



Göteborg 2050

-Det Hållbara Vätgassamhället

Robert Hedman

Avdelningen för fysisk resursteori
CHALMERS
GÖTEBORGS UNIVERSITET
Göteborg, november 2003

Sammanfattning

Energianvändningen på jorden är en av nycklarna till den välfärd som finns i västvärlden idag, samtidigt som den är upphov till ett av vår tids största bekymmer. Ska vi lämna ifrån oss en helt annorlunda värld än den vi fick till skänks? Det fossilbaserade energisystemet har gett oss försurning och nu senast den förstärkta växthuseffekten. Klimatförändringar väntar och det enda vi kan påverka är hur stora de ska bli.

Syftet med denna rapport är att ge en ett antal bilder av hur det skulle kunna se ut i en värld med ett alternativt och ekologiskt hållbart energisystem: Det hållbara vätgassamhället. Vätgassamhället presenteras här som ett antal framtidsbilder i två scenarier. De båda scenarierna beskriver två olika långt utvecklade vätgassamhällen, men har det gemensamt att de utgör en del av ett globalt energisystem baserat på förnybar energi.

I det första, nischscenariot, är vätgasen och bränsleceller begränsade till ett antal passande nischområden. Utvecklingen av tekniken har nått sina begränsningar samtidigt som annan teknik visat sig fördelaktigare i de större tillämpningarna.

I det andra, totalscenariot, har vätgasen fått en betydande roll som en lagringsbar energibärare och komplement till elektriciteten. Bränsleceller används i de flesta tänkbara tillämpningar där energi behövs, alltifrån små mobiltelefoner till medelstora kraftvärmeverk och stora fartyg.

Framtidsbilderna är tänkta att kunna användas i framtidsvisioner som ska göra det lättare för beslutsfattare, viktiga samhällsaktörer och allmänhet att arbeta med och fatta såväl kort- som långsiktiga beslut i rätt riktning – för en hållbar utveckling.

Förord

Denna rapport är en halvtidsrapport i ett examensarbete på Institutionen för miljövetenskap och kulturvård, Göteborgs Universitet. Examensarbetet genomförs på Institutionen för fysisk resursteori, Chalmers och Göteborgs Universitet, och är kopplad till projektet GÖTEBORG 2050.

Energisystemet är den dominerande källan till samhällets utsläpp av koldioxid och andra negativt påverkande ämnen och föreningar. Hur dessa ska kunna minskas för att begränsa den förstärkta växthuseffekten är en fråga som världen sedan FN:s konferens om miljö och utveckling i Rio de Janeiro 1992 och klimatkonferensen i Kyoto 1997 på allvar börjat fundera på. Denna rapport tar ner frågan på lokal nivå och är ett bidrag till diskussionen om hur ett hållbart Göteborg skulle kunna se ut i en hållbar värld.

En rapport av detta slag är tänkt att kunna bidra med framtidsvisioner som gör det lättare för beslutsfattare, viktiga samhällsaktörer och allmänhet att arbeta och fatta såväl kort- som långsiktiga beslut i rätt riktning – för en hållbar utveckling.

Jag vill härmed rikta ett tack till min handledare Johan Swahn som hjälpt mig fram och varit ett viktigt bollplank. Detta upplevde jag som mycket väsentligt i ett projekt där tankar tillåtits sväva mer eller mindre fritt in i framtiden med utgångspunkt ifrån såväl fakta som idéer presenterade i diverse böcker, rapporter och artiklar.

Innehållsförteckning

1 Inledning och bakgrund	1
1.1 GÖTEBORG 2050	3
1.2 Metod	3
1.3 Avgränsningar	3
2 Nulägesbeskrivning och trendanalys	5
2.1 Energisystemet i Göteborg	5
2.1.1 El och värme	5
2.1.2 Transporter	7
2.2 Vätgassamhällets teknik	7
2.2.1 Väte som energibärare och bränsle	8
2.2.1.1 Produktion av vätgas	8
2.2.1.2 Vätebärande medier	9
2.2.1.3 Vätgas som bränsle	10
2.2.2 Bränsleceller.....	10
2.2.3 Annan vätgasbaserad energiteknik	11
3 Ramar och mål	12
3.1 Ekologisk hållbarhet	12
3.2 Välfärden	12
3.2.1 Rättvist miljöutrymme	13
3.2.2 Det goda livet	13
3.3 Energiutrymme 2050	13
3.3.1 Energitillförsel.....	14
4 Framtidsbilder	16
4.1 Primärenergi i det globala energisystemet	16
4.1.1 Den flödande primärenergin	17
4.1.2 El- och värmeproduktion, Göteborg 2050	19
4.1.3 Vägen dit	21
4.2 Nischscenario	21
4.2.1 Produktion, distribution och lagring.....	22
4.2.2 Kraftsystemet; bränsleceller för belastningskontroll och reservkraft	22
4.2.3 Transportsystemet	23
4.2.4 Vägen dit	23
4.3 Totalscenario	24
4.3.1 Vätgasförsörjning från lokala och avlägsna producenter	24
4.3.1.1 Den lokala produktionen	24
4.3.1.2 Import och export av vätgas	26
4.3.1.3 Distribution och lagring	26
4.3.2 Vätgasen som drivmedel i fordon –från flygplan till mopeder	27
4.3.3 Elproduktion och kraftvärme, ett effektivt balansinstrument i det intermittenta elsystemet	28
4.3.4 Reservkraft och avlägsna installationer	29
4.3.5 Mikrokraftvärme	29
4.3.6 Batteriets ersättare.....	30
4.3.7 Vägen dit	30
5 Miljö- och säkerhetsaspekter	31
6 Förslag till fortsatta studier	32
Referenser	33

1 Inledning och bakgrund

Det moderna samhället präglas av en hög energianvändning. Den västerländska människan använder energi i olika former i det mesta hon tar sig för. Det handlar om el och värme för att lysa upp och värma sitt hem, el för att förvara och tillaga mat, värme till disk-, tvätt- och duschvatten. Vi använder energi i form av fossila bränslen när vi rör oss till och från arbete, fritidssysselsättningar, ärenden som att handla mat och posta brev, förutsatt att vi gör det i våra bilar eller med buss. Vi tar tåget till våra släktingar på helgen, tar en utflykt i bilen eller kanske flyger vi på en charterresa till medelhavet. Våra arbetsplatser fylls mer och mer av elektrisk utrustning, fler och fler människor utför olika typer av tjänster, inte sällan med hjälp av datorer och annan elektrisk utrustning. Våra kontor och arbetslokaler ska värmas, kylas, ventileras och upplysas.

Överallt finns energin lättillgängligt flödande för att försörja alla de tjänster vi nyttjar i våra liv. Den totala energitillförseln i världen var år 2001 omkring 120 000 TWh eller 420 EJ primärenergi. Användningen uppgick till 81 000 TWh eller 290 EJ, skillnaden däremellan består i olika former av omvandlings- och distributionsförluster. Tyvärr är omkring 80% av denna primärenergi av fossilt ursprung, det vill säga energiråvarorna är olja, kol och naturgas (IEA, 2003). I Sverige tillfördes 616 TWh primärenergi av vilka ca 398 TWh användes i olika typer av energitjänster. Här var ca 35% av primärenergin av fossilt ursprung (STEM, 2003a).

Det snabba upptaget och förbränningen av de fossila bränslena kol, olja och naturgas bidrar till att höja halten av växthusgaser, främst koldioxid, i atmosfären och därmed på sikt riskera höja jordens medeltemperatur med mellan 1,4 och 5,8 grader jämfört med 1990 års nivå (IPCC). En sådan höjning kommer att innebära dramatiska klimatförändringar på många håll runt jorden, vissa områden drabbas hårdare än andra. Sverige kan enligt det svenska forskningsprogrammet SWECLIMS beräkningar få en medeltemperatur som är tre till fyra grader högre än idag och Södra Sverige kan räkna med ett klimat likt det som råder i England och Frankrike idag. De mest dramatiska förändringarna i Europa kommer enligt samma beräkningar förmodligen att drabba Sydeuropa där medeltemperaturen under sommarhalvåret kan stiga till mellan 6 och 8 grader jämfört med idag. Det innebär i princip ett ökenklimat och det skulle i så fall innebära temperaturer som vi idag bara ser i Nordafrika. Därmed blir risken för svår torka och därtill hörande problem som vattenbrist många gånger större än idag. Mer information om den förstärkta växthuseffekten och möjliga konsekvenser av en global uppvärmning finns beskrivet i boken ”*En varmare värld*”, utgiven av Naturvårdsverket och SWECLIM (Naturvårdsverket, 2003).

När man läser statistik om världens utveckling och energianvändning, om svält, epidemier och fattigdom och de dystra prognoserna om växthuseffekten och det globala klimatet ligger det ibland nära till hands att måla allt i grått och bli uppgiven. Men framtiden är i våra händer, den är vårt ansvar och i allra högsta grad möjlig att påverka! Strävan mot ett hållbart samhälle har redan tagit sina första stapplande steg såväl i Sverige som i vår omvärld. Forskningen går framåt och vindkraft vinner marknadsandelar tillsammans med biomassabaserad energiproduktion. Strävan mot effektivare energianvändning, en av de kanske viktigaste punkterna på den hållbara utvecklingens agenda, går sakta men säkert framåt.

Ett framtida samhälle där väte och el används i en kombination i energisystemet är en väg att gå mot det hållbara samhället. På många håll har arbetet redan börjat. Här i Göteborg ingår studier om vätgassamhället till exempel som en del i arbetet med GÖTEBORG 2050 och det

är även en del av verksamheten på Energitekniskt Centrum i Ale kommun med Västra Götalandsregionen som huvudman. Även internationellt pågår arbete i olika former.

I London har ett samarbete påbörjats i ett projekt kallat London Hydrogen Partnership, LHP. Där har bland annat en handlingsplan tagits fram för att via insatser i London sträva mot det övergripande målet att introducera en nationell infrastruktur för vätgas baserad på förnybar energi. Näringslivet ingår i arbetet och man hoppas därigenom kunna skapa en bättre tillväxt kring denna ”gröna teknik” (Barret, 2003).

USA har startat det så kallade *FreedomCAR*-projektet och *Hydrogen Fuel initiative* som är en femårig statlig miljardsatsning på forskning och utveckling för att komma närmare en kommersialisering av vätgasdrivna bränsleceller för bilar och elgenerering (Focus on Catalysis, 2003).

I Tyskland, närmare bestämt i Ruhrområdet, pågår H2NRW, Hydrogen North Rein-Westfalia. Liksom i London strävar man bland annat efter att utveckla förutsättningar för en vätgasekonomi, man talar bland annat om att ersätta den gamla kol-stålindustrin i området med en ny, modern och grön vätgas-bränslecellsindustri. Det handlar även om att öka andelarna förnybar energi i linje med EUs mål om minst 10% förnybar energi i energisystemet år 2010 (Winter, 2003).

På europeisk nivå pågår bland annat det så kallade CUTE-projektet, Clean Urban Transport for Europe, som är det första någorlunda storskaliga försöket med vätgasdriven busstrafik. Nio europeiska städer, däribland Stockholm, ska med början år 2003 testa vätgasdrivna bränslecellsbusar i ordinarie stadstrafik med komplett vätgasproduktions- och tankanläggning. Projektet finansieras av städerna och med medel från EUs femte ramprogram. Försöken ska vara ett steg för att minska de stora och ökande problem som urbana transporter orsakar runt om i Europa. (Europeiska kommissionen, 2003)

I Sverige har Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien genomfört projektet *Energiframsyn Sverige i Europa*, där man belyser det svenska energisystemet ur ett globalt och europeiskt perspektiv. I slutrapporten konstaterar man att ett sol- och vätgassamhälle är en av flera möjliga lösningar på ett framtida svenskt energisystem, där denna lösning kan baseras på de flödande, förnybara energikällorna (Energiframsyn, 2003). Rapporten används som underlag bland annat i LångEn-utredningens rapport SOU 2003:80 om omställningen av det svenska energisystemet.

Denna rapport kommer att behandla både tillförselsidan och användarsidan i energisystemet med en klar inriktning på möjligheter för vätgasens användning i framtiden. Den inleds med en kort beskrivning av projektet GÖTEBORG 2050 och den metod som oftast används för att ta fram de framtidsbilder som är en av grundpelarna i projektet, backcasting. Sedan följer en bakgrundsbeskrivning där Göteborgs energisystem idag och i den närmaste framtiden ställs mot några hållbarhetsaspekter som kan användas för energisystem, bland annat miljöpåverkan från bränslen och utsläpp samt driftsäkerhet. Följande avsnitt är nulägesbeskrivningar och trendanalyser av energianvändningen i Göteborg och av tekniken kring vätgas och bränsleceller. För den som vill fördjupa sig mer i tekniken rekommenderas Ola Gröndalens rapport ”Väte – framtidens energibärare” utgiven 1998 för Elforsk. Därefter presenteras de ramar och mål som ska gälla för de båda hållbara vätgassamhällen som presenteras i framtidsbilderna. Framtidsbilderna följer direkt därpå med först ett nischscenario där vätgassamhället inte slagit igenom helt, samt ett totalscenario där vätgassamhället fått fullt

genomslag. Framtidsbilderna är det väsentliga i denna rapport och kan läsas fristående från övriga avsnitt. Slutligen diskuteras möjliga steg på vägen mot de bilder som målats upp samt en reflektion över vilka tänkbara miljöproblem som kan uppstå vid ett så omfattande användande av vätgas och teknikerna runtomkring.

1.1 GÖTEBORG 2050

Denna rapport är ett bidrag till arbetet inom projektet GÖTEBORG 2050. Projektet syftar till att genom långsiktiga och hållbara framtidsbilder peka ut en möjlig riktning för en hållbar utveckling för en Göteborgsregion i en hållbar omvärld. Det riktar sig till beslutsfattare såväl som till andra viktiga samhällsaktörer och allmänhet (Solstad Göteborg 2050, 2003). I ett samhälle som delvis formas av en många gånger pressad ekonomisk verklighet kan det kortsiktiga perspektivet behöva balanseras i beslut som påverkar utvecklingen på lång sikt. Därmed är det viktigt med ett aktivt informationsarbete för att ge förutsättningar att välja rätt väg i de långsiktiga frågorna.

