

RESURSINDEX FÖR ENERGI



RAPPORT 2011:7

... mellanlastenhet. Energimått
baslasten, hela mellan lasten, etc red
årets fjärrvärmeproduktion. Fördel
anges i %.

R_{index}

1,31

1,18

1,40

0,75

0,64

0,66

0,55

0,20

0,26

0,15

0,22

0,34

2,56

olja, 2%

a, 13%

+ spets

ts, 17%

1%

V bio, 13%

Vavfallkross, 32%

V avfall 33%

värme medel

ergi

tabellen framgår att fjärrvärme i sin helh
lenergi i en miljövalssituation då elener
are framgår att det stora språnget sker v
lanlast, jämfört med indexökningen när
tslast. Eftersom spetslasten dessutom är
lysfelet också litet om ett medelvärde f
hela lasten över baslastnivån. De olika
tta fall små variationer i energiindex för

otera att bioolja som är populär inom f
örnybar, ger en större resurspåverkan än
ör bioolja är osäker (pga av bristande un
nen ger ett rimligt värde på resursbehov

4.1.3.2 Stor ort, typfjärrvärme

I inventeringen används alternativprodu
Det innebär att vi int

RESURSINDEX FÖR ENERGI

-konsekvensanalys för byggnader med fjärrvärme

MARTIN ERLANDSSON
EJE SANDBERG

FÖRORD

En hållbar energiförsörjning är ett centralt mål i svensk och europeisk politik. Vägen dit går över successiva förändringar av energisystemet. För att kunna hålla koll på om förändringarna leder mot målet eller inte krävs emellertid utvärderingsverktyg som kan användas för att bedöma hållbarheten i användningen av olika energiresurser. Primärenergi är ett begrepp som har framförts i detta sammanhang. Begreppet är emellertid inte så klagörande som man kan önska. Det beaktar till exempel inte resursknapphet på ett i hållbarhetssammanhang tillfredsställande sätt.

Mot den bakgrunden har marknadsrådet tagit initiativ till detta FoU-projekt för att utveckla begrepp och verktyg för att bedöma hållbarheten i användningen av olika energiresurser i allmänhet och i byggnader i synnerhet. Rapporten är tänkt att användas som input till det arbete som myndigheter och andra offentliga organisationer gör på hållbarhetsområdet liksom som uppslag till vidare forskning.

Rapporten har tagits fram av Martin Erlandsson, IVL Svenska Miljöinstitutet, och Eje Sandberg, Aton Teknik AB. Martin Erlandsson har huvudsakligen ansvarat för värderingen av energiresurserna och Eje för beräkningarna och tillämpningarna i byggnaderna. Till hjälp har de haft en referensgrupp bestående av Björn Söderberg Värmevärden, Jonas Gräslund Skanska Kommersiell Utveckling Norden, Per Forsling Fastighetsägarna Stockholm, Peter Dahlström E.ON Värme Sverige, Claes Wallin Tekniska Verken i Linköping och Mikael Gustafsson Svensk Fjärrvärme.

Henrik Rosengren

Ordförande i Svensk Fjärrvärmes Marknadsråd

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

SAMMANFATTNING

Effektivare energianvändningen är idag ett viktigt politiskt mål. Till 2050 ska energianvändningen minska med minst 50 % och nyproducerade byggnader ska inom 10 år vara utformade som "nästan nollenergihus". Men vad är egentligen energieffektivt? Är det enbart de köpta kilowattimmarna hos kunden som ska räknas eller ska hänsyn också tas till energiåtgången fram till kunden, från "vagga till grav", fossil energi eller förnybar, energipriset, klimatpåverkan, etc?

När vi lyfter blicken från energi levererad vid dörren, så vidgar vi systemgränsen från byggnaden till ett större system, ofta globalt eftersom klimatpåverkan är global. Detta är nödvändigt om vi vill se kopplingen till övergripande politiska mål så som klimatpåverkan, långsiktig hållbarhet, leveransberoende etc, men att värdera olika energislag mot varandra är besvärligt. En sådan värdering kan vara subjektiv eller baseras på mer naturvetenskapliga kriterier. De kan också följa överenskomna standardiserade rutiner för hur data ska samlas in och hur de kan ställas mot varandra, vilket har varit en utgångspunkt för metodiken i denna rapport.

Olika energibärare som elenergi och fjärrvärme kräver olika stora input av energiresurser får därmed olika konsekvenser för mängden energi som i slutänden krävs. Ett sätt att hantera energianvändning i hela kedjan från vagg till grav är begreppet primärenergi. Elenergi från det nordeuropeiska nätet kräver då väsentligt mer energi än t.ex. olja. En vanligt använd primärenergifaktor för elenergi på kontinenten är 2,5. Primärenergi är ett utmärkt sätt att beskriva energieffektiviteten i ett visst system fram till leveranspunkten och därmed systemets resursåtgång. Begränsningen är att primärenergi inte tar hänsyn till energislags hållbarhet. Fjärrvärme producerad med bioenergi får därmed samma primärenergifaktor som fjärrvärme producerad med fossilenergi. Detta begränsar primärenergibegreppet för att värdera energi när olika energikällor används eller ställs mot varandra. Det är oftast fallet för byggnaders energianvändning. Primärenergi är alltså ingen bra indikator på hållbarhet och för att jämföra olika energibärare mot varandra.

I denna studie har en helt ny metod utvecklats för ett energiresursindex (eller kortare energiindex), där vi även beaktar olika energislags hållbarhetsegenskaper vad gäller **uthållighet** och **tillgänglighet**. Detta energiindex används för att bedöma energiresurseffektivitet i ett hållbarhetsperspektiv och kan på så sätt ge en bättre vägledning för vilka energikrävande produktsystem som leder mot en mer hållbar utveckling.

För att på ett analytiskt sätt bedöma miljöpåverkan och hushållning av resurser krävs ett antal delkomponenter som tillsammans utgör ett bedömningssystem. I projektet har följande identifierats och utvecklats;

1. Värdering av uttag och konsumtion av naturresurser

Denna del beskriver en metod för att värdera olika energislag utifrån två begrepp, *tillgänglighet* och *uthållighet*: Tillgängligheten bestäms utifrån energislagets tekniska och ekonomiskt realiserbara potential för en ökad utvinning, ställt i relation till den globala energianvändningen. Uthållighet bedöms utifrån vad som kan anses som ett långsiktigt uthålligt uttag av energislaget, ställt i relation till en acceptabel användning av kol utöver den förindustriella nivån). Metoden följer LCA-standard och värderingen samt knapphet enligt de riktlinjer som framtagits inom EU:s forskningscentra JRC i Ispra för att metoden skall vara vetenskapligt relevant. Den värderingsmodell för att bedöma hållbarheten hos olika naturresurser som tagits fram, resulterar i olika faktorer som anger den relativa storleken för olika energibärare, vilket i en LCA kallas **karaktiseringsfaktorer** (se tabell 1).

2. En inventeringsmodell för att beskriva miljöpåverkan av energivaror

Denna del behövs för att kunna bestämma **energiindex** för olika energivaror (se tabell 2 och 3). Här beskrivs metodiken för att hantera materialåtervinning, hur biprodukter ska hanteras, tidsperspektiv och systemperspektiv. Även denna del följer LCA standarden.

Den metodik som valts utgår ifrån LCA-standard ISO14044 och ligger mycket nära den typ av "produkt-LCA" som används inom systemen för miljövarudeklarationer (ISO 14025). Ett systemperspektiv har valts där den faktiska miljöpåverkan beskrivs (förenklat kallat bokförings-LCA), vilket därmed gör framräknade värden allmänt användbara och adderbara.

För materialåtervinning har en likafördelningsprincip införts mellan det produktsystem som utvinner en resurs och det produktsystem som använder ett sådant återvunnet material för energiutvinning (dvs sekundär materialåtervinning). Detta ger incitament för det första produktsystemet att se till att material går till återvinning samtidigt som det produktsystem som använder det återvunna material får incitament att använda sekundära resurser.

3. En beskrivningsmodell som skildrar orsakssamband för det analyserade byggnads-fjärrvärme-systemet.

Produktionssystemen hos en fjärrvärmeproducent använder olika bränslen och producerar värme med olika effektivitet. I kraftvärmeanläggningar produceras elenergi som en delprodukt. Energieffektivitet och resursåtgång för att producera fjärrvärme varierar därför under året och med värmelastens effektbehov. Hur byggnadens värmelast varierar under året kommer därför påverka miljöegenskaperna i den värme som köps. I utredningen har en metod utvecklats för att analysera samspelet mellan fjärrvärmenät och byggnadens energibehov. Denna metod har sedan tillämpats för att analysera några utvalda typnät. För dessa typfjärrvärmenät, med olika produktionssystem, har ett **resulterande energiindex** bestämts för nätets baslast, mellanlast och spetslast.

I rapporten har en första förenklad analys gjorts för att se hur metoden slår för olika byggnader i ett fjärrvärmenät. Analysen har begränsats till att studera olika åtgärders

effekter (på resursanvändningen) på längre sikt (produktionssystem för 2030). För att kunna göra denna analys har en metod tagits fram som beskriver kopplingen mellan byggnadens och nätets energiprestanda. Analysen bygger på förutsättningen att fjärrvärmeproducenten bygger sina system efter hur kundernas värmeuttag förändras. Därmed kan en viss åtgärds påverkan på värmelastens årsvariation analyseras utifrån ett produktionssystem som anpassats till denna åtgärd. På så sätt behöver vi inte göra osäkra prognoser över hur den framtida lastprofilen egentligen ser ut, men däremot måste antaganden göras om produktionssystemens egenskaper (effektivitet och vilken varaktighetstid som ett kraftvärmesystem kräver).

Olika åtgärder i byggnaden ger olika lastprofiler, dvs värmeuttag under året. I denna utredning har en metod utvecklats för att beskriva sambandet mellan en byggnads värmelast och värmeproducentens produktionssystem. Detta sker genom att bestämma sambandet mellan andel värmeenergi från baslastproduktion (i relation till hela värmebehovet) och hur denna andel varierar med baslastens utnyttjandetid. Som hjälp för analyserna har ett beräkningsstöd utvecklats för den aktuella metoden. Metoden och detta beräkningsstöd gör det enkelt att välja annan utnyttjandetid, andra egenskaper i byggnaden eller andra åtgärder.

I rapporten redovisas resultat för tre byggnadstyper i kombination med olika åtgärder. För exemplet installation av kondenserande frånluftsvärmepump för värme och varmvatten i en befintlig byggnad så halveras köpt energi, men resurspåverkan mer än fördubblas.

Med utarbetad metodik och hjälpverktyg för att bestämma fjärrvärmens energiindex kan tabeller med energiindex utarbetas i kommande arbeten för olika typvärmeverk och olika byggnadstyper eller energisparåtgärder, liksom för andra uppvärmningssystem än fjärrvärme. Det framtagna bedömningssystemet är ett första steg. Finns motiv för att kunna utarbeta egna lokala energiindex kan mer utvecklade beräkningshjälp och stödverktyg behöva utvecklas. Tillämpningsmetodiken för fjärrvärme och byggnader kan naturligtvis även användas för andra värderingsgrunder, så som primärenergi istället för energiindex om värmelastprofilens betydelse för värdering av fjärrvärme ska studeras och är därmed en fristående analysdel.

Resultatdiskussion

Den redovisade metodiken för energiindex kan tillämpas för analyser på helt andra system och för andra systemperspektiv (marginal eller bokföringsperspektiv) och är därför generellt användbar.

Med energiindex erhålls också en ny värdering av vissa bränslen, t.ex. tallolja som visserligen är förnybar och i miljöklassningssystemen ger ett lågt koldioxidutsläpp (ur skorstenen där de eldas), men ger ett energiindex som är större än fossilenergi. Detta beror på en relativt hög materialinsats per utvunnet bränsle vid tillverkning av tallolja

(vilken i LCA:n hanteras som vilken produkt som helst). Skulle tallolja värdes som en helt gratis biprodukt – vilket inte är helt ovanligt i systemanalyser och olika värderingssystem – så erhålls ett annat resultat. Rapportens beräkningar för tallolja baseras bara på förenklade inventeringsdata, varför fördjupade analyser krävs för att säkerställa att detta är ett korrekt värde för just detta bränsle. Resultatet indikerar också att metodens energiindex kan ge en bra grund för analytiskt grundade miljöklassningssystem.

Då resultat som erhålls med metodiken för energiindex ger tydligare signaler än t.ex. primärenergi eller energiprisrelationer föreslås att en dialog påbörjas med de aktörer som kan tänkas ha en direkt nytta av resultaten (andra forskare, policyskapare, myndigheter mm). Utöver de framtagna karakteriseringsfaktorerna så påverkas denna relation starkt av val av allokeringsmetod och måste således vara en del av den dialog och förankringsprocess som vi ser fram emot. Bedömningsresultat ger ett bra komplement till att bara studera klimataspekten genom att belysa hushållning av naturresurser.

För tillämpning i styrmedel krävs sannolikt också en värderande diskussion kring nyttan av att få med långsiktig hållbarhet i värderingen av energi när olika energislag ska ställas mot varandra eller där olika energislag kombineras. Energiprisrelationerna speglar delvis en kombination av klimatpåverkan (koldioxidskatter) och dagens resurseffektivitet (produktionskostnader), primärenergi speglar resurseffektivitet inom olika energislag. I den mån dessa är utbytbara mot varandra så påverkas också de långsiktig globala resursuttagen, men den ger inga incitament nu för att välja förnybar energi. På så sätt fyller det energiindex som beskrivs i denna rapport en stor lucka vid miljöbedömningar, -deklarationer, -klassningar, certifieringar och liknande system. Om energiindex ska vara ett komplement, en ersättning eller en delmängd i värderingsindex för olika energislag kan behöva diskuteras.

SUMMARY

Today, there is no way to assess energy efficiency in an objective manner, i.e., where different energy carriers' relative importance can analytically determine and in a way that is acceptable to most people. Concretely, this means that all the positive aspects associated with ecologically beneficial (renewable or abundant) energy products are not always addressed in a satisfactory way in environmental assessments, ratings, and classifications or in environmental declarations.

The project aims to develop an analytical method to evaluate different energy sources (energy resource index) and to propose a system to account for resource efficiency in environmental assessments. To be able to get a general acceptance, our opinion is that different assumptions on the system must be simple to understand and designed in a logical manner.

This study presents a new method developed for an energy resource index, where we also take into account various types of parameters of sustainability and accessibility. This energy resource index, i.e. characterisation factors, for natural resources is then used to calculate the corresponding values for any energy carrier. In order to get a score that gives an indication of the energy-consuming product system that best leads to sustainable development. The system also includes a procedural for post-consumer and pre-consumer waste allocation, i.e. how to distribute up-stream and downstream burden in material recycling for energy recovery, for example in a district heating plant. It also describes a way to analyse energy efficiency in the built environment by taking into account the building's load profile, i.e. heat extraction during the year, and how the purchased energy is produced in the connected district heating system into account.

The method for assessing the energy resources will result in different characterisation factors that describe the "value" of the use of natural resources (Table 1). These can then be converted into energy index factors for various energy products (Table 2 and Table 3), which can then be used directly in calculations. The calculated energy resource index values are then applied to a number of typical district heating plants to analyse the impact of the three building types in combination with various energy conservation measures.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	12
1.1	BAKGRUND	12
1.2	STUDIENS SYFTE OCH MÅL	12
1.3	RAPPORTSTRUKTUR	14
2	INTRODUKTION TILL SYSTEMANALYSER OCH UTVECKLAT SYSTEM	15
2.1	MILJÖBEDÖMNINGSVERKTYG	15
2.2	KONCEPTUELLT FÖRSLAG PÅ BEDÖMNINGSSYSTEM	16
3	BEDÖMNINGSMETOD FÖR EFFEKTIVT RESURSENTNYTTJANDE	19
3.1	RESURSANVÄNDNING I ETT HÅLLBARHETSPERSPEKTIV	19
3.2	METOD FÖR BEDÖMNING AV NATURRESURSER	22
3.2.1	Aspekter för energihushållning av naturresurser	22
3.2.2	Behov av en inventering	23
3.2.3	Vilka är skyddsobjekten	24
3.2.4	Metod för föreslagna karakteriseringsfaktorer	25
3.2.5	Framräknade karakteriseringsfaktorer för naturresurser	32
3.3	ANALYTISKT BERÄKNADE ENERGIRESURSINDEXVÄRDEN FÖR ENERGIVAROR	32
3.3.1	Antagande gjorda i bakomliggande LCA för energivarornas tillverkningsystem	32
3.3.2	Framräknade energiindexfaktorer för energivaror – naturresurser	36
3.3.3	Allotering vid återvinning av material i en LCA	37
3.3.4	Framräknade energiindexfaktorer för energivaror – teknosfärsflöden	39
4	ANALYS AV FJÄRRVÄRMADA BYGGNADER – ETT TILLÄMPNINGSEXEMPEL	40
4.1	FRAMTIDA FJÄRRVÄRMEPRODUKTION	40
4.1.1	Scenarioansats	40
4.1.2	Typfjärrvärmenät	40
4.1.3	Beräknade resulterande energiindex för typfallen	41
4.2	MODELL FÖR AVSTÄMNING BYGGNADENS VÄRMELAST OCH PRODUKTIONSSYSTEM	47
4.2.1	Komplex marginal och långsiktig marginal	47
4.2.2	Utetemperaturberoende	48
4.2.3	Simuleringsmodell för byggnadens energilast	50
4.3	RESULTAT AV KONSEKVENSANALYSER FÖR OLIKA BYGGNADER	51

4.3.1	Typhus 1. Bostadsstock	51
4.3.2	Typhus enligt BBR2011	54
4.3.3	Typhus – passivhusnivå	54
4.3.4	Resultat. Baslast för typhusbyggnader	57
4.3.5	Resultterande energiindexerad energianvändning	58
5	SLUTSATSER OCH DISKUSSION	60
6	BILAGOR	65
6.1	ALTERNATIVSPRODUKTIONSMETODEN KRAFT-/VÄRMEPRODUKTION	65
6.2	EXEMPEL PÅ KONSEKVENSER AV TILLÄMPNING AV TVÅ METODER FÖR MATERIAL-/ENERGIÅTERVINNING	68
6.3	EXEMPEL PÅ ANALYS AV KORTSIKTIG EFFEKT AV ÅTGÄRD	70
6.4	SIMULERINGSMODELL FÖR BERÄKNING AV BYGGNADENS ANDEL AV BASLASTPRODUKTION	71
6.5	DETALJDATA FÖR ANALYSERADE BYGGNADER	74

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Olika energislag har olika påverkan på vår miljö, men är också delvis utbytbara med varandra. Globalt är energi en begränsad resurs och våra fossila bränslen utvinns i mycket större utsträckning än de återskapas. I en global strategi för att minska koldioxidutsläppen måste därför också en minskad total energianvändning ingå. Därför ställer också EU allt större krav på medlemsländerna att de ska minska sin energianvändning både till 2020 och till 2050. Men olika energibärare som elenergi och fjärrvärme kräver olika stora input av energiresurser. Det innebär att köpt energi av olika energiformer egentligen ger helt olika konsekvenser för hur mycket energi som i slutändan krävs. I ett hållbarhetsperspektiv har dessa energikällor dessutom olika kvalitéer såsom naturresursens knapphet. Resursknappheten beror på ett antal faktorer såsom miljöförändringar, befolkningstillväxt och -storlek, unik fördelning och tillgång på resursen. Med andra ord omfattar knapphet inte bara den fysiska begränsningen i sig, utan skall ses som ett integrerat mått.

Ett sätt att hantera energianvändning i ett livscykelperspektiv är begreppet primärenergi, dvs hur mycket energi som har gått åt från vaggan till graven. Elenergi från det nordeuropeiska nätet kräver då väsentligt mer energi än t.ex. olja och en vanligt använt primärenergifaktor för elenergi på kontinenten är 2,5. Men en beräknad primärenergi eller en godtyckligt satt primärenergifaktor tar inte hänsyn till om energin är förnybar eller inte, utan är en metod för att bedöma just resursåtgång. En viss mängd fjärrvärme producerad med bioenergi får därmed i praktiken samma primärenergifaktor som samma fjärrvärme producerad med fossilenergi. Detta begränsar starkt användningen av primärenergibegreppet för att analysera energieffektiviseringar där olika energikällor används om syftet är att även välja mellan olika energivaror. Tekniskt sett är (beräknad) primärenergi en bra information för att bedöma det tekniska systemets potential och prestanda energimässigt – men inkluderar inte bränslets hållbarhet.

1.2 Studiens syfte och mål

Rapporten vänder sig till dig som söker efter ett sätt att bedöma energianvändning i ett hållbarhetsperspektiv med hänsyn tagen till resursanvändning. Målet med projektet är att;

- 1) ta fram en metod för att värdera olika energiresurser från ett hushållningsperspektiv med hänsyn till olika naturresursers knapphet (energiressindex)
- 2) föreslå ett system för att bedöma resurseffektivitet vid miljöbedömningar och att genomföra exempelberäkningar för att analysera dess konsekvenser.

