

MILJÖVÄRDERING AV ENERGILÖSNINGAR I BYGGNADER

RAPPORT 2015:200



Miljövärdering av energilösningar i byggnader

METOD FÖR KONSEKVENSPANALYS

JENNY GODE, AMBJÖRN LÄTT, TOMAS EKVALL,
FREDRIK MARTINSSON, IDA ADOLFSSON, JACOB LINDBLOM

ISBN [xxx-xx-xxxx-xxx-x]

© 2012 Svensk Fjärrvärme AB

FÖRORD

Som ett led i omställningen av energisystemet måste såväl leverantörer av energi-effektiva byggnader som leverantörer av energi till byggnaderna ha beslutsunderlag som visar konsekvenserna av olika kombinationer av energilösningar. Naturligtvis måste konsekvenser ur ett ekonomiskt perspektiv belysas men också konsekvenser ur ett miljöperspektiv. De metoder som baseras på måttet köpt energi på årsbasis är inte tillräckligt träffsäkra när det gäller att kvantifiera exempelvis resurseffektivitet och klimatpåverkan. Syftet med den metod som utvecklats i detta projekt är att hitta en lösning på detta problem. Metoden beaktar att miljökonsekvenserna för energisystemet varierar över tid och därmed skiljer sig mellan de tillfällen en byggnad producerar och levererar egengenererad energi till el- eller fjärrvärmenätet och de tillfällen byggnaden kräver leverans av energi från näten. Med andra ord tar metoden hänsyn till hur produktionen och användningen av energi varierar under året istället för att som i gängse metoder göra beräkningen på årsbasis.

Sammanhangen är komplicerade. För att genomföra projektet har det därmed krävts god samverkan mellan olika aktörer såsom forskare och representanter från näringsliv och myndigheter. Projektet förväntas i sin förlängning leda till utvecklingen av ett verktyg som kan nyttjas av beställare, projektutvecklare, konsulter och utredare som hjälpmedel i arbetet med att föreslå lämpliga energilösningar för byggnader. Ett verktyg i vilket man på ett så transparent sätt som möjligt kan bedöma konsekvenser av olika kombinationer av lösningar, i olika scenarier för energisystemets utveckling. Detta projekt utgör ett första steg som behöver följas av fler steg där metoden förfinas och där rutiner för att erhålla underlag för indata skapas samt där slutligen verktyget görs tillgängligt för marknadens aktörer.

Arbetet har utförts av forskare vid IVL Svenska Miljöinstitutet och har finansierats av Fjärrens (fjärrvärmebranschen genom Energiforsk och Energimyndigheten), Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF) samt Naturvårdsverket och Formas via Stiftelsen IVL (SIVL). Projektets titel har för Fjärrens och SIVL varit "Värdering av energilösningar i byggnader" och för SBUF "Energiprestanda för byggnader med egengenererad energi" (projektnummer 12874). Rapporten är publicerad i Fjärrens, IVL:s och SBUF:s rapportserier. I IVL:s rapportserie har rapporten nummer B2240. I projektets referensgrupp har följande personer deltagit: Jonas Gräslund, Skanska, Erik Dotzauer, Fortum Värme, Charlotta Abrahamsson, Göteborg Energi, Pontus Cerin, Energimyndigheten, Mats Fredriksson, E.ON, Anna Jarnehammar, IVL, Roland Jonsson, HSB, Johnny Kellner, Veidekke, Raziye Khodayari, Svensk Fjärrvärme, Johan Lundén, Tekniska Verken Linköping samt Hannes Schmied, NCC.

Jonas Gräslund
Skanska Fastigheter

Erik Dotzauer
Fortum Värme

Anna Jarnehammar
IVL Svenska Miljöinstitutet

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Fjärrsyns styrelse eller Svensk Fjärrvärme har tagit ställning till innehållet.

SAMMANFATTNING

Det ställs allt högre krav på byggnaders energiprestanda. Detta tillsammans med exempelvis gynnsamma priser på solceller och statliga bidrag innebär att investeringarna i småskaliga energilösningar på eller invid byggnader har ökat kraftigt de senaste åren. Många småskaliga energilösningar är väderberoende och producerar elen och/eller värmen just när väderförutsättningarna är rätt. Det behöver inte sammanfalla med de tidpunkter då byggnaden har behov av el/värme. Vilka konsekvenser detta får för energisystemen har hittills i princip uteslutande analyserats baserat på årsvärden. Ibland tas inte heller någon hänsyn till hur energisystemet utvecklas över åren, alltså från installation av energilösningen till dess livslängds slut.

I denna rapport presenterar vi en helt ny metod för att analysera miljökonsekvenserna av byggnaders energilösningar där tiden har ett framstående fokus. Metoden ska visa på effekterna av olika val och ge underlag för planering av byggnaders energilösningar. Därför har utgångspunkten varit att analysera konsekvenser av förändrad energianvändning, alltså en jämförelse av olika energilösningar mot en referens. I miljövärderingstermer brukar detta kallas konsekvensanalys. Energilösningar kan vara både lösningar för energieffektivitet och för produktion av förnyelsebar energi. Med metoden jämförs energilösningar för en byggnad mot en referensbyggnad. En procedur i åtta steg har utvecklats för att beräkna, analysera och jämföra olika energilösningar.

Metoden hanterar två olika tidsbegrepp. Det ena tidsbegreppet kallar vi *dynamik* och avser utvecklingen av el- och fjärrvärmesystemen över flera år – från nu och ca 20 år framåt i tiden. Både el- och fjärrvärmesystemen är dynamiska och utvecklas över tid. Fjärrvärmens utveckling från idag och framåt i tiden varierar mellan olika fjärrvärmebolag beroende på bland annat befintligt produktionssystem, uppskattningar om framtida värmeunderlag, framtida investeringsplaner, styrmedel och liknande. Fjärrvärmesystemens dynamik hanteras i metoden för varje enskilt fjärrvärmensät. Elsystemet är betydligt större rent geografiskt och en förändring i Sverige orsakar konsekvenser även utanför Sverige. Bedömningen är att ett nordeuropeiskt perspektiv behövs för att tillräckligt täcka in effekterna av en förändrad elanvändning i Sverige. För elsystemet är dynamiken beroende av beslut från en mängd olika aktörer som är verksamma på elmarknaden. Den sammantagna spridning som framtidens tänkbara elsystem och tillhörande produktionstekniker kan komma att få är därmed stor. Vi hanterar denna spridning/osäkerhet med hjälp av scenarier.

Det andra tidsbegreppet är *tidsupplösning*, vilket avser variationer över kortare tidsperioder under ett år, alltså över säsonger, månader och dygn. En viktig uppgift i projektet var att ta ställning till om det har betydelse för el- och fjärrvärmesystemen om en byggnad med egen energiomvandling producerar och använder el/värme vid

olika tidpunkter. Frågan gäller alltså om det spelar någon roll i systemperspektiv om behov och produktion matchar varandra i tid eller inte.

Slutsatsen vad gäller fjärrvärmens är att konsekvenser behöver hanteras tidsupplöst. Det går dock inte att ge en generell tidsupplösning för alla fjärrvärmenät utan det kan variera från nät till nät beroende på komplexitet, antal anläggningar, värmelast, liknande storlek på ledningsnät, överföringsförbindelser med angränsande nät och liknande. Fjärrvärmesystemen är lokala i sin karaktär och här har en generell metodik utvecklats som kan användas för att ta fram platsspecifika konsekvenser för olika fjärrvärmesystem och för olika energilösningar. Metoden baseras på utomhus-temperaturdata för att ta fram en så kallad marginalmix (förändringskonsekvens) för varje temperaturintervall. Metoden ger en sannolikhetsfördelning för hur vanligt det kan vara att ett visst produktionsslag påverkas vid en viss temperatur.

Vår slutsats för elsystemet är att förändrad elanvändning på kort sikt (från nu och 5-10 år fram i tiden) inte behöver analyseras tidsupplöst. Det innebär att på kort sikt är konsekvensen i elsystemet likvärdig oavsett vilken tid på dygnet, månaden eller säsongen som en förändrad elanvändning inträffar. De långsiktiga effekterna på elsystemet är mycket svårare att uppskatta. Denna osäkerhet har vi hanterat med hjälp av tre scenarier, som ger en spännvidd av tänkbara framtida utvecklingar. De kombinationer av åtgärder som ger låg påverkan i flera scenarier kan antas vara minst riskfyllda. På motsvarande sätt kan lösningar som ger hög påverkan i många scenarier antas vara förknippade med en risk.

Resultaten visar att det är gynnsamt på många sätt att rusta byggnader redan idag så att de har en flexibilitet för framtiden. Flexibiliteten kan avse både möjligheten att använda olika energikällor men också att kunna utjämna/variera effektbehovet. På så sätt undviker vi att bygga in oss i lösningar som kan vara omoderna i framtiden.

SUMMARY

The requirements on energy performance of buildings are increasing. This, together with e.g. decreasing prices for solar PV:s and state grants, have resulted in increased investments in on-site small-scale energy solutions. Many small-scale energy solutions are weather dependent and produce electricity and/or heat only at specific weather conditions. These occasions do not necessarily coincide with the times when the building needs electricity and/or heat. The implications for the energy system have so far almost exclusively been analyzed based on annual values.

In this report, we present a new method for analyzing the environmental consequences of building energy solutions where time aspects have been in focus. The method shows the effects of different energy solutions compared to a reference and provides a basis for planning of building energy solutions. Therefore, the starting point has been to analyze the consequences of a changing energy demand. In life cycle assessment terms, this is often referred to as consequential LCA. Energy solutions can be both solutions for energy efficiency improvement measures and renewable energy conversion.

The developed method involves comparison of energy solutions to a reference. A procedure in eight steps has been developed to calculate, analyze and compare various energy solutions. The method handles two different concepts of time. One concept is called *dynamics* and concerns the development of electricity and district heating systems over several years - from now and 20 years into the future. The second concept is called *time resolution*, which refers to variations over shorter time periods in a year, i.e. over seasons, months and days. One task of the project was to analyse whether it is necessary from a system point of view that buildings with on-site energy conversion produce and use electricity/heat at different times, i.e. that energy demand and production do not match in time.

The conclusion in terms of the *dynamics* is that both electricity and district heating systems are dynamic. The development of different district heating networks varies due to e.g. existing production systems, estimations about future demand for heat, future investment plans and policy instruments. The conclusion regarding time resolution is that for district heating systems time resolution must be taken into account, although the level of detail may vary between different district heating systems. District heating systems are local in nature, and therefore a general methodology has been developed that may be used to analyse site-specific impacts of different heating systems. The method is based on outdoor temperature data to produce a so-called marginal mix for each temperature interval.

The electricity system is much larger geographically and a change in Sweden may very well lead to consequences outside Sweden. The assessment is that a Northern

European perspective is needed to sufficiently cover the effects of a change in electricity demand in Sweden. For the electricity system, the dynamics depends on a decision from a variety of operators active on the electricity market. The overall spread of the future potential electricity system and the associated production techniques affected by a change in electricity demand is therefore large. Our conclusion is that short term changes in electricity demand during the day or night, summer or winter have approximately the same effects on the electricity system. The long term effects are more difficult to estimate. To consider this uncertainty, we have used three different scenarios, chosen to represent a wide span of possible future developments. The combinations of measures that provide low impact in several scenarios can be assumed to have low risk. Likewise, solutions that provide high impact in many scenarios are assumed to be associated with a high risk.

One conclusion from the project is that it is uncertain to predict how building solutions of today will affect future energy systems. Therefore, it should be beneficial in many ways to design buildings in a way which make them flexible for the future. Flexibility may relate both to the possibility of using different energy sources but also to vary energy demand. In this way, we avoid solutions that are difficult to change and adapt to the future.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	14
1.1	SYFTE	14
1.2	DET STUDERADE SYSTEMET	15
1.3	METOD FÖR ARBETET	16
1.4	OMVÄRLDSANALYS	16
1.5	AVGRÄNSNINGAR	19
1.6	ORDLISTA	19
2	MILJÖVÄRDERING AV ENERGI – EN INTRODUKTION	22
2.1	TVÅ GRUNDLÄGGANDE SYNSÄTT	22
2.2	BOKFÖRING – FÖRDELNING AV ANSVAR FÖR EMISSIONER OCH RESURSANVÄNDNING	23
2.3	KONSEKVENSANALYS – ANALYS AV EFFEKTER AV FÖRÄNDRING	24
3	VÄRDERINGSMETOD FÖR ENERGIANVÄNDNING I BYGGNADER	26
3.1	METOD FÖR VÄRDERING AV BYGGNADERS ENERGIANVÄNDNING	26
3.2	INDATA FRÅN BYGGNAD	27
3.2.1	Steg 1. Referensbyggnad och energilösningar	27
3.2.2	Steg 2. Energianvändning	28
3.2.3	Steg 3. Effektsignatur	28
3.2.4	Steg 4. Energisignatur	29
3.3	BEARBETNING OCH MILJÖVÄRDERING	29
3.3.1	Steg 5. Miljövärdering av fjärrvärmeanvändning	29
3.3.2	Steg 6. Miljövärdering av elanvändning	29
3.3.3	Steg 7. Miljövärdering av kylanvändning	30
3.3.4	Steg 8. Jämförelse energilösningar	30
4	VÄRDERINGSMETOD FÖR FJÄRRVÄRME	31
4.1	SAMMANFATTNING AV VÄRDERINGSMETOD FÖR FJÄRRVÄRME	31
4.2	KORT- OCH LÅNGSIKTIGA KONSEKVENSER	32
4.2.1	Steg 1. Produktionsdata	33
4.2.2	Steg 2. Anläggningsdata	33

4.2.3	Steg 3. Produktionsordning	34
4.3	KVANTIFIERING	34
4.3.1	Steg 4. Simulering av produktion	34
4.3.2	Steg 5. Förändringskonsekvens ("marginalmix")	35
4.3.3	Steg 6. Miljövärden för el och bränslen	37
4.3.4	Steg 7. Miljövärdering	38
4.3.5	Återkoppling och analys	38
5	VÄRDERINGSMETOD FÖR EL	39
5.1	SAMMANFATTNING AV VÄRDERINGSMETOD FÖR EL	39
5.2	KORTSIKTIGA KONSEKVENSER	40
5.3	LÅNGSIKTIGA KONSEKVENSER	40
5.3.1	Referensscenario: kapacitetsöverskott	41
5.3.2	Klimattungt scenario: ny fossilkraft	42
5.3.3	Klimatsnålt scenario: kärnkraftsavveckling och biogas	43
5.4	KVANTIFIERING	44
5.4.1	Identifiering av bas-, mellan- och topplastid	45
6	RESULTAT	47
6.1	FALLSTUDIER AV BYGGNADERS ENERGILÖSNINGAR	47
6.1.1	Energiberäkningar	48
6.1.2	Klimatpåverkan	53
7	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	57
7.1	FORTSATT ARBETE	59
8	REFERENSER	60
9	BILAGOR	66
	BILAGA 1. METOD	66
	BILAGA 2. EMISSIONSFAKTORER	77
	BILAGA 3. WORKSHOP MARGINALEL	78
	BILAGA 4. KVANTIFIERING AV ELSCENARIER	81
	BILAGA 5. IDENTIFIERING AV BAS-, MELLAN- OCH TOPPLASTPERIODER I ELSYSTEMET	83

1 INLEDNING

Bostads- och servicesektorn i Sverige står för ca 40 % av den svenska slutanvändningen av energi. Sektorns energianvändning är till ungefär 50 % el, 30 % fjärrvärme och 20 % bränslen såsom bibränslen och eldningsolja. Eftersom det svenska elsystemet är baserat på ungefär hälften förnybar energi och fjärrvärmesystemet i mycket stor utsträckning på förnybar och återvunnen energi så kan det framstå som onödigt med energieffektivisering och smarta energilösningar i byggnader. Energisystemet är dock betydligt vidare än enbart det svenska eller lokala el- och/eller fjärrvärmesystemet. Genom energieffektivisering och energismart byggande möjliggörs exempelvis att energibärare kan användas i andra sektorer eller länder, att energi kan sparas till andra tidpunkter på dygnet eller året eller att dyra toppplastbränslen kan undvikas. Konsekvenserna av en förändring i Sverige kan mycket väl inträffa i andra länder. Värdering av förändrad energianvändning måste alltid ta hänsyn till ett bredare systemperspektiv. Därför har vi i projektet utgått från ett nordeuropeiskt perspektiv.

Frågan om hur byggnaders energianvändning ska värderas har ökat i betydelse. Det beror till stor del på att direktiv, lagar och certifieringssystem ställer krav på byggnaders prestanda som därmed behöver värderas. Beroende på vilket ramverk som avses krävs värdering ur olika perspektiv, exempelvis miljö, energi och/eller resurser. Värderingen blir mer eller mindre verklighetsnära och detaljerad beroende på systemgränser samt upplösning avseende bl.a. tid. I takt med att småskalig energiomvandling vid fastigheterna blir alltmer vanligt ökar också komplexiteten i värderingen. Ska exempelvis hänsyn tas till att en byggnad producerar egen el/värme på annan tidpunkt än när energin används, alltså hur behov och produktion matchar varandra i tid och egenskap? Om ja, hur högupplöst ska denna tidsjämförelse vara? Som exempel, är en byggnad med solvärme att anse som resursbehovsmässigt likvärdig med ett nollenergihus (förutsatt att värmeproduktionen motsvarar användningen på årsbasis), trots att produktionen sker främst sommartid medan behovet är störst på vintern? Hur ska den eventuella exporten av värme till fjärrvärmenätet, som sker främst på sommaren, miljövärderas? Hur ska importen av värme från fjärrvärmenätet, som främst sker på vintern, värderas?

1.1 Syfte

Projektet har syftat till att utveckla metodik för värdering av byggnaders energianvändning ur resurs- och miljösynpunkt. Metodiken kan användas för att analysera många olika resurs- och miljöaspekter. I rapporten har vi valt att exemplifiera med klimatpåverkan¹.

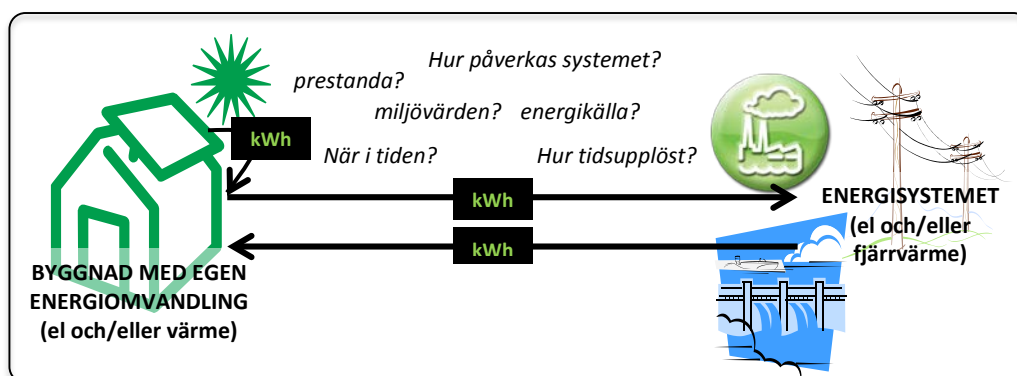
¹ Det är fullt möjligt att även analysera andra aspekter såsom resurseffektivitet, övergödning, förorening och biologisk mångfald. För att göra detta behövs tillgång till data såsom emissionsfaktorer alternativt

De byggnader som avses har egen energiomvandling på eller i närheten av byggnaden och är kopplade till el- och/eller fjärrvärmenätet (se Figur 1). Metodiken ska användas för planering av byggnaders energilösningar och kan således utgöra underlag för beslut. Metodikens syfte blir därmed att visa på konsekvenserna av olika val. I miljövärderingssammanhang brukar detta kallas konsekvensanalys.

Ett viktigt fokus för projektet har varit att studera och utveckla metodik som beaktar att byggnadens behov av el och värme delvis skiljer sig i tid jämfört med byggnadens egenproduktion av el och värme. Vilken betydelse denna tidskillnad har ur ett systemperspektiv samt hur detaljerad tidsupplösningen ska vara i värderingen har således varit kärnfrågor.

1.2 Det studerade systemet

I Figur 1 visas en skissartad bild över det system som projektet har studerat. Som nämnts ovan har fokus varit på byggnader med egenproduktion av el och/eller värme och utbytet av el och/eller värme med energisystemet. Vidare har fokus varit på energianvändning och -utbyte i driftsskedet av en byggnad. Energianvändning för produktion av byggnadsmaterial och liknande har inte ingått i projektet.



Figur 1. Illustration över det system och den frågeställning som projektet hanterar.

Det är inte helt enkelt att fastställa geografisk avgränsning i en konsekvensanalys eftersom konsekvenserna av en förändring kan uppstå i system utanför den valda geografiska systemgränsen. I vårt projekt analyserar vi konsekvenserna av olika energilösningar på en byggnad i Sverige jämfört med en referensbyggnad. I värderingen av energisystemet har vi antagit ett nordeuropeiskt perspektiv. Detta blir särskilt relevant för elsystemet, medan fjärrvärmesystemet är betydligt mer lokalt. För elsystemet innebär det att konsekvenserna mycket väl kan inträffa utanför Norden. Mer beskrivning och motiv för geografiska avgränsningar presenteras i respektive avsnitt om el och fjärrvärme (avsnitt 4 och 5).

användning av en LCA-modell. Exempel på en omfattande rapport med emissionsfaktorer och primärenergifaktorer är Miljöfaktaboken 2011 (Gode m.fl. 2011).

1.3 Metod för arbetet

Projektet har haft som fokus att utveckla metodik för att miljövärdera utbytet av energi mellan å ena sidan en byggnad med egenproduktion av el och/eller värme och å andra sidan el- och/eller fjärrvärmenätet. Denna rapport är därmed i stora delar en metodbeskrivning. Nedan presenteras kortfattat hur vi gått tillväga för att utveckla metoden (för detaljerad beskrivning, se Bilaga 1):

- Metod för värdering av byggnaders energianvändning
 - Litteraturstudie och omvärldsbevakning
 - Modellutveckling och -beräkningar, exempelvis beräkningar i energisimuleringsprogrammet IDA ICE²
- Metod för värdering av konsekvenser i elsystemet
 - Litteraturstudie och omvärldsbevakning
 - Workshops om elens tidsupplösning
 - Framtagande av scenarier för framtida förändringskonsekvens i elsystemet
 - Beräkningar
- Metod för värdering av konsekvenser i fjärrvärmesystemet
 - Litteraturstudie och omvärldsbevakning
 - Utveckling av metodik
 - Intervjuer och möten med fjärrvärmeföretag
 - Examensarbete kring metod för miljövärdering av tidsupplöst fjärrvärme
- Kvantifiering av klimatpåverkan
 - Exempel på förutsättningar vi utgått från:
 - Emissionsfaktorer har i de flesta fall hämtats från Miljöfaktaboken 2011 (Gode m.fl. 2011)
 - Allokering med kraftbonusmetoden vid kraftvärme (se t.ex. Martinsson m.fl. 2012)
 - Värdering av värme från avfall
- Fallstudier byggnader
 - Tillämpning av metodiken i fallstudier och känslighetsanalyser

1.4 Omvärldsanalys

Byggnaders energianvändning och -utbyte med energinäten hanteras i de flesta officiella standarder, miljöklassningssystem och liknande genom att använda årsvärden. Hänsyn tas alltså inte till att användning och produktion skiljer sig över tid. I Tabell 1 sammanfattas resultatet av en genomgång av olika dokument med avseende på bland annat tidsupplösning, hantering av utbyte mellan byggnad och energinät, energiåtervinning med mera.

² IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) är ett energisimuleringsprogram för byggnader för analys av inneklimat och energianvändning.

På EU-nivå finns idag ett större mått av helhetsperspektiv kring energiprestanda och miljövärdering av byggnaders energianvändning än i Sverige. Inom EU ska alla nya byggnader som byggs efter år 2020 vara nära-nollenergibygnader (NNE) vilket fastslås i EU-direktivet för Byggnaders energiprestanda (2010/31/EU), fortsatt kallat EPBD. Redan efter 2018 ska alla nya offentliga byggnader vara NNE-byggnader. Hur detta kan uppnås och vad det får för konsekvenser för energisystemet och den miljöpåverkan som byggnadernas energianvändning ger upphov till är inte helt klart. Svaren på frågorna beror till stor del på hur NNE-byggnader definieras och vilka systemgränser som väljs vid beräkning av energiprestandan. EPBD fastslår att en NNE-byggnad ska ha nationellt kostnadsoptimal primärenergianvändning om > 0 kWh/(m² a). Varje medlemsland har sedan definierat vad en nationell kostnadsoptimal nivå är och hur stor primärenergianvändning som därmed är acceptabel. I Sverige är det Boverket som ansvarar för detta och rapporterade i juni 2015 ett uppdrag med förslag på tillämpning av NNE-bestämmelser i Sverige.

Inom den svenska byggnormen, Boverkets byggregler (BBR), finns idag en något svårtolkad metodik som tar hänsyn till att viss energi vid en byggnad genereras vid en annan tidpunkt än den används. Denna beskriver att el från solceller samt värme från solfångare på byggnaden, uthus eller byggnadens tomt får tillgodoräknas som gratis energi i den omfattning byggnaden kan tillgodogöra sig energin. Det är dock inte specificerat vilken tidsupplösning som avses och det är oklart varför endast solenergi medräknas. Vidare behandlas inte export av egengenererad värme och el till fjärrvärme- respektive elnätet.

Tabell 1. Sammanställning av hur byggnaders energianvändning värderas i olika dokument.

