

Koldioxidvärdering av energianvändning

Vad kan du göra för klimatet?

Underlagsrapport
Statens Energimyndighet

Förord

Flera av Energimyndighetens medarbetare har under flera år arbetat med att försöka identifiera effekterna på miljön av en förändrad energianvändning eller energitillförsel. En slutsats av detta arbete är att det inte går att identifiera några entydiga marginaleffekter och att miljöeffekterna av åtgärder därmed är osäkra. Det primära målet med rapporten är att redogöra för denna slutsats. Syftet med rapporten är att vara ett underlag till de råd Energimyndigheten ger till konsumenter och producenter rörande klimatvärdering.

I arbetet med att ta fram underlagsrapporten har ett stort antal av Sveriges mest framstående energiforskare och experter konsulterats. Deras kommentarer har varit ovärderliga i arbetet. Åsa Karlsson, Energimyndigheten har bidragit med text om systemgränser.

Rapporten har utarbetats av Tobias Persson på Systemanalysavdelningen.

Eskilstuna september 2008.

Tomas Kåberger
Generaldirektör

Tobias Persson

Innehåll

1	Sammanfattning	4
2	Inledning	6
3	Principer för miljöredovisning av energianvändning	8
3.1	Verifikationer på marknaden	9
3.1.1	Ursprungsgarantier	9
3.1.2	Bra miljöval-licens för el och fjärrvärme	9
3.1.3	SERO-licens	10
3.1.4	Självdeklarationer och bilaterala avtal	10
3.2	Elmarknadsdirektivet och ursprungsmärkning av el	10
4	Principer för miljövärdering av åtgärder som påverkar energi-användningen	12
4.1	Styrmedelperspektiv	13
4.1.1	EU:s handelssystem	13
4.1.2	Elcertifikatsystemet	14
4.2	Energisystemperspektivet	14
4.2.1	Tekniska systemgränser	15
4.2.2	Miljövärdering av el	15
4.2.3	Marginalolja	17
4.2.4	Marginalbioenergi	19
4.2.5	Marginalfjärrvärme	20
4.3	Sammanställning av systemgränser och emissionsfaktorer	22
4.3.1	Metod för beräkning av faktorer	22
4.3.2	Antaganden marginalel	24
4.3.3	Antaganden marginalolja	25
4.3.4	Antaganden marginalbioenergi	26
4.3.5	Antaganden fjärrvärme	27
4.4	Räkneexempel	30
5	Referenser	36
6	Bilaga	38

1 Sammanfattning

Hur påverkas miljön av ett byte från oljepanna till värmepump eller om jag tar tåget istället för bilen? Vilka utsläppsfaktorer bör man använda i en miljöredovisning? Hur påverkas koldioxidutsläppen av att jag köper energilampor? Detta är frågor som individer, företag och investerare ställer sig och aktörer använder i sin reklam, inte minst i relation till klimatfrågan. Svaren på denna typ av frågor är emellertid inte entydiga utan beroende på vilken fråga som ställs samt val av perspektiv. I denna underlagsrapport beaktas två typer av frågor:

- Miljöredovisning av energianvändning
- Effekter från åtgärder som påverkar energianvändningen

Miljöredovisning av energianvändning

I en miljöredovisning handlar det om att fördela ansvar för de direkta (slutliga) utsläppen som uppstår från energisystemet. En konsument kan begränsa sitt bokföringsmässiga ansvar genom att efterfråga produktionspecificerad energi, till exempel vindkraftsel eller bra miljöval fjärrvärme. Marknaden för dessa produkter är emellertid inte reglerad idag vilket innebär att miljövärdet av en genererad kWh kan säljas flera gånger såvida inte den produktionspecificerade energin är reviderad eller verifierad.

Effekter från åtgärder som påverkar energianvändningen

Beslut om att genomföra åtgärder som påverkar energianvändningen kan grunda sig på flera olika faktorer såsom kostnad, bekvämlighet och miljöeffekter. Denna rapport belyser två faktorer, koldioxidutsläpp och primärenergi, vilka kan påverka beslut.

En miljövärdering av en åtgärd som påverkar energianvändningen har analyserats av många utifrån ett systemperspektiv som inkluderar förändringar i utbyggnad och drift av energisystemet, en så kallad marginalansats. Ett syfte med denna rapport har varit att se om det är möjligt att identifiera entydiga marginaleffekter eller om osäkerheten är stor. Denna analys inbegriper både den direkta (slutliga) och den indirekta (utvinning, transport och omvandling uppströms i energikedjan) energianvändningen i ett internationellt perspektiv. Analysen tar således inte hänsyn konsekvenser på nationella mål. En åtgärd som har stora effekter på utsläppen utomlands prioriteras således i denna analys högre än åtgärder med större effekt på de svenska utsläppen men med mindre effekt på de totala utsläppen.

En *marginalansats* ger en bedömning av vilken drift och utbyggnad som försvinner eller tillkommer när energianvändningen förändras. Drifttekniken kan förändras under åtgärdens livstid. En investering som påverkar elanvändningen

kan således ha kolkondens som marginalet initialt men skifta till biokondens i ett senare skede. Den driftteknik som producerar energi på ”marginalen” är också den teknik som sätter priset på marknaden. Det är således denna driftteknik som minskar eller ökar beroende på utbud och efterfrågan av energibärare eller bränslen på kort sikt. Förändringar av energianvändningen innebär att energisystemet kommer utvecklas annorlunda, en så kallad dynamisk förändringseffekt. Investeringar i kraftsystemet, exempelvis i förnybar elproduktion, kan komma till stånd just till följd av en förändrad elanvändning och kan därmed även hänföras till den störningen vid en sammanvägning av miljöeffekterna. I detta fall kan resultatet utgöras av flera tekniker och ha en utsträckning i tiden som är längre än själva investeringen som förändrade energianvändningen.

Vad som utgör drifts- och utbyggnadsmarginal är osäkert eftersom det beror på utveckling globalt, regionalt och lokalt. Exempelvis så kan koldioxidfaktorn för el givet olika antaganden vara 0 – 1,0 kg koldioxid per kWh. Utsläppsfaktorerna för fjärrvärme och oljeanvändning kan också de variera med minst en faktor två givet olika antagen.

Givet osäkerheterna i marginalfaktorerna blir energieffektiviseringsåtgärder ofta viktigt eftersom detta skapar förutsättningar för reducerade utsläpp av växthusgaser. Vid exempelvis nybyggnation och renovering motiverar valet av värmesystem nästan aldrig byggnader med sämre energiprestanda, utan byggnaderna bör vara välisolerade och en låg hushållsansvändning bör eftersträvas. Givet att huset har bästa möjliga energiprestanda väljs värmesystem. Vid bilköp är det viktigt att välja en bränsleeffektiv bil oavsett bränsle.

2 Inledning

Hur påverkas miljön av ett byte från oljepanna till värmepump eller om jag tar tåget istället för bilen? Vilka utsläppsfaktorer bör man använda i en miljöredovisning? Hur påverkas koldioxidutsläppen av att jag köper energilampor? Detta är frågor som individer, företag och investerare ställer sig och aktörer använder i sin reklam, inte minst i relation till klimatfrågan. Svaren på denna typ av frågor är emellertid inte entydiga utan beroende på vilken fråga som ställs, val av perspektiv samt uppfattningar om energisystemets utveckling.

Det finns inte någon tydlig rekommendation för hur energi bör miljövärderas i olika situationer och olika principer används¹. För elanvändning är det vanligast med emissionsfaktorer som baserar sig på medelel eller marginalet. Ofta har syftet med analysen styrt valet. Om t.ex. syftet är att propagera för ökad elanvändning så har valet blivit medelel eftersom emissionerna från medelel är mycket lägre än emissionerna från marginalet. Om syftet är att propagera för andra energibärare än el har oftast marginalet använts osv. Det är viktigt att vara observant på vad emissionsfaktorer etc. baseras på när energi miljövärderas i olika sammanhang för att inte låta sig vilseledas av resultaten.

I denna rapport ger Energimyndigheten en genomgång av olika infallsvinklar på miljövärdering inom följande områden:

- Miljöredovisning av energianvändning
- Åtgärder som påverkar energianvändningen

Fokus ligger på utsläpp av koldioxid och primärenergifaktorer. Primärenergi innebär att hänsyn tas till förluster i både den direkta (slutliga) och den indirekta (utvinning, transport och omvandling uppströms i energikedjan) energianvändningen. För till exempel el producerad med kärnkraft används energi för att utvinna och upparbeta uran till kärnbränsle. Därefter används energi för att transportera kärnbränslet till reaktorn. I kärnkraftverket förloras sedan två tredjedelar av energiinnehållet vid omvandling till el. Vid överföringen i elnätet förloras ungefär 6 procent av den producerade elen.

Energi leder även till annan miljöpåverkan men den behandlas inte här. Målgruppen för denna underlagsrapport är insatta privatpersoner, företag, bransch- och intresseorganisationer. Analysen som presenteras i denna rapport ska användas med försiktighet vid bedömning av forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprojekt (FUD). I FUD-projekt behöver man inte enbart ta hänsyn till effekter från en marginell förändrad energianvändning utan även marginella

¹ Det finns alternativa sätt att miljövärdera el. Se t.ex. Elforsk rapport 06:52, Marginalet och miljövärdering av el.

bidrag till radikala systemförändringar på lång sikt². Det kan till exempel vara motiverat med en investering i en teknologi som kräver mer energi än konkurrerande alternativ givet att tekniken är i en tidig utvecklingsfas och har potential att på längre sikt leda till miljöförbättringar.

Syftet med rapporten är att vara ett underlag för Energimyndighetens aktiviteter som har beröring till dessa frågor. Alla faktorer i rapporten är en approximation och bygger på den kunskap som finns i dag.

Rapporten inleder med en genomgång av koldioxidemissionsfaktorer till miljöredovisning (Kapitel 3). Efter detta följer en analys och genomgång av miljövärdering av åtgärder som påverkar energisystemet (Kapitel 4).

² Sandén och Karlström, 2006.

3 Principer för miljöredovisning av energianvändning

I en miljöredovisning handlar det om att fördela ansvar för de direkta utsläpp som uppstår från energisystemet. Genom aktiva val av specifika miljövärden (attribut) kan en kund begränsa sitt ansvar för effekterna av energianvändningen. Miljöstyrningsrådet har tagit fram riktlinjer för upphandling av elektricitet (<http://www.msr.se>).

För att kunna ge trovärdighet åt ett aktiva val krävs emellertid tillförlitliga kontrollinstrument som kan garantera att det miljövärde som kunden valt inte säljs till andra kunder. Något allmängiltigt kontrollinstrument finns inte idag vilket innebär att dubbelräkning sker. Dubbelräkning kan ske genom att miljövärdet för en viss kWh säljs till flera konsumenter, till exempel att en specifik kWh vindkraftsel säljs till flera kunder. Men dubbelräkning kan även ske genom att aktiva val inte påverkar utsläppsfaktorerna som används av konsumenter som inte inhandlar något miljövärde, det vill säga att miljövärdet av försäljningen av vindkraftsel påverkar inte den emissionsfaktor som används av konsumenter som inte gör något val. Alla regionala eller nationella mixar är således inte förenligt med att kontrakterar miljövänlig energi.

För att undvika att miljövärdet inte säljs till flera kunder behövs en verifikation. Flera olika verifikationer på miljövärdet används och dess kompatibilitet med handel med miljövärde är varierande (se kapitel 3.1).

