösning som är intressant ur såväl kapacitets- som styrnings- och kostnadssynpunkt.

ÖVERFÖRING MED VÄXELSTRÖM

Generering, distribution och förbrukning av elektrisk energi sker i dag i alla länder huvudsakligen med växelström. Fördelen med användningen av växelström i stället för likström är möjligheten att enkelt kunna omvandla effekten från en spänningsnivå till en annan med hjälp av transformatorer.

Utvecklingen av det svenska stamnätet är starkt knuten till vattenkraftens utbyggnad. Under 1930-talet påbörjades ett omfattande program för att bygga ut den norrländska vattenkraften med början i Porjus vid Luleälven. Överföring söderut skedde först med 220 kV.

Det visade sig snart att kapaciteten på ledningar med denna spänning var otillräcklig. Det skulle helt enkelt bli för många ledningar med alltför stora överföringsförluster.

Genom att gå upp i spänning kan ledningsdragningen reduceras betydligt. En 400-kilovoltsledning motsvarar ungefär åtta ledningar med spänningen 130 kV eller 240 ledningar med spänningen 10 kV.

Världens första 400 kilovoltsledning, den 95 mil långa ledningen Harsprånget–Hallsberg, togs i drift 1952. I dag finns fyra 400 kilovoltsledningar från nordligaste Norrland till mellersta Norrland och åtta från mellersta Norrland till Mälardalen.

Kapaciteten på en 400-kilovoltsledning är ofta 800–1 000 MW. Teoretiskt ger det möjlighet att överföra 8–9 TWh. I praktiken ligger utnyttjandet mellan 4 TWh och 5 TWh.

Ledningsnätet för elöverföring är geografiskt vidsträckt. Det täcker hela Norden med överföring på olika spänningsnivåer. Det svenska stamnätet (400- och 220-kilovoltssystemet) består av cirka 16 000 km ledningar. 115 TWh, eller cirka 80 procent av den el vi använder i Sverige, överförs via stamnätet.

Luftledningar för växelström är driftsäkra. Mellan 200 och 300 fel inträffar på stamnätet varje år, de flesta orsakade av åska, men endast ett fåtal leder till elavbrott för kunderna.

Stamnätets huvuduppgift är alltså att göra det möjligt att överföra elenergi över stora avstånd. Från stamnätet transformeras spänningen i flera steg ner till den spänningsnivå där förbrukarna är anslutna. Under stamnätets 400- och 220-kilovoltnät finns regionnät på spänningsnivåerna 130 kV, 70 kV och ibland även 40 kV. Regionnäten ligger i vissa områden parallellt med stamnätet, ibland utgör de radiella förbindelser till förbrukningsområden. Under regionnätet i spän-

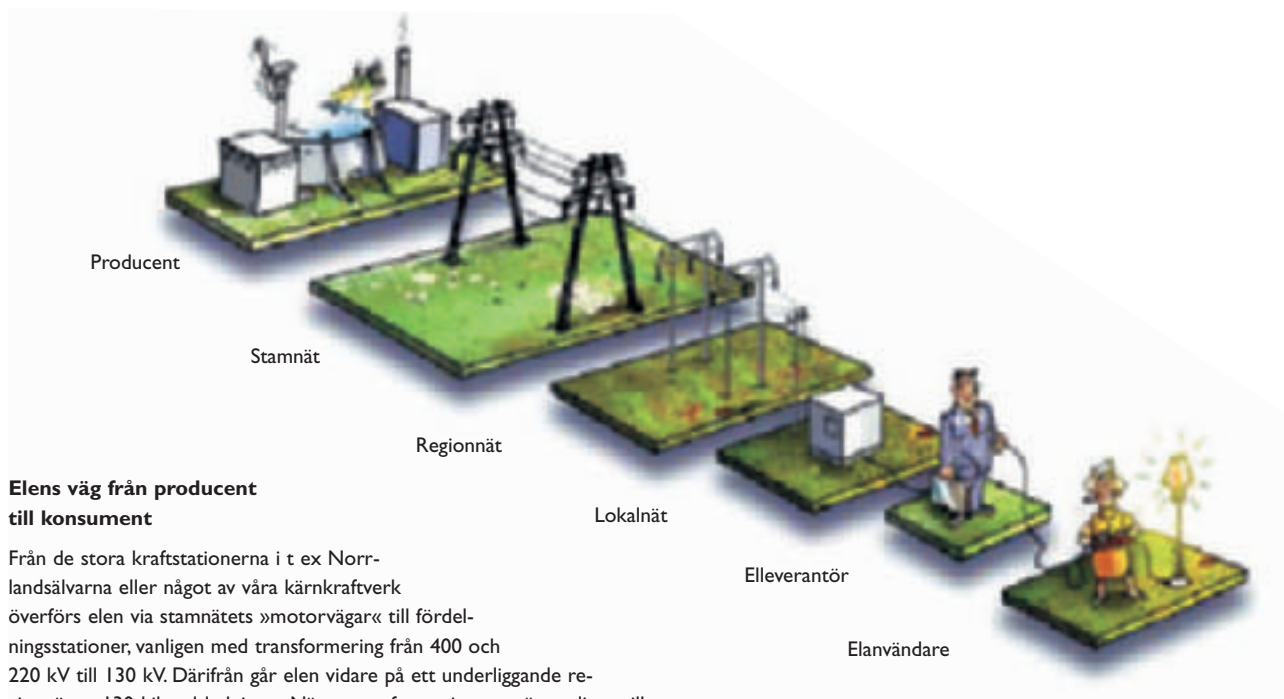
ningsnivå finns lokalnäten från 10 kV ner till 0,4 kV.

STAMNÄTETS FLASKHALSAR

Det svenska överföringssystemet för elektrisk energi är robust och väl utbyggt med en kapacitet som är anpassad efter de behov som den geografiska lokaliseringen av produktion och förbrukning kräver.

Stamnätet byggdes för att tillgodose de behov som fanns internt i Sverige – att överföra elenergin från vattenkraften i norr till stora förbrukningscentra i södra Sverige. Det helt förhärskande överföringsmönstret på stamnätet har varit, och är, i nord-sydlig riktning.

Att dimensionera stamnätet så att det aldrig uppstår några begränsningar är inte samhälls-ekonomiskt försvarbart. Trots anpassningen av stamnätets kapacitet kan det uppstå situationer då överföringssystemet inte räcker till, t ex vid mycket vattenrika år.



Elens väg från producent till konsument

Från de stora kraftstationerna i t ex Norrlandsälvarna eller något av våra kärnkraftverk överförs elen via stamnätets »motorvägar« till fördelningsstationer, vanligen med transformering från 400 och 220 kV till 130 kV. Därifrån går elen vidare på ett underliggande regionnät av 130-kilovoltledningar. Nästa transformeringssteg är vanligen till 40 kV på den finmaskiga lokalnätsnivån. Efter lokalnätet tar distributionsnätet vid med ledningar på 20, 10 och 0,4 kV. För det sista steget mellan distributionsnätet och elanvändarna svarar elleverantören. Källa: Svenska Kraftnät

Kraftnätet i Norden

Det svenska stamnätet omfattar huvudsakligen kraftledningar för 400 och 220 kV, ställverk, transformatorstationer m m, samt utlandsförbindelser för växel- och likström. Kartan visar också de fyra snitten (S1, S2, VKS och S4) där det finns risk för flaskhalsar i överföringen. VKS står för västkustsnittet. Källa: Svenska Kraftnät



Den avreglerade nordiska elmarknaden har inte ändrat på det nord-sydliga överföringsmönstret i Sverige. Vad som tillkommit under år med liten nederbörd är stora överföringar norrut från Danmark och kontinenten till Sverige och Norge. Detta har skapat en ny flaskhals på den svenska västkusten, som under vissa perioder kan vara begränsande.

