

ENERGIVÄRDERING AV BYGGNADER



Delrapport 1 inom projektet "Regelstyrd energi- och miljövärdering av byggnader"

2016



ENERGIVÄRDERING AV BYGGNADER

ANALYS AV REGELSTYRD

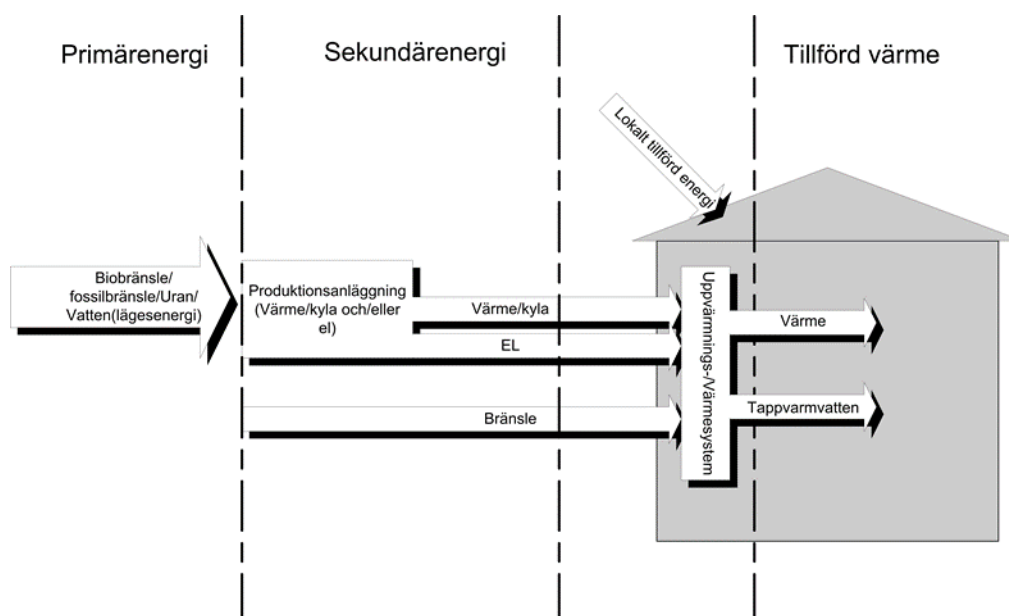
ENERGI- OCH MILJÖVÄRDERING AV BYGGNADER

BJÖRN KARLSSON, LUKAS LUNDSTRÖM OCH OLA ERIKSSON

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

SAMMANFATTNING

En byggnads energieffektivitet bestäms av den energimängd som tillförs byggnaden under året och byggnadens maximala effektbehov. Därför skall dessa parametrar mätas och värderas. Värderingen är komplicerad eftersom den tillförda energin kan vara i form av el, bränsle eller värme, som kommer från olika primärkällor. I detta projekt analyseras och förklaras innebörden av begreppen energikvalitet och värdering av energibärare.



Figur 1. Primärenergi från källan, sekundär energi som tillförs byggnaden och värme som tillförs rummen.

Energitillförseln till en byggnad kan mätas som Primär Energi (PE), Sekundär Energi (SE) eller Tillförd Värme (TV) enligt figur 1. Användning av el i hushållet ingår inte. PE är den energi som krävs för att leverera en viss mängd SE till byggnaden och den värderas med sitt värmevärde. Den sekundära energin kan tillföras byggnaden i form av el, bränsle eller värme. Byggnadens klimatskal utgör systemgräns för den sekundära energin. Byggnadens uppvärmningssystem omvandlar den sekundära energin till värme som utvecklas i byggnaden. När värmen transmittas genom klimatskalet uppstår den efterfrågade temperaturskillnaden mellan utomhus- och inomhus-temperaturerna. Den primära energin omvandlas alltså slutligen till värme av omgivningstemperatur. Energin har bevarats men dess kvalitet försämras i varje omvandlingssteg. Värme av omgivningstemperatur har inget värde, eftersom den inte kan användas för att värma upp byggnaden. Byggnadens behov av tillförd värme för att upprätthålla eftersträvad inomhustemperatur blir ett direkt mått på klimatskalets värmeförluster, medan behovet av tillförd sekundär energi beror både på klimatskalets transmissionsförluster och på uppvärmningssystemets effektivitet. Den använda vär-

men är svår att mäta för t.ex. luftvärmepumpar och kaminer som tillför värme direkt till rumsluften utan distributionssystem.

EU kräver i sitt direktiv om utformning av energieffektiva byggnader att primärenergifaktorer för de olika energibärarna som tillförs bygganden som sekundärenergi skall anges. Primärenergifaktorn (PEF) definieras som kvoten mellan primär- och sekundär energi. Primärenergifaktorn för en viss energibärare är strikt definierad och utgör ett mått på förbrukningen av energiresurser, som kan vara förnybara eller icke förnybar. Det innebär att primärenergifaktorernas värden inte godtyckligt kan sättas värden som styr mot användning av en viss energibärare. Om det ändå genomförs skall namnen på faktorn ändras. I EU-direktivet skrivs att länderna får ta hänsyn till lokala förutsättningar när primärenergifaktorerna anges. Detta är en svårtolkad skrivning eftersom begreppet primärenergifaktor är strikt definierad.

Utformningen av byggnader och deras energisystem i Sverige bestäms av Boverkets byggregler, BBR 2012. Där anges hur mycket sekundär energi som maximalt får användas för uppvärmning och varmvatten i ett nybyggt hus. Hushållsel ingår inte i underlaget till BBR. I nuvarande BBR anges inga primärenergifaktorer explicit, men dock indirekt. En byggnad som inte är eluppvärmd får ha en årlig energianvändning som är 1,6 gånger högre än en identisk eluppvärmd byggnad enligt Boverkets byggregler. Detta innebär att en byggnad som värms upp med en eldriven värmepump som har värmefaktorn högre än 1,6 kan uppföras med ett mindre energieffektivt klimatskal än en byggnad som värms med fjärrvärme.

Byggnadens primära eller viktade sekundära energibehov för uppvärmning beräknas genom sambandet:

$$E_{\text{total}}(\text{kWh/år}) = f_{\text{el}} \cdot E_{\text{el}} + f_{\text{bränsle}} \cdot E_{\text{bränsle}} + f_{\text{värme}} \cdot E_{\text{värme}}$$

f_x = Primär-, Klimat-, Exergi-, Sekundär- eller Energiforms-faktorer för el, värme och bränsle vid omvandling till värme.

Viktningsfaktorerna f_x kan fastställas enligt olika principer och får då olika benämningar.

I princip kan fem olika metoder eller kombinationer av dessa urskiljas:

Primärenergi – Sekundärenergi – Energikvalitet – Klimatpåverkan – Pris

Primärenergifaktorer: Metoden är utarbetad för energiomvandlingen från en enda energibärare till el eller värme, oftast ett fossilt bränsle. Den resulterar i att primärenergiförbrukningen för att leverera 1 kWh elektrisk energi är omkring 2,5 gånger större än för att leverera 1 kWh värme från samma primärenergikälla. Metodens principiella svaghet är att den baseras på primärenergikällans värmevärde och inte på dess förmåga att utföra arbete. Den tar inte hänsyn till primärenergikällans kvalitet, d.v.s. förmåga att omvandlas till mekanisk och elektrisk energi. Det skapar problem när den används i Sveriges energisystem med stor andel vattenkraft, som kan omvandlas till el med små förluster.

Metoden fungerar väl i energisystem som domineras av en energibärare, som t.ex. användning av fossila bränslen i Europa. Denna metod är dock inte lämplig att använda i ett land som Sverige med stora andelar vattenkraft, kärnkraft och olika typer av biobränsle i energisystemet eftersom primärenergifaktorens värden är svåra att bestämma entydigt för dessa energibärare. Resultatet beror på vilka principer som används när PEF bestäms för vattenkraft, kärnkraft och olika typer av biobränslen. För kärnkraften får värderingen av det avfall som slutförvaras stor betydelse för dess PEF, eftersom avfallet innehåller mycket kärnenergi.

Eftersom primärenergien anger källans förmåga att omvandlas till värme tar metoden inte hänsyn till lägesenergins höga energikvalitet som i ett vattenkraftverk omvandlas till elektrisk energi med små förluster. Primärenergifaktorn för kärnkraft är svårbestämd och beror på om det radioaktiva avfallet skall upparbetas innan slutförvaring. Metoden för att beräkna primärenergifaktorn för Svensk och Nordisk elmix summerar primärenergifaktorer för helt olika energibärare d.v.s. vattenkraft, vindkraft, kärnkraft och biobränsle. Potentiell energi, kinetisk energi, kärnenergi och kemisk energi summeras utan hänsyn till de olika energiformerna. Energiformerna värderas av sina värmevärden. Den beräknade primärenergifaktorn för Svensk Elmix är omkring 2, men den får det dubbla värdet d.v.s. 4, om hänsyn tas till vattenkraftens höga kvalitet och att hälften av kärnbränslet slutförvaras utan att användas. Då har vattenkraftens värmevärde värderats efter omvandling till el och vidare till värme med en värmepump. En enhet vattenkraft kan omvandlas till två till tre enheter värme av användbar temperatur. Primärenergifaktorn för fjärrvärme är principiellt lättare att bestämma eftersom den primära energin till övervägande del består av olika bränslen. Men primärenergifaktorn varierar med en faktor 2 beroende på om biobränslespill ansätts till $PEF = 1$ eller $PEF = 0$. Primärenergifaktorer med värden understigande $PEF = 1$ kan förekomma, när en konsekvensanalys av användningen genomförs. Det innebär att det antas att bränslet inte har någon alternativ användning. Miljöfaktaboken anger för år 2013 PEF för fjärrvärme till 0,69 medan Svensk Fjärrvärme anger 0,29. Det innebär att kvoten mellan PEF för svensk el och svensk fjärrvärme kan variera mellan 2 och 14 beroende vilka antaganden som görs. Slutsatsen är att primärenergifaktorerna för det svenska energisystemet inte kan bestämmas entydigt. Primärenergifaktorer för sekundärenergi från helt olika primärenergikällor är i princip inte jämförbara. Kvoten mellan primärenergifaktorerna för el och värme från samma energibärare är 2–4 med

ett typisk värde på 2,5. Låga värdena fås för gaskombikraftverk med mycket hög elverkningsgrad. Begreppet Primärenergifaktor bör kompletteras med eller ersättas av en primärelfaktor, som värderar energibärarens förmåga att utföra ett arbete eller omvandlas till el.

Klimatpåverkansfaktor eller andel fossila bränslen: Klimatpåverkan mäts som emitterade koldioxidekvivalenter i förhållande till levererad energi till slutkund. Andel fossila bränslen mäts som insatt energi i form av kol, fossil olja och naturgas i förhållande till total insatt energi till energiproduktion. Mängden utsläppt koldioxid bestäms av andelen fossila bränslen i bränslemixen. Metoden är olämplig att använda i Sverige för kvalitetsbedömning av byggnader, eftersom mindre än 10 % av använd energi för uppvärmning utgörs av fossila bränslen. Omkring 170 TWh fossila bränslen tillförs det svenska energisystemet varav omkring 10 TWh används för uppvärmning av byggnader. De specifika utsläppen av koldioxid i fjärrvärmesystem har minskat med nästan en faktor 10 på 30 år. Andelen fossila bränslen i den svenska elproduktionen understiger 2 %. Sammantaget innebär detta att det är olämpligt att använda andelen fossila bränslen som ett energivärderingsmått i det svenska energisystemet.

Exergi eller energibärarens kvalitet: Exergi definieras som den mängd mekaniskt arbete som kan utvinnas ur en energibärare i en ideal process. I detta fall skall exergivärdet användas för att värdera de olika sekundära energibärare som tillförs byggnaden. Metoden mäter hur mycket el, bränsle och värme som tillförs byggnaden utan hänsyn till primärenergikällan. El och bränsle ges viktningsfaktorer som bestäms av exergivärdet hos respektive energibärare. El har exergivärdet 1 och t.ex. metan har exergivärdet 0,92. När en byggnad värms förloras exergin i energibäraren samtidigt som energin slutligen omvandlas till värme av omgivningstemperatur. Denna metod ger elektrisk energi och bränsle mycket höga kvalitetsfaktorer för omvandling till värme, som inte kan uppnås i verkliga system. En förlustfri värmepump som drivs med el och arbetar mellan 0 °C och 70 °C ger fem gånger så mycket värmeenergi jämfört med exergin eller den elektriska energin som fordras för att driva den, d.v.s. den har en värmefaktor på fem och bränsle eller kemisk energi har nästan lika högt exergivärde som el. Om den arbetar mellan 0 °C och 20 °C kan teoretiskt värmefaktorn 15 uppnås. I praktiken har en värmepump 50 % verkningsgrad och halva de teoretiska möjliga värmefaktorerna kan uppnås. För att det höga exergivärdet hos ett bränsle skall kunna utnyttjas krävs att el framställs i en bränslecell. Idag är denna bränslecell endast tillgänglig för omvandling att den kemiska energin hos vätgas till elektrisk energi. Om metan används som bränsle i en gasturbin och levererar el med 60 % verkningsgrad, som driver en värmepump med 50 % verkningsgrad blir den totala exergiverkningsgraden 30 %. Exergimetoden tenderar att övervärdera värdet hos bränslen i förhållande till el.

Sekundärenergikvalitetsfaktor SEF eller modifierad Exergi. Denna metod fungerar som exergimetoden men med lägre kvalitetsfaktorer för el och bränsle. Mängden el, bränsle och värme som tillförs byggnaden mäts utan hänsyn till primärenergikällan.

El och bränsle ges kvalitetsfaktorer som bestäms av värmefaktorn vid omvandling till värme för respektive energibärare. Metoden bedömer energibärarens kvalitet på samma sätt som i exergimetoden men viktningsfaktorerna bestäms av värmefaktorn för marknadens bästa värmepumpar och verkningsgraden i existerande kondenskraftverk. Det innebär att viktningsfaktorerna får värden omkring $f_{el} = 2,5-3$, $f_{bränsle} = 1,5$, $f_{värme} = 1$. Det skall tolkas så att 1 kWh el kan omvandlas till 2,5–3 kWh värme med en effektiv värmepump. 1 kWh bränsle kan omvandlas till 1,5 kWh värme i en kraftvärmeprocess, där spillvärmen används för uppvärmning och levererad driver en värmepump. Metoden bedömer resursförbrukningen när den sekundära energin tillförs byggnaden. I denna metod bör i princip värme från en fjärrvärmecentral utan kraftproduktion värderas som bränsle och spillvärme i ett kraftvärmesystem värderas som värme. Detta innebär dock en utvidgning av systemgränsen till att innefatta hela fjärrvärmesystemet. El som används direkt i byggnaden för fastighetsel, verksamhetsel och hushållsel eller fastighetsel bör räknas separat eftersom ingen alternativ energibärare finns. Denna el har en betydligt högre kvalitetsfaktor än tre i förhållande till värme vid 70 °C.

Energiformfaktor: De viktningsfaktorer som används i olika länder idag utgår ofta från primärenergifaktorer beräknade utifrån vissa bestämda principer. Därefter justeras faktorerna utifrån ekonomiska och politiska skäl. Överenskommelser i Värme marknadskommittén är ett typiskt exempel på detta. Värdet på faktorerna används bl.a. som styrmedel. Då skall de lämpligen benämnas Energiformsfaktorer. Begreppet energiformsfaktor bör användas när faktorernas värden vägs samman utifrån tekniska, ekonomiska, miljömässiga och styrande skäl, d.v.s. när faktorerna inte är entydigt definierade som primärenergi- eller kvalitetsfaktorer. Det innebär att i stort sett i alla sammanhang där begreppet primärenergifaktor används bör namnet bytas till energiformsfaktor.

Pris: Pris på el och värme är i praktiken den starkast styrande faktorn. I Sverige har historiskt priserna på el och värme inte stått i proportion till de viktningsfaktorer som föreslås ovan och även idag är elpriset relativt lågt i förhållande till priset på fjärrvärme.

Slutsatser och rekommendationer:

Begreppet primärenergi är entydigt när energiomvandlingarna från en enda energibärrare till el eller värme skall värderas. Primärenergifaktorn för el blir då 2–4 gånger större än primärenergifaktorn för värme. Principiella problem uppstår när primärenergifaktorer för el och värme från olika primärenergikällor skall jämföras. Det innebär att primärenergifaktorerna för el respektive fjärrvärme i det svenska energisystemet inte kan bestämmas entydigt. Olika metoder för att uppskatta primärenergifaktorerna för fjärrvärme och el ger stor spridning i slutresultatet. Kvalitets eller formfaktorer bör inte benämnas primärenergifaktorer om de inte är strikt definierade.

Kvalitetsbedömning av tillförd sekundärenergi genom Exergimetoden ger den elektriska energin ett högt värde i förhållande till värme vid omkring 70 °C. Detta värde överstiger värmefaktorn för existerande värmepumpar med en faktor 2. Därför rekommenderas att begreppet *Sekundärenergikvalitetsfaktor, SEF*, används, som är en modifierad exergifaktor. Den används för att beräkna ett ekvivalent energibehov för värme och varmvatten. Byggnadens köpta energi för uppvärmning viktas med kvalitetsfaktorer enligt:

$$E_{\text{total}}(\text{kWh/år}) = f_{\text{el}} \cdot E_{\text{el}} + f_{\text{bränsle}} \cdot E_{\text{bränsle}} + f_{\text{värme}} \cdot E_{\text{värme}}$$

$$f_{\text{el}} = (2,5-3) \text{ kWh}_{\text{värme}} / \text{kWh}_{\text{el}},$$

$$f_{\text{bränsle}} = (1,5) \text{ kWh}_{\text{värme}} / \text{kWh}_{\text{bränsle}},$$

$$f_{\text{värme}} = 1 \text{ kWh}_{\text{värme}} / \text{kWh}_{\text{värme}}$$

$$E_{\text{total}}(\text{kWh/år}) = 2,5 \cdot E_{\text{el}} + 1,5 \cdot E_{\text{bränsle}} + 1,0 \cdot E_{\text{värme}}$$

- Budskapet är att 1 kWh el kan omvandlas till 2,5–3 kWh värme med en värmepump och 1 kWh bränsle kan omvandlas till 1,5 kWh värme i en kraftvärmeprocess där den genererade elen driver en värmepump. Liknande energiformsfaktorer har införts i våra nordiska grannländer. Metoden innebär att kvalitetsfaktorerna kommer att förändras då de tekniska systemen utvecklas. Faktorn för el blir högre när värmepumparna får en högre värmefaktor.
- Tillförd värme från en fjärrvärmecentral utan kraftproduktion värderas som bränsle och spillvärme i ett kraftvärmesystem värderas som värme. I ett fjärrvärmenät med spillvärme, kraftvärme och värmepanna skall en viktad kvalitetsfaktor för det lokala fjärrvärmenätet beräknas på samma sätt som primärenergifaktorer för de enskilda näten beräknas idag.
- Byggnadens behov av hushålls-, verksamhets- och fastighetsel redovisas separat. Detta motiveras av att här finns inga alternativa energibärrare. Alternativt ges fastighetsel samma formfaktor som el för uppvärmning. I princip bör den dock vara betydligt högre.