Godkännande och implementering av EU direktivet om förnybar energi bedöms kunna skapa förutsättningar för en övergripande kontroll av att miljövärdet enbart säljs en gång. En konsekvens av rådande förslag är att ursprungsgarantier behöver kopplas till handel med miljövärden vilket skapar förutsättningar för en kontroll. Givet att ursprungsgarantier annulleras minskar risken för dubbelräkning.

En fungerande verifikation på handel med miljövärden är en förutsättning för att utsläppsfaktorer till konsumenter som inte gör aktiva val ska kunna anpassas till en förändrad efterfrågan på miljövärden. För att undvika denna form av dubbelräkning bör dessutom verifikationen vara gällande för hela den geografiska systemgränsen som ligger till grund för utsläppsfaktorn. För el kommer till exempel dubbelräkning ske för utsläppsfaktorer som är baserade på nordisk elmix såvida inte de nordiska länderna har ett gemensamt system för verifikation. Utan ett nordiskt system för verifikation kan svenska miljövärden som redan är sålda i Sverige användas i utsläppsfaktorerna för övriga nordiska länder. Idag finns inte dessa förutsättningar.

3.1 Verifikationer på marknaden

3.1.1 Ursprungsgarantier

Enligt EU direktiv 2001/77/EG ska ursprungsgarantier innehålla uppgifter om vilken energikälla som elen producerats, var och när den producerats.

I Sverige finns det idag två varianter av ursprungsgarantier:

- Enligt Elcertifikatsystemet för vindkraft, solenergi, geotermisk energi, biobränslen, vågenergi, ny vattenkraft, småskalig vattenkraft samt ökning av produktionen i befintlig vattenkraft och elproduktion i kraftvärmeverk med torv som energikälla.
- EECS-standarden för resterande energislag (exempelvis gammal vattenkraft).

Ursprungsgarantier enligt EECS standarden annulleras vid försäljning av miljövärdet vilket inte sker med ursprungsgarantier kopplade till elcertifikatsystemet. Miljövärdet skulle i detta fall kunna säljas flera gånger. Incitamenten för detta agerande begränsas emellertid av att det är brottsligt och ansvarig aktör kan ställas inför rätta.

Enligt kommissionens förslag till Europaparlamentets och rådets direktiv om fjärande av användning av energi från förnybara energikällor (KOM (2008) 19 slutlig) ska ett system med ursprungsgarantier för el, värme och kyla etableras. Syftet med systemet är att garantera att energi som benämns förnybar också i realiteten härrör från förnybara energikällor och att möjliggöra en handel med ursprungsgarantier. Miljövärdet ska således inte kunna säljas flera gånger.

3.1.2 Bra miljöval-licens för el och fjärrvärme

Bra miljöval är en svensk miljömärkning som ägs av Svenska Naturskyddsföreningen. Det är Svenska Naturskyddsföreningens verktyg för att driva utvecklingen mot ett hållbart samhälle. Bra miljöval märkt el ska kunna garantera att den el som kunden köper är producerad enligt de kriterier som uppställts.

Företag med licens för Bra Miljöval-märkning ska varje år genomgå kontroll och kunna redovisa att licensavtalet uppfylls. I licensavtalet ingår de villkor som finns angivna i kriterierna och i licensvillkoren. Licenstagaren ska ha ekonomisystem och rutiner i sådan ordning att det går att kontrollera att kriterierna följs. Uppgifterna granskas av en revisor som Svenska Naturskyddsföreningen har godkänt. Då kontrolleras bl.a. att andelen Bra Miljöval-märkt el stämmer överens med antalet sålda kilowattimmar.

3.1.3 SERO-licens

SERO-el® är ett varumärke som ägs av Sveriges Energiföreningars RiksOrganisation (SERO). Märkningen utfärdas för vindkraft och småskalig vattenkraft upp till 1500 kW.

Kravet för att en elproducent ska få sälja sin el under varumärket SERO-el® är ett medlemskap i någon av branschföreningarna Småkraftverkens Riksförening för vattenkraft (SRF) eller Svensk Vindkraftförening (SVIF). Nästa krav är att elproduktionen blivit godkänd av Statens Energimyndighet för tilldelning av elcertifikat.

Genom att till SERO överlämna garantier om ursprunget för en viss produktion kan SERO ge licens till producenten att få sälja sin el och sina elcertifikat under varumärket.

Vid handel med SERO-el® är elens ursprung knutet till den fysiska elleveransen. Producenten säljer elen och oftast även elcertifikaten till elleverantören. Elleverantören använder elcertifikaten dels till kvotuppfyllnad men också till försäljning av SERO-el®. Kontroll av att elleverantören inte säljer miljövärdet fler än en gång sker genom internrevision.

3.1.4 SjälvdeklARATIONER OCH BILATERALA AVTAL

SjälvdeklARATIONER OCH BILATERALA AVTAL bygger på handel som specificerar elens ursprung utan någon koppling till ett officiellt system som kan garantera riktigheten.

Försäljningen av miljövärdet är kopplat till den fysiska leveransen men det förekommer även att miljövärdet säljs separerat. Elleverantören sköter själv kontrollen över att inte mer förnybar el säljs än vad som elleverantören själv producerar eller har köpt in. En kund som köper t.ex. förnybar el kan därmed inte vara helt säker på att samma el inte säljs till flera kunder. Det torde dock ligga i elleverantörens intresse att så inte sker³.

3.2 Elmarknadsdirektivet och ursprungsmärkning av el

Ursprungsmärkning av el är ett exempel där verifiering behövs. Enligt EU:s elmarknadsdirektiv (2003:54/EG) ska alla elleverantörer för sina kunder ange från vilka energikällor den levererade elen är produceras. Det ska även finnas information om vilken miljöpåverkan elproduktionen har givit upphov till (koldioxidutsläpp och mängd genererat kärnbränsleavfall är minimikrav),

³ Elforsk rapport, Ursprungsmärkning av el i de nordiska länderna s 3

alternativt ska det anges var sådan information kan erhållas. Detta är implementerat i Svenska ellagens (1997:857) 12 och 13 §§.

EU:s generaldirektorat för transport och energi (EU DG TREGN) har utkommit med ett meddelande som ger icke bindande vägledning för implementeringen av kravet på ursprungsmärkning. Ett av fyra syften är att möjliggöra för konsumenter att göra aktiva val kring leverantör utifrån produktionsegenskaper. Meddelandet betonar också att informationen ska bygga på statistik från föregående år och att spårning ska göras med bästa möjliga information.

Spårning av elens ursprung som är centralt för tillförlitligheten kan ske genom statistiska data, kontrakt eller certifikat. Spårning med statistiska data innebär att ursprungsmärkning sker utifrån elmixar, till exempel svensk eller nordisk elmix. Detta tillåter inte aktiva val eftersom alla redovisar samma elmix. Vid kontraktering följer elens egenskaper (attribut) med de kontrakt som upprättas mellan elproducent, elleverantörer och elhandlare. Denna spårning blir problematisk när en stor mängd el handlas via börserna eftersom det saknas ett förhållande mellan köpare och säljare inom börserna. I praktiken innebär detta en nordisk elmix som även innehåller el med specifika attribut handlad utanför börserna. Därmed uppstår dubbelräkning. Dessutom stimuleras konsumenter att handla el utanför elbörsen vilken kan ha negativ inverkan på börserna. Spårning genom certifikat innebär att elproduktion med ett specifikt attribut erhåller certifikat. Certifikatberättigade dokument kan till exempel vara ursprungsgarantier och Bra Miljöval el. Certifikaten handlas sedan separat från elhandeln. Varje elleverantör måste balansera mängden försålda certifikat till kund med antalet rapporterade och annullerade certifikat. De kunder som inte väljer att inhandla specifika attribut får i detta fall redovisa utsläppsdata utifrån en residualmix där avräkning gjorts för försålda certifikat samt eventuell import och export av fysisk el samt import och export av certifikat.

4 Principer för miljövärdering av åtgärder som påverkar energianvändningen

Vid en miljövärdering av en åtgärd som förändrar energianvändningen kan utsläppsfaktorer användas som tar hänsyn till hur energisystemet påverkas av förändringen eller hur styrmedel påverkar effekterna av förändringen. Detta innebär att faktorerna kan vara högre eller lägre än de som används vid en miljöredovisning. Två olika perspektiv används vid en miljövärdering av en åtgärd, *energisystem-* och *styrmedelsperspektiv*.

I ett *styrmedelsperspektiv* beaktas rådande styrmedel. Kvantitativa mål som uppfylls med hjälp av marknadsbaserade styrmedel såsom elcertifikatsystemet eller EU:s handelssystem kan påverka hur åtgärder som förändrar energianvändningen värderas. Syftet med dessa styrmedel är att målnivån inte ska under- respektive överstigas. En konsekvens av detta är att målnivån styr så länge styrmedlet finns tillgängligt⁴. Utgångspunkten för dessa styrmedel är att åtgärder måste vidtas för att inte priset på energi ska öka. Genomförs inte åtgärder ökar således priset vilket får till följd att åtgärder vidtas.

I ett *energisystemperspektiv* är målet att utsläppsfaktorn ska motsvara förändringen i energisystemet som orsakas av åtgärden. En förändrad energianvändning innebär att viss produktion försvinner eller tillkommer (driftsmarginal) men även att investeringar i energisystemet kommer att genomföras (utbyggnadsmarginal), en så kallad dynamisk förändringseffekt⁵. En bedömning av effekterna från en förändrad energianvändning kan inkludera båda dessa konsekvenser.

Driftsmarginalen ger en bedömning av vilken teknik som försvinner eller tillkommer när energianvändningen förändras. Denna teknik kan förändras under åtgärdens livstid. En investering som påverkar elanvändningen kan således ha kolkondens som marginalet initialt men skifta till gaskombi i ett senare skede. Den driftsteknik som producerar energi på ”marginalen” är också den teknik som sätter priset på marknaden. Det är således denna teknik som minskar eller ökar beroende på utbud och efterfrågan av energibärare eller bränslen på kort sikt.

Utbyggnadsmarginalen är de investeringar som påverkas av att energianvändningen förändras. Utbyggnadsmarginalen kan bestå av flera tekniker,

⁴ Varje målnivå gäller enbart specifika tekniska och geografiska systemgränser. Det kan även finnas effekter av en förändrad energianvändning utanför dessa systemgränser som kan beaktas i en valsituation. Genom certifieringssystem försöker ibland staten beakta effekter utanför målnivåns systemgränser.

⁵ Sköldberg, Unger, Olofsson (2006), Sköldberg, Unger (2008)

även förnybara. I detta fall kan resultatet utgöras av flera tekniker och ha en utsträckning i tiden som är längre än själva investeringen som förändrade energianvändningen. Utsläppsfaktorn som används vid värderingen motsvarar därför ingen enskild teknik utan en mix av tekniker.

Om den totala miljöeffekten ska värderas behöver inte bara den direkta (slutliga) effekten behandlas utan även de indirekta effekterna från utvinning av råvaror, transport och omvandling uppströms i energikedjan kan beaktas. Detta kan inkludera att hänsyn tas till vilken alternativnytta råvaror har, till exempel att biomassa har flera användningsområden och användandet av bioenergi leder till förändrade konsumtionsmönster utanför energiområdet.

I realiteten interagerar styrmedels- och energiperspektiven med varandra. Styrmedel påverkar till exempel vilka investeringar som genomförs i energisystemet om energianvändningen förändras.

Avsnittet inleder med en fördjupning av styrmedelsperspektivet innan energisystemperspektivet behandlas.