I stamnätet finns i dag fyra olika sknitt där flaskhalsar i energiöverföringen kan uppstå. Ett snitt består av en eller flera parallella ledningar.

Förutom snittet på västkusten finns tre andra snitt i nord-sydlig riktning. Ett ligger söder om Lule älv och består av fyra parallella 400-kilovoltsledningar med en maximal kapacitet på 2 700 MW. Detta snitt utgör sällan någon begränsning för överföringen på stamnätet.

Ett annat går mellan Ljusnan och Dalälven och består av åtta parallella 400 kilovoltsledningar och tre ledningar på 220 kV. Den maximala kapaciteten är cirka 7 000 MW. Begränsningar på grund av kapacitetsbrist kan inträffa men är inte vanliga.

Det fjärde snittet där det under ogynnsamma förhållanden kan uppstå en flaskhals utgörs av en linje tvärs över Sverige söder om kärnkraftverket i Oskarshamn på ostkusten till söder om kärnkraftverket i Ringhals på västkusten. Detta snitt består av fem ledningar på 400 kV med maximal kapacitet runt 4 500 MW. Snittet har begränsat möjligheten att exportera el till Danmark och kontinenten under ett stort antal timmar under senare år och arbete pågår för att komma till rätta med dessa begränsningar.

Effektöverföringen får under normala omständigheter inte överstiga de ovan angivna värdena för snitten. Svenska Kraftnät, den myndighet som har ansvar för stamnätet, vidtar åtgärder för att värdena inte ska överskridas. Produktionen omfördelas så att kraftverk i norr stoppas och kraftverk i söder startas. Alternativt kan man också öka importen.

Begränsningsåtgärderna medför extrakostnader. Ökad produktionskapacitet i norr får till följd att dessa ingrepp måste göras allt oftare. Risken är därmed stor att vatten måste spillas förbi kraftstationer i norr utan att kunna användas för elproduktion. I förlängningen når man en nivå som innebär att överföringssystemet måste byggas ut med ytterligare 400-kilovoltsledningar.

Tillkommer ny produktion i södra Sverige, kommer det att bidra till att avlasta snitten och minska flaskhalsarna i systemet. Vindkraft utgör härvidlag ett undantag, eftersom man måste reservera kapacitet för de stora variationerna i denna icke reglerbara elproduktion för att kunna balansera systemet.

FLASKHALSAR MOT GRANNLÄNDERNA

Kraftnätet mellan de nordiska länderna byggdes för att möjliggöra utbyte av el då tillgången och efterfrågan varierade inom Norden. Energiutbytet var måttligt både i volym och i tid.

Avregleringen och utvecklingen mot en gemensam nordisk elmarknad har medfört krav på ökad överföringskapacitet. Förbindelsernas kapacitet är nu en förutsättning för en stabil marknad och

prisbildning samt en garant mot elbrist.

Inriktningen i det nordiska förstärkningsarbetet har flyttats från interna, nationella förbindelser till förbindelser mellan de olika länderna.

I framtiden räknar man med att det nordiska energiutbytet ökar samtidigt som en europeisk elmarknad utvecklas. Detta kommer att ställa krav på ökad överföringskapacitet både internt i Sverige och mellan Norden och övriga Europa.

I Norge har man under lång tid diskuterat ett antal HVDC-kablar (högspänd likström, se nedan) till bl a Tyskland, Holland och England. Än har inget av projekten blivit verklighet, men om så sker kommer de att påverka behovet av nätkapacitet i Sverige.

Fortfarande utgör flaskhalsar på kontinenten begränsningar för överföringar till och från Sverige. Till exempel har Baltic Cable, HVDC-förbindelsen mellan Sverige och Tyskland, aldrig kunnat drivas med full kapacitet på grund av begränsningar i det tyska nätet. Inte heller det polska nätet kan överföra mer effekt än vad det gör i dag.

En avgörande faktor för att kunna eliminera flaskhalsar är lokaliseringen av ny produktion i det nordiska kraftsystemet. Var produktionen lokaliseras i framtiden är avgörande för hur stora tillbyggnader som krävs i näten. I Sverige kan man generellt säga att ju längre norrut ny produktion placeras, desto större investeringar kommer att krävas. Tillkommer ny produktion av gaskraft i Norge, vilket diskuterats under lång tid, ökar behovet av överföringskapacitet mellan Norge och Sverige och även internt i Sverige.

ÖVERFÖRING MED HÖGSPÄND LIKSTRÖM

Om elen överförs med likström i stället för med växelström kan kostnaderna för både kablar och luftlinjer bli lägre och den maximala överföringssträckan blir längre. Redan på 1940-talet började man i Sverige studera möjligheten att bygga framtida ledningar med likström i stället för med växelström. Dåtidens teknik för omvandling från växelström till likström var emellertid inte mogen för de stora effekter som krävdes, varför man slutli-

gen valde att bygga ut med 400 kV växelström.

För att föra över elektrisk energi från fastlandet till Gotland var dock avståndet för stort för att använda växelströmskablar. Detta resulterade 1954 i världens första kommersiella överföring med den nya likströmstekniken. En effekt på 20 MW fördes över på en kabel för 100 kV med jorden som återledare.

Sedan dess har ett stort antal kabelöverföringar med högspänd likström (HVDC) tagits i drift, speciellt mellan Sverige och våra grannländer, för effekter upp till 600 MW. En väsentlig faktor för att välja likström har varit att tekniken gjort det möjligt att förbinda växelströmsnät som inte är synkroniserade, exempelvis Sveriges förbindelse med Jylland, Tyskland och Polen. Ett stort antal luftlinjeöverföringar har även byggts runt om i världen. Den största, i Brasilien, klarar en överförd effekt av totalt 6300 MW.

Tekniken med högspänd likström är i dag väl etablerad och har visat sig vara väl så tillförlitlig och tillgänglig som växelströmstekniken. Den erbjuder dessutom helt andra möjligheter att snabbt styra överförd effekt. Förutom att luftlinjer för likström är billigare per kilometer än motsvarande luftlinjer för växelström för samma effekt, är de även mindre störande visuellt. Farhågorna för att det magnetiska fältet ska påverka människors hälsa negativt är också mindre.

Att den högspända likströmstekniken trots detta endast förblivit ett värdefullt komplement till växelströmstekniken snarare än en ersättning, beror på att kostnaderna för strömriktarstationerna, trots intensiva utvecklingsinsatser, fortfarande är relativt höga.