Årtalet 2050 ska inte ses som 1 Januari 2050 utan som ett symboliskt årtal, då vårt samhälle är ett hållbart sådant, där de ramar och mål vi satt upp för ett hållbart samhälle uppfyllts och utvecklingen nått så långt att mänskligheten kan fortleva på ett hållbart sätt utan att begränsas av tidigare generationers förehavanden. Det symboliserar den dag då framtidsbilderna i denna och andra studier inom GÖTEBORG 2050 kan antas vara realiserade. Det är viktigt att inte glömma att mycket faktiskt är hållbart redan idag och att utvecklingen fortlöpande ger oss nya möjligheter att ta nya steg mot det hållbara samhället.

1.2 Metod

I de olika delprojekt som genomförts och pågår inom GÖTEBORG 2050 använder man ofta metoden backcasting för att ta fram användbara framtidsbilder. Enkla och målade beskrivningar av framtiden kan användas på olika sätt i främst informationssyfte, men även ses som en idésammanställning för framtiden. Backcasting är en metod som bygger på fyra steg.

1. Nulägesbeskrivning och trendanalys
2. Val av kriterier och mål, ramarna för framtidsbilderna
3. Utarbetande av framtidsbilder
4. Analys av vägar till framtidsbilderna

Även denna rapport är framtagen efter backcastingmetoden där fokuseringen ligger på framtidsbilderna. I och med att vätgassamhället ännu inte börjat ta någon som helst form är det inte helt enkelt att göra en analys av vägen dit, steg fyra. En öppet hållen diskussion om möjliga steg på vägen följer ändå efter respektive framtidsbild.

Någon närmare beskrivning av backcasting ges inte här. Den intresserade hänvisas till att läsa mer om den i rapporter av bland annat Dreborg (2001) och Robinson (1982, 1990).

1.3 Avgränsningar

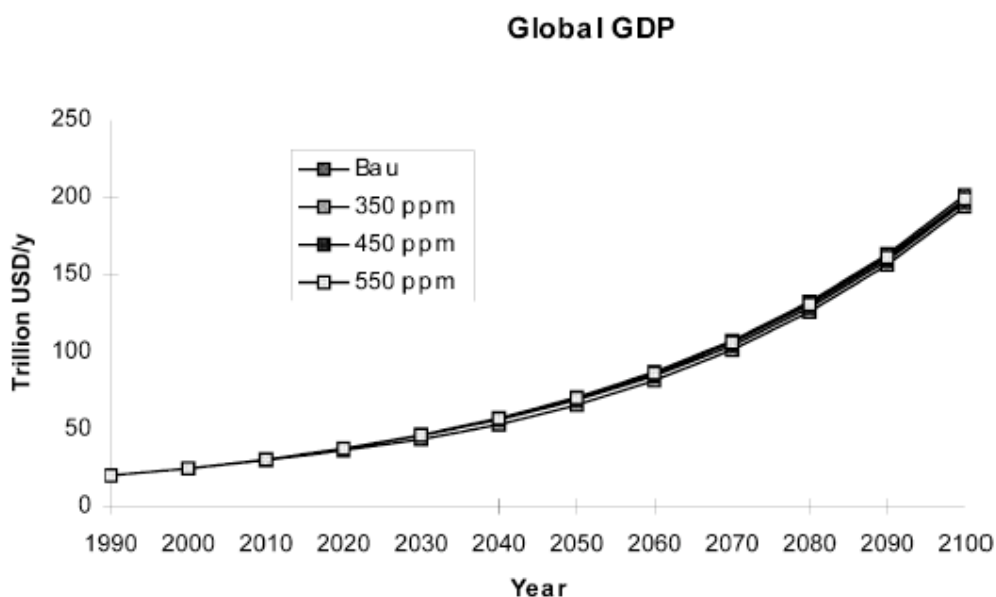
Med Göteborg menas i rapporten inte Göteborgs Kommun som geografiskt område, utan Göteborgs Kommun tillsammans med kringliggande kommuner. I nulägesbeskrivningar sammanfaller området i princip med det område som nås av Göteborgs Energis naturgas- och fjärrvärmesät. I framtidsbilderna räknar författaren med att staden visserligen växt, men då till

största delen inom det område som används för nulägesbeskrivningen. Därmed görs ingen skillnad mellan nutid och framtid i detta avseende.

Ekonomiska bedömningar om exempelvis olika energitekniker eller försörjningsalternativ behandlas inte i denna rapport. Motivet till detta är i första hand att ekonomi inte antas vara det som för samhället i en hållbar riktning. Det hållbara samhället måste först och främst formis inom de ekologiska ramarna, grunden i en hållbar värld. Därefter måste samhället inom dessa ramar formis efter människans behov, de sociala ramarna. De mest elementära behoven är rent vatten och mat till alla samt ett liv i fred och frihet. Rättvis fördelning av resurser, yttrandefrihet och rätt till vård och utbildning är andra rimliga krav. I ett sådant system finns en ekonomi som måste verka utefter de förutsättningar som ges av ramarna. Ekonomin måste alltså formis för att fungera som en del i det hållbara samhället, inte tvärtom. Politiska och ekonomiska styrmedel, internationella överenskommelser och en växande insikt om vår planet och dess funktion kan leda till att detta blir verklighet.

Ett annat motiv är att den energiteknik som vätgassamhället bygger på idag bara till delar är utvecklad till kommersiell nivå, i vissa fall finns tekniken bara på idéstadiet. Samtidigt är det svårt att avgöra vilka de ekonomiska förutsättningarna är i framtiden, bland annat vilken betalningsvilja som finns för de tjänster som energin möjliggör. Energieffektiviseringar kan till exempel få betydelse för betalningsviljan. Det innebär svårigheter att förutspå vilka tekniker, till exempel vilken typ av bränsleceller, som kommer att användas i ett vätgassamhälle.

Ett annat perspektiv på de ekonomiska konsekvenserna av omställningen till ett hållbart energisystem har presenterats av Azar och Schneider (2001 och 2002) där slutsatsen dras att den globala tillväxten på sikt knappt påverkas av denna förändring. Utöver ett ”business as usual”-scenario har Azar och Schneider beräknat den ekonomiska tillväxten utifrån tre alternativa utvecklingar baserade på olika nivåer av halten koldioxid i atmosfären. De olika nivåerna kräver olika stora investeringar på olika lång sikt, men kontentan av simuleringarna var att betydelsen för den globala BNP-tillväxten på lång sikt är liten. I internationella sammanhang, däribland inom EU, brukar 550 ppm CO₂ anges som ett mål för stabilisering av koldioxidhalten. Inom GÖTEBORG 2050 har målet för koldioxidutsläpp knutits till en stabilisering av koldioxidhalten på 450 ppm (Klimat och Energimål, 2003). I dagsläget är halten omkring 375 ppm och om ingenting görs, det vill säga ”business as usual”, kan halten år 2100 vara omkring 700 ppm (IPCC, 2001).



Figur 1: Tillväxten av global BNP i triljoner US \$ vid fyra scenarier: Stabilisering av halten koldioxid i atmosfären på 350, 450 och 550 ppm. Bau=business as usual. Källa: Azar & Schneider, 2002.

2 Nulägesbeskrivning och trendanalys

Här presenteras en någorlunda dagsfräsch bild först av energianvändningen i Göteborg och därefter av tekniken kring vätgas och bränsleceller, grundpelarna i det som populärt brukar kallas vätgassamhället. Denna nulägesbeskrivning följs i några fall av en enkel framskrivning för att peka ut i vilken riktning utvecklingen går.

2.1 Energisystemet i Göteborg

Göteborgs energisystem av idag har på ett antal punkter en avgörande betydelse för systemets hållbarhet. Dels det mycket väl utbyggda fjärrvärmenätet som svarar för uppvärmningen av omkring 90% av flerbostadshusen i Göteborg och för ett ökande antal av småhusen. Dels det växande transportarbete som utförs, både i form av persontransporter och godstransporter. Slutligen har även Göteborgs beroende av el utifrån en viss betydelse. Tillsammans kan arbetet med dessa tre på lång sikt utgöra en stor del av grunden för ett hållbart Göteborg.

2.1.1 El och värme

Göteborg har idag ett energisystem med en stor andel fjärrvärme för uppvärmning av hushåll. Omkring 90% av flerbostadshusen i staden är idag anslutna och i en satsning av det lokala energibolaget Göteborg Energi AB har ca 7800 småhus och villor anslutits. Målet är att 16000 småhus ska anslutas fram till år 2010. Samtidigt sker en utbyggnad av nätet till kranskommuner, senast kopplades Nödinge och Bohus ihop med en fjärrvärmeledning. En stor del av fjärrvärmen, 28%, är spillvärme från stadens två raffinaderier medan Renovas avfallsförbränningsanläggning står för ca 23%. En värmepumpsanläggning som tar tillvara värmen i det renade avloppsvattnet från Rya avloppsreningsverk står för 11% och resterande andelar kommer från Göteborgs Energis egen produktion, mestadels baserad på naturgas. (Göteborg Energi, 2003a)

Nyttjandet av spillvärme i ett fjärrvärmenät är ur energisynpunkt en bra lösning. Den ger ett effektivt utnyttjande av resurser som annars går till spillo. Fjärrvärme har förutsättningar att utgöra en stor del av ett hållbart energisystem. Den kan baseras på ett flertal förnybara energikällor som biomassa, geotermisk energi och solenergi. Detta gör den flexibel, men den är även resurseffektiv ur den synvinkeln att spillvärme från till exempel industri och avloppsvatten kan tas tillvara samtidigt som den är ett driftsäkert och bekvämt uppvärmningsalternativ för användaren.

Den höga andelen fossila bränslen i Göteborgs Energis egen produktion är ur ett hållbarhetsperspektiv mindre positivt och kan tillsammans med nyttjandet av spillvärme från raffinaderierna ge en bild av Göteborgs energisystem som en relativt stor bidragsgivare till de oroande koldioxidutsläppen. De närmsta åren kommer framförallt tillförselsidan i Göteborgs energisystem att genomgå en del förändringar. Nästa stora investering är Rya naturgaskombikraftvärmeverk som kommer att använda närmare 3000 GWh naturgas per år. Den beräknas producera 1500 GWh el och 1100 GWh fjärrvärme per år och bidrar till att driften i äldre naturgaseldade anläggningar kan minskas. Det innebär också att Göteborgs behov av el utifrån minskar, 30% av elen istället för nuvarande 5% kan produceras i staden och kraftförsörjningen i Göteborg kan därmed bli mindre känslig vid störningar. Det är i linje med 1996 års totalförsvarsbeslut där Svenska kraftnät fick i uppdrag att arbeta för ökade möjligheter till så kallad ö-drift i det svenska elsystemet. En sektionering för ö-drift ska minska störningskänsligheten i elsystemet och ge bättre förutsättningar att driva samhällsviktiga funktioner (SVK, 2000). Trots detta kvarstår faktumet att andelen fossila bränslen i energimixen kommer att öka i och med att Rya innebär en ökning av den egna naturgasbaserade fjärrvärmerna.

I fjärrvärmesystemet pågår samtidigt en satsning mot en större andel biobränslen, främst i hetvattenpannor (Göteborg Energi, 2003a). En satsning mot ett koldioxidneutralt energisystem med förnybara energikällor som biomassa, sol, vind och vatten ligger såväl i svenskt, europeiskt och i växande omfattning även globalt intresse. Vägen dit är lång och beroende av ett omfattande förändringsarbete.

Industrins användning av energi uppgick år 1998 till ca 6700 GWh. Av detta utgjordes 4000 GWh av fossilt bränsle enbart till raffinaderierna och ca 1200 GWh av el, ungefär en fjärdedel av den el som användes totalt i Göteborgs kommun. Därmed kan man säga att det inte finns några särskilt elintensiva industrier i Göteborg, men att raffinaderierna är mycket stora energislukare. Närmare en tredjedel av den energi som tillförs raffinaderierna tas dock tillvara som spillvärme i fjärrvärmenätet. (Larsson, 2000)

Inget scenario om framtidens näringsliv i Göteborgsområdet görs i denna rapport. Såväl en utökning av tung, elintensiv industri, kanske biomassabaserad, som en fokusering kring mindre elintensiva tjänsteföretag är tänkbart. Men liksom för övriga delar av energisystemet torde ett rimligt antagande vara att en halvering av energianvändningen är möjlig i strävan mot ett hållbart samhälle.

Den genomsnittliga svensken använder idag omkring 50 000 kWh energi varje år, betydligt mer än genomsnittet inom EU som är 33 000 kWh. USA toppar listan med nästan dubbelt så hög användning som i Sverige medan det globala genomsnittet ligger omkring 14 000 kWh. Användningen i utvecklingsländerna är ofta betydligt lägre än så och faktum är att 20% av världens befolkning använder 80% av världens resurser. Denna ojämna fördelning är inte ett tecken på ett hållbart och rättvist samhälle. (Solstad Göteborg 2050, 2003)

2.1.2 Transporter

Göteborg är på flera sätt ett centrum. Förutom att vara Sveriges andra största stad finns nordens största hamn här. Närmare en tredjedel av den svenska exporten passerar igenom hamnen (Göteborgs Hamn, 2003). Detta präglar de transporter som sker till, från och inom staden.



Figur 1: The Sovereign Maersk tillhör världens största containerfartyg och är en regelbunden besökare i Göteborgs hamn. Den transporterar upp till 6600 containrar till och från fjärran östern. Källa: Göteborgs Hamn, 2003.

Arbetspendlingen både inom kommunen och över kommungränserna är stor och sker till stor del med bil. Även genomgående transporter bidrar till trafiken eftersom både E6 och E20 går rakt igenom staden samt att ett antal viktiga riksvägar ansluter till staden. Mängden transporter berörs inte i denna rapport, inte heller hur de genomförs. Att transporter alltid kommer att behövas råder ingen tvekan om och i Elin Löwendahls rapport *Fräscha Färdval* (2003), framtagen inom GÖTEBORG 2050 finns ett antal framtidsbilder som beskriver hur dessa skulle kunna gå till, liksom en utförlig beskrivning av nuläget. Fokus i denna rapport kommer att vara på framdrivningsmetoden, det vill säga hur vätgas eller andra vätebärare via i första hand bränsleceller kan användas för att driva de fordon som används för transporter i det hållbara samhället.

2.2 Vätgassamhällets teknik

Merparten av informationen i det här kapitlet är baserat på information från Ola Gröndalens rapport *Väte – Framtidens energibärare* (1998). För läsare som vill skaffa sig en mer komplett bild av utvecklingsläget och tekniken rekommenderas den rapporten. Här ges enbart en sammanfattning av den för denna rapport viktigaste informationen.