4.1 Styrmedelperspektiv

För det svenska energisystemet finns det idag två mängdbaserade styrmedel som påverkar en miljövärdering av energi, EU:s handelssystem och elcertifikatsystemet. Dessa styrmedel är marknadsbaserade, det vill säga målen uppnås genom att producenter och/eller konsumenter får en extra kostnad. Genom dessa system bidrar konsumenterna till en viss volym förnybar elproduktion samt minskade koldioxidutsläpp genom att betala högre energipriser (främst högre elpriser). Miljöaspekterna är således i viss utsträckning inkluderade i den ekonomiska styrningen. Implementeringen av andra bindande kvantitativa mål inom EU, förnybarhetsmålet om 20 procent förnybart och 10 procent biodrivmedel till 2020, kan få liknande konsekvenser beroende på hur de implementeras.

4.1.1 EU:s handelssystem

I Kyotoprotokollet är de totala utsläppen av växthusgaser givna under perioden 2008-2012. Sveriges åtagande är att utsläppen i genomsnitt inte får överstiga 75,4 miljoner ton under denna period. Om åtgärder genomförs som leder till att utsläppen understiger denna nivå kan Sverige sälja dessa utsläppsrätter eller spara dem.

EU har även infört ett system för handel med utsläppsrätter. I detta är utsläppen av koldioxid från elproduktion och viss industri reglerade. Det kommer således krävas åtgärder från företagen för att uppnå utsläppsreduktioner. Att genomföra ytterliggare en åtgärd utöver den reglering som satts men som påverkar utsläppen

från elproduktionen leder i detta system inte till någon förändring av de totala utsläppen under denna period. Om koldioxidutsläppen minskar från elproduktion i Danmark innebär detta att denna producent kan sälja utsläppsrätter eller inte behöver köpa in utsläppsrätter i lika stor omfattning eller att denna elproducent når sitt utsläppstak. Konsekvensen av detta är att de totala utsläppen under perioden 2008-2012 blir de samma. Minskade utsläpp från dansk elproduktion innebär emellertid lägre pris på utsläppsrätterna och därmed kan en större acceptans för ambitiösare klimatmål uppstå.

4.1.2 Elcertifikatsystemet

Miljövärdering av investeringar i förnybar elproduktion eller åtgärder som påverkar elanvändning påverkas av elcertifikatsystemet. Det svenska elcertifikatsystemet syftar till att öka produktionen av förnybar el i Sverige. Efterfrågan på certifikat skapas genom att det är lagstadgat för elleverantörer och vissa elanvändare att köpa elcertifikat, så kallad kvotplikt. Producenter av förnybar el erhåller certifikat som de kan sälja och på så sätt öka sin intäkt.

Vid investeringar i elcertifikatberättigad elproduktion är det inte självklart hur effekterna ska analyseras. Sker inte den specifika investeringen kommer troligen en annan certifikatberättigad investering genomföras. Detta innebär att en investering i biokraftvärme kan jämföras med till exempel en investering i vindkraft eller annan certifikatberättigad elproduktion. Det är då istället nivån på kvotplikten som styr hur mycket marginalelsproduktion (se Kapitel 3.2) som försvinner ur elsystemet. All certifikatberättigad elproduktion kan således även betraktas som ersättning av marginalel. En aktör på certifikatmarknaden kan dessutom välja kvotpliktsavgiften istället för att köpa certifikat och det finns inget som förhindrar ett överskott av certifikat.

Förändrad elanvändning hos konsumenter som är kvotpliktiga påverkar elcertifikatsystemet eftersom det är elanvändningen som styr hur mycket certifikat som måste redovisas. En åtgärd som ökar elanvändningen innebär att mer certifikatberättigad elproduktion behövs. Eller det omvända, mindre certifikatberättigad elproduktion behövs om elanvändningen minskar. För år 2013-2030 är medelandelen elcertifikat nästan 0,1 vilket ger en långsiktig marginal på 90 procent driftmarginal och 10 procent förnybar el (elcertifikat). Kvotplikten kan komma att höjas på sikt vilket innebär en högre andel förnybar el.

4.2 Energisystemperspektivet

Förändringar i energianvändning påverkar energisystemets utveckling. I detta kapitel diskuteras förändrad olje- och bibränsletillförsel samt el- och fjärrvärmeanvändning med utgångspunkt ur olika tidsperspektiv. Värdet av en åtgärd är dessutom beroende av vilken teknisk systemgräns som används.

4.2.1 Tekniska systemgränser

Det finns flera olika tekniska systemgränser som kan användas för att värdera miljöeffekterna av energianvändning⁶. Genom att använda ett *livscykelperspektiv* beaktas förluster och miljöbelastningar utanför slutanvändningen av energi.

Utgångspunkten är att energi inte kan förbrukas, men vi kan följa en *primärenergiresurs* från resursuttaget ända fram tills att den försvinner som förluster i slutanvändningen. Vid till exempel användningen av 20 000 kWh el under ett år används indirekt en viss mängd primärenergi. Primärenergin har inte nödvändigtvis utvunnits under samma år, men produktionen av el är ändå direkt förknippad med exempelvis utvinning av motsvarande mängd kol, det vill säga utvinningen är förknippad med driften av anläggningen.

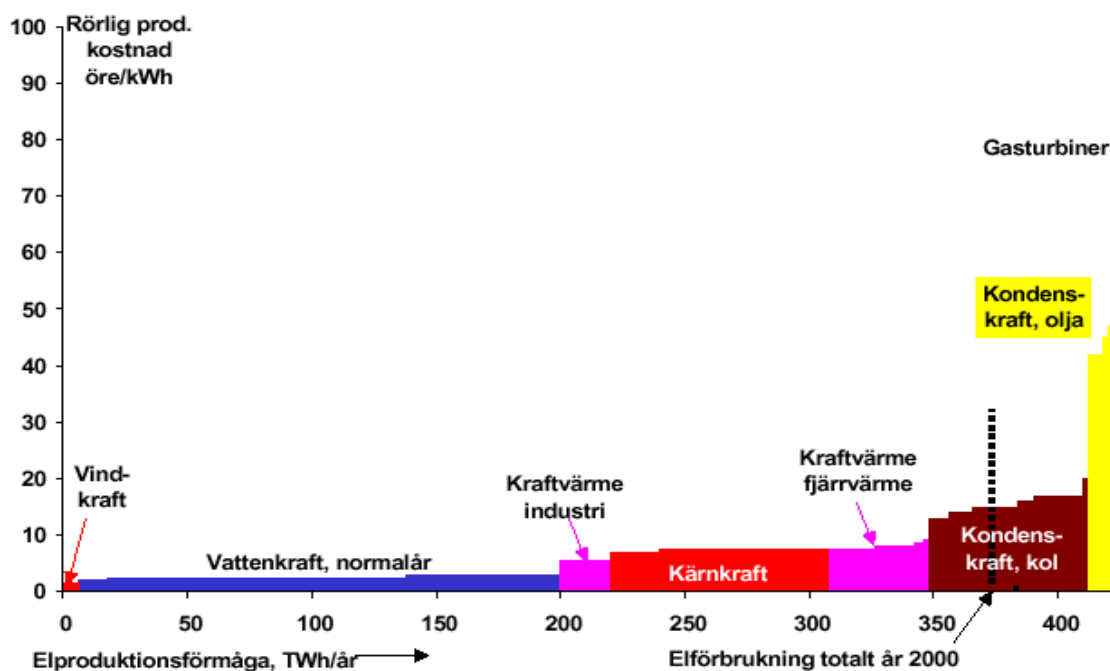
En specifik fråga man ställs inför med ett livscykelperspektiv är hur icke förnybara resurser såsom olja, naturgas kol och uran ska hanteras. Tillgången till dessa bränslen är begränsad vilket innebär att ett uttag idag gör att resursen inte finns kvar i framtiden. Detta är av speciell vikt då utsläpp av växthusgaser och primärenergifaktorer ska uppskattas eftersom dessa är långsiktiga frågor och det spelar inte så stor roll när resursen använts eller när utsläppen av växthusgaser sker. Framförallt gäller detta konventionell olja och naturgas som bedöms räcka enbart några decennier. Kolresursen är däremot tillräckligt stor för att det är mindre viktigt ur klimatsynpunkt när den används. Frågan som uppkommer vid uttag av en icke förnybar resurs är om det innebär att uttaget av en annan resurs måste öka i framtiden. Om konventionell olja används idag kan detta till exempel innebära att mer syntetisk olja från kol behöver produceras i framtiden. Syntetisk olja från kol innebär större omvandlingsförluster (högre primärenergifaktor) och därmed större utsläpp av koldioxid än vid användning av konventionell olja.

4.2.2 Miljövärdering av el

Vattenkraften i Norden har stora vattenmagasin vilket gör det möjligt att omfördela produktionen mellan olika energislag i tiden. Detta är viktigt för förståelsen av marginalel. Antingen används vattenkraften idag och kol eller naturgas i ett senare skede, eller så används kol/naturgas idag och vattnet kan sparas till ett senare skede. Marginalel tolkas därför i termer av energi och inte effekt. Historiskt har det bedömts vara dansk eller finsk kolkondens⁷ (Figur 1) under ett så kallat normalår i termer av temperatur och tillgång till vattenkraft. En ökad/minskad elanvändning leder således till att elproduktion från kolkondens har ökat/minskat.

⁶ För en detaljerad genomgång se Allt eller inget – systemgränser för byggnaders uppvärmning, Persson A., 2005.

⁷ Delar av året producerar dessa anläggningar även värme.



Figur 1 Schematisk figur över utbudet av elproduktion i Norden

Det är osäkert vilken elproduktion som kommer att utgöra driftsmarginal i framtiden. Det kan vara kolkondens, naturgaskombi eller förnybar elproduktion. De rörliga kostnaderna för att producera el avgör vad som hamnar på marginalen. EU:s handelssystem för utsläppsrätter kan innebära att naturgaseldade kombicykelanläggningar som körs i kondensdrift ("gaskombi") hamnar på marginalen. Det är emellertid inte säkert att gaskombianläggningar någonsin byggs i någon större omfattning. Det kan istället bli nya effektiva kolkraftverk med en elverkningsgrad på upp emot 48 procent (idag finns det kolkraftverken som har en verkningsgrad på omkring 35 procent i det nordeuropeiska elsystemet). I till exempel Tyskland planeras mer sådan kolkraft än det planeras gaskombi. Det finns två faktorer som indikerar detta. För det första ett högt naturgaspris som minskar incitamenten att konvertera kolanvändningen. För det andra en starkare integrering av det europeiska elnätet, där kolkondens är vanligt. Det kan även vara förnybar elproduktion som hamnar på driftsmarginalen, t.ex. biobränsleeldad kraftvärmeverk som körs i kondensdrift. Tekniken för att producera marginalet bedöms vara opåverkad av om Sverige nettoexporterar eller nettoimporterar elenergi. En ökning/minskning av användningen leder inte heller till en proportionerlig ökning/minskning av elproduktionen eftersom elpriset påverkas av en förändring i efterfrågan vilket innebär att andra aktörer kommer förändra sin användning.

En förändrad elanvändning påverkar dock inte enbart driftsmarginalen utan även förutsättningarna för investeringar i fossil- och förnybar elproduktion i den så kallade utbyggnadsmarginalen. Utgångspunkten är att elsystemet behöver vara i balans. En ökad elanvändning innebär att elnätet behöver byggas ut och

investeringar i nya elproduktionsanläggningar behövs. En minskad elanvändning innebär att vissa investeringar i elproduktionen inte behövs. Elcertifikatsystemet påverkar hur mycket förnybar elproduktion som installeras.