NY FLEXIBEL TEKNIK

Osäkerheten om de framtida energiflödenas storlek och riktning ställer ökade krav på nätens flexibilitet. Denna utveckling kan innebära att de komponenter, som går under samlingsnamnet FACTS (Flexible AC Transmission System = flexibla överföringssystem med växelström) kommer att bli allt vanligare. Utrustningen är framtagen

för att bättre kunna styra spänning och effekt i nätet för att på så sätt öka kapaciteten.

När FACTS-konceptet introducerades under 1980-talet användes begreppet endast för olika lösningar baserade på användning av strömriktarteknik och halvledare som kopplingsorgan. Senare har det utvidgats till att innefatta även andra utrustningar, t.ex konventionella fasvidare.

Eftersom kostnaderna fortfarande är relativt höga är dock användningen ännu relativt begränsad. Sannolikt kommer olika FACTS-utrustningar få väsentligt större användning i framtiden, speciellt om kraftfullare och billigare halvledare kan utvecklas. Inom den närmaste 20-årsperioden borde även detta resultera i en utveckling av snabbare elkopplare och strömbegränsare baserade på halvledarteknik.

Den snabba utvecklingen av halvledarteknologin har under senare år resulterat i halvledare för högre effekter för vilka även strömläckning kan styras. Detta har gjort det möjligt att gå över till en ny typ av strömriktare för tillämpningar med högspänd likström. Den nya tekniken är speciellt lämpad för kabelöverföringar och är bättre anpassad än den tidigare använda tekniken för anslutning till växelströmsystem eftersom växelspänningen kan styras. I Sverige har den nya tekniken tillämpats i en 70 km lång kabelöverföring på 50 MW från en vindkraftspark vid Näsudden på Gotland till Visby.

Det bör även poängteras att såväl HVDC som FACTS kombinerad med modern informationsteknik ger närmast obegränsade möjligheter för snabb styrning och optimalt utnyttjande av näten. För att kunna erhålla detta krävs dock nya och förbättrade nätstyrningsmetoder, eftersom framtiden sannolikt karaktäriseras av mer småskalig generering och ett kraftnät som kommer att utnyttjas av ett stort antal oberoende operatörer.

MARKKABEL ELLER LUFTLEDNING

Kraftledningars miljöpåverkan omfattar i huvudsak tre områden: markintrång, visuell påverkan och magnetfält.

En konventionell 400-kilovoltsledning behöver en ledningsgata med 40 meters bredd. Stolparna är omkring 35 m höga. Ledningen kräver alltså en ganska avsevärd yta i naturen och den syns på stora avstånd.

Runt en kraftledning finns två sorters fält – ett elektriskt, E-fältet, och ett magnetiskt, B-fältet. Fältens styrka i marknivån beror bland annat på avståndet till ledningen, fasernas inbördes läge, spänningen och belastningsströmmen.

Det är ännu inte klarlagt om kraftledningsfälten är skadliga för djur och människor. En rad myndigheter anser att den oro som skapas, är tillräcklig för att man ska tillämpa försiktighetsprincipen vid lokalisering i närheten av kraftledningar.

Miljöpåverkan från kraftledningar kan reduceras på flera olika sätt.

Bland annat används stolptyper som ger lägre magnetfält och kräver mindre bredd på ledningsgatan. Dessa stolptyper kommer i första hand att användas i närheten av bebyggelse.

I **större tätorter** kommer sannolikt inte nya stolpar att räcka för att tillgodose kraven från olika intressegrupper. Där ställs redan krav på att helt ta bort ledningar ovan jord.

Även om kostnaderna för kabelinstallationer har sjunkit kraftigt är det fortfarande betydligt dyrare att gräva ner kablar än att bygga luftledningar. Någon total omställning från luftledningar till kablar i marken kommer sannolikt inte att bli aktuell under de närmaste 20 åren på grund av de stora kostnaderna. Sannolikt kommer vi i stället att få mer av kortare kabelsträckningar på högre spänningsnivåer inom tätbebyggda områden eller i områden där ledningsdragningen står i konflikt med andra intressen.

Förutom miljö och kostnader bör överbelastbarhet beaktas liksom luftlinjers och kablars driftsäkerhet. En fördel med kablar är t ex att direkta blixtnedslag kan undvikas, vilket leder till färre fel. Å andra sidan är avbrottstiden vid varje fel normalt betydligt längre.

Maximal överföringssträcka via kabel är relativt kort. Ett alternativ är att använda gas i stället för fast isolation i kablarna (sk PEX-kablar). På kortare sträckor tillämpas tekniken i dag i gasisolerade linjer (GIL). Kostnaderna är dock relativt höga och eftersom tekniken kräver elektronegativa, miljöstörande gaser lär den inte komma till användning för energioverföring över större sträckor i framtiden.

En indirekt miljöpåverkan uppstår genom de förluster överföringssystemet ger upphov till och som måste kompenseras genom ökad elproduktion. Supraledande kablar har förts fram som ett sätt att minimera överföringsförluster och maximera överföringssträckan. Kostnader för kylning och problem med virvelströmsförluster gör dock att man inte kan förvänta sig större användning av supraledande överföring inom den närmaste framtiden.

Energilagring i elektriska kraftsystem

Blybatterier och vätgas/bränsleceller bedöms av amerikanska energidepartementet vara de tekniker som har flest tillämpningar. Svänghjul och supraledande magnetiska energilager förväntas få en mer begränsad användning, speciellt för tillämpningar som kräver snabba svarstider och korta urladdningstider.

Lager för elektrisk energi kan delas upp i två olika typer: korttidslagring, som kräver urladdning under högst några timmar, samt långtidslagring.

Typiska korttidstillämpningar kan exempelvis vara att utjämna toppbelastningar och snabba ändringar i effektgenerering, speciellt från vindkraftsparker.

Energilager för att utjämna dygns- och årstidsvariationer betecknas som långtidstillämpningar

och kommer i denna rapport även att behandlas tillsammans med gassystem, då gas kan vara en lämplig energibärare i dessa sammanhang. För Sverige är de existerande vattenmagasinen den viktigaste lagringsformen för långtidstillämpningar.

Studier av framtida alternativ för lagring av energi har presenterats av olika nationella och internationella organisationer. Energilagring har varit av stort intresse speciellt för fordonsindustrin. En bra sammanställning av förväntade investeringskostnader och av olika tekniska lösningars lämplighet för stationära tillämpningar ges i rapporten »Characteristics and Technologies for Long- vs Short-Term Energy Storage. A Study by the DOE Energy Storage Systems Program«.

Batterier. Den hittills mest använda tekniken för lagring av energi från små till relativt stora effekter och energier är elektrokemiska batterier. Vanligast är blybatterier, men även mer avancerade batterier har börjat användas. Då batterierna levererar uteffekten i likspänning krävs att en omformare ansluts mellan batteriet och växelspanningsnätet. Omformaren kan även hjälpa till att styra nätspänningen.

Det bör dock anmärkas att den minsta möjliga tiden för urladdning av den totala upplagrade energin kan vara en begränsande faktor hos konventionella batterier.