- Separata krav ställs på byggnadens klimatskal oavsett hur den värms upp. Detta kan göras genom krav på byggnadens UA-värde, eller på effektbehovet vid dimensionerande utetemperatur.
- Bidrag från solfångare och solceller som direkt tillgodogörs byggnaden får räknas som energieffektivisering i den mån de minskar byggnadens maximala effektbehov. De skall värderas på samma sätt som tillförd värme och el. Överskott som exporteras till el och fjärrvärmenät ingår inte. Effektkravet innebär att solfångare och solceller inte kommer att kunna bidra till energieffektivisering, om de inte kombineras med lager som kan minska toppeffekterna.
- Primärenergifaktorn bör kompletteras med eller ersättas av en primärelfaktor, som värderar energibärarens förmåga att utföra ett arbete eller omvandlas till el.

Användning av solenergi

Användning av energi innebär att energin omvandlas och exergin förbrukas. Användning av solenergi innebär att man på ett kontrollerat sätt utnyttjar entropiökningen som uppstår då solstrålningen eller förädlad solstrålning omvandlas till värme av omgivningstemperatur, dvs. exergin hos solstrålningen förbrukas. När solenergin har omvandlats till värme av omgivningstemperatur kan den inte användas för att uträtta arbete eller värma en byggnad. Dess exergi har förbrukats. En värmepump som tar värme från uteluften utnyttjar inte förnybar solenergi. Den pumpar in lika mycket värme i byggnaden som den som transmittats ut genom byggnadens klimatskal. Det innebär att det inte behöver tillföras energi utifrån, förutom den som kompressorn behöver. Kompressorn använder el och ökar temperaturen på den värme som absorberas i omgivningen. Den uppvärmda värmen avges i rummet. Därefter läcker värmen ut genom klimatskalet och återfår sin begynnelsestemperatur. Ingen exergi i omgivningsvärmen har förbrukats. Den exergi som förbrukas har tillförts kompressorn. Om värmepumpen tar värme från en källa som är varmare än omgivningen kommer den tillförda värmens temperatur begynnelsestemperatur att vara högre än dess sluttemperatur. Det innebär att exergi förbrukats. Värmepumpen värmer upp byggnaden med en mindre elanvändning. Om källan värmts upp med solenergi innebär det att förnybar solenergi tillförts.

SUMMARY

Energy efficiency of a building is determined by the amount of energy supplied to the building during the year and the building's peak power demand. Consequently, those parameters should be measured and evaluated. The valuation is complicated as the energy supplied can be in the form of electricity, fuel or heat, coming from various primary sources. In this project the meaning of the concepts of energy quality and valuation of energy carriers are analysed and explained. The project has resulted in the following conclusions and recommendations:

The concept of primary energy is unambiguous when energy conversions from a single energy carrier into electricity or heat are to be valued. The primary energy factor for electricity will then be 2-4 times larger than the primary energy factor for heat. Principal problems arise when primary energy factors for electricity and heat from various primary energy sources should be compared. This means that the primary energy factors for electricity and district heating in the Swedish energy system cannot be clearly determined. Various methods for estimating the primary energy factors for district heating and electricity provides large spread in the outcome. Quality factors or form factors should not be referred to as primary energy factors if they are not strictly defined.

Quality assessment of supplied secondary energy through the Exergy method gives electrical energy a high value in relation to heat at about 70 ° C. This value exceeds the heat factor of the existing heat pumps with a factor of 2. The concept of secondary energy quality factor SEF, which is a modified exergy factor, is recommended for use. It should be used to calculate an equivalent energy demand for heating and hot water. The building's purchased energy for heating is weighted with quality factors according to:

$$E_{\text{total}}(\text{kWh/year}) = f_{\text{el}} \cdot E_{\text{el}} + f_{\text{fuel}} \cdot E_{\text{fuel}} + f_{\text{heat}} \cdot E_{\text{heat}}$$

$$f_{\text{el}} = (2,5-3) \text{kWh}_{\text{heat}}/\text{kWh}_{\text{el}},$$

$$f_{\text{fuel}} = (1,5) \text{kWh}_{\text{heat}}/\text{kWh}_{\text{fuel}},$$

$$f_{\text{heat}} = 1 \text{kWh}_{\text{heat}}/\text{kWh}_{\text{heat}}$$

$$E_{\text{total}} (\text{kWh/year}) = 2,5 \cdot E_{\text{el}} + 1,5 \cdot E_{\text{fuel}} + 1,0 \cdot E_{\text{heat}}$$

- The message is that 1 kWh of electricity can be converted to 2.5-3 kWh of heat with a heat pump and 1 kWh of fuel can be converted to 1.5 kWh of heat in a CHP (combined heat and power) process that feeds a heat pump. Similar energy factors have been introduced in the Nordic countries. This method means that the quality factors will change as the technical systems are further developed. The factor for electricity will be higher when the heat pumps have a higher heat factor.
- Heat supplied from a district heating plant without power generation (such as heat only boilers (HOB)) is valued as fuel, and the waste heat in a CHP system is valued as heat. A balanced quality factor for a district heating system with waste heat, CHP and HOB, is calculated in the same way as primary energy factors for individual networks are currently calculated.
- The need for electricity in households and business as well as residential electricity are reported separately for each building. This is justified by that there are no alternative energy carriers. Alternatively, residential electricity is given same form factor as electricity for heating. However in principle it should have a much higher value.
- Separate demands are set for the building envelope, irrespective of how it is heated. This can be done through requirements on the UA-value for the building, or the power requirement at the design outdoor temperature.
- Contribution from solar collectors and photovoltaic cells directly credited to the building must be counted as energy efficiency measures to the extent that they reduce the building's peak power demand. They must be valued in the same way as the supplied heat and electricity. Excess exported to the power and district heating grids are not included. The power requirement means that solar collectors and photovoltaic cells will not be able to contribute to energy efficiency, unless combined with energy storage that can reduce peak effects.
- The primary energy factor should be supplemented or replaced by a primary electricity factor, that values the energy carriers ability to perform work or be converted into electricity.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	16
1.1	EU-DIREKTIV	16
1.2	SVENSKA BYGGREGLER	17
1.3	SYFTE OCH MÅLSÄTTNING	17
1.4	PROBLEMSTÄLLNINGAR	19
1.5	METODIK OCH AVGRÄNSNINGAR	19
1.6	DISPOSITION	20
2	ENERGIVÄRDERING AV BYGGNADER	21
2.1	BERÄKNING AV SEKUNDÄR ENERGIKVALITET	22
2.2	REKOMMENDATIONER FÖR ENERGIKVALITET	23
2.3	SYSTEMTESTNING AV ENERGIKVALITETSFAKTORER	25
3	VÄRDERING AV ENERGIKVALITET	28
3.1	PRIMÄRENERGIFAKTOR FÖR SVENSK ELPRODUKTION	28
3.2	PRIMÄRENERGIFAKTOR FÖR SVENSK KÄRNKRAFT	31
3.3	PRIMÄRENERGIFAKTOR FÖR SVENSK FJÄRRVÄRME	32
3.4	ANVÄNDNING AV FOSSILA BRÄNSLEN	33
3.5	EXERGIBETRAKTELSE AV ENERGIOMVANDLING	34
3.6	FORMFAKTORER VID OMVANDLING MED FÖRLUSTER	37
3.7	VÄRMEVÄRDE, EXERGI OCH ELVÄRDE FÖR BRÄNSLEN	38
3.8	VÄRMEVÄRDE OCH ELVÄRDE FÖR VÄTGA	39
3.9	PRIMÄRVÄRMEFAKTOR OCH PRIMÄRELFAKTOR	42
3.10	ELVÄRDET HOS SPILLVÄRME FRÅN KRAFTVÄRME	43
3.11	SLUTSATSER	44
4	BERÄKNINGSMETODER FÖR PRIMÄRENERGIFAKTORER	45
4.1	OLIKA BERÄKNINGSPRINCIPER	45
4.2	PRIMÄRENERGIFAKTOR FÖR FJÄRRVÄRME	46
4.3	PRIMÄRENERGIFAKTOR FÖR EL FRÅN FJÄRRVÄRME	47
4.4	PRIMÄRENERGIFAKTOR FÖR EL FRÅN INDUSTRI	48
4.5	BETYDELSEN AV ALLOKERINGSMETOD	49
4.6	PRIMÄRENERGIFAKTOR FÖR SVENSK ELMIX	50
4.7	KVOTEN MELLAN PEF FÖR EL OCH FJÄRRVÄRME	51
4.8	PRIMÄRENERGIFAKTORER FÖR NORDISK ELMIX	52
4.9	KOLDIOXIDEMISSIONSFAKTORER FÖR FJÄRRVÄRME OCH EL	53
4.10	PRIMÄRENERGI- OCH KOLDIOXIDEMISSIONSFAKTORER	53
5	VÄRDERING AV ENERGIKVALITET I BYGGREGLER	57
5.1	FINLANDS BYGGBESTÄMMELSESAMLING	58
6	DEFINITION AV FRITT FLÖDANDE ENERGI	66
6.1	PRINCIPFUNKTION HOS EN VÄRMEPUMP	68
6.2	BEHANDLING AV EGENPRODUCERAD ENERGI	70
	REFERENSER	72

**BILAGA 1. KVALITETSFAKTORER ELLER ENERGIFORMSFAKTORER FÖR EL OCH
FJÄRRVÄRME I OLIKA LÄNDER**

73

1 INLEDNING

1.1 EU-direktiv

I Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/31/EU fastslås att medlemsstaterna skall se till att

- a) alla nya byggnader senast den 31 december 2020 är nära-nollenergibygnader, och
- b) nya byggnader som används och ägs av offentliga myndigheter är nära-noll-energibygnader efter den 31 december 2018.

I direktivet krävs att medlemsstaterna utformar en praktisk tillämpning av definitionen nära-nollenergibygnad, där primärenergianvändningen i kWh/m² ingår.

I denna definition blir primärenergifaktorerna eller viktningsfaktorerna för de olika energibärarna mycket viktig.

EU kräver i sitt direktiv om utformning av energieffektiva byggnader att primärenergifaktorer för de olika energibärarna som tillförs bygganden som sekundärenergi skall anges. Primärenergifaktorn (PEF) definieras som kvoten mellan primär- och sekundär energi. Primärenergifaktorn för en viss energibärare är strikt definierad och utgör ett mått på förbrukningen av energiresurser, som kan vara förnybara eller icke förnybara. Det innebär att primärenergifaktorernas värden inte är godtyckliga och kan ansättas värden som styr mot användning av en viss energibärare. Om det ändå görs bör namnen på faktorn ändras. I EU-direktivet skrivs att länderna får ta hänsyn till lokala förutsättningar när primärenergifaktorerna anges. Detta är dock en svårtolkad skrivning eftersom begreppet är tydligt definierat.

Mot bakgrund av bl.a. det reviderade direktivet om byggnaders energiprestanda har Boverket utarbetat skärpta energihushållningskrav som gäller fullt ut från 1 januari 2013 (BBR 2012). Med de nya energikraven i BBR bedömde Näringsdepartementet att Sverige uppfyllde direktivets krav på basis av vad som är tekniskt och ekonomiskt motiverat utifrån Sveriges nationella förhållanden. Under 2015–2016 pågår en revidering av BBR vid Boverket och Energimyndigheten för att uppfylla EU:s krav på en ”Nära-nollenergibygnad”. Beteckningen är oprecis men inger förväntningar om att man uppfört en byggnad med låg energi-användning och möjligen också lokal energiproduktion som i hög grad balanserar den tillförda energin. I Boverkets förslag blir viktningsfaktorerna för de olika sekundära energibärarna mycket viktiga.

Denna rapport förklarar hur olika energibärare kan värderas eller kvalitetsbedömas och använder detta underlag för att föreslå en modell för att beräkna den kvalitetsviktade energin som tillförs en byggnad.

1.2 Svenska byggregler

En byggnads energieffektivitet bestäms i hög grad av den energimängd som tillförs byggnaden under året. Därför skall denna energi mätas och värderas. Värderingen är komplicerad eftersom den tillförda energin kan vara i form av el, bränsle eller värme, som kommer från olika primärkällor. Dessutom kan den tillförda energin i princip mätas som primärenergi från källan, sekundär energi som tillförs byggnaden eller värme som utvecklas i byggnaden.

Energihushållningen och utformningen av byggnader och dess energisystem styrs i hög grad av Boverkets regelsamling, BBR 2012. Den bestämmer hur mycket energi som maximalt får användas för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och fastighetsenergi. Hushållselen ingår ej. Icke eluppvärmda byggnader får ha en faktor 1,6 gånger högre specifik energianvändning än eluppvärmda byggnader. Byggnadens specifika energianvändning får reduceras med energin från solfångare eller solceller i den omfattning byggnaden kan tillgodogöra sig energin. Regelverkets utformning och värdering av el i förhållande till värme får mycket stor betydelse för utformning av byggnader och val av energisystem. De flesta metoder för att miljöbedöma och certifiera byggnader bygger på BBR-reglerna. De övertar på detta sätt Svensk energistatistik och BBR:s svaghet att inte strikt skilja på el och värme. Dagens regler gynnar en ökad elanvändning för att spara värme.

1.3 Syfte och målsättning

Boverkets regelsamling, BBR 2012, bestämmer hur mycket energi som maximalt får användas för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och fastighetsenergi och begränsar byggnadens effektbehov. Dessutom gäller följande:

- Icke eluppvärmda byggnader får ha en faktor 1,6 gånger högre specifik energianvändning än eluppvärmda byggnader.
- Hushållselen ingår ej i underlaget.
- Byggnadens specifika energianvändning får reduceras med energin från solfångare eller solceller i den omfattning byggnaden kan tillgodogöra sig energin.

Detta innebär att en byggnad som värms upp med en eldriven värmepump som har en värmefaktor som är högre än 1,6 kan uppföras med ett mindre energieffektivt klimatskal än en byggnad som värms med fjärrvärme.

Solfångare för värme gynnas framför solceller för el eftersom de har ett högre utbyte av energi per areaenhet, d.v.s. den ger fler kWh värme än solcellen ger kWh el per areaenhet. Problemet här är att BBR värderar el och värme på samma sätt.

Solceller sparar i första hand hushållsel eller fastighetsel och i elvärmda hus även varmvatten och någon mån även värme. Men eftersom hushållsel inte ingår i dagens BBR är behandlingen av energibidraget från solceller oklar.

I EU:s energieffektiviseringsdirektiv fastslås att den värme som en värmepump tar i omgivningen är förnybar solenergi. Samma synsätt har anammats av Energimyndigheten. Detta synsätt stämmer dock inte med termodynamikens lagar. Värmepumpen uppgift är att med mekanisk energi i kompressorn pumpa tillbaka den värme som läcker ut genom byggnadens klimatskal. Värmepumpen upprätthåller en temperaturskillnad mellan byggnaden och omgivningen. Den enda energi som tillförs utifrån är elektrisk energi som driver kompressorn. Värmen cirkulerar mellan omgivningen och byggnaden. Analysen blir något mera komplicerad när värmepumpen tar upp värmen i marken och byggnaden till största delen avger den till uteluften.

Dagens regelverk i BBR och Miljövärderingsmetoder främjar energieffektivisering som minskar värmebehovet även om det ökar elbehovet, eftersom faktorn 1,6 understiger värmefaktorn för en väl fungerande värmepump.

Sammantaget innebär detta att det finns starka motiv att analysera alternativ till BBR-reglerna. Det viktigaste här är att strikt skilja på el och värme eller att införa en kvalitetsfaktor för el som motsvarar värmefaktorn för en väl fungerande värmepump.

Projektets syfte är att förklara den praktiska innebörden av begreppet exergi eller energikvalitet. Denna förståelse skall bidra till att utforma kvalitetsfaktorer för energibärare som innebär att resursförbrukningen vid energiförsörjning av byggnader minimeras.

Utvärdering och förnyelse av regelverket som styr utformandet av byggnader och dess energisystem är en ständigt pågående process. Värdering av olika energibärare är i princip praktisk termodynamik. Det tydligaste budskapet är att det är angeläget att skilja på el och värme!

Projektet har två mål:

- Att motivera och ange siffervärden på kvalitets, formfaktorer eller primärenergifaktorer för de olika energislag som tillförs en byggnad.
- Att visa hur dessa faktorer kan användas för värdering av byggnaders energieffektivitet, som i BBR.

Regelverkets utformning och värdering av el i förhållande till värme får mycket stor betydelse för utformning av byggnader och val av energisystem.

1.4 Problemställningar

Studien skall besvara följande problemställningar:

- Skall byggnadens energikvalitet bestämmas genom att ange primärenergi, sekundärenergi eller utvecklad värmeenergi?
- Vilka viktningsfaktorer för el, bränsle och värme är optimala för att minimera byggnadens resursförbrukning?
- Hur skall användning av hushållsel behandlas?
- Hur skall tillskottet från solceller och solfångare behandlas?
- Hur skall den värme som värmepumpen tillför byggnaden definieras?

1.5 Metodik och avgränsningar

Rapporten visar hur byggnadens energisystem kan avgränsas för tillförsel av primär energi, sekundär energi och tillförd värme.

Vid val av systemgräns som omfattar primärenergi skall primärenergifaktorer bestämmas. Metoden för att bestämma dessa demonstreras och granskas kritiskt.

Vid val av systemgräns som omfattar sekundärenergi måste exergi- eller sekundärenergifaktorer bestämmas. Metoder för att bestämma dessa demonstreras och granskas kritiskt.

Vid val av systemgräns som omfattar tillförd värme innanför byggnadens klimatskal skall i princip inga viktningsfaktorer bestämmas, se figur 1 i kapitel 2. Frågan är om det är ett praktiskt genomförbart alternativ, eftersom den tillförda värmen är svår att mäta för komponenter utan distributionssystem.

Den metodik som används i analysen bygger huvudsakligen på termodynamiska principer.

1.6 Disposition

Kapitel 1 utgör en bakgrund och anger även studiens syften och mål.

Kapitel 2 redovisar och motiverar de viktigaste slutsatserna i rapporten. Dessa slutsatser motiveras delvis i kapitlet och delvis i övriga kapitel som närmast fungerar som bilagor till kapitel 2.

Kapitel 3 demonstrerar och analyserar de olika metoderna för att beräkna primärenergifaktorer. Den redogör också för användning av exergibegreppet för att värdera energibärare och det alternativa begreppet sekundärenergikvalitetsfaktor, vars användning rekommenderas. Den visar hur primärenergifaktorn som baseras på energibärarens värmevärde kan kompletteras med en primärelfaktor.