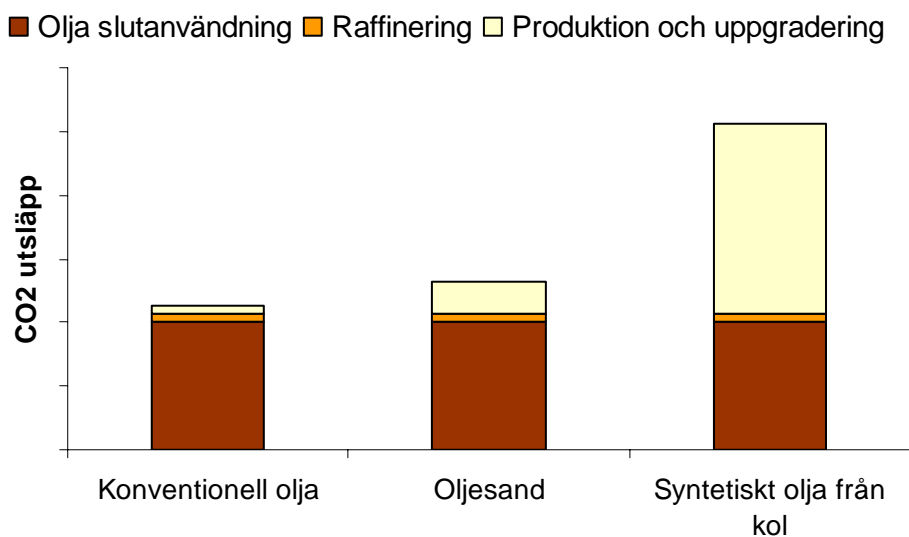
Avskiljning och lagring av koldioxid kan påverka värderingen av elanvändning eftersom denna teknik kan hamna på marginalen. Detta innebär lägre växthusgasutsläpp men högre primärenergifaktor för elanvändning.

4.2.3 Marginalolja

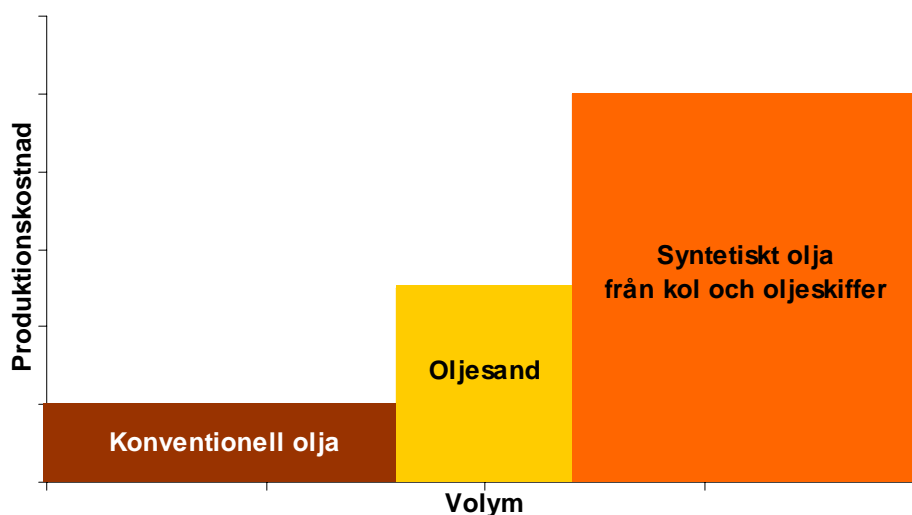
Råolja handlas på en globalmarknad men där råvaran är av olika kvalitet. Beroende på kvalitet behövs olika många processer för att göra säljbara produkter. En ökad komplexitet med fler processer innebär att energibehovet för framställningen ökar och kostnaden för slutprodukten. Idag används olja från tyngre fraktioner av olja, oljesand och syntetiskt bränsle från kol. Tyngre fraktioner av olja kräver fler processer och den har dessutom högre kol-innehåll, 20 tonC per TJ i konventionell olja, ungefär 22 tonC per TJ i oljesand och omkring 29 tonC per TJ i oljeskiffer. Detta gör att tyngre fraktioner av olja och syntetisk olja ger upphov till större koldioxidutsläpp än produkter från konventionell olja (Figur 2). I Sydafrika produceras dessutom syntetiskt flytande bränsle från kol vilket ger upphov till utsläpp som är jämförbara med de för oljeskiffer.

Att de tyngre fraktionerna av olja kräver fler processer för att göra en jämförbar produkt till konventionell olja innebär att de blir dyrare att utvinna än konventionell olja. I en utbudskurva för t.ex. bensin ligger således produktion från konventionell olja längst ned (jämför vattenkraft och kärnkraft för el) medan de tyngre fraktionerna av olja först blir lönsamma vid ett högre oljepris (Figur 3). Vid dagens oljepriser är det lönsamt att göra bränslen från oljesand men det bedöms även vara lönsamt att göra syntetiska flytande bränslen från oljeskiffer och kol om priset fortsätter vara på dagens höga nivå⁸.

⁸ IEA (2006a)



Figur 2 Schematisk figur över hur utsläppen fördelar sig för konventionell olja, oljesand och syntetisk olja från kol.



Figur 3 Schematisk utbudskurva för olja och syntetiska oljor.

Idag används ungefär 84 miljoner fat olja varje dag varav knappt 2 procent är oljesand. IEA⁹ bedömer att världen 2015 kommer använda nästan 100 miljoner fat olja per dag och nästan 5 procent från oljesand. Till 2030 bedömer de att oljeanvändningen är 116 miljoner fat och nästan 8 procent är oljesand. Till 2030 bedömer de att även syntetisk olja från kol kommer att användas i större omfattning än idag. Detta är inget unikt scenario utan de flesta prognoser pekar på denna utveckling¹⁰. Syntetisk olja kan även produceras från andra mindre

⁹ IEA (2006b)

¹⁰ Bartsch (2000); Persson T. (2006)

koldioxidintensiva råvaror såsom biomassa (givet att användningen är åtminstone ganska koldioxidneutral) eller naturgas.

Precis som för elektricitet kan drift och utbyggnadsmarginalen skilja sig åt för olja. Till exempel kommer kanske aldrig syntetisk olja från olja att användas i Sverige och driftsmarginalen kan då antas vara någon lättare fraktion av olja. Användning av olja i Sverige kan emellertid påverka utbyggnadsmarginalen vilket kan vara syntetiskt bränsle från kol.

4.2.4 Marginalbioenergi

En ökad efterfrågan på bioenergi innebär ökade priser på biobränslen såvida inte produktiviteten i biobränslen kan ökas i motsvarande takt. Utbudet av biobränslen har hittills dominerats av bi- och restprodukter från skogsbruket och skogsindustrierna. Restprodukter från jordbruket och dedikerade energiodlingar ökar i omfattning speciellt utifrån ett internationellt perspektiv. Den slutliga tillgången på biomassa begränsas ytterst av den biologiska resursen och vad som anses som en uthållig användning.

En kortsiktig utbudskurva visar att till och med små förändringar i efterfrågan kan påverka vilket biobränsle som är på marginalen¹¹. All bioenergianvändning är dock integrerade i den övergripande frågan om markanvändning. Råvaran har alternativa nyttor och bioenergi konkurrerar således med andra samhällsnyttor. För vissa biobränslen såsom restprodukter kan konsekvenserna av denna konkurrens vara liten idag medan den kan vara större för andra biobränslen. I och med andra generationens biodrivmedel kan biobränsleanvändning till el- och fjärrvärmeproduktion även börja konkurrera i större utsträckning med produktionen av drivmedel. I åtminstone en övergångsperiod kan en ökad biobränsleanvändning då leda till att det tar längre tid att fasa ut första generationens biodrivmedel som på marginalen kan behöva mycket insatt energi och leda till stora koldioxidutsläpp.

Biodrivmedel som produceras idag kommer från bland annat spannmål, majs och sockerrör. Delar av biodrivmedelsproduktion kräver mycket energi för framställandet och kan i värsta fall leda till ökade utsläpp av växthusgaser jämfört med om olja använts. Exempelvis leder en ökad användning av biodiesel från palmolja idag till avskogning om inte produktiviteten i palmolja produktionen ökar. Eftersom rapsolja påverkar priset på palmolja påverkar även användningen av denna avskogningstakten men inte i samma utsträckning som palmolja.

I slutändan är det troligt att alla åtgärder som påverkar markanvändningen idag till viss utsträckning resulterar i avskogning och annan markförändring som leder till utsläpp av växthusgaser¹². Ett ökad efterfrågan på mark påverkar således om marken är en källa eller sänka av koldioxid samt storleken på dessa. Detta sker

¹¹ R. Lundmark, 2007.

¹² För en sammanställning av beräkningar av effekter av bioenergianvändning se Ecofys 2007.

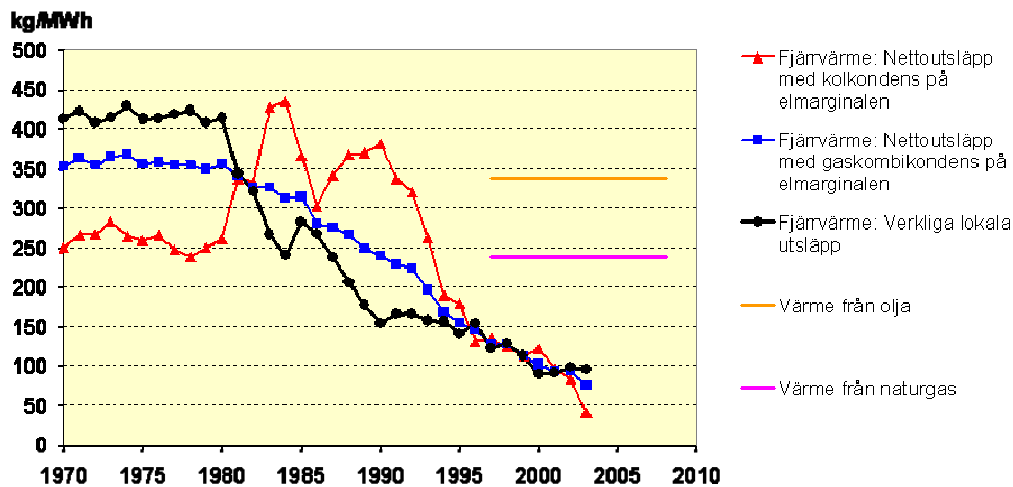
genom direkta eller indirekta effekter (såsom makroekonomiska effekter). Genom styrmedel för markanvändning som införs globalt kan denna konsekvens undvikas. Ur ett marginalperspektiv är det således långt ifrån självklart att idag bedöma bioenergianvändning som fullständigt koldioxidneutral. Det är emellertid svårt att uppskatta indirekta effekten på utsläppen av koldioxid. En speciell fråga blir hur stor del av den indirekta markanvändningseffekten som ska allokeras till biobränsleanvändning respektive andra aktiviteter som bioenergin konkurrerar med. Även produktionen leder till utsläpp av växthusgaser och i vissa fall stor energianvändning.