Kondensatorer. För mycket korta lagringstider – 10-tals ms (*millisekunder*) – skulle ett alternativ kunna vara att använda konventionella kondensatorer. Energitätheten för dessa är dock väsentligt

Obalanser och elkvalitet

Till skillnad från ett system för överföring och distribution av gas har ett elektriskt kraftsystem egenskapen att kortvarigt inmatad effekt är lika stor som den totalt utmatade effekten om man bortser från effektförlusterna i systemet.

En tillfällig obalans, som gör att den totalt inmatade mekaniska effekten till generatorerna är större än den utmatade elektriska effekten, resulterar i att de accelererar varvid frekvensen ökar. På motsvarande sätt minskar frekvensen om inmatad effekt är för liten. Typiska orsaker till sådana obalanser är fel som kan leda till att generatorer, förbrukningar eller ledningar kopplas bort. Inkoppling av större laster kan ge större effektväxlingar och även leda till icke önskade spänningsvariationer.

För att klassificera nätens kvalitet, i första hand med avseende på variation av spänningen i form av snabba och kortvariga spänningssänkningar och avbrott, har begreppet elkvalitet införts (eng: power quality). Andra störningar kan leda till stora effektpendlingar i nätet. Ett tänkbart sätt att motverka dessa störningar kan vara att installera utrustningar som innehåller energimagasin, t ex blybatterier, som tillfälligt kan kompensera bortfall av inmatad effekt från nätet respektive dämpa effektpendlingarna.

Typiskt för denna typ av energilager är att energin måste kunna matas ut under relativt kort tid (sekunder) med svarstider ned till 5 ms (en kvarts period). Dessa tider betecknas som »mycket korta« vid klassificering av energilagringssystem. För att dämpa effektpendlingar på högspänningsnät kan relativt stora effekter krävas, t ex 100 MW, medan väsentligt mindre effekter krävs för att kompensera effektbortfall för kritiska laster inom exempelvis processindustrin.

Energilagringmetoder och beräknad framtida kostnad

Urladdningstid/effekt Tillämpningar	Energilagringmetod	Kostnad i USD/kW	Verkningsgrad
Mycket kort 0–20 sek, 1–4 MW	Batterier	400	0,7-0,85
Elkvalitet, m m	Svänhjul eller mikro-SMES	300–700	0,9-0,95
Mycket kort 0–20 sek, > 2 MW	Vätgas + bränsleceller	300	0,59
Dämpning av effektpendling			
Kort 0–120 min, > 2 MW	Batterier, tryckluft	500–900	0,7-0,85
Småskalig generering	Vätgas och bränsleceller		0,59
Lång 1–8 tim, > 10 MW			
Lastutjämning	Vätgas och bränsleceller	600–700	0,59
	Tryckluft	400–900	0,7
	Pumpkraft	600	0,87

Förväntad investeringskostnad i USD/kW utifrån bl a energirelaterad kostnad, effektrelaterad kostnad och verkningsgrad. Dessutom beaktas svarstiderna för de olika tekniska lösningarna. Kostnader för drift och underhåll behandlas däremot inte. Källa: DOE-rapporten

mindre än för elektrokemiska batterier, men under de senaste åren har ett annat intressant alternativ utvecklats – sk superkondensatorer. Dessa har en väsentligt större energitäthet än konventionella kondensatorer och kan betraktas som ett mellanting mellan en kondensator och ett elektrokemiskt batteri.

Dock fordras en betydande utveckling innan de är användbara för högre effekter, varför det i dag är svårt att bedöma deras framtida användningsområden.

Svänhjul och SMES. Energilagring i mekaniska svänghjul eller i supraledande magnetiska energilager, SMES, är av större intresse än superkondensatorer för tillämpningar som kräver frekventa omladdningar och mycket korta urladdningstider (sekunder). En intensiv utveckling pågår inom båda dessa områden.

Vätgas och bränsleceller. Ett intressant framtida alternativ är även att använda vätgas som energibärrare. Den elektriska effekten genereras med bränsleceller, som kan ge mycket korta svarstider. Enligt

DOE-rapporten väntas kostnaden i framtiden sjunka till cirka 500 USD/kW och kostnaden är relativt oberoende av urladdningstiden. Detta innebär att energilagring med vätgas som energibärrare och generering av elektrisk effekt med bränsleceller eller andra former av generatorer kan vara ett alternativ även för andra tillämpningar, där väsentligt längre urladdningstider förutses – t ex för lastutjämning och distribuerad generering, speciellt i kombination med vindkraftgenerering.

Pumpkraft och tryckluft. För långtidstillämpningar och stora effekter och energimängder är i dag användningen av pumpkraftverk en väl etablerad teknik, vilken dock kommit till liten användning i Sverige då behovet av långtidslagring lösts genom normal reglering av vattenmagasinen. Lagring av energi i form av tryckluft förväntas bli ett framtida alternativ till dessa tillämpningar.

Gas – överföring och lagring

Marknadens behov styr uttaget av naturgas och gaslager placeras så nära förbrukningsstället som möjligt. Det transport- och distributionssystem som byggts upp för naturgas kan redan i dag nyttjas för biogas och i framtiden bör även vätgas kunna introduceras. Redan tömda gas- och oljekällor kan nyttjas för lagring av gas och det går även att bygga gaslager i berggrunden.

De flesta europeiska länder har egna naturgasfyndigheter i berggrunden, vilket gjort det naturligt att börja använda gas för energiförsörjningen. Naturgasen utvinns i dag både på land och till havs. Med processutrustning genereras önskad naturgaskvalitet med lämpligt tryck för vidare transport med rör eller med fartyg. Gasen transporteras i gasform i rör och som flytande naturgas, LNG, med fartyg.

Naturgasen svarar i Europa för 23 procent av energiförsörjningen, vilket innebär ett årligt behov av cirka 5 000 TWh energi. Därav uppgår importen till 35 procent rörgas medan 7 procent tillförs som LNG med fartyg.

Rörläggning på havets botten har utvecklats starkt på senare år och är i dag etablerad teknik med god konkurrenskraft. På land har man också utvecklat gastransporttekniken, speciellt vad avser jordborrning och rörmaterial i plast.

Vid långväga gastransport ger utvinnings- och transportsystem med hög och jämn last året runt den bästa ekonomin. Anpassningen till marknadens varierade gasbehov bör därför klaras med hjälp av gaslager placerade så nära förbrukningsstället som möjligt.

Olika koncept för att lagra gas finns redan etablerade. De huvudsakliga ändamålen är säsongutjämning och nödförsörjning.

RÖRTRANSPORT

Gas transporteras i *rörledning* till Europa från Yamalhalvöns källor i Sibirien, från Nordsjön och från källor i Nordafrika. Rören är 1–1,5 m i diameter och varje rör kan transportera upp till 500 TWh per år.

Så här ser transportvägen ut från oljeplattformarna i Nordsjön:

Gasen strömmar från sjöbotten upp till *plattformen* med högt tryck. På plattformen renas och behandlas gasen i ett första steg. I vissa fall sker denna rening i en anläggning på land.