Namn	Typ av källa	System-gränser	Tidsupplösning	Hantering energiåtervinning?	Typ av miljö-värden/metod	Ingår verksamhets-el/hushållsel?
BBR 21 (2014)	Svenska Byggregler	Till byggnaden levererad, ofta köpt, energi inklusive förluster vid omvandling (inget avdrag för export)	År	Värmeåtervinning och frikyla räknas av från byggnadens energianvändning.	Ingen	Nej
Miljöbyggnad (SGBC, 2014a)	Miljöklassningssystem	Som BBR	År	Som BBR	Fyra miljöklasser definieras	Ja
BREEAM-SE (2013)	Miljöklassningssystem	Kan vidgas till att inkludera fjärrvärmenät och egna elnät mellan byggnaden och dedikerad energianläggning.	Årsupplösning. Export av energi kan betraktas som använd i byggnaden.	FTX ³ kan ge poäng för byggnaden, men FTX listas inte tillsammans med egengenererad energi	CO ₂ – Nordisk elmix och BREEAMS webpublicerade data. I princip bokföring.	Ja, det kan omfattas.
LEED (USGBC, 2013)	Miljöklassningssystem	Köpt energi för byggnaden.	Energikostnad i fokus → upplösning som speglar tidstariffdebitering kan ingå.	I viss utsträckning förutsätts FTX	Energikostnad	
prEN 15603:2013	Europeisk standard (preliminär)	Primärenergi (icke förnybar/total)			CO _{2e} och primärenergi	Ja delvis
Allard m.fl. (2013)	Vetenskaplig artikel som beskriver norska byggregler	Nettoenergi		Finns krav på värmeåtervinning från ventilation	Krav på andel förnybart	Nej
Allard m.fl. (2013)	Vetenskaplig artikel som beskriver finska byggregler	Nettoenergi		Finns krav på värmeåtervinning från ventilation	Typ av primärenergifaktor som utgår från total energianvändning.	Ja
Allard m.fl. (2013)	Vetenskaplig artikel som beskriver finska passivhus	PE tas med			Primärenergifaktorer	Ja

³ FTX = Från- och tilluftsventilation med återvinning

1.5 Avgränsningar

Projektet fokuserar på att ta fram en metod som används för att beräkna miljökonsekvenser av att installera eller inte installera olika energilösningar i en byggnad. Metoden ska visa på effekterna av olika val av energilösningar i byggnader. Den ska ge underlag för planering av byggnaders energilösningar. Därför har utgångspunkten varit att analysera konsekvenser av förändrad energianvändning, det vill säga en jämförelse av olika energilösningar mot en referens. I miljövärderingstermer brukar detta kallas *konsekvensanalys* och ska inte förväxlas med bokföring som syftar till att fördela emissioner och/eller resursanvändning mellan olika system.

Eftersom metoden ska visa på effekter av olika energilösningar så har vi utgått från ett tidsperspektiv som kan anses motsvara livslängden för dessa lösningar. I samverkan med referensgruppen har vi bedömt att 20 år är lämplig livslängd och tidsperspektivet i projektet är således 2015-2035.

Huvudfokus är att ta fram en metod och inte att presentera en färdig beräkningsmodell. I rapporten visas några exempel på resultat som kan erhållas genom att använda metoden. Dessa exempel är till för att visa på effekter av olika antaganden och ska inte ses som några generella sanningar.

Metodiken som beskrivs i denna rapport kan användas för att analysera många olika resurs- och miljöaspekter. I rapporten har vi valt att exemplifiera med klimatpåverkan. Det är dock fullt möjligt att även analysera andra aspekter såsom resurseffektivitet, övergödning, försurning och biologisk mångfald. För att göra detta behövs tillgång till data såsom emissionsfaktorer och primärenergifaktorer, alternativt kan en LCA-modell vara användbar.

1.6 Ordlista

I tabellen nedan beskrivs termer och förkortningar som återkommer i rapporten. Beskrivningen är den innebörd som rapportförfattarna använder sig av i denna studie.

Term	Beskrivning
Bokföring	Miljövärderingsmetod som används när utvärdering ska göras av enskilda produkter. Det innebär en fördelning av resursanvändning och emissioner för ett system som hör till en aktör eller en funktion. Resultatet blir en miljöprofil för aktören eller funktionen. Summan av alla produkters resursanvändning

	och emissioner inom ett system ska motsvara det systemets totala resursanvändning och emissioner.
CO ₂ -ekvivalenter (CO _{2e})	Gemensam enhet för att jämföra olika växthusgasers påverkan på klimatet.
Dynamisk	Med dynamisk avses i denna rapport förändring över längre tidshorisonter, exempelvis energisystemets successiva förändring från idag och över åren till ett framtida energisystem om ca 20 år.
Förändringskonsekvens	Vi använder detta begrepp i rapporten för att beskriva konsekvensen av en förändring i energianvändning och/eller -produktion. Effekten av en förändrad energianvändning. Förändrad elanvändning och/eller -produktion leder till förändringskonsekvenser i elsystemet och förändrad fjärrvärmeanvändning och/eller -produktion orsakar förändringskonsekvenser i fjärrvärmesystemet. Ibland beskriver vi kortsiktiga förändringskonsekvenser som driftmarginal och långsiktiga som byggmarginal. Se mer om detta i Avsnitt 2.
GWP	GWP = Global Warming Potential. Avser omräkningsfaktor för att kunna jämföra olika växthusgasers bidrag till växthuseffekten.
Konsekvensanalys	Konsekvensanalys ger information om effekterna av ett specifikt beslut, eller information om hur en beslutsfattare kan påverka miljön. Det inkluderar indirekta effekter av en förändring eller ett beslut på andra system.
LCA-perspektiv	LCA står för livscykelanalys, som beskriver en produkts miljöpåverkan "från vaggan till graven". Med LCA-perspektiv på ett bränsle inkluderas därmed all miljöpåverkan från utvinning av bränslet, via förädling och distribution, till omvandling och slutanvändning.
MBT	MBT = Mechanical-Biological Treatment. Mekanisk-biologisk behandling av avfall.
Primärenergi	Primärenergi är, enkelt uttryckt, en teknisk term för energi som inte har omvandlats till annan form av energi. Beräkningar av primärenergi behövs för att kunna göra mer rättvisande jämförelser mellan olika energislag.
Primärenergifaktor	I detta sammanhang avser begreppet en omräkningsfaktor för att beräkna hur mycket primärenergi som krävs för att få fram en enhet energi i den form som används för ett slutligt ändamål. Exempel: primärenergifaktorer för fjärrvärme kan ha enheten MJ _{insatt energi} /MJ _{värme} eller kWh _{insatt energi} /kWh _{värme} .
RDF	RDF = Refused Derived Fuels, dvs. sorterat, torkat och finfördelat avfall.

Tidsupplöst miljökonsekvens	Här avses skillnader i miljökonsekvenser på grund av kortsiktiga förändringar i energisystemet som skiljer sig över exempelvis dygnets timmar och mellan månader och årstider.
Växthusgas	Gemensamt namn för de olika gaser som bidrar till förstärkt växthuseffekt. De vanligaste är koldioxid (CO ₂), kvävedioxid (N ₂ O) och metan (CH ₄).

2 MILJÖVÄRDERING AV ENERGI – EN INTRODUKTION

Behov av att analysera miljöeffekterna av energianvändning är vanligt förekommande. Resultatet av en sådan analys är beroende av vilket angreppssätt som används för att beräkna miljöeffekterna. Resultatet kan variera väsentligt beroende på vilken metod som används och vilka antaganden som görs.

I detta avsnitt ger vi en kort introduktion till miljövärdering av energi och förklarar kortfattat några viktiga begrepp. Vi motiverar också varför vi i projektet utgår från det som inom LCA-metodik benämns konsekvensanalys. I rapportens referenslista finns också några lästips för läsare som vill förkovra sig ytterligare i begreppet konsekvensanalys.

2.1 Två grundläggande synsätt

Det finns två grundläggande typer av miljövärdering av energi. De brukar kallas *bokföring* respektive *konsekvensanalys*. Det som skiljer dem åt är om analysen avser en fördelning av utsläpp mellan olika aktörer (bokföring) eller en beräkning av miljöeffekterna av förändrad energianvändning (konsekvensanalys). I livscykelanalysmetodik är dessa vedertagna synsätt och benämns bokförings-LCA respektive konsekvens-LCA (se exempelvis Erlandsson m.fl. (2013 & 2014a-c), Weidema m.fl. (2009), Ekvall & Weidema (2004)). Erlandsson m.fl. (2013, 2014a-c) har genomfört en studie med målet att ta fram en robust metodik och typologi för LCA för byggsektorn. En huvudslutsats från studien, är just att det finns de två grundläggande synsätten inom LCA – bokförings-LCA och konsekvens-LCA.

Ibland används även andra begrepp än bokföring och konsekvensanalys. Exempelvis sammanfattar Elforsk i en broschyr fem olika synsätt på miljövärdering av el (Elforsk, datum okänt), och Sköldbberg m.fl. (2006) identifierar åtta olika miljövärderingsprinciper. Samtliga dessa kan dock delas in i antingen bokföring eller konsekvensanalys, se Tabell 2 och Tabell 3 nedan. Det finns ingen motsägelse mellan dessa fem respektive åtta betraktelsesätten och de två grundläggande typerna av miljövärdering. Bokföring och konsekvensanalys är bredare begrepp som omfattar fler än ett betraktelsesätt i tabellerna nedan.

Tabell 2. Olika betraktelsesätt för miljövärdering av el och hur de hänger samman med bokföring och konsekvensanalys. Källa: Elforsk, (datum okänt)

Betraktelsesätt enligt Elforsk	Bokföring eller konsekvensanalys
1. Ögonblicksbild – marginalet	Konsekvensanalys

2. Tillbakablickande perspektiv	Bokföring (notera dock att en historisk analys av en förändring är en konsekvensanalys)
3. Framåtblickande perspektiv	Konsekvensanalys (notera dock att en bedömning av en framtida miljöprofil ur fördelningsperspektiv är en bokföring)
4. EU:s handelssystem för utsläppsrätter	Konsekvensanalys
5. Konsumentstyrt (produktionsspecifik el)	Bokföring

Tabell 3. Olika betraktelsesätt för miljövärdering av el och hur de hänger samman med bokföring och konsekvensanalys. Källa: Sköldbberg m.fl. (2006)

Betraktelsesätt enligt Sköldbberg m.fl. (2006)	Bokföring eller konsekvensanalys
1. Marginalel – kort eller lång sikt	Konsekvensanalys
2. Dynamisk störningseffekt	Konsekvensanalys
3. Medelel	Bokföring
4. Scenariobunden värdering	Bokföring eller konsekvensanalys (i detta fall väljer användaren själv vilken el-produktionsteknik som antas användas/förändras så beroende på syftet med studien blir det antingen bokföring eller konsekvensanalys)
5. Avtalsrelaterat (produktionsspecifik el)	Bokföring
6. Styrmedelsbaserat	Konsekvensanalys
7. Historiskt betingad värdering	Bokföring
8. Ideologiskt betingad värdering	Bokföring

2.2 Bokföring – fördelning av ansvar för emissioner och resursanvändning

I en **bokföring** kartläggs resursanvändning och emissioner för ett system som hör till en aktör eller en funktion. Resultatet blir en miljöprofil för aktören eller funktionen som anger hur mycket miljöbelastning de ansvarar för. Bokföring är inte fokus för denna studie eftersom det inte avspeglar förväntade effekter av en förändrad energianvändning, exempelvis orsakad av olika typer av energilösningar på

byggnader. Bokföring tar normalt inte hänsyn till driftordning mellan olika anläggningar eller vid vilken tidpunkt de körs.

Eftersom bokföring handlar om en fördelning av ansvar för bl.a. utsläpp bör metoden innebära att emissionerna från olika miljöprofiler är adderbara: summan av miljöprofilerna från alla aktörer eller alla funktioner i världen bör vara lika med världens samlade miljöbelastning. Varje system ansvarar för miljöbelastningen för utvinning, transport, förädling och slutlig användning av elenergi och andra energibärare i proportion till hur mycket av den energibäraren som förbrukas i systemet.

Kravet på adderbarhet gör att genomsnittliga data (medelenergi) för produktion av energibäraren används för att beräkna hur mycket miljöbelastning som ska knytas till förbrukningen av varje MJ eller kWh. Problemet kan vara att bestämma var gränserna för energisystemet går. I en miljöbedömning av fjärrvärme på en viss plats är systemet uppenbart det lokala fjärrvärmesystemet. För el är systemgränsen inte lika uppenbar. Traditionellt har elförsörjning varit en nationell fråga. För många människor är det därför fortfarande naturligt att använda nationella genomsnittsdata. Efter etableringen av den nordiska elbörsen uppfattar många elsystemet som nordiskt. Det är ett exempel på en organisatorisk systemgräns. Det finns också ett EU-direktiv med mål om en gemensam europeisk elmarknad och bestämmelser om att flaskhalsar i överföringen mellan länder ska byggas bort. I detta perspektiv är EU en annan organisatorisk systemgräns. En ytterligare möjlighet är att utgå från den el som kunden har kontrakterat med sin elleverantör (ursprungsmärkning av el). För att kravet om adderbarhet ska vara uppfyllt behövs ett tillförlitligt system för avräkning av produktionspecifik el från den totala elproduktionsmixen. Återstoden, alltså det som inte säljs produktionspecifikt, kallas residualmix.

Med undantag för systemet för ursprungsmärkning av el påverkar styrmedel inte miljövärdering vid bokföringsstudier med historiskt perspektiv då statistiken redan är känd. En bokföring för en framtidssituation behöver dock ta hänsyn till hur framtida energisystemet kan utvecklas och då kan styrmedel givetvis påverka.

2.3 Konsekvensanalys – analys av effekter av förändring

En **konsekvensanalys** ger information om miljöeffekterna av ett specifikt beslut, eller information om hur en beslutsfattare kan påverka miljön. Konsekvensanalys är utgångspunkten i detta projekt. Skälet till detta är att projektet fokuserar på att ta fram en metod för att beräkna miljöeffekter av att installera eller inte installera olika energilösningar i en byggnad. Energilösningar kan vara både lösningar för energieffektivitet och för produktion av förnyelsebar energi. Metoden ska visa på effekterna av olika val och ge underlag för planering av byggnaders energilösningar. Förutsättningen är alltså att analysera konsekvenser av förändrad energianvändning.

Konsekvensanalyser tillämpas då en konstaterad förändring i energianvändning ska analyseras eller där underlag för beslut om förändring ska tas fram. Det kan både avse en analys av en historisk händelse eller en analys av en framtida förändring.

Konsekvensanalyser beaktar effekter av förändringar, exempelvis vad en förändrad elanvändning innebär för dagens och framtidens elsystem. Detta projekt har analyserat olika konsekvenser (så kallade förändringskonsekvenser). Vi skiljer på kortsiktiga och långsiktiga effekter. Kortsiktiga effekter beskrivs ofta med begreppet ”driftmarginal” medan ”byggmarginalen” beskriver förändringens påverkan på utbyggnad och nedläggning av anläggningar. Kombinationen av dessa kallas ibland komplex marginal (Mattsson m.fl. 2003), dynamisk förändringskonsekvens eller dynamisk störningseffekt (Sköldberg m.fl. 2008). Driftmarginalen i energisystemet består av de anläggningar vars nyttjandegrad påverkas av en ändrad energi-användning. Byggmarginalen består av de anläggningar vars produktionskapacitet påverkas av en ändrad energianvändning. Produktionskapaciteten kan påverkas genom investeringar i nya, genom om- och tillbyggnad av existerande, och genom rivning eller stängning av gamla anläggningar. Det som avses med byggmarginal i detta projekt är alltså betydligt bredare än vad begreppet låter påskina. En ändring i produktionskapaciteten tar tid: från några enstaka år för byggandet av vindkraft eller stängning av gamla kraftverk, till ett decennium eller mer för byggandet av nya kärnkraftverk. En förändrad energianvändning får därför först effekter på utnyttjandet av existerande anläggningar och så småningom eventuellt effekter på produktionskapaciteten.

Den faktiska förändringskonsekvensen, det vill säga de anläggningar som faktiskt påverkas av en ändrad energianvändning, är svår att identifiera. De effekter vi identifierar i en miljöbedömning är därför mer eller mindre välgrundade antaganden. De kan vara baserade på kvalitativa och mentala modeller eller på kvantitativa datormodeller. I båda fallen är modellerna en förenkling av verkligheten. Förändringskonsekvenserna framåt i tiden är alltid osäkra. Byggmarginalen är i regel mer osäker än driftmarginalen. Vi använder scenarioanalys för att hantera denna osäkerhet.

Det finns styrmedel som har betydelse för konsekvensanalyser och som påverkar resultatet av miljöbedömningen. Det gäller exempelvis utsläppshandeln för koldioxid som genom ett pris på utsläppsrätter påverkar såväl energipriser och därmed efterfrågan som marginalteknologier och energimixar. Även elcertifikatsystemet och andra styrmedel för förnybar energi är relevanta genom att ambition och utformning av styrmedlen påverkar hur framtidens elsystem ser ut.

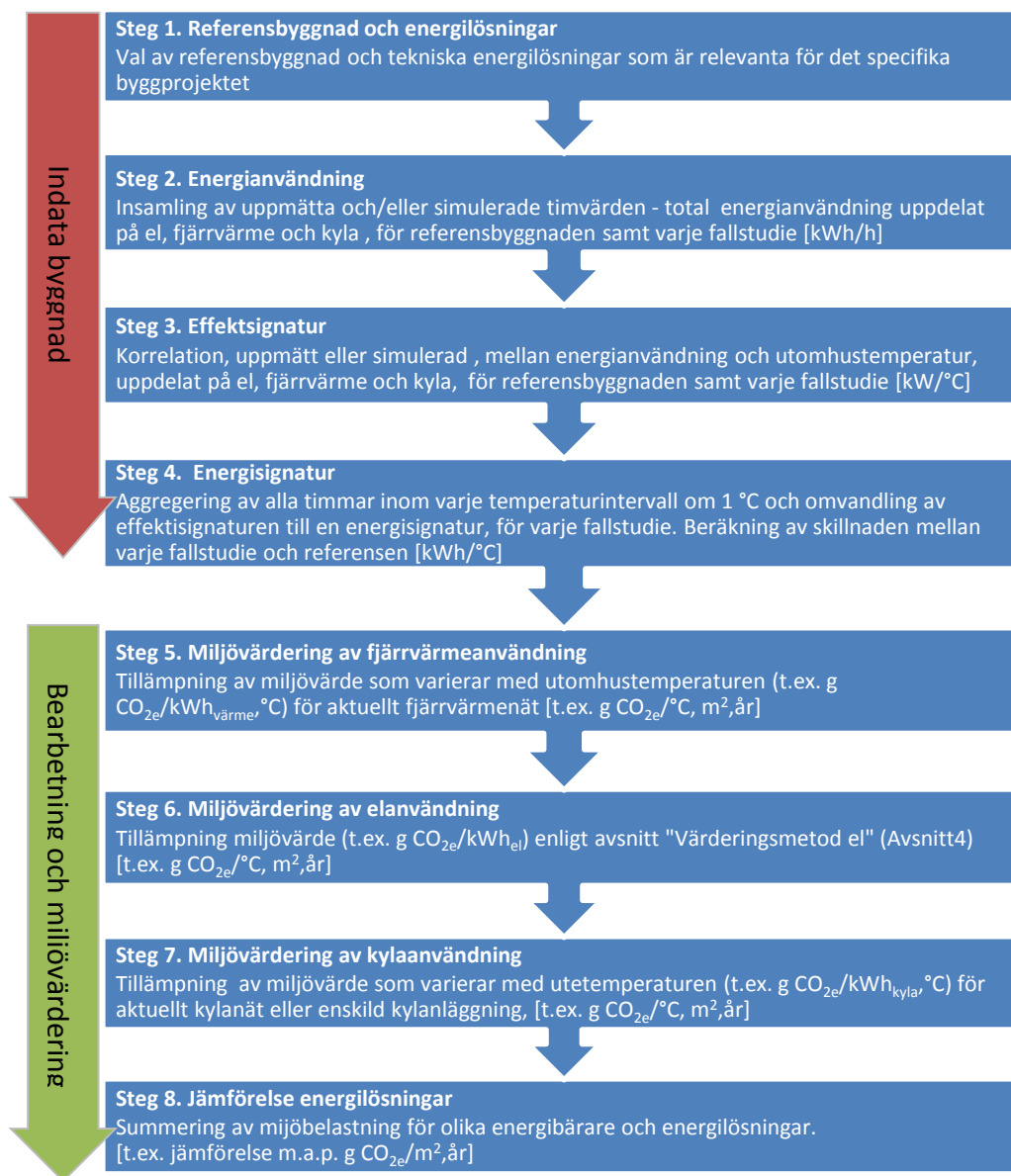
3 VÄRDERINGSMETOD FÖR ENERGIANVÄNDNING I BYGGNADER

Efterfrågan på miljövärdering av byggnader ökar och kraven för byggnaders energiprestanda skärps. Samtidigt blir det vanligare med småskalig egenproduktion av el och värme. Inom många standarder och klassificeringar, till exempel BREEAM (BREEAM-SE, 2013) och LEED (USGBC, 2013), beräknas byggnaders energiprestanda på årsbasis. Det innebär att egenproducerad värme och el räknas av på årsbasis och miljövärderas lika oavsett när under året som produktionen sker. I svenska fjärrvärmeverk varierar värmeproduktionen över året och på grund av klimatet är värmeunderlaget som lägst på sommaren, när solpaneler producerar som mest värme. Vid nybyggnation eller byte av energilösning i befintlig byggnad förändras värmeunderlaget för fjärrvärmeproducenten vilket får konsekvenser för produktionen.

3.1 Metod för värdering av byggnaders energianvändning

Vi har utvecklat en 8-stepsprocedur för värdering av byggnaders energianvändning. Metoden utgår från en byggnad där olika möjligheter finns för val av energilösningar. Vi har använt oss av data från Skanska för en kontorslokal i Stockholm (Gångaren 16) och för denna analyserat olika energilösningar. Detta har vi gjort genom energisimuleringar i programvaran IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE).

Figur 2 och de efterföljande styckena beskriver metoden som är indelad i åtta steg. I steg 1-4 görs en beskrivning av byggnadens energisystem medan steg 5-8 omfattar miljövärdering och jämförelse mellan de olika energilösningarna.



Figur 2. Beskrivning av metodik för värdering av byggnaders energianvändning. Ovan exemplifieras miljövärderingen med klimatpåverkan. Det är dock fullt möjligt att göra beräkningar även för andra miljö- och resursaspekter.

3.2 Indata från byggnad

3.2.1 Steg 1. Referensbyggnad och energilösningar

Steg 1 inleds med att definiera den referensbyggnad mot vilken olika tekniska energilösningar ska jämföras. Referensbyggnaden kan både vara en existerande

byggnad eller ett branschnormalt valt utförande. Därefter listas de energilösningar som ska studeras.

3.2.2 Steg 2. Energianvändning

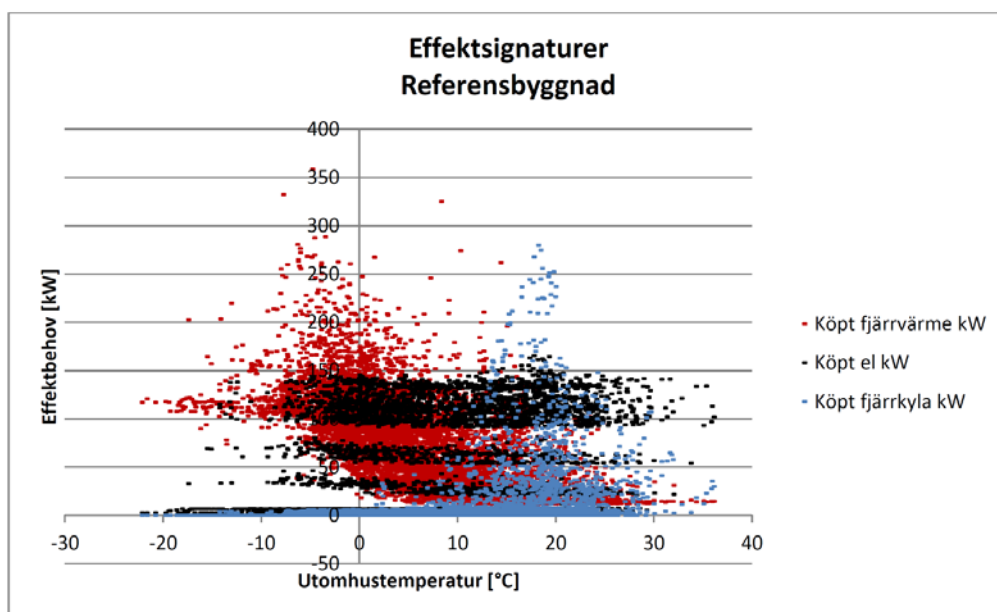
För miljövärderingen krävs data i form av total energianvändning för byggnaden uppdelat på energibärare. Vi rekommenderar att ett simuleringsprogram med möjlighet till timupplösning används. Om det gäller ett ombyggnadsprojekt och tillförlitliga mätvärden finns tillgängliga är de värdefulla vid kalibreringen av simuleringsmodellen. I vårt projekt har vi använt energiberäkningsprogrammet IDA för att simulera olika energilösningar i byggnader. De energilösningar vi studerat presenteras i Bilaga 1.

Energianvändningen ska simuleras för byggnaden med olika energilösningar, exempelvis med ett energiberäkningsprogram. För de energilösningar som innebär egengenerering av el och/eller värme, så ska detta inräknas genom att för varje timme korrigera energibehovet.

3.2.3 Steg 3. Effektsignatur

Byggnadens effektsignatur per energibärare (el, fjärrvärme, fjärrkyla) tas fram genom att korrelera byggnadens energibehov på timbasis till utomhustemperaturen, se Figur 3. Att metoden korrelerar energianvändningen till utomhustemperaturen och inte till tiden beror på hur metoden utvecklats för värdering av fjärrvärme. Motivet beskrivs i avsnittet om värderingsmetod för fjärrvärme (avsnitt 4).

Det är viktigt att se till att rätt temperaturdata används, det vill säga rätt år och geografisk plats. Effektsignaturerna tas fram för dag och för natt, eftersom



energianvändningen i en byggnad, och således påverkan på energisystemet oftast skiljer sig mycket mellan dag och natt, se Figur 3. Effektsignaturen skiljer sig också mellan vardag och helgdag, särskilt för kontorsbyggnader.