Vätgas används redan idag i stor omfattning inom industri världen över. Vätgasen är en viktig ingrediens i processer i bland annat kemisk- och petrokemisk industri, massaindusti och metallurgi och är vardag i så skilda saker som rymdindustri och margarintillverkning (Winter, 2003). Det innebär att teknik för produktion, lagring och transport redan existerar. Denna teknik utgör i viss utsträckning en plattform för utvecklingen mot ett framtida vätgas- och elbaserat energisystem, men ännu finns mycket kvar att göra innan vätgasen kan bli en del av vår vardag.

Vätgassamhället ses i denna rapport inte som ett samhälle där hela energisystemet är uppbyggt kring vätgas. Det syftar istället mot ett energisystem som till stor del är uppbyggt kring intermittenta energikällor för främst elproduktion. Just själva intermittensen hos energikällorna gör behovet av lagring till en central fråga (Sørensen, 2003). Enligt bland annat Holdren (1996) pågår en trend med ökande andel el i energisystemet, något som även det kan öka behoven av lättåtkomlig energilagring. Variationerna i lasten i nätet, det vill säga användningen, måste balanseras av den tillförda effekten. I Sverige görs detta i dag med vattenkraft som är mycket lämplig för detta ändamål. I framtiden kommer denna möjlighet kanske inte räcka till, då till exempel vindkraften tagit större andelar av den svenska energiproduktionen. Framförallt på platser i världen där vattenkraft inte finns tillgänglig kommer andra alternativ att krävas. Vätgas producerad av förnybar el kan vara ett lämpligt sätt att lagra el för att använda vid bristsituationer. Använd i bränsleceller kan den levererade eleffekten snabbt regleras och balansera variationer i systemet.

Bränsleceller är en av flera tekniker för att utnyttja vätgasens egenskaper. Som nämndes ovan har dess användning fram till idag främst handlat om dess lämplighet i vissa kemiska processer inom basindustri. Att använda vätgas som en energibärare och som bränsle vid kraftgenerering har flera fördelar. Vätgas som reagerar med syre bildar enbart vatten och ger därmed inga skadliga utsläpp medan reaktionen ger ett överskott på energi. El och värme kan genereras både i traditionella kraftvärmeprocesser och i bränsleceller. Till skillnad från olika termiska processer är bränslecellen inte begränsad av Carnotprocessens lagar varvid en högre verkningsgrad kan uppnås.

2.2.1 Väte som energibärare och bränsle

Väte är en flexibel energibärare i den meningen att det kan produceras på en rad olika sätt, varav några redan idag är tillförlitliga och kommersiella. Alternativa metoder finns i olika stadier av utveckling eller enbart på idéplanet. Vätets naturliga aggregationstillstånd är gas. Dess egenskaper är något besvärliga, främst på grund av dess låga densitet. Det är mycket flyktbenäget och har dessutom förmågan att diffundera genom vissa material, till exempel vissa metaller som normalt används i pipelines med mera. Dock finns det inget som klart tyder på att några oövervinnerliga hinder finns för att tekniken ska kunna utvecklas. Det finns ett antal varianter att hantera vätgas på som har förutsättningar att användas i ett storskaligt distributions- och lagringssystem. I Sverige används ca 3 TWh vätgas idag, vilket är ca 12% av den totala energigas användningen. Det är dubbelt så mycket som biogas bidrar med och en tredjedel av vad som tillförs med naturgas (Energiframsyn, 2002a).

2.2.1.1 Produktion av vätgas

Ett antal metoder för att producera vätgas finns redan idag. Den helt dominerande metoden är ångreformerings av naturgas. Ångreformerings kan även användas för lättare naftafraktioner, medan tyngre oljor och kol omvandlas genom partiell oxidation eller pyrolys. För kol är även

förgasning möjligt. De tre sistnämnda metoderna är tänkbara även för biomassa och avfall och det är främst i den riktningen utvecklingen av biomassabaserad vätgasproduktion går idag. Den syntesgas som förgasningen ger lämpar sig inte bara för vätgasproduktion. Även metanol kan vara fördelaktigt att producera, liksom andra syntetiska kolväten som Fischer-Tropschdiesel (FT-diesel) och dimetyleter (DME). En framtida omvandlingseffektivitet till vätgas eller metanol omkring 50-60% är rimliga att räkna med (Sørensen, 2003).

Det finns många varianter på ovan nämnda produktionsprinciper. En metod att framställa vätgas är via ångreformerings av biomassa i kombination med naturgas eller annan metangas, till exempel biogas. För att erhålla en kWh vätgas krävs ca 0,43 kWh biomassa och 0,44 kWh metan samt en mindre mängd el. Därmed ser det alltså ut som om verkningsgraden för sådan vätgasproduktion kan bli hög samtidigt som enbart förnybar energi kan användas. Det kan jämföras med elektrolys av vatten som idag, med omkring 80 % verkningsgrad, kräver cirka 1,25 kWh el för att producera 1 kWh vätgas.

Produktion som på olika sätt drivs med solenergi hör framtiden till och olika idéer testas och utvecklas. Bland annat försöker forskare ta fram solceller som istället för el producerar väte. Man tittar även på fotobiologiska och termiska processer baserade på solenergi. Växter och algers fotosyntes är ett sinnrikt sätt att omvandla energin i solljuset till väte, men vätets benägenhet att snabbt binda upp sig i större komplex gör detta väte svårtillgängligt. Forskare i Sverige och på andra håll försöker idag att på olika sätt öka väteproduktionen i bland annat blågrönalger för att på så sätt få ett överskott av väte som kan tillvaratas (STEM, 2003b).

I framtiden kan vätgasproduktion genom elektrolys med el från förnybara energikällor som vind, sol och vatten utgöra en av grundpelarna i ett hållbart energisystem, möjligen tillsammans med förgasning av biomassa. I en övergångsperiod mot ett vätgassamhälle kommer förmodligen väte att framställas genom reformering av lätta kolväten. Dessa är de mest lättillgängliga vätebärare vi har idag och dessutom den billigaste och helt dominerande tekniken för vätgasframställning som används i nuläget. Den gigantiska infrastruktur och fungerande ekonomi som är uppbyggd kring våra fossila bränslen skulle därmed ge möjlighet till en snabbare och smidigare infasning av väte som energibärare i vårt framtida energisystem. Dock finns en mängd olika sätt att producera vätgas, inte minst i biflöden i industriella processer, och några av dessa kommer troligen att ta en mindre eller större andel av framtidens vätgasproduktion.

2.2.1.2 Vätebärande medier

Utvecklingen för distribution och lagring av väte är tillsammans med utvecklingen av bränsleceller svårbedömd och tillsammans utgör de en bromskloss för tekniken. I dagsläget finns ingen tydlig tendens som pekar på någon enskild framtida vätebärare (Macfie, 2002), även om ren vätgas ur ett energieffektivitetsperspektiv är att föredra. Ett antal alternativ förutom ren vätgas i flytande och komprimerad form omnämns i litteraturen. Tre vätebärare tillika möjliga framtida biomassabaserade drivmedel är metanol, DME och FT-diesel. Teknik för att framställa dessa från fossil råvara används redan idag och de kan alla framställas även ur förgasad biomassa. Ammoniak, bensin och naturgas utgör andra möjligheter.

En annan intressant inriktning är natriumbaserade vätebärare. Natriumhydrid och natriumborhydrid testas av företag i Nordamerika och åtminstone för den sistnämnda verkar redan framtagna teknik fungera tillämpad i fordon. Natriumhydrid, NaH, är tänkt att distribueras som pellets kallade Powerballs. När innehållet löses i vatten utvecklas vätgas

enligt reaktionen $\text{NaH} + \text{H}_2\text{O} = \text{NaOH} + \text{H}_2$. NaOH kan sedan återanvändas vid produktion av nya pellets. Enligt företaget bakom Powerballs är vätgasinnehållet per volymenhet högt, omkring 1,6-1,7 gånger mer än för metanol och flytande väte och hela 6 gånger mer än komprimerad vätgas vid 20,7 MPa (3000 psi). Möjligheten till ett system för bulktransporter av drivmedlet och återföring av restprodukter för upparbetning framhålls som en fördel. Ingen energibalans för produktion och distribution finns presenterad. (Powerball, 2003)

Natriumborhydrid, NaBH_4 , hålls i vätskelösning vilket gör den enkel att distribuera. Vid "Hydrogen on demand"-processen reagerar NaBH_4 med 2 H_2O , bildar vätgas och NaBO_2 , mer känt som BORAX. Detta kan sedan återanvändas för produktion av ny NaBH_4 . Inte heller för denna metod finns någon beräknad energibalans. (Milleniumcell, 2003)

2.2.1.3 Vätgas som bränsle

Vätes starka reaktionsbenägenhet gör det till ett lämpligt bränsle. Reaktionen tillsammans med syre ger utöver ett stort energiöverskott bara vatten som restprodukt. Väte kan användas i vanliga förbränningsmotorer istället för till exempel bensin, men det väsentliga med vätet är dess funktion som bränsle tillsammans med syre i bränsleceller. Denna kombination har möjligheter att uppnå verkningsgrader dubbelt så höga som dagens förbränningsmotorer inom transportsystemet och utan några som helst utsläpp förutom vattenånga. (STEM, 2003b)

Stora delar av bilindustrin världen över arbetar med forskning kring vätgasdrivna bilar. Drivlinan som de flesta tittar på är bränsleceller av olika slag. Men vätgas kan även användas som bränsle i förbränningsmotorer och gasturbiner, även här utan koldioxidutsläpp som följd. BMW arbetar som ensam biltillverkare med utveckling av förbränningsmotorer för vätgasdrift (BMW Clean Energy, 2003).

I ett framtida vätgassamhälle är det tänkbart att vi använder "bränsle" till betydligt fler applikationer än vi gör idag, där vi idag använder exempelvis batterier. Små bränsleceller kan tänkas driva mobiltelefoner, datorer och annan likvärdig elektronik. Då kommer dessa att behöva "tankas" med bränsle jämna mellanrum.

2.2.2 Bränsleceller

Bränslecellen är inte någon ny uppfinning. Redan 1839 upptäckte William Grove funktionsprincipen och senare under 1800-talet kom man fram till att en stor del av den kemiska energin i bränslet kunde omvandlas till elektricitet. Bränslecell är egentligen ett något missvisande namn eftersom en cell i själva verket bara är en del av en så kallad stack. En stack är uppbyggd av ett antal celler och denna moduluppbyggnad ger bränslecellen stor flexibilitet. Den kan, åtminstone i teorin, relativt enkelt anpassas för olika ändamål och behov.

Funktionsprincipen för bränsleceller är lika enkel som genial. Kemisk energi omvandlas i bränslecellen direkt till elektrisk energi utan någon förbränning och därmed begränsas inte verkningsgraden heller av Carnotprocessens lagar. Den teoretiska verkningsgraden för en bränslecell hamnar på runt 70-80% (högre värmevärde), men tekniken kommer förmodligen att ge verkningsgrader omkring 60% som högst.

I en bränslecell omvandlas bränslets fria energi, även kallad Gibb's fria energi, till värme och elektrisk energi. Bränslecellen är uppbyggd omkring ett membran placerat i mitten. På utsidorna av membranet finns elektroder. Bränslet förs in på den ena sidan av membranet där

det omgående kommer att sträva efter att passera igenom membranet till andra sidan. När bränslet, till exempel vätgas, kommer i kontakt med elektroden på sin sida (anoden) splittras vätgasmolekylen och två elektroner förs vidare i en yttre ledare. De två frigjorda protonerna tar sig nu igenom det protongenomsläppliga membranet och förenar sig med syreatomer och elektroner vid katoden på andra sidan. Resultatet blir vattenånga, värme samt en ström av elektroner genom den yttre kretsen. (Macfie, 2002)

Även om tekniken för bränsleceller finns, har den ännu långt kvar till en nivå som kan innebära en bred kommersialisering på större massmarknader såsom för bilar och kraft- och värmeproduktion. Några avgörande hinder som måste överkommas innan tekniken kan anses mogen för storskalig utbredning är förutom konkurrenskraftiga priser en rimlig livslängd och att underhållsbehovet är litet. Utvecklingen sker på flera fronter och ännu har inte det stadium nåtts där det är tydligt vilka funktionsprinciper som är mest lämpade att satsa på. De har alla för- och nackdelar, samtidigt som det inte är säkert att de varianter som är bäst kända idag, verkligen är de som har framtiden för sig. I och med detta är det svårt att sia om framtiden, även om det i dagsläget pekar mot att PEM-bränsleceller (PEM – polymermembranelektrolyt eller ”proton exchange membrane”) kommer att bli först som drivsystem för fordon medan MCFC (smältkarbonatbränslecell) och SOFC (fastoxidbränslecell) ligger närmast till hands för stationär användning i kraftvärmeproduktion.

I riktigt stor skala är det dock tveksamt om bränsleceller någonsin kommer att kunna konkurrera med moderna kraftvärmecykler med gasturbinsteg, eftersom verkningsgraden för dessa ligger på samma höga nivå.

2.2.3 Annan vätgasbaserad energiteknik

Stora bränsleceller för el- och värmeproduktion på upp till ett par hundra MW el respektive värme är tänkbara ur ett tekniskt perspektiv, men inte konkurrenskraftiga enligt de bedömningar som görs i dagsläget. Här kommer gaskombicykler och avancerade ångpannecykler fortfarande att ha bättre förutsättningar med tanke på ekonomi och livslängd. Dock är det inte orimligt att anta att vätgas kommer att utgöra bränsle, eventuellt tillsammans med andra gaser såsom syntesgas eller naturgas. Spillvärme från storskalig produktion av vätgas skulle kunna ge ett tillskott till fjärrvärmeproduktionen, liksom raffinaderierna gör idag. Här finns också möjligheter till kombinerad produktion av vätgas och olika primärprodukter inom flera industrier, till exempel kemi- och metallurgiindustri.

En intressant idé för att begränsa koldioxidutsläpp vid exempelvis förbränning är att låta koldioxiden reagera med vätgas och bilda metan, metanol eller annan lämplig vätebärare. Denna idé drivs bland annat av den Isländske vätgasförespråkaren Professor Bragi Arnason (Macfie, 2002). På det sättet skulle koldioxidutsläpp kunna ”fördröjas” genom att samma kolatomer används vid förbränning flera gånger innan de släpps ut i atmosfären. Men det innebär samtidigt att energi först måste användas för att producera vätgas, sedan för att driva reaktionen tillbaka till vätebärare.