När gasen uppnått önskad transportkvalitet förs den i grova *sjöledning* till mottagningsstationer längs Europakusten. I dag finns fem överföringsledningar från de norska fälten, vardera med en årlig transportkapacitet om cirka 200 TWh energi per år. Från kuststationerna leds gasen i *landledning* till slutanvändaren. Markrören är tillverkade av stål med utvändigt korrosionsskydd och nedgrävda i marken med cirka en meters täckning.

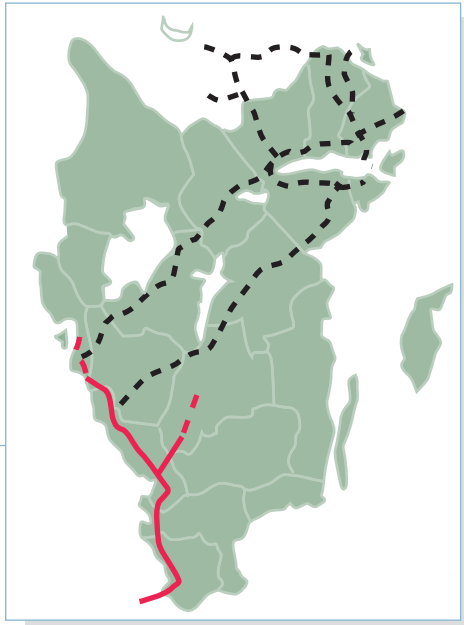
I skogsterräng krävs en trädfri *inspektionszon* på sju meter. Ängsmark kan brukas utan restriktioner medan det vid rördragning genom bebyggelse krävs olika zoner fria från bebyggelse beroende på systemets rörtryck, dimension och skyddsanordningar.

När gastransporten övergår till det lokala *distributionsnätet* sänks trycket i en *mät- och reglerstation*. Slutligen passerar gasen en *abonmentcentral* med debiteringsmätare innan den når kunden.

Sjöledningarnas kapacitet begränsas av tryckfallet mellan inlopp och utlopp, medan landledningar kan förses med kompressorer för att kompensera för tryckfallet i ledningen och därmed öka överföringsmängden.

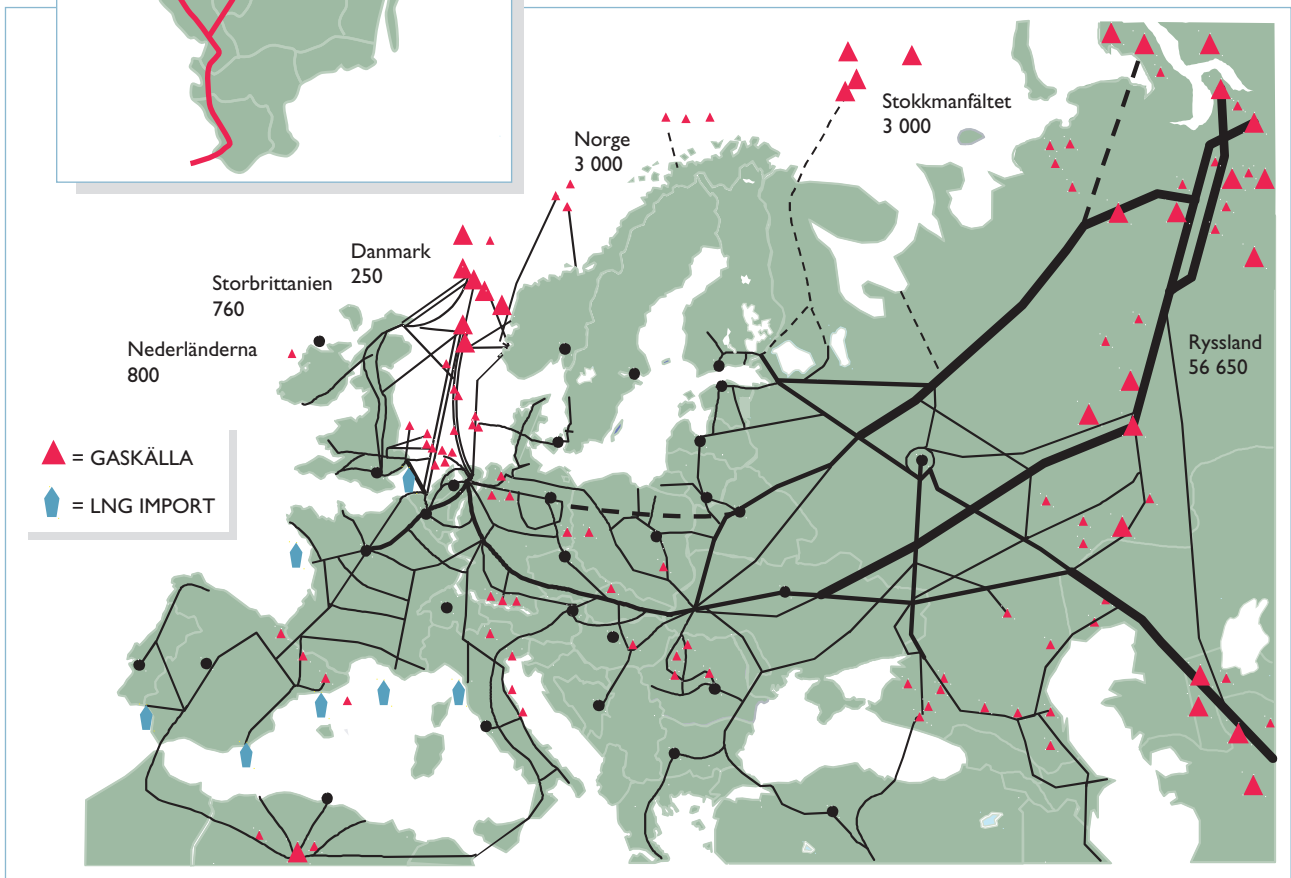
I distributionsnäten är rören tillverkade av plastmaterial vilket underlättar rörläggningen, bl a med hjälp av olika jordborrningsmetoder.

Det transport- och distributionssystem som byggts upp för naturgas kan redan i dag nyttjas för biogas och i framtiden bör även vätgas kunna introduceras. Undersökningar som genomförts



Gasinfrastrukturen i Europa

Europa försörjs med naturgas, dels från inhemska fyndigheter, men också i ökande omfattning från import via gasrör och via LNG-terminaler för flytande gas. Ledningsnätet är väl utbyggt – utom i Norden. I Sverige planeras dock för en utbyggnad (streckade linjer i lilla kartan). Mark reserverades redan under senare delen av 1980-talet. Källa: Nova Naturgas.