Projektet syftar till att det framtagna system för redovisning av resurseffektivitet skall kunna utgöra ett alternativ till redovisning av miljöprestanda endast i form av klimatpåverkan, eller som ett komplement till andra metoder för att analysera energieffektivitet där knapphet inte beaktas såsom primärenergi. Det framtagna resurseffektivitetssystemet kommer därmed även att utgöra ett alternativ till godtyckligt definierade primärenergifaktorer som saknar hållbarhetsdimensioner. EU anser att resurshushållning i systemanalytiska verktyg såsom en livscykelanalys (LCA) skall minst hantera *resursknapphet* för att få anses uppfylla kraven för en miljövärderingsmetod (EC JRC 2010). Visionen är att det system för värdering av energiresurser som föreslås här skall kunna utgöra ett underlag för framtida uppdateringar av

- miljöklassningssystem (BREEAM, LEED, Miljöbyggnad CEEQUAL mm)
- miljövarudeklarationer och klimatdeklarationer
- kravdefinitioner av Passivhus och Minienergihus
- svensk standard för energiklassning av byggnader (SS 24300)
- i LCA beräkningar och systemanalyser i allmänhet men även i LCA-IT-verktyg som Anavitor¹
- osv.

För att systemet skall kunna få en allmän acceptans är vår bedömning att olika antaganden i systemet måste vara enkla att förstå och gjorda på ett logiskt sätt, och att de ger ett rationellt resultat som också beaktar på vilket sätt energin används såsom byggnadens lastprofil samt på vilket sätt energin framställs. Sådana konsekvenser för de i projektet framtagna systemet för energiresursvärdering har därför belysts för hus uppvärmda med fjärrvärme. Det framtagna systemet är ett första steg och där de förenklingar och stödverktyg som sedan behöver tas fram inte ingår i detta projekt, men är viktiga att ta fram i ett senare skede för att enkelt och kostnadseffektivt kunna tillämpa metoden.

¹ Anavitor är ett LCA/LCC-beräkningsverktyg (framtagen inom ramen för ett IVL-projekt) och som regelmässigt används i byggsektorn för beräkning av klimatdeklarationer (används bl.a. av NCC och Skanska).

1.3 Rapportstruktur

Rapporten disponeras enligt nedan:

Kapitel 2 ger en kort introduktion till systemanalyser och specifikt livscykelanalysmetodiken. Kapitlet avslutas med en övergripande struktur för systemet som används för genomförda beräkningar, samt en skiss på hur detta som grund kan förenklas för att erhålla ett enkelt system för att värdera olika energivaror, energianvändning osv i ett hållbarhetsperspektiv.

Kapitel 3 behandlar hur bedömningsmetoden för resurser. Detta ger två delresultat dels en beskrivning av 1) Värdering av uttag och konsumtion av naturresurser, dels 2) En inventeringsmodell för att beskriva miljöpåverkan av energivaror. Den sistnämnda motsvarar metodval för den LCA-metod som tillämpas. Med andra ord värderingsmetoden av uttag av naturresurser kan användas oberoende av vald LCA-metodik i övrigt.

Kapitel 4 beskriver ett tillämpningsexempel och metodantagande som gjort för att beskriva kopplingen mellan byggnadens energiprestanda och ett fjärrvärmenät. Beräkningarna bygger på data för ett fjärrvärmenät i en framtid, dvs ett scenarioantagande. Den metodik som utvecklas här för att beskriva kopplingen mellan bygganden och nätet kan användas oberoende av hur värdering av energivaror gjorts.

Kapitel 5 rapportens slutsatser beskrivs och diskuteras. Även förslag på fortsatt utvecklingsarbete ges i detta kapitel.

2 INTRODUKTION TILL SYSTEMANALYSER OCH UTVECKLAT SYSTEM

2.1 Miljöbedömningsverktyg

Man talar ofta om systemanalytiska verktyg som en grupp av verktyg som jobbar med ett övergripande (holistiskt) system perspektiv. Systemanalytiska verktyg kan omfatta såväl sociala, ekonomiska som ekonomiska aspekter. Om man studerar mänskliga system och dess miljöpåverkan kallas det miljösystemanalys. Det finns ingen standard för miljösystemanalys utan denna kan göras helt efter eget tycke och kan göras för vilka system som helst. En så kallad livscykelanalys (LCA) är ett systemanalytiskt verktyg för produkter dvs varor och tjänster. LCA är definierat i två internationella standarder – ISO14040 och ISO 14044 – där den först vänder sig till beslutsfattare och den andra till den som skall göra en LCA eller förstå metodiken. LCA metodiken är den mest använda systemanalytiska verktyget och bygger på ett internationellt konsensusarbete och har därför fått en vetenskaplig tyngd och politisk accept. Ett förenklat sätt att ta fram och kommunicera ett LCA-resultat kan göras genom att ta fram en så kallad miljövarudeklaration (beskrivs i ISO 14025). Standarden för miljövarudeklarationer och LCA ingår i en familj av harmoniserade (samordnade) standarder inom den så kallade miljöledningfamiljen (ISO 14000-familjen).

En livscykelanalys kännetecknas att den görs för produkter där det analyserade systems prestanda beskrivs med en så kallad funktionell enhet. Denna funktionella enhet ligger till grund för att möjliggöra jämförelse mellan olika alternativ. En sådan jämförelse kräver dock att LCA är baserad på samma metod. Det finns således ett intresse att ta fram en så generell LCA-metod som möjligt för att kunna återanvända sina LCA-beräkningar i olika fallstudier. Längst i detta avseende har man kommit inom systemet för miljövarudeklarationer, där det är ett krav att en deklaration skall baseras på så kallade produktspecifika regler (PCR, product category rules). Inom bygg- och fastighetssektorn har detta kommit till sin spets eftersom denna sektor omfattar i princip de flesta material och många produktgrupper inklusive transport- och energiförsörjningssystem osv. Med andra ord, man måste ha en generell LCA metodik – inte bara en specifik för armering, lastbilstransport eller fjärrvärme. I det internationella standardarbetet har därför produktspecifika regler (PCR) tagits fram för byggnader och andra konstruktioner (ISO 21930) som nu finns ytterligare omarbetad i ett förslag till Europeisk standarder (dvs EN 15804 för produkter och EN15978 för byggnader). I detta Europeisk standardarbete har man inte med något sätt att värdera energiresurser. Exempelvis har primärenergi föreslagits men inte accepterats då det inte kan anses som en

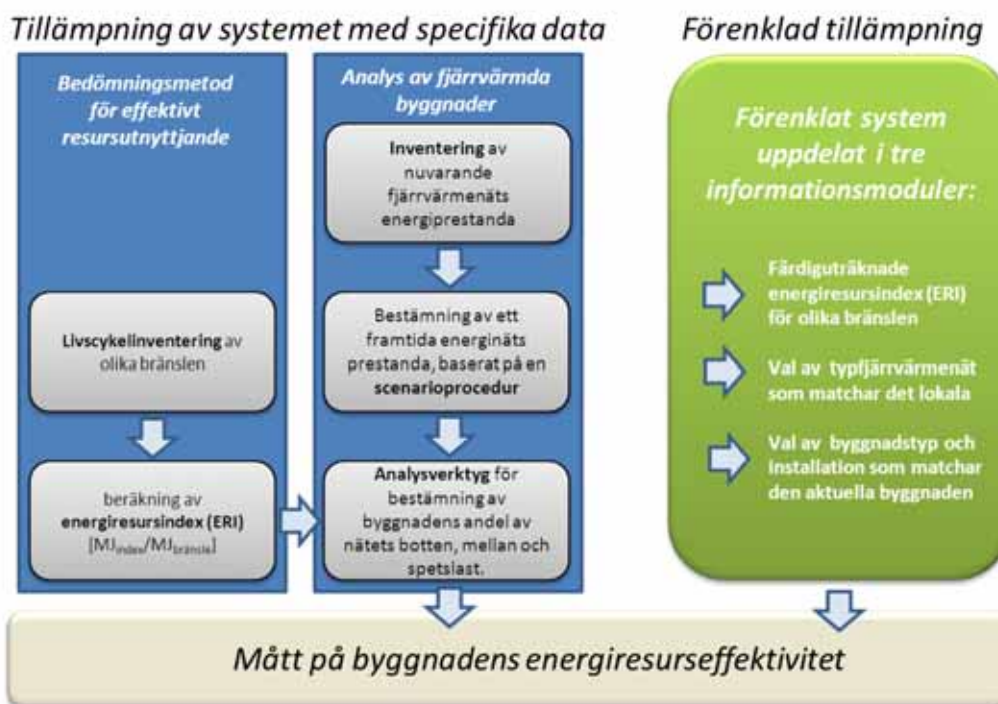
bedömningsmetod utan bara en inventeringsparameter (dvs en miljöbelastning).

En LCA bygger på en inventering (LCI, life cycle inventory) som resulterar i olika inventeringsparametrar (dvs emissioner och resursanvändning)-Livscykelinventering beskriver med andra ord miljöbelastningen. För att kunna bedöma potentiella miljöeffekter (dvs miljöpåverkan) så behövs en miljöbedömningsmetod som beskriver den miljömekanism som kan beskriva ett visst miljöhot eller som vi kallar det i en LCA; miljöpåverkanskategori. Vanliga miljöpåverkanskategorier i en LCA är klimatpåverkan, försurning, övergödning, försurning, marknära ozon, ozonnedbrytning och i vissa fall human- och ekotoxicitet. Däremot finns ingen allmänt accepterad metod för resursvärdering varför det inte heller finns någon allmän accepterad metod för energiresursanvändning.

Detta löses ofta genom att LCA resultatet, utöver bidraget till olika miljöpåverkanskategorier, även omfattar olika inventeringsdata så som primärenergi uppdelat på typiskt fossila och icke förnybara resurser. Detta inventeringsresultat skall enligt LCA-standarden rapporteras skilt från resultatet där olika miljöbedömningsmodeller (LCIA-modeller) används. Notera att primärenergi inte kan anses som en miljöbedömningsmetod varför olika energikällor inte skall viktas samman till ett tal. Inte heller i det Europeiska standardarbete för byggprodukter (EN 15804) och byggnader (EN15978) finns något sätt att värdera energiresurser baserat på en LCIA-modell för att hantera hållbarhetsaspekter. Ambitionen i projektet är därmed ganska hög, dvs föreslå en miljöbedömningsmetod som uppfyller de krav som krävs för att vikta olika energikällor mot varandra ur ett resursperspektiv. Vad påverkar bedömningen av resurshushållning?

2.2 Konceptuellt förslag på bedömningssystem

Metodansatsen i projektet bygger på en beräkning av miljöpåverkan med hjälp av LCA-metodik och analyser av det specifika fjärrvärmenätets prestanda som matchas mot analyserade byggnader och dess prestanda. Detta gör det möjligt att ta fram specifika data för exakt det nät och de faktiska bränslen som används, matchat med den specifika byggnadens termiska egenskaper, energianvändning och installerade system (se grå rutor i Figur 1). För att göra det kostnadseffektivt att komma fram till ett bedömningsunderlag så tänker vi oss att de flesta inte har den ambitionsnivå att man gör sådana specifika beräkningar, utan kan i många fall och tillämpningar acceptera att använda färdiga data för typfjärrvärmenät, generella data för tillverkning av olika bränsle och en katalog med olika typbyggnader. Med hjälp av dessa stödjande verktyg kan det bedömningssystem som tas fram här tillämpas på ett mycket mer förenklat och kostnadseffektivt sätt (se grön ruta i Figur 1).



Figur 1 Beskrivning av det system för att bedöma byggnadens energiresurseffektivitet beroende på vilket energisystem det är anslutet till. Grå rutor beskriver den analytiska ansatsen som används och tillämpas i de beräkningsexempel som görs, samt grön ruta som beskriver vilka informationsmoduler som denna annalistiska ansats kan ersättas med för att erhålla motsvarande resultat.

Det bedömningssystem som tagits fram här omfattar den analytiska delen dvs en beskrivning av de beräkningar som skall göras och vilka metoder som dessa baseras på. Vi tänker oss emellertid att de flesta som vill använda det system som vi föreslår vill ha ett enklare sätt att jobba som inte kräver olika sakkompetenser, verktyg och data som man inte förfogar över och som ofta kräver specialkompetens. Detta hanteras i praktiken av att man utifrån de metoder som beskrivs tar fram vad vi kallat tre informationsmoduler. Dessa informationsmoduler ger användaren av bedömningssystemet den information han behöver utifrån normal byggnadsteknisk kompetens och kännedom om anslutet fjärrvärmenät för att på egen hand tillämpa systemet. På så sätt ger det bedömningssystem som presenteras här såväl förutsättningar för mycket djupa och detaljerade beräkningar samtidigt som det går att använda för att ta fram de informationsmoduler som behövs. Framtagande av dessa informationsmoduler ingår inte i projektet, men är en viktig del att beakta för att analysera nyttan och den faktiska användbarheten av det system som beskrivs.

Rapportens upplägg följer den indelning som ges i Figur 1 dvs indelat först i en beskrivning av en metod för att bedöma effektiv resursutnyttjande (dvs kapitel 0), samt därefter ett tillämpningsfall som beskriver en metod för att analysera och bedöma olika typbyggnader anslutna till ett fjärrvärmenät och den marginalkonsekvens detta ger upp huv till (dvs kapitel 4).

3 BEDÖMNINGSMETOD FÖR EFFEKTIVT RESURSUBNYTTJANDE

3.1 Resursanvändning i ett hållbarhetsperspektiv

Vi människor tar ständigt olika naturresurser i anspråk. Denna resursanvändning påverkar naturen och har mer eller mindre negativa effekter i förhållande till om naturresursen inte skulle utvunnits, dvs en orörd natur. På så sätt finns det ingen resursanvändning som är ”miljövänlig”, utan bara mer eller mindre miljöbelastande.

Istället talar vi ofta om en acceptabel effekt, dvs en hållbar resursanvändning och miljöbelastning. Detta betyder att vi utvinner resurser och belastar miljön i form av olika utsläpp och fysisk markexploatering på en sådan nivå att naturen kan återhämta sig eller att icke reversibla konsekvenser kan anses acceptabla utan att begränsa möjligheterna för framtida generationers överlevnad.

Resursanvändning och utvinning av naturresurser kan förenklat sett leda till;

- Markexploatering, dvs mark tas i anspråk eller förändras
- Utsläpp dvs när resursen konsumeras omvandlas den till emissioner till luft vatten och mark
- Resurskonsumtion, dvs en för oss potentiellt nyttig resurs försvinner och finns inte längre kvar i samhället.

Vill vi värdera hushållning av naturresurser så kan man principiellt överväga att 1) analysera uttaget och bedöma uttaget som sådant, och/eller alternativt 2) dess konsekvenser. När vi pratar om miljöeffekter är det normalt konsekvenserna vi är intresserade av, så länge vi inte talar om existentiella värden såsom bevarande av storslagen fjällmiljö, kulturhistoriska värden osv som är vanligt vid miljökonsekvensbeskrivningar. När det gäller resurser kan man ifrågasätta om inte resursstocken i sig har ett värde som på något sätt måste värderas och kan associeras med begrepp såsom tillgänglighet, förnybarhet osv.

I ett systemanalytiskt perspektiv och i en livscykelanalys (LCA) är det *potentiella effekter* dvs *miljöpåverkan* som bedöms. Olika så kallade miljöpåverkanskategorier som hanteras i en LCA är förurning, övergödning, klimatpåverkan, marknära ozon, stratosfärisk ozonnedbrytning, human- och ekotoxicitet, samt markanvändning och resursanvändning. I en LCA finns det inga allmänt accepterade miljöbedömningsmetoder för att hantera markanvändningen och främst dess konsekvenser på biologisk mångfald, eftersom detta inte täcks in av de andra miljöpåverkanskategorierna. Allmän konsensus för hur resursanvändning skall hanteras i en LCA saknar idag.

På samma sätt saknas det en allmänt accepterad miljöbedömningsmetod för att hantera resursanvändning och dess konsekvenser. Istället för att bedöma resursanvändningens konsekvenser så är det vanligt att man analyserar just användningen, dvs uttaget av naturresurser. Detta uttag kan exempelvis delas in i uttag av;

- flödande
- förnybara och
- lagerresurser.

Framför allt för lagerresurser, dvs ändliga resurser såsom fossila eller mineraler, finns det ett antal resursindex inom LCA-metodiken som utgår ifrån uttaget av resursen i förhållande till hur stor dess reserv är. Denna ansats blir helt beroende av definitionen av vad som är brytbart och som i sin tur bestäms av marknadsekonomiska faktorer. Detta gör att "reserverna" är rörliga mål som ständigt förflyttar sig. En kritik mot dessa metoder är att mineraler är oförstörbara och det påverkar bara i vilka koncentrationer som mineralerna förekommer. Med andra ord så finns metallerna mm alltid kvar men är kanske inte lika lät att utvinna som ursprungligen. För fossila resurser, som vi främst använder som energiråvara och för tillverkning av polymerer och andra kemikalier, är det en fråga om vilka substitut som vi kan använda för energi respektive som kolkälla för material och kemikalier.

En resurs som finns i en låg koncentration eller i en liten mängd i förhållande till samhällets konsumtion kommer generellt sett kräva en relativt sett hög miljöpåverkan. Denna miljöpåverkan för utvinning ingår "redan" i den ordinarie inventeringen i en LCA och saknar på så sätt betydelse i en LCA, utan skulle om de beaktades tvärt om att utgöra en form av dubbelbokföring om det beaktades en gång till.

En mer genomtänkt metodik är därför att ställa sig frågan vad som låg bakom konceptet för "reserv" och hantering av det som inte ingår i en LCA kopplat till naturresurser. Den mest sofistikerade varianten på detta är exempelvis EPS-metoden² där man analyserar olika naturresurskällor som används idag och vilken "nästa" stora källa skulle vara. Den miljöpåverkan och resursanvändning som åtgår för att förädla "nästa naturresurskälla" till samma koncentration eller kvalitet som den vi utnyttjar idag beskriver på ett relevant

² Bengt Steen, A Systematic Approach to Environmental Priority Strategies in In Product Development (EPS). Version 2000 – General System Characteristics. Chalmers University of Technology, Centre for Environmental Assessment of Products and material Systems (CPM) Report 1999:4, Gothenburg 1999.

Bengt Steen, A Systematic Approach to Environmental Priority Strategies in In Product Development (EPS). Version 2000 – Models and Data. Chalmers University of Technology, Centre for Environmental Assessment of Products and material Systems (CPM) Report 1999:5, Gothenburg 1999.

sätt knappheten av alla naturresurser. Detta utgör således ett komplement till den inventering som görs i en LCA (och är därmed ingen dubbelbokföring). Samma problem kvarstår dock som beskrivits ovan för de index som utgår från reserv och konsumtion, där just definitionen av nästa reserv innebär ett språng som infaller olika för olika resurser och behöver inte alltid ske som ett språng utan snarare gradvis.

Ett förenklat resursindex som bygger på samma tanke som EPS-metoden är att utgå ifrån den bärande tanken som beskrivs av EPS-metodens sätt att värdera resurser, men att istället utgå ifrån att det räcker att bara analysera energianvändningen som åtgår när man skall gå till nästa resurs, vilket görs i EcoIndicator-metoden. Att bara använda energianvändningen som måttal för att uppgradera framtidens nästa råvarukälla till dagens kvalitet är enklare och innehåller mindre osäkerheter och ger ett användbart sätt att värdera resursanvändning, vilket föreslagits av Goedkoop i EcoIndicator-metoden (1998)³.

Det faktum att om bara energin vore obegränsad så kan alla de andra resurserna som inte är energibärare utvinnas. I teorin är exempelvis havet en källa för många ämnen i detta perspektiv. Accepteras denna tanke så kan ju faktiskt just tillgången till energi och dess kvalitet användas för att begränsa ett resursindex till just värdering av olika energikällor. Vidare kan vi i detta perspektiv betrakta alla energibärare som "substituerbara" med hänsyn tagen till den energi som kan utvinnas från de olika källorna. Resursindexet kan därför utgå ifrån att bara bedöma energiresurserna i ett hushållningsperspektiv och detta energiindex skulle då minst behöva ta hänsyn till:

- Tillgängligheten, dvs hur mycket finns av energikällan
- Energikvaliteten, dvs hur nyttig är den energiform som de olika energikällorna genererar.

Vilka metoder finns då för beräkning av energi som man skulle kunna utgå ifrån. Ett tilltalande alternativ (som ofta används) vid olika systemanalytiska metoder är primärenergi. Frånsett att den inte är entydigt definierad, utan beror på hur man beskriver systemgränsen till naturen, så beskriver primärenergi inte tillgängligheten eller energikvaliteten. Ett mer tilltalande alternativ som faktiskt beskriver energikvaliteten är exergi. Frånsett att exergin inte heller är entydig för en given resurs utan beror på dess koncentration eller den referenstemperatur som valts, så är den stora bristen att inte heller exergi hanterar knappheten.

³ Mark Goedkoop, Renilde Spriensma: The Eco-Indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Assessment. Methodology report. PRé Consultants, Amersfort, 22 June 2001.

Det finns även andra sätt att bokföra och redovisa energianvändning (exempelvis emergi), men där man måste konstatera att dessa metoder i vart fall inte enskilt kan användas för att hantera energihushållning. Vidare kan man konstatera att LCA metodiken i sig innehåller en inventering som gör att problemet är inte huruvida man skall räkna primärenergi eller exergi, utan måste vara hur knapphet och andra begrepp som kan förknippas med resurshushållning skall hanteras och värderas. Vi kan således konstatera att för att hantera *ekologisk hållbarhet* räcker inte de metoder som finns idag såsom primärenergi eller exergi.