3 Ramar och mål

Själva backcastingmetoden bygger till stor del på att istället för att göra framskrivningar av nuläget, skapa bilder av framtiden utifrån vilka krav vi ställer på den (Holmberg, 1998). De krav som formuleras här nedan utgör ekologiska och sociala ramar och mål för att uppnå ett hållbart samhälle.

3.1 Ekologisk hållbarhet

Ordet hållbarhet är populärt och kan sammankopplas med en rad olika betydelser. Inom GÖTEBORG 2050 är dock betydelsen i grunden densamma som presenterades i Brundtlandkommissionens rapport 1987 (WCED):

”En hållbar utveckling är en utveckling som tillgodoser dagens behov utan att äventyra förutsättningarna för kommande generationer att tillgodose sina behov.”

Hållbarhet ur ett ekologiskt perspektiv innebär att den belastning samhället ger på jordens ekosystem inte ska förändra eller förstöra dessa och därmed förhindra framtida generationer att på olika sätt nyttja de värden som ekosystemen innefattar.

Det ekologiska perspektivet har lett till ramar för framtidsbilderna som innebär ett energisystem baserat enbart på förnybara energikällor. Dessa ska nyttjas på ett sådant sätt att de kan användas under en mycket lång tid framöver. Ett storskaligt nyttjande av biomassa kan utarma såväl skogar som odlingsmarker medan vind- och vattenkraft liksom övriga förnybara energikällor har sina egna miljökonsekvenser. Viktigt i det ekologiska perspektivet är även nyttjandet av naturresurser i tekniken. Till de ekologiska ramarna hör då även att den teknik som används ska ingå i ett kretslopp av material. Inga sällsynta grundämnen ska behöva efterfrågas i sådan omfattning att det leder till rovdrift och målet är att alla material ska återvinnas inom systemet. Den tredje ekologiska ramen sätts utifrån utsläppsperspektivet. I ett hållbart energisystem är hotet från växthusgaserna undanröjt men även kväve- och svavelutsläpp med mera måste hållas på en nivå under de kritiska belastningsgränserna.

3.2 Välfärden

Den välfärd västvärldens länder uppnått under 1900-talet är till viss del baserad på orättvis fördelning av världens resurser. Ända sedan kolonialismen har billiga och viktiga råvaror hämtats i u-länder för att utgöra materialråvara i västvärldens tillverkningsindustrier. Västvärlden har haft en snabb industriell utveckling medan många länder i Afrika, Asien och Sydamerika till stor del ”står kvar” i ett primitivt jordbrukssamhälle där resurserna dessutom kan vara mycket ojämnt fördelade inom landet. En förutsättning för en fortsatt utvecklad välfärd är att även folken i utvecklingsländerna får del av den och tillåts ”komma upp” på motsvarande nivå som västvärlden. En jämn fördelning av jordens resurser skulle exempelvis kunna innebära en energibudget per capita, en viss mängd växthusgasutsläpp per capita med mera.

Detta resonemang har bland annat tagit sig formen i uttrycket *rättvist miljöutrymme*, ett uttryck som passar bra att använda när man talar om energiförsörjning och andra centrala frågor ur ett globalt perspektiv. Svenska Miljöförbundet Jordens Vänner och dess internationella moderorganisation Friends of the Earth International har använt begreppet som utvecklats av det tyska Wuppertalinstitutet för att kunna använda det som redskap i sitt arbete för ett hållbart Sverige och en hållbar värld. (Miljöförbundet Jordens Vänner, 1997)

3.2.1 Rättvist miljöutrymme

Rättvist miljöutrymme ska ses på den enskilde individens nivå. En person boende i Göteborg ska ha rätt till samma tilldelning av jordens resurser som en person i Dubai, Indien eller Mali. Det kan verka orimligt på grund av de kraftigt varierande förutsättningar som gäller på vår planet, till exempel med tanke på klimatet. Men i ett hållbart samhälle kan man tänka sig att olika omständigheter, såsom kylbehov vid värme och uppvärmningsbehov vid kyla, tar ut varandra. Energisnål teknik gör också att skillnaderna minskar. Utifrån uppsatta mål om till exempel koldioxidhalten i atmosfären kan därmed ett utsläppsutrymme per capita beräknas och utifrån en rimlig nivå på den framtida tillgången på förnybar energi kan ett energiutrymme bestämmas. Detsamma kan sägas om jordmån, vatten och andra naturresurser.

I denna studie kommer *rättvist miljöutrymme* endast att beröras ur ett energiperspektiv. För att uppnå social hållbarhet krävs dock betydligt mer. Det utmanande arbetet med att ta ett helhetsgrepp kring de orättvisor som vår värld rymmer måste ske på alla fronter.

3.2.2 Det goda livet

En allmän utveckling av vad vi kallar välfärd är inte oförenlig med en minskad energianvändning, något som man ibland kan få intryck av i debatten. Ny energiteknik innebär nya möjligheter för näringslivet. Att använda energi och materiel på ett klokare och effektivare sätt innebär självklart möjliga besparingar likväl som andra typer av effektivisering. Inom projekt GÖTEBORG 2050 används begreppet *det goda livet*. Det är begrepp för att symbolisera den välfärd som vi lever i idag och som vi vill fortsätta att utveckla. Till stor del sätter vi idag värde på det materiella omkring oss liksom på mängden aktiviteter vi engagerar oss i. En omvärdering av begreppet välfärd, där ett lugnare tempo med mer kvalitativa upplevelser, sociala relationer och andra, ”mjuka” värden får en större plats skulle kunna bidra till ett hållbart samhälle på flera sätt. Förutom mindre materiellflöden genom ett minskat behov av ”prylar”, skulle eventuellt vårt transportbehov kunna minska vilket väsentligt kan påverka vår energianvändning. Ett lugnare tempo med färre men mer högkvalitativa aktiviteter skulle minska stressen och därmed behovet av många, snabba transporter. Detta utreds vidare av Löwendahl (2003).

3.3 Energiutrymme 2050

Utifrån ovan förda resonemang om *rättvist miljöutrymme* kan ett försök göras att beräkna vilka behov av energi som kommer att finnas i Göteborg 2050. Energibehov uttrycks oftast som ett årligt energibehov eller som ett effektbehov.

Den främsta metoden för att nå ett hållbart samhälle är att effektivisera energianvändningen. Effektiviseringar innebär ju att en viss mängd energi inte behöver användas och därmed inte genereras. Därmed blir det inte längre fullt naturligt att prata om att ersätta dagens främst fossila energiresurser med andra, utan snarare att minska behoven.

Användningen av energin idag är som tidigare nämnts orättvist fördelad över jorden. Den totala energianvändningen på jorden uppgår till omkring 120 000 TWh (UNDP, 2000) med en befolkning på ca 6 miljarder människor. Utgår vi ifrån att jordens befolkning ökar till någonstans omkring 10 miljarder människor till år 2050, såsom FN förutspår i sina scenarios (UN, 2001), kan en bedömning göras över hur mycket energi var och en kan använda i snitt per år.

John P. Holdren (1996) argumenterar för en framtid där varje människa har tillgång till omkring 3 kW. Uttryckt i energibehov över året skulle det innebära 26300 kWh per år och capita. Det är ungefär hälften av vad en svensk använder idag och kan också jämföras med 2,35 kW som var medelvärdet för en jordinvånare 1994. Holdren tar upp tre viktiga faktorer som påverkar det totala energibehovet: jordens population av människor, den genomsnittliga ekonomiska aktiviteten samt den genomsnittliga energianvändningen per BNP. Han pekar på fem nyckelingredienser för en förnuftig, global energistrategi:

1. Ökad effektivitet i slutanvändningen av energi
2. Reducering av miljöeffekterna av dagens energikällor
3. Underlättar övergången till mer hållbara energialternativ
4. Utökade program för internationellt samarbete och bistånd
5. Stoppa världens befolkningstillväxt vid 10 miljarder eller därunder

Om en sådan strategi genomförs på ett lyckat sätt, förutspår Holdren dels en minskad klyfta mellan I- och U-länderna, samtidigt som båda grupperna hamnar kring ett effektbehov av omkring 3 kW per capita.

I Schweiz har the Swiss Federal Institutes of Technology (2002) studerat möjligheterna för landet att fram till år 2050 bli ett 2000-wattssamhälle. Alltså ett samhälle där varje människa har ett effektbehov av 2 kW eller ett årligt energibehov av 17 500 kWh. Studien fokuserar mycket kring potentialen för energibesparingar inom alla led i energisystemet, från primärproduktion till de beteenden som styr hur vi väljer att utnyttja de energitjänster som utgör slutprodukten för energin. Om vi utvecklar jorden mot ett 2kW-samhälle, skulle det med en befolkning på 10 miljarder människor innebära ett totalt årligt energibehov på omkring 17 miljarder TWh.

Goldemberg med flera (1985) argumenterar för ett framtida samhälle med ett effektbehov av 1 kW per capita. De anser att en utveckling av välfärden, främst i utvecklingsländerna, inte alls, som annars ofta hävdas, är beroende av en kraftigt ökad energianvändning. De fokuserar istället på själva energitjänsterna som ger den välfärd man anser vara rimlig och konstaterar att dessa bör kunna bli tillgängliga vid 1 kW eller knappt 8800 kWh/år per capita. Det förutsätter att dagens effektivaste teknik utnyttjas samt att ytterligare framsteg görs på området. Resultatet skulle då kunna bli ett globalt årligt energibehov på omkring 9 miljarder TWh.

3.3.1 Energitillförsel

Med en världsbefolkning på 10 miljarder människor skulle det globala, årliga energibehovet utifrån ovan förda resonemang hamna mellan 87 600 TWh och 262 000 TWh. Utifrån ett globalt, hållbart tillgångsperspektiv som presenteras i Solstad Göteborg 2050 (2003), kan ett rimligt energiutrymme anges till 25 000 kWh/cap år. Hänsyn har då tagits till de flöden av förnybar energi som solen förser oss med samt en antagen teknisk potential. Det skulle i termer av effekt innebära knappt 3 kW/cap, i närheten av vad Holdren (1996) talar för. I tabell 1 finns uppgifter om storleken på de olika flödande energiresurserna. Där framgår det att den teoretiska potentialen är i det närmaste oändlig mått med dagens mått, men även den bedömda tekniska potentialen är långt större än de 250 000 TWh som ett tänkt hållbart scenario skulle behöva.

Tabell 1: Den globala resursbasen för förnybar energi jämfört med det globala energiscenariot i Solstad Göteborg 2050. Källa: World Energy Assessment, UNDP.

Energiresurs	Hållbart scenario (TWh)	Teknisk potential (TWh)	Teoretisk potential (TWh)
Solenergi (el och värme)	127 500	>440 000	1 000 000 000
Biomassa	55 000	>80 000	800 000
Vind	55 000 (inklusive havsenergi)	180 000	1 700 000
Havsströmmar	(se ovan)	Ingen uppskattning	2 000 000
Vattenkraft	12 500 (inklusive geotermisk)	14 000	40 000
Geotermisk energi	(se ovan)	1 400 000	40 000 000 000
Totalt	250 000	>2 100 000	>40 000 000 000

4 Framtidsbilder

Vätgas kan komma att nyttjas inom en lång rad områden i framtiden. Tillsammans med el har den alla möjligheter att utgöra energibärare i ett hållbart och flexibelt energisystem baserat på förnybara energikällor. I par med bränslecellsteknologin kan vätgasen i framtiden fungera som ett okomplicerat och framförallt rent framdrivningsalternativ för alla typer av fordon. Det kan ha ersatt batterier i de flesta tillämpningar såsom handdatorer, mobiltelefoner, kameror och ficklampor.

Framtidsbilderna om Göteborg är indelade i två scenarier. De båda scenarierna ska visa på att vätgassamhället beroende på en mängd faktorer kan få olika stort genomslag. I respektive scenario finns beskrivningar av var i energisystemet vätgas används som energibärare och bränsle, hur den produceras, lagras och distribueras. På grund av transporternas ökande andel av energianvändningen världen över och deras nuvarande starka koppling till fossila bränslen, läggs viss tonvikt på vätgasens och bränslecellernas genomslag i transportsystemet.

Det första scenariot bygger på att vätgastekniken och bränsleceller visar sig besvärligare än vi idag hoppas och därmed inte når den tekniska mognad och de kostnadsnivåer som ger det en möjlighet att slå igenom på bred front. Detta scenario kallas ”nischscenariot” eftersom det baseras på att vätgas och bränsleceller endast slagit igenom inom en rad särskilt lämpade användningsområden.

Det andra scenariot är en framtid där hela vårt samhälle genomsyras av väte som energibärare vid sidan av och i kombination med elektriciteten. Bränslecellerna har tagit plats i alla tänkbara applikationer ifrån en klockas storlek till kraftvärmeverk upp till flera tiotals megawatt. Vätgas och bränsleceller är i detta scenario en dominerande teknik i transportsystemet och en viktig del i ett förnybart energisystem med en stor andel vind- och solcell vid sidan av vattenkraften. Detta scenario kallas därför ”totalscenario”.

Framtidsbilderna inleds dock med ett avsnitt om det hållbara energisystemets energikällor. Den flödande energin har här ersatt den fossila energi vi i så stor utsträckning förlitar oss till idag.

Framtidsbilderna är skrivna såsom om de var skrivna i framtiden, det vill säga ”nu” och ”idag” betyder ”i det hållbara samhället”.

4.1 Primärenergi i det globala energisystemet

Göteborg är en del av en värld, en värld som på många sätt blir mer och mer internationaliserad, där gränser steg för steg suddas ut. Energiförsörjning är en nationell angelägenhet som tidigare i stor utsträckning sköttes inom respektive nations gränser. Idag är en trygg energiförsörjning visserligen fortfarande en nationell angelägenhet, men handeln med energi sker på större, internationella marknader som bit för bit avregleras. I Europa sker de största förändringarna på el- och naturgasmarknaderna.

I Sverige var handeln med el över gränserna i det närmaste obefintlig för bara 15-20 år sedan. Idag handlar svenska energibolag, ibland ägda av större europeiska energijättar, el på en nordisk marknad och sannolikt kommer denna marknad inom ett antal år vara europeisk. För att kunna säga något om det hållbara energisystemet i Göteborg utgår vi från hur ett globalt hållbart energisystem kan te sig. Det intressanta i det globala perspektivet är dels vilken

primärenergi som nyttjas, med hänsyn till de ekologiska ramarna, dels hur fördelningen utefter de sociala ramarna ser ut.