Siffrorna anger ländernas gasreserver i miljard m³

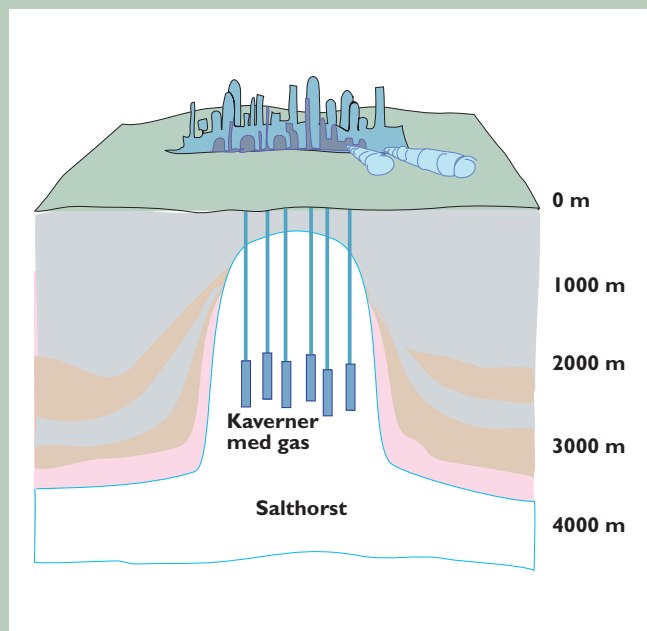
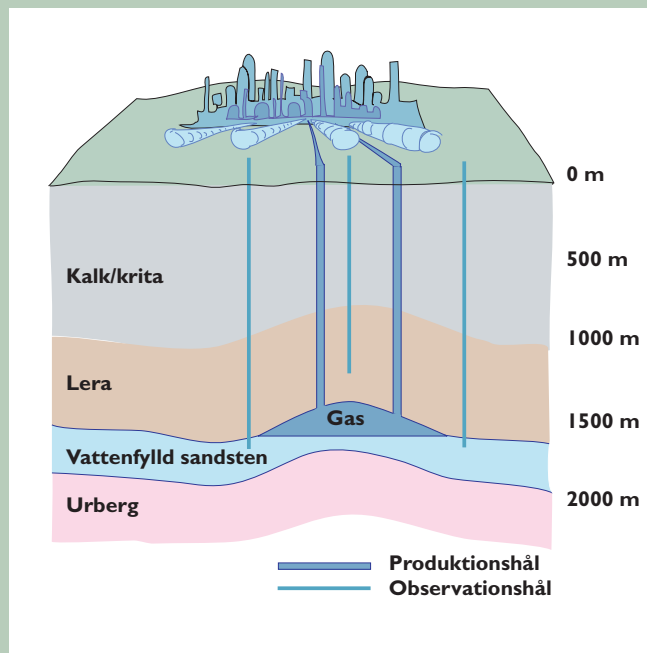
pekar på att 10–20 procent vätgasinblandning i naturgasnätet inte medför nämnvärda problem för vare sig transportnät eller gasapplikationer. Erfarenheter med vätgasinblandning finns sedan lång tid tillbaka från stadsgasverksamheten. Många

städer hade förr stadsgas som normalt består av cirka 50 procent vätgas.

FARTYGSTRANSPORT

Långväga transport av naturgas sker lämpligen i

Olika typer av gaslager



Akvifärlager. Sandsten som naturligt täcks av en parabolformad tät bergart, s k caprock, skapar förutsättning för att lagra gas under tryck. Via borrhål trycks gasen ner i den porösa sandstenen där vattnet i porerna trängs undan och ett gaslager i form av en bubbla bildas. Gasen når upp till markytan endast via borrhålet, och vattentrycket i sandstenen begränsar gasvolymen horisontellt och vertikalt.

Noggranna geologiska undersökningar erfordras före byggandet och sedan anläggningen tagits i drift övervakas den via borrhål.

Akvifärlagren återfinns i allmänhet på mer än 1 000 meters djup varför gasen måste tryckas ner med kompressor. Uttag från lagret sker med självtryck. I Stenlille i Danmark finns ett akvifärlager i drift. Lagringsvolymen är totalt 1 000 Miljoner m^3 (Mm^3) naturgas varav 360 Mm^3 motsvarande cirka 4 TWh kan utnyttjas för kommersiell verksamhet.

Saltkavern. Där berggrunden innehåller saltsten kan ett gaslager av typ saltkavern byggas. Metoden går ut på att via borrhål spola ned vatten som löser saltstenen så att ett hålrum bildas. Det salthaltiga spolvattnet förs ut i närliggande vattendrag och efter några års tid har ett hålrum med omkring 50 meters diameter och 250 meters höjd spolats fram.

Flera hålrum kan förläggas inom samma område och samköras. Även saltkaverner ligger på cirka 1 500 m djup och naturgasen trycks ner med hjälp av kompressorer. I Lille Torup i Danmark finns sju kaverner med en total lagringskapacitet på 735 Mm^3 varav 400 Mm^3 motsvarande cirka 4,5 TWh kan utnyttjas kommersiellt.

Plåtinklädda bergum. I fast berg på drygt 100 meters djup kan hålrum kläs in med tjockplåt och nyttjas för lagring av gas under tryck. Metoden kallas lined rock cavern, LRC, och är under utveckling. Ett provlager byggs i Skallen utanför Halmstad. Lagret blir 35 meter i diameter och 50 meter högt vilket med mer än 200 bars tryck ger en lagringsvolym på 10 Mm^3 naturgas motsvarande ca 0,1 TWh energi. Planerna är att senare komplettera med fler hålrum som kan samköras.

Bergum. Rena bergum i täta berg kan nyttjas utan inklädnad när tryckbehovet är litet. Sådana bergum är vanliga för lagring av flytande gasol. Totalt finns cirka 500 000 ton motsvarande ungefär 6,4 TWh gasollagerkapacitet fördelat på sju platser längs svenska kusten. En variant till trycksättning är nedkyllning av berget så att

gasen hålls flytande vid atmosfärstryck.

Cisterner. Cisterner används för lagring av alla typer av gaser i flytande form.

För vätgas krävs temperaturer på -253 °C och för metan -161 °C för att hålla gasen flytande vid atmosfärstryck. De tyngre gaserna propan och butan kräver -40 °C respektive 0 °C . Olika drifttemperaturer och driftryck kräver olika utföranden, men det rör sig om etablerad teknik. Exempelvis konstrueras naturgaslager för LNG med stor diameter i förhållande till höjd. Cisternerna förses med kupoltak, isoleras kraftigt, invallas och utrustas med skumsläckningsutrustning.

Tankar. Hos slutanvändare av energigas och hos distributörer för fordonbränsle som saknar röransluten gastillförsel måste mellanlagring ske i tank. Det gäller mestadels gasol och naturgas i flytande form. Tankarna är trycksatta och vid behov isolerade. Volymen uppgår oftast till maximalt 250 m^3 motsvarande 3000 MWh energi.

Tankar för flytande vätgas finns i dag i volymer från $1,5\text{ m}^3$ till 75 m^3 vilket motsvarar ett energiinnehåll på 3 MWh – 180 MWh . Materialet i tankarna är ofta rostfritt stål eller komposit, detta för att få dem tillräckligt täta. Tankarna finns också i dubbelmantlat utförande.

För att föra över vätgas till flytande form åtgår energi motsvarande cirka 30 procent av energiinnehållet. Vätgasen kan också lagras i gasform under tryck eller genom att väte binds kemiskt i en metall, en s k metallhydrid. Detta är ännu effektivare per volymsenhet och vid uppvärmning sönderfaller hydriden så att vätgasen frigörs.

Rörlager. Genom att koppla samman ett flertal gavelförsedda högtrycksrör kan man bygga upp lokala gaslager, t ex för att jämna ut laster. Ett rörlager med 300000 m^3 kapacitet planeras för stadsgasnätet i Stockholm.