Figur 3. Exempel på effektsignatur för en referensbyggnad.

3.2.4 Steg 4. Energisignatur

Effektsignaturen används sedan för att ta fram energianvändningen per grad. Detta kallar vi byggnadens energisignatur. Medeleffekten inom varje 1-grads-intervall multipliceras med antalet timmar inom varje intervall för att ge energibehovet per grad utomhustemperatur. Proceduren upprepas för varje energilösning. Därefter beräknas skillnaden i antalet kWh mellan olika energilösningar och en referens per temperaturintervall (förändringen). Denna förändring används i de efterföljande miljöberäkningarna.

3.3 Bearbetning och miljövärdering

3.3.1 Steg 5. Miljövärdering av fjärrvärmeanvändning

Fjärrvärmens miljöprestanda⁴, beräknad enligt avsnittet om metod för miljövärdering av fjärrvärme (se avsnitt 4), används för att beräkna förändringen i miljöbelastning mellan referensens och energilösningarnas fjärrvärmeanvändning inom varje temperaturintervall. Detta görs genom att multiplicera emissionsfaktorerna med skillnaden i fjärrvärmeanvändning vid olika temperaturintervall för de olika energilösningarna jämfört med referensen.

3.3.2 Steg 6. Miljövärdering av elanvändning

Metoden för att identifiera konsekvenser på elsystemet av förändrad elanvändning presenteras i avsnitt 5. Dessa data används för att beräkna byggnadens miljöbelastning till följd av användning och produktion av el. Den kortsiktiga förändringskonsekvensen (driftmarginalen) är inte tidsupplöst i våra analyser, medan effekten på längre sikt är mer osäker. Den har därför analyserats med tre olika scenarier där vissa är tidsupplösta och andra inte. Vi rekommenderar att analysen baseras på flera scenarier för att hitta de mest robusta energilösningar som ger bra prestanda i flera scenarier. Beroende på scenario ska beräkningen antingen ta hänsyn till eller bortse från tidsupplösningen över året och dygnet. I de fall elen inte är

⁴ Som beskrivs under "Avgränsningar" i rapportens inledning kan vilka miljöaspekter som helst analyseras där tillgång till data finns. I denna rapport har vi valt att exemplifiera med växthusgasutsläpp (mätt som koldioxidkvivalenter, CO_{2e}).

tidsupplöst behöver enbart förändringen på årsbasis multipliceras med emissionsfaktorn för el. I de tidsupplösta fallen beräknas förändringen i miljöbelastning mellan olika energilösningars elanvändning genom att multiplicera emissionsfaktorerna med skillnaden i elanvändning vid olika tidpunkter. Vi bedömer att det är tillräcklig noggrannhet att för varje scenario utgå från den över åren genomsnittliga emissionsfaktorn för varje bas-, mellan- och topplastperiod under ett år.

3.3.3 Steg 7. Miljövärdering av kylaanvändning

Miljövärdering av kyla har inte varit ett fokus i vårt projekt. Det finns olika energilösningar för kyla som kan innefatta både användning av fjärrvärme och el. Därför definierar vi här ingen specifik metod för miljövärdering av kyla, mer än att resultatet bör vara på formen [$\text{g CO}_2/\text{°C, m}^2$] för att det ska bli jämförbart med el- och fjärrvärmeanvändning.

3.3.4 Steg 8. Jämförelse energilösningar

Steg 5-7 görs för alla valda energilösningar. Skillnaden i miljöbelastning för användning av fjärrvärme, el och kyla mellan de olika energilösningarna jämfört med referensen sammanställs och därefter kan de olika energilösningarna jämföras.

För att få en fullständig bild över konsekvenserna av olika energilösningar behöver beräkningar göras för hela energilösningens livslängd, det vill säga för varje år fram till livslängdens bedömda slut. Om det finns anledning att tro att effekt- och energisignaturen för byggnaden kan ändras över livslängden behöver detta således simuleras.

4 VÄRDERINGSMETOD FÖR FJÄRRVÄRME

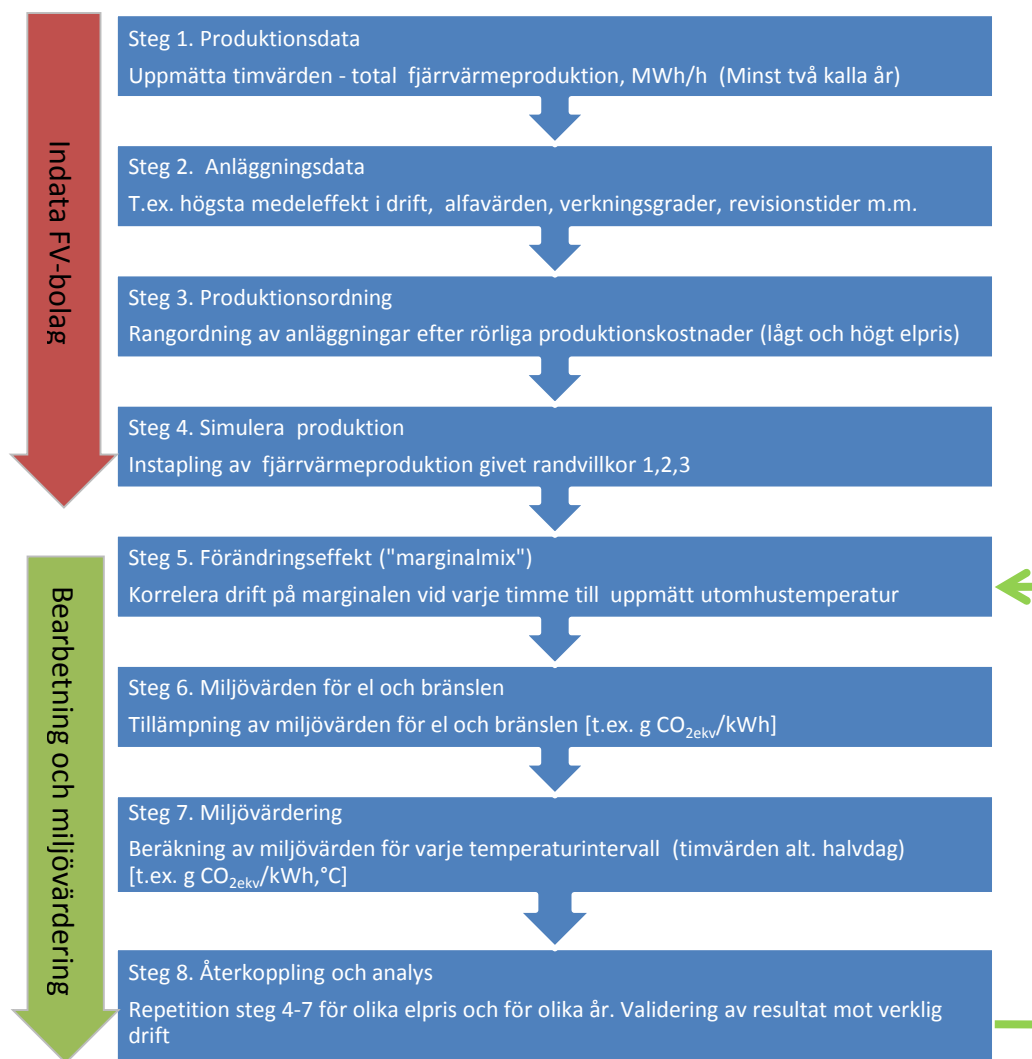
Fjärrvärme miljövärderas vanligtvis ur ett bokföringsperspektiv där fjärrvärmens miljöbelastning baseras på årlig värmeproduktion och en genomsnittlig emissionsfaktor. Det gäller exempelvis i Svensk Fjärrvärmes miljövärdering av medlemmarnas fjärrvärmeproduktion. Kraven på miljöbedömningsmetoder höjs alltmer bland annat eftersom mer småskalig värmeproduktion på byggnader ökar utbytet av energi mellan byggnaden och fjärrvärmenätet och förändrar efterfrågan på fjärrvärme. De flesta systemanalyser har värderat denna förändring genom att använda medelproduktion över ett år, vilket kan vara felvisande bland annat av två skäl. För det första tas inte hänsyn till att värmeproduktionen och -användningen skiljer sig i tid över året. Exemplet solvärme är talande, då det produceras mest på sommaren då värmebehovet är lågt. För det andra beaktas inte att konsekvensen av en förändring bara påverkar vissa anläggningar och att detta också skiljer sig över året.

I detta projekt har vi gått längre och utvecklat en metod som både tar hänsyn till tidsupplösningen och hanterar förändringskonsekvenser. I projektet har vi analyserat hur en byggnads förändrade värmeanvändning påverkar fjärrvärmeproduktionen från idag och 15 år framåt i tiden. Främsta fokus har varit på att analysera om det finns skäl att värdera konsekvensen tidsupplöst över såväl dygnet som över säsonger. Slutsatsen är att konsekvensen är tidsupplöst och vi har tagit fram en metod för beräkning av denna. Resultatet är en metod som kan tillämpas av respektive fjärrvärmebolag för att tidsupplöst analysera konsekvenser av förändrad fjärrvärmeefterfrågan. I Bilaga 1 sammanfattas hur vi har gått tillväga för att ta fram metoden.

4.1 Sammanfattning av värderingsmetod för fjärrvärme

I Figur 4 ges en översikt över metodens olika steg. Steg 1 till 3 ger en systembeskrivning medan steg 4 till 8 innebär systemmodellering och miljövärdering.

Notera att metoden baseras på förändringskonsekvenser per utomhustemperatur. Motivet till detta är att fjärrvärmeproduktionen är mer beroende av temperaturen än av tidpunkten på dygnet. När värmebehovet ökar eller minskar så sker inte en momentan förändring i fjärrvärmeproduktionen i och med att det finns en tröghet i fjärrvärmesystemet genom exempelvis fjärrvärmeledningar, byggnaders värmetröghet, eventuella ackumulatörer och liknande. Detta skiljer sig alltså markant från elsystemet, som alltid måste vara i balans avseende produktion och användning. Kontentan är att flera produktionsanläggningar kommer att påverkas vid samma temperatur. Simuleringen ger på så sätt en viktad sannolikhetsfördelning där varje timme utgör ett tänkbart driftfall inom ett givet temperaturintervall.



Figur 4. Beskrivning av metod för att identifiera konsekvenser i fjärrvärmesystemet.

4.2 Kort- och långsiktiga konsekvenser

I den metod som tagits fram i projektet anges en statisk körordning för fjärrvärmesystemets anläggningar. Denna förenkling innebär att den kortsiktiga förändringskonsekvensen är relativt enkel att ta fram, dvs. den utgörs av den produktionsanläggning som har högst rörlig produktionskostnad för varje tidssteg i dagens fjärrvärmesystem.

Den framtida förändringskonsekvensen har vi definierat som driften av ett framtida fjärrvärmesystem inräknat förändringar i anläggningsparken och värmeunderlaget. När en anläggning byggs flyttas de dyrare anläggningarna upp i körordningen och får färre drifttimmar, men de rivs sällan utan utökar istället den totala driftkapaciteten och energisäkerheten i systemet.

Ett fjärrvärmesystem omfattar ett avgränsat geografiskt område och ett mindre antal produktionsanläggningar. Dock finns fortfarande komplexa problem, som varierande värmeunderlag, samproduktion av el och kyla, avfallshantering samt import och export till närliggande nät. Det kan också finnas lokalpolitiska mål och styrmedel för hur det lokala energisystemet ska utvecklas. Därför blir förändringskonsekvensen unik för varje fjärrvärmenät. I de fall flera olika fjärrvärmenät är sammanbundna, till exempel i regionnät, så bör dessa betraktas som ett gemensamt system där en förändrad fjärrvärmeefterfrågan i ett område av regionen mycket väl kan orsaka konsekvenser i en fjärrvärmeanläggning på annan plats i regionen.

4.2.1 Steg 1. Produktionsdata

Minst två års värmeunderlag (helst fler år) bör ligga till grund för simuleringen av förändringskonsekvensen för att minska risken för att resultaten blir för årsspecifika samt att säkerställa att alla temperaturintervall blir representerade. Timupplösning rekommenderas, men vid brist på så detaljerad tidsdata är det möjligt med lägre tidsupplösning såsom halvdag. Företrädevis väljs två kalla år för att få en bra sannolikhetsfördelning av bränslen som påverkas även vid lägre temperaturer. Med värmeunderlag menas här värmeeffekt från anläggningarna, inte till kund levererad värmeeffekt.

Det är viktigt att det är uppmätt värmeeffekt för specifika år då det ska korreleras till utomhustemperaturen för samma år och geografiska plats.

För att kunna uppskatta framtidens förändringskonsekvenser behövs också en uppskattning av hur värmeunderlaget kommer att utvecklas till, i detta fall, år 2035. Om prognos finns för hur värmeprofilen kommer att ändras till 2035 kan detta vara värdefull information för att dra robusta slutsatser om hur olika energilösningar kommer att påverka energisystemet. I annat fall räcker det med en procentsats för hur värmebehovet förväntas förändras till 2035.

4.2.2 Steg 2. Anläggningsdata

För att simulera produktionen krävs tillgång till information om anläggningarna och hur de körs. Då produktionen simuleras med både dagens och en framtida anläggningspark (2030) behövs även information om anläggningar som planeras byggas till detta år. Följande uppgifter behövs för varje anläggning:

- Typ av anläggning, exempelvis kraftvärmeverk, hetvattenpanna eller värmepump
- Bränsle
- Högsta värmemedeleffekt, exklusive rökgaskondensering, [$MW_{\text{värme}}$]
- Installerad rökgaskondensering, [$MW_{\text{värme}}$]
- Högsta värmeeffekt under revision, [$MW_{\text{värme}}$]

- Revisionstider, [månad]
- Totalverkningsgrad, [%]
- Alfavärde, [%]
- Hjälpen, [%]
- Produktionskostnad, [kr/MW_{värme}]

I tillägg till detta behövs även en bedömning av vilka anläggningar som kommer att byggas och vilka som kommer att nedmonteras eller användas som reservkraft till 2030.

Om information inte finns tillgängligt eller om bolaget inte kan dela med sig av nödvändig information används schablonvärden.

4.2.3 Steg 3. Produktionsordning

Produktionsordningen är viktig för att kunna simulera vilken produktionstyp som påverkas av förändrad fjärrvärmeanvändning. Det beror bland annat på bränslepriser, elpris samt olika styrmedel. Företrädevis tillhandahåller fjärrvärmebolaget en körordning för lågt och högt elpris för dagens driftsituation och för framtidens driftsituation år 2030. Om bolaget tillhandahåller produktionskostnad för de olika anläggningarna kan körordningen också tas fram externt.

Körordningen optimeras i stor utsträckning efter anläggningarnas rörliga produktionskostnad, vilken bland annat beror på elpriset, kan den förändras över tid. I de beräkningsexempel som redovisas i rapporten har dock konstant körordning för högt respektive lågt elpris antagits.

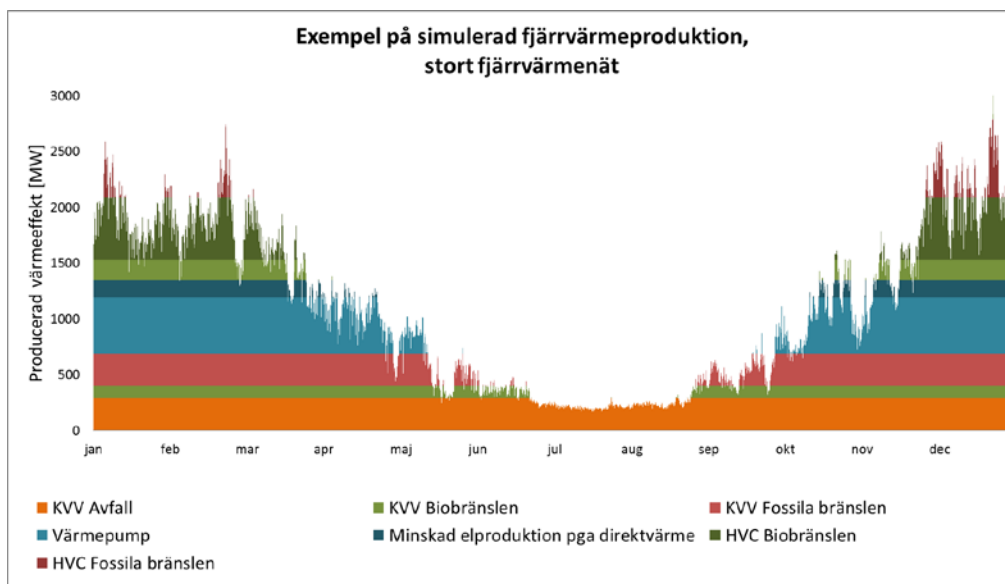
4.3 Kvantifiering

4.3.1 Steg 4. Simulering av produktion

Med den information som tillhandahållits av fjärrvärmebolaget i steg 1 till 3 görs här modelleringen av fjärrvärmsystemet. I projektet har vi använt en egenutvecklad modell, men metoden är inte beroende av en specifik programvara.

Anläggningarna ordnas enligt en given körordning för att varje timme täcka värmebehovet i systemet. Metoden kan ta hänsyn till revision av anläggningar och driftbegränsningar under sommaren. I Figur 5 visas ett exempel på resultat från steg 4. I exemplet har inte hänsyn tagits till specifika randvillkor under sommaren, såsom avställning av anläggningar för revision.

Oavsett vilken modell som används för att modellera energisystemet är det alltid en förenkling av verkligheten. Med fördel tar fjärrvärmebolagen själva fram produktionsinformationen för att på bästa sätt beskriva den verkliga produktionen.

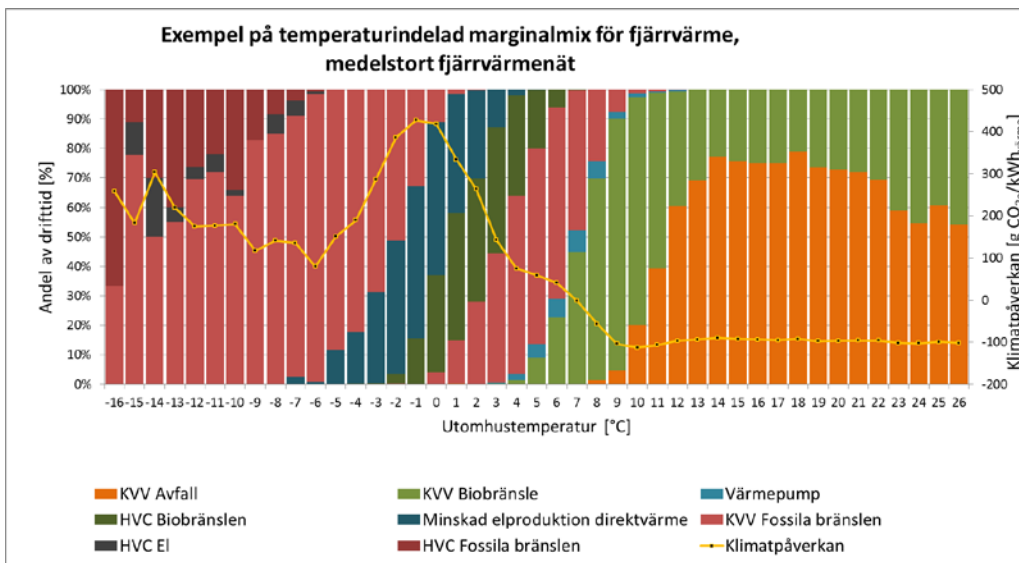
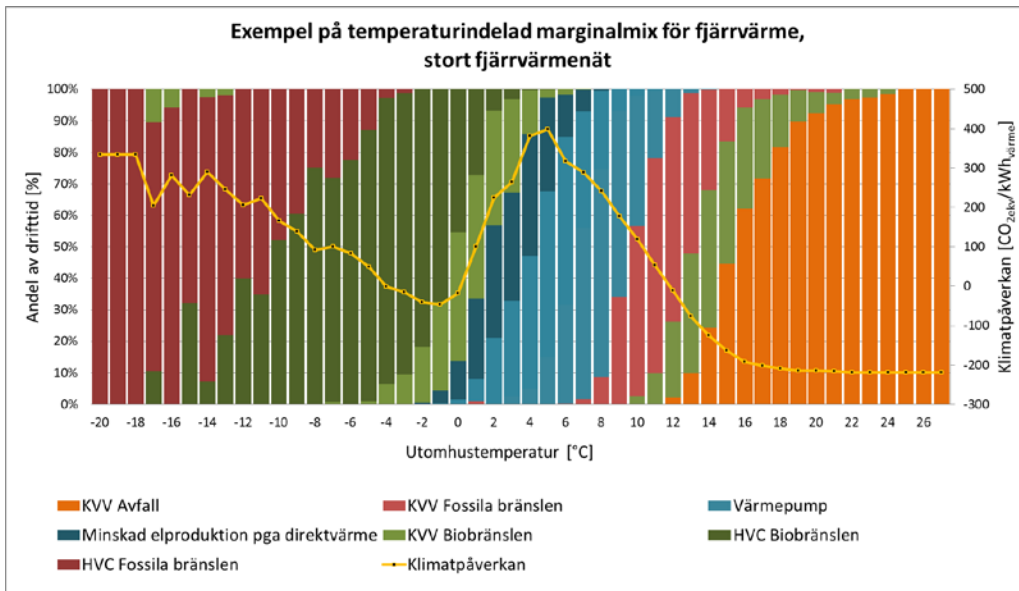


Figur 5. Simulerad fjärrvärmeproduktion. Exempel för stort fjärrvärmenät.

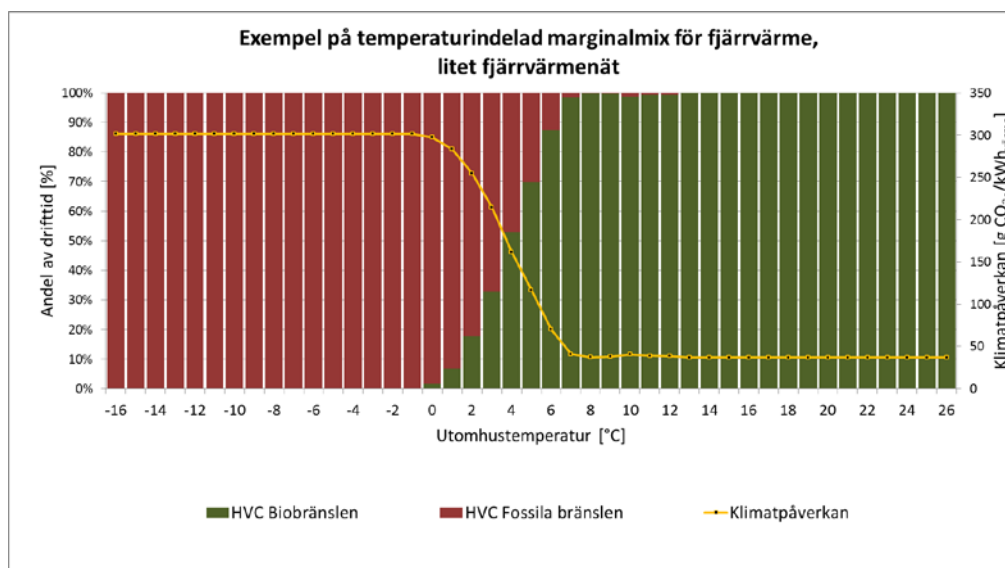
4.3.2 Steg 5. Förändringskonsekvens ("marginalmix")

När produktionsmixen är simulerad sorteras den efter utomhustemperaturen för det specifika produktionsåret. Det bränsle som ligger högst upp i körordningen för varje timme korreleras nu till en temperatur. Baslasten och dess bränslen ingår inte i beräkningen av förändringskonsekvensen eftersom dessa inte påverkas av en förändrad fjärrvärmeanvändning. Temperaturvektorn delas in i intervall om 1 grad varpå alla 1-grads-intervall erhåller en förändringskonsekvens (nedan kallad marginalmix) bestående av det bränsle för respektive timma som ligger högst upp i körordningen inom respektive grad. Detta visas exempel på i Figur 6. Fler exempel och känslighetsanalyser redovisas i rapportens resultatavsnitt. Orsaken till att flera bränslen redovisas i samma temperaturintervall är att olika produktionsanläggningar påverkas vid samma temperatur beroende på exempelvis väderförhållanden (soligt/molnigt), tidpunkt på dygnet/året med mera. Simuleringen ger på så sätt en viktad sannolikhetsfördelning där varje timme utgör ett tänkbart driftfall inom ett givet temperaturintervall. Motivet till att vi valt att basera metoden på utomhustemperatur och inte tidpunkt, framgår ovan (avsnitt 4).

I fallet med framtida produktion antas att anläggningsparken förnyas och att värmebehovet eventuellt förändras. Temperaturfiler med timupplösning finns att ladda ned från SMHI:s hemsida (SMHI, 2014).



Figurtext: se sid 37.



Figur 6. Exempel på simulerad marginalmix (förändringskonsekvens) för ett stort, ett medelstort och ett litet (fiktivt) fjärrvärmenät baserat på antagandet om låga elpriser och normalt värmebehov. Gula linjen avser beräknad klimatprestanda vid respektive temperatur i g CO_{2e}/kWh. Notera att vid de flesta temperaturerna för stort och medelstort fjärrvärmenät är det en mix av flera tekniker/bränslen som utgör konsekvensen av en förändring. Miljöprestanda för ingående bränslen/energislag är baserad på data i Bilaga 2.

4.3.3 Steg 6. Miljövärden för el och bränslen

Miljöprestanda kvantifieras med hjälp av data för de miljöpåverkanskategorier som önskas undersökas. Det kan exempelvis vara emissionsfaktorer för klimatpåverkan, försurning och övergödning eller data kring resursanvändning. Vi visar i denna rapport resultat för klimatpåverkan, men metoden kan tillämpas även för andra miljöpåverkanskategorier. I miljövärderingen av producerad fjärrvärme används i rapporten emissionsfaktorer för klimatpåverkan (g CO_{2e}/ kWh_{värme}) för olika bränslen och för el. Anläggningarnas verkningsgrader och alfavärden vägs också in i beräkningen. Emissionsfaktorer har i de flesta fall hämtats från Miljöfaktaboken 2011 (Gode m.fl. 2011).