4.2.5 Marginalfjärrvärme

Fjärrvärmens inom ett nät produceras normalt med flera olika tekniker, t.ex. spillvärme, avfallspannor, värmepumpar, biobränslepannor och oljepannor i fallande prioriteringsordning beroende på rörliga produktionskostnader. Under sommarhalvåret när värmebehovet är mycket begränsat används oftast endast de billigaste teknikerna, t.ex. avfall. Förlusterna i relativa termer under denna period är generellt också större än när värmelasten är hög. I absoluta termer är förlusterna ungefär lika stora under hela året. När det blir kallt och värmebehovet ökar kopplas flera och dyrare anläggningar in. Detta innebär att tekniken som är på marginalen ändras under året, den är effektberoende. Det är även viktigt att notera att spetslast som används de kallaste dagarna inte är det samma som marginal. Spetsbränslena utgör dock en större andel av marginalens energimix än de för totalt i hela systemet. Spetslastproduktionen måste alltid vara billigare i investering på grund av den korta utnyttjningstiden, men har ett dyrare bränsle. Idag är det vanligt med fossil eldningsolja. Flera fjärrvärmebolag har dock byggt om spetsproduktionen till bioolja eller pellets/träpulver.

Till skillnad mot många andra sektorer finns det stor substituerbarhet mellan bränslen i olika fjärrvärmeanläggningar, t.ex. att byta från kol till biobränsle kräver relativt små investeringar. Utsläppen i sektorn är därför känslig för förändringar av styrmedel och bränsleprisvariationer. Sedan början av 1990 talet har styrmedlen främjat en övergång till förnybara bränslen i fjärrvärmeproduktionen samtidigt som fjärrvärmeanvändningen har ökat (Figur 4). Koldioxidutsläppen per levererad kWh fjärrvärme har till och med sjunkit.

Sverige: Specifika koldioxidutsläpp från all fjärrvärme- och kombinerad elproduktion fördelat på alla fjärrvärmeleveransör



Figur 4. Utsläpp av koldioxid från svensk fjärrvärme historiskt. Källa Sven Werner 2007.

Att tekniken som är på marginalen ändras under året innebär att man behöver ta hänsyn till hur en investering påverkar efterfrågan under året. Har investeringen stort energibehov under vintern men liten under sommaren vilket är det vanligaste för uppvärmningsbehov så kan det innebära att oljepannor behöver användas mer. Om energibehovet enbart finns på sommaren (t.ex. en utomhuspool) eller är jämnare utspridd över året som för tappvarmvatten så påverkar den ofta efterfrågan av spillvärme eller avfallspannor under sommarhalvåret. Vilken emissionsfaktor eller primärenergifaktor som ska användas i en analys är således beroende av hur den förändrar energibehovet över året.

Miljöpåverkan är även beroende av var i ett fjärrvärmesystem kunden ansluter sig. Värmegles fjärrvärme, i småhusområden, har högre värmeförluster än i områden där det är värmetätare. I värmeglesa områden finns det indikationer på att distributionsförlusterna i genomsnitt under ett år är omkring 20 procent¹³. För enskilda kunder kan dock förlusten vara större eller mindre.

Varje fjärrvärmenät har sin unika bränslemix och därmed unika emissions- och primärenergifaktorer. Att ett hushåll ansluter sig till fjärrvärmenätet i Göteborg kan således inte jämföras med Falköping. I vissa fjärrvärmenät finns det ett överskott av värme under varma perioder, t.ex. i nät med mycket spillvärme. En liten last under varma dagar försämrar även ekonomin för kraftvärmeproduktion.

¹³ Zinko och Bøhm (2005)

4.3 Sammanställning av systemgränser och emissionsfaktorer

Att värdera en marginell förändring av energianvändningen (d.v.s. miljövärdering av förändrad energianvändning vilket kan jämföras med miljöredovisning av energianvändning som beskrivits i kapitel 3) med emissionsfaktorer och primärenergifaktorer för olika tekniker är en approximation. Faktorerna grundar sig på den kunskap som finns idag. Om förhållandena ändras och motiverar en revidering av faktorerna kommer en sådan att genomföras.

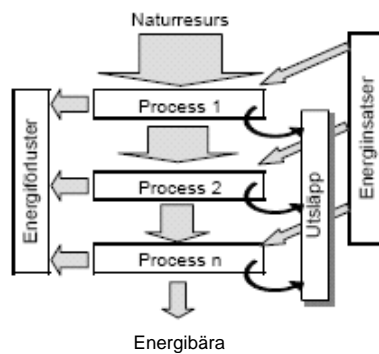
4.3.1 Metod för beräkning av faktorer

Emissionsfaktorerna som presenteras här visar hur mycket koldioxid som släpps ut till luften då en MWh produceras med en viss teknik. Utsläppen sker inte nödvändigtvis vid samma tillfälle eller på samma plats, utan är en summering av de utsläpp som sker från utvinning av naturresurs till produktion av el, fjärrvärme och raffinerad olja.

För beräkningar utifrån ett livscykelperspektiv används så kallade primärenergifaktorerna vilka visar hur mycket primärenergi som behövs för att producera en MWh el, fjärrvärme och raffinerad olja med en viss teknik. Med primärenergi menas den energi som kan utvinnas ur naturresurser som t.ex. råolja, träd eller stenkol. I detta kapitel presenteras primärenergifaktorerna uppdelade på olika typer av naturresurser.

Vid en presentation av resultat beräknade med primärenergifaktorer kan en summering av mängden olika bränslen för att producera el, fjärrvärme och raffinerad olja med en viss teknik ge ett mått på teknikens sammanlagda energieffektivitet. Man kan i detta sammanhang beakta att olika bränsleslag kan ha helt olika beskaffenhet när det gäller t.ex. miljöpåverkan eller prisbild. Därför är det lämpligt att presentera resultat beräknade med t.ex. emissionsfaktorer i anslutning till en presentation av primärenergianvändning.

För att beräkna emissions- och primärenergifaktorer för en viss typ av produktionsteknik är det viktigt att definiera en teknisk systemgräns. Energisystemet som producerar el, fjärrvärme och raffinerad olja är här definierat som en kedja av olika energiomvandlingsprocesser som sträcker sig från utvinning av primärenergi till en energibärare som kan användas för ett specifikt ändamål (Figur 5). I alla processer sker energiförluster och en del av processerna behöver dessutom insatsenergi, t.ex. diesel för transporter eller el till raffinaderier. Dessa energiförluster och energiinsatser är inkluderade i beräkningarna. Däremot har inte hänsyn tagits till energi- och materialåtgång för byggnader, maskiner, personaltransporter etc., eftersom det i detta sammanhang anses vara försumbart.



Figur 5 Energikedjan för ett energisystem. De grå pilarna symboliserar energin som flödar genom processerna i energisystemet och som minskar för varje process pga. energiförluster. En del processer kräver insatsenergi som t.ex. el eller diesel. De svarta pilarna symboliserar utsläppen från processerna¹⁴.

Omvandling till insatsenergi kan i sin tur kräva nya energiinsatser. Omvandlingen av dessa bildar då en subkedja till bränslekedjan. Vid produktion av t.ex. diesel behövs det el. Om den elen produceras med kolkondensanläggningar behövs det i sin tur diesel till transporter vid utvinning av kolet. I ett sådant fall måste man bestämma hur många nivåer med subkedjor som bör ingå i beräkningarna.

Bränslebehovet, Q_{in} , för en process beräknas enligt ekvationen

$$Q_{in} = \frac{Q_{ut}}{\eta}$$

där Q_{ut} är energimängden i bränslet/elen som kommer ut från processen och η är processens verkningsgrad.

Emissionerna för en process beräknas genom att multiplicera processens emissionsfaktor med antingen Q_{in} eller Q_{ut} beroende på om emissionsfaktorn är angiven i enheten per energimängd in i processen eller per energimängd ut ur processen. En emissionsfaktor där det inte tydligt framgår om det är emission per energi in eller energi ut är alltså oanvändbar i detta sammanhang.

Första steget i bränslekedjan är utvinning av naturresurs. I detta processteg sker inte någon energiomvandling av det bränsle som utvinns. Därför anges bara insatsenergin och de utsläpp denna orsakar i processteget utvinning av naturresurs. Insatsenergin kan vara av flera olika slag, både samma som det utvunna bränslet eller av någon annan typ.

¹⁴ Källa: Karlsson, 2003. Comparative Assessment of Fuel-Based Systems for Space Heating, Avdelningen för miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola.

4.3.2 Antaganden marginalet

Vilken teknik som producerar el på driftsmarginalen beror på den inbördes prisrelationen mellan elproduktion från kol respektive naturgas. En förändrad elanvändning påverkar även de ekonomiska förutsättningarna för utbyggnad av förnybar elproduktion på lång sikt. Inte enbart genom elpriset utan även genom styrmedlen. Elcertifikatsystemet anger hur stor andel av elanvändning som ska komma från förnybar elproduktion. En förändrad elanvändning får därför konsekvenser på behovet av elcertifikat. Som redan visats i Kapitel 4.1.2 är det rimligt att för kvotpliktiga elkonsumenter att anta att utsläppsfaktorn till ungefär 90 procent utgör marginalet och 10 procent certifikatberättigad elproduktion.

Eftersom både kolkondens- och gaskombianläggningar tillsammans med förnybar el troligen kan utgöra marginalen redovisas ett intervall.

Bränslekedjan för el producerat med kolkondens-, och gaskombianläggningar definieras enligt följande:

- 1 Utvinning av kol respektive naturgas (cirka 10 procent förluster)
- 2 Omvandling till el
- 3 Elnätsförluster (cirka 6 procent)

Emissionsfaktorerna och primärenergifaktorer för kolkondens- och gaskombianläggningar sett i ett bränslecykelperspektiv med hänsyn taget till elcertifikatsystemets krav på 10 procent förnybart visas i Tabell 1. Observera att alla faktorer gäller för 1 MWh levererad el och att de i möjligaste mån inkluderar omvandlingsförluster och insatsenergier från utvinning av primärenergi fram till användningen av el. För kolkondensanläggningen antas en elverkningsgrad på 35 procent samt för gaskombin antas en verkningsgrad på 50 procent.

I dessa emissionsfaktorer tas inte hänsyn till att en ökad eller minskad elanvändning eller produktion har en effekt på elpriset och därmed den slutliga efterfrågan på elektricitet¹⁵.

Tabell 1. Emissioner av koldioxid (kg/MWh producerad el) samt primärenergifaktorer för kolkondens- och gaskombianläggningar samt koldioxidutsläppen för förnybar elproduktion. Emissionsfaktorerna inkluderar utsläpp från produktion av bränsle (kol respektive naturgas) samt utsläppen vid omvandling till el. Underliggande data är från IVL (2001)

Teknik	Koldioxid	Primärenergi
Kolkondens	1000	3,0
Gaskombi	400	2,2
Förnybar el	5	

¹⁵ Att ta hänsyn till priseffekter kan ha stor betydelse. Norges vassdrags- og energidirektorat har inkluderat detta i en analys (NVE, 2008)

4.3.3 Antaganden marginalolja

Att definiera vad som utgör marginalolja är beroende av den framtida utvecklingen. I denna rapport antar vi att det antingen är konventionell olja eller syntetisk olja producerad från kol. Olja är till skillnad mot elektricitet en global handelsvara vilket innebär att en global klimatöverenskommelse om utsläppsåtagande behövs för att utsläppen från uppgradering och raffinering ska kunna kontrolleras. EU kan således ha en ambitiös politik som påverkar marginalel men att syntetiskt bränsle från kol ändå utgör marginalen för olja.