4.1.1 Den flödande primärenergin

Idag använder vi mellan 75% och 85% fossila bränslen för vår energiförsörjning på jorden. De fossila bränslena är långtidslagrad solenergi som när den förbränns ändrar den naturliga balansen på vår planet. Samtidigt flödar enorma mängder energi direkt och indirekt till oss ifrån solen. Om vi bara lyckas ta tillvara en tiotusendel av den instrålade energin skulle vi kunna försörja hela världen med energi. Detta kan dels ske direkt genom solceller som omvandlar fotonerna i ljuset till elektrisk energi eller med andra fotokemiska, fotobiologiska eller termiska processer som tar vara på solstrålningen. Det kan även ske indirekt genom att ta tillvara på energin i vindar, havsströmmar, vågor, biomassa och strömmande vatten.

I framtidens hållbara värld är det helt naturligt att utnyttja dessa resurser. Acceptansen för till exempel vindkraft har ökat i takt med att den globala uppvärmningen på olika sätt visat sitt ansikte, samtidigt som oljan nu blivit en mer och mer osäker resurs. Samtidigt har utvecklingen gjort att tekniken för den förnybara energin inte längre utgör något hinder.

På låga breddgrader har grus och sand ute i karga öknar fått konkurrens om solens strålar av gigantiska solcellsparkar som genererar enorma mängder elektricitet. Från Nordafrika förs el via högspänningsledningar upp mot de stora industri- och befolkningscentrena i centrala och norra Europa. Till en del används elen också för att elektrolysera vatten till syre och vätegas. Ett antal stora pipelines, varav några tidigare varit fyllda med naturgas, slingrar sig mot norr för att dyka in under medelhavets vatten och komma upp igen på den spanska och italienska kusten. Här distribueras vätegasen vidare ut i Europa för att användas i de tillämpningar som människorna integrerat i sitt samhälle.

Norrut, mot Europa, är fortfarande den dominerande riktningen för kraftöverföringen från Sahara. Men även söderut ringlar sig kraftledningar och pipelines och förser stora delar av Afrika med energi av hög kvalitet. Även från Kalahari går kraftledningar mot Centralafrika som därmed fått tillgång till ett väsentligt hjälpmedel i kampen mot den tidigare fattigdomen.

Solcellsanläggningarna finns i de flesta ökenområdena i världen och har fått stor betydelse bland annat i delar av Asien, Australien och Nordamerika. Solenergin har också gett vissa sidovinster. Eftersom solcellsanläggningar ofta är placerade på platser med ett varmt och torrt klimat har behovet av vatten för elektrolys tvingat fram en kraftig utveckling av avsaltningsanläggningar för havsvatten. Detta har lett till att det nu skapats nya möjligheter att använda avsaltat havsvatten för konstbevattning. Tidigare öde områden som torkan hållit i ett fast grepp har i viss mån börjat brukas, bristen på rent vatten har i en del områden minskat och ökenspridningen kan till viss del hindras. Tillsammans har dessa faktorer gett tidigare hårt pressade, resursfattiga länder nya möjligheter till utveckling. Handeln med energi har gjort vissa länder i det hållbara samhället, till vad Saudiarabien, Ryssland och Irak med flera var i det fossilbaserade samhället.

Men solceller är inte bara viktiga i storskaliga ökenanläggningar. Solceller finns även utspridda på platser såsom hustak, inbyggda i fönster, på busskurer och diverse fordon. Till exempel är tåg- och flygplanstak ofta försedda med solceller för att täcka elbehovet ombord. Billiga tunnfilmssolceller kan placeras i princip varsohelst där det behövs elektricitet.

Solenergi nyttjas inte bara för elgenerering utan även i stor omfattning för uppvärmning av vatten för hushållsbehov. Tekniken är relativt gammal och okomplicerad, vilket gjort den till det naturliga alternativet på platser där behovet av fjärrvärme eller annan uppvärmningsform inte finns. I Sverige och andra områden med liknande förutsättningar är solvärme ett billigt och funktionellt komplement till annan uppvärmning. På en del håll utgör solvärme dessutom en del i fjärrvärmesystem.

I det hållbara samhället finns vindkraft utspridd i parker utanför de flesta kontinenternas långsträckta havskuster. I Europa finns de längs med merparten av atlantkusten från Gibraltar i söder till Nordkapp i norr. Även på land är spridningen stor, framförallt i jordbruksbygder och på andra platser där landskapet sedan tidigare på olika sätt exploaterats.

Förutom att ge förnybar el har vindkraftparkerna också hejdat det tidigare storskaliga rovfiske som skedde i de relativt grunda havsområden som varit lämpliga och därmed byggts ut med vindkraft. Detta har därmed delvis räddat ett antal viktiga fiskbestånd från hotande utfiskning. Det har även ökat möjligheterna för småskaligt fiske och på en del håll används fundamenten till vindkraftverken för fiskodling. På land har utbyggnaden främst skett i jordbrukslandskap världen över, där jordbrukare fått en välkommen möjlighet till extrainkomster. För 150 år sedan var väderkvarnar fortfarande ett ganska vanligt inslag i dessa trakter. Mycket har förändrats sedan dess, men nu har det åter börjat snurra i jordbrukslandskapet och vindkraftverken har blivit den moderna tidens väderkvarnar.

Oerhörda energiresurser finns i vinden. Beräkningar som gjorts visar att världens hela energibehov i teorin skulle kunna tillgodoses av den vindenergi som flödar bara över Patagonien (Winter, 2003). Detta ger också möjlighet för nya regioner i världen att ta en mer aktiv roll och en central plats i den hållbara utvecklingen.

Mellan de stora ökenområdena, omkring ekvatorn, breder fortfarande stora områden av regnskog ut sig. De har till viss del fått ge plats för modernt och anpassat hållbart jord- och skogsbruk. På plantager odlas snabbväxande trädslag som regelbundet skördas och används såväl i inhemsk skogs- och energinäring som för export som energiråvara. Återföring av aska har blivit en viktig del och de båtar, tåg och lastbilar som transporterar flis ut till användarna har för länge sedan slutat köra tomma tillbaka. Numera är transportkedjan såväl som kedjan för många viktiga näringsämnen komplett.

Den tidigare rovdriften på skogarna i regnskogsbältet har stoppats och istället utvecklats till en bärkraftig och livsviktig näring i många före detta U-länder. De kvarvarande regnskogarna har ett starkt skydd men nyttjas som producent av biologiska substanser för läkemedel med mera. Insamlingen av dessa är ett arbete som för det mesta sköts av ursprungsbefolkning i dessa områden.

Biomassa produceras inte bara i tropiska områden. Även i det norra barrskogsbältet, med tyngdpunkt i Kanada och Ryssland, sker en stor men hållbar produktion av biomassa utöver det traditionella skogsbruket. Biomassa har blivit en viktig, global energiresurs, från att tidigare mest ha setts som en restprodukt i skogindustrin eller som ett bränsle för hushållsbehov.

Öresundsbron och Stora bältbron i Danmark har flera saker gemensamt. Bland annat sträcker de sig båda över vatten som förbinder Nordsjön med Östersjön. Under brospannen strömmar årligen enorma mängder vatten fram och tillbaka. Vid den senaste revisionen av respektive bro placerades turbiner för elgenerering mellan ett antal av fundamenten. Även på andra håll, till exempel i några av de svenska älvarnas mynningar och i Kalmarsund, används tekniken som ger ett rent tillskott till den nordiska elproduktionen.

Vattenkraften har bibehållit sin betydande roll i vissa regioner, men har på grund av den allmänna opinionen inte byggts ut nämnvärt. Däremot har strömmande vatten på andra sätt börjat nyttjas för energiproduktion. Turbiner med vissa likheter med moderna vindkraftverk har börjat användas för att utvinna den flödande energin i havsströmmar, utbyggda floder och på platser med stora tidvattenströmmar. Bland annat nyttjas Golfströmmen utanför den amerikanska östkusten där gigantiska turbiner, var och en med en effekt av 75 MW, placerats ut (Falkemo, 1980).

I och med övergången till det hållbara samhället har resursfördelningen över jorden fått en bättre och naturligare balans. Olja är inte längre den enda riktigt stora och viktiga energiråvaran som handlas över gränserna, den har till stor del konkurrerats ut av en flexibel och mer välfördelad mix av energikällor, -bärare och bränslen. Stora energitillgångar finns i den del av världen som tidigare ständigt kämpade i den globala rännstenen. När dessa slutligen kunde nyttjas på ett balanserat sätt var det globala samhället en god bit på väg mot hållbarhet.

4.1.2 El- och värmeproduktion, Göteborg 2050

I båda scenarierna är en övervägande del av el- och värmeproduktionen i Sverige och i ökande omfattning även i övriga världen, baserad på förnybara energikällor.

Ute på Fladens bankar står Göteborg Energis stora vindkraftpark med 50 ståligt roterande rotorerna, producerandes omkring 0,5 TWh utsläppsfri el till det nordiska elsystemet varje år (Göteborg Energi, 2003b). Den är inte ensam. Både i norr och söder längs med västkusten, samt längs med ostkusten, finns liknande parker som kraftigt har ökat vindkraftens andel i det svenska energisystemet. Även de stora jordbruksslätterna och vissa, begränsade delar av fjällvärden har försetts med vindkraftverk i mindre parker.

Den totala årsproduktionen av vindkraft kan enligt Statens energimyndighet uppgå till 29 TWh om 40-50 år. Detta motsvarar nästan en fjärdedel av den svenska elanvändningen idag. (Energiframsyn, 2002c)

Göteborg Energis kraftvärmeverk i Rya är sedan länge konverterat för drift med förnybara bränslen, i första hand förgasad biomassa. Anläggningen producerar både fjärrvärme och el för Göteborgsregionens behov, men den viktigaste delen av anläggningen finns inte i turbin- och pannhuset. Istället är mottagningsanläggningen för biomassa och den stora förgasningsanläggningen centrum för Göteborgs nya energiindustri. Förgasningsanläggningen har växt från att enbart försörja kraftvärmeverket till att producera olika energibärare som metan, vätgas och metanol för olika syften.

Biobaserad kraftvärme har tagit en allt större andel av fjärrvärmeproduktionen i Sverige. Fjärrvärmenät har byggts ihop, förtätats och utsträckt till värmeglesare områden. På det viset har ett större värmeunderlag bildats, vilket främst gynnat kraftproduktion under sommarhalvåret (SVK, 2003). Totalt levereras ca 75% av värmebehovet i lokaler och bostäder med fjärrvärme, vilket motsvarar ca 75 TWh/år. Detta har gett underlag för en produktion av 25-30 TWh el i fjärrvärmesystemet, varav merparten är baserad på biomassa och bioavfall. Förgasningstekniken har varit avgörande för att få fram mindre, effektiva kraftvärmeverk med kombicykler.

Förgasningstekniken används som ett första steg för att förädla biomassa till effektivare energibärare som vätgas och metanol. De används i viss utsträckning direkt som energibärare men omvandlas också i kemisk industri till olika typer av plaster och drivmedel som DME. Stora mängder biomassa används, till viss del importerad med fartyg från tropiska energiskogsplantager. Även sorterat avfall tas tillvara på detta vis.

Liksom tidigare utgör vattenkraften en stor del av svensk elproduktion. Omkring 60 TWh el per år produceras här och dess betydelse som effektbalans i det alltmer intermittenta kraftsystemet har ökat. Av den anledningen har några kraftverk modifierats till pumpkraftverk. I ett pumpkraftverk kan vatten pumpas tillbaks upp i reservoaren när efterfrågan på el är låg (Energiframsyn, 2002b). Liksom tidigare framkommer emellanåt idéer om att bygga ut hela eller åtminstone delar av de orörda älvarna, men den allmänna opinionen för skyddet av dem håller i sig och får stöd av att det inte råder någon allvarlig bristsituation i Sverige. En mindre satsning i början av seklet gav några GWh extra ur gamla tidigare nedlagda minikraftverk och liknande dammanläggningar som rustades och försågs med nya turbiner.

Det traditionella röda teglet och trista gamla plåttak har blivit mer och mer sällsynta. På hustak runtomkring i landet har fler och fler blanksvarta tak börjat synas. Det gäller inte minst i Göteborg, där taken på flerfamiljshus och lokaler i Göteborg i allt större utsträckning används för att generera energi. En del av de svarta panelerna är solceller som producerar elektricitet, medan andra värmer vatten för uppvärmning och tappvarmvatten. De stora glasfasaderna på många kontorsbyggnader och liknande döljer en hemlighet: de har integrerade solceller som bidrar till större självförsörjning.

Solpaneler för varmvattenproduktion och solceller för el kan i framtiden mycket väl tänkas bli vanliga som byggelement för olika typer av byggnader. De kan integreras i, eller rent av utgöra, tak och väggar och samtidigt bidra till en ökad distribuerad energiproduktion. I ett hållbart Göteborg är det tänkbart att omkring 5% av energibehovet täcks av solvärme och omkring 10% av solel.

Solcellerna tillsammans med vindkraften kring hamnen och runtomkring staden och kraftvärmen har gjort Göteborgsregionen i relativt stor utsträckning självförsörjande på el. Detta är en stor förändring mot hur det såg ut vid förra sekelskiftet. Det för med sig en rad fördelar, till exempel att pressen på det svenska stamnätet har minskat, samt att en större flexibilitet, beredskap och säkerhet finns i försörjningen. Det har dock även medfört en del nackdelar, såsom att de intermittenta kraftkällorna vind och sol givit upphov till ett behov av lagringskapacitet samt stora förbättringar av effektstyrning på elnätet (Energiframsyn, 2002a).

Ur ett svenskt perspektiv kan sägas att vi i detta läge i genomsnitt är självförsörjande på el, men avvecklingen av den europeiska elmarknaden har medfört ett betydligt större flöde av el över gränserna. Netto blir dock flödesbalansen liten, ungefär lika mycket importeras och exporteras. Med högspänd likström överförs el med låga förluster kors och tvärs mellan olika regioner i Europa. De intermittenta energikällorna har gjort att priserna på den europeiska spotmarknaden för el varierar relativt mycket, något som gjort detta lönsamt och nödvändigt.

4.1.3 Vägen dit

En medveten satsning på energiteknik som prioriterat bistånd kan ge många av utvecklingsländerna en möjlighet att komma på fötter och fortsätta driva sin egen utveckling. Så kallad "leapfrogging", tekniska grodhopp, kan om det tillämpas på ett genomtänkt sätt lyfta dessa länder förbi sämre steg på utvecklingsstegen. Framförallt är det onödigt att utsätta människors hälsa och miljön för onödiga faror med gammal teknik som orenad kolförbränning, när ny och renare teknik finns. Ett rättvist handelssystem för energibärare som biomassa och vätgas kan kanske ge en välkommen inkomstkälla för vissa länder. Men åtgärder måste samtidigt vidtas för att undvika rovdrift.