När värme produceras i ett kraftvärmeverk beräknas utsläppen från värme- produktionen enligt den så kallade kraftbonusmetoden, som används för att beskriva konsekvenserna i ett större perspektiv av förändrad värmeproduktion. Metoden innebär att värmen får en bonus och krediteras för den el som den antas ersätta i elsystemet. Denna el värderas i rapporten enligt avsnitt 5, men teoretiskt kan vilken el som helst användas i metoden. Mer om metoder för värdering av värme från kraftvärme finns att läsa i Martinsson m.fl. (2012).

Varje produktionsslag har efter steg 6 en emissionsfaktor med enheten [g CO_{2e}/kWh producerad värme].

4.3.4 Steg 7. Miljövärdering

I Figur 6 visas den genomsnittliga emissionsfaktorn för varje temperaturintervall. Den beräknas genom att multiplicera andelen av ett visst bränsle eller produktionstyp med respektive emissionsfaktor från steg 6 som sedan summeras inom varje temperaturintervall. Resultatet blir en viktad emissionsfaktor som beror av marginalmixens sammansättning vid olika utomhustemperaturer.

4.3.5 Återkoppling och analys

Steg 4-7 upprepas för minst två olika produktionsår samt för högt och lågt elpris. I detta steg ingår också validering genom känslighetsanalyser och kontakt med fjärrvärmebolaget.

5 VÄRDERINGSMETOD FÖR EL

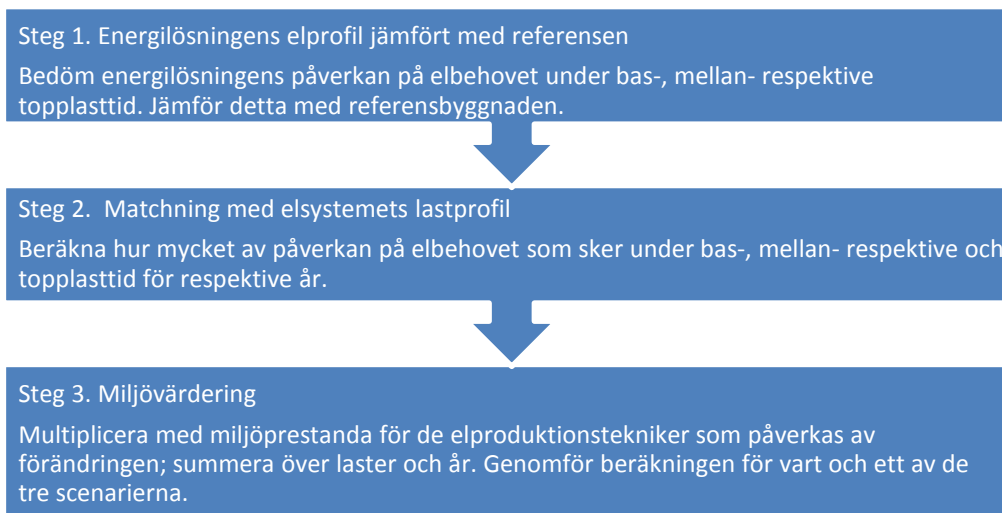
Åtgärder som påverkar elanvändningen i en byggnad påverkar inte alla elproduktions-tekniker lika mycket. Som nämnts i avsnitt 2 är förändringskonsekvensen en kombination av kort- och långsiktiga konsekvenser. I projektet har vi analyserat hur en byggnads förändrade elanvändning påverkar elsystemet både på kort och på lång sikt. Främsta fokus har varit på att analysera om det finns skäl att värdera förändringskonsekvensen tidsupplöst över såväl dygnet som över säsonger. I Bilaga 1 beskrivs hur vi har gått tillväga för att identifiera konsekvenser av olika energilösningar för elsystemet. Vi skiljer på driftmarginal och byggmarginal, se avsnitt 2.

5.1 Sammanfattning av värderingsmetod för el

En energilösning kan påverka byggnadens efterfrågan på el och dess egengenererade elproduktion jämfört med annan energilösning. Detta påverkar elsystemets utsläpp av olika miljö- och klimatpåverkande ämnen och dess resursanvändning. Energi-lösningen påverkar inte alla kraftslag lika mycket, utan den påverkar de kraftslag som har högst rörligt pris. Vilka kraftslag detta är varierar över tid från idag och framåt. För att hantera osäkerheten har vi utvecklat tre olika elscenarier: ett referensscenario, ett klimatungt och ett klimatsnålt scenario. Energilösningens påverkan bör beräknas för vart och ett av dessa scenarier för att kunna dra slutsatser om den är bra ur miljö-, klimat- och för resursperspektiv. Scenarierna är exempel på tänkbara utvecklingar av elsystemet. Det är fullt möjligt att använda andra scenarier.

Vi har utvecklat och presenterat en procedur i tre steg för att beräkna konsekvenserna ur miljösynpunkt av elanvändning i olika energilösningar, se Figur 7. I rapporten exemplifierar vi med beräkningar av klimatpåverkan, men även andra miljö-konsekvenser kan analyseras med hjälp av metoden.

Först analyseras energilösningens påverkan på byggnadens eleffektbehov under varje tidsperiod. Därefter undersöks hur mycket av denna förändring som påverkar elproduktionen i elsystemets bas-, mellan- respektive topplast. Till sist multipliceras förändringen i elbehov med utsläppen för de kraftslag som påverkas i vart och ett av de tre scenarierna.



Figur 7. Sammanfattande bild av proceduren för miljövärdering av den elenergi som produceras, sparas eller förbrukas genom en energilösning i förhållande till referensen.

5.2 Kortsiktiga konsekvenser

Resultatet både från analys av tillgänglig litteratur och från den forskarworkshop som arrangerades inom projektet är att de kortsiktiga effekterna i elsystemet av förändrad elanvändning inte varierar nämnvärt om förändringen sker på olika tidpunkter på dygnet eller under året. Vid forskarworkshopen rådde i det närmaste konsensus bland deltagarna om att förändringskonsekvensen på kort sikt inte är tidsupplöst. Orsaken till det är att vattenkraften bedöms kunna reglera förändringar i efterfrågan såväl över dygnet som över säsongerna. Vattenkraft och annan reglerkraft hjälper elproducenterna att möta snabba variationer i efterfrågan. Vattenkraft kan också sparas från baslasttid till topplasttid, både från dag till natt och från sommar till vinter.

Det innebär att den kortsiktiga förändringskonsekvensen i elsystemet inte skiljer sig så mycket om förändringen sker olika tidpunkter på dygnet eller över året. Det var relativt samstämmigt vid workshopen att denna förändringskonsekvens vanligtvis är elproduktion från fossila bränslen, främst kol, utomlands (exempelvis i Danmark och Tyskland). Det kan förekomma variation i vilka exakta anläggningars drift som påverkas av en förändring, därmed kan prestanda variera något. Vi har antagit att den kortsiktiga förändringskonsekvensen kommer att gälla de närmsta 5-15 åren fram i tiden. För tiden därefter har vi tagit fram och analyserat olika scenarier, vilket presenteras nedan.

5.3 Långsiktiga konsekvenser

Idag är effekten av förändrad elanvändning i stort sett oberoende av när på året, veckan eller dygnet som förändringen sker. Vid forskarworkshopen identifierades flera saker som kan ändra på det i framtiden: ökad elektrifiering, avveckling av kärnkraftverk, ökad utbyggnad av vindkraft, etc. Å andra sidan kan saker hända som

bidrar till att det fortfarande spelar liten roll när elenergin används: exempelvis effektivisering av elanvändningen, utveckling av lagringsteknik och smarta elnät (se vidare i Bilaga 3 med resultat från forskarworkshopen).

I våra scenarier har vi antagit att elsystemet kommer att förändras så att det från år 2025-2030 har betydelse när i tiden el används. För att kunna beskriva hur förändringskonsekvensen varierar över tid skiljer vi mellan baslast-, mellanlast- och topplasteffekter. Baslasteffekter är de förändringskonsekvenser som orsakas av en ändring i elanvändningen under baslasttid. En sådan ändring kan påverka både utnyttjandet av baslastkraftverk och, på sikt, produktionskapaciteten i olika kraftslag. Det finns alltså både kort- och långsiktiga baslasteffekter. På samma sätt är mellanlast- och topplasteffekter de förändringskonsekvenser som orsakas av en ändring i elanvändningen under mellanlast respektive topplasttid.

Deltagarna i forskarworkshopen var i stort sett eniga om att det är fossilbaserad elproduktion som påverkas de närmaste åren, om elanvändningen eller elproduktionen i svenska byggnader ändras. Vilken framtida elproduktion som faktiskt påverkas är däremot mycket osäkert. Det beror på hur både produktionssystemet och elefterfrågan kommer att utvecklas. För att illustrera och hantera den stora osäkerheten har vi utvecklat tre olika elscenarier. Vi har också identifierat vilken elproduktion som skulle påverkas i vart och ett av dessa scenarier:

- Ett referensscenario. Detta scenario är knappast mer sannolikt än de andra, eftersom det är osannolikt att framtiden inte rymmer väsentliga överraskningar. Scenariot kan ändå beskrivas som vår bästa gissning om hur elsystemet kommer att utvecklas och vilka kraftslag som skulle påverkas av ett ändrat elbehov.
- Ett klimattungt scenario. Detta är ett exempel på hur mycket fossilkraft som kan komma att ingå i den framtida elproduktionen, utan att ta till antaganden som är orimliga.
- Ett klimatsnålt scenario. Detta är ett exempel på hur mycket elsystemet och dess produktionstekniker kan komma att domineras av elproduktion med mycket små utsläpp av klimatgaser, utan att ta till antaganden som är orimliga.

5.3.1 Referensscenario: kapacitetsöverskott

Detta scenario baseras på det senaste referensscenariot från Energimyndigheten (2014a). I detta ökar den årliga elproduktionen i svenska kärnkraftverk med 15 TWh till år 2020 genom redan planerade effekthöjningar. Därefter minskar kärnkraften med lika mycket fram till år 2030 genom att de äldsta reaktorerna läggs ner. I detta scenario byggs också förnybar kraftproduktion ut i stor skala i Sverige och övriga Nordeuropa. Biobränsleeldad kraftvärme byggs ut i svenska fjärrvärmenät. Vindkraft byggs i både Sverige och andra länder. Vattenkraft byggs ut främst i Norge.

Energimyndighetens referensscenario inkluderar inte ny solkraft i Sverige eller Norge, men vi antar att en hel del solkraft byggs i Tyskland.

Investeringar i förnybar kraftproduktion blir lönsamma tack vare elcertifikatsystemet och andra politiska styrmedel. Dessa styrmedel syftar till att uppfylla politiska mål, bland annat i EU, om förnybar och klimatsnål elenergi (Energimyndigheten 2014b). Drivkraften för dessa investeringar är alltså snarare politiska mål än behovet av ny kraftproduktion. Elanvändningen i Sverige är i detta scenario i stort sett konstant fram till år 2030. Som resultat uppstår i Energimyndighetens scenario ett elöverskott i Sverige med en export om 37 TWh år 2020 och 21 TWh år 2030.

Eftersom förnybar kraftproduktion byggs ut även i andra nordeuropeiska länder, antar vi att vi får ett betydande överskott i den totala kapaciteten för elproduktion. Många existerande anläggningar används i lägre grad än idag. De minst effektiva av de fossileldade anläggningarna läggs i malpåse.

I detta scenario finns ingen byggmarginal eftersom inga investeringar påverkas av en måttlig förändring i elefterfrågan. Istället finns bara driftmarginal. Vi antar dock att den utvecklas över tid, enligt följande:

- 2015-2025: driftmarginal som är existerande kolkraft med hög prestanda, oavsett när på året och dygnet som elanvändningen förändras.
- 2026-2030: driftmarginal som är existerande eldimensionerad naturgaskraftvärme, oavsett när på året och dygnet som elanvändningen förändras.
- 2031-: driftmarginal som är dynamisk och varierar över året:
 - Baslasttid: existerande kärnkraft
 - Mellanlasttid: existerande eldimensionerad naturgaskraftvärme
 - Topplasttid: existerande oljekondens

5.3.2 Klimattungt scenario: ny fossilkraft

Även i detta scenario byggs förnybar elproduktion ut i stor skala. Här antar vi dock att det samtidigt sker en elektrifiering av energisystemet som får elanvändningen att öka snabbare än den förnybara elproduktionen byggs ut. Det blir därför lönsamt att bygga ytterligare produktionskapacitet på olika ställen i Nordeuropa.

En förändring i elanvändningen får först en effekt på användningen av existerande anläggningar, det vill säga driftmarginalen. Därefter anpassas produktionskapaciteten hos nya kraftverk till den nya elefterfrågan. Då syns effekten istället på byggmarginalen.

I det här scenariot antar vi att de nya kraftverk som byggs på marginalen är kolkraftverk och naturgaseldade kraftvärmeverk. Det gör att marginalelen påverkar klimatet mer än i referensscenariot. Vi antar att kolkraftverken har lägst rörlig

kostnad och används som baslastanläggningar. De naturgaseldade kraftvärmeverken får intäkter från försäljning av både fjärrvärme och elenergi, men vi antar att behovet av ny fjärrvärmeproduktion är relativt litet och att anläggningarna därför främst byggs för att producera elenergi. Hur mycket fjärrvärme som produceras i dessa anläggningar styrs av det värmebehov som finns och inte av hur mycket elenergi som produceras.

I detta scenario utvecklas förändringskonsekvensen som följer:

- 2015-2025: driftmarginal som är existerande kolkraft, oavsett när på året och dygnet som elanvändningen förändras.
- 2026-: byggmarginal som är dynamisk och varierar över året:
 - Baslasttid: ny kolkraft
 - Mellanlasttid: ny eldimensionerad naturgaskraftvärme
 - Topplasttid: nya gasturbiner för naturgas

5.3.3 Klimatsnålt scenario: kärnkraftsavveckling och biogas

Liksom i övriga scenarier byggs förnybar elproduktion i detta scenario ut i stor skala av politiska skäl. Det leder, liksom i referensscenariot, till ett överskott i produktionskapacitet och till låga elpriser. I det här scenariot finns också ett betydande politiskt tryck på avveckling av kärnkraftverk. Politiska styrmedel gör att de kraftverk som påverkas av en vikande elmarknad är kärnkraftverk (jfr Vattenfall 2015). De läggs inte i malpåse utan läggs ner. De äldsta och minst effektiva kärnkraftverken avvecklas först.

Beslut om att stänga existerande kärnkraftverk kan tas med några få års varsel. Detta scenario inkluderar därför en minskad produktionskapacitet i kärnkraft redan efter några få år. Förändringar i produktionskapaciteten kallar vi byggmarginal, även om förändringen är en minskning. Vi får alltså en ”byggmarginal” som är nedläggning av gamla kärnkraftverk.

Ju mer el som förbrukas i detta scenario, desto mindre sjunker elpriserna och desto mindre kärnkraft läggs ner. Vi antar att nedläggningsbesluten påverkas av det genomsnittliga elpriset och därför av elförbrukningen oavsett när på året eller dygnet som elenergin förbrukas.

Så småningom leder de låga elpriserna till en elektrifiering av energisystemet och ökad efterfrågan på el. Tillsammans med kärnkraftsavvecklingen och med att andra kraftverk läggs ner när de blir alltför gamla, leder detta till att elpriserna stiger igen och till att ny produktionskapacitet byggs av ekonomiska skäl. Eftersom detta är ett klimatsnålt scenario antar vi att de nya kraftverk som byggs på marginalen är avancerade kraftvärmeverk som eldas med biogas eller syntetisk naturgas från förnybara råvaror. De ingår i byggmarginalen efter år 2030 i detta scenario.

Det politiska trycket på avveckling av kärnkraftverk består även efter år 2030 i detta scenario. Grunden för det trycket är dels att kärnkraftverken fungerar sämre när de åldras och dels en ren politisk vilja att göra energisystemet fritt från kärnkraft. Det senare kan vara resultatet av en ny kärnkraftsolycka någonstans i världen. Vi antar att den kärnkraft som är kvar år 2030 ändå kommer att drivas vidare om behovet av ny produktionskapacitet är stort och särskilt om baslastkapaciteten är otillräcklig. Om behovet av ny produktionskapacitet är litet antar vi att fler kärnkraftverk kommer att stängas. Det betyder att en ändrad elanvändning kan påverka nedläggningen av kärnkraftverk även efter år 2030.

Byggmarginalen efter år 2030 inkluderar alltså dels nedläggning av idag existerande kärnkraftverk, som är baslastanläggningar, och dels byggnation av nya mellan- och topplastanläggningar som eldas med förnybara bränslen.

Margineffekten utvecklas då som följer:

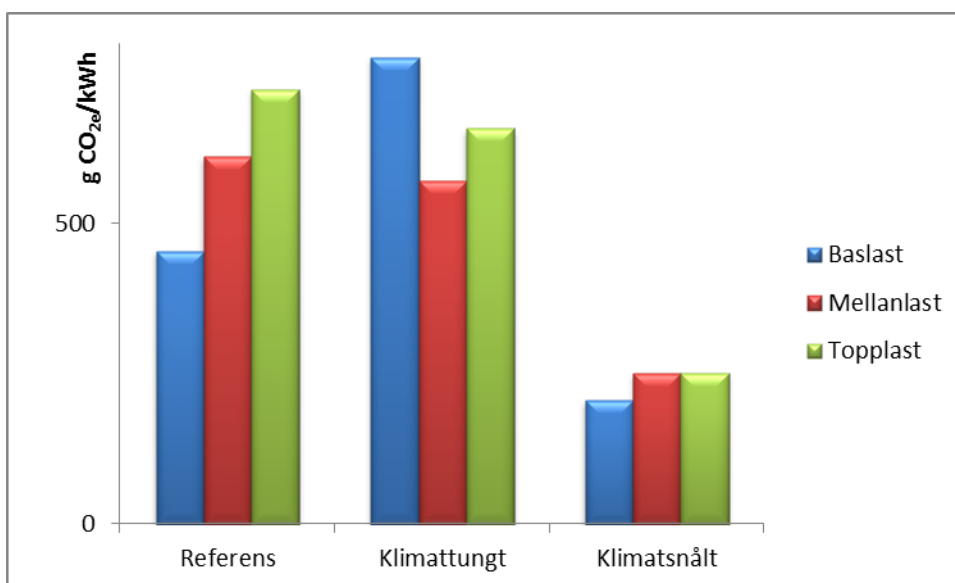
- 2015-2020: driftmarginal som är existerande kolkraft, oavsett när på året och dygnet som elanvändningen förändras.
- 2021-2030: byggmarginal som är nedläggning av gamla kärnkraftverk, oavsett när på året och dygnet som elanvändningen förändras.
- 2031-: byggmarginal som är dynamisk och varierar över året:
 - Baslasttid: existerande kärnkraft
 - Mellanlasttid: ny eldimensionerad kraftvärme med kombinerad cykel och biogas
 - Topplasttid: ny eldimensionerad kraftvärme med kombinerad cykel och biogas

5.4 Kvantifiering

För att scenarierna ovan ska kunna användas för att beräkna hur en energilösning påverkar miljö, klimatet och/eller primärenergibehovet, behövs data för de miljöaspekter som önskas studeras. Vi har i denna rapport visat resultat för klimatpåverkan men det går bra att använda scenarierna för att beräkna även andra miljöpåverkanskategorier. De olika kraftslagets klimatpåverkan redovisas i Bilaga 2.

Klimatpåverkan från vart och ett av de tre elscenerierna kan kvantifieras med hjälp av underlaget i Bilaga 2. I Figur 8 visas medelvärdet för baslast-, mellanlast- respektive topplasttid för varje scenario över åren 2015-2035. Noggrannheten bedöms vara tillräckligt stor om klimatpåverkan för olika energilösningar beräknas utifrån medelvärdet för de olika elscenerierna över flera år för bas-, mellan- respektive topplasttid. För värdering av en energilösning behöver hänsyn alltså endast tas till lastprofilen över ett år och inte över dynamiken över flera år. I Bilaga 4 redovisas dock hur klimatprestanda varierar över åren för de olika scenarierna med de antaganden som gjorts i denna studie.

Av Figur 8 framgår att det främst är baslastproduktionen som har höga växthusgasutsläpp i det klimattunga scenariot. Det beror på att baslasten antas vara kolkraft i detta scenario. Av figuren framgår också att baslasten har minst klimatpåverkan i både det klimatsnåla scenariot och referensscenariot. I de scenarier där baslasten har lägst klimatpåverkan blir utsläppsminskningarna störst om man sparar elenergi på vintern jämfört med på sommaren.



Figur 8. Klimatprestanda för tre olika elscenarier vid baslast-, mellanlast- respektive topplasttid. Varje stapel avser medelvärdet av klimatprestanda 2015-2040.

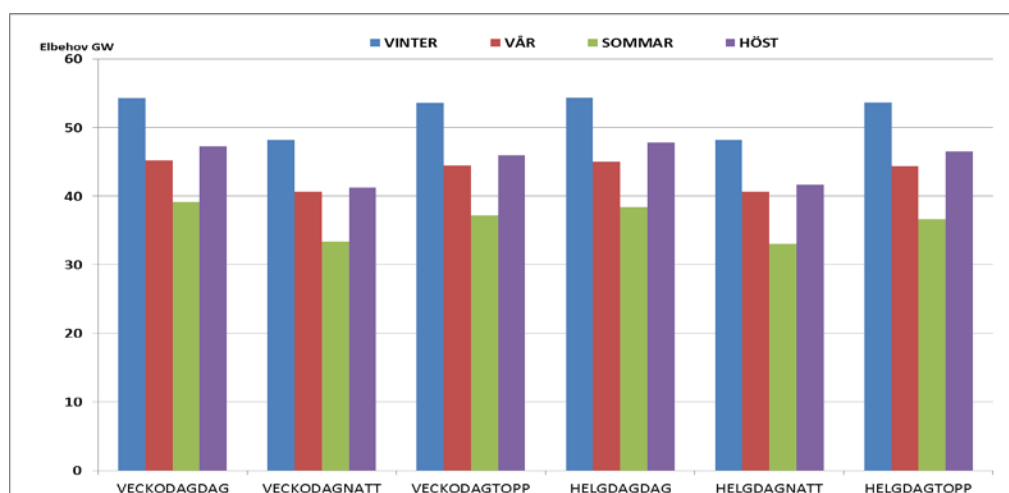
5.4.1 Identifiering av bas-, mellan- och topplasttid

För att scenarierna ovan ska kunna användas till att beräkna konsekvenserna av en viss energilösning behövs även information om hur energilösningen påverkar behovet av elenergi vid bas-, mellan- och topplast under olika år. Då krävs att det är bestämt vilken tid som är baslasttid, mellanlasttid respektive topplasttid.

Hur stor del av ett år som en topplatanläggning används beror av många faktorer såsom den totala elförbrukningen (vilken bland annat varierar med konjunkturen), mängden vatten i vattenkraftverkens magasin (vilket varierar med nederbörden), antal tidpunkter med kortvarigt mycket låga temperaturer och deras längd ("köldknäppar"), och i hur hög grad vindkraft och kärnkraft produceras när det är kallt (vilket beror på hur mycket det blåser och på om kärnkraftverk tvingas till oplanerade stopp). Det mesta av detta är svårt eller omöjligt att förutsäga långt i förväg. Generellt gäller dock att sannolikheten för att en topplatanläggning ska användas är högst när elförbrukningen är som högst, vilket normalt inträffar på dagtid vardagar under vinterns köldperioder. I ett nordeuropeiskt perspektiv kan det vara skilda topplatanläggningar i olika länder som påverkas vid olika tidpunkter.

Det går inte att avgöra när det faktiskt kommer att vara baslasttid, mellanlasttid respektive topplasttid under ett givet år på 2030-talet. För att göra en miljöbedömning som tar hänsyn till de långsiktiga effekterna krävs antaganden. Vi ger här exempel på två olika metoder för att komma fram till ett sådant antagande.

Den första metoden utgår ifrån en kvantitativ analys av dagens elsystem och möjliga framtida elsystem. Metoden bygger på antagandet att elförbrukningens fördelning över året (se Figur 9) kommer att vara densamma i framtiden, men kan i övrigt ta hänsyn till all tillgänglig kunskap om framtiden. Metoden beskrivs i Bilaga 5. Figur 9 visar hur resultatet kan se ut för dagens elsystem. Det är också möjligt att förfina metoden och göra antaganden om hur elförbrukningens fördelning kan förändras i framtiden.



Figur 9. Exempel på hur elförbrukningens fördelning över året kan beskrivas med grov tidsupplösning.

Den andra metoden är att helt enkelt göra enkla kvalitativa antaganden baserat på kunskap som finns tillgänglig. Det kan exempelvis vara att definiera topplasttid som all dagtid i januari och februari. Elenergi som används eller sparas under dagtid i januari och februari antas då påverka elproduktionens topplastanläggningar. Mellanlasttid kan definieras som nätter i januari och februari samt dagtid november-december och mars-april. Baslasttid definieras då som nätter under hela perioden mars-december och dagar under maj-oktober.

6 RESULTAT

Det huvudsakliga resultatet av projektet är en metod för miljövärdering av olika energilösningar i byggnader. Metoden är i rapporten beskriven i tre olika delar:

- Värderingsmetod för energianvändning i byggnader (Avsnitt 3)
- Värderingsmetod för fjärrvärme (Avsnitt 4)
- Värderingsmetod för el (Avsnitt 5)

Delresultat för byggnader, fjärrvärme respektive el presenteras i rapporten under respektive avsnitt ovan, medan detta resultatavsnitt beskriver resultat från känslighetsanalyser samt tillämpning av metoden på olika fallstudier (olika energilösningar för byggnader).