Bränslekedjan för raffinerad olja producerad från konventionell olja definieras enligt följande:

- 1 Utvinning av olja
- 2 Omvandling i raffinaderi

Bränslekedjan för raffinerade olja producerad från kol definieras enligt följande:

- 4 Utvinning av kol och uppgradering.
- 5 Omvandling i raffinaderi

Att göra syntetiskt flytande bränsle från kol är en process som idag har en verkningsgrad på ungefär 40 procent¹⁶. Bränslekedjan ovan inkluderar inte slutanvändningen av oljeprodukten. Eftersom energieffektiviteten för olika användningsområden varierar ganska mycket särredovisas utsläppen från framställningen. I detta exempel kompletteras detta med en beräkning där oljan antas användas till värmeprocess med verkningsgrad av 90 procent.

Emissions- och primärenergifaktorer för raffinerad olja från konventionell olja och kol sett i ett bränslecykelperspektiv visas i Tabell 2. Observera att alla faktorer gäller för 1 MWh producerad raffinerad olja och att de i möjligaste mån inkluderar omvandlingsförluster och insatsenergier från utvinning av primärenergi till raffinerad oljeprodukt.

I dessa emissionsfaktorer tas inte hänsyn till att en ökad eller minskad användning eller produktion har en effekt på oljepriset och därmed den slutliga efterfrågan.

¹⁶ Steynberg och Nel (2004); IEA (2005)

Tabell 2. Emissioner av koldioxid (kg/MWh producerad raffinerad oljeprodukt) och primärenergifaktorer för raffinerad olja framställd ur konventionell olja - och kol. Emissionsfaktorerna inkluderar utsläpp från produktion av bränsle samt utsläppen vid omvandling i raffinaderi. Underliggande data är IEA (2005) och Bergerson och Keith (2006).

	Bränsle	Koldioxid	Primärenergi
<i>Framställning</i>	Konventionell olja	10-20	1,1
	Kol	550	2,5
<i>Användning till värme¹</i>	Konventionell olja	300	1,1
	Kol	300	1,1
<i>Totalt</i>	Konventionell olja	310-320	1,2
	Kol	850	2,8

(1) Antagen verkningsgrad på 90 procent.

4.3.4 Antaganden marginalbioenergi

Att definiera vad som utgör marginalbiobränsle är beroende av den framtida utvecklingen och inte minst den politiska utvecklingen för jord- och skogsbruk. I ett marginalperspektiv kan markanvändning integreras, det vill säga det finns en länk mellan bioenergianvändning och livsmedelsproduktion. Denna länk kan bli än starkare för biobränslen om biodrivmedel börjar produceras av skogsrester. Eftersom bioråvaran till pellets och fjärrvärme kan skilja sig åt mot biodrivmedel (här representerad som etanol) redovisas dessa två fall var för sig. Bränslekedjan i alla fall definieras enligt följande:

- 1 Produktion av biomassa (ex. bränsleanvändning och gödningsmedel)
- 2 Uttag av råvara och direkt markförändring
- 3 Transport
- 4 Omvandling
- 5 Indirekta markförändringar

Marginalbiodrivmedel

Etanol som i denna analys representerar biodrivmedel produceras idag från flera olika råvaror. I Europa är det vanligast med spannmål och vin. I USA kommer etanolen från majs och i Brasilien från sockerrörsproduktionen.

Primärenergifaktorn för etanol framställd från spannmål är drygt 2,5. Detta antas i denna rapport utgöra marginalen men det kan mycket väl även vara majs- eller sockerrörsetanol. Utsläppen av växthusgaser från etanolproduktion från spannmål är ungefär 160 g koldioxid per km¹⁷. Det finns i dagens etanolproduktion omvandlingsformer, som kan anses utgöra marginalen, som har ännu högre primärenergifaktor och utsläppsfaktorer för koldioxid. En förväntat mer effektiv etanolproduktion från skogsråvaror kan dock komma att konkurrera ut denna produktion. Exempelvis så uppskattas primärenergifaktorn för lignocellulosabaserad etanol från sulfit, en biprodukt vid framställning av pappersmassa, i bästa fall bli ungefär jämförbar med den för konventionell olja.

¹⁷ Conca, 2007. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. WELL-to-WHEELS Report version 2c, March 2007.

Marginalbiobränsle

På kort sikt är det troligt att primärenergifaktorn för biobränsle är lågt, 1,1 om det motsvarar GROT (biobränsle bestående av grenar, rötter och toppar). I och med en eventuell kommersialisering av biodrivmedel från GROT finns det ett alternativt användningsområde. Den andra generationens biodrivmedel ersätter första generationens biodrivmedel med en primärenergifaktor som kan vara drygt 2,5. En minskad användning av GROT till fjärrvärme innebär då att denna kan användas till etanolframställning och där eventuellt ersätta spannmålsetanol. På samma sätt kan emissionsfaktorn för växthusgaser vara låg vid framställningen av biobränsle från GROT. Det är inga stora utsläpp vid produktion, uttag eller transporter och de indirekta effekterna kan bedömas som små. Alternativ användning av GROT kan framförallt öka de indirekta effekterna. I analysen antas därför biobräsleanvändningen i fjärrvärmeproduktion kunna vara 0-100 procent klimatneutral, det vill säga de direkta och indirekta effekterna kan bli så stora att användningen inte alls blir klimatneutral. Eftersom det bedöms behövs många steg uppströms i kedjan av alternativa nyttor innan GROT användningen kopplas till avskogning eller andra viktiga markanvändningsfaktorer torde dock den indirekta effekten inte vara 100 procent utan betydlig lägre (upp till några procent). Det finns emellertid idag inget underlag som analyserar hur storleken på de indirekta effekterna.

4.3.5 Antaganden fjärrvärme

Vilken teknik som producerar fjärrvärme på marginalen varierar över året och är unikt för varje fjärrvärmesystem. Vad som utgör marginalen på lång sikt är beroende av förändringar av bränslepris och utvecklingen av styrmedel. Eftersom varje fjärrvärmesystem är unikt görs här en förenkling och kategoriserar fjärrvärmerna i två typiska system definierade i Tabell 3. *System 1* representerar system med mycket biobränsle, spillvärme och avfall och *system 2* är mer fossilbaserat (i denna analys inkluderas fjärrvärmesystem med en mycket stor andel fossila bränslen i denna kategori). För varje system har två olika omvandlings- och distributionsförluster för varje nätet antagits. I ett normalt fjärrvärmesystem med ett värmeunderlag motsvarande en tätort är omvandling och distributionsförlusten omkring 20 procent. För ett nyare nät till småhus antas de totala fjärrvärmesystemförlusterna vara 30 procent. I vissa fjärrvärmesystem och situationer kan de totala förlusterna vara mindre eller större.

Tabell 3. Omvandlingsfaktorer för fjärrvärmedistribution i två olika system. Två olika distributionsförluster antas då förlusterna varierar mellan vilken kund som avses samt att förlusterna kan variera mellan olika nät.

	Bränsle	Tid %	Utv. & förädling	Förluster	
				Flerbostadshus	Villaområde
<i>System-bio</i>	Biobränsle	89	10%	20%	30%
	Olja	10	10-60%		
	El	1	50-60%		
<i>System-fossil</i>	Biobränsle	75	10%	20%	30%
	Olja	24	10-60%		
	El	1	50-60%		

Tabell 4. Primärenergifaktorer ur ett marginalperspektiv för de två fjärrvärmesystemen definierade enligt tabell 3. Den lägre siffran i intervallet representerar en situation med en konventionell olja som marginalolja och naturgaskombi som marginalet. Den höga siffran i intervallet representerar en situation med syntetisk olja från kol som marginalolja och kolkondens som marginalet. Biobränslen antas hela tiden ha en låg primärenergifaktor på 1,1.

	Flerbostadshus	Villaområde
<i>System bio</i>	1,4-1,6	1,6-1,8
<i>System fossil</i>	1,4-1,8	1,6-2,1

Tabell 5. Biobränslebaserad kraftvärmeproduktion, annars samma förutsättningar som för tabell 4 givet olika allokeringmetoder för kraftvärmeproduktionen.

	Flerbostadshus	Villaområde
<u>Alternativmetoden</u>		
<i>System bio</i>	1,1-1,3	1,2-1,4
<i>System fossil</i>	1,2-1,6	1,3-1,8
<u>Primärenergimetoden</u>		
<i>System bio</i>	0,2-0,3	0,2-0,4
<i>System fossil</i>	0,5-0,9	0,6-1,0

Primärenergifaktorer för de olika fjärrvärmesystemen sett i ett bränslecykelperspektiv visas i Tabell 4. Primärenergifaktorn blir lägre om biobränslen förbränns i kraftvärmeproduktion. Hur stor effekten blir beror på vilken allokeringprincip mellan el och värme som används. I Tabell 5 redovisas primärenergifaktorer där alternativmetoden respektive primärenergimetoden har använts för att allokera effekterna mellan el och värme. I alternativmetoden drar både el- och värmeproduktionen fördel av det förbättrade bränsleutnyttjandet i kraftvärmeverket. Enligt denna metod belastas el och värme med emissioner respektive primär energianvändning i proportion till den bränslemängd som hade erfordrats om samma mängd el respektive värme hade producerats med samma

bränsle i tänkta separata anläggningar. Primärenergimetoden är den metod som ger störst fördel till värmedelen (fjärrvärmens). I primärenergimetoden används den så kallade kraftbonusmetoden för värdering av el. Kraftbonusmetoden innebär att den el som produceras med kraftvärme bedöms som om den hade producerats i en kondensanläggning med samma bränsleslag som används i den aktuella kraftvärmeproduktionen. Den producerade värmen ges en primärenergifaktor motsvarande den del av bränsleåtgången som inte täcks av elproduktionen. Denna kan bli negativ, om elverkningsgraden i kraftvärmeanläggningen är tillräckligt hög. I sådana fall sätts primärenergifaktorn för den producerade värmen till noll. I delbetänkandet "Ett energieffektivare Sverige" (SOU 2008:25) finns en genomgång av fler allokeringmetoder.

Tabell 6. Emissionsfaktorer för koldioxid (kg CO₂ per MWh) ur ett marginalperspektiv för de två fjärrvärmesystemen definierade enligt tabell 3. Den lägre siffran i intervallet representerar en situation med en konventionell olja som marginalolja, naturgaskombi som marginalet och bibränsleanvändningen är koldioxidneutral. Den höga siffran i intervallet representerar en situation med syntetisk olja från kol som marginalolja, kolkondens som marginalet och bibränsleanvändningen är inte alls koldioxidneutral. Inom parentes redovisas situationen där bibränsleanvändningen antas vara koldioxidneutral medan marginalolja och marginalet har höga värden.

	Flerbostadshus	Villaområde
<i>System bio</i>	55-535 (130)	65-610 (145)
<i>System fossil</i>	110-610 (270)	120-700 (310)

Tabell 7. Emissionsfaktorer för koldioxid (kg CO₂ per MWh). Samma antaganden som i tabell 6 men bibränslen används i kraftvärmeproduktion och allokeras med två olika metoder. Inom parentes redovisas situationen där bibränsleanvändningen antas vara koldioxidneutral medan marginalolja och marginalet har höga värden.

	Flerbostadshus	Villaområde
<u>Alternativmetoden</u>		
<i>System bio</i>	55-440 (120)	60-495 (135)
<i>System fossil</i>	105-530 (260)	120-600 (300)
<u>Primärenergimetoden</u>		
<i>System bio</i>	45-150 (110)	50-170 (125)
<i>System fossil</i>	95-285 (250)	110-325 (290)

Emissionsfaktorer visas i Tabell 6 och 7. Dessa faktorer gäller för 1 MWh levererad fjärrvärme och inkluderar i möjligaste mån relevanta omvandlingsförluster och insatt energi för utvinning.