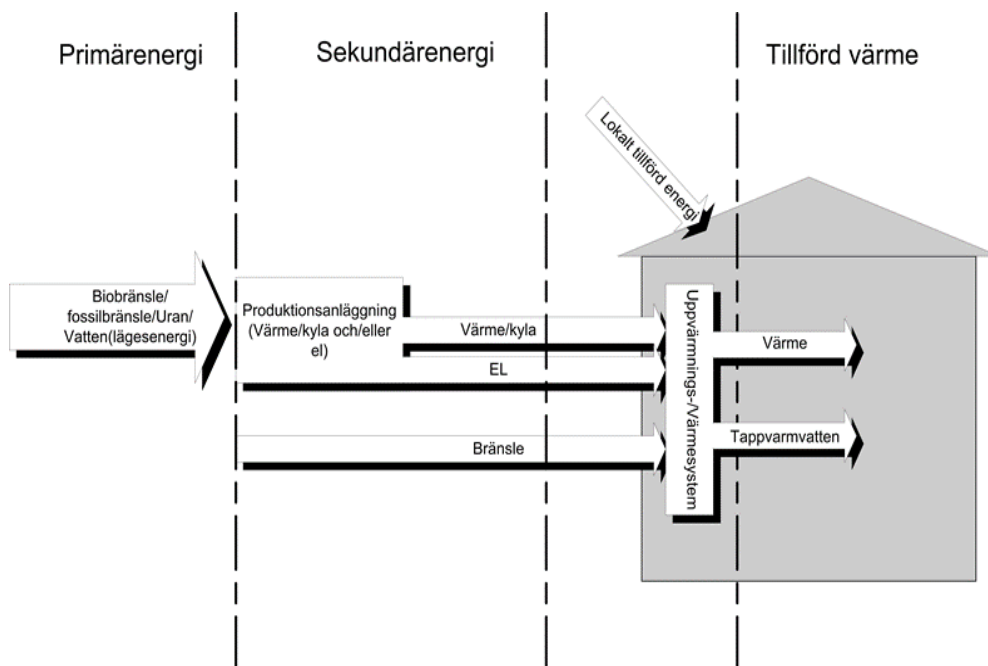
Kapitel 4 analyserar resultatet av olika metoder för att beräkna primärenergifaktorer. Slutsatserna i kapitlet bidrar till en kritisk inställning till användning av begreppet primärenergifaktorer.

Kapitel 5 redogör för användningen av kvalitets eller viktningsfaktorer i Danmark, Norge och Finland. Finland införde 2012 en ny bygglagstiftning i enlighet med EU:s direktiv. Slutsatser och rekommendationer i kapitel 2 överensstämmer i hög grad med Finlands nya lagstiftning. Därför illustreras Finlands bestämmelser i detalj.

Kapitel 6 avslutar rapporten genom att visa hur begreppet ”fritt flödande energi” bör definieras, samt hur egenproducerad el skall behandlas. Den principiella funktionen hos en värmepump beskrivs. Detta kapitel motiveras av EU:s direktiv som har missuppfattat värmepumpens principiella funktion och BBR:s definition av fritt flödande energi.

2 ENERGIVÄRDERING AV BYGGNADER

Energitillförseln till en byggnad kan mätas som Primär Energi (PE), Sekundär Energi (SE) eller Använd Värme och varmvatten (AV), se figur 1.



Figur 1. Primärenergi från källan, sekundär energi som tillförs byggnaden och värme som tillförs rummen.

Systemgränsen för primärenergi omfattar kolbrottet, vattenkraftverket och biobränslekällan. PE är den energi från källan som krävs för att leverera en viss mängd SE till byggnaden. Byggnadens klimatskal utgör systemgränsen för den sekundära, tillförda eller köpta energin. Byggnadens värmesystem ligger innanför denna systemgräns. Den sekundära energin tillförs byggnaden i form av el, bränsle eller värme. Den benämns ofta som köpt energi. Systemgränsen för den tillförda värmen ligger innanför byggnadens värmesystem. Byggnadens värmesystem omvandlar den sekundära energin till värme som utvecklas i bygganden. När värmen transmittas genom klimatskalet uppstår den efterfrågade temperaturskillnaden mellan utomhus- och inomhus-temperaturerna. Den primära energin omvandlas slutligen till värme av omgivningstemperatur. Energin har bevarats men dess kvalitet har försämrats i varje omvandlingssteg. Värme av omgivningstemperatur har inget värde. Den kan inte användas för att värma upp byggnaden eller för att uträtta arbete. Byggnadens behov av tillförd värme för att upprätthålla eftersträvad inomhustemperatur blir ett direkt mått på klimatskalets värmeförluster medan behovet av tillförd sekundär energi beror både på

klimateffektens transmissionsförluster och på värmesystemets effektivitet. Den använda värmen är svår att mäta för t.ex. luftvärmepumpar och kaminer som tillför värme direkt utan distributionssystem.

EU kräver i sitt direktiv om utformning av energieffektiva byggnader att primärenergifaktorer för de olika energibärarna som tillförs bygganden som sekundärenergi skall anges. Primärenergifaktorn (PEF) definieras som kvoten mellan primär- och sekundärenergi. Primärenergifaktorerna för el respektive fjärrvärme i det svenska energisystemet kan emellertid inte bestämmas entydigt. Olika metoder för att uppskatta primärenergifaktorerna för fjärrvärme och el ger stor spridning i slutresultatet.

2.1 Beräkning av sekundär energikvalitet

När olika energibärare skall jämföras mot varandra bör de omräknas med hjälp av en energi- eller kvalitetsfaktor. Teoretiskt värderas energibärarna med dess exergi, vilket värderar el och bränsle högt i förhållande till värme vid relativt låg temperatur. I tabellen nedan visas hur 10 MWh av en energibärare kan omvandlas till värme med olika verkningsgrader. Denna beräkning kan betraktas som en modifierad exergianalys. Resultatet ger energibärarna en praktiskt uppnåelig kvalitet till skillnad från en exergianalys som resulterar i en teoretisk maximal energikvalitet vid omvandling utan förluster.

Tabell 1. Värdering av energibärare vid omvandling till värme.

Energibärare	El 10MWh	El 10MWh	Bränsle 10 MWh	Bränsle 10MWh	
Omvandling 1	Direkt upp- värmning	Värmepump COP = 3	Förbränning	Förbränning i kraftvärme- verk	
El eller värme	10 MWh värme	30 MWh värme	9 MWh värme	3 MWh el	6 MWh värme
Omvandling 2				Värmepump COP = 3	
El eller värme				9 MWh värme	
Värme totalt	10 MWh	30 MWh	9 MWh	9 + 6 = 15 MWh	

Tabellen visar att 10 MWh el kan omsättas till 30 MWh värme i en värmepump, medan 10 MWh bränsle kan omsättas till omkring 15 MWh värme i en kraftvärmedriven värmepump. Det innebär att bränsle inte bör användas för direkt produktion av el eller värme. Bränsle bör användas i en kraftvärmeprocess för produktion av el och spillvärme. Bränsle och värme skall inte ha samma viktningsfaktor.

Begreppet sekundär energikvalitet, SEK, som är en modifierad exergianalys, rekommenderas framför användning av begreppet primärenergi. Den energi som tillförs byggnaden viktas med kvalitets- eller formfaktorer och summeras.

Analysen visar att energibehovet angivet i ekvivalenta enheter kan skrivas:

$$E = 3 \cdot el + 1,5 \cdot (\text{Värmevärdet i bränsle}) + 1 \cdot \text{värmeinnehållet i värme}$$

Tabell 2. Föreslagna kvalitetsfaktorer

Värme vid 60–80°C	Bränsle	EI
1	1,5	2,5–3

Byggnadens köpta energi för uppvärmning viktas med kvalitetsfaktorer enligt:

$$E_{\text{total}}(\text{kWh/år}) = f_{\text{el}} \cdot E_{\text{el}} + f_{\text{bränsle}} \cdot E_{\text{bränsle}} + f_{\text{värme}} \cdot E_{\text{värme}}$$

$$f_{\text{el}} = 2,5\text{--}3, f_{\text{bränsle}} = 1,5, f_{\text{värme}} = 1$$

Kvalitetsfaktorerna föreslås vara (2,5–3)/1,5/1 för el, bränsle och värme vid omvandling till värmeenergi för uppvärmning. Budskapet är att 1 kWh el kan omvandlas till 2,5–3 kWh värme med en luftvärmepump och 1 kWh bränsle kan omvandlas till 1,5 kWh värme i en kraftvärmeprocess som matar en värmepump. Spillvärme från kraftvärmeverket används i fjärrvärmenätet och den el som levereras antas driva en värmepump med en värmefaktor COP = 3 enligt tabell 1.

Den innebär att hänsyn tas till de sekundära energibärarnas kvalitet men inte primärenergikällan, d.v.s. det har ingen betydelse vilka bränslen som används när el eller värme genereras. Skillnad görs dock mellan värme från fjärrvärme utan elproduktion och kraftvärme. Metoden är likartad dagens BBR och karakteriserar husets klimatskal och effektiviteten hos byggnadens energisystem. Kvalitetsfaktorerna för el och bränsle är högre än i dagens BBR.

2.2 Rekommendationer för energivärdering

Slutsatserna i kapitel 2.1 och även kapitel 3 summeras i följande rekommendationer för BBR-regler och beräkning av primärenergifaktorer.

Rekommendation 1: Viktning av de sekundära energibärarnas kvalitet eller värde.

Begreppet sekundär energikvalitet, som är en modifierad exergianalys, rekommenderas framför användning av begreppet primärenergi. Byggnadens viktade ekvivalenta värmebehov summeras:

$$E_{\text{total}}(\text{kWh/år}) = 2,5 \cdot E_{\text{el}} + 1,5 \cdot E_{\text{bränsle}} + 1,0 \cdot E_{\text{värme}}$$

Rekommendation 2: Värdering av tillförd värme från ett fjärrvärmenät utan elproduktion

Tillförd värme i ett fjärrvärmenät utan elproduktion kvalitetsbedöms som bränsle vid beräkning av primärenergiåtgång. Om det skall göras även i BBR, krävs en förskjutning av systemgränsen.

Rekommendation 3: Värdering av tillförd värme från ett kraftvärmenät

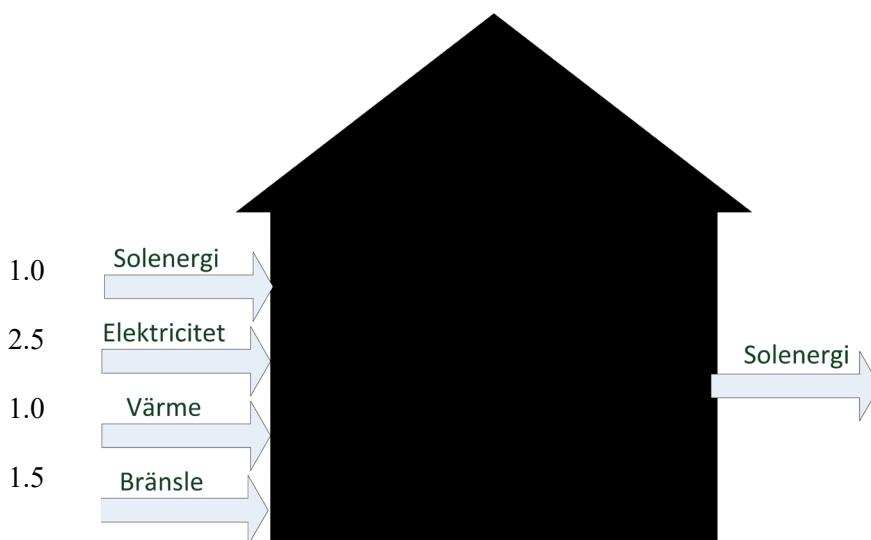
Tillförd värme i ett kraftvärmenät kvalitetsbedöms som spillvärme med lågt värde på PEF vid beräkning av den primära energiåtgången.

Rekommendation 4: Krav på byggnadens klimatskal och maximala effektbehov

Krav ställs på byggnadens maximala effektbehov. Det kan göras t.ex. genom att krav ställs på byggnadens totala värmeförlustfaktor (UA-värdet), återvinning i ventilationssystemet samt maximala effektbehov vid dimensionerande utetemperatur.

Rekommendation 5: Hushållsel och fastighetsel summeras separat utan viktning

Det finns inga alternativa energibärare istället för el. Därför skall elanvändningen redovisas och mätas separat. Effektivisering av elanvändningen är sannolikt på lång sikt viktigare än att minska värmebehovet. Det innebär att den viktade energianvändningen för värme och varmvatten samt byggnadens hushållsel och fastighetsel redovisas i separata poster. Alternativt viktas fastighetsel med samma faktor som el för uppvärmning. I princip bör dock fastighetsel ha en faktor med ett betydligt högre värde i förhållande till värme. Detta motiveras i kapitel 3.6. Installation av energisnåla hushållsapparater bör premieras, eftersom de minskar både energi och effektbehov.



Figur 2 El, bränsle och värme som tillförs byggnaden för uppvärmning viktas och summeras. Verksamhetsel och fastighetsel mäts och summeras utan viktning.

Rekommendation 6: Behandling av tillskott från solfångare och solceller

Bidrag från solfångare och solceller som direkt tillgodogörs byggnaden får räknas som energieffektivisering i den mån de minskar byggnadens maximala effektbehov. De skall värderas med samma kvalitetsfaktor som tillförd värme och el. Överskott som exporteras till el och fjärrvärmenät ingår inte.

Resultat: Byggnadens behov av energi för uppvärmning respektive hushållsel

Byggnadens energieffektivitet redovisas som det viktade energibehovet för uppvärmning och varmvatten samt byggnadens behov av hushålls- och fastighetsel. Alternativt viktas fastighetselen på samma sätt som el för uppvärmning och summeras med behovet av värme och varmvatten.

2.3 Systemtestning av energiformsfaktorer

Ett nytt energisnålt enfamiljshus på 138 m² har simulerats. Huset använder 14 725 kWh/år för värme och varmvatten utan FTX och utan värmepump. Behovet av varmvatten och hushållsel är 4 675 kWh/år respektive 5 155 kWh/år. Installation av ett FTX-system sänker behovet av värme och varmvatten till 11 765 kWh/år, varav fläktarna i FTX-systemet använder 1 702 kWh/år. Installation av FTX plus värmepump reducerar behovet till 5 002 kWh/år. Värmepumpen ger 5,8 kW värme. Den drar 3 300 kWh/år och har en årsvärmefaktor på COP = 3,05. Solcellsystem levererar årligen totalt 5 100 kWh, varav 2 200 kWh/år går direkt in i huset och 2 900 kWh/år exporteras till nätet. Den egenanvända elektriska energin 2 200 kWh/år behandlas som energibesparing av el till värmepump och FTX eller hushållsel.

Tabell 3. Energibehov i huset

	Värmebehov (kWh/år)	Elbehov (kWh/år)	Specifikt (kWh/m ² , år)
Uppvärmnings- och varmvattenbehov	14 725		107
Varmvattenbehov	4 675		34
Hushållsel		5 155	37
Endast värmepump, COP = 3,05		3 300	
FTX-fläktar		1 702	12
Energibehov med FTX och värmepump		5 002	36
Fjärrvärmebehov	10 063	1 702	73

Tabell 4. Solcellsystem

	Total produktion (kWh/år)	Egen användning (kWh/år)	Export (kWh/år)
Solcellsystem 5,2 kW _p	5 100	2 200 (16 kWh/m ² , år)	2 900

Den egna användningen av solen sparar hushållsel eller FTX-systemets elbehov. Den sekundära eller till byggnaden tillförda energin mäts och viktas med kvalitetsfaktorer. Den använda systemgränsen är byggnadens klimatskal. Den totalt tillförda energin för uppvärmning och beredning av varmvatten summeras och viktas enligt följande formel:

$$E_{total}(kWh/år) = 2,5 \cdot E_{el} + 1,5 \cdot E_{bränsle} + 1,0 \cdot E_{värme}$$

I denna beräkning får det ingen betydelse hur värmen bereds i fjärrvärmesystem eller vilket bränsle som används i husets panna. Om fjärrvärme från en hetvattenpanna betraktas som bränsle får den samma värde på E_{total} som huset med bränslepanna. Resultatet av beräkningarna redovisas i tabell 5 och summeras i tabellerna 6 och 7. I en värdering liknande dagens BBR får det betydelse om energin från solcellerna anses spara fastighetsel eller hushållsel. Därför har båda alternativen redovisats i tabell 5.

Tabell 5. Viktad energianvändning med olika uppvärmningssystem.

	Värme & varmvatten (kWh/år)	E_{total} (kWh/år)	Hushållsel (kWh/år)
Elvärme	14 725	36 812	5 155
kWh/m ² , år	107	267	37
Elvärme + FTX	10 063 + 1 702 = 11 765	29 413	5 155
kWh/m ² , år	85	213	37
Bergvärme + FTX	3 300 + 1 702 = 5 002	12 505	5 155
kWh/m ² , år	36	91	37
Bergvärme + FTX + PV*	2 802	7 005	5 155
kWh/m ² , år	20	51	37
Bergvärme + FTX + PV**	5 002	12 505	2 955
kWh/m ² , år	36	91	21
Bränsle + FTX	10 063 + 1 702	19 350	5 155
kWh/m ² , år	73 + 12	140	37
Bränsle + FTX + PV*	10 063 + 0	15 095	5 155
kWh/m ² , år	73	109	37
Bränsle + FTX + PV**	10 063 + 1 702	19 350	2 955
kWh/m ² , år	73 + 12	140	21
Fjärrvärme + FTX	10 063 + 1 702	14 318	5 155
kWh/m ² , år	73 + 12	104	37
Fjärrvärme + FTX + PV*	10 063 + 0	10 063	5 155
kWh/m ² , år	73	73	37
Fjärrvärme + FTX + PV**	10 063 + 1 702	14 318	2 955
kWh/m ² , år	73 + 12	104	21

*Solcellerna sparar el till värmepump eller FTX. **Solcellerna sparar hushållsel.

Tabell 6. Sammanfattning av viktad energianvändning för värme och varmvatten

	Värme & varmvatten (kWh/m ² , år)	E _{total} (kWh/m ² , år)	Reduktion ¹ (kWh/m ² , år)
Elvärme + FTX	85 (el)	$2,5 \cdot 85 = 213$	$-(2,5 \cdot 16) = -40$
Bergvärme + FTX	36 (el)	$2,5 \cdot 36 = 91$	$-(2,5 \cdot 16) = -40$
Fjärrvärme + el till FTX	73 (värme) + 12 (el)	$1 \cdot 73 + 2,5 \cdot 12 = 104$	$-(2,5 \cdot 12,3) = -31$
Bränsle + el till FTX	73 (bränsle) + 12 (el)	$1,5 \cdot 73 + 2,5 \cdot 12 = 140$	$-(2,5 \cdot 12,3) = -31$
Bergvärme ² + FTX + direktel	41 (el)	$2,5 \cdot 41 = 103$	$-(2,5 \cdot 16) = -40$

1. Solceller för FTX och värmepump.

2. 90 % av värmebehovet.

Bergvärme får ett lägre totalt energibehov än fjärrvärme tack vare att värmepumpens värmefaktor (3) är högre än viktningsskalfaktorn (2,5) för elektrisk energi. Om värmepumpens täckningsgrad begränsas till 90 % av årets värmebehov och resten tillförs som direktel får fjärrvärme och bergvärme jämförbara värden på E_{total}.

Solcellsystemet som är på 5,2 kW_p eller 30m² levererar 2 200 kWh/år direkt till huset, vilket motsvarar 16 kWh/m², år. Denna energi sparar hushållsel eller fastighetsel. I systemen utan värmepump begränsas dock besparingen till FTX-systemets elbehov som är 12,3 kWh/m², år.