6.1 Fallstudier av byggnaders energilösningar

Fallstudier har gjorts för olika energilösningar i byggnader. Fallstudierna har valts ut i samråd med projektets referensgrupp. Fallstudierna är genomförda för kontorsbyggnaden Gångaren 16 på Kungsholmen i Stockholm. Byggnaden är modellerad i ett energisimuleringsprogram med data erhållet av Skanska Fastigheter. Detaljer kring vald fallstudiebyggnad samt studerade energilösningar framgår av Bilaga 1.

I Tabell 4 visas uppmätta areor samt energi- och effektbehov för Gångaren 16 enligt uppgifter i byggnadsmodellen.

Tabell 4. Resultat från energisimulering i IDA ICE av Gångaren 16 (Skanska 2014)

Parameter	Värde
Total area [m ²]	19 200
A _{temp} ⁵ [m ²]	11 919
Uppskattad area för solpaneler i söderläge [m ²]	1 000
Effektbehov uppvärmning, max [kW]	349
Effektbehov uppvärmning, medel [kW]	56
Effektbehov tappvarmvatten [kW]	11
Energibehov uppvärmning [MWh]	495
Energibehov tappvarmvatten [MWh]	96
Effektbehov el, max [kW]	165
Effektbehov el, medel [kW]	41
Energibehov el [MWh/år]	355
Energibehov el [kWh/m ² år]	30
Energibehov fjärrvärme [kWh/m ² år]	49

⁵ A_{temp} är den invändiga arean för våningsplan, vindsplan och källarplan som värms till mer än 10 °C i byggnaden.

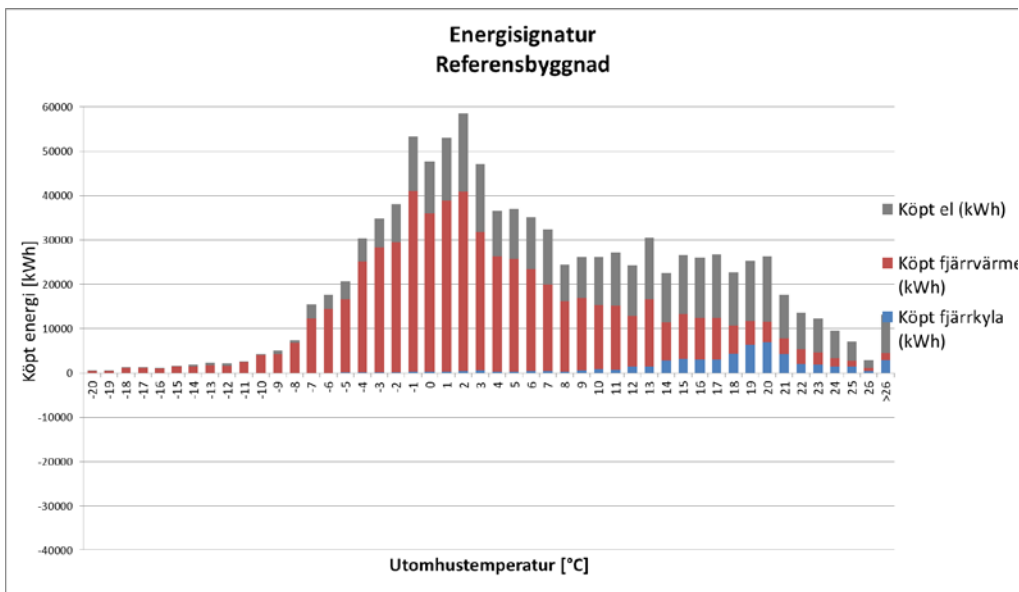
6.1.1 Energiberäkningar

Figur 10 visar energisignaturer för referensbyggnaden samt de tre fallstudierna:

- Fall 1. Solvärme där överskottet exporteras till fjärrvärmenät
- Fall 2. Solvärme med säsongslager samt
- Fall 3. Solceller

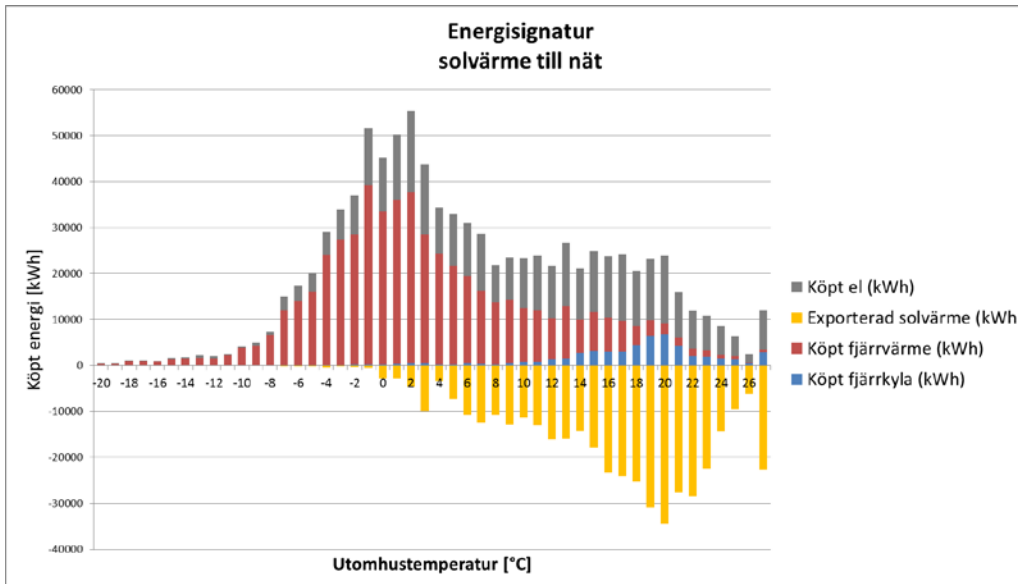
Orsaken till att mängden köpt energi är liten vid låga temperaturer är att antal timmar under ett år med dessa temperaturer är få. I Figur 11 visas resultat över skillnaden i energisignatur mellan respektive fallstudie och referensbyggnaden. Figur 12 visar resultat för skillnaden i miljöprestanda mellan respektive fallstudie och referensen. Fjärrvärme är värderad för tre olika typer av fjärrvärmenät – ett stort, ett medelstort och ett fiktivt litet fjärrvärmenät. Elenergi är värderad enligt de tre scenarier som presenteras i avsnitt 5. Notera att figurerna endast är exempelberäkningar som inte tagit hänsyn till fjärrvärmenätens utveckling över tid.

Referensbyggnad

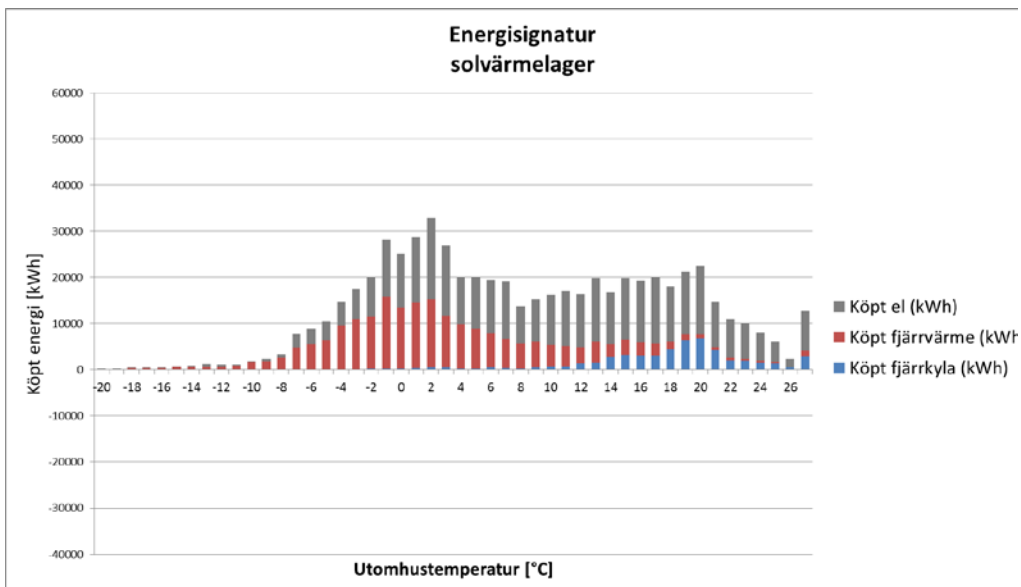


Figurtext: Se sid 50

Fall 1. Solvärme till fjärrvärmenät

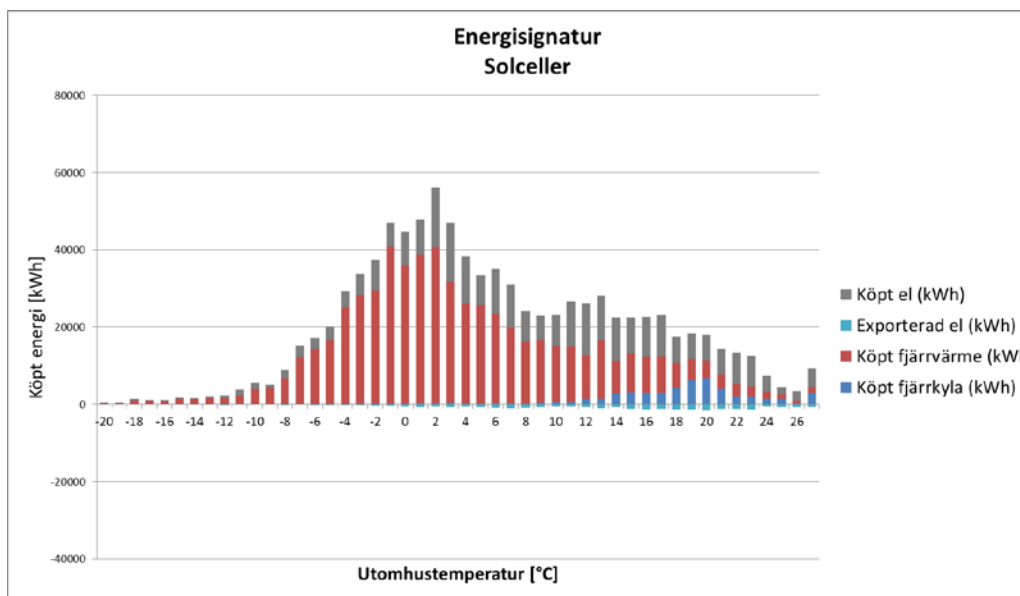


Fall 2. Solvärme med säsongslager



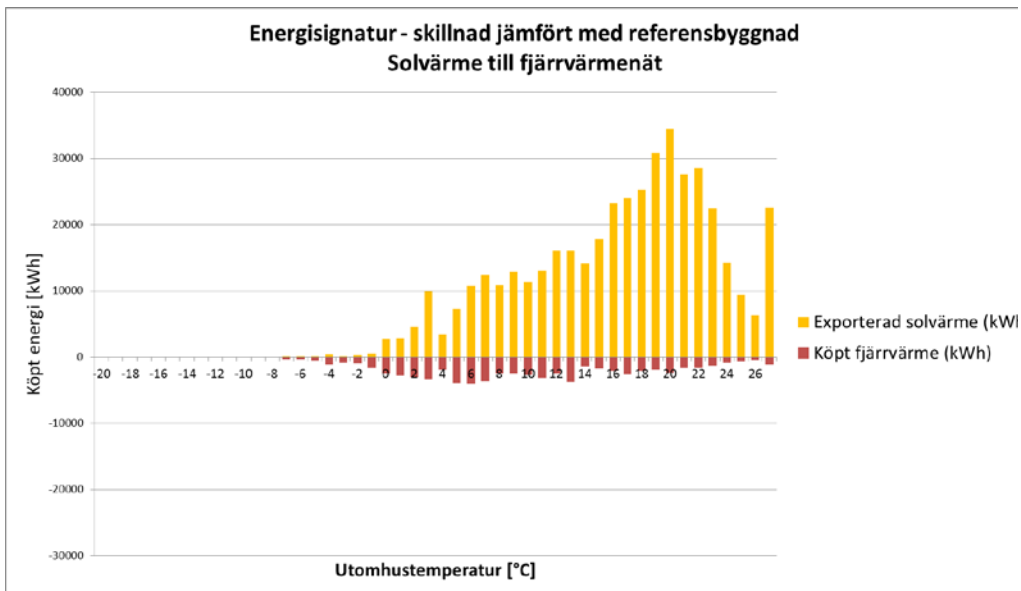
Figurtext: Se sid 50

Fall 3. Solceller

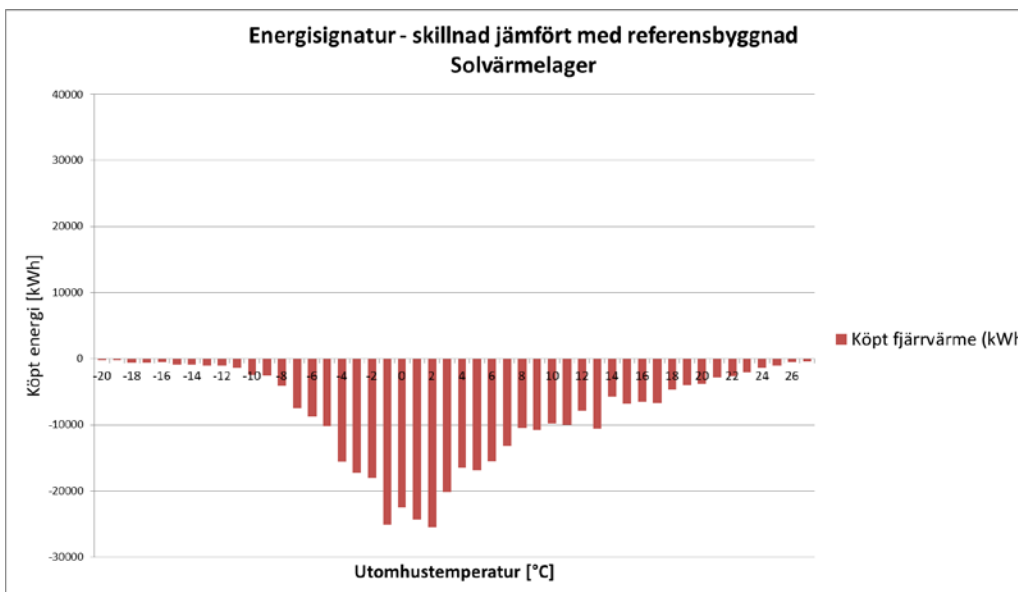


Figur 10. Energisignatur för referensbyggnad samt fallstudier. Grå staplar avser köpt el, röda staplar köpt fjärrvärme och mörkblå staplar köpt fjärrkyla. Gula staplar i fallet ”Solvärme till nät” avser exporterad solvärme till fjärrvärmenätet och turkosa staplar i fallet ”Solceller” avser exporterad solex till elnätet. Stapeln för varje temperatur motsvarar totalt köpt (och i två fall exporterad) energi alla de timmar på året som just den specifika temperaturen infaller. Orsaken till att mängden köpt energi är liten vid låga temperaturer är att antal timmar under ett år med dessa temperaturer är få.

Fall 1. Solvärme till fjärrvärmenät

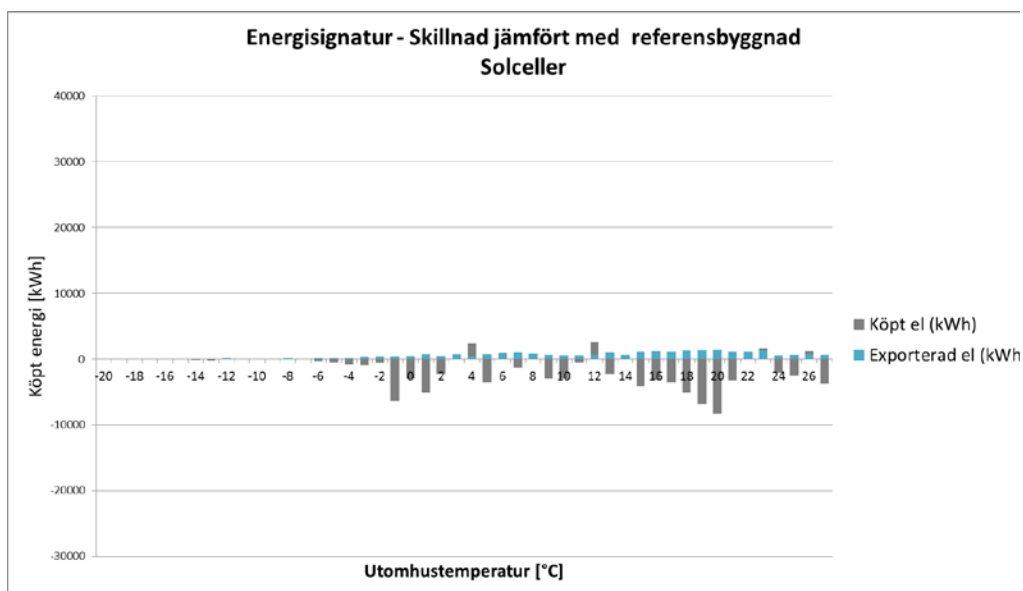


Fall 2. Solvärme med säsongslager

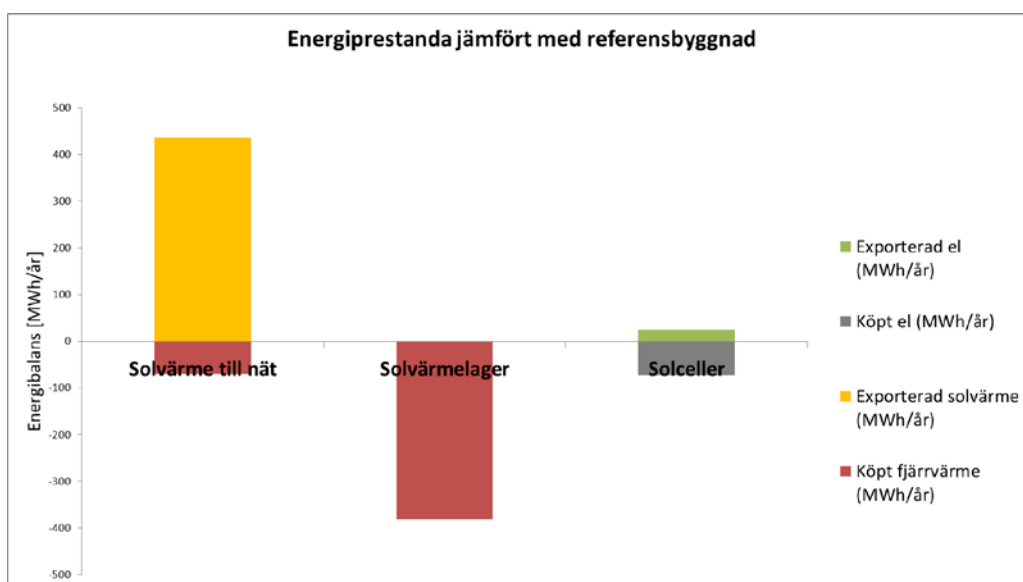


Figurtext: Se sid 53

Fall 3. Solceller



Figur 11. Skillnad i energisignatur mellan referensbyggnaden och de tre studerade energilösningarna. Figurerna ovan är baserade på Figur 10 och är framtagna genom att för varje fall ta energisignaturen för respektive fallstudie minus energisignaturen för referensen. Negativa resultat innebär att efterfrågan på köpt energi har minskat.



Figur 12. Total skillnad i energibalans mellan referensbyggnaden och de tre fallstudierna. Figuren är baserad på Figur 11 som illustrerar skillnader i energisignatur mellan respektive energilösning och referensen. Resultaten för varje temperatur är här summerad för att ge den totala årliga skillnaden i köpt och exporterad energi för varje fallstudie jämfört med referensen. Negativa siffror avser att energianvändningen har minskat jämfört med referensen. Positiva staplar avser ökad export av värme eller el till nätet.

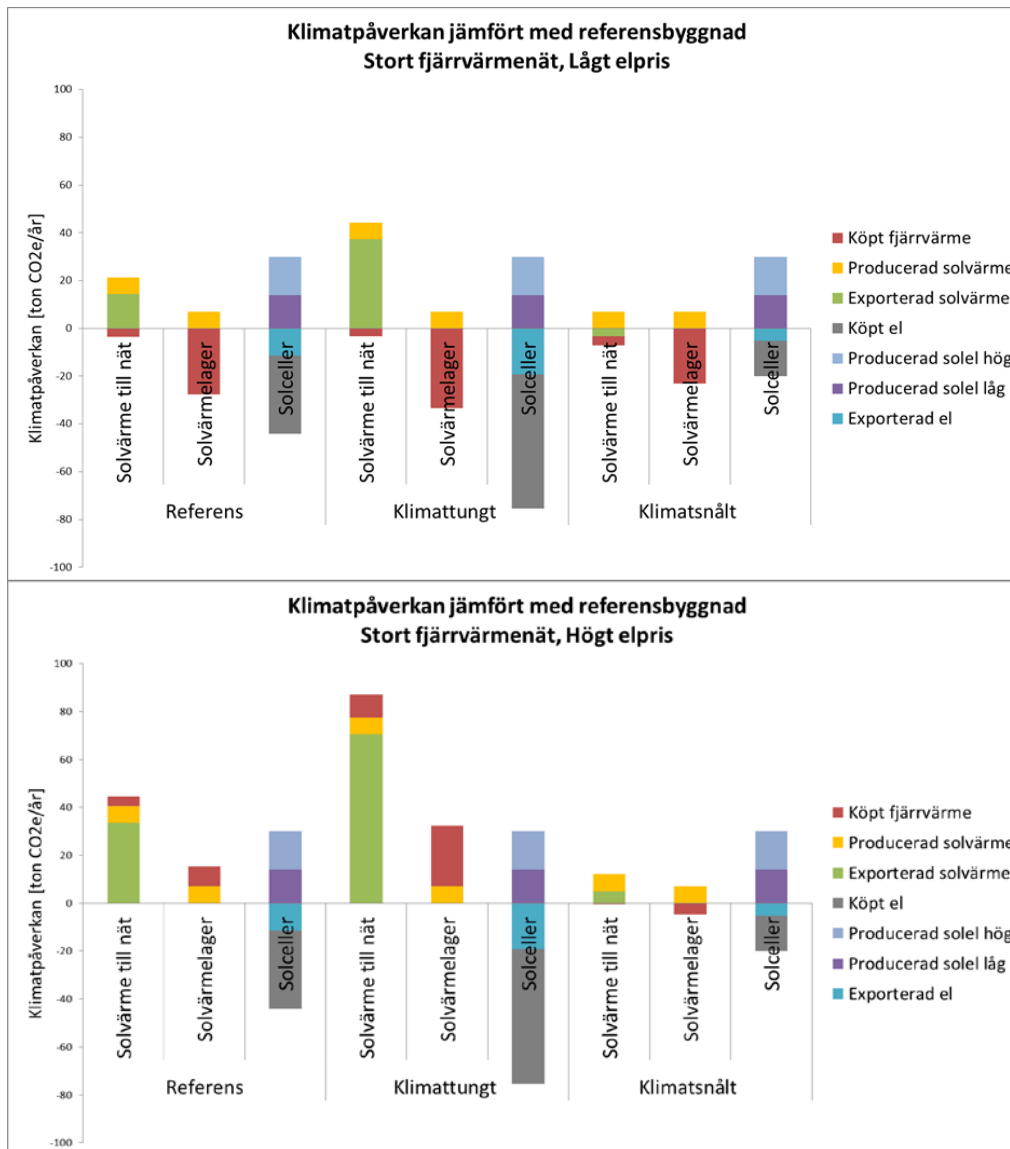
6.1.2 Klimatpåverkan

Figur 13 visar resultat för förändrad klimatpåverkan för de tre fallstudierna jämfört med referensen. Figuren visar resultat för några antagna förutsättningar. De är beräknade för tre exempelfjärrvärmenät som tidigare i rapporten refererats som ”stort, medelstort och litet fjärrvärmenät”. Negativa värden i figuren innebär att utsläppen minskar jämfört med referensbyggnaden och positiva värden att de ökar. Vidare har känslighetsanalys gjorts för olika elpris. Notera att figuren endast visar exempelberäkningar för kort sikt vad gäller fjärrvärme. Det är alltså inte möjligt att dra generella slutsatser från figuren nedan om vilka energilösningar som är bäst ur klimatsynpunkt.