Den tekniska utvecklingen drivs i dagsläget främst i väst, men inom vissa nischområden är det mycket väl tänkbart att även utvecklingsländer kan få en framträdande roll. Ett exempel på en sådan nisch skulle kunna vara effektiva spisar för matlagning som idag saknas i många fattiga hushåll i u-länderna.

För många länder har omställningen till ett hållbart samhälle varit svår. När hunger och fattigdom är vardag blir uppoffringar för miljön på kort sikt svåra att motivera. Men om resurser från dagens storskaliga och många gånger destruktiva skogs- och jordbruk börjar komma folket tillgodo, kan fler och fler komma på fötter och därefter både driva och acceptera en övergång till ett hållbart skogs- och jordbruk.

I västvärlden är attityder hos människor av stor betydelse. De måste på bred front förändras till förmån för ett hållbart samhälle. Värderingar behöver förändras och förståelsen för vår omgivning öka. Enträget arbete, från början bara från vissa forskargrupper och miljövänner men efter hand även av politiker och hela nationer, måste rimligtvis ge resultat för kommande generationer.

Multilaterala överenskommelser om utsläppsnivåer, ekonomiska styrmedel och gemensamma satsningar på forskning och utveckling är några metoder för att styra utvecklingen åt rätt håll. Att inte bara se kostnaderna med dessa omställningar, utan även vinsterna, hör även det i viss mån ihop med ovan nämnda attityd- och värderingsförändringar.

4.2 Nischscenario

Detta scenario präglas av att trots en starkt driven forskning och utveckling har vätgasen inte slagit igenom på bred front i energisystemet. Det kan bero på flera orsaker, främst att tekniken för bränsleceller inte blivit tillräckligt prisvärd, tillgänglig eller tillförlitlig. Det kan vara den begränsade livslängden på membran och elektrolyter som blivit avgörande, eller att man inte lyckats få ner behovet av sällsynta och dyrbara ädelmetaller som katalysatormaterial på elektroder.

Utvecklingen mot ett förnybart energisystem har ändå gått framåt och vind, sol och biomassa har till största delen tagit över efter kärnkraft och fossila bränslen. Effektiviseringar av energianvändningen har också haft stor betydelse. Transportsystemet har blivit hållbart, men inte så mycket tack vare en bred användning av vätgas och bränsleceller. Annan utveckling har haft större betydelse, såsom förändrade beteenden, förändrad stadsplanering och effektivare fordon bättre anpassade efter behoven.

4.2.1 Produktion, distribution och lagring

Produktionen av vätgas sker främst i anslutning till annan produktion samt på vissa platser för att reglera lasten på elnätet. De behov som finns täcks till största delen av de biflöden som blir vid bland annat biomassabaserad drivmedelsproduktion. På vissa håll kompletteras detta med elektrolys och reversibla bränsleceller. I många städer är bussparken nästan helt vätgasdriven och där finns därför elektrolysanläggningar som tar tillvara el under främst låglastperioder. Dessa anläggningar har på en del håll bundits samman med andra anläggningar i mindre distributionsnät.

Något större, regionalt eller nationellt distributionsnät för vätgas är inte aktuellt i Sverige vid den här tidpunkten. På vissa håll i Europa finns det dock sådana, dels i form av gamla industriella nät men även i Sydeuropa där vätgas överförs från solcellsanläggningarna i Nordafrika.

4.2.2 Kraftsystemet; bränsleceller för belastningskontroll och reservkraft

I och med den stora andelen vindkraft i elsystemet har ett behov av att balansera effektsvängningar uppstått. Vindkraftparkerna till havs är anslutna till kraftnätet med högspänd likström (HVDC).

I yttre delen av Göteborgs hamn ligger en anläggning för produktion av vätgas. ”Vätgasfabriken” utgör anslutningspunkt för den vindkraft som byggts på olika platser i havet utanför Göteborg. Här balanseras effekten från dessa mot lasten på elnätet och här kan även överskottsenergi från det västsvenska elnätet tas tillvara.

Variationerna i den från vindkraften levererade effekten kan vara relativt stora och därför används elektrolysanläggningar för att snabbt kunna möta fluktuationerna, så kallad reaktiv effektstyrning. Elektrolysanläggningen producerar alltså mest vätgas under vindkraftens effekttoppar. Ett mindre bränslecellskraftverk är integrerat i anläggningen för att även kunna producera el vid effektsvackor.

Bränsleceller är lätta att automatisera och fjärrstyra samtidigt som underhållsbehovet är relativt litet. Dessa fördelar har gett bränsleceller en viktig roll som reservkraftverk på många håll. Här har även frånvaron av utsläpp varit en bidragande faktor på till exempel sjukhusområden. Likaså används de vid avlägset belägna installationer såsom telefonmaster och bebyggelse där kostnaderna för att dra fram och underhålla kraftledningar är stora.

Bränsleceller har inte slagit igenom på stor skala inom energisektorn. Det beror främst på de höga kostnaderna samt att effektiviteten i traditionell termisk produktion utvecklats. Andelen el har ökat i energisystemet samtidigt som effektiviseringar minskat svängningarna i efterfrågan och därmed lagringsbehovet. Därmed har betydelsen av energilagring med vätgas aldrig blivit tillräckligt stort och därmed inte heller bränslecellerna.

4.2.3 Transportsystemet

Inte heller inom transportsystemet har vätgasen slagit igenom på allvar. Distribution och lagring av vätgas, både på tankningsanläggningar och i fordonen, har visat sig mer komplicerat och kostsamt än väntat. Därför används vätgas och bränsleceller som framdrivningssystem mestadels i storstadsområden och på andra platser där kraven på räckvidd och tankningsmöjligheter inte utgör något hinder. Det har inneburit att de är begränsade till mindre flottor om än relativt väl spridda över landet.

Busstrafiken i Göteborg är till stor del driven av vätgas och bränsleceller. Bussarna rullar fram tyst genom staden, det ända som hörs är svagt surrande och vinande kompressorer och elmotorer. Utsläppen består enbart av vattenånga och har tillsammans med förbättringar av övriga fordonsparken och begränsningar i trafiken i innerstaden bidragit till en mycket ren stadsluft.

Busstrafiken i många städer drivs numera helt av vätgas och ger inte längre några som helst skadliga utsläpp i innerstadsmiljöerna. Bränsleceller kompletteras med ett batterilager i ett hybridssystem som gör systemet lämpligare för alla accelerationer och inbromsningar. Hybridteknik för fordonsdrift har för övrigt slagit igenom på bred front även för de traditionella förbränningsdrivna fordonen vilket har lett till en kraftig utveckling av batterier som energilager, både anpassade för snabb laddning och urladdning (som i hybridtekniken) och för mer långvarig lagring.

Förutom i bussarna är även de distributionsbilar som används för varutransporter i känsliga miljöer vätgasdrivna. De har sina tankstationer vid de logistikcentra som är utgångspunkt för distributionen inom stadens gränser. Även på spåren och till havs finns vätgasdrivna fordon. I vattnen i Göteborgsområdet har kollektivtrafiken med båt successivt gått över från gamla förbränningsmotorer till högeffektiva bränsleceller i drivpaketet.

Rangeringen på Göteborgs stora godsbangårdar sker idag helt med vätgasdrivna rangerfordon. De gamla bullrande och stinkande dieselloken har ersatts av nya tysta och ångande bjässar. På den anrika Bohusbanan upp till Lysekil och Strömstad går idag motorvagnar med samma framdrivningsprincip. Vid en stor renovering av banan valde man att ta bort den gamla tråden över spåren och att inte satsa miljardbelopp på en ny, utan istället investera mer i spår och fordon för en snabbare trafik.

4.2.4 Vägen dit

Att använda vätgas som energibärare i ett energisystem innebär stor flexibilitet och många olika möjligheter för omvandling till såväl el som värme. Men för att ersätta ett fungerande system kräver mer än så. Kraft- och värmeproduktion kan förmodligen klaras av på ett hållbart sätt även utan vätgas och bränsleceller.

För att få ett genomslag inom de ovan nämnda nischområdena krävs satsningar på i första hand forskning och utveckling följt av pilotprojekt. På flera områden står vi här redan idag. Bränsleceller för husbehov och bussar med mera testas både inom EU och övriga delar av världen. Visar det sig fungera såväl ekonomiskt som tekniskt är steget inte långt till dessa framtidsbilder.

Azar et al. har i en rapport (2003) dragit slutsatsen att transportsystemet även fortsättningsvis, trots begränsningar av CO₂-utsläppen, kan komma att försörjas med energi genom fossila bränslen. Åtgärder för att begränsa utsläppen av växthusgaser görs billigast och enklast inom andra sektorer. Om så är fallet och politiska beslut fattas i den riktningen kan det vara en rimlig anledning till att vätgasen får svårt att slå igenom inom bilindustrin. Men att den mycket väl kan bli aktuell inom vissa nischer, till exempel järnvägstrafik, buss- och distributionsflottor verkar inte orimligt.

4.3 Totalscenario

Omkring 2050, när Göteborg är en hållbar stad i en hållbar omvärld, kommer merparten av jorden att försörjas ifrån förnybara energikällor. Dessa energikällor utgör grunden för en omfattande produktion av vätgas, främst genom elektrolys av vatten. Vätgasen har blivit en stor global handelsvara som steg för steg ersatt oljan. Den transporteras i stora tankfartyg över oceanerna från stora produktionsanläggningar till användare runt om i världen. Mindre nät av pipelines för att distribueras har byggts på en del håll och utbyggnaden fortsätter. Användningen av vätgassamhällets teknik inom industrin-, energi- och transportsektorn har kommit igång och fått en allmän spridning.

Biomassa, både i form av biologiskt avfall, restprodukter från skogsindustrin och från jordbruket, används flitigt i Europa för att producera värme, elektricitet och en rad nya material för användning inom tillverkningsindustri. Toppmoderna anläggningar med ett mycket effektivt nyttjande av råvaran ger god ekonomi och totalt sett ett väsentligt tillskott till energiproduktionen. I norden och östra Europa, där tillgången på skogsråvara är god, förgasas biomassa för att användas i kombikraftvärmeverk och tar där en stor plats som basproduktion i energisystemet.

Energisystem med mycket vindkraft och andra intermittenta, förnybara energikällor kan passa utmärkt för vätgasproduktion via elektrolys av vatten. Reaktiv effektstyrning på elnätet kan skötas till stor del med reversibla bränsleceller.

4.3.1 Vätgasförsörjning från lokala och avlägsna producenter

Vätgasen som används i Göteborgsregionen produceras både lokalt och på andra platser i världen. Eftersom hela världen är i full färd med att ställa om sitt energisystem, bort från fossilberoendet med förnybar el och vätgas i siktet, växer vätgasproduktion fram världen över. Olika tekniker utvecklas, konkurrensen börjar hårdna och driver effektiviseringsarbetet framåt. Utvecklingen av solceller och bränsleceller har på senare tid varit snabbare än till och med utvecklingen av personatorerna var kring det förra sekelskiftet.

4.3.1.1 Den lokala produktionen

Här i Göteborg har stora investeringar gjorts för att ligga långt fram i kapplöpningen. Ett av de stora oljebolagen har sedan länge producerat vätgas i sitt före detta raffinaderi. Vätgas har alltid ingått i raffinaderiprocesser, men omkring 2007 påbörjade man en successiv utökning av produktionen för att med ett överskott kunna möta en då långsamt framträdande marknads behov. Från början användes naturgas och andra lätta kolväten som reformerades med ånga till vätgas, vatten och koldioxid, men på senare tid har processen gjorts om. Ett nytt bolag har skapats med flera aktörer från såväl svensk som internationell olje- och kraftindustri som delägare.

På en samma plats som ett av Göteborgs två tidigare raffinaderier var beläget finns idag en ”vätgasfabrik”. Anläggningen producerar vätgas, metan och en rad andra kolvätebaserade produkter ifrån förgasad biomassa. En stor förgasningsanläggning för biomassa och sorterat avfall finns på området tillsammans med en stor mottagningsanläggning för biomassa. Fler och fler av båtarna på Göta älv är idag lastade med flis från de rika skogarna kring Vänern. En gång om dagen kommer ett systemtåg med en blandning av flis och avfall till den gamla oljehamnen för att lossa. Tåget hämtar sin last på ett antal platser runt om i västra Sydsverige. Efter lossningen lastas såväl tåg som båtar med pelleterade restprodukter, såsom aska, ifrån förgasningsprocessen för att återföras till markerna.

I förgasningsanläggningen hettas biomassa och avfall upp och delas upp i sina beståndsdelar, det kallas termisk förgasning. Huvudfraktionerna är ren vätgas och kolmonoxid, övriga gaser renas effektivt bort och värdefulla mineraler tas till vara. Kolmonoxiden blandas med het vattenånga och ytterligare vätgas produceras medan kolmonoxiden byter form till koldioxid. Eftersom koldioxiden i huvudsak har sitt ursprung i biomassa, innebär utsläpp av denna inget nettotillskott till atmosfären och den ständigt spökande växthuseffekten förstärks därmed inte av den. Men eftersom Sverige tillsammans med ett antal andra länder, däribland samtliga EU-länder, kommit överens om att gå ett steg längre, pumpas koldioxiden i pipelines till Norge. Där pumpas den ner i några av de gamla olje- och naturgasfält som vi tidigare varit med och tömt på sitt ursprungliga innehåll. Tekniken för detta togs fram för omkring 40 år sedan, då det var lönsamt att sälja så kallade utsläpps rättigheter. Idag ligger ingen direkt ekonomisk vinst i detta, men med stöd från EU så fortsätter man ändå och försöker på så sätt även göra sig kvitt gamla synder.

I en annan anläggning, belägen längre ut i hamnen, tas överskottsel från det västsvenska elnätet tillvara för att i reversibla bränsleceller producera vätgas. Överskottet är en följd av de variationer i eltilförseln som de intermittenta kraftkällorna vind och sol har medfört. Vätgasproduktionen balanserar effekten på nätet mot lasten samtidigt som den levererar vätgas ut på det svenska vätgasnätet. Att just reversibla bränsleceller används betyder också att anläggningen snabbt kan ställas om för att istället producera el om elbrist skulle uppstå.