Transportnät. Högtrycksnätet kan under vissa förhållanden nyttjas för den kortsiktiga gaslagring som erfordras för att jämna ut laster över korta tidsperioder som timmar och dygn. Lagringskapaciteten kan exemplifieras genom att man beräknar den naturgasmängd som kan tas ut från nätet mellan två trycknivåer som båda är acceptabla för säker drift.

flytande form i specialkonstruerade fartyg. Naturgasen kondenseras genom nedkylning till -161 °C . Därefter transporteras den som flytande naturgas, LNG, i isolerade trycktankar som integrerats i fartygskonstruktionen.

Från en enda kubikmeter LNG kan 600 m^3 gas av normaltillstånd frigöras.

Fartygen går ofta i linjetrafik mellan gaskällan och mottagarlandets terminal. De största LNG-producenterna finns i Persiska viken och Indonesien. Den mest närliggande är i dag Algeriet, men Norge har nu beslutat att bygga en utskeppnings-terminal utanför Hammerfest för idrifttagning år 2005.

Varje LNG-fartyg transporterar en volym på $130\text{--}140000\text{ m}^3$ motsvarande $0,8\text{ TWh}$ energi. För kortare transporter finns mindre fartyg på ner till 1000 m^3 att tillgå. En stark utveckling av LNG förutses till följd av ökande tillgång på avlägsna gaskällor, liberalisering av gasmarknaden och ökad efterfrågan på gas på nya marknader.

BIL- OCH JÄRNVÄGSTRANSPORT

Flytande gas kan också transporteras i speciella tankvagnar kopplade till dragbilar eller tågsätt. För distribution av gasol är metoden allmänt tillämplad och även för LNG börjar transportutrustning utvecklas för kunder där infrastruktur med rörnät saknas.

För transporter av naturgas och biogas till tankstationer som saknar direkt rörförbindelse används gascontainrar för CNG (compressed natural gas).

Framtida samspel el/gas

Gas är en lagringsbar energibärare medan el huvudsakligen är en direkt konsumerbar form av energi. Samspelet dem emellan kommer att gälla lagring av el i form av gas när det råder elöverskott, respektive generering av el från gas vid elbrist. Utvecklingen av teknik för avskiljning och lagring av koldioxid kommer att avgöra var i produktionskedjan detta bör ske.

Olika lagringsformer måste utvecklas utifrån specifika behov. Gas som elproduktionsbränsle får allt större betydelse eftersom gas kan omvandlas till el med mycket hög verkningsgrad och med liten miljöpåverkan. Gaskraftanläggningarna är lätta att anpassa till aktuellt behov och har låga investeringskostnader. Detta leder till att distribuerad elproduktion (lokal elproduktion nära förbrukaren) förväntas öka.

Den mest energieffektiva formen av ny elproduktion är när spillvärme kan tas tillvara i form av fjärrvärme (s.k. kraftvärme) eller industrivärme (s.k. industriellt mottryck). Sverige har i dag en stor outnyttjad potential för ny elproduktion utifrån befintligt värmeunderlag, vilket kan ge största elutbyte med hjälp av gasteknik.

Tillgång till naturgas ger den stabilitet i marknadsvolym som utgör grunden för vidare utveckling av gastekniken och som därmed även kommer biogas och vätgas till del. Med tillgång till gas på de mest elintensiva områdena i samhället kan ny elproduktion introduceras och överföringsförlusterna minska. Energieffektiviteten ökar och försörjningstryggheten stärks i det svenska energisystemet.

Visionen är ett samhälle baserat på ledningsbunden energiöverföring där luftlinjer, kablar, rör och energilagrar samverkar på ett optimalt sätt.

Vätgasen är under stark utveckling internationellt och kommer att ta plats i energisystemet i växande omfattning. I en första fas förväntas vätgasen bli en energibärare i fordonsdrift och småskalig kraftvärme med naturgas som energikälla. Därefter kommer väte att kunna hjälpa oss att

lagra elenergi från förnybara energikällor såsom sol, vind och vågor. Förväntningarna på vätgas för energiändamål i framtiden är mycket stora.

En naturlig koppling mellan el och gas är givetvis elproduktion med naturgas som energikälla. Som tidigare nämnts har planer på detta tidigare varit långt framskridna i Norge. Om en storskalig elproduktion med naturgas blir aktuell är frågan: var bör kraftverken placeras?

Svaret är: om tillräcklig överföringskapacitet finns tillgänglig på befintligt elnät kan det vara lönsamt att producera elen så nära gaskällan som möjligt. Då undviker man dyr nyinvestering i gasrör (trots att överföringsförlusterna blir större med eltransport).

I övriga fall är ofta gastransport med omvandling till el nära konsumenten att föredra. En annan faktor som bör beaktas vid framtida lokalisering av elkraftproduktion från gas är möjligheten att avskilja och lagra den koldioxid som genereras.

En annan form av samspel mellan el och gas kan vara tillämpningar där man utnyttjar vätgas som energibärare för produktion av el. Detta skulle kunna utnyttjas för att kompensera för variationerna i vindkraftproduktionen eller för att under kortare perioder avlasta begränsande snitt i elnätet.

FÖRSTÄRKNING AV EL- OCH GASINFRASTRUKTUREN

Studien »Gas and Electricity in the Baltic Sea Region« redovisar förslag till projekt för att säkerställa det förväntade behovet av el och gas i länderna runt Östersjön. Generellt sett är elnäten väl

utbyggda i hela regionen, medan gasinfrastrukturen är dåligt utvecklad norr om Östersjön. I samarbetet mellan de nordiska stamnätsägarna för el pågår för närvarande ett arbete med att ta fram en gemensam systemutvecklingsplan.

En utbyggnad av naturgasnätet utgör en förutsättning för utökad industriell användning och för att gasbaserad lokal elproduktion ska kunna utvecklas. Sedan slutet av 1980-talet finns mark reserverad i de kommunala planerna för ett naturgasnät mellan västkusten och Bergslagen enligt kartan på sid 15.