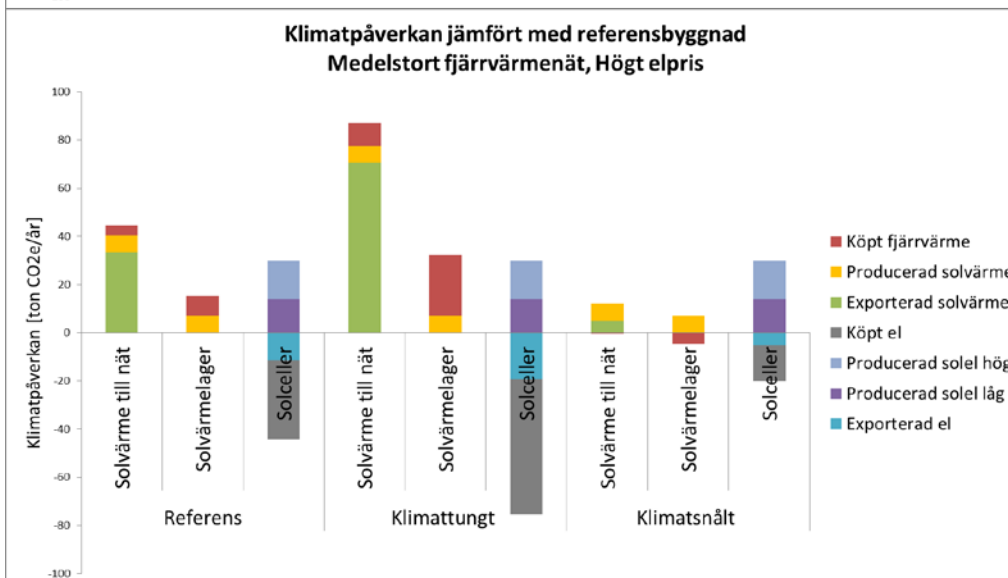
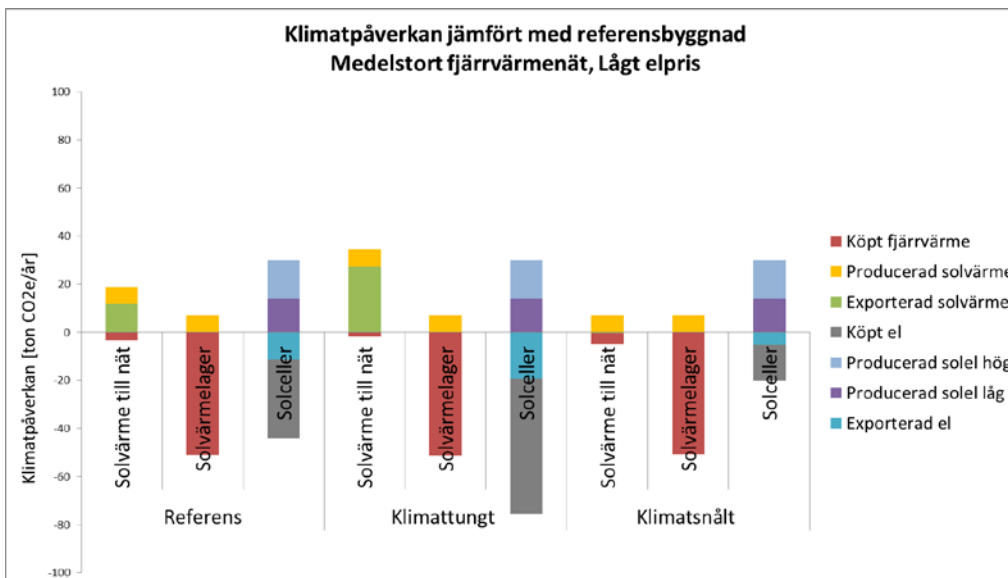
Som framgår av Figur 13 är det bara för det lilla fjärrvärmenätet som lösningarna med solvärme där överskottet levereras ut på fjärrvärmenätet ger bättre klimatpåverkan än referensbyggnaden. Det gäller både vid högt och lågt elpris och beror på att solvärmens i dessa fall trycker undan kraftvärmeproduktion, vilket främst sker under sommartid.

Figur 13 visar också att solvärmelager i samtliga fall ger bättre klimatprestanda än solvärme utan lager. Hur stor skillnaden är varierar beroende på både vilket fjärrvärmenät som studeras och på de förutsättningar som gäller för aktuellt fjärrvärmenät (till exempel om det är högt eller lågt elpris). För det stora och det medelstora fjärrvärmenätet beror resultatet i fallen med solvärmelager av elpriset. Vid högt elpris blir klimatpåverkan sämre än referensen i dessa fall, vilket beror på att det då är mycket bibränslekraftvärme som påverkas av förändringen. När efterfrågan på sådan fjärrvärme från bibränslekraftvärme minskar produceras mindre el jämfört med referensbyggnaden, vilket innebär en högre produktion av annan el. Den elen värderas i enlighet med de tre scenarierna (referens, klimattungt och klimatsnålt) och ger således olika resultat för de olika elscenarierna. I fallet med lågt elpris är det däremot mycket fossila bränslen som påverkas och därmed blir klimatpåverkan bättre än referensen. Det lilla fjärrvärmenätet påverkas inte av olika elpriser eftersom den produktion som påverkas av förändringen inte omfattar varken produktion (kraftvärme) eller användning av el (elpannor eller värmepumpar).

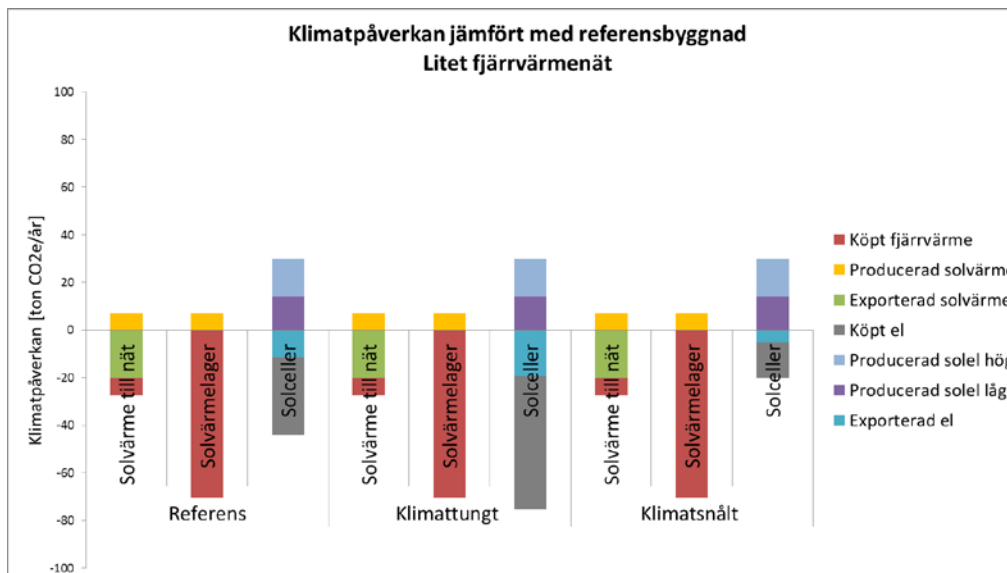
Solcellsfallen ger samma resultat oberoende av fjärrvärmeproduktionen eftersom endast elsystemet påverkas. Däremot varierar resultaten beroende på vilket elscenario som antas. I det klimattunga scenariot är den positiva effekten större än i det klimatsnåla scenariot.



Figurtext: se sid 56



Figurtext: se sid 56



Figur 13. Exempelberäkningar för skillnad i klimatpåverkan mellan referensbyggnaden och de tre fallstudierna vid antaganden om olika elscenarier (Referens, Klimattungt respektive Klimatsnålt) samt olika elpris (ej aktuellt för "Litet Fjärrvärmenät" eftersom förändringskonsekvensen för detta inte påverkas av elpriset). Med "solel hög" respektive "solel låg" avses att olika LCA-data använts för solceller, se vidare i Bilaga 2. Negativt resultat innebär minskad klimatpåverkan i fallstudien jämfört med referensen medan positivt resultat avser en ökad klimatpåverkan. Beräkningarna är gjorda för exempel på fjärrvärmenät. Skillnaden mellan högt och lågt elpris beror på att kördningen mellan fjärrvärmesystemets anläggningar påverkas av elpriset om det finns anläggningar som använder el (t.ex. värmepumpar) eller producerar el (kraftvärme). Därmed påverkas även marginalmixen och konsekvensen av en förändrad fjärrvärmeefterfrågan. Resultaten är inte generellt tillämpbara. För tolkning av resultaten hänvisas till sid 53.

7 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Projektet fokuserar på att ta fram en metod som används för att beräkna konsekvenser ur miljöperspektiv av olika energilösningar i en byggnad. Metoden kan användas för att visa på effekterna av olika val av energilösningar i byggnader och ge underlag för planering av byggnaders energilösningar. Därför har utgångspunkten varit att analysera konsekvenser av förändrad energianvändning. Metoden kan även användas för att analysera konsekvenser av andra byggnadstekniska lösningar som påverkar byggnadens energianvändning. Exempel på detta kan vara olika isolering eller fönsterval. Fokus för projektet har varit på hur energibalansen påverkas av olika lösningar. Metoden inkluderar i nuläget inte miljöpåverkan från olika byggmaterial utan beaktar enbart energianvändning och -omvandling.

Eftersom förutsättningarna är olika för el och fjärrvärme, exempelvis avseende geografiska avgränsningar, har metoden för dessa system hanterats oberoende av varandra. Grundprincipen är dock densamma, det vill säga att identifiera konsekvenser i el- respektive fjärrvärmenäten av förändrad efterfrågan på el respektive fjärrvärme.

Två tidsrelaterade begrepp har varit viktiga i projektet. Det ena har vi kallat dynamik, vilket avser utvecklingen av el- och fjärrvärmesystemen över flera år från idag och ca 20 år framåt i tiden. Det andra är tidsupplösning som avser variationer över kortare tidsperioder inom ett år, alltså över säsonger, månader och dygn. Både el- och fjärrvärmesystemen är dynamiska och utvecklas över tid. Exakt hur dynamiken ser ut är omöjligt att fastställa idag. För fjärrvärmenäten varierar det beroende på bland annat varje enskilt fjärrvärmebolags befintliga produktionsanläggningar, uppskattningar om framtida värmeunderlag, framtida investeringsplaner, styrmedel och liknande. Fjärrvärmesystemens dynamik hanteras i metoden för varje enskilt fjärrvärmenät. För elsystemet är dynamiken beroende av beslut från en mängd olika aktörer som verkar på elmarknaden. Den sammantagna spridning som framtidens tänkbara elsystem och tillhörande marginaltekniker kan komma att få är därmed stor. Osäkerheten hanterar vi i projektets metod med hjälp av scenarier. Dessa är baserade på relativt enkla antaganden och täcker en stor spännvidd av tänkbara utvecklingar. Andra möjligheter hade exempelvis varit att använda befintliga scenarier eller en energisystemmodell som kan hantera ett stort antal antaganden om framtida förhållanden. Det är fullt möjligt att använda andra scenarier så länge de hanterar både tidsupplösning på lång sikt samt dynamiken (utvecklingen över åren).

Tidsupplösningen i projektet avser variationer över säsonger, månader och dygn. Slutsatsen är att konsekvenser på fjärrvärmesystemen behöver hanteras tidsupplöst. Det går dock inte att säga exakt hur noggrann tidsupplösningen måste vara utan det

kan variera från nät till nät beroende på komplexitet, antal pannor, värmelast och liknande. Utgångspunkten i metoden är därför att utgå från timnivå. För elsystemet är slutsatsen att konsekvenserna på kort sikt inte är tidsupplösta utan att det är en tillräckligt bra approximation att anta samma förändringskonsekvens över hela året. Motivet är att vattenkraften kan antas balansera såväl kort- som långsiktiga variationer. Det innebär att den elproduktion som utgör förändringskonsekvens idag inte skiljer sig väsentligt över dygnet och över året. Det är i dagsläget elproduktion från fossila bränslen (främst kol) utomlands (exempelvis i Danmark och Tyskland) som på årsbasis bedöms påverkas av förändrad elanvändning i byggnader. På lång sikt är dock bedömningen att det i framtiden kommer att spela roll när under året som en förändrad energianvändning inträffar. Bedömningen är att det gäller i alla de scenarier som utvecklats i projektet.

Fjärrvärmesystemen är lokala i sin karaktär. En generell metodik har utvecklats som kan användas för att ta fram platsspecifika konsekvenser för olika fjärrvärmesystem. Metoden bygger på utomhustemperaturdata för att ta fram en så kallad marginalmix för varje temperaturintervall. Motivet att utgå från utomhustemperaturen är att fjärrvärmeproduktionen är mer direkt beroende av temperaturen än av tidpunkten på dygnet. När värmebehovet ökar eller minskar så sker inte en momentan förändring i fjärrvärmeproduktionen utan det finns en tröghet i systemet genom exempelvis fjärrvärmeledningar, byggnaders värmetröghet, eventuella ackumulatörer och liknande. Detta innebär att olika produktionsanläggningar kommer att påverkas vid samma temperatur. På så sätt ger en frekvensfördelning av olika produktionstekniker som påverkas av förändrad energianvändning givet en viss temperatur och kan genereras för varje fjärrvärmenät. Metoden ger en form av sannolikhetsfördelning för hur vanligt det kan vara att en viss teknik påverkas vid en viss temperatur. Det som skulle kunna tala emot att använda utomhustemperaturen för att identifiera förändringskonsekvensen är att solinstrålningen och därmed produktion av solvärme inte beror av utomhustemperaturen. En kall marsdag kan ge lika mycket värme som en mulen junidag. Metoden resulterar inte en specifik teknik för varje tidssteg över ett år. Detta har vi dock bedömt vara en fördel då metoden ger en sannolikhetsfördelning med tänkbara tekniker för varje temperaturspann.

Elsystemet är betydligt större rent geografiskt och en förändring i Sverige kan mycket väl leda till konsekvenser utanför landets gränser. Vår slutsats, vilket överensstämmer med många tidigare analyser, är att den kortsiktiga förändringskonsekvensen främst består av fossilbaserade anläggningar utanför Sverige. För elsystemet har en metod utvecklats som kan tillämpas för att analysera olika energilösningars påverkan på elsystemet oavsett var i Sverige den aktuella byggnaden befinner sig. I metoden har vi förenklat de kortsiktiga konsekvenserna till att bestå av anläggningar baserade på kolkondens med hög prestanda. I själva verket är det idag ofta anläggningar med betydligt lägre verkningsgrad som påverkas vid förändringar. Valet av kolkondens är motiverat från resultat exempelvis från ENPAC-modellen (Axelsson m.fl. 2010). Skälet att vi valt en hög prestanda är att kompensera för tidpunkter då det kan vara

andra tekniker med bättre klimatprestanda på marginalen, såsom naturgasbaserade anläggningar. De långsiktiga effekterna på elsystemet är mycket svårare att uppskatta. Denna osäkerhet har vi hanterat med hjälp av tre scenarier. De är valda för att motsvara en stor spännvidd av tänkbara framtida utvecklingar. En slutsats från projektet är att de energilösningar som ger bra resultat i flera av dessa framtids-scenarier, bör vara robusta och bra åtgärder. För att göra bedömningen om robusthet bör dock även andra miljöaspekter än klimatpåverkan inkluderas.

Vi kan inte dra några generella slutsatser kring vilka energilösningar som påverkar värmebehovet som är bäst ur klimatsynpunkt. Det beror bland annat på att vi enbart exemplifierat konsekvenserna för fjärrvärmeproduktionen med tre system. Det skulle troligen inte vara möjligt ändå eftersom fjärrvärmesystemen i Sverige är så pass olika. Detta måste bedömas från fall till fall. Energilösningar som påverkar elanvändningen kan dock på kort sikt med relativt stor säkerhet bedömas. Slutsatsen är att det på kort sikt är bra ur klimatsynpunkt att vidta elbesparande åtgärder, oavsett när på dygnet eller året. Detta beror på att konsekvenserna av minskad elanvändning på kort sikt bedöms vara att fossilbaserad elproduktion minskar. På motsvarande sätt bedöms elproducerande åtgärder vara bra ur klimatsynpunkt på kort sikt.

En slutsats från projektet är att det är osäkert att sia om hur dagens byggnadslösningar kommer att påverka framtidens energisystem. Därför bör det vara gynnsamt på många sätt att redan idag rusta byggnader så att de har flexibilitet för framtiden. Flexibiliteten kan avse både möjligheten att använda olika energikällor men också att kunna utjämna/variera effektbehovet. På så sätt undviker man att bygga in sig i lösningar som kan vara omoderna i framtiden. Ett sätt att öka flexibiliteten kan vara att installera ackumulatörer som kan hjälpa till att utjämna effektoppar.

7.1 Fortsatt arbete

Projektet är nytt i sin karaktär genom att ha utvecklat en metod för att hantera olika tidsbegrepp vid miljövärdering av byggnaders energilösningar. Under projektets gång har ett flertal förslag till fortsatt arbete diskuterats. Ett förslag är att baserat på metoden utveckla ett verktyg som ska kunna användas vid planering av byggnaders energilösningar. Verktyget ska integrera metoden för både värdering av byggnaders energianvändning, fjärrvärmesystemet och elsystemet. En fråga som väckts under projektet är också om/hur tidsupplösning hanteras i andra länder. En benchmark av vår studie med liknande projekt i Europa skulle vara intressant och skulle kunna vara lämpligt för en gemensam EU-ansökan. För att svara mot slutsatsen om behov av flexibla byggnader finns också ett önskemål om att utveckla en metod att mäta flexibilitet i någon form av flexibilitetsindex för byggnaders energianvändning. Slutligen behöver metoden vidareutvecklas och förfinas exempelvis avseende identifiering av de långsiktiga konsekvenserna för fjärrvärmesystemet samt identifiering av bas-, mellan- och toppplastid för elsystemet. Metoden bör dessutom testas för flera kombinationer av åtgärder samt för flera olika fjärrvärmesystem.

8 REFERENSER

- Allard I, Olofsson T, Hassan O (2013). Methods for air tightness analysis for residential buildings in Nordic countries. Southampton: WIT Press, 2012, 311-322
- Andersson G, Hurtig S, Levander T, Nilsson M, Salay J, Sahlin K. (2002) Elproduktion på marginalen samt effekter på utsläppen av växthusgaser. PM till GD avsett som internt diskussionsmaterial. Energimyndigheten.
- Avfall Sverige, 2012a, Kapacitetsutredning 2011. Tillgång och efterfrågan på avfallsbehandling till år 2020, RAPPORT F2012:03
- Avfall Sverige, 2012b, Assessment of increased trade of combustible waste in the European Union, RAPPORT F2012:4
- Avfall Sverige (2014). Svensk avfallshantering 2014. Malmö, juni 2014.
- Axelsson, E., Harvey, S., (2010). Scenarios for assessing profitability and carbon balances of energy investments in industry. Alliance for Global Sustainability Pathways internal report 2010:EU1, Göteborg 2010
- BBR 21 (2014). Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd; BFS 2014:3. Beslutade den 17 juni 2014
- BREEAM-SE (2013). BREEAM-SE Svensk manual för nybyggnad och ombyggnad. Version 1.0, Utgåva 2013-05-01
- Brännström-Norberg B-M, Dethlefsen U, Johansson R, Setterwall C, Tunbrant S. (1996) Life-Cycle Assessment for Vattenfall's Electricity Generation – Summary Report. Vattenfall, Stockholm.
- Bärring M, Gustafsson J-O, Nilsson P-A, Ohlsson H, Olsson F. (2000) El från nya anläggningar: Jämförelse mellan olika tekniker för elgenerering med avseende på kostnader och utvecklingstendenser. Rapport nr 00:01. Elforsk, Stockholm.
- Connolly, D., Lund. H., Mathiesen, B. V., Leahy. M. (2010). "A Review of Computer Tools for Analysing the Integration of Renewable Energy into Various Energy Systems." Applied Energy 87 (4): 1059–82. doi:10.1016/j.apenergy.2009.09.026.
- Curran MA, Mann M, Norris G. (2001). Report on the International Workshop on Electricity Data for Life Cycle Inventories. Cincinnati, Ohio 45268 USA, October 23-25, 2001.
- Dotzauer E. (2010). Greenhouse gas emissions from power generation and consumption in a Nordic perspective. Energy Policy, vol. 38, issue 2, Pp 701-704, februari 2010.
- Edenhofer O. and Intergovernmental Panel on Climate Change, eds (2012). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the

- Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2012.
- Elforsk (datum okänt). Miljövärdering av elanvändning. Broschyr sammanställd av EME Analys på uppdrag av Elforsk.
- Ekvall, T., Finnveden G. (2001). Allocation in ISO 14041 – a critical review. *Journal of Cleaner Production* 9, pp 197-208.
- Ekvall T, Weidema BP (2004). System Boundaries and Input Data in Consequential Life Cycle Inventory Analysis. *Int. J. LCA* 9(3):161-171.
- Ekvall, T., Tillman, A.-M., Molander, S. (2005). Normative ethics and methodology for life cycle assessment, *Journal of Cleaner Production* nr 13 (2005) page 1225 - 1234
- Ekvall T, Andrae A (2006). Attributional and consequential environmental assessment of the shift to lead-free solders. *Int. J. LCA*, 11(5):344-353.
- Energimyndigheten (2014a) Scenarier över Sveriges energisystem: 2014 års långsiktiga scenarier, ett underlag till klimatrapporteringen. ER 2014:19. Statens Energimyndighet, Eskilstuna.
- Energimyndigheten (2014b). 2030 – på väg mot ett mer hållbart energisystem: Konsekvenser av mål för 2030. ER 2014:22. Statens Energimyndighet, Eskilstuna.
- Engström, R., Gode, J. & Axelsson, U. (2009). Vägledning till metodval vid beräkning av påverkan från förändrad energianvändning på de svenska miljömålen. Framtagen med stöd av Miljömålsrådet, Energimyndigheten och Naturvårdsverket. IVL B-rapport 1822.
- Eriksson O, Finnveden G, Ekvall T, Björklund A (2007) Life Cycle Assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass- and natural gas combustion. *Energy Policy* 35(2):1346-62.
- Erlandsson, M., Sandberg, E. (2011). Resursindex för energi-konsekvensanalys för byggnader med fjärrvärme. Fjärrsynsrapport 2011:7
- Erlandsson M, Lindfors L-G, Jelse K. (2013) Robust LCA: Metodval för robust miljöjämförelse med livscykelanalys (LCA) – introduktion för nyfikna. IVL rapport B2121, november 2013
- Erlandsson M., Ekvall T., Lindfors L-G., Jelse K. (2014a). Robust LCA: Typologi över LCA-metodik – två kompletterande systemsyner. IVL rapport B2122, januari 2014
- Erlandsson M, Iverfelt Å, Öberg M, Andersson R, Eliasson M, Gyllenram R. (2014b). Robust användning av LCA – policysammanfattning. IVL rapport C25. 2014-02-12.

- Erlandsson M, Iverfelt Å, Öberg M, Andersson R, Eliasson M, Gyllenram R. (2014c). Redaktör: Eva Bingel. Behov av robusta verktyg för miljöbedömning inom byggsektorn – en projektsammanfattning. IVL rapport B2192. 2014-02-12.
- Finnveden G, Hauschild MZ, Ekvall T, Guinée J, Heijungs R, Hellweg S, Koehler A, Pennington D, Suh S. (2009) Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental management* 91: 1-21.
- Genrup M. (2015) Ång- och gasturbinteknik, 7,5 hp. Lunds tekniska högskola. Url: <http://www.tpe.energy.lth.se/utbildning/mvk051-aang-och-gasturbinteknik/>
- Genrup M, Jonshagen K. (2011) Integrering av biogaseldad gasturbin i kraftvärmeanläggning. Systemteknik 1164. Värmeforsk Service AB, Stockholm
- Gode, J., Byman, K., Persson, A. & Trygg L. (2009). Miljövärdering av el ur systemperspektiv. En vägledning för hållbar utveckling. IVL B-rapport 1882.
- Gode J, Martinsson F, Hagberg L, Öman A, Höglund J, Palm D. (2011) Miljöfaktaboken 2011: Uppskattade emissionsfaktorer för bränsle, el, värme och transporter. Värmeforsk rapport 1183. Stockholm.
- Gode, J., Ekvall, T., Martinsson, F., Särholm, E., Green, J. (2012). Primärenergi i avfall och restvärme, Fjärrsyn rapport 2012:5, Svensk Fjärrvärme AB.
- Gode, J., Fredén, J., Adolfsson, I., Ekvall, T. (2013). Värdering av fjärrvärmens resurseeffektivitet och miljöpåverkan – Metodfrågor. Fjärrsyn rapport 2013:3.
- Gode J., Adolfsson I., Hansson J., Martinsson F. (2015) Resource efficiency in a Nordic electricity system perspective. Preliminärt PM inom forskningsprogrammet North European Power Perspectives. 2015-03-11.
- Hedberg, M., Koppers, G. (2011). "Lastprognoser för fjärrvärme med hänsyn till scenarier och osäkerheter i vädret". Värmeforskrapport. P08-824. ISSN 1653-1248. November 2011
- IEA (2013). Nordic Energy Technology Perspectives – Pathways to a Carbon Neutral Energy Future". Responsibility for energy technology policy analysis. IEA and Nordic Energy Research, www.iea.org/etp/nordic. 2013
- Knutsson, D. Sahlin, J., Werner, S., Ekvall, T., Ahlgren, E.O. (2006). HEATSPOT – a simulation tool for national district heating analyses. *Energy* 31, pp 278-293 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544205000381>
- Kvarnström, J., Dotzauer, E., Gollvik, L., Andersson, C. (2007). Lastprognoser för fjärrvärme. Värmeforskrapportnr P06-620. Västerås; 2007
- Lund, H., Vad Mathiesen, B., Christensen, P., Hoejrup Schmidt, J. 2010. "Energy System Analysis of Marginal Electricity Supply in Consequential LCA." *The International Journal of Life Cycle Assessment* 15 (3): 260–71. doi:10.1007/s11367-010-0164-7.

- Martinsson F, Gode J, Ekvall T. (2012). Kraftvärmeallokeringar – en översikt. Fjärrsyn rapport 2012:8. 2012.
- Mathiesen BV, Münster M, Fuergaard T. (2009) Uncertainties related to the identification of the marginal energy technology in consequential life cycle assessment. *Int J Life Cycle Assess* 17:1331-1338.
- Mattsson N, Unger T, Ekvall T. (2003). Effects of perturbations in a dynamic system – The case of Nordic power production. In Unger, T.: Common energy and climate strategies for the Nordic countries – A model analysis. PhD thesis. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang (2013). Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (red.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Sida 714.
- Nilsson H., Larsson O. (2008). Energisamverkan – Etapp 2, effektiv energianvändning och energiförsörjning ur ett systemperspektiv för befintliga byggnader. Rapport Oktober 2008. SBUF projektnr 11901.
- Persson A, Björnsjö A, Dahlberg L. (2006). Energianvändning och -försörjning för byggnader ur ett systemperspektiv. Ett samverkansprojekt mellan bygg- och energibranschen. Rapport Maj 2006. SBUF projektnr 11720
- Profu (2013). Tio perspektiv på framtida avfallsbehandling. Rapport från forskningsprojektet ”Perspektiv på framtida avfallsbehandling”. Profu i Göteborg AB.
- Rebitzer G, Ekvall T, Frischknecht R, Hunkeler D, Norris G, Rydberg T, Schmidt W-P, Suh S, Weidema BP, Pennington DW (2004). Life Cycle Assessment – Part 1: Framework, Goal & Scope Definition, Inventory Analysis, and Applications. *Environment International* 30(5):701-720.
- Naturvårdsverket (2005) Förbränningsanläggningar för energiproduktion inklusive rökgaskondensering. BRANSCHFAKTA - UTGÅVA 2. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Rydén, B., Stridman, D. (2006). Normalårskorrigerigering av fjärrvärmeproduktion-för Naturvårdsverkets projekt om normalårskorrigerigering av svenska koldioxidutsläpp. Profu. April 2006
- Sahlin, J., Knutsson, D., Ekvall, T. (2004). “Effects of Planned Expansion of Waste Incineration in the Swedish District Heating Systems.” *Resources, Conservation and Recycling* 41, no. 4 (July 2004): 279–92.
doi:10.1016/j.resconrec.2003.11.002.