3.2 Metod för bedömning av naturresurser

3.2.1 Aspekter för energihushållning av naturresurser

Vi har ovan konstaterat att värdering av energi innehåller två komponenter – till skillnad mot utsläppsrelaterade miljöpåverkanskategorier – som kan relateras till både uttaget och energikällan, respektive konsumtionen av de energiresurser som finns i samhället då de används, dvs omvandlats till utsläpp. Notera att denna konsumtion ofta förknippas med energiprocesser men även konsumtion av olika insatsvaror och material som innehåller energi och som lämnar teknosfären som emissioner eller på annat sätt (såsom att de deponeras) utgör i detta perspektiv energikonsumtion, som måste bokföras på det produktsystem som orsakar konsumtionen (oavsett vilket produktsystem som står för utvinningen). Inledningsvis kan vi utgå ifrån en värdering med hänsyn till följande två aspekter:

Uttaget:

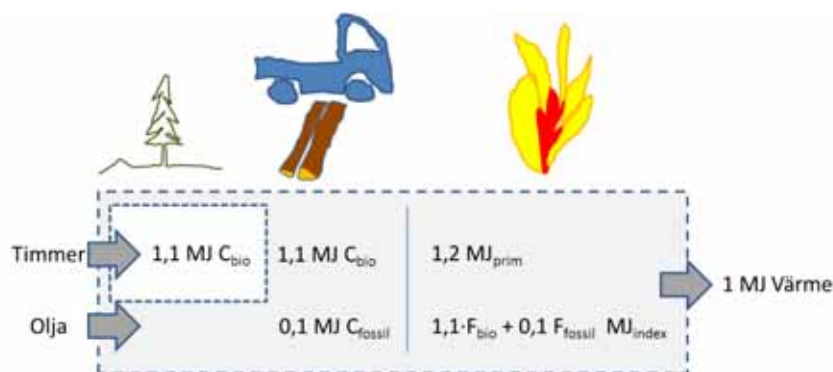
- Tillgängligheten av en naturresurs och den potential som går att utvinna kan vara tidsberoende i de fall exempelvis det sker tekniksprång för utvinning av olika energikällor (jmf ”äka” primärenergi där detta inte skulle vara ett ”problem”, eller till viss del exergi). Tillgängligheten styrs även av naturkällans storlek, vilket gör att hänsyn måste tas till aspekter så som;
 - Reserv
 - Förnybart, tillväxt eller en begränsad resurs
 - Teknisk och ekonomiskt potentialer över tiden

Konsumtionen:

- Energikvaliteten – substituerbarhet, inherent (exergi)
- Ansvar för konsumtionen, dvs fördelningen av ansvaret mellan olika produkter som använder samma råvara och dess orsakade konsekvens (enligt ovan).

3.2.2 Behov av en inventering

Till att börja med måste man konstatera att den metod som beskrivs här förutsätts bygga på en analytisk inventering. Detta innebär att det är uttaget av naturresurser som skall värderas. I det fall naturresursen återvinns till ett nytt produktsystem så kan inneboende egenskaper såsom värmevärde och kemiskt innehåll allokeras till det nya produktsystemet. Alla dessa aspekter bestäms av aktuell inventeringsmetodik (se stycket ovan). Här beskrivs därför värderingen av naturresurser.

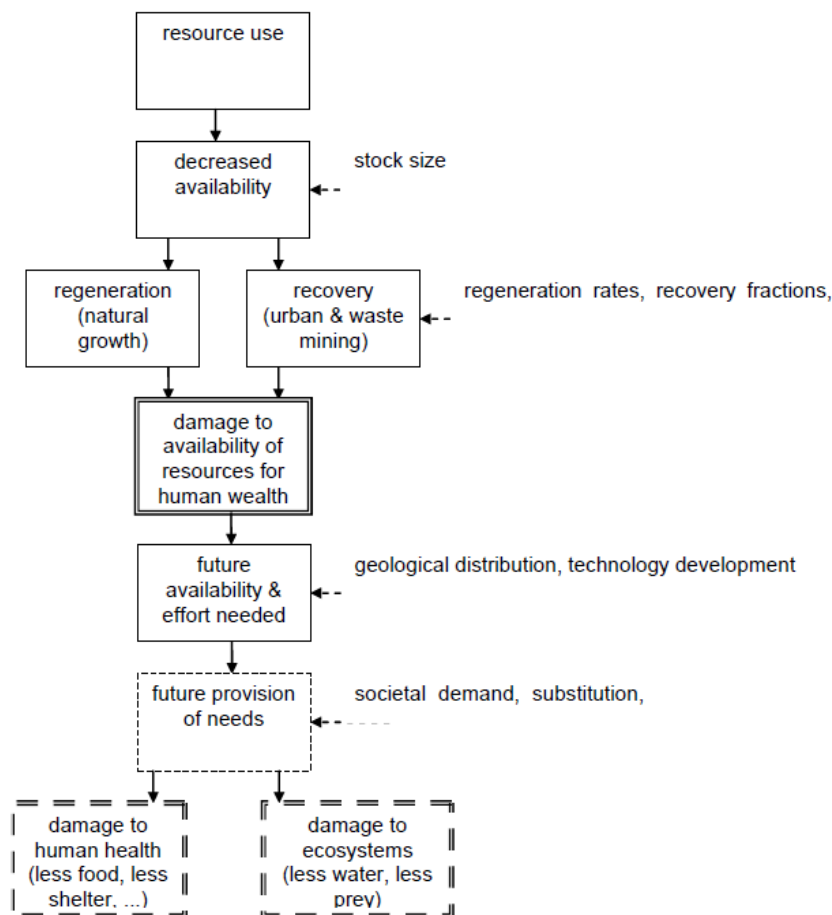


Figur 2 Förenklat exempel på en inventering där man utvinner 1,1 MJ skogsbränsle som kräver 0,1 MJ i form av drivmedel. Summeras detta blir primärenergianvändningen för att få ut 1 MJ värme 1,2 MJ. De faktorer vi utvecklar här kommer göra det möjligt att värdera energianvändningen på ett annat sätt där exempelvis knappheten hos de olika resurserna beaktas.

Som framgår av Figur 2 så värderas inte värme, inte heller det bränsle som tillförs. Istället beräknas genom en inventering hur mycket naturresurser som gått åt för att utvinna vad som i just detta fall gick åt för att producera 1 MJ. Om man jobbar med primärenergifaktorer så förenklar man verkligheten genom att alltid tilldela en energibärare ett primärenergibehov. Vill man ta fram ett alternativt sätt att värdera olika energibärare så måste man ta fram så kallade *karakteriseringsfaktorer* för olika naturresurser. För primärenergi har alla värmevärden satts som lika oavsett hur knapp resursen är, dvs $F_{bio} = F_{fossil} = 1$ (jmf med Figur 2). När man väl har tagit fram dessa och vill förenkla användningen av dem kan man räkna fram *Energiindexfaktorer* på samma enkla sätt som primärenergifaktorer, men med den stora skillnaden att hur de tagits fram nu är transparent och man kan räkna fram unika faktorer istället för de generella som någon annan tagit fram.

3.2.3 Vilka är skyddsobjekten

I en bedömningsmetod så ställer man upp ett antal miljöpåverkanskategorier och beskriver hur dessa påverkar det vi vill skydda och bevara, dvs så kallade skyddsobjekt. Det senaste konsensusarbetet⁴ som finns publicerat och som kommer från EU:s forskningscenter (JRC) i Ispra har man ställt upp ett antal kriterier som brukar ingå vid bedömning av resurskonsumtion (se Figur 3). Notera att i denna rapport hanteras resurskonsumtion på ett generellt sett medan vi här initialt bara är intresserad av energihushållning. Utgångspunkten är dock det samma, dvs inventeringen som beskriver det analyserade systemets uttag av energibärare mm. Denna energiinventering är bara ett underlag för den värderingen som sedan görs av inventeringsresultatet.



Figur 3 Orsak-verkan-samband för resurskonsumtion enligt EU/JRC.

⁴ European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Framework and Requirements for Life Cycle Impact Assessment Models and Indicators. First edition March 2010. EUR 24586 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2010.

Enligt EU/JRC kan man beskriva olika nivåer på modeller som på en generell nivå hanterar resurskonsumtion enligt nedan (EC 2011)⁵:

- Nivå 1: Inneboende egenskap
- Nivå 2: Tillgänglighet, utvinning
- Nivå 3: Omfattar även vattenanvändning som är regionberoende
- Nivå 4: Beskriver konsekvenser av resurskonsumtion för samhället

För många andra miljöpåverkanskategorier (exempelvis förurning och övergödning) accepterar man bedömningsmetoder på nivå 1. Många nivå 1 metoder är visserligen enkelt uppbyggda men anses ofta som robusta och avspeglar det mest väsentliga av den faktiska effekten för den aktuella miljöpåverkanskategorien. För resurskonsumtion anser EU/Ispra inte att nivå 1 metoder som bara bygger på inneboende egenskaper är relevanta att använda. Detta gör att exempelvis "primärenergi" inte anses som en relevant bedömningsmetod, då den inte hanterar *knappheten* av de energikällor som används. Exergi är användbar i de fall man inte uteslutande använder inneboende egenskaper, utan tar hänsyn till koncentrationsskillnader hos olika råvarukällor, vilket gör att denna skulle kunna användas som indikator. Denna tillämpning gäller främst för att hantera resurskonsumtion av lagerresurser i ett sätt att slippa direkt subjektiva värderingar av lagerresurser (De Wulf m.fl. 2007). Dagens metoder på nivå 2 baseras annars uteslutande på ekonomiska modeller och problem med detta diskuterades i inledningen.

Ett utvecklingsspår är därför att istället utgå ifrån en mer naturvetenskaplig ansats för nivå 2 metoder. En nivå 3 metoder skall enligt EU/Ispra hantera vattenanvändning som är en resurs som har ett tydligt regionalt knapphetsproblem. En bättre beskrivning av nivå 3 hade därför varit att kalla den regionalberoende metoder. Nivå 4 omfattar metoder som beskriver konsekvenser på samhällsnivån. Exempel på sådana metoder är EPS metoden (Steen 1995, 1999) som beskriver de tillkommande miljökonsekvenserna för att utvinning morgondagens resurser baserat på fattigare mineraler, alternativt att bara se till tillkommande energibehov (Müller-Wenk 1998). Den metod som tas fram här begränsar sig till nivå 2 (vilket har fördelen att ytterligare osäkerheter och komplexitet inte behöver beaktas).

3.2.4 Metod för föreslagna karakteriseringsfaktorer

Som tidigare beskrivits är *knapphet* (eng. *scarcity*) ett integrerat mått på en hållbar resursanvändning. I detta stycke beskriver vi vilka indikatorer på

⁵ European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Framework and Requirements for Life Cycle Impact Assessment Models and Indicators. First edition March 2010. EUR 24586 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2010.

knapphet som värderingsmetoden utgår ifrån. I den metod som föreslås så är ambitionen, att när det så är möjligt, använda naturvetenskapliga metoder som beskriver ett fysiskt orsak-verkans-sambandet för naturresursanvändning. På så sätt är ambitionen att undvika direkta subjektiva värderingar. Däremot måste olika värdebaserade bedömning alltid göras som i sin tur innehåller olika osäkerheter och antaganden.

Metoden som beskrivs i detta stycke resulterar i vad man i en LCA benämner karakteriseringsfaktorer och är utvecklade för att hantera en hållbar energihushållning av uttaget av en naturresurs med en viss teknik. Detta innebär att det resulterande energiindexvärdet på användningen av förädlade energibärare/bränsle mm i sin tur bestäms av hur mycket naturresurser som tas i anspråk för det enskilda bränslet och dessas påverkan på knappheten. Med andra ord; samma bränsle från två olika processer eller baserat på olika sätt att framställa samma råvara kan ha olika beräknade energiindex och bidrag till knappheten.

Den analytiska bedömningsmetod som utvecklats i projektet utgår från två övergripande knapphetsaspekter som i sin tur indelats i underliggande aspekter enligt nedan (se Figur 4);

- **tillgängligheten** dvs potentialen att öka uttaget av ej begränsade naturresurser: Det potentiella ökade uttaget bestäms av den tekniska och ekonomiska potentialen som teoretiskt sett finns att exploatera vid en given tidpunkt. Tillgängligheten tar även hänsyn till konsumtionen genom att ställa det potentiella ökade uttaget i relation till vår totala energikonsumtion,
- **uthålligheten** dvs dels hur robust är en varaktig utvinningen av en naturresurs i förhållande till det naturen långsiktigt klarar, samt dels andra samhälleliga resursaspekter (dvs nivå 4 enligt EC/JRC Ispra). I utvecklingen av metoden här ingår bara den första aspekten medan den andra aspekten inte ingår, men kan exempelvis hantera konsekvenserna av den utarmning som sker av lagerresurser (se EPS-metoden och EcoIndicator, kapitel 3.1, stycke 9 och 10) .



Figur 4 Aspekter som används för (energiresurshushållning) enligt den metod som föreslås här. Tillgängligheten kan förenklat beskriva storleken på olika energikällor och vår möjlighet att utvinna dessa, medan uthållighet beskriver den ekologiska hållbarheten hos energikällan i förhållande till naturens kolkretslopp

Eftersom bedömning av lagerresurser generellt sett inte ingår i detta projekt (malmer osv) så kommer inte en allmän metod för utarmning av lagerresurser beskrivas här (benämnt "Kompensation av lagerresurser" i Figur 4), utan begränsar sig till bedömning av fossil energi och uran. I avsaknad av data för torv så betraktas den som semifossil (=50% förnybar och 50% fossil). Eftersom kärnkraft baseras på Einsteins berömda ekvation erhåller $E=mc^2$, så hanteras den på samma sätt som i allmän statistik dvs man utgår ifrån turbinens verkningsgrad och i övrigt görs ett analogiresonemang med fossil energi för uran (dvs uran erhåller en motsvarande termisk verkningsgrad). Vidare utgår bedömningen ifrån att alla fossila bränslen är begränsade och kan inte ökas i ett hållbarhetsperspektiv.

Tillgängligheten bestäms med följande ekvation:

$$K_{till} = E_{glob} / (E_{glob} + E_{pot, i} - E_{Uttag, i}) \quad [-] \quad (\text{ekv. 1})$$

Där

- K_{till} Resulterande bedömningsfaktor för potentiellt möjlig ökad tillgänglighet
- E_{glob} Dagens årliga globala energianvändning
- $E_{pot, i}$ Teknisk och ekonomisk realiserbar potential för årlig total utvinning vid en given framtida tidpunkt och där i är utvinning av en specifik energikälla med en viss teknik.

$E_{i, \text{uttag}}$ Dagens årliga utvinning, dvs den del av potentialen som redan utnyttjas.

Då ansatsen utgår ifrån att det inte är hållbart att öka utvinningen av fossila naturresurser resulterar detta i att differensen $E_{\text{pot, fossil}} - E_{\text{Uttag, fossil}}$ sätts till 0. Detta resulterar i ett värde på K_{till} på 1 för alla fossila energibärare och där ett lågt numeriskt värde indikerar en stor potentiellt möjligt ökat uttag, dvs mer hållbart. Notera att den miljöpåverkan som användning av fossilt kol ger upphov till, beskrivs som bidrag till andra miljöpåverkanskategorier, dvs främst klimatpåverkan. Vidare innebär ekvationens konstruktion att en liten energikälla som visserligen kan öka mycket, trots detta inte kommer att betraktas som särskilt tillgänglig, om differensen $E_{\text{pot, i}} - E_{\text{Uttag, i}}$ är ett litet i förhållande till den globala energianvändningen (E_{glob}).

Den tekniska och ekonomisk realiserbara potentialen av en naturresurs baseras på en framtidsbedömning, där vi har valt ett relativt kort perspektiv på ca 10 år. Ett längre tidsperspektiv skulle ge andra bedömningar och därmed andra värden. En känslighetsanalys för olika tidsperspektiv skulle vara intressant att genomföra. Vilket tidsperspektiv som är mest korrekt beroende på studiens syfte borde också bearbetas vidare. I de beräkningar som gjorts här har ett ganska ett kort tidsperspektivet inledningsvis valts, då det ger upphov till säkrare data (dvs med mindre osäkerheter pga framtida utveckling).

Om tillgängligheten beskriver storlekar på potentiella energikällor, så hanterar uthålligheten dess konsekvenser (jmf stycke 3.1) på vad som är ett uthålligt uttag med avseende på vad naturen klarar.

En första ansats för hantering av uthålligheten är att energi från olika energikällor i detta sammanhang kan anses som substituerbar. Vidare har alla energi sin källa från solen fränsett uran (kärnkraft) och geotermisk energi. Uran och kärnkraft hanteras här genom ett analogiresonemang för att kunna jämföras med termisk energi och geotermisk energi hanteras som förnybart flödande energi. Flödande energi – sol, vind, vatten och geotermisk energi – ”förgås” (i naturen) om den inte används och har på så sätt ingen begränsning⁶ för ett uthålligt uttag med avseende på vad naturen tål. Däremot kan utvinning mm ha andra konsekvenser som förutsätts hanteras inom andra miljöpåverkanskategorier.

Frågan som nu återstår är således hur förnybara och fossila resurser skall värderas utifrån vilket uthålligt uttag naturen och därmed ekosystemen klarar av dessa olika flöden. Alla förnybara och fossila energibärare har sitt ursprung från solen, men dess omloppscykel skiljer sig betydligt åt (dvs

⁶ Se även ny forskning som beskrivs längre ner i stycket från Max-Planck- Institute.

förnyelsegraden). I en idealiserad värld så kan man förenklat anta att vi analyserar det kol som binds upp i energibärarna och som således utgör en del av naturens kolflöde. Vidare kan vi anta att biologiska energibärare från naturen normalt sett är i balans mellan uttag och uppbinding, dvs ett fungerande kretslopp. För vissa biologiska energibärare gäller inte detta, exempelvis för skogsråvara från icke hållbart skogsbruk då skogen inte återplanteras osv. Men framförallt är problemet att användningen av fossila energibärare är så mycket större än vad som naturen kan binda in. Den del av uthålligheten som hanterar ett *långsiktigt varaktigt uttag* (se figur 4), kan därför hanteras genom att använda kolcykeln som indikator.

Uthållighet för ett *långsiktigt varaktigt uttag* bestäms enligt följande ekvation:

$$K_{\text{uth}} = 1 + E_{\text{förgås}}/E_{\text{omsätts}} \cdot C_{\text{oms}, i}/C_{\text{håll, glob}} \quad [-] \quad (\text{ekv. 2})$$

där

K_{uth}	Resultaterande bedömningsfaktor för uthålligt uttag av en naturresurs i det långa tidsperspektivet
$C_{\text{håll, glob}}$	Långsiktig hållbart globalt årligt uttag av kol utöver förindustriell nivå
$C_{\text{oms}, i}$	Dagens årliga användning/omsättning av kol som utvinns, där i är omsättningen av en specifik energikälla
$E_{\text{omsätts}}$	Energien som utvinns från energikällan i
$E_{\text{förgås}}$	Den del av $E_{\text{tot}, i}$ som förgås momentant om den inte energikällan i som utvinns/utnyttjas (för flödande resurser är $E_{\text{förgås}}=0$).

Och där totala karakteriseringsfaktorn nu kan beräknas enligt nedan, förutsatt att båda aspekterna är likvärdiga:

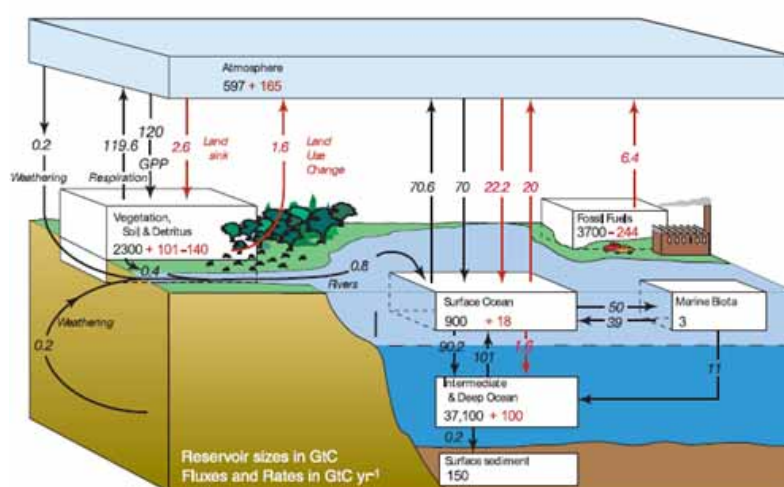
$$K_{\text{energiushållning}} = K_{\text{till}} \quad K_{\text{uth}} \quad [-]$$

där

$K_{\text{energiushållning}}$	Sammanvägd karakteriseringsfaktor som tar hänsyn till såväl tillgängligheten som uthålligheten $[-]$
-------------------------------	--

För flödande resurser blir kvoten $E_{\text{förgås}}/E_{\text{omsätts}} = 0$, dvs $K_{\text{uth}} = 1$, medan för övriga naturresurser blir denna kvot lika med 1. Ekvationen bygger även på att långsiktig hållbart globalt årligt uttag av kol måste bestämmas. Vad som naturen tar upp beror på en rad aspekter där klimatförändringen i sig påverkar detta flöde. För att tillämpa ekvation 2 görs ett antagande om att vi begränsar det långsikt hållbara uttag av kol till den mängd som primärt binds upp i landekosystemets kolsänka. Det ökade mänskliga utsläppet av kol binds upp

med en ökad inbindning på 2,6 Gton kol per år i landekosystemet, vilket kan jämföras med utsläpp av fossila bränslen eller förändrad markanvändning på 6,4 respektive 1,6 Gton kol per år (se Figur 5). Grovt sett kan man anta att en uppbindning på 2,6 Gton kol per år i landekosystemet motsvarar ett kolflöde som även långsiktighet skulle hantera klimatpåverkan, dvs säga 1 ton koldioxid per person⁷.