Tabell 7. Sammanfattning av viktad energianvändning för värme och varmvatten

Uppvärmningssystem	E _{total} (kWh/m ² , år)
Elvärme + FTX	213
Bergvärme + FTX	91
Fjärrvärme + el till FTX	104
Bränsle + el till FTX	140
Bergvärme (90 %) + direktel (10 %) + el till FTX	103

3 VÄRDERING AV ENERGI-BÄRARE

En byggnads energieffektivitet bestäms i hög grad av den energimängd som tillförs byggnaden under året. Därför skall denna energi mätas och värderas. Värderingen är komplicerad eftersom den tillförda energin kan vara i form av el, bränsle eller värme, som kommer från olika primärkällor. Energin används till hushållsel, beredning av varmvatten och för uppvärmning. Dessutom är energieffektiviteten beroende av byggnadens maximala tillförsel av energi, d.v.s. effektbehovet. För att kunna ställa någorlunda enkla och tydliga krav måste förenklingar införas. Det innebär bl.a. att användningen av olika energibärare måste kunna jämföras. Här är värderingen av en energienhet av el, bränsle respektive värme viktig.

Värderingen av energibärare styr i hög grad hur byggnadens energisystem utformas, hur väl byggnaden isoleras och hur energieffektiva maskiner som installeras. Storleken på värderings-faktorerna styr vilka primära energikällor som används. Det innebär att ”korrekta faktorer” skall ha värden så att resursförbrukningen minimeras.

Energibärare värderas på olika sätt. I princip kan fyra olika metoder eller kombinationer av dessa urskiljas:

- Primärenergi
- Klimatpåverkansfaktor eller andel fossila bränslen
- Kvalitet hos energibäraren eller energiformsfaktorer
- Pris

3.1 Primärenergifaktor för svensk elproduktion

Begreppen primärenergi och primärenergifaktor har blivit etablerade för att bedöma resursanvändningen i ett energisystem. Primärenergifaktorn (PEF) definieras vanligen som mängden primärenergi, d.v.s. energiresurser från källan, som behövs för att ge en enhet av nyttig energi för användaren. Primärenergin anges som energikällans värmevärde utan hänsyn till dess kvalitet.

Det innebär att om 10 MWh stenkolkol tas upp och 1 MWh används för att bereda och transportera bränslet till slutanvändaren blir primärenergifaktorn $10/9 = 1,11$ kWh stenkolkol per kWh nyttig energi, se figur 3. Primärenergifaktorn (PEF) definieras som mängden primärenergi, d.v.s. energiresurser från källan, som behövs för att ge en enhet av nyttig energi för slutanvändaren. Faktorerna för olika bränslen och energi-

former fastställs som kvoten mellan tillförd primärenergi och nyttiggjord energi. Primärenergins energiinnehåll baseras på värmevärdet.

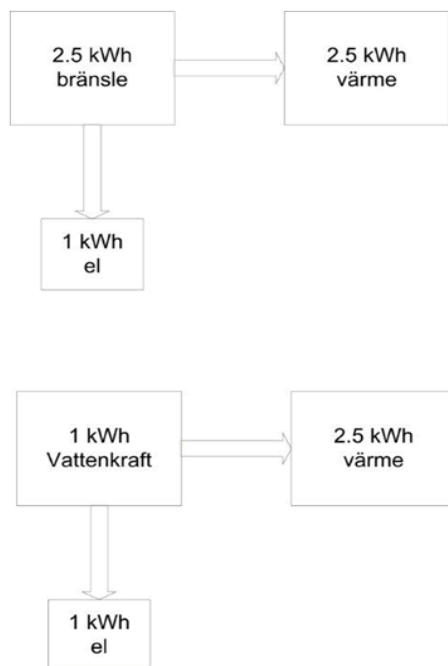
$$PEF = \frac{\text{Förbrukad Energi}}{\text{Nyttig Energi}}$$

$$PEF_{\text{Värme}}^{\text{Kol}} = \frac{\text{Förbrukad Bränsle}}{\text{Levererad värme}} = 1,1 \text{ kWh bränsle/kWh värme}$$

$$PEF_{\text{El}}^{\text{Kol}} = \frac{\text{Förbrukad Bränsle}}{\text{Levererad el}} = 2,5 \text{ kWh bränsle/kWh el}$$

Figur 3. Primärenergifaktorer för värme och el från kol

Figur 4 nedan visar att kvoten mellan primärenergifaktorerna för el och värme blir omkring 2,5/1 när de omvandlas från en energibärare. Detta eftersom 2,5 kWh bränsle kan omvandlas till 2,5 kWh värme eller 1 kWh el, alternativt kan 1 kWh vattenkraft omvandlas till 1 kWh el eller 2,5 kWh värme med en värmepump. Det gäller oavsett om den primära energin är ett bränsle eller om den är vattenkraft. Detta beror på att elektrisk energi har högre kvalitet än värme.



Figur 4. Kvoten mellan primärenergifaktorerna för el och värme vid omvandling från bränsle eller vattenkraft.

Definitions- och värderingsproblem uppstår när primärenergikällor av olika former skall omvandlas till nyttig el eller värme. Detta illustreras av beräkningen av primärenergifaktor för svensk elproduktion enligt tabell 8. Den viktade primärenergifaktorn för svensk elproduktion har bestämts utifrån underlag från Miljöfaktaboken.

Tabell 8. Primärenergiberäkning av svensk elproduktion 2014

Kraftslag	Produktion (TWh)	PEF	Enhet	Primärenergi (TWh)
Vattenkraft	67	1,1	(kWh _{potentiell energi})/kWh _{el})	74
Kärnkraft	63	2,92	(kWh _{kärnenergi})/kWh _{el})	184
Vind	12	0,05	(kWh _{kinetisk energi})/kWh _{el})	1
Kraftvärme m.m.	14	1,75	(kWh _{kemisk energi})/kWh _{el})	25
Summa	156	1,8	(kWh _{primär energi})/kWh _{el})	284

Användningen av primärenergi fås genom multiplikation för varje kraftslag och summering enligt tabell 8: $1,1 \cdot 67 + 2,92 \cdot 63 + 0,05 \cdot 12 + 1,75 \cdot 14 = 284 \text{ TWh/år}$

Den viktade primärenergifaktorn kan således bestämmas till

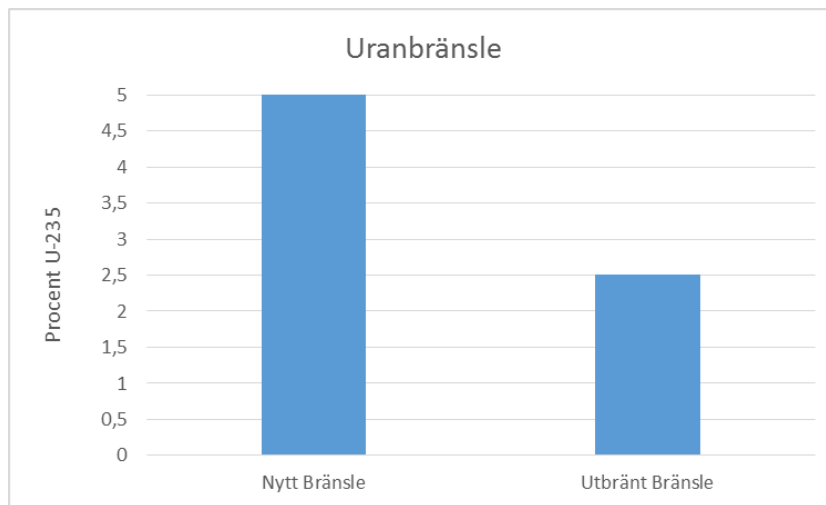
$$PE_{El}^{Svensk} = \frac{284}{156} = 1,8 \text{ kWh}_{pe}/\text{kWh}_{el}$$

Den beräknade totala primärenergifaktorn för ett elsystem som använder 43 % vattenkraft, 40 % kärnkraft, 8 % vindkraft och 9 % kraftvärme får ett viktat medelvärde enligt tabell 1 som summeras till PEF = 1,8. Beräkningsmetoden innebär att primärenergier av olika typer och kvalitet summeras utan hänsyn taget till kvaliteten hos källan. Primärenergifaktorerna för de primära energierna fås som kvoter mellan energiformer av olika kvalitet! Den primära energin ges som energikällans värmevärde.

Vindkraftens primärenergifaktor anses mindre än ett eftersom tillgången på vind är förnybar och oändlig, endast den energi som används för att tillverka och uppföra kraftverken ingår i den totala primärenergifaktorn. Vattenkraften är en begränsad resurs av hög teoretisk exergi- och praktisk kvalitet och användbarhet och ges därför primärenergifaktorn PEF = 1,1. Detta synsätt innebär att en konsekvensanalys av energianvändningen infogas i beräkningen. Exergin i vindkraften förbrukas men det anses inte ha någon betydelse eftersom tillgången på vind är obegränsad. Exergin i vattenkraften förbrukas och betraktas som en begränsad energikälla och som därför får PEF-värdet=1 inklusive omvandlingsförluster.

3.2 Primärenergifaktor för svensk kärnkraft

En stor andel av den svenska eltillförseln kommer från kärnkraftverk som använder uran med atomvikten 235 som bränsle, U_{235} . Bränslet tas ur reaktorn för slutförvaring när halva energiinnehållet återstår. Det innebär att det är svårt att entydigt bestämma primärenergifaktorn.



Figur 5. Anrikat bränsle för en kärnkraftreaktor består av 5 % U_{235} och 95 % U_{238} . Utbränt bränsle tas ur reaktorn när halten U_{235} är omkring 2,5 %.

Naturligt uran består till 0,7 % av U_{235} och 99,3 % U_{238} . Anrikat bränsle för en kärnkraftreaktor består av 5 % U_{235} och 95 % U_{238} . I svenska kärnkraftverk tas bränslet ur reaktorn för slutförvaring när halten U_{235} är omkring 2,5 %. Primärenergifaktorn för kärnkraft baseras på att verkningsgraden för turbinen är 35 %.

$$PE_{El}^{Uran} = \frac{1}{0,35} = 2,9 \text{ kWh}_{\text{värme}}/\text{kWh}_{\text{el}}$$

Det innebär att primärenergifaktorn baseras på den del av uranbränslet som omvandlats i reaktorn. Den andel som grävs ned för slutförvaring anses inte förbrukad!

En snabb Breederreaktor kan omvandla den icke-klyvbara isotopen U_{238} till klyvbart plutonium-239 och öka mängden användbart bränsle med en faktor 70. Om det U_{238} som slutförvaras betraktas som förbrukat bränsle ökar primärenergifaktorn för kärnkraft med en faktor 20–40! Användbart U_{238} grävs ned för slutförvaring.

Om en alternativ primärenergifaktor baseras på hela den mängd U_{235} som grävs ned för slutförvaring så fördubblas primärenergifaktorn för svensk kärnkraft till $PEF_{\text{kärnkraft}} = 5,84$. Det innebär att hela mängden U_{235} som slutförvaras betraktas som förbru-

kad. Primärenergifaktorn för svensk el ökas då från 1,8 till 3 enligt beräkningen nedan.

$$\text{Primärenergianvändning} = 1,1 \cdot 67 + 2 \cdot 2,92 \cdot 63 + 0,05 \cdot 12 + 1,75 \cdot 14 = 467 \text{ TWh/år}$$

$$PEF_{El}^{Svensk} = \frac{467}{156} = 3 \text{ kWh}_{pe}/\text{kWh}_{el}$$

I ovanstående beräkningar har ingen hänsyn tagits till att vattenkraft och vindkraft kan omvandlas till el med små förluster. De har alltså betydligt högre kvalitet och större användbarhet än bränslen. Detta motiverar att de ansätts en högre primärenergifaktor, $PEF_{vattenkraft} = PEF_{vindkraft} = 2,5$. Om de ges detta värde ökar primärenergifaktorn för svensk el till 3,8.

$$\text{Primär Energi} = 2,5 \cdot 67 + 2 \cdot 2,92 \cdot 63 + 2,5 \cdot 12 + 1,75 \cdot 14 = 590 \text{ TWh/år}$$

$$PEF_{El}^{Svensk} = \frac{590}{156} = 3,8 \text{ kWh}_{pe}/\text{kWh}_{el}$$

Primärenergifaktorn för svensk och även nordisk elmix är kraftigt beroende av hur energiinnehållet i kärnkraftens avfall behandlas och hur vattenkraftens kvalitet behandlas. Den kan alltså inte bestämmas entydigt. Dagens etablerade metod ger det lägsta värdet.

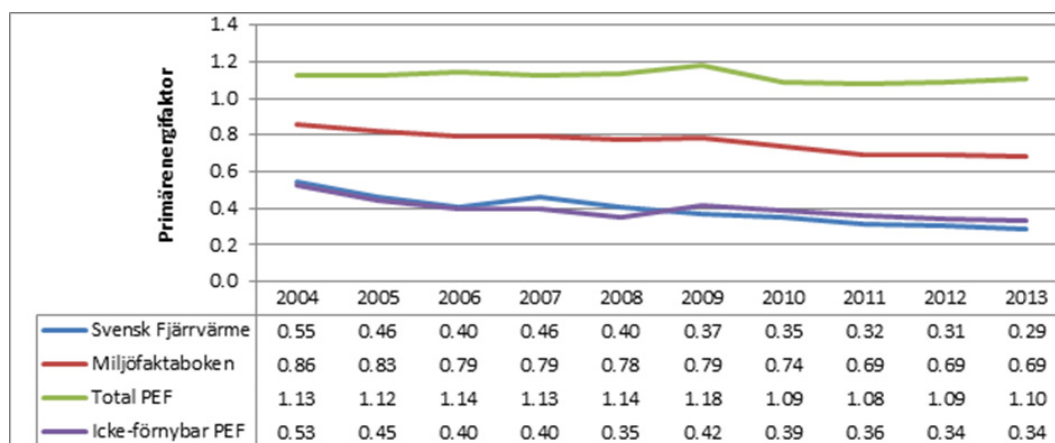
3.3 Primärenergifaktor för svensk fjärrvärme

Det är principiellt enklare att beräkna primärenergifaktorn för svensk fjärrvärme, eftersom den i hög grad försörjs av ett energislåg, d.v.s. bränslen. Problemet här är att slutsatserna av en konsekvensanalys av användning av industriellt spillvärme och spillbränslen utan alternativ användning inte är entydiga. Energibärarna som används i svensk fjärrvärme utgörs till omkring 35 % av industriellt spillvärme, avfall, returflis, tallbeckolja och bioolja där Miljöfaktaboken och Svensk Fjärrvärme är överens om att primärenergifaktorerna är omkring 0,1, vilket inte stämmer med definitionen av PEF. Omkring 32 % av energibärarna har primärenergifaktorer omkring 1 hos både Miljöfaktaboken och Svensk Fjärrvärme. Men 33 % av energibärarna utgörs av biobränslen som Svensk Fjärrvärme behandlar som restprodukter med $PEF = 0$ medan Miljöfaktaboken behandlar dem som prima bränslen med $PEF = 1$. Det resulterar i olika värden på primärenergifaktorerna.

$$PEF_{miljöfakta} = 0,35 \cdot 0,1 + 0,32 \cdot 1 + 0,33 \cdot 1 = 0,69 \text{ kWh}_{bränsle}/\text{kWh}_{fjärrvärme}$$

$$PEF_{Svenskfjv.} = 0,35 \cdot 0,1 + 0,32 \cdot 1 + 0,33 \cdot 0 = 0,36 \text{ kWh}_{bränsle}/\text{kWh}_{fjärrvärme}$$

Det blir stor relativ skillnad i primärenergifaktorer för svensk fjärrvärme beroende på vilken metod som används vid beräkningen, se figur 6.



Figur 6. Primärenergifaktorer för fjärrvärme beräknat med fyra olika metoder.

Primärenergifaktorerna för svensk fjärrvärme kan beräknas utifrån olika antagande om konsekvenserna av användningen spillvärme, avfallsbränsle och förnybar energi. I figur 3 visas resultatet av beräkningar av PEF med fyra olika metoder. Detta redovisas i detalj i kapitel 4.

Total PEF: Mäter total primärenergiförbrukning. Alla bränslen/energibärare har givits ett värde, d.v.s. $PEF \geq 1$. Även avfallsbränslen och spillvärme har värdet $PEF = 1$.

Icke-förnybar PEF: All förnybar energi, d.v.s. bibränslen, har värdet $PEF = 0$.

Miljöfaktaboken: För avfallsbränslen, RT-flis, biogas och vindenergi är $PEF = 0$.

Svensk Fjärrvärme: De flesta bibränslen har värderats som restprodukter, d.v.s. $PEF = 0$. Avfall och spillvärme värderas till $PEF = 0$ för själva bränslet/energibäraren.

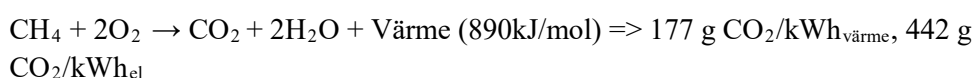
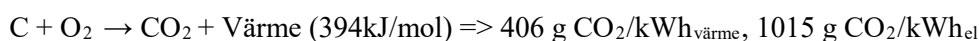
Primärenergifaktorerna för fjärrvärme kan inte bestämmas entydigt. Det innebär vidare att kvoten mellan primärenergifaktorerna för el och fjärrvärme varierar inom vida gränser. Denna kvot är intressant när miljöpåverkan och resursförbrukning för användning av el för uppvärmning jämförs med fjärrvärme.

3.4 Användning av fossila bränslen

Klimatpåverkan mäts som emitterade koldioxidekvivalenter i förhållande till levererad energi till slutkund. Andel fossila bränslen mäts som insatt energi i form av kol, fossil olja och naturgas i förhållande till total insatt energi till energiproduktion. Ökar koncentrationen av växthusgaser i atmosfären, så ökar också absorptionen av värme-

strålning från jorden, vilket innebär att jorden isoleras effektivare och blir varmare. Mängden bildad koldioxid är proportionerlig mot andelen fossila bränslen i bränslemixen.

Vid förbränning av kol och metan gäller följande ideala samband:



Den innebär att ideal förbränning av 1 kg kol ger 9,1 kWh värme och 3,7 kg koldioxid, motsvarande 406 gram koldioxid per kWh värme. Ideal förbränning av 1 kg metan ger 15,5 kWh värme och 2,75 kg koldioxid, motsvarande 177 gram koldioxid per kWh värme.

Vid förbränning av kol eller metan för att generera el i ett kondenskraftverk med 40 procents verkningsgrad blir motsvarande utsläpp 1 015 gram respektive 442 gram koldioxid per kWh el.

Nordisk residual-elmix enligt Värmemarknadskommitténs rekommendationer innehåller 33 % fossila bränslen och emitterar 258 gram koldioxid per kWh el. Det överensstämmer med ovanstående teoretiska värden.