Intermittensen hos de nya energikällorna har med den nya tekniken vänts från ett problem till en möjlighet. I ett tidigare skede skedde en viss balanserande vätgasproduktion genom vanlig elektrolys av vatten, men i takt med att tekniken utvecklats har anläggningen bit för bit konverterats med reversibla bränsleceller. Denna omställning har delvis möjliggjorts tack vare bränslecellsteknikens utpräglade modulegenskaper, som också underlättar underhåll och ger hög driftsäkerhet.

Komprimerade sopor innehållande plast och biologiskt avfall kommer i containrar från hela Göteborgsregionen och i viss mån även från angränsande regioner till hamnen i Göteborg. Här tas det tillvara och mixas med biomassa. Tillsammans matas detta bränsle i ett jämt flöde in i de tre stora förgasningspannorna och återanvänds på så sätt både för nya material, till bränslen och till energiproduktion.

Avfallet från samhället har successivt minskat genom åren, samtidigt som klokare förpackningar och enklare sopsortering utvecklats. Därmed har möjligheterna att återvinna avfall både i material- och energiåtervinning ökat. Vissa fraktioner förs idag direkt till

förgasningsanläggningar där de kan utgöra råvara såväl till produktion av ny materialråvara som till produktion av energibärare och energi via steget som syntesgas.

4.3.1.2 Import och export av vätgas

Den lokala och nationella produktionen av väte räcker inte till för att försörja landet i alla situationer. Därför är handel med omvärlden nödvändig, om än inte lika beroendeskapande som oljan var under sin tid. Anslutningar till Danmark och Norge finns sedan den tiden naturgas var en viktig energikälla i form av pipelines. Dessa är ombyggda eller i vissa fall helt utbytta för att passa vätgastransport istället för naturgas.

I den yttre hamnen trängs idag de gigantiska container- och biltransportfartygen med märkliga sjöfarkoster som mest liknar flytande kameler. Fartyg med ett antal gigantiska tankar för flytande väte besöker hamnen med jämna mellanrum för att fylla på bergrumslager och leverera väte till det svenska nätet.

Hamnar för att ta emot väte i flytande form från specialbyggda fartyg finns förutom i Göteborg även i ett antal andra svenska hamnar. Hit levereras vid behov flytande väte, LH₂, från produktionsanläggningar i Finland, Baltikum och Ryssland. Men de största och mer frekventa transporterna som tas emot i de två största svenska importhamnarna kommer oftast från de stora LH₂-hamnarna i Algeriet, Tunisien och Egypten. Här elektrolyseras medelhavsvatten med el från gigantiska solcellsparker i den nordafrikanska öknen.

Lika ofta som vätgas importeras från våra grannländer, exporteras den. Vätgassystemet har blivit lite grand som elsystemet blev under avvecklingen av de nationella systemen omkring millennieskiftet. Under perioder med goda vindförhållanden och hög produktion i vattenkraftverken får Sverige ett överskott av el. Denna används dels liksom tidigare för export, men eftersom liknande förutsättningar ofta gäller för våra grannländer Danmark och Norge, så finns inte alltid behovet. Då lagras överskottet istället som vätgas, som alltså ibland även exporteras till platser där energibrist uppstått.

De nordafrikanska länderna har tidigare fört en ganska anonym tillvaro i världen och deras största utbyte med omvärlden har skett genom turismen. Idag är läget helt annorlunda. Länderna har efter en period med internationellt utvecklingsstöd och pilotanläggningar fått en enorm ”grön” tillväxt som gjort dem till stora och viktiga spelare i världssamfundet. Detta samtidigt som samarbetet med grannarna på den europeiska kontinenten utvecklats starkt. Den goda utvecklingen har kommit folket till godo, de mänskliga rättigheterna har utvecklats starkt och har spridit sig till grannländerna även söder om den stora öknen. Helt plötsligt finns här ett högteknologiskt samhälle med forskning och utveckling i framkant, samtidigt som ny energikrävande basindustri etableras. I stora solugnar i öknen tar man hand om riskavfall som under högt tryck och i höga temperaturer omvandlas till ofarliga beståndsdelar.

4.3.1.3 Distribution och lagring

Den vätgas som inte lagras eller förbränns i kraftvärmeverket skickas under högt tryck ut i två nät av pipelines. Det ena är det regionala nätet som ännu bara täcker själva Göteborgsregionen. Det andra nätet är det stamnät som har byggts genom landet med anslutning till Stockholm och de stora tätorterna i Mälardalen, Bergslagen, Östergötland och Västkusten ner till Skåne. Till viss del används gamla naturgaspipelines som modifierats för att passa vätgasens speciella egenskaper. Ytterligare utbyggnad till Småland och längs norrlandskusten diskuteras.

Det är inte bara i Göteborgsregionen som det finns lokala nät för vätgasdistribution. Varhelst vätgas produceras eller används växer näten fram. Detta har varit till fördel för introduktionen av väte som fordonsbränsle, där problem kopplade till vätgasförsörjning ut till tankstationerna minskat i samband med att lokala nät sprider sig runt om i landet. Dock transporteras en del väte i olika form såväl på järnväg som väg. Ett antal metoder att transportera vätet finns.

De gamla cylindriska cisterner som satt sin prägel över områdena kring hamnarna och raffinaderierna är idag ersatta av cylindriska dito, delvis nedsprängda i bergrunden. Här, och i gigantiska berggrum under Hisingen, lagerhåller man en stor mängd vätgas både i flytande form och som komprimerad gas. Denna buffert anses nödvändig för att täcka upp vid driftstörningar, eftersom vätgasen blivit en så viktig ingrediens i vårt moderna energisystem.

På några platser lagras stora mängder komprimerad vätgas i berggrum och naturliga akviferer. Detta har gett en stor försörjningssäkerhet, tillsammans med möjligheten att få tillskott via ledningar över gränserna och via importhamnar för flytande väte.

4.3.2 Vätgasen som drivmedel i fordon –från flygplan till mopeder

Vätgas används idag som fordonsbränsle för alla typer av transporter. Alltifrån lätta fordon såsom mopeder till tunga lastbilar, fartyg, flygplan och järnvägsfordon. Bränslecellens möjligheter till moduluppbyggnad har gjort det möjligt att anpassa tekniken så att vätgas kan användas i så helt olika fordonstyper. Skalfördelar har uppnåtts tack vare att marknaden för bränsleceller sträcker sig över både transportsektorn och andra energiberoende sektorer.

På Göteborgs gator rullar tystgående vätgasdrivna bussar sida vid sida med spårvagnar och minibilar. Cyklar och gångtrafikanter är också ett betydligt vanligare inslag i stadsbilden idag än förr. Luften i innerstaden har successivt förbättrats i takt med vätgasens intåg och en väl fungerande kollektivtrafik tillsammans med utökade begränsningar av biltrafiken i innerstaden har minskat trängseln och lugnat ner tempot på gatorna.

I många av världens stora städer har lätta fordon som minibilar, mopeder och eldrivna cyklar slagit igenom och tagit över efter forna tiders skrymmande bilar. Dessa är med bränslecellsframdrivning mycket energisnåla och deras litenhet har bidragit till minskad trängselproblematik. Den största fördelen är dock utan tvekan den förbättrade luften i stadsmiljöerna.

I Göteborgs hamn ligger fartygen uppradade längs med kajerna, det blir något trängre för varje år som går. I och med den hållbara utvecklingen har lastbilstrafiken minskat i takt med allt högre ställda miljökrav. Mer gods går idag på sjön och på järnväg. Men till skillnad från förr, präglas inte vyn över fartygen och hamnen av de svartbruna rökplymer som bolmade upp ur skorstenarna. Fartygen har fått betydligt renare energiförsörjning.

Den omfattande sjöfarten till och från Göteborgs hamn har länge växt, sakta men säkert. Efter att en kraftigt ökande andel av framförallt försurande utsläpp har internationella regleringar medfört att nyare fartyg drivs med alternativa bränslen. Förutom fartyg för transport av flytande väte, som drivs av ur lasten avkokat väte, har det blivit allt vanligare med att mindre

fartyg i kustfart och fiskefartyg använder vätgas i bränslecellsdrivet maskineri. Internationella hamnbestämmelser har lett till att de flesta större fartyg som inte drivs av vätgas eller annan nollemmissionsteknik har bränsleceller för elförsörjning och manövrering i hamn.

Kollektivtrafiken till sjöss i Göteborgsområdet är även den vätgasdriven. Den omfattande trafiken fram och tillbaks över Göta älv tillhörde föregångarna i vätgasutvecklingen. Ett lyckat pilotprojekt resulterade i order på vätgasdrivna drivlinor för ett antal personfärjor till ett friskt satsande Göteborgsföretag och följdes av fler order bland annat till trafiken i Themsen i London. Företaget är idag dominerande på bränslecellsdrivna maskinerier för små och medelstora fartyg i Europa.

Flyget är en annan sektor där vätgasen idag är ett väl använt bränsle. Den senaste generationen av jätteflygplan har med sin nya konstruktionsprincip kunnat förses med allt större tankar för bränsle och därmed utgör inte bränslemängden någon avgörande begränsning. Vätgasen används i traditionella men långt utvecklade jetmotorer för framdrivningen av flygplanen, samt i bränsleceller ombord för att försörja flygplanet med el. Farhågor om att utsläppen av vattenånga på hög höjd i atmosfären kan ge en ökad växthuseffekt har utretts och lämpliga åtgärder vidtagits.

4.3.3 Elproduktion och kraftvärme, ett effektivt balansinstrument i det intermittenta elsystemet

Bränsleceller används i viss utsträckning för kraftvärmeproduktion i de delar av landet som har anslutning till vätgasnätet. Den ökande andelen el i energisystemet och minskade behov av värme för uppvärmning vägs upp på ett lämpligt sätt av den höga elverkningsgraden hos bränslecellerna. Bränslecellskraftverk har en relativt kort svarstid och goda dellastegenskaper, varför produktionen kan varieras precis. Det har gjort den till en mycket bra kraftvärmeproducent i förhållande till det moderna elsystemet med sin stora andel av intermittent kraftproduktion och därpå följande effektsvängningar.

I utkanten av Göteborg, i anslutning till en av de omformarstationer som omvandlar spänningen på det svenska högspända stamnätet för distribution i staden, finns ett bränslecellskraftvärmeverk. Det utgör tillsammans med annan elproduktion runt om i staden en strategisk beredskap för att begränsa effekterna vid störningar i det svenska kraftnätet och för att säkra stadens elförsörjning.

Reversibla bränslecellskraftverk finns utplacerade på strategiska platser runtom i det svenska elnätet för att snabbt kunna gå in och reglera vid eventuella störningar eller kraftiga svängningar i lasten.

Vid Ryahamnen, inte långt ifrån den stora förgasningsanläggningen, ligger Göteborg Energis stora kraftvärmeverk. Det har nyligen försetts med en ny gasturbin och modifierats för att kunna köras på främst vätgas. I kombination med en toppmodern ångpanna förser den stora delar av Göteborg med både el och värme.

En del av den vätgas som produceras i vätgasfabrikerna i hamnen förs direkt till detta gasturbinkombikraftvärmeverk som förser staden med både el och värme. Den nya gasturbinen i kombination med en högeffektiv ångpannecykel kan regleras snabbt och är av

den senaste modellen med en mycket hög elverkningsgrad. Eftersom uppvärmningsbehovet med fjärrvärme minskat något med åren, används en del av den heta ångan inte längre direkt för att producera fjärrvärme. Istället används ångan vid processerna i förgasningsanläggningen och spillvärmerna därifrån används i sin tur för att värma vattnet i fjärrvärmesystemet.

Storförbrukare av el finns fortfarande i Sverige i form av skogs- och metallindustri. Idag har de en aktiv roll i det svenska elsystemet genom att de bidrar till att jämna ut lasten. I reversibla bränsleceller produceras vätgas under låglast när elpriserna är låga, för att sedan producera egen el med vätgasen under topplast. Här utnyttjas även möjligheten att använda vätgas i de fall det utgör en biprodukt från verksamheten. Därmed finns möjlighet till besparingar, samtidigt som elsystemet kan avlastas under topplastsituationer. Behovet av produktionseffekt för att täcka de höga topparna i det svenska elsystemet har därmed minskat och lasten jämnas ut över både dygnet och i viss mån även över året.

4.3.4 Reservkraft och avlägsna installationer

Bränsleceller är lätta att automatisera och fjärrstyra samtidigt som underhållsbehovet är relativt litet. Dessa fördelar har gett bränsleceller en viktig roll som reservkraftverk på många håll. Frånvaron av utsläpp har också varit en bidragande faktor på till exempel sjukhusområden. Likaså används de vid avlägset belägna installationer såsom telefonmaster och bebyggelse där kostnaderna för att dra fram och underhålla kraftledningar är stora.

Bränsleceller har inte slagit igenom på stor skala inom energisektorn. Det beror främst på de höga kostnaderna samt att effektiviteten i traditionell termisk produktion utvecklats. Andelen el har ökat i energisystemet samtidigt som effektiviseringar minskat svängningarna i efterfrågan och därmed lagringsbehovet. Därmed har betydelsen av energilagring med vätgas aldrig blivit tillräckligt stort och därmed inte heller bränslecellerna.

4.3.5 Mikrokraftvärme

På en hästgård söder om Göteborg tippas en skottkärra på gödselstacken, såsom man gjort i alla tider. Skillnaden är att gödselstacken idag består av en biogasreaktor, där biogas utvinns ur gödslet. Efter att ha passerat en enkel reningsanläggning matas gasen in i en bränslecell som tillsammans med solvärme, ett vindkraftverk och en elanslutning försörjer gården med förnybar energi.

Mikrokraftvärme är idag ett utbrett fenomen utanför stadsgränserna. Enskilda hushåll, flerfamiljshus eller mindre samlingar av hus har egen produktion av såväl el som värme i mindre bränslecellkraftverk. Bränslecellerna kan exempelvis drivas av vätgas som levereras med jämna mellanrum eller via en fast anslutning. De kan även drivas med biogas, vilket kan vara lämpligt inom jordbruket (Energiframsyn, 2002d).

Bränslecellerna kan vara reversibla och ger då möjlighet till vätgasproduktion vid behov eller då elpriserna är låga. Vätgasen lagras och lagras antingen för senare elproduktion eller för att försörja en bil eller annat fordon med bränsle.

4.3.6 Batteriets ersättare

På en hylla ligger en handdator och en mobiltelefon sida vid sida, anslutna med en smal slang till en liten låda i väggen. En liten elektrolysör är i färd med att omvandla el och vatten till vätgas och tanka upp de små vätgaslagren i apparaterna för att ge dem nytt liv inför nästa arbetsvecka.