Figur 5 IPCC bedömning av det årliga globala kolflödet under 1990-talet givet i Gton kol per år. Förindustriella "naturliga" flöden är angivna i svart och "männskligt orsakade" flöden i rött. En uppskattning av flödenas osäkerhet på en övergripande nivå är $\pm 20\%$ ⁸.

Notera att såväl potential för möjlig utvinning, $E_{\text{pot}, i}$, som årliga användning/omsättning, $C_{\text{oms}, i}$, kan hanteras som en nulägesanalys eller en framtidsanalys baserat på scenarioteknik. Vår bedömning är att en sådan framtidsanalys skulle öka osäkerheterna vilket gör att vi föreslår att inte göra detta i default-versionen. Notera vidare att utsläpp av klimatpåverkande gaser mm från förbränning och tillverkning av anläggningar och infrastruktur förutsätts ingå i inventeringen och vars konsekvenser på andra miljöpåverkans-kategorier kan beräknas för klimatpåverkan osv.

En intressant fråga är dock vilken eventuell mätbar effekt en massiv utbyggnad av flödande energi skulle få. I färsk forskning från Max-Planck Institute så anses detta ge upphov till viss indirekt klimatpåverkan (Kleidon

⁷ Detta motsvarar ett årligt utsläpp på 1600 kg CO_2 /person vid en världsbefolkning på 6,5 miljarder eller 1040 kg CO_2 /person vid en världsbefolkning på 10 miljarder.

⁸ Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the International Panel on Climate Change, IPCC 2007.

2011)⁹, vilket således borde beakta en indirekt (dvs omräknat till) omsättning av kol från flödande resurser. Vår bedömning är att dessa tal är små och att termen $C_{oms,i}/C_{håll, glob}$ därför i praktiken kan sättas till noll för alla flödande resurser och att därmed K_{uth} för dessa är lika med 1.

Det är nu möjligt att räkna fram ett **resulterande energiresursindex**, som generellt sett erhålls enligt nedan:

$$E_{index} = \sum (E_{inv, i} \cdot K_{energihushållning}) \quad [MJ]$$

där

$E_{inv, i}$ Kumulativ energikonsumtion av resurskälla i för det analyserade system, dvs det resulterande värdet från inventeringen vars bidrag till en hållbar energianvändning skall värderas.

Det är formellt möjligt att göra en så kallad normalisering av resultatet och ett alternativ är då att normalisera med avseende på ett långsiktigt globalt hållbart årligt uttag av biogent kol mängden, $C_{håll, glob}$, dvs enligt följande om dessutom hänsyn tas till hur många personer vi är på jorden:

$$N_{energihushållning} = K_{energihushållning} / (C_{håll, glob} \cdot Pop) \quad [person^{-1}]$$

$N_{energihushållning}$ Normaliserat värde på energiindexet med hänsyn taget till vad naturen tål med avseende på det globala kolkretsloppet.

Detta sätt att normalisera beräkningar är vanligt i en LCA men används inte i den fallstudie som görs här. En sådan normalisering som beskrivs ovan skulle förenkla den relativa jämförelsen mellan olika miljöpåverkanskategorier i förhållande till vad som är hållbart exempelvis enligt miljökvalitetsmålen¹⁰.

Ett annat alternativ att förenkla tolkning är att indexera beräkningsresultatet till någon given faktor om det normaliserade resultatet efterfrågas, vilket vi benämner **resulterande energiindex**:

$$E_{index} = \sum (E_{inv, i} \cdot K_{energihushållning, i} / K_{index}) \quad [MJ_e]$$

där

K_{index} valbart värde att indexera

⁹ Axel Kleidon 2011. How does the earth system generate and maintain thermodynamic disequilibrium and what does it imply for the future of the planet? Article submitted to Royal Society March 2011.

¹⁰ Erlandsson M (2003): Miljöbedömningsmetod baserad på de svenska miljökvalitetsmålen - visionen om det framtida hållbara folkhemmet. IVL Svenska Miljöinstitutet rapport B 1509, Stockholm, december 2002, reviderad June 2004.

och där kvoten $K_{\text{energiushållning}, i} / K_{\text{index}}$ benäms $K_{\text{fossil ekv}}$

Att använda K_{index} resulterar i att den beräknade påverkan ställs i relation till den karakteriseringsfaktorn som man indexerat mot, dvs motsvarande ett antal *ekvivalenter* av den valda indexresursen. Vi har här valt att indexera m.a.p. fossil energi (se sista raden i Tabell 1), vilket förenklar en jämförelse med så kallade primärenergifaktorer. Om det resulterande energiindexet beräknas för en energivara (el, diesel, pellets osv så skulle man kunna välja att förtydliga och ange exempelvis i enheten $[MJ_e]$ till skillnad mot exempelvis $[MJ_{\text{prim}}]$ eller $[MJ_{\text{PEF}}]$.

3.2.5 Framräknade karakteriseringsfaktorer för naturresurser

I tabellen nedan finns de framräknade karakteriseringsfaktorerna baserat på den metod för bedömning av naturresurser som utarbetats.

Tabell 1 Karakteriseringsfaktor för energihushållning samt redovisning av underliggande bedömningsfaktorer (baserad på referenser från; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC) 2007, International Energy Agency (IEA) 2010, European Renewable Energy Council (ERIC) and Greenpeace 2011).

	sol*	vatten*	vind*	bio	fossil	hav*	geot.*	kärnk.	torv
K_{till}	0,07	0,93	0,56	0,91	1	0,88	0,5	1	0,95
K_{uth}	1	1	1	2,0	4,1	1	1	4,1	3,0
$K_{\text{energiushållning}}$	0,07	0,93	0,56	1,8	4,1	0,88	0,50	4,1	2,9
$K_{\text{fossil ekv}}$	0,02	0,23	0,14	0,44	1	0,22	0,12	1	0,71

*Notera att $C_{\text{oms}, i} / C_{\text{håll, glob}}$ sätts till noll (mkt litet tal).

3.3 Analytiskt beräknade energiresursindexvärden för energivaror

3.3.1 Antagande gjorda i bakomliggande LCA för energivarornas tillverkningssystem

Vilka aspekter påverkar det numeriska värdet på miljöpåverkan och värdering av energianvändning generellt eller specifikt olika energivaror i ett systemanalytiskt verktyg? Skall man ta fram en bedömningsmodell för detta så måste denna givetvis utgå ifrån;

0. Hur skall man värdera ett uttag av naturresurser?

Utöver hur man värderar uttag av naturresurser så är det flera faktorer som till betydande del påverkar det beräknade numeriska värdet för olika energiformer som man köper och använder – såväl som dess miljöpåverkan. Dessa faktorer är;

1. Systemgräns och fördelning av miljöpåverkan mellan olika produktsystem, exempelvis en produkt som samlas in och används som ett bränsle. Eller med andra ord fördelning av ansvaret mellan den produkt som utvinner resursen och den som konsumerar den
2. Generell metod för fördelning av miljöpåverkan i en process med samproduktion (dvs mer än en produkt), dvs val av (process-)allokeringsmetod
3. Bedömning av biprodukter med lågt värde, exempelvis hantering av spillvärme i det fall man inför en systemgräns mellan energisystemet och övriga samhället, eller diffus systemgräns mellan produktsystem
4. Val av systemperspektiv och därmed vilken metodansats som skall användas, vilket vi här delar in i bokförings-LCA respektive marginal-LCA
5. Tidsperspektiv, dvs om man skall avspegla dagens situation eller framtiden.

Fråga 0) och 1) är fokusfrågor i detta projekt, men alla punkter ovan påverkar de exempelberäkningar som redovisas här. Fokus för projektet är själva värderingen av (natur)resurser (i form av ett energiresursindex) samt konsekvensbeskrivningar av att tillämpa dem med en marginalansats som tar hänsyn till byggnadens egenskaper såsom effektsignatur mm. Egentligen ingår inte punkt 1 ovan i det bakomliggande projektet (dvs hantering av materialåtervinning), då frågan även hanteras av ett parallellt IVL-projekt. Men för att få ett system som ger ett vettigt resultat så har denna aspekt lagts till. Dessutom påverkar hanteringen av materialåtervinning resultatet av beräkningarna på ett signifikant sätt, varför valet att inte hantera denna fråga skulle starkt begränsa nyttan av exempelberäkningarna. I praktiken betyder detta sammantaget att våra konsekvensbeskrivningar inte bara är ett resultat av skälva energiindexet, procedur för materialåtervinning, utan faktiskt även av de val som gjorts ovan. Detta är ett generellt faktum för alla systemanalyser. Därför redovisas nedan vilka val vi gjort för dessa fem punkter.

1) Materialåtervinning:

Vi har valt att följa LCA-standardens (ISO14044) huvudregel dvs att i första hand använda en naturvetenskapliga orsak-verkans-samband vid allokering av miljöbelastning på de produkter som uppstår vid en process. Se vidare under stycke 3.3.

2) Processallokering, generellt:

LCA standarden (ISO 14044) anger att man i första hand skall dela upp processen i ett antal delprocesser, dvs man skall undvika att betrakta en

produktionsanläggning mm som en svart låda. Det som kännetecknar materialåtervinning och det allokeringssystem som uppstår är främst när det första systemet övergår i det andra. Ofta sker detta kopplat till någon form av upparbetning. För fjärrvärme är den mest intressanta kopplingen i detta sammanhang avfall som utgör ett bränsle och som således är en förutsättning för den verksamhet man bedriver. Producenterna av produkterna har ofta en begränsad möjlighet att avgöra på vilket sätt deras produkter skall återvinnas (ex får inte organiskt avfall deponeras i Sverige). En vanligt accepterad metod för detta i kraft-/värmeproduktion är att använda den så kallade alternativproduktionsmetoden. Denna går i enkelhet ut på att man analyserar vilket utfall man skulle få om man bara producerade värme eller bara el från ett kraftvärmeverk, se vidare med exempel i bilaga 6.1. En sådan allokeringssystem ger då en relativt högre miljöpåverkan för elen än för fjärrvärmens. I beräkningarna är det denna metod som används samt nettoproduktionen av el från anläggningen. Konsekvensen att tillämpa denna allokeringssystem är att man för fjärrvärme får ett tal på mindre än 1 kWh för att producera en kWh fjärrvärme. För elen bli motsvarande siffra högre än ett. Miljöpåverkan från förbränningsprocessen allokeras på det produktsystem som "kräver"/utför förbränningen, dvs kraftvärmeanläggningen eller med andra ord el och fjärrvärme får miljöpåverkan från den egna förbränningsprocessen samt energi energikonsumtion av resurser, som står i relation till den tekniska förutsättningen i en sådan anläggning att producera el respektive värme. Notera dock att det i fjärrvärmebranschen förekommer olika allokeringssystemer och att data från olika beräkningar således inte är jämförbara. Metoden vi valt anser vi är robust (kan inte manipuleras av anläggningssägaren såsom om pris osv används) och ger en acceptabel fördelning mellan el och värme utan. Många alternativa allokeringssystemer finns som gynnar värmeproduktionen mer än vald metod, speciellt de metoder som bygger in vad som "sparas" när man producerar el (också allmänt känt som systemutvidgning och som allokeringssystem som power-bonus). Många alternativa allokeringssystemer finns men redovisas eller diskuteras inte vidare här.

3) Biprodukter med lågt värde eller diffus systemgräns för återvinning:

Denna frågeställning är i dagsläget i en LCA-analys en del av vald metod för processallokering. Biprodukter med lågt värde regleras därför enligt punkt 2 ovan. Förenklat sett kan man säga att ISO 14044 säger att denna typa av flöden skall ha en del av miljöpåverkan eftersom det är produktflöden (och ersätter en annan produkt på marknaden). Frågan om exakt hur mycket av miljöpåverkan från den process den uppkommer ifrån är dock inte helt givet. Ett problem om man hypotetiskt skulle säga att om spill från exempelvis en såg (dvs avkap, vrak osv) skulle ges ett lägre värde (miljöpåverkan), så skall väl spill från byggprocessen ha samma "förmån". Om man skulle acceptera detta så kan man inte allokera miljöpåverkan från ett sågverk utan att beakta

till vad dess produkter används till och vilket spill de då genererar. Med andra ord, spill vid sågverket skall det ha en lägre miljöpåverkan än spillet på byggarbetsplatsen? Om det är ”gratis” skall både avkapet och byggarbetsplatsens spill allokeras på den sålda och faktiskt använda delen av den producerade brädan? Som framgår blir detta system svårt att tillämpa i ett generellt system som hanterar flera produkter. Denna frågeställning ingår inte i projektet. I de beräkningar som görs har spill samma miljöpåverkan som andra produkter som kommer från samma processteg.

En annan fråga är i de fall som det är en diffus systemgräns mellan olika produktsystem. Hittills har vi identifierat tre sådana system dvs; deponigas, rötning av avfall, återvinning av avloppsvärme. I dessa fall är systemgränsen mellan olika produktsystem ytterst otydliga och kan dessutom vara relativt långa tidsperspektiv som för deponigas. Ett första antagande att hantera dessa flöden är att betrakta dem som ”äkta” spillflöden och därmed skulle de ur ett resurshållningsperspektiv vara ”gratis”, då samtlig miljöpåverkan normalt sett allokeras uppströms (dvs de tidigare produktsystemen). Eftersom denna problemställning inte ingick i projektet har inget energiindex redovisats för dessa flöden, utan kräver en utredning innan detta kan göras.

4) Systemperspektiv:

När vi räknar fram energiindexet så använder vi en robust inventeringsmetod som beskriver vad som faktiskt händer i naturen, som ofta kallas bokförings-LCA. Fördelen med detta systemperspektiv är att den bygger på tanken att alla miljöpåverkan skall bäras av någon och summeras alla allokerad miljöpåverkan från jordens alla processer så stämmer det med det globala utsläppet. Denna LCA-metodik genererar data som man kan addera till varandra, dvs en modularitet, till skillnad ifrån LCA-resultat som bygger på en marginalansats. Det är således ganska uppenbart att välja bokförings-LCA när vi beräknar själva energiindexet.

Däremot har vi valt att använda en marginalbetraktelse för att analysera orsak-verkanssambandet för energimarknaderna som el och fjärrvärme i de exempelberäkningar som görs. Vidare utgår vi ifrån en komplex marginal som har fördelen att den dels inkluderar kortsiktiga marginaleffekter, dels inkluderar långsiktiga marginaleffekter och deras tidsberoende. Denna marginalansats som utvecklas här tar vidare hänsyn till byggnads energi- och fjärrvärmenätets effektsignatur. Energisignaturen beskriver byggnadens effektbehov vid en given utetemperatur (och given konstant innetemperatur) och fjärrvärmenätets effektsignatur.

Som alla marginalanalyser så innebär detta osäkerheter dels på grund av att bedömningarna ofta görs baserat på ett framtidsscenario, men även för att det kan finnas säkerheter kring vad som ligger på marginalen (beroende på hur

denna definieras). Detta gör att en marginalanalys aldrig kan vara entydig och man bör därför kommunicera beräkningarnas känslighet på något sätt. Vidare bör man undvika systemutvidgning om man vill undvika ytterligare osäkerheter (då ytterligare systemantagande måste göras), och sådana beräkningar ger ofta negativa värden/resultat (vilket ger ett abstrakt svar och kan liknas med att bli rik genom att handla på rea).

5) Tidsperspektiv:

Som en konsekvens av att vi exempelberäkningarna tillämpar en marginalbetraktelse för byggnader vars livslängd är lång, har vi också valt att jobba med framtidsscenario. Att välja ett längre tidsperspektiv stöds dessutom av att byggnader är långlivade produkter och att jobba med hållbarhet därför också kräver ett längre tidsperspektiv.

3.3.2 Framräknade energiindexfaktorer för energivaror – naturresurser

För att förenkla användningen av de karakteriseringsfaktorer som tagits fram så har energiindexfaktorer räknats fram för ett antal bränsle samt två olika slags elmixer. Dessa beräkningar har gjorts med hjälp av en LCA-mjukvara och inventeringsdata för tillverkning av olika bränslen kommer från publicerade databaser (främst Ecoinvent) samt IVL-data för skogsbruk (Anavitor miljödatabas 2010), vilket gör att även andra miljöpåverkanskategorier och annat inventeringsresultat erhålls samtidigt. Därför har värde för energiindexfaktorer kompletterats med utsläpp av klimatpåverkande gaser samt framräknade värden på primärenergi (kumulativ energi).

Tabell 2 Framräknade energiindexfaktorer för utvalda bränslen (kolumn ”Totalt”) med hjälp av LCA-beräkningar, samt redovisning av bidrag från förnybara samt icke förnybara andelen till totalen. Dessa värden är kompletterade med uppgifter om klimatpåverkan samt primärenergi.

	Totalt,	därav ej förnybart	därav förnybart	Klimatpåverkan	Primärenergi
	MJ _{index} /MJ _{bränsle}			g CO ₂ e/MJ	MJ _{prim} /MJ _{bränsle}
GROT	0,43	0,02	0,41	4,3	1,02
Torra sågverksspill	0,57	0,10	0,47	8,1	1,26
Pellets	0,59	0,11	0,48	8,9	1,30
Olja	1,06	1,06	0,00	82	1,06
Kol	1,07	1,07	0,00	109	1,07
Naturgas	1,10	1,10	0,00	67	1,10
Tallolja, råttolja, beckolja*	1,26	0,76	0,5	10	2,3
El, nordisk mix	1,57	1,37	0,20	42	2,2
Marginal, 2030	2,56	2,53	0,02	160	2,7

Värdena i Tabell 2 för tallolja skall betraktas som preliminära och bör ej användas i andra sammanhang. Uppgifterna för el från nordisk mix är ett medelvärde för den nordiska marknaden från 2005-2007. Uppgifterna för marginalets produktion kommer från Elforsk rapport 08:30 (2008) och där vi valt scenarioalternativ ”certifikat” (dvs 56% kol, 21% gas och 11% vindkraft). Valda energiverkningsgrader för produktion av el i detta scenario har en verkningsgrad på 35% och 38% ändvants för kol respektive gas. Notera att beräknade utsläpp samt energieffektivitet baseras på analys med hjälp av LCA från utvinning till färdigt bränsle eller levererad el till nätet, dvs till dessa siffror skall sedan läggas pannverkningsgrad respektive framledningsfaktorer mm för slutlig energianvändning.

3.3.3 Allokering vid återvinning av material i en LCA

För att kunna räkna fram ett energiresursindex för teknosfärsflöden, dvs i vårt fall återvunnet material som används som bränsle, så krävs ytterligare metodansatser. Efter att ha hanterat fördelning av miljöpåverkan från processer som tillverkar mer än en produkt är sedan nästa allokeringsproblem hantering av material som återvinns till olika tillämpningar och däribland energiutvinning. Allokeringsproblemet som uppstår är hur fördelning av miljöbelastning mellan olika produktsystem skall göras. Här är LCA-standarderna mer öppna och tillåter olika metoder. Man ger dock en turordning mellan olika aspekter som skall följas vid val av metod enligt följande; 1)

fysiska egenskaper (ex. massa), ekonomiskt värde (ex skrotvärde i förhållande till primärråvara) 3) antalet efterföljande återvinningscykler av ett återvinningsmaterial (kaskadåtervinning). Med "fysiska egenskaper" tolkas vanligtvis att egenskaper som kan mätas hos materialet skall allokeras nedströms, dvs att produkten innehåller exempelvis fossilt kol som ger upphov till fossilt koldioxidutsläpp vid förbränning eller energianvändning i form av bunden elenergi. För avfallsbaserad fjärrvärme betyder detta att utsläppen som uppstår från fossila avfall skall allokeras på den levererade värmen samt de utsläpp som uppstår. På samma sätt allokeras den bundna energin till fjärrvärmens primärenergianvändning¹¹.

Ett mer utvecklat sätt att hantera återvinning finns i den senaste LCA-metodiken för miljövarudeklarationer. Genom att utöver flöden från (resursanvändning) och till naturen (emissioner) så bokförs teknosfärsflöden, dvs materialflöden mellan olika produktsystem. På så sätt finns en möjlighet att värdera materialåtervinningen separat. Däremot finns ingen allmänt accepterad metod för hur denna värdering skall gå till.