3.5 Exergibetraktelse av energiomvandling

Termodynamikens andra huvudsats säger att värme kan omvandlas till mekanisk energi eller elektrisk energi med den maximala verkningsgraden:

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{låg}}}{T_{\text{hög}}} = \frac{T_{\text{hög}} - T_{\text{låg}}}{T_{\text{hög}}} \quad \text{ekv. 1}$$

Där $T_{\text{låg}}$ är den låga referenstemperaturen i Kelvin och $T_{\text{hög}}$ är den höga temperaturen hos t.ex. den heta ångan i en turbin angivet i Kelvin. Detta samband bestämmer exergivärdet hos värme av olika temperaturer $T_{\text{hög}}$ i förhållande till referenstemperaturen $T_{\text{låg}}$.

På samma sätt säger termodynamikens andra huvudsats att el eller mekanisk energi kan omvandlas till värme med den maximala värmefaktorn:

$$COP = \frac{T_{\text{hög}}}{T_{\text{hög}} - T_{\text{låg}}} \quad \text{ekv. 2}$$

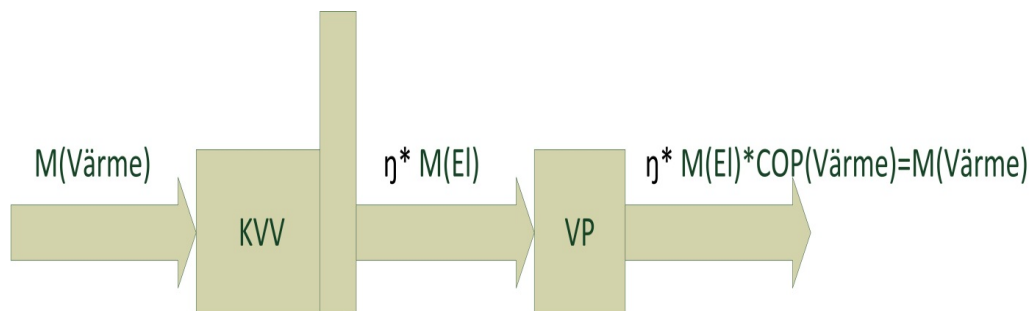
Det innebär alltså att

$$COP = \frac{1}{\eta} \quad \text{ekv. 3}$$

Slutsatsen är att om man har ett kondenskraftverk som använder värmemängden M mellan temperaturerna $T_{\text{hög}}$ och $T_{\text{låg}}$ och för att leverera elektrisk energi $P = \eta \cdot M$ och sedan låter den elektriska energin driva en värmepump mellan samma temperaturnivåer fås värmemängden

$$E = \eta \cdot M \cdot COP = \eta \cdot M \cdot \left(\frac{1}{\eta}\right) = M \quad \text{ekv. 4}$$

d.v.s. den värmemängd som används i kraftvärmeverket pumpas tillbaka av värmepumpen. En process som påstås har högre verkningsgrad än andra huvudsatsen tillåter enligt ekv. 1 eller ekv. 2 utgör en evighetsmaskin av andra ordningen och är alltså inte möjlig, se figur 7.



Figur 7. Värmemängden M används i den ideala kraftprocessen för att leverera den elektriska energin $\eta \cdot M$, vilken driver en ideal värmepump med $COP = 1/\eta$, som då levererar värmemängden M .

Exempel på olika exergi-kvalitetsfaktorer redovisas i tabell 9. Det höga exergivärdet för ett bränsle förutsätter att det kan omvandlas till el i en bränslecell. Tabell 11 i kapitel 3.8 visar att exergivärdet är olika för olika rena ämnen. Tabell 9 överskattar kraftigt det verkliga exergivärdet för ett trädbänsle. Värdet på exergikvalitetsfaktorn för värme bestäms av temperaturnivåerna enligt ekv. 1. Värdet på värmefaktorn bestäms enligt ekv. 2.

Tabell 9 visar att exergivärdet för referenstemperaturen är noll. Vi uppvärmning av en byggnad utgörs referenstemperaturen av omgivningstemperaturen. Denna får alltså exergivärdet noll, vilket betyder att den inte kan användas för att värma uppbyggnaden.

Tabell 9. Exergifaktorer för olika energiformer samt exergifaktor för värme och ideal värmefaktor i förhållande till 0 °C.

Energiform	Exergifaktor	Värmefaktor i förhållande till referenstemperaturen 0 °C
Mekanisk energi	1,00	
Elektrisk energi	1,00	
Kärnenergi	1,00	
Direkt solstrålning	0,95	
Kemisk energi, bränsle	0,90 ^a	
Värme vid 100 °C	0,27 ^b	3,7 = (1/0,27)
Värme vid 50 °C	0,15 ^b	6,5 = (1/0,15)
Värme vid 0 °C	0,00 ^b	

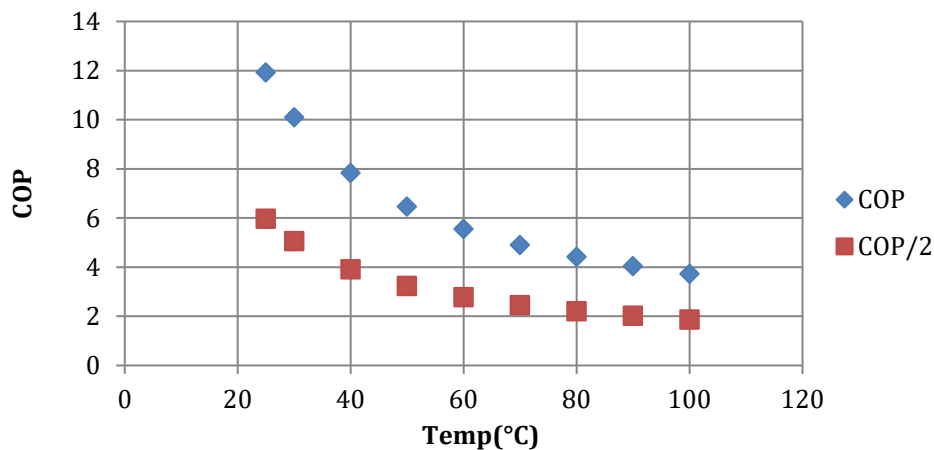
a) Omvandlas i en bränslecell.

b) Referenstemperatur 0 °C.

Om ekvation två används för att teoretiskt beräkna maximal värmefaktor för en värmepump som värmer en byggnad och som arbetar mellan 0 °C och 50 °C fås:

$$COP = \frac{273 + 50}{50 - 0} = 6,5 \quad \text{ekv. 5}$$

Om exergikvalitetsfaktorn används för att bestämma kvalitetsskillnaden mellan el och värme så ger detta således en elfaktor/värmefaktor på 6,5. Det innebär att användning av 1 kWh el motsvarar en användning av 6,5 kWh värme. Denna kvalitetsskillnad mellan el och värme står inte i proportion till värmefaktorn i en effektiv värmepump, varför en mera realistisk el/värme-kvalitetskvot bör motiveras. Figur 8 visar hur värmefaktorn enligt ekvation 2 beror av den höga temperaturen vid referenstemperaturen 0 °C för en ideal värmepump i jämförelse med en med 50 % verkningsgrad.



Figur 8. Värmefaktor för en ideal värmepump och en med 50 % isentropisk verkningsgrad som båda tar värmen vid referens-temperaturen 0 °C.

En verkningsgrad som definieras på detta sätt kallas för isentropisk verkningsgrad.

$$\eta - \text{isentropisk} = \frac{COP - \text{verklig}}{COP - \text{ideal}} \quad \text{ekv. 6}$$

Dagens värmepumpar har en isentropisk verkningsgrad av omkring 50 %, $\eta_{\text{isentropisk}} = 0,5$. Detta kan användas som argument för att motivera att 1 kWh el är värd 3 kWh värme om slutmålet är att leverera värme vid 50 °C. Värderingsfaktorer som bestäms med denna empiriska metod benämns vanligen praktiska kvalitetsfaktorer eller energiformsfaktorer.

3.6 Formfaktorer vid omvandling med förluster

Ekvationerna 2 och 3 visar att vid förlustfri omvandling mellan två temperaturnivåer är kvoten mellan exergifaktorerna för el och värme konstanta oavsett om omvandlingen sker från el till värme eller från värme till el. Det innebär att vid förlustfria processer mellan samma temperaturnivåer ger kondenskraft och kraftvärme samma termiska utbyte. Det förutsätter att den elektriska energin omvandlas till värme med en förlustfri värmepump. Men om omvandlingen sker med förluster får den energibärrare som inte omvandlas en högre formfaktor. Denna effekt gör att kraftvärme blir effektivare än kondenskraft eftersom spillvärmens inte omvandlas.

Om en eldriven värmepump med 50 % verkningsgrad, $\eta_{\text{isentropisk}} = 0,5$, arbetar mellan $T_{\text{låg}} = 0^\circ$ och $T_{\text{hög}} = 50^\circ$ blir värmefaktorn 3,25. 1 kWh el kan omvandlas till 3,25 kWh värme. Om en termisk driven motor med 50 % Carnot verkningsgrad, $\eta_{\text{isentropisk}} = 0,5$, arbetar mellan $T_{\text{hög}} = 50^\circ\text{C}$ och $T_{\text{låg}} = 0^\circ\text{C}$ blir elverkningsgraden 0,075. Det innebär 1 kWh värme är värd 0,075 kWh el. Kvoten mellan formfaktorerna för el och värme blir 13. Tabell 10 visar att värme av låg temperatur får en mycket låg formfaktor vid

omvandling till el. Det innebär att värdena på formfaktorerna för el och värme beror på vilken energibärare som är målet för omvandlingen. Det är ett argument för att formfaktorn för fastighetsel skall vara mycket hög i förhållande till värme vid uppvärmningstemperaturer.

Tabell 10. Kvoten mellan energiformsfaktorerna för el och värme vid $T_{\text{hög}} = 50^{\circ}\text{C}$ och $T_{\text{låg}} = 0^{\circ}$. Den isentropiska verkningsgraden av 50 %, $\eta_{\text{isentropisk}} = 0,5$.

Energiomvandling	Energiformsfaktor för el	Energiformsfaktor för värme
Från el till värme	3,25	1
Från värme till el	13	1

3.7 Värmevärde, exergi och elvärde för bränslen

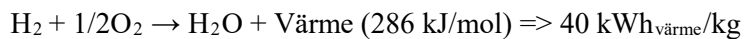
Metoden för värdering av resursförbrukning baseras på bränslets värmevärde. Den utvecklades i Tyskland där den dominerande primära energikällan var kol. Figur 4 visar att resultatet är att primärenergifaktorn för el är 2,5 gånger högre än för värme. Metodens användning för uppskattning av förbrukning av primärenergi i det svenska energisystem kan ifrågasättas, eftersom detta innehåller en stor andel vattenkraft, som har högre kvalitet än kemisk energi. Det innebär att en enhet vattenkraftenergi jämföras med en enhet bränsle eller värme. Men vattenkraften kan omvandlas till elektrisk energi med betydligt högre verkningsgrad än bränsle eller värme.

Inom termodynamiken används exergibegreppet för att beteckna kvaliteten på energin. Exergibegreppet behövs för att förklara att användning av energi innebär att energins kvalitet utnyttjas. Energin kan endast omvandlas mellan olika former. Detta sker genom att dess kvalitet, d.v.s. exergi, förbrukas. Exergi är arbete (ordnad rörelse) eller förmåga till arbete medan värmeenergi är ett mått på molekylernas oordnade rörelse. Denna kan inte till 100 % omvandlas till ordnad rörelse. När energiresurser används, så förbrukas exergin samtidigt som energin omvandlas. När en byggnad värms förbrukas exergin i energibäraren samtidigt som energin omvandlas till värme av omgivningstemperatur. Exergivärdet i värme av omgivningstemperatur är i detta fall noll. Exergi begreppet är nödvändigt och nyttigt, men har ändå fått begränsad användning p.g.a. att det är teoretiskt till sin natur. Därför införs i denna rapport begreppet elvärde, som definieras som andelen av energin som med praktiskt möjlig verkningsgrad kan omvandlas till elektrisk energi. Denna definition innebär att elvärde och exergi uttrycker samma sak, eftersom el kan omvandlas till mekanisk energi utan förluster. Omvandling av kemisk energi från vätgas till värme och el illustrerar begreppets användning. Det är pedagogiskt lämpligt att använda vätgas som exempel, eftersom det finns en fungerande vätgasbränslecell.

3.8 Värmevärde och elvärde för vätgas

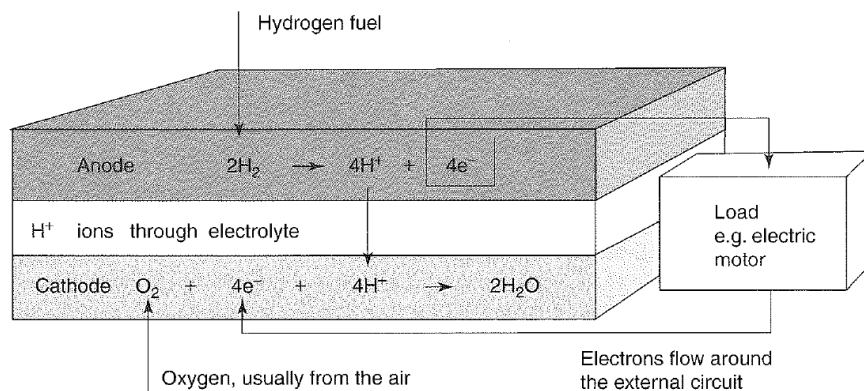
Detta kapitel förklarar hur den kemiska energin utvecklas när vätgas reagerar med syrgas och bildar vatten. Vätgasens värmevärde och elvärde beräknas. Vätgas används som exempel, eftersom det kan användas som bränsle eller anod i en bränslecell som genererar elektrisk energi. Verkningsgraden hos en bränslecell begränsas inte av Carnots relation, eftersom bränslecellen drivs av en elektrokemisk reaktion och inte en termisk process.

Vid oxidering eller förbränning av vätgas till vatten i vätskeform gäller följande formel.



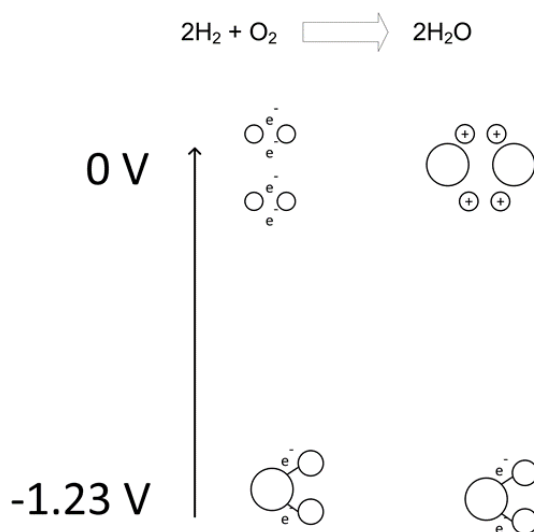
Den innebär att ideal förlustfri förbränning av 1 kg vätgas ger 40 kWh värme.

El kan genereras från ett bränsle genom reaktion i en bränslecell eller genom förbränning och elproduktion i en kraftcykel. Maximal elproduktion fås i en bränslecell som arbetar vid omgivningstemperatur. En bränslecell är ett galvaniskt element som omvandlar kemisk energi till elektrisk energi. Den fungerar på samma sätt som en ackumulator eller batteri, se figur 9.



Figur 9. Principfunktion för elproduktion i en vätgasbränslecell.

Elektrisk energi genereras i en bränslecell när vätgas tillförs anoden och syrgas tillförs katoden. Vatten i vätskeform bildas vid katoden och tillförs elektrolyten. När väte och vatten reagerar avges energi därför att vätemolekylens två elektroner flyttar sig till bindningen mellan väte och syreatomer. De förlorar då en elektrokemisk potential motsvarande 1,23 Volt, figur 10.



Figur 10. Elektronernas potentiella energi vid reaktionen i en bränslecell.

Detta är också den maximalt teoretiska spänning som kan fås i en bränslecell baserad på vätgas. Elektronernas totalt minskade potentiella energi kan beräknas som den totala laddningstransporten gånger spänningsfallet.

Energiutbytet från en bränslecell beräknas enligt nedanstående ekvation.

$$E = n \cdot N_A \cdot q \cdot \Delta U$$

n Antal elektroner per vätemolekyl

N_A Avogadros konstant (antal molekyler per mol)

q Elektronens laddning

ΔU Spänningsfall

Med insatta siffervärden:

$$E = 2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,23 = 237 \text{ kJ/mol} \Rightarrow 33 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{kg}$$

Det innebär att vätgas har den teoretiska potentialen att leverera 33 kWh el eller 40 kWh värme per kg vatten. Skillnaden omfattande 7 kWh kan hänföras till bindningsenergi mellan vattenmolekylerna.

Resultaten av motsvarande identiska analyser av värmevärde och elvärde för metan, koloxid och kol visas i tabell 11.

Tabell 11. Teoretiska värmevärden, elvärden och kvot mellan dessa för olika bränslen

Bränsle	Värmevärde H (kWh/kg)	Elvärde G (kWh/kg)	Kvot G/H
H ₂	40	33	0,83
CH ₄	15,5	14,2	0,92
C	9,1	9,1	1,0
CO	1,1	1,4	1,24

I termodynamiken benämns värmevärdet för bildningsentalpi H och elvärdet som Gibbs fria Energi med beteckningen G. Detta är samma sak som exergivärdet. När kol oxiderar till koloxid kan mera el än värme avges. Det innebär att processen kylvad ned om inte värme tillförs. Termodynamiskt förklaras denna effekt av att ordningen ökar i processen, d.v.s. entropivärdet ökar. Antalet gasmolekyler fördubblas vid reaktionen.

Tabell 11 visar att bränslen har en mycket hög teoretisk potential att omvandlas till el med hög verkningsgrad. Detta förklarar att exergivärdet för bränslen brukar anges i storleksordningen $E = 0,9$, vilket innebär att 90 % av värmevärdet kan omvandlas till el. Detta motiverar också varför värmevärdet kan anges som parameter när primärenergifaktorn anges. Det är liten skillnad mellan G och H i tabell 11.

I praktiken är det dock nästan bara vätgas som kan omvandlas direkt till elektrisk energi i en bränslecell. Det finns idag inga praktiskt fungerande bränsleceller för de andra bränslena utom metanol. De andra bränslena kan omvandlas till vätgas, men denna process ger stora förluster. Det innebär att övriga bränslen än vätgas genererar el i en kraftprocess. Dessa har dock betydligt lägre verkningsgrader än den potentiella bränslecellen. Dessutom har en fungerande bränslecell för vätgas en verkningsgrad på omkring 50 %. I praktiken omvandlas de olika bränslenas kemiska energi i kraftprocesser med betydligt lägre verkningsgrader än de teoretiskt möjliga enligt tabell 12.

Tabell 12. Värmevärde, elverkningsgrad och elvärde för olika bränslen och vattenkraft

Bränsle	Värmevärde (kWh/kg)	Elverkningsgrad $\text{kWh}_{\text{el}}/\text{kWh}_{\text{bränsle}}$	Elvärde (kWh/kg)
H ₂	40	0,5	20
CH ₄	15,5	0,5	7,25
C	9,1	0,4	4,55
Biobränsle	5	0,35	1,75
Vattenkraft	1	1,0	

Det innebär att bränslen som kan leverera el med högre verkningsgrad får relativt sett högre elvärde. Metan med ett visst värmevärde motsvarar en större naturresurs än kol eller biobränsle med samma värmevärde, eftersom de kan omvandlas till el med högre verkningsgrad. Den omvända processen, d.v.s. elektrolys av vatten för att ge vätgas, kan i princip ske förlustfritt, men i praktiken är verkningsgraden c:a 60 %.