4.4 Räkneexempel

Följande beräkningar ska ses som grova approximationer, förenklingar har gjorts för att öka förståelsen. Två räkneexempel ges innan en mindre utförlig analys görs av olika uppvärmningsalternativ.

1. Minskad elanvändning - Byte från direktverkande el till värmepump

Det är idag vanligt att växla från direktverkande el till värmepump för uppvärmning av hushåll. Detta innebär att elanvändningen minskar och miljöbelastningen beräknas här utgående från ett marginals perspektiv. Vad får detta byte för koldioxidkonsekvens?

En villa med ett värmebehov på 20 000 kWh per år med direktverkande el påverkar elsystemet på marginalen med emissionsfaktorer inom intervallet 5-1000 g CO₂/kWh¹⁸. Villans värmebehov ger således upphov till en kortsiktig koldioxidbelastning på 100-20 000 kg ($20\,000 \text{ kWh/år} \cdot 0,005 \text{ (alt. 1,0) kg CO}_2/\text{kWh}$).

Med en värmepump tas värme från berget, jorden eller luften och avger den till huset. För varje kWh som värmepumpen behöver för att arbeta får man normalt ut ca 2 till 3 kWh värme till huset, den så kallade värmefaktorn är då 2 till 3,2. Vi antar en värmefaktor på 2,5. Att installera en värmepump innebär att koldioxidutsläppen ur ett marginalperspektiv blir $40 - 8\,000 \text{ kg (0,005 (alt. 1,0) kg CO}_2/\text{kWh} \cdot 20\,000 \text{ kWh/år} / 2,5)$. Installationen av värmepumpen ger således upphov till lägre koldioxidutsläpp, de minskar med 60 (100 - 40) till 12 000 (20 000 - 8 000) kg per år.

2. Bergvärmepump eller fjärrvärme

Det är idag vanligt att hushåll väljer mellan en värmepump och fjärrvärme. Vad får detta val för koldioxidkonsekvens ur ett marginalperspektiv?

För varje kWh som värmepumpen behöver för att arbeta får man normalt ut ca 2 till 3,2 kWh värme till huset, den så kallade värmefaktorn är då 2 till 3,2. Vi antar här en värmefaktor på 3,2 då det är en bergvärmepump som ofta har höga värden. Att installera en bergvärmepump i en villa med ett uppvärmningsbehov på 20 000 kWh/år innebär att koldioxidutsläppen ur ett marginalperspektiv blir ungefär $30 - 6\,250 \text{ kg (0,005 (alt. 1,0) kg CO}_2/\text{kWh} \cdot 20\,000 \text{ kWh/år} / 3,2)$.

I kapitel 4.3.5 definieras två olika fjärrvärmesystem som är relativt typiska i Sverige. För ett hushåll i en ort med ett fjärrvärmesystem som nästan uteslutande är baserat på biobränslen (tillåts vara 10 procent el eller fossila bränslen) blir utsläppen från villan med ett uppvärmningsbehov på 20 000 kWh/år omkring $1\,000 - 2\,900 \text{ kg/år (0,05 (alt. 0,145) kg CO}_2/\text{kWh} \cdot 20\,000 \text{ kWh/år)}$. Detta gäller

¹⁸ 400 g CO₂ per kWh motsvarar ungefär emissionsfaktorn som uppstår från 90 procent naturgaskombi och 10 procent förnybar elproduktion från elcertifikatsystemet. 1 000 g CO₂ per kWh motsvarar 90 procent kolkondens och 10 procent förnybart. Mer information finns i kapitel 4.3.2.

i fjärrvärmesystem med ganska små totala förluster samt så länge biobränsleanvändningen kan anses vara koldioxidneutral. Förändringar i detta innebär högre koldioxidutsläpp.

För ett hushåll i en ort med ett fjärrvärmesystem som innehåller mer fossila bränslen och el (antas här utgöra 25 procent) blir utsläppen från villan omkring 2 200 – 6 200 kg/år (0,11 (alt. 0,31) kg CO₂/kWh · 20 000 kWh/år). Detta gäller i fjärrvärmesystem med små totala förluster samt så länge biobränsleanvändningen kan anses vara koldioxidneutral. Förändringar i detta antagande innebär högre koldioxidutsläpp. Det finns även fjärrvärmesystem med större och mindre förluster.

När investeringen är genomförd kan produktionsspecifik energi inhandlas.

3. Olika uppvärmningssystem

En villaägare har flera olika uppvärmningssystem att välja på vid en nyinvestering. I detta exempel jämför vi följande alternativ:

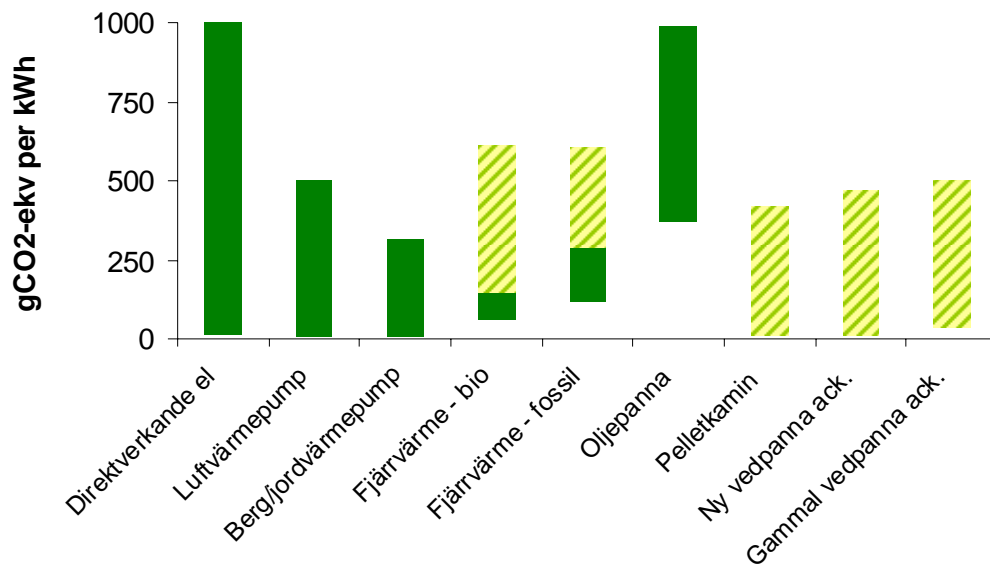
- Oljepanna
- Pelletkamin
- En gammal vedpanna med ackumulatortank
- En ny vedpanna med ackumulatortank
- Direktverkande el
- Luftvärmepump (värmefaktor 2)
- Berg/jord/sjövärmepump (värmefaktor 3,2)
- Två olika fjärrvärmesystem definierade enligt Tabell 3.

Beräkningarna är baserade på de faktorer som är framtagna i kapitel tre. Marginalolja kan utgöras allt från konventionell olja till syntetiskt bränsle från kol, marginalet består till av delar av naturgaskombi eller kolkondens, biobränsleanvändning är helt eller inte alls koldioxidneutralt (det streckade områden visar effekterna av att biobränsleanvändningen är mer eller mindre koldioxidneutralt). Förlusterna i fjärrvärmesystemen (omvandlings och nät) antas vara 30 procent vilket är normalt för villaområden.

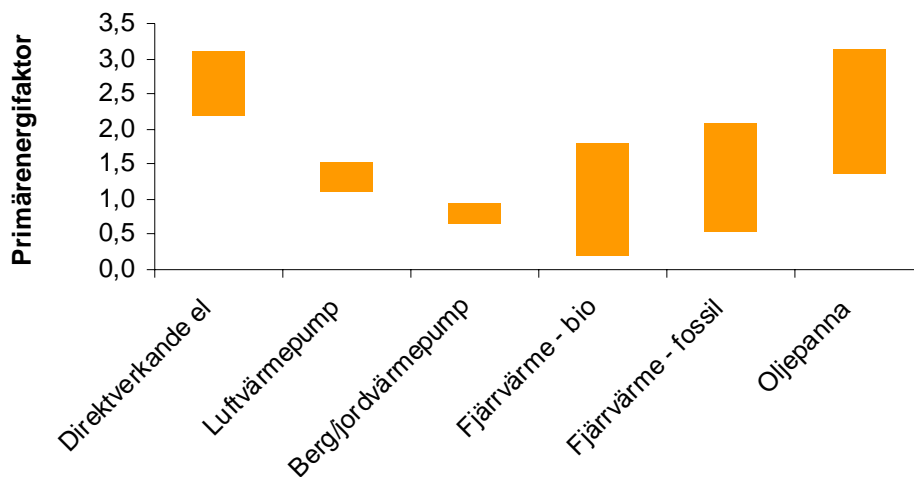
Biobränselbaserade uppvärmningssystem såsom pelletkamin, vedpanna med ackumulatortank och ett biobränslebaserat fjärrvärmesystem har låga växthusgasutsläpp givet att bränsleanvändningen är näst intill koldioxidneutralt (Figur 6). Med rådande kunskap bedöms detta vara fallet eftersom de indirekta effekterna av biobränslen är liten idag. Anses användningen istället vara fullständigt icke koldioxidneutral blir dessa system sämre än värmepumpsalternativen.

Figur 7 visar motsvarande intervall för primärenergifaktorer. Lägst värden har ett fjärrvärmesystem med biobränslebaserat kraftvärmesystem under förutsättning att primärenergimetoden används för att allokera belastningen mellan el och värme.

Används istället alternativmetoden för allockeringen mellan el och fjärrvärme blir berg-, sjö- och jordvärmepumpen det alternativ som får lägst primärenergifaktor.



Figur 6. Utsläpp av växthusgaser för olika uppvärmningsalternativ givet olika förutsättningar gällande vad som är marginalet, marginalolja och huruvida biobränsleanvändning anses vara koldioxidneutrala på marginalen.

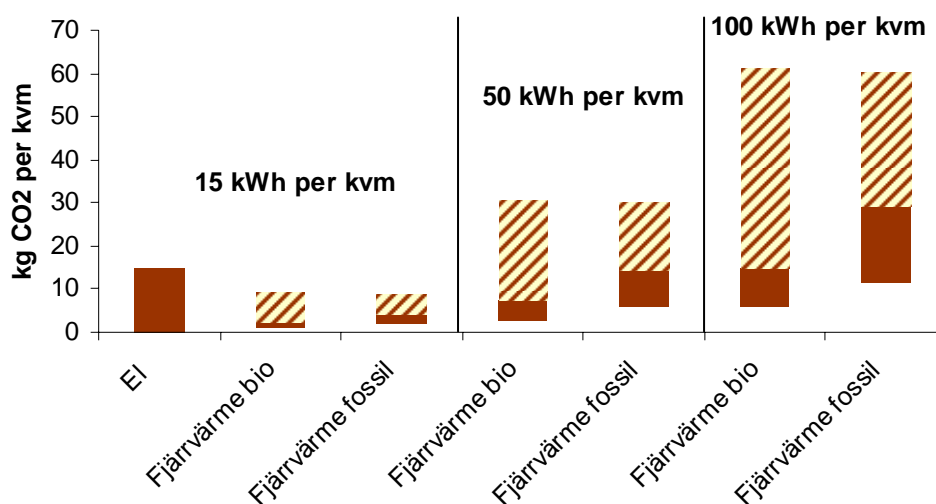


Figur 7. Primärenergifaktorer för olika uppvärmningsalternativ givet olika förutsättningar och antaganden men med samma värmebehov.