- SGBC (2014a). Miljöbyggnad – Miljöcertifiering utifrån svenska förhållanden. www.sgbc.se (tillgängligt 2014-10-17)
- SGBC (2014b). GreenBuilding certifierade byggnader. <https://www.sgbc.se/nyheter/331-ytterligare-atta-greenbuilding-certifierade-byggnader>
- SGBC (2014c). Certifierade byggnader - LEED. <http://www.sgbc.se/52-om-olika-certifieringsystem/leed2/395-byggnader-som-leedcertifierats> (tillgänglig 2014-07-17)
- Skanska (2014). Byggnadsmodell (IDA ICE) av kontorsbyggnaden Gångaren 16 i Stockholm, samt uppmätt värmeeffektbehov för perioden 13/11-2011 – 12/11-2012. Erhållet mars 2014 av Jonas Gräslund, Skanska AB.
- Sköldberg, H & Unger, T. (2008) Effekter av förändrad elanvändning/elproduktion – modellberäkningar. Elforsk rapport 08:30. April 2008.
- Sköldberg, H., Unger, T., Olofsson, M. (2006). Marginalel och miljövärdering av el. Elforskrapport 06:52.
- Sundqvist, J-O, Stenmarck, Å., Ekvall, T., (2010). Model for future waste generation, IVL rapport B1933, 2010.
- Sundqvist J.O. (2015). Personlig kommunikation med Jan-Olov Sundqvist, senior avfallsexpert vid IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Svenska Kraftnät (2014) Kraftbalansen på den svenska elmarknaden vintrarna 2013/2014 och 2014/2015 – En rapport till Näringsdepartementet. url: <http://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/140624-effektbalansen-rapport.pdf>.
- Tennbakk B. (2002) Mer om marginalel og kompleks marginal. ECON Centre for economic analysis.
- Tillman A-M, Baumann H, Eriksson E, Rydberg T. (1991) Packaging and the Environment: Life-cycle analyses of selected packaging materials: Quantification of environmental loadings; Offprint from SOU 1991:77. Chalmers Industriteknik, Göteborg.
- Trygg, L., Difs, K., Wetterlund, E., Thollander, P. Svensson, I-L. (2009). Optimala fjärrvärmesystem i symbios med industri och samhälle. ISBN 978-91-7381-028-9 Fjärrsynrapport 2009:13.
- USGBC (2013). LEED v4 User guide. US Green Building Council June 2013. Tillgänglig på www.usgbc.org.
- Vattenfall (2015). Vattenfall ändrar inriktning för drifttid för Ringhals 1 och 2. Pressmeddelande 2015-04-28. url: <http://corporate.vattenfall.se/press-och-media/pressmeddelanden/2015/vattenfall-andrar-inriktning-for-drifttid-for-ringhals-1-och-2/>.

Weidema BP, Frees N, Nielsen AM (1999). Marginal production technologies for life cycle inventories. *Int J Life Cycle Assess* 4(1):48-56.

Weidema BP, Ekvall T, Rebitzer G (2009). Guidelines for Consequential and Hybrid LCA. Deliverable D18 of work package 5 of the CALCAS project. Augusti 2009.

9 Bilagor

Bilaga 1. Metod

I denna bilaga redovisas de metoder och tillvägagångssätt som använts för att få fram projektets resultat.

Metod för värdering av byggnaders energianvändning

Vi har utvecklat en 7-stepsprocedur för värdering av byggnaders energianvändning. Metoden utgår från en byggnad där olika möjligheter finns för val av energilösningar. Vi har i huvudsak använt oss av data från Skanska över en kontorslokal i Stockholm (Gångaren 16) och för denna analyserat olika energilösningar. Detta har vi gjort genom energisimuleringar i programvaran IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE).

Metodiken utgår från att använda byggnadens effektsignatur vid miljövärdering av energianvändning. På så sätt blir miljövärderingen mer generell för byggnaden och mindre årsspecifik.

Resultaten blir på formen ($\text{g CO}_2/\text{°C, m}^2$) vilket gör att de enkelt kan sammankopplas med metoden för miljövärdering av fjärrvärme och fjärrkyla. För miljövärdering av el är beräkningarna enkla på kort sikt (närmsta 10-15 åren) då förändringskonsekvensen inte antas vara tidsupplöst. Det är alltså samma prestanda på förändringskonsekvensen oavsett när på dygnet eller säsongen som förändringen sker. På längre sikt har vi antagit att förändringskonsekvensen i elsystemet blir dynamisk (olika i olika scenarier). För att tillämpa den tidsberoende förändringskonsekvensen behöver således energidata från byggnadssimuleringarna sorteras i tidsenheter snarare än efter temperatur.

Metod för identifiering av konsekvenser i elsystemet

Vi har analyserat kort- och långsiktiga förändringskonsekvenser i elsystemet med hjälp av litteraturstudier, genomförande av en forskarworkshop med fokus på tidsupplösning på kort och lång sikt samt utveckling av några scenarier för framtida förändringskonsekvens. Samtliga steg beskrivs nedan. Utifrån dessa har vi sedan genomfört analyser och beräkningar och presenterar en metod för värdering av förändrad elanvändning och elproduktion för byggnader med egna energilösningar.

Litteraturstudie

En omfattande litteraturstudie har genomförts för att se om olika studier hanterat tidsupplösta förändringskonsekvenser för elsystemet. Slutsatsen är att det finns många studier som analyserat förändringskonsekvenser, men ytterst få som berör tidsupplösningen. De allra flesta övriga studier identifierar enbart den årliga förändringskonsekvensen eller effekten över några år. Den studie som berör tidsupplösningen (Lund m.fl. 2010) analyserar komplex marginaler i en dansk modell som är effektbegränsad med anledning av flaskhals mellan Sverige och Danmark. Forskarnas resultat visar att flera olika tekniker för produktion och användning av elenergi ligger på marginalen. De har också gjort en tidsupplöst modellering av att installera eller inte installera 4000 MW vindkraft i elsystemet. Användbarheten av studien av Lund m.fl. (2010) för vårt projekt bedömdes dock vara mycket låg eftersom studien begränsats till att titta på det danska elsystemet.

Litteraturstudien var viktig för ytterligare fördjupad förståelse av olika synsätt och resultat kring tidsupplösning av förändringskonsekvenser i elsystemet. Däremot kunde den inte ge någon användbar input till vår studie kring tidsupplösningen på kort och lång sikt. Troligen är ett skäl till detta just att förändringskonsekvensen åtminstone på kort sikt inte är tidsupplöst eftersom vattenkraften har förmågan att reglera förändringar i elefterfrågan både över dygnet och över säsongerna.

Workshop om tidsupplöst marginaler

Hösten 2014 arrangerade vi en workshop med fokus på tidsaspekter kring förändrad elanvändning. Program, deltagare samt slutsatser presenteras i Bilaga 3. Resultaten från workshopen har utgjort underlag för utvecklingen av den metodik för att identifiera konsekvenser av förändrad elanvändning som presenteras i denna rapport.

Workshopens viktigaste resultat var att det rådde i det närmaste konsensus kring att driftmarginalen inte är dynamisk på kort sikt, ungefär de närmsta 10 åren. Det innebär att vår metodik inte behöver ta hänsyn till variationer över timmar, dygn och säsonger på kort sikt.

Vi diskuterade även framtidens driftmarginal i elsystemet, men mycket av diskussionen har också kraftig bärighet på framtidens byggmarginal. Workshopens deltagare var relativt överens om att många faktorer talar för att driftmarginalen år 2030 kommer att variera över dygnet och/eller med årstiderna.

Scenarier för framtida förändringskonsekvens

Forskarworkshopen kom fram till att mycket talar för att framtidens förändringskonsekvens kommer att vara dynamisk. Vi behövde därför analysera hur den kan komma att se ut och på vilket sätt den kan variera över dygn och årstider. Framtida förändringskonsekvenser är svåra att förutse. Även om vi begränsar

analysen till några faktorer är förändringskonsekvenserna osäkra. I vårt fall har fokus varit att analysera effekten av förändrad elanvändning.

Osäkerheten ökar också ju längre fram i tiden vi går. För att hantera osäkerheten har vi använt oss av några olika scenarier. Vi har utvecklat tre scenarier för den långsiktiga förändringskonsekvensen i elsystemet. Skälet att vi inte har använt oss av befintliga kvantifierade scenarier är bland annat att det saknas scenarier med relevant tidsupplösning och att befintliga scenarier vanligtvis analyserar det långsiktiga elsystemet baserat på flera andra faktorer än enbart förändrad elanvändning.

Det första scenariot som utvecklats är ett referensscenario. Det är inte ett sannolikt scenario, eftersom framtiden med största sannolikhet kommer att innehålla överraskningar. Men det är ändå en gissning om hur elsystemet kommer att utvecklas. Scenariot bygger på antagandet att vi kommer att ha överkapacitet i elproduktionen de närmaste decennierna. Det betyder att scenariot inte inkluderar någon byggmarginal, utan bara olika typer av driftmarginal.

De andra båda scenarierna är rimliga extremscenarier. Med dem har vi försökt beskriva gränserna för hur klimatpåverkande respektive klimatsmal marginaelen kan tänkas bli. I dessa scenarier ingår byggmarginal. Eftersom osäkerheten inför framtiden är som störst i just byggmarginalen, kan scenarier med byggmarginal bli mer extrema än scenarier utan byggmarginal.

Varje scenariobeskrivning ligger till grund för antaganden om hur marginaelen utvecklas i just det scenariot. De effekter vi diskuterar är resultat av olika energilösningar i svenska byggnader, men konsekvensen (förändringskonsekvensen) i elsystemet kan mycket väl uppstå i andra länder, eftersom elmarknaden är nordisk och på väg att bli nordeuropeisk. Vi har utgått från ett nordeuropeiskt system.

Metod för identifiering av konsekvenser i fjärrvärmesystemet

Vi har tagit fram en metod för att identifiera förändringskonsekvenser på kort och lång sikt. I jämförelse med elsystemet är fjärrvärmesystemen lokala eller i vissa fall regionala (exempelvis är fjärrvärmesystemet i Storstockholm ett regionnät med flera olika producenter). När energilösningar för en viss byggnad ska analyseras är det ofta känt vilken lokalisering den ska ha och därmed hur fjärrvärmeproduktionen ser ut. Av det skälet har vårt fokus varit att ta fram en generell metod som kan tillämpas på alla olika fjärrvärmenät. En annan skillnad mellan el- och fjärrvärmesystemet är att elsystemet alltid måste vara i balans, det vill säga lika mycket el som efterfrågas måste alltid produceras. Fjärrvärmesystemen har större möjlighet till lagring av värme i exempelvis ackumulatortankar, ledningar, byggnader och liknande. Denna tröghet varierar mycket mellan olika fjärrvärmenät beroende på storlek, antal anslutna kunder, total rörledningslängd m.m.

Grundprincipen för att identifiera konsekvenser i el- och fjärrvärmesystemen är densamma, det vill säga att anläggningarnas körordning beror av den rörliga kostnaden. Tillvägagångssättet för att identifiera förändringskonsekvensen i fjärrvärmesystemen skiljer sig dock åt jämfört med el och har främst omfattat litteraturstudie samt utveckling av metodik genom simuleringar, kontakt med fjärrvärmeföretag, fallstudier och känslighetsanalyser.

Utveckling av metodik

Vår metod för miljövärdering av fjärrvärme bygger på antagandet att produktionen och bränslemixen är beroende av utomhustemperaturen. Utifrån det har vi simulerat fjärrvärmeproduktionens förändringskonsekvens (marginalmix) och vidare kunnat bestämma en emissionsfaktor per grad utomhustemperatur. Resultatet visar en sannolikhetsfördelning av vilka bränslen/tekniker som påverkas vid olika temperaturer, vilket sedan kan kopplas till när det är som mest eller minst miljömässigt lönsamt att använda energi. Resultatet ska ligga till grund för val av energilösningar i byggnader.

Utvecklingen av metoden har skett i kontakt med Fortum Värme i Stockholm och Tekniska verken i Linköping. I projektet har vi tagit fram en indatafil i samarbete med ovan nämnda fjärrvärmebolag. Indatafilen kan användas för att från fjärrvärmebolagen samla den produktionsinformation som behövs för att simulera förändringskonsekvensen. En känslighetsanalys gjordes med Tekniska Verkens fjärrvärmenät för att reda ut vilka parametrar som spelade störst roll för att få ett trovärdigt resultat utan att modellen blev onödigt komplex.

Metoden tar hänsyn till kort- och långsiktiga förändringskonsekvenser. Den kortsiktiga förändringskonsekvensen beräknas utifrån dagens anläggningspark och historiska produktionsdata. Framtidens förändringskonsekvenser tar hänsyn till hur fjärrvärmebolaget beräknar att anläggningspark och värmeunderlag kommer att utvecklas de kommande 15 åren. Metodiken för långsiktiga konsekvenser behöver dock utvecklas.

Kvantifiering av klimatpåverkan

För att kvantifiera påverkan på miljön används emissionsfaktorer för utvalda miljöpåverkanskategorier. I denna rapport visar vi resultat för klimatpåverkan. Det är dock fullt möjligt att beräkna även andra miljöaspekter (såsom påverkan på försurning och övergödning) samt påverkan på resursanvändningen (exempelvis genom att utgå från primärenergianvändning eller annat mått på resurseffektivitet). För tillgång till andra miljödata hänvisas till exempelvis Miljöfaktaboken 2011 (Gode m.fl. 2011) och för mer information om andra mått på resursanvändning hänvisas till Gode m.fl. (2015).

Klimatpåverkan

Klimatpåverkan omfattar utsläpp av fossil koldioxid (CO₂) samt metan (CH₄) och lustgas (N₂O). För att räkna samman klimatpåverkan av olika växthusgaser används IPCCs senaste uppskattning av Global Warming Potential i ett 100-årsperspektiv med hänsyn taget till så kallad ”climate-carbon feedback” (Myhre m.fl. 2013). Enligt denna uppskattning påverkar ett gram metan klimatet lika mycket som 34 g CO₂. Ett gram lustgas motsvarar 298 g CO₂. Särskilt för metan är detta högre jämfört med IPCCs tidigare uppskattningar. Ändå ger både metan och lustgas oftast bara små bidrag till klimatpåverkan för nästan alla energislag. En växthusgas påverkan på klimatet i förhållande till koldioxid uttrycks i koldioxidekvivalenter (CO_{2e}). Emissionsfaktorn för klimatpåverkan blir alltså g CO_{2e}/kWh. Emissionsfaktorer för klimatpåverkan har i projektet hämtats från Miljöfaktaboken 2011 (Gode m.fl. 2011) om inget annat anges.

Värdering av kraftvärme

I projektet har vi utgått från den så kallade kraftbonusmetoden, som är en typ av systemutvidgning och används för att beskriva vad som händer i ett större energisystem vid förändring av värmeproduktionen. Metoden innebär att den el som produceras i ett kraftvärmeverk får samma miljövärde som den el den ersätter. Teoretiskt kan vilken el som helst användas i metoden, men mest verklighetsnära är att använda den el som bedöms utgöra den verkliga förändringskonsekvensen. Mer om metoder för värdering av kraftvärme i miljövärdering finns att läsa i Martinsson m.fl. (2012).

Värdering av värme från avfall

En inte helt självklar fråga är hur värme från avfallsförbränning ska värderas. I detta projekt är fokus på konsekvensanalys, vilket innebär att studera effekterna i ett systemperspektiv av förändrad efterfrågan på fjärrvärme. I de fall då avfallsförbränning ingår i förändringskonsekvensen behöver därmed effekter av att öka eller minska avfallsförbränningen analyseras. Till en början är det viktigt att påpeka att detta kan variera mellan olika avfallsförbränningsanläggningar beroende på vilken typ av avfall som eldas, hur tillstånden ser ut och liknande. Vårt projekt syftar till att ta fram en generell metod för att identifiera konsekvenser i olika fjärrvärmenät av ökad eller minskad efterfrågan på värme under olika tidpunkter på dygnet, året och över åren. Därför analyserar vi flera olika alternativa konsekvenser. I detta avsnitt beskrivs några synsätt kring värdering av värme från avfallsförbränning i konsekvensperspektiv.

Bakgrund

Avfallsförbränningen byggdes ut kraftigt i Sverige under seklets första decennium för att hantera det brännbara avfall som genereras inom landet och som sedan 2002 inte

längre får deponeras⁶. I Sverige år 2013 gick cirka 2,2 miljoner ton hushållsavfall, samt 3 miljoner ton övrigt avfall till förbränning. Förutom det så importerades ca 831 kton avfall till energiåtervinning, varav drygt 300 kton var hushållsavfall, i huvudsak från Norge (Avfall Sverige, 2014). Förbränningskapaciteten för avfall i Sverige är drygt 5 miljoner ton i energiomvandlingsanläggningar (Avfall Sverige, 2012a). Andra typer av avfall⁷ eldas även inom industrin, men det finns i dagsläget inga säkra siffror på hur stor denna kapacitet är (Avfall Sverige, 2012a).

Under de senaste åren har det funnits ett överskott i Sverige på förbränningskapacitet och svenska anläggningar för avfallsförbränning har tagit emot avfall från andra länder för att kapaciteten ska utnyttjas så mycket som möjligt. Trots överkapaciteten fortsätter byggnationen av nya förbränningsanläggningar (Avfall Sverige, 2012b, Profu, 2013). Det kan förklaras med att det är god ekonomi i att utvinna energi ur avfall i Sverige. Anläggningarna är dyra att bygga, eftersom det ställs stora krav på tekniken för både förbränningen och rökgasreningen, men när anläggningarna väl är i drift får dess ägare intäkter genom att ta betalt både för att ta emot det brännbara avfallet och för att leverera den energi som utvinns.

Eftersom de rörliga kostnaderna är mycket låga, för att inte säga negativa, blir avfallsförbränningen en del av baslastproduktionen i de fjärrvärmenät där den finns. Under det första decenniet av den kraftiga utbyggnaden av avfallsförbränning var drivkraften för investeringar i avfallsförbränning alltså främst behovet att ta hand om det svenska avfallet. Då styrdes investeringarna sannolikt av prognoser för den framtida mängden brännbart avfall i Sverige. Numera är drivkraften snarare ekonomisk. Därmed är det rimligt att anta att investeringar i avfallsförbränning påverkas av efterfrågan på baslastvärme.

Graden av materialåtervinning har ökat kraftigt i Sverige de senaste två decennierna, särskilt under första hälften (Avfall Sverige, 2014). Det pågår dock kraftfulla åtgärder för att öka materialåtervinningen från exempelvis textilier och plast. Mycket tyder alltså på att materialåtervinningen kommer att öka, vilket innebär att framtida svenska avfallsbränslen troligtvis får en annan sammansättning än den har idag. Det kan också innebära att framtida avfallsmängder inte kommer att öka på samma sätt som de gjort historiskt. Det är dock svårt att ta fram prognoser för framtida avfallsflöden då genererad mängd avfall beror på en rad olika faktorer, framförallt produktions- och konsumtionstrender. Inom forskningsprogrammet Hållbar avfallshantering har simuleringar gjorts för ett antal olika scenarier med avseende på framtida avfallsmängder (Sundqvist m.fl., 2010). I referensscenariot utgår man från att de totala avfallsmängderna i Sverige kommer att öka, detta bygger på antaganden om en fortsatt ökning av BNP samt en viss fortsatt koppling mellan ökad tillväxt och ökade

⁶ Från 2002 var det förbjudet att deponera utsorterat brännbart avfall och från 2005 att deponera organiskt avfall.

⁷ De avfall som eldas i industrin är främst däck, rejekt från plaståtervinning, rejekt från pappersåtervinning, industriella slam samt olika former av farligt avfall innehållande olja och lösningsmedel.

avfallsmängder. I ett par av de andra studerade scenarierna är avfallsmängden istället nästan konstant fram till år 2030, beroende på andra antaganden om marknadsmekanismer och miljömedvetenhet.

Marginalavfall enligt litteraturen

Flera rapporter pekar på att import av avfall även fortsatt kommer att vara på marginalen för avfallsförbränningsanläggningar i Sverige (Avfall Sverige, 2012a; Svensk Fjärrvärme, 2011).

Gode m.fl. (2013) analyserade primärenergifaktorer för marginalbränslen där avfall var ett bränsle som studerades. Slutsatsen från den studien är att importerat avfall utgör marginalavfall sett ur ett svenskt perspektiv. På kort sikt utgörs detta av avfall från Norge och på lång sikt av avfall från Europa (exemplifierat i studien av avfall från Italien). Studien gick inte in på djupet kring vad alternativåtgärderna för avfallet i det exporterande länderna skulle vara.

Två studier Gode m.fl. (2011, 2012) analyserade primärenergifaktorer och emissionsfaktorer för användning av avfall för kraftvärmeproduktion. Analyserna hade dock fokus på miljövärdering med bokföringsperspektiv. I detta projekt är fokus på konsekvensanalys och då kan inte samma principer användas.

Exempel på konsekvenser av förändrad energianvändning

En energilösning i en byggnad, som påverkar behovet av baslastvärme, kan ge olika konsekvenser på avfallssystemet. Konsekvenserna kan vara mycket komplexa och skilja sig åt mellan olika anläggningar. De kan också variera mellan år för ett och samma kraftvärmeverk beroende på vilket avfall som tas in till anläggningen. Variationer förekommer också i perspektivet kort sikt (ca 0-5 år) och lång sikt (5-20 år). Nedan beskrivs fyra tänkbara konsekvenser; att importen av avfall påverkas, att avfall lagras till andra säsonger (om möjligt), att avfallsvärme kyls bort då avfallet måste förbrännas eller att kapaciteten för avfallsförbränning påverkas.

Konsekvens 1: Förändrad import av avfall

Sverige har en väl utbyggd kapacitet för avfallsförbränning och förhållandena är gynnsamma eftersom värmebehovet är högt jämfört med många andra länder. Avfall importerar därför i relativt stora mängder för att förbrännas i svenska anläggningar. Importen idag sker främst från Norge (Avfall Sverige, 2014). En minskad efterfrågan på värme från avfall i sådana anläggningar kan alltså innebära att importen av avfall minskar och analys av minskad avfallsförbränning måste då omfatta konsekvenserna även i de länder från vilka Sverige importerar avfall. Resultatet är beroende av hur avfallet skulle ha behandlats i det exporterande landet om det inte skickats till Sverige. Vilka dessa konsekvenser blir kan variera. Tidigare studier har vanligen hänvisat till att den alternativa behandlingen är deponering i det land där avfallet uppkommer. Detta antagande är relevant om man betraktar dagsläget, men kan ifrågasättas om man tittar framåt i tiden. Utvecklingen av avfallshanteringen i Europa

under 2000-talet kännetecknas av minskad deponering, ökad återvinning (inkl. biologisk behandling), ökad förbränning samt ökad mekanisk-biologisk behandling (MBT)⁸ som förbehandling före deponering. För det avfall som skickas till förbränning i Sverige är återvinning och MBT realistiska alternativ om man ser på några års sikt eftersom alla EU-länder förväntas utveckla sin avfallshantering så att deponering minskar och energiåtervinning och materialåtervinning ökar (Sundqvist, pers. kom. 2015). När i tiden detta inträffar är omöjligt att förutspå. Vidare är situationen olika i olika länder. För länder med dålig avfallshantering är det främst MBT med rötning som är alternativet när man undviker deponering, men i andra länder kan det vara materialåtervinning som är mest realistiskt alternativ.

Sammantaget är det alltså inte självklart vad konsekvensen av minskad avfallsimport är. Av detta skäl har vi gjort några olika beräkningar, se vidare nedan. I dagsläget måste den mest sannolika konsekvensen bedömas från fall till fall.

Konsekvens 2: Lagring av avfall

Det finns anläggningar som förbränner avfall som kan lagras till andra säsonger. Sådant avfall kan exempelvis vara PTP (Papper-Trä-Plast). Konsekvensen av minskad efterfrågan på värme från dessa avfallsförbränningsanläggningar blir då troligen att avfallet lagras för förbränning vid annan tidpunkt. Effekten kan dock också bli att avfallet förbränns för enbart elproduktion och att värmen kyls bort. Detta sker troligen främst om elpriset är på en sådan nivå att det är ekonomiskt gynnsamt. I det fallet avfallet lagras behöver de sekundära konsekvenserna analyseras. Troliga alternativ är antingen ökad materialåtervinning i Sverige eller annat land eller att avfallet förbränns i annan anläggning. Alternativet förbränning i annan anläggning innebär troligen, vid ytterligare systemutvidgning, att konsekvensen på marginalen blir att importen av avfall minskar.

Sammantaget finns alltså två troliga konsekvenser av minskad efterfrågan på värme från avfall som kan lagras. Den ena konsekvensen är ökad materialåtervinning i Sverige och den andra är minskad import av avfall (se konsekvens 1 ovan).