3.9 Primärvärmefaktor och primärelfaktor

Dagens användning av primärenergifaktor för att kvantifiera en resursförbrukning tar inte hänsyn till primärenergikällans förmåga att producera elektrisk energi. Detta begränsar metodens användbarhet när vattenkraft har en stor del i energitillförseln. Därför rekommenderas att dagens primärenergifaktor, som är en primärvärmefaktor ersätts eller kompletteras med en primärelfaktor. Värdena på primärelfaktorn i tabell 13 är proportionell mot inversen på respektive elverkningsgrad i tabell 12.

Tabell 13. Primärvärmefaktor och primärelfaktor för olika primärenergier

Primärenergi	Primärvärmefaktor	Primärelfaktor
H ₂	1 (kWh _{bränsle})/kWh _{värme}	2 (kWh _{bränsle})/kWh _{el}
CH ₄	1 (kWh _{bränsle})/kWh _{värme}	2 (kWh _{bränsle})/kWh _{el}
C	1 (kWh _{bränsle})/kWh _{värme}	2,5 (kWh _{bränsle})/kWh _{el}
Biobränsle	1 (kWh _{bränsle})/kWh _{värme}	2,85 (kWh _{bränsle})/kWh _{el}
Vattenkraft	1 (kWh _{potentiellenergi})/kWh _{el}	1 (kWh _{potentiellenergi})/kWh _{el}

Det betyder att användning av 1 kWh el från vattenkraft motsvarar resursförbrukningen från 2,5 kWh kolbränsle, 2 kWh naturgas eller 2,85 kWh biobränsle. Det innebär vidare att den summerade primärenergifaktorn för nordisk eller svensk el kommer att bli högre än dagens värde. Alternativt kan värmeproduktionen beräknas om den kemiska energin omvandlas till el med verkningsgrader enligt tabell 12, som matar en värmepump med värmefaktorn 3 med resultat enligt tabell 14. Det ger de olika bränslenas kvalitetsfaktorer enligt tabellen.

Tabell 14. Elverkningsgrad, värmeverkningsgrad och kvalitetsfaktor

Primärenergi	Elverkningsgrad	Värmeverkningsgrad, COP = 3	Kvalitetsfaktor
H ₂	0,5 (kWh _{el})/kWh _{bränsle}	1,5 (kWh _{värme})/kWh _{bränsle}	1,5
CH ₄	0,5 (kWh _{el})/kWh _{bränsle}	1,5 (kWh _{värme})/kWh _{bränsle}	1,5
C	0,4 (kWh _{el})/kWh _{bränsle}	1,2 (kWh _{värme})/kWh _{bränsle}	1,2
Biobränsle	0,35 (kWh _{el})/kWh _{bränsle}	1,05 (kWh _{värme})/kWh _{bränsle}	1
Vattenkraft	1 (kWh _{potentiellenergi})/kWh _{el}	3 (kWh _{värme})/kWh _{vattenkraft}	3
Värme från kraftvärme	0,17 (kWh _{bränsle})/kWh _{värme}	0,4 kWh _{bränsle} /kWh _{värme}	0,4

Kvalitetsfaktorn ger ett mått på energibärarnas förmåga att omvandlas till elektrisk energi eller till värme om den levererade elen driver en värmepump med $COP = 3$.

3.10 Elvärdet hos spillvärme från kraftvärme

I ett kraftvärmeverk omvandlas bränslets kemiska energi till elektrisk energi och värme. Värmen kan användas för uppvärmning av byggnader. Elvärdet hos spillvärmen från ett kraftvärmeverk kan bestämmas genom att beräkna den förlust av elproduktion som uppstår jämfört med att bränslet omvandlas i ett kondenskraftverk som endast levererar elektrisk energi. Kraftvärmeverket har en stor värmeproduktion på bekostnad av en lägre elproduktion än ett kondenskraftverk.

Biobränslebaserad kondenskraft har typiskt 40 % elverkningsgrad. Biobränslebaserad kraftvärme har typiskt 30 % elverkningsgrad. Under antagandet om 90 % totalverkningsgrad för kraftvärmeverket (10 % förluster) levererar kraftvärmeverket 60 % av bränslets energiinnehåll som fjärrvärme.

Resultatet av kraftvärmeprocessen är att 10 % mindre elproduktion (skillnaden mellan 40 % och 30 % elverkningsgrad) resulterar i att 60 % av bränslets energiinnehåll omvandlas till användbar värme. Kvalitetsfaktorn för spillvärme i ett kraftvärmesystem kan på detta sätt värderas som en sjättedel av kvalitetsfaktorn för el. El/biobränsle/spillvärme får då de relativa elverkningsgraderna eller primärelfaktorerna: (1/0,4/0,17)

Tillförd värme i ett fjärrvärmenät utan elproduktion förbrukar bränsle utan att utnyttja dess förmåga att producera el. En resurs som hade potentialen att producera el förbrukas. Därför bör värme utan kraftvärme värderas som om bränsle förbrukas.

3.11 Slutsatser

Slutsatserna av analysen i detta kapitel kan sammanfattas enligt följande:

- De använda metoderna för att beräkna primärenergifaktorer för Svensk elmix och Svensk fjärrvärme ger inte entydiga resultat.
- Metoden för att beräkna primärenergi och primärenergifaktorer baseras på primärenergikällans värmevärde och inte på dess på dess kvalitet, d.v.s. dess förmåga att omvandlas till el och utföra arbete. Det innebär att resursen vattenkraft underskattas och resursen spillvärme från kraftvärme överskattas.
- Begreppet primärenergifaktor bör kompletteras med eller ersättas av en primärelfaktor som bestäms av energibärarens verkningsgrad vid omvandling till el.
- Primärelfaktorn beräknas utifrån energislagets praktiska verkningsgrad vid omvandling till el till skillnad från exergifaktorn som baseras på en förlustfri omvandling.
- Metan med ett visst värmevärde motsvarar en större naturresurs än kol eller biobränsle med samma värmevärde, eftersom de kan omvandlas till el med högre verkningsgrad.
- Tillförd värme i ett fjärrvärmenät utan elproduktion värderas som användning av bränsle medan tillförd värme i ett kraftvärmenät värderas som användning av spillvärme med låg primärelfaktor.
- Spillvärme i ett kraftvärmenät får en låg primärelfaktor.
- Vid förlustfri omvandling mellan två temperaturnivåer är kvoten mellan exergifaktorerna för el och värme konstanta oavsett om omvandlingen sker från el till värme eller från värme till el.
- Om omvandlingen sker med förluster får den energibärare som inte omvandlas en högre formfaktor. Denna effekt gör att kraftvärme blir effektivare än kondenskraft eftersom spillvärmen inte omvandlas.
- Värme av låg temperatur får en mycket låg formfaktor vid omvandling till el. Det utgör ett starkt argument för att ge fastighetselen en hög viktningsfaktor vid summering av byggnadens totala energiförbrukning i BBR.

4 BERÄKNINGSMETODER FÖR PRIMÄRENERGIFAKTORER

4.1 Olika beräkningsprinciper

Primärenergien definieras vanligen som mängden primärenergi, d.v.s. energiresurser från källan, som behövs för att ge en enhet av nyttig energi för slutanvändaren. På vägen från utvinning av energiråvaror till slutkund uppstår en del energiförluster genom utvinning, förädling, transport, omvandling eller distribution. Den slutliga energin är å andra sidan den energi som används av slutanvändaren och mäts exempelvis i en elmätare. Det går med andra ord åt energi för att producera energi.

Förhållandet mellan primärenergianvändning och slutanvänd energi kallas primärenergifaktor (PEF) och används för att beräkna det totala energiresursbehovet för en viss mängd slutanvänd energi. Faktorerna för olika bränslen och energiformer fastställs som kvoten mellan tillförd primärenergi och nyttogjord energi. Primärenergifaktor kan med andra ord jämföras med en totalverkningsgrad eller systemverkningsgrad. Olika energiformer kan blandas så länge enheterna är de rätta.

Primärenergifaktorn har således en tydlig definition och är ett värde på resursförbrukningen vid energianvändning. Vid beräkning av primärenergifaktorer för olika energibärare används i praktiken olika metoder baserade på olika principer. De olika metoderna ger olika värden på de beräknade primärenergifaktorerna. I detta kapitel beräknas primärenergifaktorer utifrån olika principer för el och fjärrvärme i det svenska energisystemet. Förhållandet mellan PEF för el och fjärrvärme får stor betydelse när en byggnads energikvalitet skall bedömas. Därför visas i kapitlet hur den har utvecklats under den senaste 10-årsperioden.

Total PEF: Mäter total primärenergiförbrukning. Alla bränslen/energibärare ges ett värde, d.v.s. $PEF \geq 1$. Även avfallsbränslen och spillvärme har getts värdet $PEF = 1$ för själva bränslet/ energibäraren.

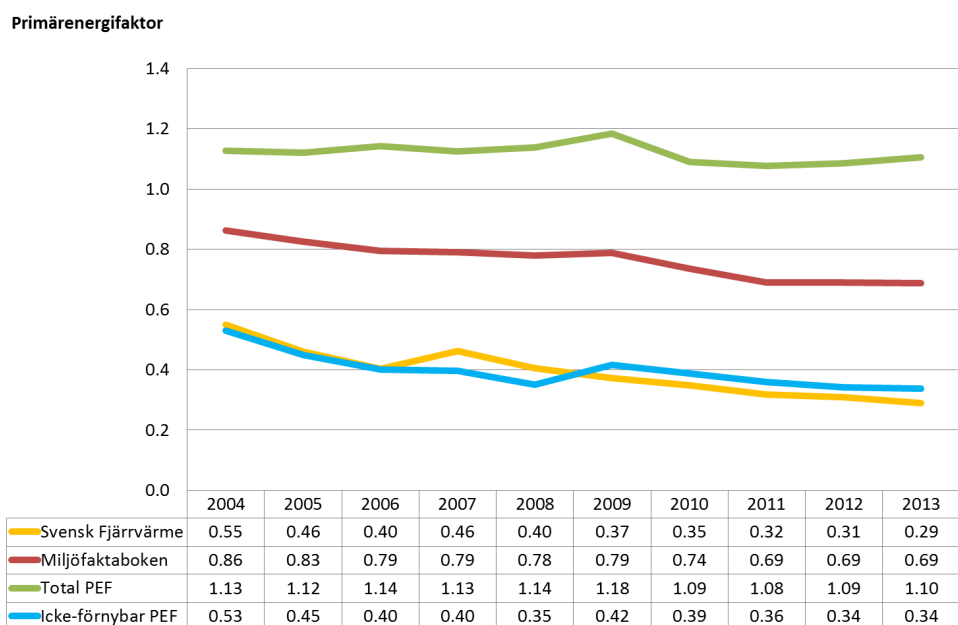
Icke-förnybar PEF: Mått på andelen förnybar energi. Samma som Total PEF, förutom att för förnybar-energi sätts $PEF = 0$ för själva bränslet. Däremot anges en PEF för beredning av den sekundära energin.

Miljöfaktaboken: För avfallsbränslen, RT-flis, biogas och vindenergi är $PEF = 0$ för själva bränslet/energibäraren. En PEF beräknas för beredning av den sekundära energin.

Svensk Fjärrvärme: De flesta biobränslena värderas som restprodukter, d.v.s. $PEF = 0$ för själva bränslet. Avfall och spillvärme värderas till $PEF = 0$ för själva bränslet/energibäraren.

4.2 Primärenergifaktor för fjärrvärme

Figur 11 visar hur PEF för fjärrvärme, beräknat med de olika metoderna, utvecklats mellan 2004–2013. Produktionsdata kommer från Svensk Fjärrvärme (2014) och bränslet är allokerat mellan el- och fjärrvärmeproduktion med alternativproduktionsmetoden.



Figur 11. Primärenergifaktorer för fjärrvärme beräknat med fyra olika metoder.

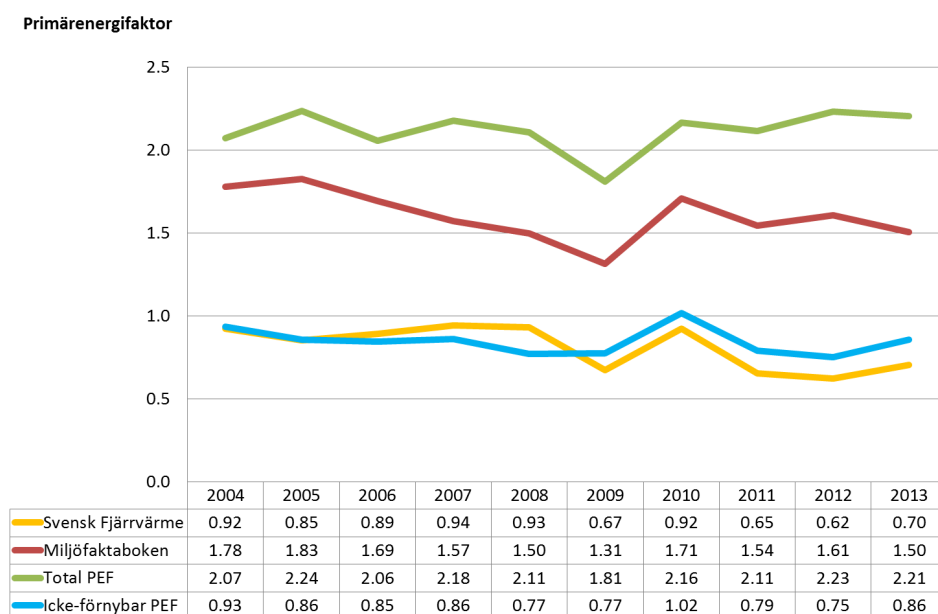
Total PEF är så gott som konstant, vilket tyder på att total-verkningsgraden och andelen kraftvärme (ger lägre PEF tack vare allokeringsmetoden) inte ändrats nämnvärt. De tre övriga metoderna visar på en trend med sjunkande PEF-värden, vilket beror på ökad användning av bio- och avfallsbränsleprodukter.

Svensk Fjärrvärme och Icke-förnybar PEF ger ett likartat resultat, även om de mäter olika saker. Icke-förnybar PEF, som namnet antyder, mäter andelen icke förnybar energi medan Svensk Fjärrvärme behandlar de flesta använda biobränsleprodukterna som restprodukter. Metoden som används i Miljöfaktaboken ger flera biobränsleprodukter (främst skogshyggesrester) ett primärenergivärde och resultatet ligger mitt i mellan Total PEF och Icke-förnybar PEF.

Avfallsbränslen, RT-flis och spillvärme bidrar med en stor andel (ca 1/3) till svensk fjärrvärmeproduktion. Dessa restprodukter ansätts ofta ett PEF när noll, d.v.s. primärenergiinnehållet allokerats till 100 % till huvudprodukten. Resultat av detta förhållningssätt avspeglas i Miljöfaktaboken.

4.3 Primärenergifaktor för el från fjärrvärme

Figur 12 visar resultat för primärenergiberäkningar för el samproducerad i fjärrvärmenät. Hjälpe är ett beräknat värde baserat på medlet för de år det finns data tillgängligt. Produktionsdata från Svensk Fjärrvärme (2014) och bränslet är allokerat mellan el- och fjärrvärmeproduktion med allternativproduktionsmetoden. Data för 2009 är opålitliga.



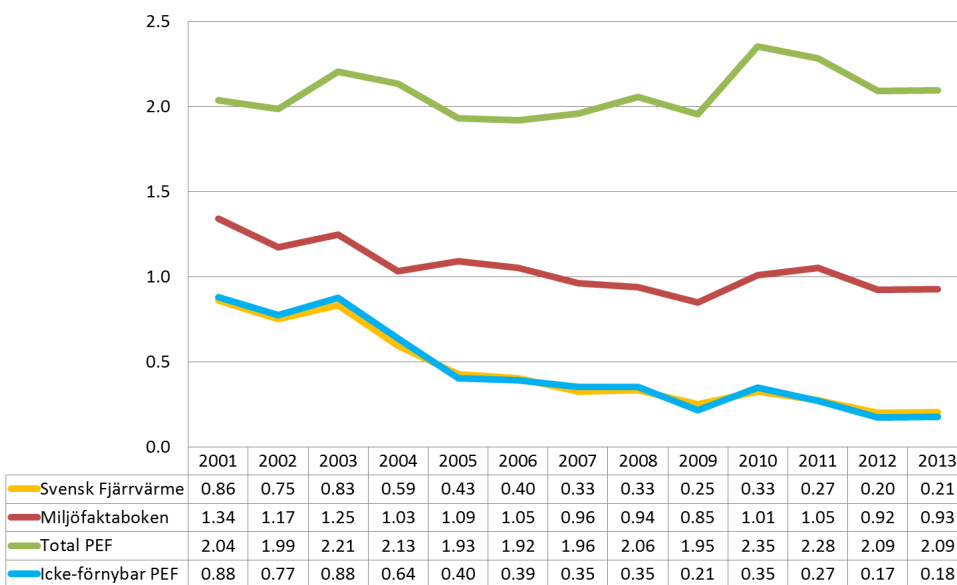
Figur 12. Primärenergifaktorer för el samproducerad i kraftvärmeverk i fjärrvärmenät.

Figuren visar en nedåtgående trend för alla metoder förutom Total PEF, även om förändringstakten är långsammare än för fjärrvärme. El producerad inom industrin får lägre PEF-värden än el från kraftvärme i fjärrvärmenäten (se figur 13), vilket beror på den mycket höga andelen bibränslebaserade restprodukter. Miljöfaktaboken saknar PEF-värden för tallbeckolja och svartlutar, som stod för ca 1/3 av bränsletillförseln 2012 och för dessa har värdet 0 har antagits

4.4 Primärenergifaktor för el från industri

SCB rapporterar sin bränsleförbrukningsstatistik allokerat enligt energimetoden. För att omfördela bränsleförbrukningen enligt alternativproduktionsmetoden divideras den angivna bränsleförbrukningen först med 0,287 (vilket är den fördelningsfaktor SCB använder för alla bränsletyper enligt SCB (2013)) för att sedan multipliceras med den fördelningsfaktor som används med alternativproduktionsmetoden (specifik för varje bränsletyp). De bränslefördelningsfaktorer som redovisas i tabell 69 i Miljöfaktaboken har använts. Resultaten i figur 13 är baserade på produktionsdata från SCB, förutom för 2013 där preliminärdata från Svensk Energi [3] har använts. Bränsleförbrukningen har omfördelats med alternativproduktionsmetoden (SCB använder energimetoden).

Primärenergifaktor



Figur 13. Primärenergifaktorer för el samproducerad i kraftvärmeverk inom industrin.

Även om total PEF varierat något över åren så är den i princip oförändrad över perioden som helhet. I övrigt ser vi sjunkande trender med en väldigt god samstämmighet i resultaten för Svensk Fjärrvärme och Icke-förnybar PEF.