I ett avfallsbaserat fjärrvärmeperspektiv är det intressant att värdera resursvärderingen inte bara i form av uttag av naturresurser utan hur denna kan fördelas mellan olika produktsystem. Med andra ord även om el och värme från ett avfallsbaserat fjärrvärmeverk får bära miljöansvaret för de fossila koldioxidutsläppen och primärenergianvändningen, så kan det ur ett samhällsperspektiv kännas motiverat att resursanvändningen på något sätt borde gynna användning av avfall om detta består av **gamla produkter** (sekundär återvinning, eng. *post-consumer recycling*). Det är inte lika uppenbart att produktionsspill skall innebära "någon rabatt" och utgör en del av processallokeringsproblematiken (vilken är en problemställning som är intressant men inte fokus för detta projekt)

Värdet av det återvunna materialet är en samhällelig fråga där återvinning i sig är något som är ekologiskt gynnsamt, men frågan är vem som skall få tillgodoräkna sig detta. Att det är ett samhällelig fråga innebär också att det inte finns några naturlagar för hur detta skall gå till, utan en allokeringsprocedur måste i stället utgå ifrån att det upplevs som rättvist oavsett vilket material eller bransch man representerar. Vi föreslår därför att man gör en likafördelning mellan det produktsystem som tillverkar den primära resursen som det system som konsumerar resursen¹². Med konsumtion

¹¹ Primärenergi skall inte blandas samman med så kallade primärenergifaktorer som ofta sätts baserat på olika subjektiva bedömningsgrunder och avsaknad av en metodbeskrivning.

¹² Denna del av allokering metoden följer delvis den så kallade 50/50-metoden som togs fram i den Nordiska guidningen för LCA (1995), men omfattar här bara resursvärderingen. Den tillämpning som görs här gör att 50/50-metodens möjlighet att tidsmässigt skjuta fram eller bak den miljöpåverkan för de gemensamma primära samt slutomhändertagande processerna mellan produktsystemen inte är möjlig

menas i detta fall det produktsystem som gör att resursen inte längre finns kvar i samhället. Exempel på sådana system är deponering och förbränning. Tillämpas denna likafördelningsprincip erhålls en reducerad energiindexfaktor för bränsle som baseras på uttjänta produkter (enligt Tabell 2).

3.3.4 Framräknade energiindexfaktorer för energivaror – teknosfärsflöden

Med de metodantagande som gjort här erhålls energiindexfaktorer för några utvalda teknosfärsflöden, dvs sådan flöden som består av sekundärt avfall.

Tabell 3 Framräknade energiindexfaktorer för utvalda bränslen (kolumn "Totalt") med hjälp av LCA-beräkningar, samt redovisning av bidrag från förnybara samt icke förnybara andelen till totalen. Dessa värden är kompletterade med uppgifter om klimatpåverkan samt primärenergi.

	Totalt,	därav ej förnybart	därav förnybart	Klimatpåverkan	Primärenergi
	$\text{MJ}_{\text{index}}/\text{MJ}_{\text{bränsle}}$			$\text{g CO}_2\text{e}/\text{MJ}$	$\text{MJ}_{\text{prim}}/\text{MJ}_{\text{bränsle}}$
Avfallsträ (återvunnet trä, träkross)	0,21	0,01	0,20	3,5	1,01
(Hushålls-)avfall, 1/3 fossilt	0,32	0,19	0,14	28	1,05

med denna metod. (Lindfors L-G, et al. 1995. Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment. Copenhagen: Nordic Council of Ministers, report Nord 1995:20)

4 ANALYS AV FJÄRRVÄRMDA BYGGNADER – ETT TILLÄMPNINGSEXEMPEL

4.1 Framtida fjärrvärmeproduktion

Baserat på de energiindexfaktorer som tagits fram redovisas här en exempelberäkning på hur dessa kan användas för att beräkna ett resulterande energiindex för fjärrvärme. Dessa kan sedan ligga till grund för att bedöma byggnaders energieffektivitet. Detta sammanräknade energiindex för fjärrvärme är beroende på det lokala nätets förutsättningar och bränsleval som i sin tur beror på anläggnings storlek, vilket påverkar möjligheten att bära stora investeringar i kraftvärme, mm.

4.1.1 Scenarioansats

Scenarioalternativet för värmeproduktion görs med ett 40 årsperspektiv som kan förenklas som ett medelvärde efter 20 år (2010-2050). För att bedöma energieffektivitet tillämpas metodmässigt en marginalansats för de analyserade fjärrvärmenäten. Den metodansats som används görs för att eftersträva jämförbarhet med motsvarande data för framtida elproduktion, vilket benämns komplex marginal vilket innebär att såväl kortsiktig som långsiktiga investeringar finns med i bedömningsunderlaget. Sådana framtidsscenariobaserade uppgifter för elproduktion har redan tagits fram på uppdrag av Elforsk och redovisas i deras rapport nr 08:30.

4.1.2 Typfjärrvärmenät

En parameter som bedöms ha stor betydelse för resultatet är fjärrvärmenätets storlek. Storleken på nätet påverkar investeringsutrymmet för mer komplexa produktionssystem med lägre bränslekostnader och högre utbyten. För att resultatet ska bli generellt användbart införs därför ett antal typfjärrvärmenät.

Följande typnät behandlas

1. Stor ort, med flera olika bränslen inklusive avfall
2. Liten ort, med biobaserad kraftvärme
3. Liten ort, med biobaserad närvärme

Lönsamheten i en ny produktionsanläggning bestäms av utnyttjandetid (tu), energipriser och kapitalkostnader. Vi kan anta att den tekniska utvecklingen sänker kapitalkostnaden, samtidigt som energikostnaderna ökar. Detta innebär att utnyttjandetiden som krävs för att motivera en baslastanläggning sannolikt sjunker. Vi kommer jämföra effekterna av ett framtidsscenario för ett befintligt produktionssystem där baslastproduktion för kraftvärme har givits en utnyttjandetid på 6650 timmar, med ett eget nationellt scenario där vi antar en

utnyttjandetid på 6.000 timmar. Eftersom denna utredning är ett metodutvecklingsprojekt så har inte tid lagts på scenariots detaljer, utan skall ses som ett första exempel och att antagandena ska vara rimliga.

1. Stor ort:

- En baslastproduktion som ger 85% av producerad värme, producerad av såväl biobaserad kraftvärme, som avfallsbaserad kraftvärme
- En mellanlast/spetslast baserad på pelletsbränsle utan rökgaskondensering och fossilbränsle..

De stora värmeproducenterna har ofta flera kraftvärmeenheter med olika ålder och storlekar eller särskilda pannor för olika bränslen. I dessa större nät kan också avfallseldning ligga som en del av baslasten. Sådana avfallsbaserade enheter har lägre värmeproduktionskostnader, andra resurspåverkande egenskaper, men också lägre elutbyte.

Ett produktionsrelaterat energiindex för en stor ort tas fram för ett typnät, men inledningsvis också för ett fastiskt nät utifrån ett av producenten optimerat scenario. Typnätet baseras på samma effekt-tid relation (varaktighetsdiagram). I typnätet ingår avfallseldning motsvarande branschmedelvärde.

Spillvärme från processindustri är unika egenskaper kopplade till unik ansluten industri och ingår därför inte i typnätet och eller inte i det faktiska nätet.

2. Liten ort:

- Biobaserad kraftvärme, baserat på skogsavfallsbränsle. (85% av värmeproduktionen)
- Kombination av pelletsbränsle och fossilbränsle i mellan/spetslast.

Även ett alternativ med pelletsbaserat bränsle för den mindre kraftvärmeproducenten undersöks.

3. Närvärme, mkt liten ort:

- Biobaserad värme

I de allra minsta enheterna skulle det också kunna finnas en motorbaserad elgenerering som utgör kraftvärmeenheten, men studeras inte i denna rapport.

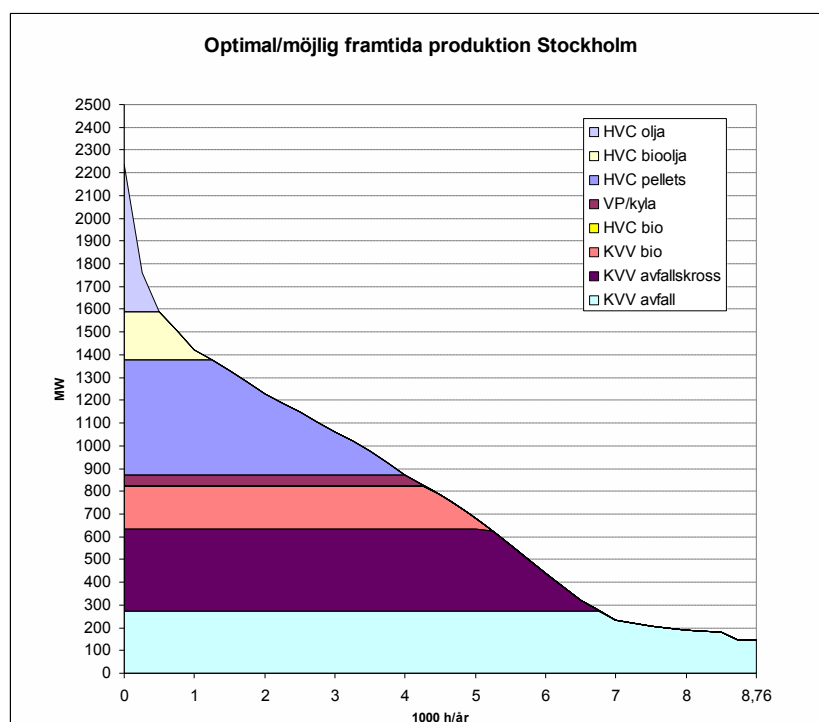
4.1.3 Beräknade resulterande energiindex för typfallen

Energiindex beräknas för en fjärrvärmeproduktion med en viss produktionsmix och för en viss lastprofil för kunden. Produktionsmixen förenklas beskrivningsmässigt enligt nedan:

- Bestämning av en baslast, dvs den mix av produktionsanläggningar som har bäst systemverkningsgrad och som kan producera värme upp till mellanlast.
- Bestämning av ett energiindex utarbetas för baslast respektive mellan/spetslast och hur de påverkas av aktuella produktionsanläggningar och valda bränslen.
- För olika byggnaders lastprofil blir då den centrala frågan hur stor andel av deras värmeuttag som produceras av bas-, mellan- och spetslast. Detta erhålls i en långsiktig marginalanalys genom att analysera byggandens energisignatur och ställa denna i relation till den utnyttjandetid som baslastproduktionen kräver.

4.1.3.1 Stor ort, verkligt nät (Fortum)

Data för ett framtida scenario har erhållits av Fortum¹³. Detta scenario beskriver en tänkt optimerad framtidsproduktion inom Fortums produktionsområde och ges i Figur 6 (på så sätt som de ser det just nu).



Figur 6 Tänkta optimerad framtida produktion som testfall. Källa Fortum.

I denna tänkta framtida produktionsmix, baserad på ekonomiska produktionsöversväganden, skulle kraftvärme stå för 37% av max värmeeffekt, vilket i Stockholm motsvarar en värmelast ner till en utetemperatur på mellan

¹³ Notera att Fortums nät i Stockholm sitter ihop med en rad andra leverantörer vilket gör att en korrekt marginalanalys av detta fall egentligen skulle inkludera hela nätet.

3 och 4 grader. Baslasten, inkluderande värme från en kombinerad värmepump/kylproduktion, skulle då täcka 77% av värmeproduktionen i nätet.

Energiindex för olika bränsleslag och nordeuropeisk elmix har hämtats från Tabell 2 Tabell 3. Tillämpas dessa på värmeproduktionen enligt scenariot enligt Figur 6 erhålls ett resultat enligt Tabell 4. För kraftvärmeproduktionen har bränsle som ska belasta värmedelen beräknats enligt alternativproduktionsmetoden¹⁴.

¹⁴ I kalkylen har referensvärdet 86% verkningsgrad tillämpats för ren avfallseldning och 33% för ren elproduktion.

Tabell 4 *Energiindex för fjärrvärme baserad på bränslemix enligt Figur 6. Rindex avser energiindex för den värme som producerats från respektive produktionsenhet (t.ex. pelletsspannan som mellanlastenhet. Energiindex för värme som representerar hela baslasten, hela mellan lasten, etc redovisas också, liksom för hela årets fjärrvärmeproduktion. Fördelningen av tillfört bränsle anges i %.*

	R _{index}
Spets	1,31
- fossilolja, 2%	1,18
- bioolja, 13%	1,40
Mellan + spets	0,75
Mellan	0,64
- pellets, 17%	0,66
- VP, 1%	0,55
Bas	0,20
- KVV bio, 13%	0,26
- KVVavfallkross, 32%	0,15
- KVV avfall 33%	0,22
Fjärrvärme medel	0,34
Elenergi	2,56

Av tabellen framgår att fjärrvärme i sin helhet får väsentligt lägre energiindex än elenergi i en miljövalssituation då elenergi allokeras till nordeuropeisk mix. Vidare framgår att det stora språnget sker vid övergången från baslast till mellanlast, jämfört med indexökningen när man går från mellanlast till spetslast. Eftersom spetslasten dessutom är så liten rent energimässigt, så blir analysfelet också litet om ett medelvärde för mellanlast och spetslast användes för hela lasten över baslastnivån. De olika produktionsslagen i baslasten ger i detta fall små variationer i energiindex för värmen som produceras.

Notera att biooljan som är populär inom fjärrvärmebranschen för att den är förnybar, ger en större resurspåverkan än fossilolja, men värdet på energiindex för bioolja är osäker (pga av bristande underlagsmaterial/inventeringsdata) men ger ett rimligt värde på resursbehovet för bränsletillverkningen).

4.1.3.2 Stor ort, typfjärrvärme

I inventeringen används alternativproduktionsmetoden och inte systemutvidgning. Det innebär att vi inte ser till följdkonsekvenserna av att i detta fall Fortum tar en relativt stor andel av tillgänglig avfallsbränslemarknad. En sådan värdering av fjärrvärme ur ett större resurssystemperspektiv är gynnsam för fjärrvärmenät med avfallseldning, förutsatt att biobränsle eller motsvarande är marginalbränslet. Blir resultaten i värderingen styrande skulle

ju även alla andra fjärrvärmeproducenter också bygga avfallseldningsanläggningar, men det finns det inte avfallsbränsle till. Att genomföra systemutvidgning är en komplicerad och diskuterad metod. Ett alternativ är att vi analyserar effekten av ett fjärrvärmeproduktionssystem där alla större produktionssystem "tilldelats" lika mycket avfallsbränsle.

Begränsningen att endast inkludera avfall som bränsle till stora orter motiveras av att avfallseldning i allt för små enheter inte är realistiskt.

Avfallseldning står idag för 15% av nationellt tillförd energi inom fjärrvärmebranschen. Då stora nät dominerar energimässigt och då volymen avfall som eldas fortfarande är ökande, antar vi att avfallseldningen i vår modellstudie för stora orter står för 15% av bränslemixen. Vidare antar vi att kraftvärmedelen i dessa system har en utnyttjningstid på 6000 timmar, vilket täcker in ca 45% av toppeffekten och 85 % av årsenergin. Produktionssystemets egenskaper och elutbyte (el/värme = 0,42) har antagits enligt Fortums scenario.

Allt värmebehov över denna baslast produceras med en mix av pelletsbränsle och fossilbränsle (fossilolja ca 6% av årsenergin). Resultatet av dessa antagande ger ett energiindex för fjärrvärme enligt tabellen nedan.

Tabell 5 Energiindex för fjärrvärme baserad på nationell referensanläggning för större verk. R_{index} avser energiindex för den värme som producerats från respektive produktionsenhet (t.ex. pelletspanna som mellanlastenhet).

	R_{index}
Spets, olja	1,18
Mellan + spets	0,80
Mellan, pellets	0,66
Bas	0,25
- KVV bio	0,26
- KVV avfall	0,22
Fjv medel	0,34
Elenergi	2,56

I detta tänkta nationella produktionssystem får baslasten ett högre energiindex än när avfallseldningen är den dominerade baslasten som i fallet för Fortum. Detta kompenseras effektivitetsmässigt dock av att baslasten nu dimensionerats upp till 45% av maxlast och därmed täcker 85% av värmebehovet. Skillnaderna för energiindex för fjärrvärme levererad till byggnader med normala lastprofiler blir därmed på samma nivå.

4.1.3.3 Liten ort, typfjärrvärme

I detta typfall ingår tre alternativ med olika produktionsinriktningar som jämförs. När kraftvärme inkluderas är antagandet att kraftvärmens står för 85% av årsenergiproduktionen. Elutbyte (el/värme) har antagits vara = 0,5).

Alternativ A. Skogsbränsle (GROT) för kraftvärmeproduktionen med pellets och fossil olja (motsvarande 7% av hela värmeproduktionen) för spetslast.

Alternativ B. Biopellets för kraftvärmeproduktion, men ingen rökaskondensering. Samma bränslemix för spetslast i detta alternativ.

Pellets har högre energiindex jämfört med skogsbränsleavfall (GROT) och bränsleåtgången är större.

Alternativ C. Värmepanna

Baslast och spetslast; Pellets.

Resultaten återges i sammanställningstabellen nedan.

Tabell 6 Energiindex för fjärrvärme för olika ortstorlek och scenarioalternativ. R_{index} avser energiindex för den värme som producerats från respektive produktionsenhet.

	Fortum	Stor ort	Liten ort	Liten ort	Liten ort
R_{index}	Sc.		A	B	C
Mellan/spets	0,75	0,80	0,80	0,80	0,66
Bas	0,20	0,25	0,26	0,44	0,66
Fjv medel	0,34	0,34	0,34	0,50	0,66
Elenergi	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
El/fjärrvärme	7,5	7,6	7,5	5,1	3,9

Av Tabell 6 framgår att ett tänkt produktionssystem för en stor ort får ett något högre energiindex för baslasten när avfallseldning begränsas till 15% av produktionen jämfört med Fortums scenario, där avfallseldning dominerar baslasten. Detta resultat på energiindexet kompenseras dock av att baslasten för typfallet ”stor ort” dimensionerats upp till 45% av maxlast och därmed täcker 85% av värmebehovet. För en liten ort med kraftvärme påverkas energiindex inte märkbart av att inslaget av att avfallseldning inte finns som alternativ. Detta kan förklaras av att avfallseldningen utgjorde en så liten del av värmeproduktionen i den stora orten och att detta bränsle har ett lägre elutbyte. Större skillnad ger bränsleval, skogsavfall (alt A) eller biopellets (alt B) och om produktionen består av ren värmeproduktion utan kraftvärmeproduktion (alt C) eller med elproduktion. Skillnaderna för energiindex för fjärrvärme levererad till de olika byggnadstyperna blir därför

ganska lika oavsett avfallseldning eller inte, men däremot om bränslet baseras på pellets jämfört med skogsbränsle eller om ingen kraftvärme genereras.

4.2 Modell för avstämning byggnadens värmelast och produktionssystem

Då fjärrvärmeproduktionen sker med olika delsystem med olika egenskaper (bränsleval och effektivitet) så påverkas byggnadens resursanspråk av hur mycket värmeenergi som kommer från fjärrvärmens olika produktionsenheter. Detta påverkas i sin tur av hur byggnadens värmelast varierar under året. En modell för att beskriva sambandet mellan byggnadens värmelast och produktionens egenskaper har utvecklats inom projekt och beskrivs i detta kapitel.

4.2.1 Komplex marginal och långsiktig marginal

För elproduktionssystemens påverkan av en förändrad efterfrågan använder vi underlag från Elforsk som baseras på en komplex marginal (Rapport 08:30), vilket innebär att hänsyn tas både till kort- och långsiktiga förändringar.

Om vi kopplar in en ny byggnad på nätet idag så frågar vi oss om denna förändring;

- a. påverkar vilka investeringar i baslastproduktionen som görs (långsiktig effekt), eller
- b. enbart påverkar utnyttjandegraden av befintliga system (kortsiktig effekt).

Förnyelsen av fjärrvärmens produktionssystem gör fjärrvärmeföretagen relativt anpassningsbara till förändrade marknadsvillkor. Därför blir effekterna vid förändrad efterfrågan på lång sikt mest avgörande, dvs långsiktig marginal (LM). Med LM menas att producenten har investerat i nya system så att produktionsekonomin optimeras och anpassas till den nya efterfrågan.

LM analyseras utifrån produktionsföretagens möjligheter att investera i produktionssystem som är bättre anpassade till byggnadens lastprofil (liksom andra omvärldsförändringar). Dvs för den förändring i systemet som den enskilde byggnaden ger upphov till, analyseras effekterna genom att projicera denna åtgärd på alla byggnader som är anslutna till det aktuella nätet. Därefter studerar vi vilka produktionssystem som skulle vara möjliga att tänka sig med den lastprofil vi nu får.

Vill man jämföra sin befintliga byggnads energiprestanda i samband med att alternativa åtgärder övervägs, kan man analysera marginalkonsekvenserna på

samma sätt, dvs konsekvensen av om nätet skulle anpassa sig till byggnadens resulterade "energiprofil". På så sätt är metoden användbar för såväl en befintlig byggnad som en ny.

Den byggnadsrelaterade åtgärdens effekter kan ses utifrån vilka produktionsanläggningar som vore ekonomiska att investera i. Det i sig beror på den nu förändrade lastens värmeprofil och den utnyttjningstid som nya produktionsanläggningar kan dimensioneras för.