Konsekvens 3: Bortkylning av värme

Under sommartid förbränns avfall i många situationer av andra skäl än för värmeproduktion, till exempel för att producera el eller för att det inte finns tillstånd att lagra avfallet en längre tid. Det förekommer att värmebehovet är så lågt att den producerade värmen måste kylas bort. Huvudaktiviteten kan då, beroende på förutsättningar, vara bortskaffning/kvittblivning snarare än energiåtervinning. Det finns en formel⁹ i EU:s avfallsdirektiv som används för att bedöma när avfallsförbränning är bortskaffning respektive återvinning. Den innebär grovt räknat

⁸ MBT = Mechanical-Biological Treatment

⁹ Formeln innebär att producerad el multipliceras med 2,6 och producerad värme med 1,1. Om den sammanlagda energieffektiviteten då överskrider 0,65 är det att betrakta som återvinning, annars bortskaffning/kvittblivning.

att en anläggning som framställer 25 % el och ingen värme ligger på gränsen. Vid högre elverkningsgrad ska anläggningen alltså betraktas som en energiåtervinningsanläggning. I detta fall finns olika tänkbara värderingar av värme från avfall. En möjlighet är att värmen inte ska bära några förändringskonsekvenser alls utan att all miljöpåverkan allokeras till den producerade elen eller till bortskaffningen. Ett annat synsätt är att behovet av att förbränna avfall har minskat och vid ytterligare systemutvidgningar innebär det troligen att det återigen är importen av avfall som påverkas.

Sammantaget finns åtminstone två tänkbara konsekvenser vid alternativet att avfallsvärme kyls bort. Det ena är att värmen från avfall inte bär några marginaleffekter alls och det andra och kanske mest troliga är att importen av avfall påverkas (se konsekvens 1 ovan).

Konsekvens 4: Förändrad kapacitet

En stadigt minskad efterfrågan på värme från avfall kan komma att påverka investeringsplaner för nya avfallsförbränningsanläggningar samt investeringar i befintliga. På så sätt kan byggmarginalen påverkas. Detsamma gäller förstås för andra bränslen och produktionstekniker än avfallsförbränning. Den metod för fjärrvärmemarginal som vi utvecklat i detta projekt bygger på att varje fjärrvärmebolag själva gör en bedömning av framtida produktionskapacitet och i denna finns alltså inkluderat vilka investeringar och/eller nedläggningar som görs. Detta alternativ kan alltså inte kvantifieras generellt utan ingår i metoden för att identifiera de långsiktiga konsekvenserna i fjärrvärmesystemet.

Kvantifiering av värderingsalternativ

Vilken betydelse för miljön minskad efterfrågan på värme från avfall har beror helt på vad som händer med avfallet om det inte används för värmeproduktion. Som framgår ovan kan de flesta direkta effekter av förändrat behov av värme från avfallsförbränning efter systemutvidgning anses påverka importen av avfall till Sverige. En alternativ konsekvens kan vara ökad materialåtervinning i Sverige.

WAMPS (Waste Management Planning System) är en av IVL utvecklad LCA-modell för avfallshantering (<https://wamps.ivl.se/prod/>). Med hjälp av WAMPS har vi exemplifierat fyra tänkbara scenarier för vad som hade varit den alternativa åtgärden i utlandet om avfallet inte hade exporterats till Sverige för förbränning.

Förutsättningarna är att 100 000 ton hushållsavfall uppkommer i ett annat land och behandlas på olika sätt. De fem studerade scenarierna är:

0. **Referensscenario. Förbränning i Sverige:**
Hela mängden transporteras till avfallsförbränning i Sverige.
1. **Scenario 1. MBT med rötning:**
Hela mängden behandlas på plats i en MBT-anläggning där det organiska

avfallet rötas före deponering. En RDF-fraktion sorteras ut och används som bränsle i det egna landet.

2. **Scenario 2. Materialåtervinning.**

Återvinningsbara material sorteras ut och återvinns i det egna landet. Restavfallet skickas till förbränning i Sverige. Det har antagits att återvinningsgraden är 50 % för de material som går att återvinna: tidningar, pappersförpackningar, plastförpackningar, glasförpackningar, metallförpackningar och metallskrot samt bioavfall.

3. **Scenario 3. MBT med kompostering:**

Hela mängden behandlas på plats i en MBT-anläggning där det organiska avfallet stabiliseras aerobt ("kompostering") före deponering. En RDF-fraktion sorteras ut och används som bränsle i det egna landet.

4. **Scenario 4. Deponering:**

Hela avfallsmängden deponeras i det egna landet.

Resultatet av beräkningarna visas i Tabell 5¹⁰. Resultaten ska enbart ses som exempel och kan inte användas generellt eftersom de är baserade på vissa specifika förutsättningar som inte är generella för alla situationer. Exempelvis har antaganden gjorts för fjärrvärme och el, vilka inte helt överensstämmer med den metod som utvecklats i detta projekt.

Tabell 5. Tabellen visar resultatet för 100 kton hushållsavfall som istället för att importeras till Sverige för förbränning (referensen) behandlas lokalt i det andra landet med olika metoder. Scenario 1-3 kan även innebära alternativa behandlingar i Sverige istället för förbränning. I dessa fall är dock utsläppen från transport av avfallet högt räknade. Siffrorna avser skillnaden i miljöpåverkan i de olika scenarierna jämfört med referensen. Negativa siffror innebär att miljöpåverkan är mindre i det aktuella scenariot jämfört med referensen.

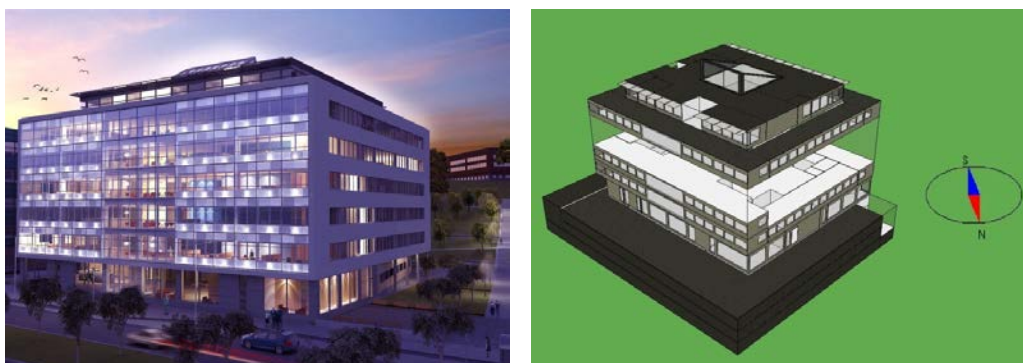
Miljöpåverkanskategori	Enhet	1. MBT med rötning	2. Materialåtervinning plus förbränning	3. MBT med kompostering	4. Deponering
Klimatpåverkan	kton CO _{2e}	-14	-34	-18	36

Fallstudier byggnader

Fallstudierna är till för att testa och illustrera metoden och har gjorts på kontorsbyggnaden Gångaren 16 på Kungsholmen i Stockholm. Kvarteret Gångaren 16 projektutvecklades av Skanska Fastigheter och såldes därefter och ägs idag av AFA Fastigheter. Byggnaden klassades 2012 som GreenBuilding och certifierades samma år enligt det amerikanska miljöklassningssystemet LEED med det högsta betyget

¹⁰ Vid beräkningarna har följande antaganden och förenklingar gjorts: 1) I beräkningarna är slupna emissioner inkluderade från återvunnen energi och återvunna material. 2) Vid förbränning i Sverige ersätts fjärrvärme som annars skulle ha producerats av biobränslekraftvärme. 3) Vid användning av rötgas och deponigas i det andra landet antas el (25 %) och värme (75 %) framställas med 80 % verkningsgrad. 4) Insamling av avfallet är inte medräknat. Inga lokala transporter har tagits med, bara de internationella transportererna med lastbil (ca 3 * 30 m³ per ekipage) som antagits vara 3000 km per enkelresa.

Platinum (SGBC 2014b,c). Byggnaden är ansluten till Fortum Värmes fjärrvärmenät. I Figur 14 visas byggnadsmodellen för kvarteret Gångaren 16, dess uppbyggnad och riktning.



Figur 14. Till vänster: Översiktsbild kontorsbyggnad Gångaren 16. Till höger: Byggnadsmodell (Skanska 2014)

Byggnaden är modellerad i energisimuleringsprogrammet IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) och modellen är erhållen av Skanska Fastigheter.

Studerade energilösningar

I Tabell 6 presenteras de fallstudier som gjorts för att testa och utveckla metoden för miljövärdering av energilösningar i byggnader. Resultatet från fallstudierna presenteras i form av total energianvändning uppdelat på el, fjärrvärme och fjärrkyla med timupplösning.

Tabell 6. Fallstudier för energilösningar i byggnader.

Fallstudie	Kommentar	Programvara
Referensbyggnad	Kopplad till fjärrvärme- och fjärrkylanätet.	IDA ICE
Solvärme till fjärrvärmenät	Kopplad direkt till fjärrvärmenätet. Dimensionerad efter tillgänglig takyta (1000 m ²). Täcker större delen av fjärrvärmebehovet på årsbasis.	Matlab, Excel
Solvärme säsongslager	Kopplad till ett energilager, ej till nätet. Dimensionerad för att täcka större delen av fjärrvärmebehovet på årsbasis (1000 m ²).	Matlab, Excel
Solceller	Effekt om 90 kW _p dimensionerad efter takets storlek (1000m ²)	PV syst, Excel

Bilaga 2. Emissionsfaktorer

Tabell 7 visar de emissionsfaktorer för växthusgaser som använts i beräkningarna.

Tabell 7. Emissionsfaktorer för växthusgaser i livscykelperspektiv. Källa är Miljöfaktaboken 2011 (Gode m.fl. 2011) om inte annat anges. η = verkningsgrad. Emissionsfaktorerna för elproduktionstekniker inkluderar inte förluster vid distributionen av elenergi. Emissionsfaktorer för värmeproduktion anges inte då de ska beräknas för varje specifikt fjärrvärmenät.

Teknik/energislag/bränsle	Enhet/värde	Källor och kommentarer
BRÄNSLEN:	g CO_{2e}/kWh_{bränsle}	
Stenkol	385	
EO1	291	
EO2	301	
EO3-5	301	
Naturgas	247	
Övrigt fossilt	301	
Industriell spillvärme	12	Avser hjälpenergi för pumpning
Avfall (allokering till avfallssystemet)	12	Endast hjälpenergi. Andra synsätt, se Bilaga 1.
Avfalls- och restgas	10	Endast hjälpenergi.
Primära trädbränslen	37	
Sekundära trädbränslen	16	
RT-flis	11	
Pellets, briketter och pulver	19	
Bioolja	9	
Tallbeckolja	9	
Övriga biobränslen	37	
Torv	433	
ELPRODUKTIONSTEKNIKER:	g CO_{2e}/kWh_{el}	Källor och kommentarer
Existerande kolkraft – låg prestanda	1099	η = 35 %.
Existerande kolkraft – hög prestanda	884	η = 43,5 %.
Ny kolkraft	699	η = 55 % (Bärring m.fl. 2000).
Existerande oljekondens	703	η = 39 % (Brännström-Norberg m.fl. 1996).
Existerande eldimensionerad naturgaskraftvärme	414	η = 55 % (Naturvårdsverket 2005)
Ny eldimensionerad naturgaskraftvärme	342	η = 65 % (Genrup 2015).
Nya naturgasturbiner	494	η = 45 % (Genrup & Jonshagen 2011). Utsläpp per bränsle antas vara samma som för kraftvärme.
Kärnkraft	4	
Solel låg	39	Edenhofer m.fl. (2012)
Solel hög	84	Edenhofer m.fl. (2012)
Ny eldimensionerad biogaskraftvärme	120	η = 65 % (antaget samma som för naturgas).

Bilaga 3. Workshop marginalet

Den 15 september 2014 anordnades en forskarworkshop inom projektet med syfte att diskutera marginaletens eventuella tidsupplösning på kort och lång sikt. I denna bilaga redogörs för program, deltagare samt huvudsakliga slutsatser. Observera att några av slutsatserna är sammanfattade av rapportförfattarna utifrån diskussionerna vid workshopen. Det innebär således inte att samtliga deltagare står bakom dessa.

Workshopens upplägg och förberedelser

De frågeställningar som främst avhandlades vid workshopens gruppdiskussioner var:

1. Är dagens marginal i elsystemet dynamisk eller inte?
2. Kommer framtidens marginal i elsystemet vara dynamisk eller inte?

Inför workshopen bidrog de flesta av de elva inbjudna deltagarna med korta skriftliga inlägg. Under workshopen gav sex av deltagarna muntliga presentationer eller inlägg.

Program

Workshopen omfattade huvudsakligen följande moment:

- Beskrivning av projektet och frågeställningen
- Kort genomgång av delsvar från litteraturen
- Muntliga presentationer och inlägg av deltagarna
- Gruppdiskussioner
- Gemensamma diskussioner
- Sammanfattning

Deltagare

Tomas Ekvall, IVL (moderator)
 Ida Adolfsson, IVL
 Christer Bäck, Svenska kraftnät
 Erik Dotzauer, Fortum Värme
 Oskar Ekman, Fortum R&D
 Jenny Gode, IVL
 Jonas Gräslund, Skanska
 Lars Joelsson, Vattenfall
 Filip Johnsson, Chalmers
 Fabian Levihn, KTH
 Fredrik Martinsson, IVL
 Anna Krook Riekkola, LTU
 Lennart Söder, KTH
 Magnus Thorstensson, Svensk Energi
 Thomas Unger, Profu

Några slutsatser från workshopen

Dagens driftmarginal

Frågan om dagens driftmarginal beror på tidpunkten då elenergin används diskuterades först i smågrupper och därefter av hela gruppen gemensamt. Det rörde nära på konsensus bland deltagarna om att dagens driftmarginal inte är dynamisk, det vill säga att den inte varierar över vare sig dygnet eller året. Orsaken till det är att vattenkraften bedöms kunna reglera förändringar i efterfrågan såväl över dygnet som över säsongerna. Det innebär att den elproduktion som ligger på marginalen inte skiljer sig över dygnet eller över året. Det var relativt samstämmigt vid workshopen att denna marginal vanligtvis är elproduktion från fossila bränslen, främst kol, utomlands (exempelvis i Danmark och Tyskland). Det kan förekomma variation i vilka exakta anläggningar som utgör marginalproduktionen, därmed kan prestanda på marginaleden variera något.

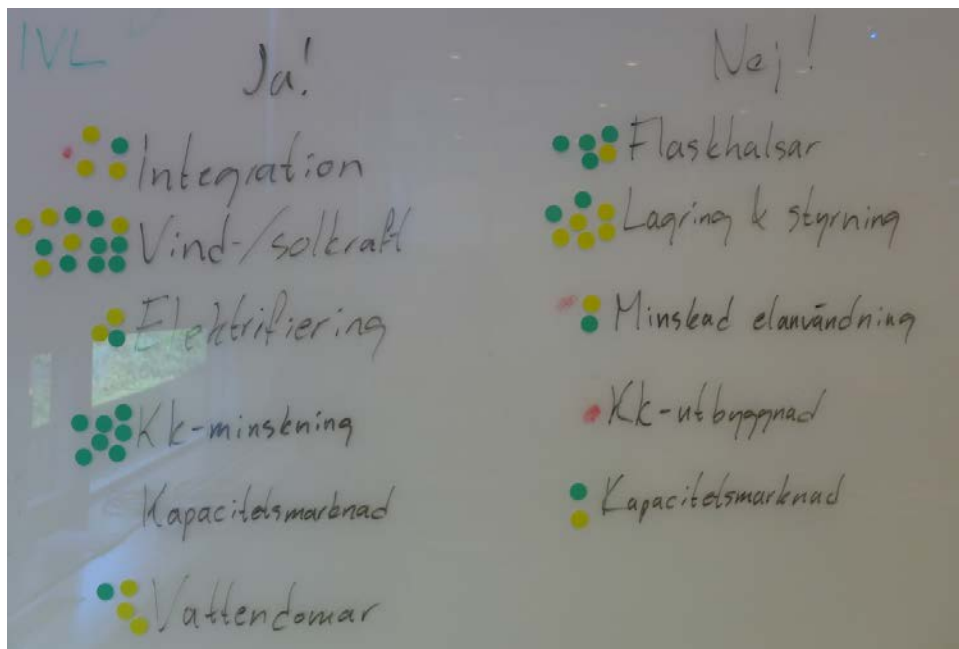
Framtidens marginalet

Man diskuterade framtidens driftmarginal i elsystemet, men mycket av diskussionen har också kraftig bäring på framtidens byggmarginal.

Under de närmaste decennierna kan mycket komma att ändras i elsystemet. En del av dessa faktorer talar för att driftmarginalen blir mer dynamisk, medan andra faktorer talar emot.

Workshopens deltagare listade vilka faktorer som kan avgöra om driftmarginalen kommer att vara dynamisk år 2030. Dessa faktorer diskuterades i grupper. Därefter markerade deltagarna individuellt på en whiteboard vilka faktorer och osäkerheter hen ansåg var viktigast. För denna omröstning fick varje deltagare tre gröna punkter för att markera sådant som antagligen kommer att hända och vara viktigt. Hen fick också tre gula punkter för att markera sådant som blir viktigt om det inträffar, men där det är osäkert om detta kommer att hända. Till sist fick deltagarna möjlighet att sätta en röd punkt vid en faktor de ansåg inte komma att hända till år 2030. Resultaten av omröstningen visas i Figur 15.

Resultaten visar att deltagarna ansåg att en utbyggnad av vind- och solkraft och annan intermitterande elproduktion kommer att bli viktig. Många deltagare ansåg också att kärnkraftsreaktorer kommer att avvecklas och att detta är en viktig faktor som påverkar framtidens marginalproduktion (såväl drift- som byggmarginal). Både dessa faktorer talar för att marginalen år 2030 kommer att vara dynamisk. Omröstningens resultat som helhet talar för samma sak. Med dessa resultat som grund är det rimligt att anta att driftmarginalen år 2030 kommer att variera över dygnet och/eller med årstiderna.

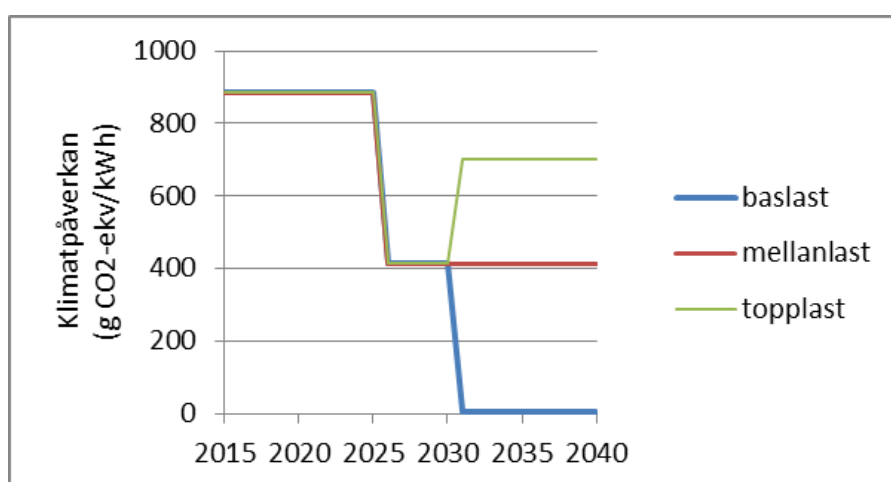


Figur 15. resultat från workshopens omröstning kring vilka faktorer som kommer att avgöra om driftmarginalen år 2030 är dynamisk eller ej. (Gröna punkter: viktig och sannolik utveckling. Gula punkter: viktig men osäker utveckling. Röda punkter: osannolik utveckling.)

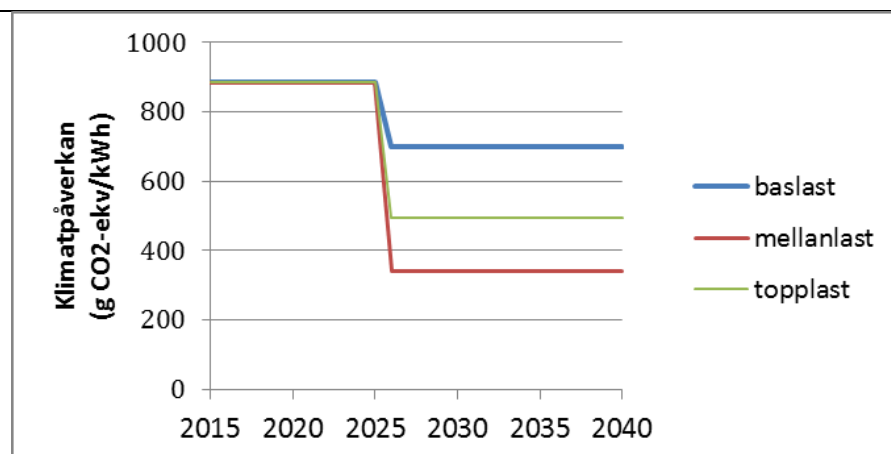
Enskilda deltagare på workshopen anmärkte också att år 2030 ligger för nära i tiden för att flaskhalsarna i elsystemet ska hinna byggas bort och det svenska elsystemet ska hinna integreras med kontinenten. Det är också alltför kort tid för att nya kärnkraftverk ska kunna vara byggda, även om den politiska viljan till det skulle finnas. Det första talar för att framtidens driftmarginal trots allt kan komma att vara oberoende av klockslag och årstid, men det andra stärker slutsatsen att driftmarginalen kommer att vara dynamisk år 2030. En viktig faktor för utbyggnadstakten av överföringskapacitet är förstås också i vilken utsträckning det är samhällsekonomiskt lönsamt.

Bilaga 4. Kvantifiering av elscenarier

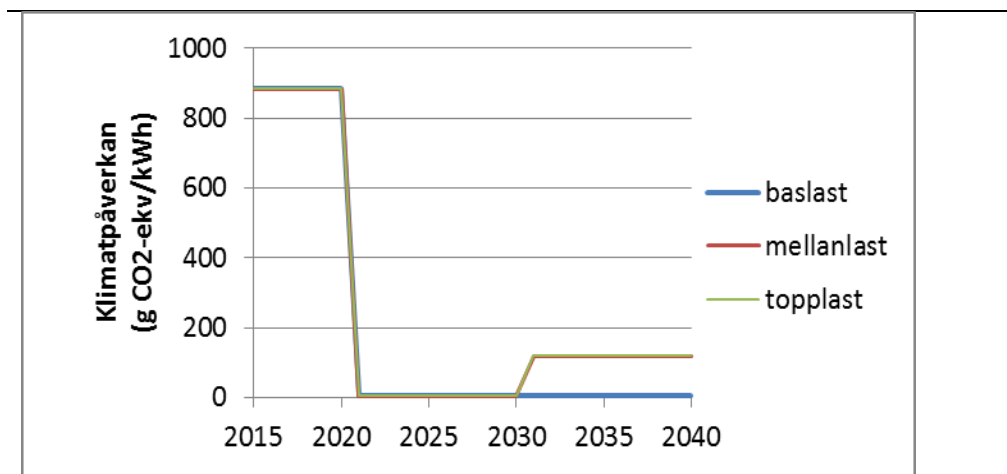
I projektet har tre olika elscenarier tagits fram – ett referensscenario, ett klimatsnålt scenario och ett klimattungt scenario. Antaganden framgår av avsnitt 5. I Figur 16, Figur 17 och Figur 18 presenteras resultat för beräkning av klimatprestanda för de olika scenarierna och hur prestanda varierar dels över åren och dels beroende på om det är baslast, mellanlast- eller topplastid.



Figur 16. Klimatpåverkan från marginalelsproduktion i referensscenarioet.



Figur 17. Klimatpåverkan från marginalelsproduktion i det klimattunga scenariot.



Figur 18. Klimatpåverkan från marginaelproduktion i det klimatsmåla scenariot.

Bilaga 5. Identifiering av bas-, mellan- och topplastperioder i elsystemet

För att beräkna konsekvenserna av en viss energilösning behövs information om hur energilösningen påverkar efterfrågan av elenergi vid bas-, mellan- och topplast under olika år. Nedan beskrivs två tänkbara metoder för att komma fram till detta. Det går inte att avgöra när det faktiskt kommer att vara baslasttid, mellanlasttid respektive topplasttid under ett givet år på 2030-talet. För att göra en miljöbedömning som tar hänsyn till de långsiktiga effekterna krävs antaganden. Vi ger här exempel på två olika metoder för att komma fram till ett sådant antagande.

Den första metoden utgår ifrån en kvantitativ analys av dagens elsystem och möjliga framtida elsystem. Metoden bygger på antagandet att elförbrukningens fördelning över året kommer att vara densamma i framtiden, men kan i övrigt ta hänsyn till all tillgänglig kunskap om framtiden. Metoden kan beskrivas i följande steg:

1. Välj tidsupplösning: exempelvis månader eller årstid, kombinerat med dagtid/natttid och vardag/helg.
2. Identifiera medelvärdet av elbehovet för varje tidsperiod under året med hjälp av statistik från de senaste åren.
3. Dela upp de olika existerande produktionsanläggningarna i bas-, mellan- och topplastanläggningar.
4. Undersök tillgängligheten för varje kraftslag under olika säsonger samt under dag och natt. Kraftverkens tillgänglighet kan antas vara densamma under helger som under vardagar.
5. Beräkna den tillgängliga produktionskapaciteten i baslasten, mellanlasten och topplasten för varje tidsperiod under året genom att multiplicera kraftslagets tillgänglighetsfaktor med den installerade effekten.
6. Jämför medelvärdet av efterfrågan för varje tidsperiod under året med den tillgängliga produktionskapaciteten under det aktuella året, för att på så sätt identifiera vilken kapacitet som påverkas i de olika tidsstegen.
7. Upprepa steg 2-6 för olika framtida scenarier genom att skala upp/ned elbehovet och ändra den installerade produktionskapaciteten i olika kraftslag.

Forskning som stärker fjärrvärme och fjärrkyla, uppmuntrar konkurrenskraftig affärs- och teknikutveckling och skapar resurseffektiva lösningar för framtidens hållbara energisystem. Kunskap från Fjärrsyn är till nytta för fjärrvärmebranschen, kunderna, miljön och samhället i stort. Programmet finansieras av Energimyndigheten tillsammans med fjärrvärmebranschen och omsätter cirka 19 miljoner kronor om året. Mer information finns på www.fjarrsyn.se



MILJÖVÄRDERING AV ENERGILÖSNINGAR I BYGGNADER

Metod för konsekvensanalys



Energimyndigheten