Valet av värmesystem ur koldioxid- och primärenergi synpunkt är således svårt och väldigt beroende av de lokala förutsättningarna samt vilka antaganden som görs. Oavsett antaganden är de sämsta valen en oljepanna och direktverkande el. Huruvida en berg/jordvärmepump eller ett fjärrvärmesystem med mycket

biobränsle på marginalen är det bästa valet beror på de lokala förutsättningarna samt hur koldioxidneutrala biobränslen antas vara. En pelletkamin eller en ny vedpanna med ackumulatortank kan också konkurrera med dessa alternativ ur koldioxidsynpunkt. Andra faktorer har också betydelse för den sammanlagda miljövärderingen.

En slutsats av utsläppsfaktorerna för växthusgaser är att dessa motiverar att nybyggnation av hus bör byggas med ett klimatskal som är bättre än vad dagens krav kräver. För att ett hus med biobränslebaserad fjärrvärme ska bli lika bra ur koldioxidsynpunkt som ett hus med mycket bättre energiprestanda, till exempel ett passivhus med ett värmebehov på 15 kWh per m², men med direktverkande el som spetslast (vilket inte behöver vara fallet) behöver vissa antaganden göras. Antar man exempelvis det högst värdet för el (1000 gCO₂ per kWh) och det lägsta för biobränslebaserad fjärrvärme (ca 50 gCO₂ per kWh för villaområden) kan slutsatsen dras att det ur klimatsynpunkt är bättre att bygga normalhus med fjärrvärme än passivhus. Genom att göra andra antaganden och bedömningar kan det omvända visas (Figur 8). Vad som utgör marginalenergi kommer dessutom att förändras innan klimatskalet på ett hus behöver ersättas.



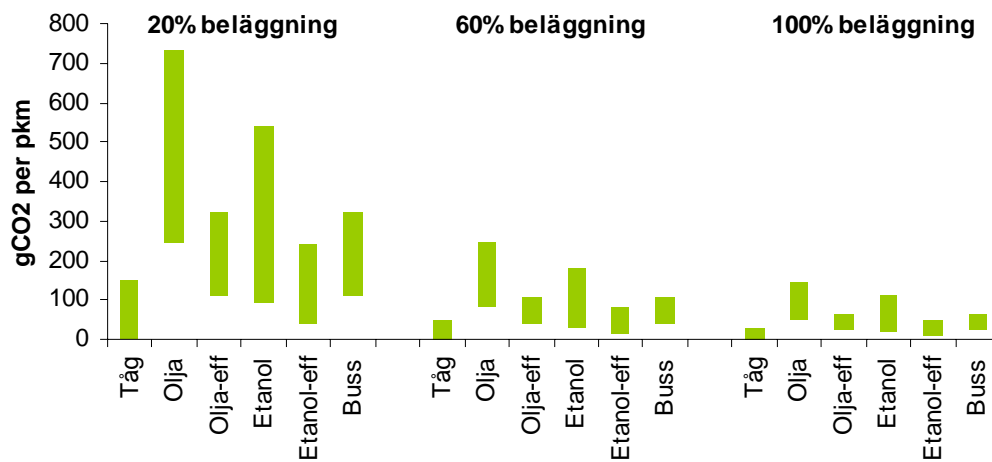
Figur 8. Utsläpp av växthusgaser per kvadratmeter för småhus med ett värmebehov (uppvärmning och tappvarmvatten) på 15, 50 respektive 100 kWh per kvadratmeter.

4. Val av transporter ur ett koldioxidperspektiv

En privatperson vill pendla till arbetet och har enkel resväg 4 mil. Personen har sex alternativa färdmedel:

- Bilsbil med förbrukning 0,9 liter per mil.
- Dieselsbil med förbrukning 0,4 liter per mil.
- Etanolbil med förbrukning 1,2 liter E85 per mil
- Etanolbil med förbrukning 0,5 liter E85 per mil
- Tåg med elförbrukning på 80 kWh per mil (Regina tåg)

- Buss med förbrukning 4 liter per mil.



Figur 9 Utsläpp av koldioxid (gram per person km) som en funktion av beläggningen i fordonen. En beläggning på 20% motsvarar 1 person per bil, 60% motsvarar 3 personer och 100 att 5 personer sitter i bilen. Marginalolja utgörs i de lägsta värdena av konventionell olja och syntetiskt bränsle från kol i de högsta. Marginalalen utgörs av naturgaskombi som det lägsta värdet och kolkondens som det högsta. I de lägsta värdena för etanol antas andra generationens biodrivmedel och att biobränsleanvändningen är koldioxidneutral. I de högsta värdena för etanol antas spannmålsetanol och att biobränsleanvändningen inte är koldioxidneutral. Olja-eff motsvarar en småbil eller större dieselbil. Etanol-eff motsvarar en småbil eller större biodieselbil.

En hög beläggning, fyllda tåg, bilar och bussar, innebär lägre koldioxidutsläpp (Figur 9). Tåg är överlag ett bra alternativ. Beläggningen på regionaltåg kan emellertid vara låg. Ett tåg med 272 platser har ofta en beläggning på regionala linjer på 20-40 procent (54-109) resenärer. Beläggningen varierar dock kraftigt under dygn, veckodagar och säsong¹⁹. Ur ett marginaelperspektiv motsvarar en 20 procentlig beläggning att varje resenär ger upphov till omkring 1-150 gCO₂ per km ($8 \text{ [kWh/km]} \cdot 5 \text{ (eller 1000) [gCO}_2\text{/kWh]} \cdot 1/54 \text{ [personer]}$). Skulle inte tåget gå antar vi att dessa resenärer tar bil eller buss istället. En större bensindriven bil är det sämsta alternativet av dem som analyserats. När det gäller etanolbilen så blir effekten avhängig av huruvida biobränslet i sig anses koldioxidneutralt eller ej. Om inte biobränslet är koldioxidneutralt är etanolbilen som värst jämförbar med den större bensinbilen vilket visar på vikten av bränslesnåla bilar.

Bränsleförbrukningen kan således avgöra om en personbil med E85 motor blir bättre eller sämre än bensin/diesel. En stor bil innebär en hög etanolförbrukning medan diesel i detta segment innebär jämförelsevis betydligt lägre förbrukning. Vinsten med diesel blir mindre för små- och medelsstora bilar. Huruvida etanol

¹⁹ Beläggningen på längre resor är i genomsnitt högre.

eller diesel är de bästa valen för klimatet är väldigt känsligt för de antaganden som görs för vad som utgör marginalen.

5 Referenser

- Bartsch, U., Müller, B., 2000. Fossil fuels in a changing climate. Oxford University Press, Oxford, U.K.
- Concawe, 2007. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. WELL-to-WHEELS Report version 2c, March 2007.
- Ecofys, 2007. Towards a harmonised sustainable biomass certificate scheme.
- Energimyndigheten, 2002. Marginal elproduktion och CO₂- utsläpp i Sverige. ER 14:2002
- Energimyndigheten, 2006. Effektivare primärenergianvändning – En uppföljning av måluppfyllelse avseende EG-direktivet om effektivare slutanvändning av energi och om energitjänster mellan åren 1991 och 2004. ER 2006:32
- IEA, 2005. Alternative fuels: An energy technology perspective. IEA/ETO/2005/01. International Energy Agency, Paris.
- IEA, 2006a. Resources to reserves: Oil and gas technologies for the energy markets of the future. International Energy Agency, Paris.
- IEA, 2006b. World Energy Outlook 2006. International Energy Agency, Paris.
- IVL, 2001. Miljöfaktabok för bränslen – Del 2: Bakgrundsinformation och teknisk bilaga. IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- Karlsson, Å., 2003. Competitive assessment of fuel-based systems for space heating. Avdelningen för miljö- och energisystem. Lunds tekniska högskola.
- Lundmark R., 2007.
- NEB, 2006. Canada's oil sand – Opportunities and challenges to 2015: an update. National Energy Board.
- NVE, 2008. Vil lavere kraftproduksjon i Norge gi lavere CO₂-utslipp fra europeisk kraftproduksjon? Temaartikkel i ”Kvartalsrapport for kraftmarkedet 1 kvartal 2008, Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Persson, A., Rydstrand, C., Hedenström, P., 2005. Allt eller inget – systemgränser för byggnaders uppvärmning. ÅF-Energi och miljö AB.

- Persson, T.A., Azar, C., Johansson, D., Lindgren, K., 2006. OPEC may profit rather than lose in a carbon constrained world. In Press in Energy Policy.
- Profu, 2006. Normalårskorrigerigering av fjärrvärmeproduktion – för Naturvårdsverkets projekt om normalårskorrigerigering av svenska koldioxidutsläpp.
- Proposition 2004/05:62 Genomförande av EG:s direktiv om gemensamma regler för de inre marknaderna för el och naturgas, m.m.
- Sandén, B.A., Karlström, M., 2006. Positive and negative feedback in consequential life-cycle assessment. Journal of Cleaner Production. In Press.
- Sjödin, J., Grönkvist, S., 2004. Emissions accounting for use and supply of electricity in the Nordic market. Energy Policy, 32, 1555-1564.
- Sköldberg, H., Unger, T., Olofsson, M., 2006. Marginaler och miljövärdering av el. Elforsk rapport 06:52.
- Sködlberg, H., Unger, T., 2008. Effekter av förändrad elanvändning/elproduktion – modellberäkningar. Elforsk rapport 08:30.
- Steynberg, A.P., Nel, H.G., 2004. Clean coal conversion options using Fischer-Tropsch technology. Fuel, 83, 765-770.
- SOU 2008:25. Ett energieffektivare Sverige, delbetänkande av Energieffektiviseringsutredningen.
- Werner, S., 2007. Effektivare bebyggelse och fjärrvärme. Svensk Fjärrvärme rapport 2007:2.
- WSP, 2006. Rapport – Primärenergifaktorer för olika energibärare och uppvärmningsslag som används inom områdena transporter och byggande.
- Zinko, H., Bøhm, B., 2005. Värmeförluster i småhusområdet Prästmarken, Växjö. Svensk Fjärrvärme rapport 2005:126.

6 Bilaga

Förlagor till detta underlag har presenterats och diskuterats externt.

Följande personer har haft möjlighet att ge synpunkter på ett tidigare utkast:

Mikael Gustafsson	Svensk Fjärrvärme
Eric Larsson	Svensk Fjärrvärme
Edvard Sandberg	Svensk Energi
Martin Forsén	Svenska Värmepumpsföreningen
Kjell Andersson	Svebio
Birgit Bodlund	Vattenfall AB
Anders Ådahl	Göteborgs Energi
Per Kågeson	Nature Associates
Thomas Ekvall	IVL
Håkan Sköldberg	PROFU
Stefan Montin	Elforsk
Björn Karlsson	Tekniska högskolan vid Linköpings universitet
Karl Hillman	Chalmers tekniska högskola
Göran Berndes	Chalmers tekniska högskola
Lennart Söder	Kungliga Tekniska Högskolan
Marie Hagberg	SJ
Yogesh Kumar	Boverket

Underlaget har presenterats och diskuterats externt vid dessa tillfällen:

SJ – Miljö och energi, 19 juni 2007.

Energimyndighetens – Energi Utvecklings Nämnd, 20 september 2007.

Naturskyddsföreningen – Små värmepumpars miljökonsekvenser, 18 oktober 2007.

EFFSYS – EFFSYS 2 dagen, 8 november 2007.

IVL – Energieffektiv bebyggelse – renovering och stadplanering, 20 november 2007.

Sveriges Energiting, 12-13 mars 2008.