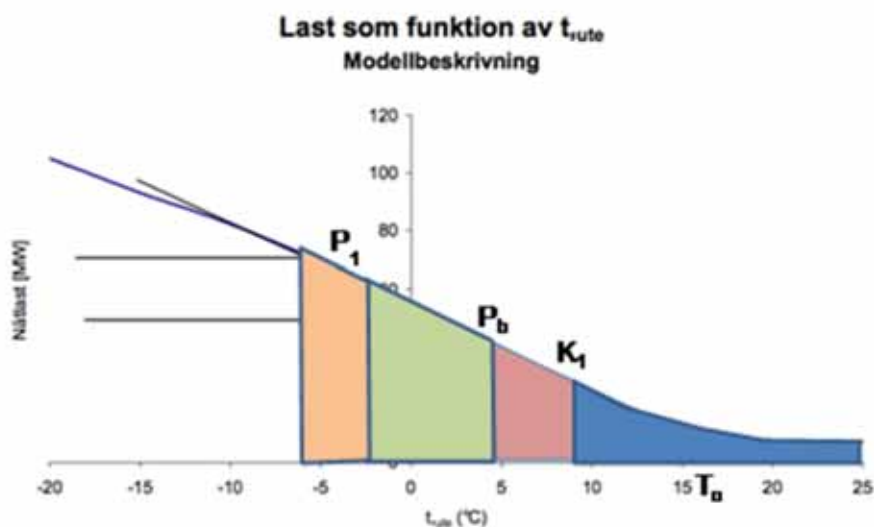
I denna rapport har vi utgått från en prognostiserad last för ett större fjärrvärmeverk och identifierat hur högt upp i varaktighetsdiagrammet som en tänkt baslastproduktion kan vara ekonomiskt rimlig. Denna bestäms av den utnyttjningstid som anläggningsägaren kräver för dess investering. Detta ger en brytpunkt mellan baslast och mellan/spetslast. Sen analyseras för en specifik byggnad hur mycket energi som produceras från baslastproduktion och hur mycket som levereras från mellan/spetslastproduktion. Andelen av den producerade energin från baslast bestäms därmed dels av byggnadens lastprofil, och dels av vilken utnyttjningstid som krävs för att investering i produktionssystemet ska lönsamt. Detta innebär att analysen beaktar produktionssystemens ekonomiska villkor när åtgärden/byggnadens värmelast expanderas till att forma hela produktionssystemet. Därmed frigörs också analyserna från varaktighetsdiagrammets utseende i de tänkta typnäten. I den långsiktiga analysen antas denna anpassad till ett byggnadsbestånd där alla har genomfört samma åtgärd. Endast produktionssystemens egenskaper och bränsleval påverkar energiindexet.

Kortsiktiga effekter påverkar däremot utnyttjandegraden av de befintliga produktionssystemen, vilket ger andra resultat, se bilaga 6.3.

4.2.2 Utetemperaturberoende

Såväl produktionssystemets produktion och byggnadernas behov kan beskrivas med ett effekt–utetemperaturdiagram, se Figur 7. I denna principfigur visas hur olika produktionsslag går in vid olika utetemperaturer för att spetsa på med mer värmeeffekt. Lasten har en lutning, K_1 och en brytpunkt T_0 där den utetemperaturberoende delen börjar.

Vad vi kan se är att sambandet är relativt linjärt ner till den punkt då värmelasten enbart beror på förbrukningsposter som inte är temperaturberoende, t.ex varmvattenanvändning, men här finns också kulvertförluster.

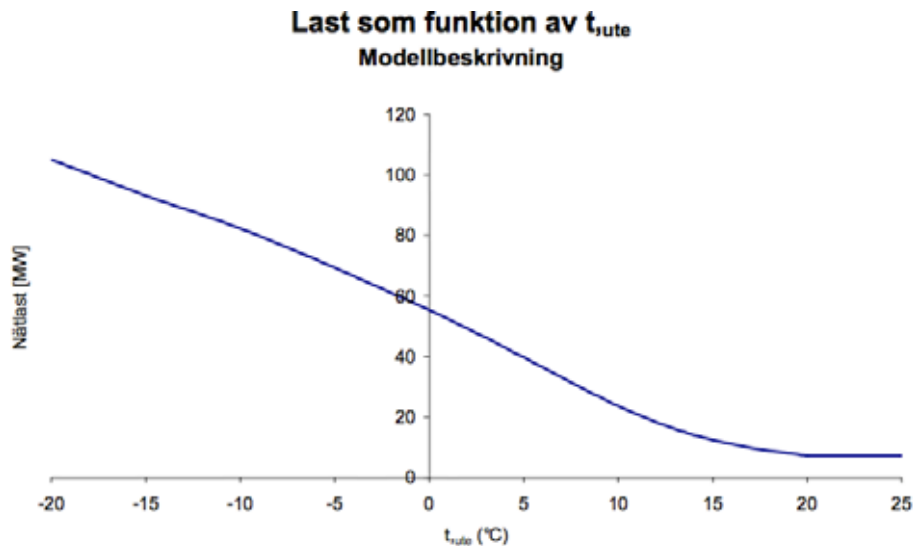


Figur 7 Principdiagram för effekt- utetemperatur relationen (effektsignatur). Kurvans lutningskoefficient K_1 , bestämmer effekt-utetemperaturrelation. T_0 den utetemperatur där kurvan startar, P_b , P_1 etc olika produktionssystem brytpunkter i utetemperaturskalan.

Om baslastproduktionen klarar 60 % av den totala lasten, kommer den kompletteras med spetslast vid en utetemperatur vid minus två grader. Denna utetemperatur kan sedan användas för att analysera hur mycket av köpt energi som kommer från baslasten för den anslutna byggnaden. Även byggnadens värmelast kan beskrivas med samma modell som för hela nätet. Summeras dessa för alla anslutna byggnader så ska lasten se lika dan ut, men till byggnadens last ska då adderas förlusterna i nät och undercentral.

I rapporten Samverkande produktions- och distributionsmodeller¹⁵ beskrivs sambandet mellan värmeeffektproduktion och utetemperaturen i Huddiksvalls fjärrvärmeområde enligt Figur 8.

¹⁵ SFV Fou 3003:83. Samverkande produktions- och distributionsmodeller.



Figur 8 Effekt- utetemperaturdiagram för Huddiksvall.

Vid lägre utetemperaturer planar kurvan ut något, vilket bl.a. beror på in- och utlagringseffekter i byggnadernas ytterväggar vid kortvariga köldknäppar och för att en del kunder sänker sina luftflöden och därmed bryter kurvan för sin värmereglering. Dessa låga utetemperaturer är tidsmässigt ganska korta och vi bortser från denna utplaning.

4.2.3 Simuleringsmodell för byggnadens energilast

Byggnadens effektbehov beskrivs utifrån dess energisignatur enligt Figur 7, och definieras utifrån det värmeeffektbehov som inte är temperaturberoende P_0 , temperatur T_0 då den temperaturberoende effekten börjar och kurvans lutning K_1 . Med dessa data kan sedan byggnadens värmebehov för årets alla dygn beräknas och beskrivas som ett varaktighetsdiagram om bara klimatdata för den aktuella orten finns.

För att underlätta analyserna har en simuleringsmodell skapats, där ett antal bostadsbyggnader med olika energiegenskaper kan definieras, t.ex. med egenskaper motsvarande:

- F-vent befintliga bostadsstocken
- F-vent BBR2011 (kommande byggregler för nyproduktion)
- FTX- passivhus

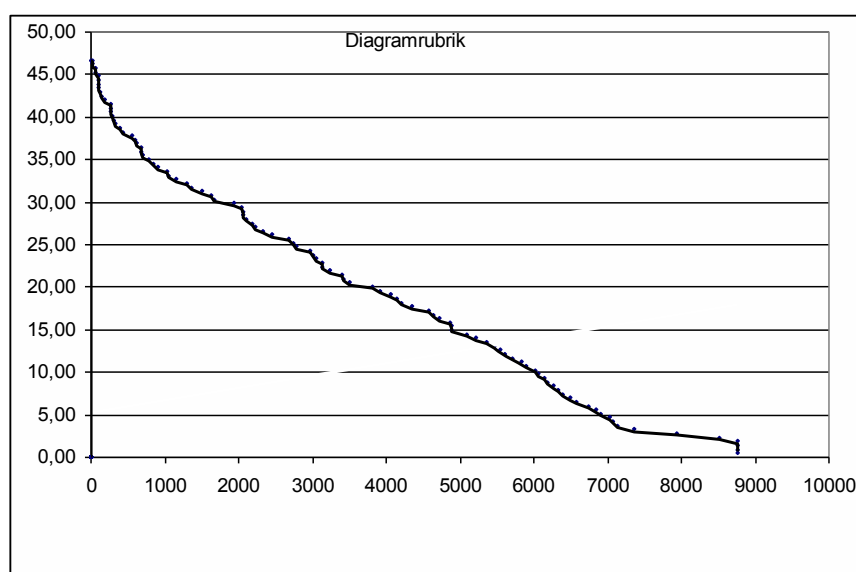
Dessa kan sedan ”förses” med en frånluftsvärmepump (med valbara egenskaper) eller med solvärme, olika antaganden om spillvärme i byggnaden, värmeförluster i kulvertsystem, kulvertförlusternas variation under året, varmvattenanvändning och dess variation under året, etc. Den teoretiska

grunden för modellen ges i bilaga 6.4. För att förenkla simuleringen används soldata på månadsnivå. I denna modell antas kulvertförlusten variera under året enligt de data som erhållits från Tekniska verken i Linköping.

4.3 Resultat av konsekvensanalyser för olika byggnader

4.3.1 Typhus 1. Bostadsstock

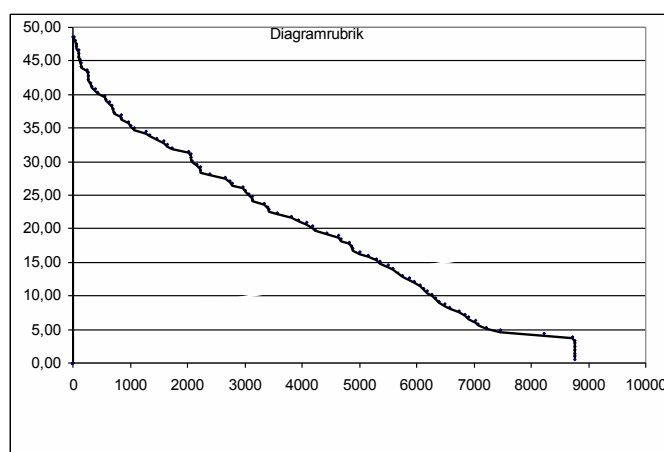
Med beräkningsstödet enligt bilaga 2 har en byggnad ”skapats” för att motsvara den befintliga stocken av flerbostadshus i form av ett eget typhus med en årsenergianvändning på 162 kWh/år för ort Stockholm (detaljdatabilaga 3) och med en effekt – varaktighet enligt Figur 9.



Figur 9 Typhus motsvarande bostadsstocken i Stockholm. Köpt energi: 162 kWh/m².

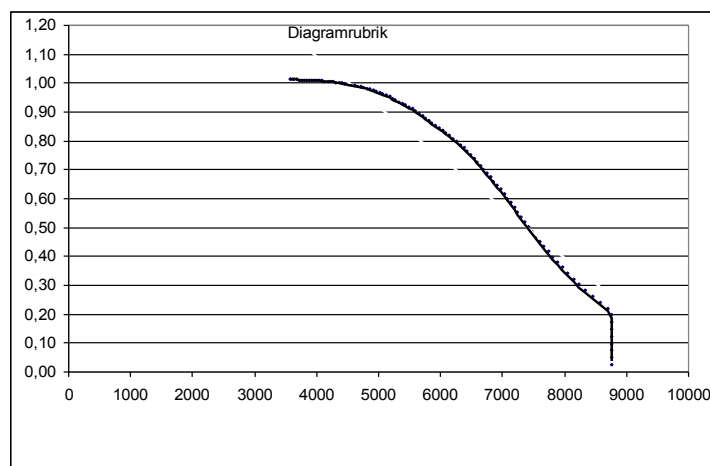
Bilden enligt Figur 9 ger en ungefärlig bild av byggnadens varaktighetsdiagram. Metoden bakom varaktighetsdiagram underskattar möjligen något spetslastbehovet, eftersom modellen simulerar på dygnsmedelnivå. Soldatahanteringen har också förenklats och ger viss ryckighet i diagrammet. Den kan ändå ses som en rimlig modell för analyserna och effektvariationerna på timnivå kan fjärrvärmeleverantören jämna ut via värmeackumulering i nätet.

Eftersom även kulvertförluster till byggnaden ska produceras så blir varaktigheten något förändrad när dessa förluster tas med. Om vi antar att kulvertförlusterna står för ca 10% av leverantörens energiproduktion, så kommer varje byggnad som ansluts i genomsnitt att dra ca 16 kWh/m² och när vi lägger till detta så ändras bilden till Figur 10.



Figur 10 Typhus motsvarande bostadsstocken i Stockholm. Köpt energi + kulvertförluster: 178 kWh/m².

För denna byggnad som nu betraktas ur producentens synvinkel får vi följande samband som illustrerar en tänkt baslasts andel av totalt levererad årsenergi som funktion av baslastens utnyttjandetid om vi analyserar en situation där producentens baslastsystem dimensionerats med hänsyn tagen till den förändring som nu åstadkommes på marginalen. Vi kan också se det som den situation som uppstår på lång sikt om alla byggnader utformas på samma sätt.

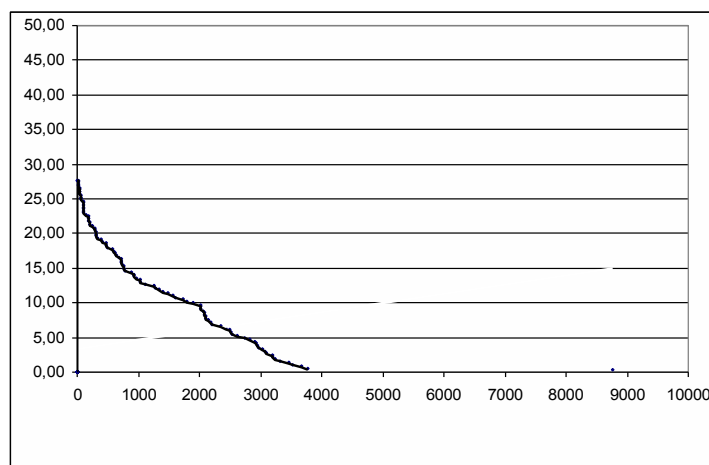


Figur 11 Andel levererad energi från en baslastproduktionsenhet till ett typhus motsvarande bostadsstocken, som funktion av baslastens utnyttjandetid.

Om kravet skulle vara att denna baslastproduktion behöver vara i drift året runt för att vara ekonomisk skulle den kunna täcka hela 20% av den levererade årsenergin. En relativt stor del av detta är kulvertförluster.

Ur diagrammet kan avläsas att om baslastproduktionen kräver en utnyttjandetid på 6.000 h/år så skulle denna kunna leverera ca 85% av hela värmebehovet.

Om dessa byggnader som en sparåtgärd installerar kondenserande frånluftsvärmepumpar motsvarande 20 W/m^2 i avlämnad värmeenergi, så kommer profilen på byggnadens värmelast se ut enligt Figur 12 och leveransen från fjärrvärmeleverantören reduceras från 162 till endast 36 kWh/m^2 . Effektmässigt kräver denna byggnad fortfarande drygt halva den tidigare värmeeffekten eftersom energin behövs under den kalla perioden.



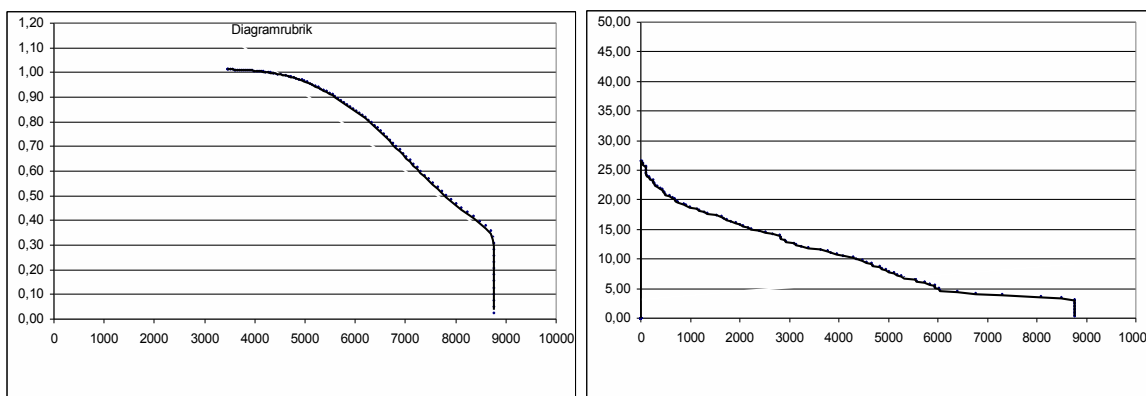
Figur 12 Värmelast exklusive kulvertförluster för köpt fjärrvärmeenergi till en byggnad som installerat en kondenserande frånluftsvärmepump som producerar både värme och varmvatten.

Men eftersom spillvärmen i nätet till denna byggnad kommer vara opåverkad (samma temperaturnivåer levereras) så ska även denna energi inkluderas utifrån producentperspektivet och den fjärrvärme som levereras ut på nätet uppgår då till 52 kWh/m^2 . Eftersom kulvertförlusterna ligger ganska jämnt under året så kan dessa helt täckas av en baslastproduktion (31 % av årsenergin), men om baslasten dimensioneras för 6000 timmars utnyttjningstid, så innebär det definitionsmässigt att baslasten också kommer

försörja en del av värmebehovet i Figur 12 och kommer då täcka ca 45% av årsenergin inklusive kulvertförlusten.

4.3.2 Typhus enligt BBR2011

För ett flerbostadshus som precis ska klara den nu skärpta byggnormen BBR2011 (90 kWh/m² i klimatzon 3, se även data i bilaga 6.5.) erhålls ett varaktighetsdiagram och en lastprofil enligt Figur 11 och i ett framtida produktionssystem skulle baslast med kraftvärme täcka ca 85% av denna värmelast under förutsättning att kulvertförlusten ligger kvar på samma nivå som tidigare även för nytilkommande bebyggelse och att baslast dimensioneras för en utnyttjandetid på 6.000 timmar.



Figur 13 Simulerad lastprofil för en byggnad som klarar kommande energikrav enligt BBR2011, samt i den vänstra figuren andel levererad energi från baslastproduktion som funktion av baslasten utnyttjandetid

Om byggherren istället väljer en byggnad som klarar byggreglerna enligt nya BBR, genom att bygga enligt 90-tals standard, men kompletterat med en kondenserande frånluftsvärmepump (för att klara BBR-kravet), så erhålls i princip samma resultat som redan redovisats ovan i Figur 12.

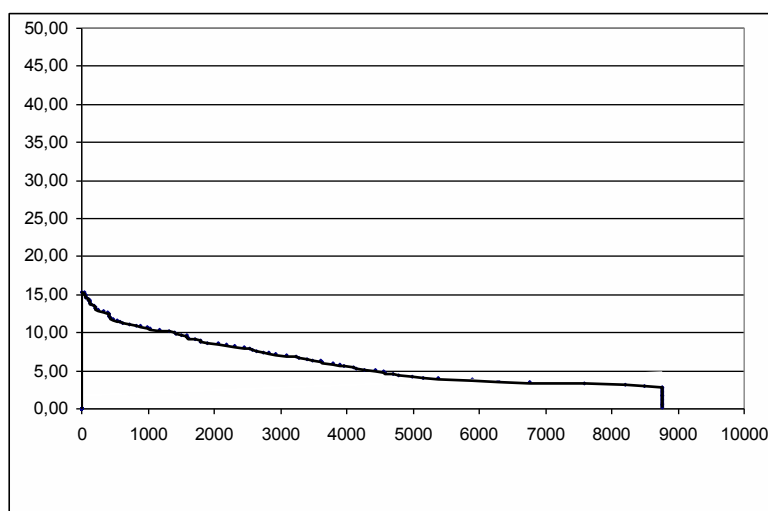
4.3.3 Typhus – passivhusnivå

Stockholms Stad avser ställa skarpa energikrav på byggande på stadens mark motsvarande passivhusnivå (ca 50 kWh/m²) och i Göteborg ställs motsvarande krav, men på nivån 60 kWh/m². I denna analys tillämpar vi FEBYs kriterier 2009 för passivhus¹⁶ (50 kWh/m²) och med krav som minimerar byggnadens värmeförluster. När så stränga krav ställs är det rimligt att anta att byggherren

¹⁶ Martin Erlandsson, Svein Ruud, Eje Sandberg, Maria Wall, Bengt Hellström, Ulla Janson, Hans Eek, Åsa Wahlström. FEBY: Kravspecifikation för Passivhus Version 2009. Framtagen inom Energimyndighetens program för Passivhus och lågenergihus, Forum för Energieffektiva Byggnader, LTH rapport EBD-R--09/25, IVL rapport nr A1592, Juni 2009, kompletterad oktober 2009.

också väljer fördelningsmätning av varmvattenanvändning vilket kan antas reducera varmvattenanvändningen med 20%¹⁷, liksom åtgärder för att minimera förluster i interna ledningssystem. Med dessa förutsättningar erhålles ett resultat enligt Figur 13 och i ett framtida produktionssystem skulle en baslast med kraftvärme täcka ca 90%.