Bränsleceller är i sin funktionsprincip inte helt olika batterier. Medan batterier regelbundet måste laddas med el, behöver bränsleceller kontinuerligt försörjas med ett bränsle som regelbundet behöver fyllas på. Mobiltelefoner, handdatorer, bärbara datorer, kameror med mera är exempel på energikrävande apparater som tidigare enbart drevs med batterier. Idag finns det alternativ i form av bränsleceller. Energibehovet i dagens apparater är ungefär lika stort som det alltid varit. Utveckling av energisnål teknik har pågått parallellt med utvecklingen av nya funktioner.

Ett annat område där bränslecellen konkurrerar med batterier är i industritruckar och andra eldrivna servicefordon. En av fördelarna med vätgas och bränsleceller istället för batterier är möjligheten att snabbt tanka upp med ny energi.

4.3.7 Vägen dit

Att använda vätgas som energibärare i ett energisystem innebär stor flexibilitet och många olika möjligheter för omvandling till såväl el som värme. Vätgas kan tänkas ersätta främst naturgas men även andra, fasta bränslen. Den kan användas för förbränning i traditionella hetvattenpannor, ångpannor och kombikraftvärmeverk, men även i mindre anläggningar såsom gasmotorer och gasturbiner för spets- och reservkapacitet. Vätgas fungerar även som bränsle för olika typer av fordon, maskiner och i apparater. Det vill säga, vätgas skulle kunna användas som bränsle i den typ av energisystem som existerar i Göteborg idag, år 2003.

I en övergångsperiod mellan dagens samhälle och det hållbara vätgassamhället kan naturgas och vätgas från fossila energiråvaror utgöra en språngbräda. Vätgas kan utan problem blandas in i naturgas och på så vis steg för steg införas och därmed skapa en första förutsättning för storskalig vätgasproduktion. Detta kan ses som ett sista steg mot en total *hydrogenisering* av våra energibärare. Ända sedan vi började använda bränslen i form av kol och olja har en successiv skiftning mot energibärare med en allt högre andel väte i förhållande till kol skett.

Utveckling av bränslecellerna pågår parallellt med denna utveckling och bränsle till bränslecellerna kan till en början till stor del utgöras av bensin, naturgas och metanol beroende på vilken typ av bränslecell och vad den nyttjas till. Bränsleceller för kraftvärme kan med fördel drivas med naturgas, medan fordon kan tankas med exempelvis metanol eller bensin som reformeras till väte direkt i fordonet. Med tiden, i takt med att produktion och distribution av vätgas byggs ut, kommer bränslecellerna att drivas med ren vätgas.

För att nå det hållbara vätgassamhället krävs förutom att tekniken kan utvecklas hela vägen till kommersiell tillgänglighet politisk styrning för att styra bort från fossila bränslen. Ekonomiska styrmedel är en viktig del för att fasa in den nya tekniken. Men även satsningar på forskning och utveckling och på pilotprojekt för att överföra utvecklingen till marknaden.

Om pilotprojekten lyckas kan det vara en av nycklarna till en stark utveckling. EU-projektet CUTE, Clean Urban Transport for Europe, har just inlett en aktiv fas där bland annat tre

vätgasbussar med komplett kringutrustning börjat testas i Stockholms kollektivtrafik. Fortsatta satsningar främst på kollektivtrafiken kan bli utmärkta informationspelare och företrädare för den nya tekniken.

Att anpassa dessa system för ett decentraliserat produktionssystem skulle innebära strukturförändringar. Elnätet måste byggas om för att växelvis klara småskalig tillförsel respektive användning. Fjärrvärmenätet likaså, kanske skulle en återgång mot mindre "fjärrvärmeöar" vara ett lämpligt alternativ. Troligen skulle behovet av storskalig central fjärrvärmeproduktion under sommarhalvåret bli obefintligt. Det innebär i så fall stora förändringar för driftsekonomi men även för teknik och infrastruktur. Fjärrvärmeanläggningar som står stilla under längre perioder... Avfallsförbränning som idag till stor del motiveras med "energiåtervinning"...

5 Miljö- och säkerhetsaspekter

Vätgassamhället målas allt som oftast upp som det ultimata energisystemet ur hållbarhetssynpunkt. Men ibland träder även ett antal farhågor fram. Främst gäller det säkerheten kring den explosiva vätgasen, vad som kan hända vid eventuella läckor och olyckshändelse. Vissa farhågor kring hur läckande vätgas påverkar atmosfärens ozonskikt och vattenbalans finns också, vilka båda kan påverka växthuseffekten.

Vätgas, eller knallgas som den också kallas, är en förhållandevis lättantändlig och explosiv gas som har ett något skräckinjagande rykte om sig. Den är brännbar i ett intervall från 4% till 75% volymprocent i luft, men risken för detonationer är i stort sett begränsad till fall då gasen innesluts. Detonationer av icke innesluten gas är sällsynt (Gröndalen, 1998). Eftersom vätgasen har en mycket låg densitet är den lättflyktig. Det är en egenskap som är fördelaktig ur säkerhetssynpunkt. Om gasen börjar brinna och den inte är innesluten under till exempel ett tak, brinner den snart av under sin färd uppåt. För att uppnå en hög säkerhet kan man alltså se till att alla utrymmen där vätgas hanteras antingen byggs utan inneslutning, alternativt att flyktvägar eller väl fungerande ventilation finns.

Ur miljösynpunkt är det främst vätgasens förmåga att bilda vattenånga i atmosfären som oroar. Vattenånga är en växthusgas. Harvey (1995) påpekar att den vattenånga som kan bli resultatet vid rimliga läckagenivåer (omkring 1%) i ett globalt vätgassamhälle motsvarar omkring en tusendel av den totala massan vattenånga i atmosfären per år.

Harvey (1995) tar även upp frågan om påverkan på ozonskiktet. Han konstaterar att förväntade läckage från lagrings- och distributionssystem för vätgas är betydligt lägre än de direkta mänskliga utsläpp som sker bland annat som en biprodukt vid förbränning av fossila bränslen.

En tredje farhåga är att vätgas som släpps ut i atmosfären kan stiga så långt att den kan försvinna ut i rymden. På sikt leder detta till dehydrering av jorden. Huruvida detta är sannolikt kan vi idag bara spekulera i. (Gröndalen, 1998)

För transportsektorn kan man ha farhågor om att utsläppen av vattenånga ifrån bränslecellerna ska kunna orsaka våta vägbanor, vid frysgrader dessutom isiga, vilket påverkar trafiksäkerheten. Man ska då inte glömma att vattenånga är en av beståndsdelarna även i avgaserna från dagens förbränningsmotorer och några spektakulära ökningar av utsläppen är inte att förvänta ifrån bränsleceller.

För tekniken i det hållbara vätgassamhället finns en stor fråga som inte berörs i denna rapport. Beroende på vilken teknik som används för att producera el ifrån solen kommer vissa begränsade naturresurser att krävas, till exempel vissa sällsynta ädelmetaller. Även i vissa typer av bränsleceller finns behov av ädla metaller i membran och elektroder. En vidare analys av detta är viktig, då den kan visa på begränsningar för vissa tekniker. Även vatten är en viktig resurs i sammanhanget och det är viktigt att utreda hur vattentillgången ska säkras både för människor och för vätgasindustri.

Överlag är miljökonsekvenserna av ett vätgassamhälle dåligt kända. En omfattande forskning kring detta är nödvändig för att undvika nya överraskningar i stil med ozonskiktsförtunning, försurning och den förstärkta växthuseffekten.

6 Förslag till fortsatta studier

Som tidigare nämnts är miljöaspekterna kring vätgassamhället relativt dåligt kända. En sammanställning av känd forskning vore önskvärd för att få en sammanhängande bild av eventuell problematik.

En vidare studie av hur vätgasproduktion skulle kunna ske här i Sverige, exempelvis från biomassa, skulle kunna ge en pekpinne om vilken teknik som är lämplig att utveckla. Elektrolys är en självklar möjlighet i ett land som Sverige med en mycket stor elproduktion, särskilt i ett framtida elsystem där vattenkraft samverkar med intermittenta energikällor som periodvis kan skapa stora överskott av el. En studie av utvecklingsläget för elektrolysanläggningar och för eventuella förbättringsmöjligheter kan visa vilken teknik som är lämplig för svenska förhållande.

Högspänd likström kan eventuellt komma att konkurrera med vätgas transporterad i pipelines. Effektiv långväga eltransmission skulle därmed kunna innebära ett effektivare system och i viss mån begränsa behoven av en omställning till vätgassamhället.

Slutligen kan frågan ställas om batterier kan utvecklas i sådan utsträckning att de kan konkurrera med bränsleceller i fordon. Även på andra områden är det tänkbart att en utveckling av batteritekniken kan hindra en kraftig omläggning av energisystemet mot vätgas och bränsleceller.

Referenser

Azar, C. & Schneider, S. H., 2001. *Are uncertainties in Climate and Energy Systems a Justification for Stronger Nearterm Mitigation Policies?* Presentation vid *The Pew Center Workshop of Climate Change Policies*, 11-12 oktober 2001.

Azar, C. & Schneider, S. H., 2002. *Are the economic costs of stabilising the atmosphere prohibitive?* Commentary, *Ecological Economics* 42 (2002), sid. 73-80.

Azar, C., Lindgren, K. & Andersson, B. A., 2003. *Hydrogen or Methanol in the transportation sector?* Department of Physical Resource Theory, Chalmers University of Technology and Göteborg University.

Barret, Steve. 2003. *Hydrogen energy partnership for London*. Fuel Cells Bulletin, volume 2003, issue 3. Mars 2003, sidorna 10-12.

Bernes, Claes, 2003. *En varmare värld. Växthuseffekten och klimatets förändringar*. Naturvårdsverket och SWECLIM (SMHI).

Energiframsyn Sverige i Europa, 2002:

- a) *Överföring och lagring av energi*. Ekström, Åke, et al., 2002.
- b) *Vattenkraften i Sverige*. Hovsenius, Gunnar, et al., 2002.
- c) *Vindkraft till lands och till sjöss*. Leijon, Mats, et al. 2002.
- d) *Energianvändning i bebyggelsen*. Persson, Agneta, et al. 2002.

Energiframsyn Sverige i Europa, 2003. *Energi 2050 – närmare solen*, Akhtarzand, Minoo, et al.

Falkemo, Curt, 1980. *Vågenergiboken – energi ur havsvågor*, Ingenjörsläroverket.

Focus on Catalysts, 2003. *Markets and Business – Bush ratches up funding for hydrogen fuel-cell programmes*, mars 2003, vol. 3, sid. 2.

Gröndalen, Ola, 1998. *Väte – framtidens energibärare*, Sydkraft Konsult AB, Elforsk rapport 98:19, elforsk projekt 2067, september 1998.

Göteborg energi, 2003a. *Årsredovisning med Miljöredovisning 2002*

Harvey, Danny, L. D., 1995. *Solar-Hydrogen Electricity Generation and Global CO₂ emission Reduction*. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 21, nr. 7, sid 583-595, 1996.

IEA, 2003. *Key world energy statistics 2003*, International Energy Agency, 2003.

Larsson, Anna, 2000. *Supplying Input to Lifestyle Scenarios: The Energy System in Göteborg Today and in 2050*, Master of Science Thesis, mars 2000.

Macfie, Dougald, 2002. *Vätgas och bränsleceller – Ny energi för världen*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. ISBN: 91-972788-0-7

Robinson, J.B., 1982. *Energy Backcasting; A proposed method of policy analysis*. Energy Policy, december 1982.

Robinson, J.B., 1990. *Future under glass, A recipe for people who hate to predict*. Futures, oktober 1990, sid 820-842.

STEM 2003a. *Energiläget 2002*, svensk energistatistik, Statens energimyndighet, 2003.

STEM 2003b. *Vätgas och bränsleceller*, informationsbroschyr, Statens energimyndighet, 2003.

SVK 2000. *Miljöutredning*, Svenska kraftnät, Maj 2000.

Svensk fjärrvärme, 2003. *Fjärrvärme i framtiden – prognos och potential för fjärrvärmens fortsatta utveckling i Sverige*.

Swiss Federal Institutes of Technology, 2002. *Steps towards a 2000 watt-society – Developing a White Paper on Research and Development of Energy-Efficient Technologies*, Jochem, E. et al.

UN, 2001. *UN World Populations Prospects, The 2000 Revision*. UN Department of International Economics and Social Affairs.

UNDP, 2000. *World Energy Assessment – energy and the challenge of sustainability, overview*. United Nations Development Programme och World Energy Council.

WCED, 1987. *Our Common Future*. Oxford University Press.

Winter, Carl-Jochen, 2003. *On the HYway – sustainable assets in Germany's energy state's portfolio*, International Journal of Hydrogen Energy, volym 28, nummer 5, sid. 477-481. Maj 2003.

Sørensen, Bent et.al, 2003. International Journal of Hydrogen Energy online 2003-09-13. *Hydrogen as an energy carrier: scenarios for future use of hydrogen in the Danish energy system*, tillgänglig online 2003-05-06.

Rapporter under Göteborg 2050:

Klimat och Energimål, 2003. *Klimat och Energimål. Förslag på klimat- och koldioxidutsläppsmål, samt mål för andel förnybar energi för Göteborgsregionen år 2050 och 2100*. GÖTEBORG 2050, maj 2003.

Löwendahl, 2003. *Fräscha färdval – en backcastingstudie för hållbara och framtida kortväga persontransporter i Göteborgsregionen*. Examensarbete, Elin Löwendahl, maj 2003.

Solstad Göteborg 2050, 2003. ”Solstad Göteborg 2050. Ett hållbart energisystem med: Effektiv energianvändning, Förnybar energi, Ändrad livsstil, Energieffektiv stadsplanering, Energilagring, Vätgassamhället.” GÖTEBORG 2050, juni 2003, reviderad september 2003.

Websidor:

BMW Clean Energy, 2003. <http://www.bmw.com/bmwe/pulse/enterprise/cleanenergy3>, 2003-11-07.

Europeiska kommissionen, 2003. http://europa.eu.int/comm/energy_transport/en/cut_en.html, 2003-11-07.

Göteborg Energi, 2003b. www.goteborgenergi.se/Templates/Standard1_fs.asp?PN=40115&NLVL=3, 2003-10-13.

Göteborgs Hamn, 2003. www.portgot.se, 2003-10-27.

Milleniumcell, 2003. www.millenniumcell.com, 2003-09-17

Powerball, 2003. www.powerball.net, 2003-09-17.