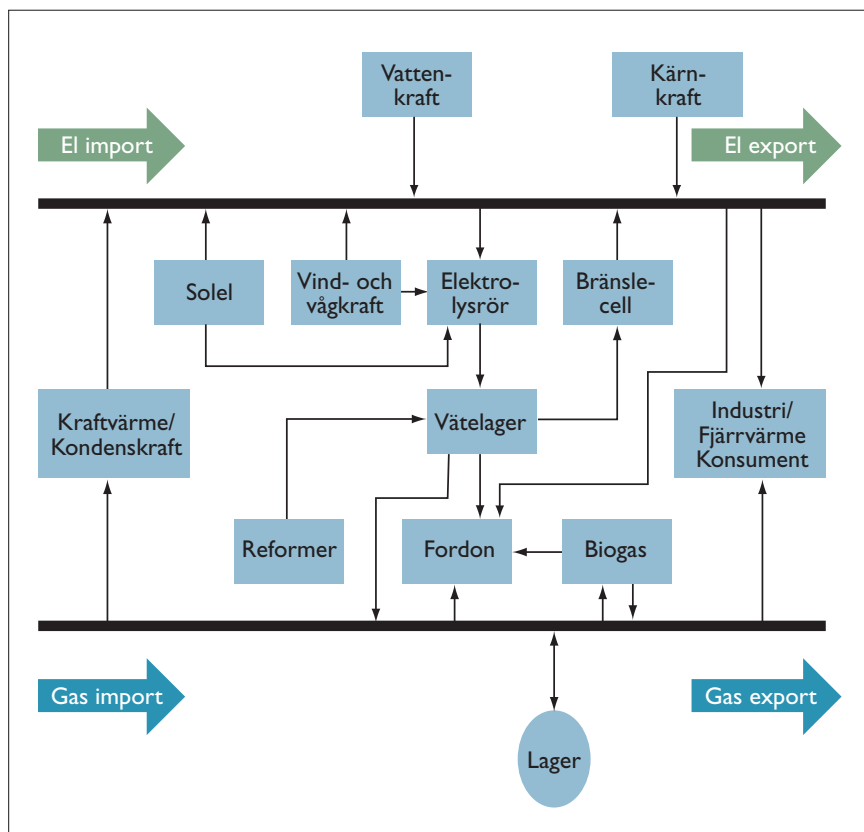
För att möta den förväntade förbrukningsökningen av gas i Europa – nära 50 procent på 15 år – behövs dessutom nya tillförselledningar för gas efter 2010. Gasen bedöms komma från nya gaskällor i Norska havet, Barents hav samt Sibirien.

Exempel på gasprojekt som kan innebära utökad tillförsel av gas till Sverige och andra länder i Europa är:

- Nordic Gas Grid. Tillförsel av norsk gas till Finland och Estland samt Tyskland via Sverige.
- Baltic Gas Interconnector. Sjöledning Tyskland–Sverige–Danmark.
- Baltic Pipe. Sjöledning mellan Danmark och Polen.
- Austerled. Tillförsel av norsk gas till Polen via Danmark eller Sverige.
- North European Gas Pipeline. Tillförsel av rysk gas från Finska viken till Tyskland.
- Mid-Nordic Gas Pipeline. Tillförsel av norsk gas till Finland tvärs igenom norra Sverige.

I Sverige pågår följande planering av utbyggnaden av naturgasnätet:

- Hyltebruk–Gislaved/Gnosjö. 80 bar stålrovsnät att tas i drift under år 2002.
- Göteborg–Stenungsund. Distributionsnät av högtrycksstålror att tas i drift år 2003.
- Gävle–Göteborg. Förprojektering av 80 bars stålrovsnät för att eventuellt byggas och tas i drift år 2008.



Framtida samspel mellan el och gas

Schemat pekar på några samarbetsformer mellan el och gas som är tänkbara för framtiden, t ex för att kunna lagra el, i utvecklingen av nya fordon med lägre utsläpp och vid småskalig elproduktion för att undvika elöverföring. Naturgas kan användas som back up för biogasdrivna fordon. Biogas och naturgas kan distribueras på samma nät.

Referenslitteratur

- Characteristics and Technologies for Long- vs Short-Term Energy Storage. A Study by the DOE Energy Storage Systems Program, SAND 2001-0765 mars 2001
- Comparison of High Voltage Overhead Lines and Underground Cables. Report 110, CIGRE Dec 1996
- Superconducting Cables, Brochure 199, CIGRE
- Cost-efficient XLPE Cable System Solutions, IEE Nov 2001
- Economic Assessment of HVDC Links. Report 186, CIGRE June 2001
- Energiläget 2001, Energimyndigheten
- Elmarknaden 2001, Energimyndigheten
- European Union Energy Outlook to 2020, EU Comm.1999
- FACTS Technology for Open Access, Report 183, CIGRE April 2001
- Gas and Electricity in the Baltic Sea Region, Baltic Gas /Baltrel October 2001
- Gotland HVDC Light Transmission, CIRED Maj 1999
- I Luften eller i Marken, Svenska Kraftnät
- Pipeline to the future, Eurogas
- Adding gas from biomass to the gas grid, SGC – R-118
- AGA gashandbok, AGA 1982
- Biogas, Svenska Biogasföreningen 1998
- Energigasernas miljöeffekter – Faktahandbok, SGC-R-075
- Energigasteknik, SGF 1995
- Naturgas i fysisk planering, SEV 1989
- Naturgas – Värt att veta, Stoseb Gas 1991
- Nordleden, Chalmers 2000
- Produktion och användning av vätgas i Sverige, Rapport Sydkraft Konsult 1997
- Vätgas i framtidens energisystem, SGC A27
- Vätgasinblandning i CNG, SGC-R-122

Fakta på Internet

www.sgc.se
www.gasforeningen.se
www.dong.dk
www.linde.com
www.stem.se
www.eurogas.org
www.bp.com
www.naturgas.com
www.hyweb.de
www.eren.doe.gov
www.nordleden.nu

Överföring och lagring av energi

Denna faktaöversikt behandlar de närmaste decenniernas utveckling av överföring och lagring av elektricitet och gas, samt framtida möjligheter till samspel mellan dessa båda energibärare.

Transmissionskapaciteten för överföring av el kommer att byggas ut mellan såväl de nordiska länderna som Norden och det övriga Europa. Elsystemet förväntas även kunna utnyttjas mer effektivt genom att övervakning och styrning förbättras med hjälp av nya komponenter för reglering av spänning och effekt.

Gas blir troligen ett vanligare inslag i det svenska energisystemet, och dess infrastruktur byggs ut. Gas är en lagringsbar energibärare medan el huvudsakligen är en direkt konsumerbar form av energi. De kommer att kunna samspela, så att el lagras i form av gas när det råder elöverskott och genereras från gas när det råder elbrist.

Vätgas får ökad betydelse som energibärare för el från förnybara energikällor.

Energiframsyn Sverige i Europa

Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien, IVA, är en oberoende arena för kunskapsutbyte. Genom att initiera och stimulera kontakter mellan olika kompetensområden och över nationsgränser fungerar akademien som gränsöverskridande brobyggare mellan näringsliv, forskning, förvaltning och olika intressegrupper.

IVA-projektet »Energiframsyn Sverige i Europa« belyser det svenska energisystemet ur framför allt ett europeiskt men även ett globalt perspektiv. Det europeiska är viktigt mot bakgrund av pågående avregleringar och genom att el- och gasnät knyts samman i allt större regioner. Klimatfrågan motiverar ett globalt perspektiv.

Genom att blicka framåt i tiden vill IVA stimulera till intressanta och balanserade diskussioner genom att ge nya insikter och tankeväckande men trovärdiga och realistiska framtidsbilder av det svenska energisystemet som en del av Europas.

Energiframsyn vänder sig till beslutsfattare inom förvaltning, näringsliv och forskning men också till en vidare krets av personer, som arbetar med eller intresserar sig för energifrågor.

I detta arbete har en skriftserie om ett antal populärt hållna rapporter med dagens fakta och med en bedömning av utvecklingen i ett 20-årsperspektiv tagits fram för att ge underlag till Energiframsyns framtidsbilder. Denna skrift ingår i serien Energiframsyns Faktarapporter.