¹⁷ Är även referensvärde för SVEBY och FEBY



Figur 14 Simulerad lastprofil för en byggnad som klarar passivhuskraven enligt FEBY09.

För anslutning av denna typ av lågenergihus är det inte rimligt längre med konventionell fjärrvärmeteknik där så höga värmeförluster uppstår eftersom kulvertförlusterna (16 kWh/m^2) då skulle ge en systemförlust på hela 29% jämfört med de ca 40 kWh/m^2 som krävs för värme och varmvatten. I nyproduktionen är det fullt möjligt att dimensionera för lågtemperatursystem runt 60 grader och som sänker kulvertförlusterna till en tredjedel (referens Tekniska verken i Västerås). Med mindre varmvattenanvändning, mindre varmvattencirkulationsförluster och framför allt lägre kulvertförluster så minskar dock den andel av årsenergin som kan täckas av baslastvärme till 82 %, dvs i nivå med dagens värmelastprofil i fjärrvärmekollektivet.

Denna lägre kulvertförlust avser förlusterna i det sekundära lågtemperaturnät som blir fallet om man växlar ner temperaturen för ett nyproduktionsområde eller till de fastigheter som ansluts. Förlusterna i det befintliga kulvertsystemet påverkas inte och i en marginalanalys är det just förändringarna som studeras.

Solvärme för varmvattenproduktion

Solvärme dimensionerat för att täcka hela solvärmebehovet under perioden juni – juli ger erfarenhetsmässigt en total reduktion på ca 50% av varmvattenanvändningen på helårsbasis och studeras som en separat åtgärd.

4.3.4 Resultat. Baslast för typhusbyggnader

Med dessa lastprofiler för de byggnadstyper som ovan beskrivits skulle vi för ett scenarioalternativ där baslasten bedöms kräva en utnyttjningstid på 6000 timmar (se kap 1.1) få en täckning enligt Tabell 7.

Tabell 7 Simulerad påverkan på fjärrvärmeproduktion inklusive kulvertförluster för olika byggnadstyper och med olika åtgärdsalternativ. Fördelning på baslast respektive spetslast med ett produktionssystem där det krävs en utnyttjningstid för baslastproduktionen på 6000 timmar.

	Åtgärd	Varmvatten	Förluster	Kulvert	Summa fjv.	Baslast 6000 h/år	Spetslast
Bostad Stock	-	30	7	16	176	85%	15%
	FVP	30	7	16	52	45%	55%
	Solvärme	15	7	16	161	84%	16%
Bostad BBR 2011	-	24	6	16	96	85%	15%
	FVP	24	6	16	48	47%	53%
	Solvärme	12	6	16	84	83%	17%
Passivhus	-	19	3,2	16	56	90%	10%
	Lågtemp	19	3,2	5,3	45,3	82%	18%
	Solvärme	9,5	3,2	5,3	35,8	77%	23%

I tabellen är det två delresultat att notera, dels mängden producerad fjärrvärme som krävs och dels andelen som täcka av baslastproduktion. Installation av en kondenserande frånluftsvärmepump sänker köpt fjärrvärme ner till passivhusnivå, men andelen från baslastproduktion är väsentligt lägre. Olika byggnader påverkar alltså fjärrvärmens egenskaper olika. Utifrån byggnadens perspektiv måste sen också hänsyn tas till om andra energislag (elenergi) påverkats, se avsnitt 9.4.

4.3.5 Resultaterande energiindexerad energianvändning

Energiindexerad energianvändning kan därmed beräknas för olika byggnader anslutna till ett produktionssystem. När dessa egenskaper enligt vårt scenario (se kapitel 8.1 och delresultat i Tabell 6 och Tabell 7) har använts, så erhålles för en stor ort ett resultat enligt Tabell 8.

Tabell 8 Resultatsammanställning för tre olika byggnadstyper med olika åtgärder vidtagna. Värden för fjärrvärme avser producerad fjärrvärme enligt scenariot för en stor ort och inkluderar kulvertförluster fram till byggnaden. RE, avser energiindexerad energianvändning. R_{index} avser resulterande energiindex för den producerade energin.

		Fjärrvärme				
	Åtgärd	producerad	Bas	spets	RE	R _{index}
Bostad Stock	-	176	85%	15%	59	0,34
	FVP	52	45%	55%	135	1,44
	Solvärme	161	84%	16%	55	0,34
Bostad BBR 2011	-	96	85%	15%	32	0,34
	FVP	48	47%	53%	67	1,05
	Solvärme	84	83%	17%	29	0,35
Passivhus	-	56	90%	10%	17	0,31
	Lågtemp	45	82%	18%	16	0,35
	Solvärme	36	77%	23%	14	0,38

Av resultaten kan man se en viss förbättring av energiindexuttaget för byggnader med lägre energiåtgång, men för passivhus som är anslutna med konventionell fjärrvärmeteknik beror det på att kulvertförlusterna får en så stor påverkan. Om lågtemperaturnät istället tillämpas minskar dessa förluster (som huvudsakligen är baslastproducerat) och då blir resurspåverkan på samma nivå som för beståndet. Men det beror också på att det för byggnaden passivhus inkluderats fördelningsmätning av varmvatten och åtgärder för minskning av byggnadens varmvattencirkulationsförluster vilket också sänker baslastbehovet. Om därtill solfångare installeras kapas ytterligare baslast bort och index ökar.

När en frånluftsvärmepump installeras på en befintlig byggnad eller som ett alternativ för att få ner köpt energi vid nyproduktion och om denna dimensioneras för att ta huvuddelen av värmeproduktionen, dvs endast köper in begränsad värmeenergi (fortfarande kommer halva byggnadens dimensionerande värmeeffektbehov från fjärrvärme) minskar energi från fjärrvärme påtagligt, men resursbelastningen ökar. Ser vi till energiindex för den till byggnaden allokerade fjärrvärmes så ökar denna dramatiskt när baslasten kapats av.

Åtgärden fjärrvärme eller solvärme kan också analyseras utifrån energiindex för den bortsparade energin, se Tabell 9. I ett BBR-perspektiv som endast tar hänsyn till minskad köpt energi spar åtgärden med en installerad frånluftsvärmepump i det befintliga beståndet 47% av köpt energi (el för att driva värmepumpen beaktad), men utifrån ett resursperspektiv så minskar resurseffektiviteten med 128%! För solvärme-installationen så minskar både faktiskt köpt energi och resursuttaget, men nyttan i ett resursperspektiv blir 30% lägre.

Tabell 9 Tabell 8. Besparingseffekt för två åtgärder uttryckt som energiprestanda enligt Boverkets BBR respektive uttryckt som energiindexerad energi. Resultat för en stor ort enligt beskrivet scenario.

Stor ort	Åtgärd	Spar	
		Spar BBR	RE
Bostad Stock	FVP	47%	-128%
	Solvärme	9%	6%
Bostad BBR 2011	FVP	33%	-108%
	Solvärme	13%	11%

Om istället dessa åtgärder genomförs på en liten ort, där all fjärrvärme produceras med en pelletseldad värmepanna (alternativ 3) ger solvärmens samma besparingseffekt, uttryckt som energiindexerad energi, som i köpt energi. För värmepumpsalternativet blir resultatet en mindre ökning av energiindexerad energi istället för en halvering av köpt energi, se Tabell 10.

Tabell 10 Besparingseffekt för två åtgärder uttryckt som energiprestanda enligt Boverkets BBR respektive uttryckt som energiindexerad energi. Resultat för en liten ort enligt beskrivet scenario för en pelletseldad panna.

Liten ort	Åtgärd	Spar	
		Spar BBR	RE
Bostad Stock	FVP	47%	-21%
	Solvärme	9%	9%
Bostad BBR 2011	FVP	33%	-15%
	Solvärme	13%	14%

5 SLUTSATSER OCH DISKUSSION

Resurshushållning bedöms bli en central frågeställning i hållbarhetsarbetet och länkar starkt till andra miljöaspekter i ett brett spann från klimatpåverkan till helt andra aspekter såsom vattenbrist och möjligheten att rena och förflytta vatten till där den bäst behövs.

För att på ett analytiskt sätt bedöma miljöpåverkan och hushållning av resurser och därmed energieffektivitet för användningen av olika energivaror, har ett bedömningssystem för energi utvecklats. Detta system kan användas i sina enskilda delar, eller ses som ett större sammanhängande bedömningssystem (där alla delar används). Detta bedömningssystem kan förenklat delas in i ett antal övergripande delkomponenter;

1. Värdering av uttag och konsumtion av naturresurser, vilket resulterar i karakteriseringsfaktorer för användning av olika naturresurser
2. En inventeringsmodell för att beskriva miljöpåverkan av energivaror, vilket resulterar i ett energiindex för olika energivaror
3. En beskrivningsmodell som skildrar orsakas-samband för det analyserade byggnads-fjärrvärme-systemet, i detta fall ett resultat som beskriver konsekvenser för åtgärd i en fjärrvärmeansluten byggnad.

Det energiindexet och de bakomliggande karakteriseringsfaktorerna ger ett värde på alla slags energiresurser där ”noll” eller ”gratis” inte finns – bara mer eller mindre till väldigt liten påverkan. Detta återspeglar att all energi är knapp när vi väl skall utvinna den. För att öka kommunikerbarheten av de framräknade energiindexen för olika energivaror, energisystem mm, så har vi normaliserat energiindexet med avseende på fossil energi. Detta ger ett numeriskt värde som liknar primärenergifaktorer och kan därför enkelt ersätta dessa godtyckligt valda faktorer.

De värden på energiindex som redovisas i denna rapport baseras på data från befintliga LCA-databaser och ger för de flesta energivaror en logisk och vad man i förväg kan förvänta sig rimlig inbördes ordning sinsemellan. Det som är nytt är de numeriska värdena som är analytiskt beräknade. En jämförelse med värdering av avfall med hjälp av så kallad primärenergifaktor och här beräknat energienergiindex kan tjäna som ett exempel. Det uträknade värdet för ett avfall med 30% fossilt kol ger detta ett energienergiindex på 0,33 $\text{MJ}_{\text{index}}/\text{MJ}_{\text{bränsle}}$ (samt $1,05 \text{ MJ}_{\text{prim}}/\text{MJ}_{\text{bränsle}}$) som kan jämföras med subjektivt satta primärenergifaktor på $0,66 \text{ MJ}_{\text{PEF}}/\text{MJ}_{\text{bränsle}}$ som ges av Energieffektivitetsutredning¹⁸. Denna primärenergifaktor för avfall ligger

¹⁸ Ett energieffektivare Sverige (SOU 2008:110).

varken nära den naturvetenskapligt beräknade primärenergien eller det energienergiindex som räknats fram här. Notera att denna primärenergifaktor och andra som ges exempelvis i Energieffektiviseringsutredningen inte är entydigt definierade, saknar bakomliggande metodik och får därmed anses vara godtyckligt valda. Bedömningssystem som är uppbyggda på godtyckligt valda värden kan och kommer alltid att kunna ifrågasättas (även om ambitionen är god). Resultaten ger en ny bild vad gäller miljövärderingen av vissa bränslen, t.ex. tallolja som klassats som förnybar och i miljöklassningssystemen ”får höga poäng” då talloljan inte släpper ut fossil koldioxid vid förbränning, men som med vår energiindexmetodik avslöjas som stora energiresursbehov, värre än fossilenergi.

Utredningen indikerar att relationstalet mellan el och fjärrvärme är större när resurseffektiva kraftvärmesystem ingår än vad som tidigare diskuterats. Det finns därför anledning att närmare diskutera de samhällsmässiga konsekvenser föreslagen värderingsmetodik innebär och om dagens styrmedel och energikrav i byggreglerna verkligen leder mot en hållbar utveckling. Man skall notera att denna bedömning baseras på en jämförelse med framtida el från Elforsk rapport 08:30, som nu har några år på nacken och där en uppdatering sannolikt skulle kunna förbättra utfallet för el. Men detta till trots, så kommer de energiindex som föreslås resultera i en gynnsam bedömning av framtida kraftvärmeproduktion i svenska fjärrvärmenät i förhållande till marginalproduktionens elmix. En motsvarande bedömning mellan olika former av el och värme, med tillämpning av så kallad bokförings-LCA ingår inte i denna rapport. Det känns därför angeläget att komplettera de beräkningar som gjorts här med konsekvenser av ett sådant alternativt systemperspektiv. Detta systemperspektiv är vanligt i LCA och det helt dominerande för miljö- och klimatdeklarationer. Tillämpas bokförings-LCA är det dessutom metodmässigt korrekt att analysera specifik energi från specifika leverantörer (vilket inte är relevant vid en marginalanalys).

Den bedömningsmetod som tagits fram här skall ses som ett komplement till andra miljöpåverkanskategorier och de bränslen som man i ett hållbarhetsperspektiv bör satsa på är sådana som både har ett lågt resursenergiindex samt låg miljöpåverkan (såsom med avseende på klimat). På samma sätt kan man säga att en klimatdeklaration i alla fall borde kompletteras med ett energiindex, som det som beskrivs här, för att man inte skall göra suboptimeringar och det skall kunna ligga till grund för jämförelser och effektiviseringar.

Den tredje delkomponenten i projektet utgör beskrivningsmodellen som skildrar orsakas-samband för det analyserade byggnads-fjärrvärme-systemet. Detta är en generell beskrivningsmodell för att analysera hur byggnadernas lastprofil påverkar baslastens andel mm av årsenergin och visar att detta har en

tydlig koppling till produktionssystemets resurspåverkande egenskaper. En mer exakt ansats (och mer utvecklad tillämpning av föreslagen metod) hade varit att för varje byggnad analysera byggnadens värmelast mer fullständigt, dvs andel av årsenergin uppdelad på baslast, mellanlast, spetslast och en sommarlast. Med tillämpad förenkling behövs endast ett scenario beräknas för baslasten som då definieras ifrån;

- 1) ett kostnadsscenario för baslastens krav på utnyttjandetid för att genomföra beräkningarna, alternativt
- 2) vid vilken utetemperatur baslasten inte längre räcker till.

Tillämpningen av det bedömningssystem som tagits fram, visar vilka åtgärder som leder till en mer hållbar utveckling. Resultaten ger en påfallande skillnad mellan åtgärdernas lönsamhet (prisrelation mellan fjärrvärme och elenergi) och dess resursvärdering enligt metoden med energiindex. De kan därmed utgöra underlag för en energipolitisk diskussion om framtida prioriteringar och satsningar.

Eftersom avfallsbränsle har en relativt liten effekt på energiindex för fjärrvärme, i de typnät vi presenterat, är inte metodens ansatser för avfallsbränsle avgörande för resultaten i genomförda exempelberäkningar. En utvidgad studie krävs för att uttala sig om detta är ett generellt resultat.

Stor betydelse för resultatet har de ansatser för framtida elproduktion som används för jämförelse. Dessa framtidsscenario för elproduktion baseras på data från Elforsk rapport 08:30, och kan uppfattas som konservativa i en europeisk omvärld med höga ambitioner på att ställa om energisystemen mot förnybar energi. På 20 års sikt kan mycket väl vindenergi stå för väsentligt mer än de 11% som ingår i den produktionsmix (av flera) från Elforsk som valts. Därtill kan solceller hinna komma in och ta en allt större del av produktionen (i framförallt södra grannländer). Kolbränsle kommer till del hinna ersättas av mer biobränslen och avfall. Såväl storskalig, som småskalig kraftvärme hinner byggas ut. På kontinenten är det ambitionerna för lokala elproducerande kraftvärmeaggregat som diskuteras och kanske i första hand drivna med naturgas.

De verkningsgrader för kraftgenerering som ingår i Elforsks rapport kan uppfattas som låga för nya tillkommande produktionsanläggningar, men kan möjligen motiveras om teknik för koldioxidlagring ska ingå då de kräver stora energiinsatser och därmed försämrar verkningsgraden. En kraftsamling på bioförgasning kompletterat med gaskombisystem kan lyfta verkningsgraderna för biobaserad elgenerering. Kanske kan en mer detaljerad studie avelscenariot landa på värden för elenergens energiindex som i alla fall ligger 30 till 40% lägre än i denna studie. En sådan utveckling skulle därmed kunna ge ett

rimligare relationstal mellan el och värme. I en sådan studie är också tidsperspektivet viktigt. De beräkningar som gjorts här föreslås därför kompletteras med nya uppgifter för framtida elscenarion, när sådana uppgifter finns framme.

Avgörande för att kunna ta till sig metodens slutsatser är att det inte finns risk för att metoden leder utvecklingen fel. I detta avseende förefaller resultaten ge en snarast övertydlig riktning och bör därför vara ganska robust även med smärre korrigeringar av data efter det att bland annat en elscenariostudie genomförts. För att få en allmän acceptans av en ny metodik krävs att genererade värden är dokumenterade och att modellen kan presenteras på ett kommunicerbart sätt. Här bedöms kompletterande arbetsinsatser vara nödvändiga om resultaten ska kunna få en större spridning.

Det är en rimlig tanke att värderingen av fjärrvärme påverkas av hur den fjärrvärme som levereras också har producerats och att denna produktion varierar under året i ett givet fjärrvärmenät. En metod för detta har dock saknats. Föreslagen metod att dessa samband kopplas till dimensionering av mer resurseffektiv produktionsutrustning, att det sker utifrån framtida utnyttjningstid för dessa och att denna utnyttjningstid påverkas av den anslutna byggnadens värmelastprofil bör vara möjlig att acceptera även om det ger en ökad komplexitet vid värderingar.

Av praktiska skäl bör detta ske utifrån en beskrivning av framtida typfjärrvärmenät så att byggbranschen kan optimera utifrån gemensamma spelregler. Då slipper man också lokala gissningar om framtiden och allt det arbete som annars krävs för att få fram data till energiindex.

För stora orter har ett nationellt scenario tagits fram i denna rapport och jämförts med ett produktionsscenario för en större ort. Trots att det nationella scenariot inkluderar en begränsad andel avfallsbränsle erhålles relativt jämförbara resultat, vilket indikerar att nationella gemensamma energiindex kan visa sig vara användbara. Fler jämförelser av andra större orters långsiktiga produktionsplaner rekommenderas för att säkerställa denna slutsats.

Men byggnadens påverkan sker inte bara i framtiden utan även under närmaste åren innan produktionssystemen anpassats till förändrade förutsättningar. Om detta får en marginell betydelse eller mer påtaglig effekt på resultaten bör studeras i en kompletterande utredning nu när metodik och beräkningsstöd för detta finns framme.

Det beräkningsstöd (Excel) som utarbetats inom projektet underlättar generering av byggnaders lastprofil uttryckt som; baslastens andel av årsenergi

som funktion av utnyttjandetid. Den kan användas för att analysera andra byggnader och andra åtgärder på byggnadsbeståndet. Det ger också frihet för kommande analyser att gå in med egna antaganden om vilken utnyttjandetid som en viss produktionsanläggning kräver. Beräkningsstödet kan inte användas publikt utan en vidareutveckling (bättre gränssnitt och analys-/rapportfunktioner, mm).

Kompletterande studier rekommenderas för att få med fler byggnadstyper och åtgärdstyper, säkerställa slutsatser, men också för att det har ett informationsvärde. I en sådan studie kan tabellverk med energiindex tas fram för typhus och åtgärder för det antal typfjärrvärmenät som kan bli aktuella. Ska nationellt användbara energiindex utarbetas, så bör dessa typnät vara väl definierade och begränsade i antal. Kanske bara två alternativ (stort och litet).

En dialog med miljöklassningssystemen för deras miljöklassning av de energislag som byggnaden försörjs med kan också vara aktuell. Avser värderingen resurspåverkan omgående eller under byggnadens livslängd? Kan energiindex enligt metoden i denna rapport implementeras i deras system?

Utredningen visar tydligt att effektivare kulvertsystem med lägre förluster påverkar resultatet då energieffektiva byggnader ska anslutas. Att sänka dessa förluster borde vara ett mål vid anslutning av alla typer av byggnader även för de befintliga systemen när byggnader i delområden genomför mer radikala åtgärder, dvs att hela systemtemperaturen i dessa delområden sänks.

6 BILAGOR

6.1 Alternativsproduktionsmetoden kraft-/värmeproduktion

Då en LCA görs för en produkt (vara eller tjänst) så betyder detta i praktiken att det bakomliggande produktsystemet inventeras i ett livscykelperspektiv, vilket ofta beskrivs som en från-vaggan-till-graven studie. Detta innebär att man måste analysera ett antal processer från utvinning av råvaror till framställning av produkter inklusive energivaror. Vid många processer används ner än en råvara och man tillverkar mer än en produkt (samproduktion/*eng. co-production*). Den centrala frågan – dvs grunden i LCA-metodiken – är således hur man skall fördela miljöbelastningen på de produkter som uppstår vid en gemensam process. LCA-standarden (ISO 14044) är en så kallad procedurstandard, vilket innebär att den ger övergripande anvisningar och en turordning av förhållningssätt, där det exakta valet oftast styrs av studiens mål och syfte. Med andra ord med en ett givet mål och syfte är en visst metodval mer logiskt eller korrekt än ett annat.