4.5 Betydelsen av allokeringmetod

I statistiken från Svensk fjärrvärme har bränslen allokerats mellan el- och fjärrvärme-produktion med alternativproduktionsmetoden. Tabell 15 visar resultat för primär-energifaktorerna för fjärrvärme och el från kraftvärme när energimetoden används för allokering av bränslen. Produktionsdata är tagna från Svensk Fjärrvärme (2012).

Tabell 15. Primärenergifaktorer 2012 beräknade med alternativproduktions- och energi-allokeringsmetoderna

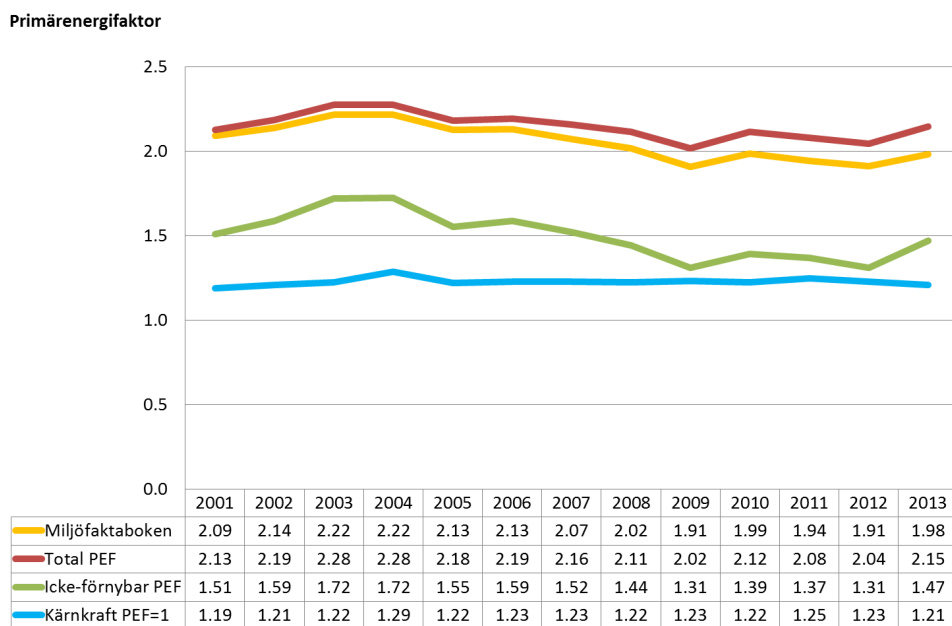
	Fjärrvärme			El från kraftvärme*		
	Alternativ- produktions- metoden	Energi- metoden	%	Alternativ- produktions- metoden	Energi- metoden	%
Miljöfaktaboken	0.69	0.77	+12	1.60	1.07	-33
Total PEF	1.09	1.20	+11	2.21	1.42	-36
Icke-förnybar PEF	0.34	0.38	+12	0.77	0.51	-34

* Skiljer sig mot Figur 2 främst pga. att hjälpel är det redovisade medan Figur 2 använder ett beräknat medelvärde

Fjärrvärme får 11–12 % högre PEF medan el från kraftvärme får 33–36 % lägre värden med energimetoden. För Nordisk och Svensk elmix gör inte val av allokeringssmetod så stor skillnad då kraftvärme inom fjärrvärmenät och industrin står för en relativt liten andel av den totala elproduktionen. Energimetoden ger ca 4 % och 6 % lägre PEF för Svensk respektive Nordisk elmix jämfört med alternativproduktionsmetoden.

4.6 Primärenergifaktor för svensk elmix

Primärenergifaktorer för svensk elmix redovisas i figur 14. I metoden "Kärnkraft PEF = 1" har kärnkraften tilldelats PEF-värdet 1 (i övrigt samma beräkning som enligt Miljöfaktaboken), för att visa hur stor inverkan kärnkraften har på primärenergifaktorn för Svensk elmix. Resultatet är baserat på produktionsdata från SCB, förutom för 2013 där preliminärdata från Svensk Energi (2014) använts. För kraftvärme har PEF-värden redovisade i figur 2 (2001–2003 används data från 2004) och figur 3 använts. Dessa primärenergifaktorer är beräknade på Svensk elproduktionsmix och tar inte hänsyn till hur stor andel av producerad el som förbrukas i Sverige, d.v.s. import/export beaktas inte. Nätförluster beaktas så att primärenergiförbrukningen divideras med den totalt producerade elen minus nätförluster (som beräknas som en procentsats av den totala elproduktionen).



Figur 14. Primärenergifaktorer för Svensk elproduktionsmix

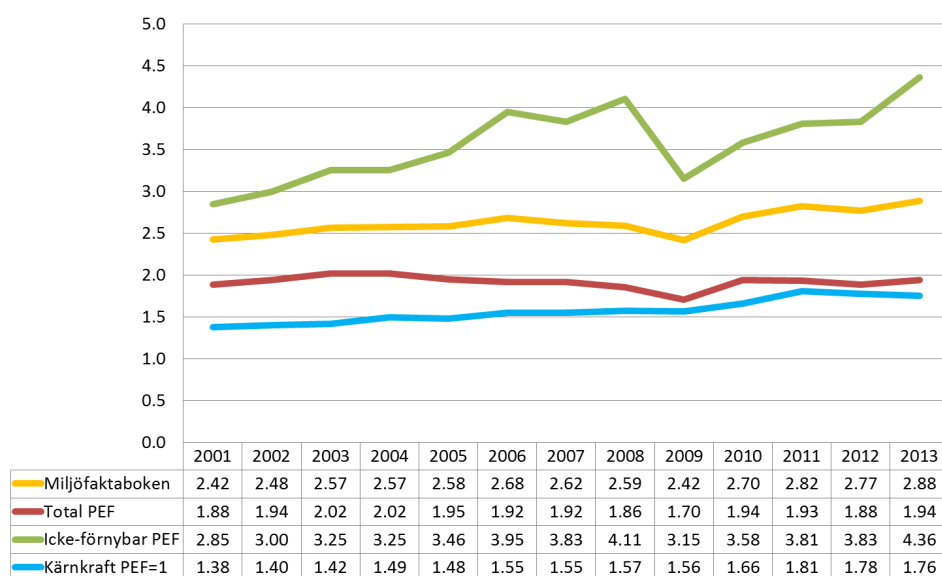
Miljöfaktabokens beräkning visar på en trend mot lägre PEF-värden beroende på en ökande andel vindkraft och till viss mån på en ökad användning av tallbeckolja, svartlut, avfall och andra restprodukter i kraftvärmeverk.

De årliga variationerna beror främst på hur mycket vattenkraft som har producerats (t.ex. betydligt lägre andel 2013 än 2012) samt till viss del kärnkraftens tillgänglighet (mycket låg tillgänglighet 2009). Kalla år som 2010 drar upp värdena något, vilket syns bäst på kraftvärmeelen (se figur 12 och figur 13).

4.7 Kvoten mellan PEF för el och fjärrvärme

Kvoten el/fjärrvärme visar på skillnaden i resursförbrukning mellan dessa två energibärare, se figur 15. Svensk elmixvärden är redovisade i figur 14 och fjärrvärmens värden i figur 11. ”Kärnkraft PEF = 1” har dividerats med fjärrvärmens PEF-värden framtagna enligt metoden i Miljöfaktaboken.

Primärenergifaktor

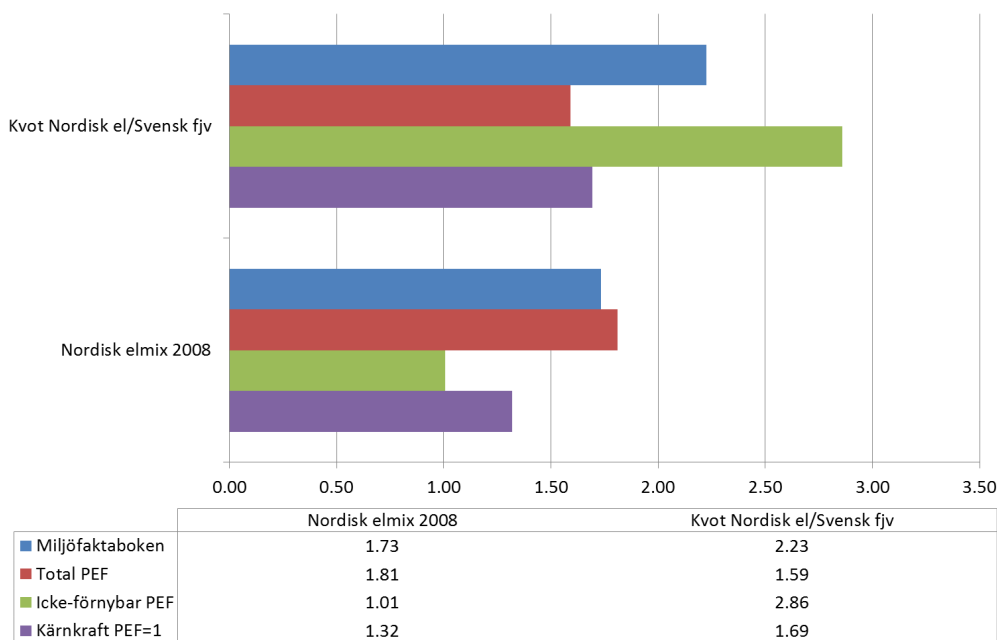


Figur 15. Kvoten mellan Svensk elmix och fjärrvärme.

Ikke-förnybar PEF visar ett kvotvärde kring 4 för de senaste åren, vilket visar på att det är c:a 4 gånger bättre att använda fjärrvärme än Svensk elmix om man vill främja andelen förnybart. Miljöfaktaboken, som sätter ett primärenergivärde på biobränslen men endast hjälpenergivärde på de energibärare som anses vara restprodukter (vilket berör även biobränsleprodukter), resulterar i en kvot kring 2,8 för de två senaste åren. Även ”Kärnkraft PEF = 1” visar en kvot på ca 1,8 trots det låga PEF-värdet på kärnkraft (för fjärrvärme har PEF-värden med Miljöfaktabokens metod använts).

4.8 Primärenergifaktorer för Nordisk elmix

För att göra primärenergiberäkningar för Nordisk elmix krävs detaljerade uppgifter om kraftvärmeproduktionen inom fjärrvärme och industri (som har stora andelar av elproduktionen i både Danmark och Finland). Här har en PEF-beräkning på Nordisk elmix för 2008 gjorts (se figur 16) utgående från de produktionsdata och allokeringsantaganden för kraftvärme (se tabell 17) som publicerats i Miljöfaktaboken för elåret 2008. För ”Kärnkraft PEF = 1”-kvoten har division gjorts med fjärrvärme-PEF beräknat med Miljöfaktabokens metod. För produktionsdata och använda primärenergifaktorer, se tabell 18.

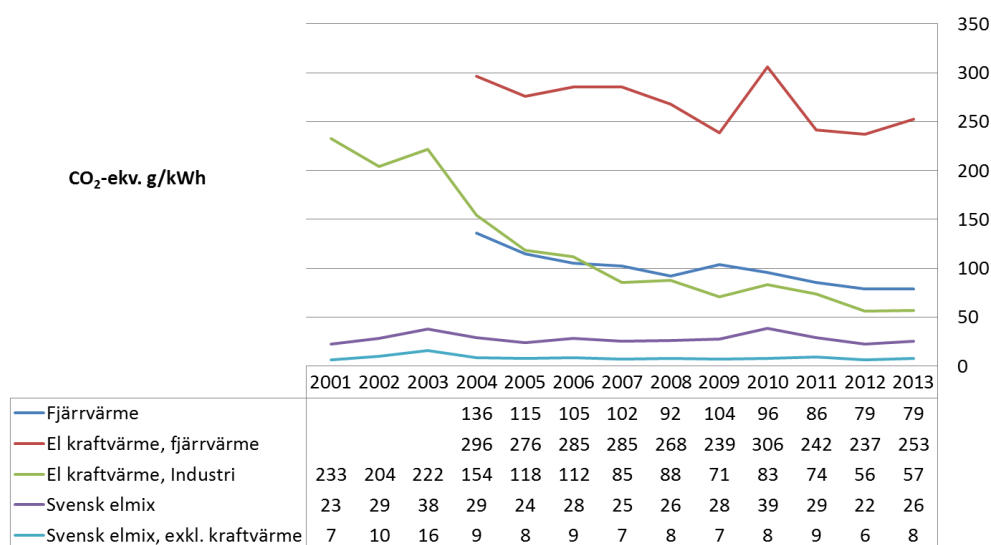


Figur 16. Primärenergifaktorer för Nordisk elmix 2008 samt kvoten Nordisk el/Svensk fjärrvärme.

Då kvoten för alla mått överstiger 1 innebär det att primärenergianvändningen överlag är högre i det nordiska elsystemet än i det svenska. I synnerhet gäller det icke förnybar PEF där användningen av fossila bränslen är betydligt högre i den nordiska elproduktionen jämfört med den svenska.

4.9 Koldioxidemissionsfaktorer för fjärrvärme och el

El producerad i Sverige har mycket låga koldioxidutsläppsnivåer, 22–26 g CO₂-eq/kWh de två senaste åren (se figur 17), tack vare den höga andelen vatten- och kärnkraft.



Figur 17. CO₂-emissionsfaktor för Svensk elproduktionsmix, el från kraftvärme och fjärrvärme.

El producerad i kraftvärmeverk, särskilt i fjärrvärmenät, har betydligt högre koldioxidemissionsfaktorer än Svensk elproduktionsmix. Analyseras Svensk elproduktionsmix exkl. el från kraftvärme är emissionsfaktorn endast 6–8 g/kWh. Fjärrvärmens koldioxidemissionsfaktor ligger kring 80 g/kWh de senaste åren, 3 till 4 gånger högre än Svensk elproduktionsmix. Fjärrvärmen produceras och förbrukas i Sverige. Detta medan Svensk elproduktion inte exakt motsvarar den konsumerade elmixen, då även importerad el bör beaktas.

4.10 Primärenergi- och koldioxidemissionsfaktorer

Primärenergifaktorerna för svensk fjärrvärme kan beräknas utifrån olika antaganden om konsekvenserna av användningen av spillvärme, avfallsbränsle och förnybar energi. I tabell 16 visas resultatet av beräkningar av PEF för använda bränslen inom fjärrvärmesystemet med fyra olika metoder. Principerna för metoderna förklaras i kapitel 4.1. Tabell 17 visar primärenergifaktorerna för Nordisk elmix med de fyra metoderna. I Tabell 18 sammanställs primärenergi och koldioxidemissionsfaktorer för Svensk elmix för de olika metoderna. Tabellernas innehåll redovisas i kapitlets figurer.

Tabell 16. Använda PEF och CO₂ emissionsfaktorer (vagga-till-grind) för beräkningar på fjärrvärme- och elproduktion från kraftvärme

Bränsle/Energibärare	Svensk Fjärrvärme ¹	Miljö-fakta-boken ²	Total PEF ³	Icke-förnybar PEF ⁴	CO ₂ -eq faktorer [g/kWh] ⁵
Industriell spillvärme	0	0	1	0.3 ⁶	0
Avfall	0.04	0.04	1.04	0.34 ⁶	101
Avfallsgas	0.15	0.15	1.15	0.45 ⁶	0
RT-flis	0.05	0.1	1.1	0.1	11
Trädbränsle, oförädlat	0.03	1.03	1.03	0.03	16
Trädbränsle, förädlat	0.11	1.06	1.06	0.06	19
Primära biobränslen	1.05	1.05	1.05	0.05	37
Deponi och rötgas	0.05	0.1	1.1	0.1	10
Tallbeckolja	0.04	0	1	0	9
Biolja	0.04	0.27	1.27	0.27	9
Övrig bio	1.05	1.05	1.05	0.05	37
Annat bränsle	1.11	1.11	1.11	0.11	301
Torv o torvbriketter	1.01	1.01	1.01	1.01	433
Köpt hetvatten (ospec.)	1.11	1.11	1.11	1.11	301
Naturgas	1.09	1.09	1.09	1.09	247
Eldningsolja	1.11	1.11	1.11	1.11	301
Stenkol	1.15	1.15	1.15	1.15	385
Övrigt fossilt bränsle	1.11	1.11	1.11	1.11	301
El till VP, EP och hjälpel ⁷	1.73	1.73	1.81	1.01	100

1. Värden från Svensk Fjärrvärme (2012).

2. Värden från Miljöfaktaboken (Gode et al, 2011), tabell 70.

3. Alla energibärare har ett värde (PEF ≥ 1), hjälpenergibehovet samma som för Miljöfaktaboken.

4. Förnybar energi sätts till PEF = 0, hjälpenergibehovet samma som för Miljöfaktaboken.

5. Värden från Svensk fjärrvärme [4], motsvarar i princip de värden som anges i Miljöfaktaboken.

6. Varav 30 % antas härstamma från icke-förnybara energibärare.

7. Beräknade värden för Nordisk elmix.

Tabell 17. Använda primärenergifaktorer för Nordisk elmix 2008 (inklusive Island). Produktionsdata och beräknade PEF från Miljöfaktaboken, industriellt mottryck och kraftvärme allokerat med alternativproduktionsmetoden

Energibärare/ produktionsteknik	Genererad el 2008 [TWh] ¹	Miljöfakta- boken ¹	Total PEF ²	Icke-förnybar PEF ³
Kärnkraft	83.3	2.92	2.92	2.92
Vattenkraft	238.4	1.1	1.1	0.1
Vindkraft	10.2	0.1	1.1	0.1
Annan termisk kraft ⁴ :				
<i>Kol</i>	25.2	2.26	2.26	2.26
<i>Olja</i>	1.8	2.19	2.19	2.19
<i>Torv</i>	5.9	2.06	2.06	2.06
<i>Naturgas</i>	19.5	1.97	1.97	1.97
<i>Övrigt</i>	1	2.07	2.07	2.07
Biobränslen	20.2	2.3	2.3	0.1
Avfall	4.4	0.09	2.3 ⁵	0.69 ⁶
Geotermi	4	0	2.3 ⁵	0

1. Värden från tabell 75 i Miljöfaktaboken.

2. Samma värden som för Miljöfaktaboken förutom för vindkraft, avfall och geotermi där även energibäraren ges ett primärenergi innehåll, hjälpenenergi behovet samma som för Miljöfaktaboken.

3. Förnybar energi sätts till PEF = 0, hjälpenenergi behovet samma som för Miljöfaktaboken.

4. Fördelat på 27 %, 46 % och 27 % på respektive kondenskraft, kraftvärme i fjärrvärmesystem och industriellt mottryck.

5. Samma värde antas som för biobränsle.

6. Varav 70 % antas härstamma från förnybara energibärare.

Tabell 18. Använda primärenergi-och koldioxidemissionsfaktorer (vagga-till-el) för beräkningar för Svensk elmix. Elproduktionsdata från SCB för 2012.