När det gäller fördelning av miljöbelastningen så anger LCA-standarden att man skall göra med en allokeringsprocedur. Det mest basala kravet för en allokering mellan produkter är att summan av flöde in och ut och fördelad miljöbelastning på produkterna skall stämma med det som totalt orsakats av processen de kommer ifrån, dvs massbalansen skall gå ihop oavsett vilken procedur som väljs. Utöver detta basala krav så anger man en allokeringsprocedur skall först (dvs innan allokeringen) göras genom att dela upp processen i ett antal delsteg och att man i detta sammanhang skall undvika så kallad systemutvidgning. Vid systemexpansion bedöms vilket produktalternativ som de samprodukter skilt från den analyserade (funktionella) huvudprodukten man för tillfället **inte** vill analysera som en del av produktsystemet¹⁹. Men dessa samprodukter ingår ju i alla fall vid en systemutvidgning genom att man kompenserar deras ”nytt” med en marginalprodukt som genererar motsvarande nytta. Med andra ord systemutvidgning blir alltid multifunktionell. Forskare har dessutom visat at denna resursersättning kan bidra till en oändlig serie av systemutvidgningar varför serieutveckling krävs för att lösa inventeringen matematiskt sett (Weidema 2001).

Nackdelen med systemutvidgning är att den innehåller subjektiva val om ersättningsprodukten/-na som inte är entydiga och att den resulterar i en LCA

¹⁹ Exempelvis om el från ett kraftvärmeverk analyseras bedöms vad värmen ersätter, och analyseras värme bedöms vad elen ersätter, eller i det fall man analyserar sågad var; vad ersätter barken på marknaden.

med flera funktioner, eller med andra ord ett eller flera scenariovillkor såsom ”miljöpåverkan för 1 kWh fjärrvärme förutsatt att använt träavfall som bränsle ersätter fossil olja” (... eller hade det varit mer troligt att den skulle användas för jordtillverkning? ... osv). Denna slags LCA-metodik resulterar dessutom i inventeringsdata som inte är modulära och innehåller (scenario-)val om vilken produkt eller process som samprodukterna troligtvis kommer att ersätta. Denna allokeringsslag metodik tillämpas därför inte i praktiken i miljövarudeklarationer av dessa två skäl.

Processallokeringen görs sedan i första hand på ett sådant sätt att proceduren avspeglar underliggande fysiska samband vid en förändrad produktion. Om en fysisk allokering inte kan användas ensamt så kan man komplettera med andra samband²⁰, vilket vanligtvis tolkas som ett ekonomiskt värde. Notera att alla flöden som används klassas som produkter och skall bära en del av miljöbelastningen. För fjärrvärme betyder det att produktionsspill som används som bränsle har en ”miljöryggsäck” är enligt ISO således inte gratis.

Nedan återges två förenklade exempel för att belysa konsekvenserna av de metodval som givits ovan.

²⁰ Dvs de delar av miljöbelastningen som kvarstår efter en fysisk allokeringsslag procedur.

Exempel 1

$$\alpha_{h,i} = \frac{\frac{E_{h,tot}}{\eta_{h,i}}}{\frac{E_{h,tot}}{\eta_{h,i}} + \frac{E_{el,tot}}{\eta_{p,i}}} \quad \alpha_{el,i} = \frac{\frac{E_{el,tot}}{\eta_{el,i}}}{\frac{E_{h,tot}}{\eta_{h,i}} + \frac{E_{el,tot}}{\eta_{p,i}}}$$

$\alpha_{h,i}$ allokeringsfaktor värme för bränsle i, den del av bränsle och därmed miljövärden som ska allokeras på producerad värme

$\alpha_{el,i}$ allokeringsfaktor el för bränsle i, den del av bränsle och därmed miljövärden som ska allokeras på producerad el

$E_{h,tot}$ totalt producerad värme

$E_{el,tot}$ totalt producerad el, utan avdrag för hjälpel

$\eta_{h,tot}$ alternativverkningsgrad separat värmeproduktion med bränsle i

$\eta_{p,tot}$ alternativverkningsgrad separat elproduktion med bränsle i

Följande driftsdata och alternativproduktioner antas:

El: $\eta_p = 0,33$, $E_p = 0,30$

Värme: $\eta_h = 0,86$, $E_h = 0,60$

Vilket ger

$\alpha_h = 0,43$ som ger ett energibehov på $0,43/0,6 = 0,69 \text{ kWh}_{in}/\text{kWh}_{ut}$

$\alpha_{el} = 0,57$ som ger ett energibehov på $0,57/0,3 = 1,8 \text{ kWh}_{in}/\text{kWh}_{ut}$

Dvs PEF för värmeproduktionen vid ett kraftvärmeverk är $< 1 \text{ kWh}_{in}/\text{kWh}_{ut}$

6.2 Exempel på konsekvenser av tillämpning av två metoder för material-/energiåtervinning

Produktåtervinning, görs vanligtvis med ett ”enkelt klipp” (eng. *simple cut*) i miljövarudeklarationer, se exempelvis det internationella EPD-systemet²¹. Ett alternativ är att säga att allt avfall är gratis, vilket beskrivs i exemplet nedan.

Exempel 2

Exempel på förenklad bedömning av återvinning av gummidäck.

Till att börja med så antar vi att gummidäcken bara består av gummi och att de baseras på fossil energi för att förenkla verkligheten. Vi antar att den bundna energin är ca 25 MJ/kg samt att tillverka gummi är 25 MJ/kg och att återanvända gummit som gunga är 2 MJ/kg. Ett kg gummi som används som bränsle genererar 22 MJ fjärrvärme. Vidare antas att regummering av ett däck kräver 5 MJ för bearbetning av gummit (processenergi). Miljöpåverkan från transanporter och eventuell avfallsbearbetning försummas.

	Process	Bundet	Totalt
<i>Gummidäck som används och deponeras</i>	25	25	50
<i>Gummidäck som används och återvinns eller energiåtervinning</i>	25	0 (25-25)	25
<i>Regummerat däck som deponeras</i>	5	25	30
<i>Regummerat däck som återvinns</i>	5	0	5
<i>Fjärrvärme som använder gummidäck som bränsle</i>	0	25	25
<i>Gummidäck som används till en gunga och deponeras</i>	2	25	27
<i>Gummidäck som används till en gunga och återvinns eller energiåtervinning</i>	2	0	2
<i>Fjärrvärme som använder nytt gummispill som bränsle</i>	25	25	50
<i>Fjärrvärme som använder gamla bildäck</i>	0	25	25

Av ovanstående förenklade analys framgår att man med den standardmetod som används för miljövarudeklarationer gynnar materialåtervinning, men att för fjärrvärme blir det en liten skillnad av att använda (fossilbaserade) gummidäck i förhållande till att använda exempelvis kol som bränsle. På samma sätt skulle användning av produktionsspill vara ett ur miljösynpunkt dyrt bränsle. Värt att notera när det gäller produktionsspillet är att det i miljöklassningssystem såsom LEED ger mindre ”bonus” för produktionsspill (eng. pre-consumer recycling) än material från återvunna produkter (eng. post-consumer recycling).

²¹ Supporting annexes for an international EPD system for environmental product declarations. The International EPD Cooperation (IEC), version 1.0 dated 2008-02-29.

Dessa förhållande känns inte helt optimala i ett samhällsperspektiv men är konsekvensen av den metodik som för närvarande tillämpas. Låt oss anta att avfallet (post-consumer) istället är gratis för fjärrvärmeproducenten och därmed allokeras nedströms på ursprungsprodukten. Resultatet av detta återges i tabellen nedan:

	<i>Process</i>	<i>Bundet</i>	<i>Totalt</i>
<i>Gummidäck som används och deponeras</i>	25	25	50
<i>Gummidäck som används och återvinns</i>	25	0	25
<i>Gummidäck som används och sedan energiåtervinns i ett fjärrvärmeverk</i>	25	25	50
<i>Regummerat däck som deponeras</i>	5	25	30
<i>Regummerat däck som återvinns</i>	5	25*	30
<i>Fjärrvärme som använder gummidäck som bränsle</i>	0	0	0
<i>Gummidäck som används till en gunga och deponeras</i>	2	25	27
<i>Gummidäck som används till en gunga och återvinns (dvs i en produkt)</i>	2	0	2
<i>Gummidäck som används till en gunga och sedan energiåtervinns i ett fjärrvärmeverk</i>	2	25	27
<i>Fjärrvärme som använder nytt gummispill som bränsle</i>	25	25	50
<i>Fjärrvärme som använder gamla bildäck</i>	0	0	0

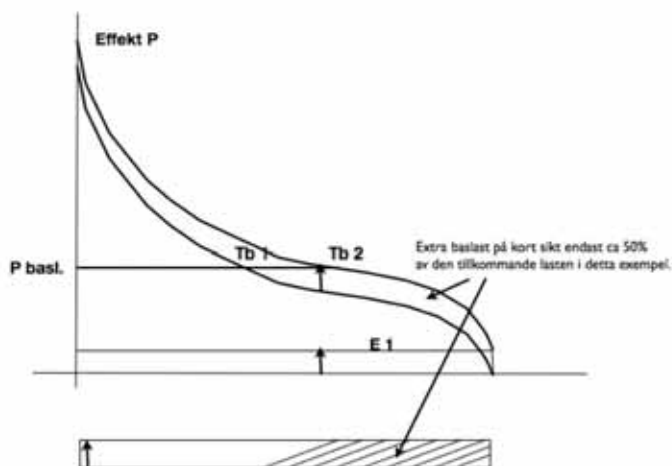
Inte heller detta alternativ ger en helt optimal rättvisande fördelning av miljöansvaret. Det blir exempelvis ingen skillnad på om gummidäcket deponeras eller energiåtervinns i ett fjärrvärmeverk, utan all framtida miljöpåverkan allokeras på det primära däck. Detta alternativ gynnar dock helt klart fjärrvärme som baseras på avfall.

Det alternativ som redovisas i den sista tabellen i exempel 2, där allt avfall antas vara gratis (för nedsöms-/avfallsanvändare), har inte valts i de exempelberäkningar som gjorts då den dels inte följer allmän praxis för miljövarudeklarationer, dels inte ger en konservativ bedömning av fjärrvärme (dvs för att inte uppfattas som en partsinlaga). Därför skall de metodval som gjorts här betraktas som ett värsta fall och där fjärrvärme som baseras på avfall eller spillvärme borde vara "bättre" än de uppgifter som redovisas här.

En metod som ligger någonstans emellan den metod för materialåtervinning/energiåtervinning som valts och det alternativ metoder (där allt avfall ur miljösynpunkt är gratis) hade varit önskvärt, se exempel 2. En sådan metod måste hantera värdet av återvunna material och någon praktisk fungerande sådan metod finns inte framtagen.

6.3 Exempel på analys av kortsiktig effekt av åtgärd

Antag att en ny last med enbart varmvattenbehov tillkommer. I det kortsiktiga perspektivet, så kommer baslasten att kunna få lite längre drifttid. Sett till hela produktionssystemet kommer dock den tidpunkt b1 då baslasten inte räcker till effektmässigt nu förflyttas till tidpunkten b2 (till höger i diagrammet) och baslasten kommer stå för en mindre andel av den totala produktionen. Projicerar vi detta på enbart den tillkommande varmvattenlasten, kan vi se att enbart en mindre del av denna tillkommande last försörjs från baslastsystemet. Varaktighetsdiagram (effekt - tid) där en tillkommande last E1 med enbart varmvatten illustreras nedan. Vid effekten för baslast $P_{basl.}$ förskjuts den tidpunkt då baslasten inte längre räcker till från b1 till b2.



Figuren visar den kortsiktiga effekten där baslasten som har en given effekt nu kan producera under en längre tidsperiod. Men den tillkommande lasten har en bra utnyttjandetidoch motiverar alltså att baslasten dimensioneras upp för att täcka hela den tillkommande lasten, vilket sker i samband med nyinvestering eller utbytesinvesteringar i produktionssystemet. För denna nya last kommer alltså försörjningen på lång sikt (LM) helt ske med baslastproduktion eftersom den tillkommande lasten har en utnyttjandetidsom är längre än vad som krävs för den nya baslasten.

Om vi istället inför en åtgärd i enstaka byggnader eller i hela byggnadskollektivet som minskar varmvattenanvändningen får vi en motsatt effekt på lång sikt. På kort sikt skulle baslasten kunna ta en större del av hela värmeproduktionen, men på lång sikt (LM) försämrars ekonomin i nya baslastanläggningar. För att få samma varaktighet i baslastproduktionen kommer den nu ta en mindre andel av årslasten, dvs brytpunkten för när baslasten inte längre räcker till, b förskjuts mot en kortare drifttid. Vi antar att åtgärder som sparar varmvatten enbart påverkar dimensioneringen av baslasten. Att varmvattenbehovet varierar något över året bortser vi tillsvidare ifrån.

6.4 Simuleringsmodell för beräkning av byggnadens andel av baslastproduktion

En simuleringsmodell har tagits fram utifrån följande beräkningsmodell, med syfte att enkelt identifiera baslastens andel av byggnadens energibehov (inkluderande kulvertförlusterna) utifrån den utetemperatur där brytpunkt för baslast uppstår alternativt utifrån baslastens utnyttjningstid.

Byggnadens varaktighetsdiagram delas in i 100 skikt med allt högre levererad värmeeffektbehov.

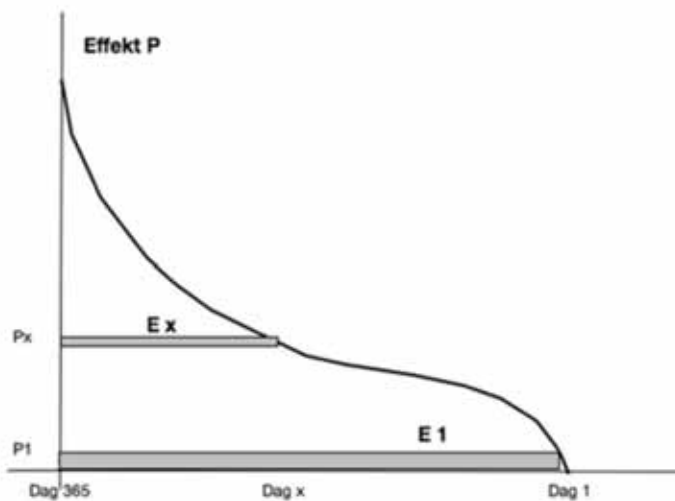
Värmeeffektbehovet i ett givet skikt $P_x = P_o + K_1 * (T_x - T_o)$

Den icke temperaturberoende effekten P_o , delas i sin tur in i delkomponenterna:
varmvattenberoende effekt: P_{VV} ,
värmecirkulationsförluster i byggnaden, P_{VVC}
Kulvertförlusten, $P_{kulvert}$

Eftersom vi inkluderar $P_{kulvert}$ så måste hänsyn tas till detta då energiindex för köpt energi beräknas. Om kulvertförlusten blir stor jämfört med köpt.

Energibehovet E_1 upp till effektbehov P_1 är tiden för alla dagar som effektbehovet egentligen är större, dvs för det första skiktet $E_1 = 365 * 24 * P_1$.

För ett givet skikt, $E_x = X * 24 * (P_x - P_{x-1})$, se figur 3.



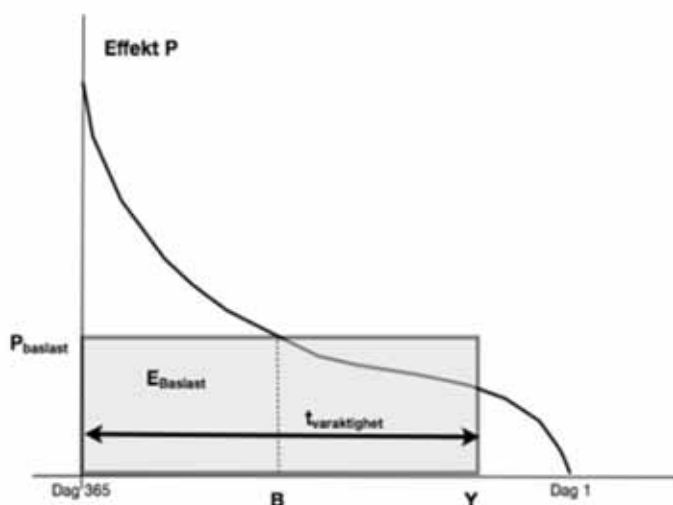
Figur 3. Byggnadens varaktighetsdiagram, med energiskiktet E1 i botten och Ex mitt i diagrammet.

För ett helt år, kommer energibehovet bli summan för E_x under årets alla dagar;

$$E_{\text{årsenergi}} = \text{Summa } E_x, 1 - 100$$

Producerad energi från baslastanläggning E_{Baslast} som byggnaden behöver, utgör summan av alla energiskikt upp till P_{baslast} .

Utnyttjandetiden, t_u för ett baslastproduktionssystem är den tid då samma energimängd producerats vid P_b som summan av alla energiskikt från 1 - Y i figur 4.



Figur 4. Byggnadens försörjning från en baslastenhet med utnyttjandetiden t_u .

$$\text{Utnyttjandetiden } t_u = (365 - Y) \text{ (dagar)}$$

Baslasten $E_{\text{Baslast}} = t_v * 24 * P_b$, (MWh) därmed är

$$t_v = E_{\text{Baslast}} / (P_b * 24)$$

Baslastens andel, $\text{Bas}_{\text{andel}}$ (%), av årets totala energimängd blir:

$$\text{Bas}_{\text{andel}} = E_{\text{Baslast}} / E_{\text{årsenergi}}$$

Basproduktionsens andel som funktion av baslastens varaktighet kan därmed beräknas utifrån ortens klimatdata och byggnadens energisignatur; $\text{Bas}_{\text{andel}} = f(t_u)$

För varje dygn beräknas värmeeffektbehov, utnyttjandetid och för denna utnyttjandetid hur stor andel som producerats från baslastsystemen.

Därefter sortera alla dagar dels på månadsbasis och dels på ökande utetemperatur. Därmed kan vi sen jämföra dygnsanalysen med månadsanalys.

6.5 Detaljdata för analyserade byggnader

I samtliga alternativ antas en persontäthet på 21 m²/person, samt att det ska finnas utrymme för fastighetsel på 10 kWh/m².

Bostadsstocken.

K1 = 1,35 W/K,m²

Förluster i varmvattencirkulationen: 4 kWh/m²

Förluster i undercentral: 3 kWh/m²

Varmvattenenergianvändning: 30 kWh/m²

Hushållsel: 30 kWh/m²

Personvärme: 10 kWh/m²

Spillvärme användbar under uppvärmningssäsong: 80%

Solvärmelast motsvarande 5% fönsterrarea/Atemp mot sydfasad.

BBR2011

K1 = 0,74 W/K,m²

Förluster i varmvattencirkulationen: 4 kWh/m²

Förluster i undercentral: 2 kWh/m²

Varmvattenenergianvändning: 24 kWh/m² (SVEBY indata)

Hushållsel: 30 kWh/m²

Personvärme: 10 kWh/m²

Spillvärme användbar under uppvärmningssäsong: 80%

Solvärmelast motsvarande 5% fönsterrarea/Atemp mot sydfasad.

Passivhus2009

K1 = 0,42 W/K,m²

Förluster i varmvattencirkulationen: 2,5 kWh/m²

Förluster i undercentral: 0,7 kWh/m²

Varmvattenenergianvändning: 24 kWh/m² (SVEBY indata)

Hushållsel: 30 kWh/m²

Personvärme: 10 kWh/m²

Spillvärme användbar under uppvärmningssäsong: 80%

Solvärmelast motsvarande 5% fönsterrarea/Atemp mot sydfasad.



Fjärresyn – forskning som stärker konkurrenskraften för fjärrvärme och fjärrkyla genom ökad kunskap om fjärrvärmens roll i klimatarbetet och för ett hållbart samhälle, till exempel genom att bana väg för affärsmässiga lösningar och framtida teknik. Programmet drivs av Svensk Fjärrvärme med stöd av Energimyndigheten. Mer information finns på www.fjarrsyn.se

RESURSINDEX FOR ENERGI

Det saknas idag ett objektivt sätt att bedöma energiresurshushållning och energieffektivisering. För fjärrvärmens del innebär det att de positiva miljöaspekterna med fjärrvärme inte tas i beaktande vid miljöbedömningar, miljöklassningar eller i klimatdeklarationer.

Därför har här en helt ny metod kallad energiresursindex utvecklats. För att systemet ska kunna accepteras måste olika antaganden i systemet vara gjorda på ett logiskt sätt och enkla att förstå. Energiresursindex tar hänsyn till olika energislags egenskaper vad gäller uthållighet och tillgänglighet. Det ger en mycket bra vägledning om vilka energikrävande produktsystem som bäst leder mot en hållbar utveckling.

Rapporten är tänkt att användas som bidrag i det arbete som myndigheter och andra offentliga organisationer gör inom hållbarhetsområdet.