Energibärare/ produktionsteknik	Produktion 2012 (TWh)	Miljö- fakta- boken	Total PEF	Icke- förnybar PEF	Kärnkraft PEF = 1	CO _{2eq} faktorer [g/kWh] ¹
Vattenkraft	78.4	1.1	1.1	0.1	1.1	4.5
Vindkraft	7.2	0.05	1.05	0.05	0.05	13.2
Kärnkraft	61.4	2.92	2.92	2.92	1	3.5
Konventionell värmekraft, varav:	15.5					
- kraftvärme, industri ¹	6.1	0.92	2.09	0.17	2.09	56
- kraftvärme, fjärrvärme ¹	9.0	1.61	2.21	0.77	2.21	237
- kondensproduktion	0.3	2.51	2.51	2.51	2.51	654
Summa produktion	162.4					
Förluster ²	7.7%					

1. Värden från Miljöfaktaboken, förutom för kraftvärme. Avser 2012.

2. Det i SCB-statistik angivna förluster dividerat med total konsumtion inom landet.

5 VÄRDERING AV ENERGIBÄRARE I BYGGREGLER

Danmark och Finland använder energiformsfaktorer för att få ett värde på byggnadens totala energianvändning. Detta kapitel fokuserar på hur byggreglerna i de övriga nordiska länderna behandlar olika energibärare som el, bränsle och värme och hur primärenergi- och energiformsfaktorer används. Samtliga nordiska länder ställer krav på byggnadens energiprestanda och klimatskalets värmeförlust, men är formulerade på olika sätt. Finlands nya förslag för att beräkna byggnadens totala viktade energibehov, det s.k. energitalet är mycket intressant och därför redovisas detta förslag i detalj. Det överensstämmer i hög grad med rapportens förslag i kapitel 2.

Den danska energiramen BR10 omfattar byggnadens totala behov av tillförd energi för uppvärmning, ventilation, kyla, varmvatten och belysning. Energi från olika energibärare viktas med hjälp av energiformsfaktorer enligt tabell 19.

Tabell 19. Danska energiformsfaktorer.

	BR10-2011	2015	2020
Elektricitet	2,5	2,5	1,8
Fjärrvärme	1,0	0,8	0,6

De norska kraven på byggnaders energianvändning beskrivs i de byggtekniska föreskrifterna, TEK 10. Energitäcket bör täckas med annan energiförsörjning än el och fossila bränslen. I TEK 10 ställs krav på totala energibehov. För byggnader som är mindre än 500 m² måste 40 % av energibehovet täckas av annan energi än direktverkande el eller fossila bränslen. Tydliga energiformsfaktorer finns inte.

Finland ställer krav på den totala energianvändningen i en byggnad genom ett övre gränsvärde, E-tal, vilket baseras på byggnadens köpta energi viktad med energiformsfaktorer enligt tabell 20.

Tabell 20. Finska energiformsfaktorer

Energiform	E-tal
Elektricitet	1,7
Fossila bränslen	1,0
Fjärrvärme	0,7
Fjärrkyla	0,4
Förnybara bränslen	0,5

5.1 Finlands byggbestämmelsesamling

De finska energiprestandakraven har, med de nya reglerna 2012, genomgått en genomgripande förändring. Denna ändring av analysmetod gör bestämmelserna strukturellt sett allmän europeiska och möjliggör en smidigare gradvis övergång till det som EU-direktiven förutsätter, d.v.s. nära nollenergibyggnade. Energiprestandakrav för nya byggnader är reglerade i Finlands byggbestämmelsesamling (ByggBS) (Miljöministeriet, 2011a) och ställer krav på följande punkter:

- Byggnadens totala energianvändning (E-tal) där byggnadens köpta energi viktas med energiformfaktorer. Detta sätter nivån på energiprestanda.
- Byggnadens strukturella utförande. Ser till att själva byggnaden håller hög standard.
- Byggnadens sommartemperatur. Kräver genomtänkt utformning samt dynamisk simulering.
- Uppvärmningssystemets effekt.
- Mätning av energianvändning.
- Energiberäkningsregler.

Lokalproducerad förnyelsebar energi som förbrukas momentant inom balansgränsen (se figur 1) fås tillgodo när E-talet beräknas. Detta gäller all el som förbrukas i byggnaden, även hushålls- och verksamhetsel.

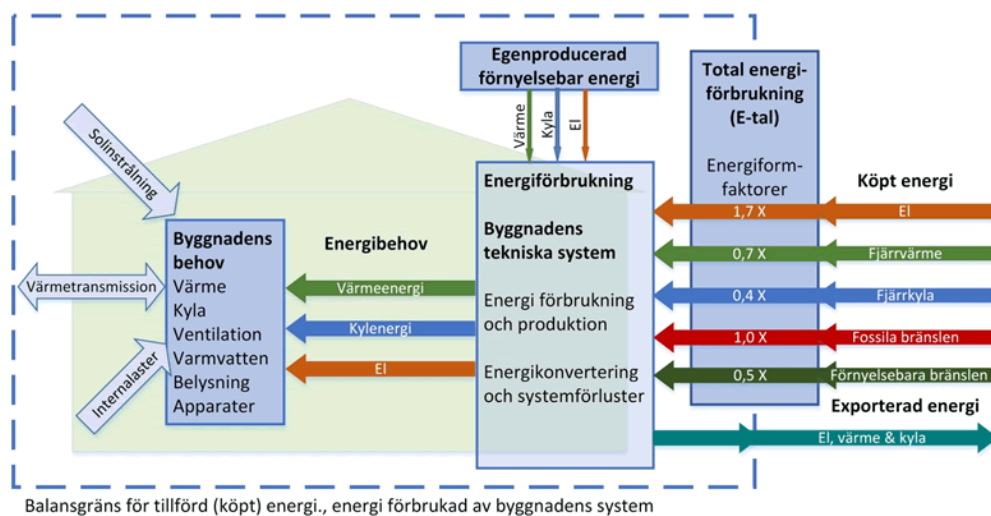
Byggnadens totala energianvändning, E-talet

Den totala energianvändningen, E-talet, är den beräknade årliga användningen av köpt energi per uppvärmd nettoarea vid standardanvändning av byggnadstypen, viktad med energiformsfaktorer. Tabell 21 visar det högst tillåtna värdena på E-talet för de vanligaste byggnadstyperna. Utöver dessa finns det minimikrav specificerade för ytterligare sex byggnadskategorier.

Tabell 21. E-talets minimikrav för nya byggnader.

Byggnadskategori		E-tal kWh _E /(m ² , år)
Kategori 1	Fristående småhus	130–204 (beroende på area)
	Radhus och kedjehus	150
Kategori 2	Flervåningsbostadshus	130
Kategori 3	Kontorsbyggnad	170

I figur 18 ses de energiformfaktorer som används för att vikta köpt energi med. E-talet har enheten kWh_E för att tydligt skilja gentemot köpt energi. E-talet beaktar med energiformfaktorerna hur den köpta energin har producerats och fungerar därmed som en utvidgning av systemgränsen



Figur 18. Systemgräns för finska energiprestandaberäkningar.

Byggnadens strukturella utförande

Även om det är E-talet som sätter nivån på energiprestandan så ser de byggnadsstrukturella kraven till att själva byggnaden håller en hög standard. Det går inte att uppfylla kraven med endast ett effektivt uppvärmningssystem och hög andel egenproducerad energi.

Referensvärdena i tabell 22 sätter nivån för högst tillåtna värmeförlust och överensstämmelse med föreskrifterna påvisas med hjälp av en utjämningsberäkning. Beräkningen ska göras enligt byggnadens projekterade storlek och geometri. Enskilda strukturella lösningar kan överstiga referensvärden så länge den sammanlagda referensvärmeförlusten inte överstiger det tillåtna värdet som fastställs med utjämningsberäkningen.

Tabell 22. Krav på byggnadens strukturella lösningar

	Referensvärde	Maxvärde
Yttervägg [W/(m ² , K)]	0,17	0,60
Vindsbjälklag [W/(m ² , K)]	0,09	0,60
Byggnadsdel mot mark [W/(m ² , K)]	0,16	0,60
Fönster och dörrar [W/(m ² , K)]	1,0	1,8
Luftläckage för klimatskalet (q50) [m ³ /(h, m ²)]	2,0	4,0
Årsverkningsgrad för värmeåtervinning [%]	45	-

Tabell 22 visar att ställs krav på värmeåtervinning. Det är möjligt att bygga småhus med endast frånluftsventilation utan värmeåtervinning om detta kompenseras med bättre isolerade byggnadsdelar, förbättring av byggnadsmantelns lufttäthet eller med att minska ventilationsluftens uppvärmningsbehov på annat sätt (t.ex. förvärmning av tilluften med markslinga). En större byggnad där ventilationsförlusten får större betydelse, relativt förluster via klimatskalet, kräver dock i praktiken värmeåtervinning. En frånluftsvärmepump godkänns som värmeåtervinning om denna är kopplad till uppvärmningssystemet medan den inte godkänns om den endast bereder varmvatten.

Byggnadens sommartemperatur

Detta krav gör att utformningen av byggnaden får stor betydelse. Om en byggnad utformas vårdlöst med t.ex. stora oskyddade fönster i sydlig riktning kommer det att krävas aktiv kylning vilket påverkar E-talet. För att visa att sommartemperaturen hålls under kontroll krävs en dynamisk simulering (förutom för småhus), medan det för uppvärmningsbehovet räcker med en relativt enkel månadsvis balansberäkning.

Sommartid får temperaturen i särskilt utsatta rum inte överskrida kylningsgränsen på 27 °C (25 °C för icke bostadshus) med mer än 150 gradtimmar. Om kravet inte kan uppfyllas med passiva eller strukturella lösningar kan det bli nödvändigt att använda aktiv kylning. I sådant fall ska den totala energianvändningen inkludera kylsystemets beräknade energianvändning.

Utgångspunkter, beräkningsregler och redovisningskrav

Energiberäkningar görs under s.k. standardanvändning för aktuell byggnadskategori. Utgångspunkter för beräkningen reglerar väderinformation, inomhusklimat, bruk och brukningstider samt interna laster och är föreskrivna (bindande) i ByggBS D3.3. Tabell 23 visar föreskrivna utgångsvärden för de vanligaste byggnadskategorierna. Därtill finns ByggBS D5 (Miljöministeriet, 2013a) som är ett skilt dokument innehållande anvisningar (icke bindande).

Tabell 23. Föreskrivna och anvisade utgångsvärden för energiberäkningar.

Byggnadskategori	Fristående småhus, radhus och kedjehus	Flervåningsbostadshus	Kontorsbyggnad
Uteluftflöde l/(s m ²) * ¹	0,4	0,5* ²	2* ³
Uppvärmningströskel °C	21	21	21
Kylningströskel °C	27	27	25
Belysning kWh/(m ² år)	7,0	9,6	22,4
Apparater kWh/(m ² år)	15,8	21,0	22,4
Människor kWh/(m ² år) * ⁴	10,5	15,8	9,3
Varmvatten kWh/(m ² år)	35* ⁵	35	6
Värmelast från varmvatten-beredning och VVC kWh/(m ² år) * ⁶	~5	~2,5	~2

1. För behovsstyrd ventilation beräknas energiförbrukning utgående från projekteringsvärden och de i ByggBS D3.3.1 angivna drifttiderna.
2. Värdet 0,4 l/(s m²) kan användas om det går att reglera ventilationen per lägenhet.
3. Minst 0,15 l/(s m²) utanför användningstid.
4. Exklusive fuktbinden värme, totalvärmeavgivning fås med att dividera värdet med koefficienten 0,6.
5. Dock högst 4 200 kWh/år per bostad.
6. 50 % av värmeförlusterna om inte annat kan påvisas. Värmeförlusterna varierar beroende på hur det tekniska systemet utformas och är ca 5 kWh/(m² år) för ett typiskt flervåningsbostadshus och ca 10 kWh/(m² år) för ett typiskt småhus beräknat enligt anvisningarna i ByggBS D5.6.3.

Omarkerade fält i tabell 23 innehåller föreskrivna värden som inte kan påverkas, för ljusblåmarkerade fält kan andra värden användas om dessa kan påvisas och de uppfyller övriga krav i ByggBS (t.ex. krav på belysningsnivå). De interna lasterna har beräknats till enheten kWh/(m², år) utifrån föreskrifterna i ByggBS D3.3.

Parallellt med framtagandet av de nya energiprestandareglerna har tre officiella s.k. testår tagits fram. Dessa finns tillgängliga för nedladdning och innehåller värdebeskrivande information på timvisbasis och är framtagna för att beskriva ett typiskt meteorologiskt år. Månatliga väderuppgifter, baserade på nämnda testår, hittas som bilaga till ByggBS D3. Energiprestandakravberäkningar görs alltid med teståret för klimatzon I (Vanda-Helsingfors), förutom uppvärmningssystemets effektdimensionering som görs för den klimatzon där byggnaden uppförs.

För byggnader utan kylning kan energiberäkningen utföras med en månadsbaserad metod, t.ex. med hjälp av de anvisningar som presenterar i ByggBS D5. I övriga fall skall ett validerat dynamiskt beräkningsverktyg användas. Rumstemperaturen sommartid skall alltid beräknas med ett dynamiskt beräkningsverktyg (undantaget småhus). De använda utgångspunkterna och beräkningsresultatet skall presenteras i en energiutredning som en del av byggnadens tillståndshandlingar. Energiutredningen och dithörande energicertifikat uppdateras vid slutsynen av byggnaden ifråga. E-talet utgör grund för klassning på energicertifikatet, där nivå C innebär att byggnaden upp-

fyller nybyggnadskravet enligt ByggBS 2012. Alla byggnader kräver energicertifikat, även befintliga småhus om dessa skall säljas eller hyras ut.

Några andra beaktansvärda beräkningsregler:

- En fristående maganiserande eldstad får beräknas bidra med högst 2 000 kWh per år och eldstad.
- En luft/luft-värmepump får beräknas bidra med högst 1 000 kWh/ år.
- I en bostad som värms upp med ett vattenburet värmesystem och där våtutrymmena har elektrisk golvvärme anses golvvärmen i våtutrymmena stå för 50 % av nettoenergiebehovet och det vattenburna systemet resterande 50 %, om annat inte kan påvisas.
- I system med värmepump ska man beakta energiförbrukningen för spetsvärme. Om spetsvärmen är el kan detta göras med genomsnittliga årliga värmekoefficienter som presenteras i ByggBS D5.6.6 alternativt med andra noggrannare metoder.
- Solfångare kopplade till varmvattenberedningen som beräknas enligt anvisningarna i ByggBS D5.6.5 får som högst beräknas minska den årliga varmvattenenergiförbrukningen (inklusive värmeförluster) med 40 %. För högre andelar solvärme ska en noggrannare beräkningsmetodik användas.
- Enligt anvisningar i ByggBS D5.10 ska andelen egenproducerad elenergi som förbrukas i byggnaden av den energi som alstras av ett solelsystem granskas med en metod som beaktar skuggningar och tidsmässiga variationer i elförbrukningen och i den eventuella lagringen.

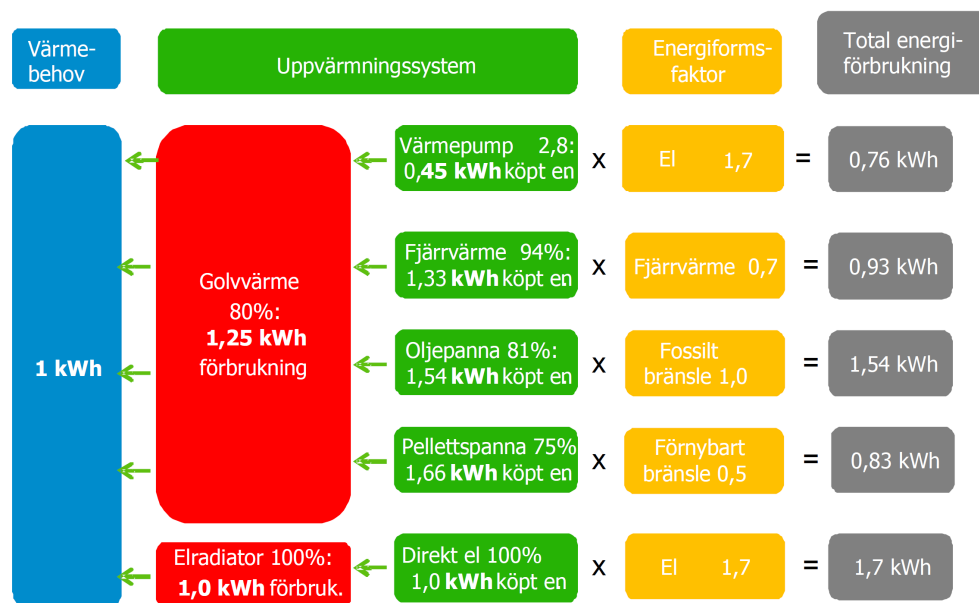
Energiformfaktorerna

För varje energikälla har en energiformsfaktor definieras med syfte att återspegla sambandet mellan byggnadens energiförbrukning och förbrukningen av naturresurser samt den miljöpåverkan som därmed uppstår. Energiformfaktorerna baseras på primärenergifaktorer, främst total primärenergifaktorer men även icke-förnybar primärenergifaktorer har beaktas. Enligt den använda beräkningsmetoden är primärenergifaktorn 0,9 för fjärrvärme och 2,2 för el. Och för icke-förnybara primärenergifaktorerna har fjärrvärme värdet 0,77 och el värdet 1,75. Faktorn för samproducerad fjärrvärme är 0,72. Ungefär 75 % av Finlands fjärrvärme härstammar från samproduktion (Miljöministeriet, 2011b).

Faktorn för fossila bränslen har referensvärdet 1 medan faktorn för förnybara bränslen har värdet 0,5, för att främja användningen av förnybara bränslen. Den valda faktorn för fjärrvärme, 0,7, motsvarar den icke-förnybara primärenergifaktorn för samproducerad el och värme. Fjärrkyla har den låga faktorn 0,4, bl.a. tack vare den effektiva värmepumpstekniken och den höga andelen frikyla (kallt havsvatten). El har värdet 1,7 vilket motsvarar förhållandet mellan fjärrvärme och el, både för total och icke-förnybar primärenergi (Miljöministeriet, 2011c).

I ett europeiskt perspektiv är 1,7 en rätt låg faktor för el. Men förhållandet mellan de två vanligaste uppvärmningsformerna el och fjärrvärme är ca 2,4 ($1,7/0,7 \approx 2,4$) vilket är rätt nära den i EU ofta använda primärenergifaktorn 2,5. När förslaget togs fram sattes elens energiformfaktor först till 2,0, men ändrades efter remissrundan till 1,7. Även krav på minst 25 % förnybar energi föll bort i den slutliga versionen.

Figur 19 visar exempel på hur energiformfaktorerna och valet av uppvärmningssystem påverkar det slutliga E-talet.



Figur 19. Exempel på hur val av uppvärmningssystem påverkar vid beräkning av E-talet (Miljöministeriet, 2011c).

Som ses i figuren ger värmepump, fjärrvärme och pellettspanna likartad påverkan på E-talet, och väljer man något av dessa uppvärmningssystem så kommer kravet på klimatskalet att vara ungefär det samma. Detta medan oljepanna och direktel ger en större påverkan på E-talet; byggnaden skulle troligtvis behöva uppföras i passivhuss-standard för att uppfylla E-talskravet.

En rapport från Aalto universitet (Keto, 2010) har fungerat som underlag när energiformfaktorerna togs fram. Rapporten tittar på el- och fjärrvärmeproduktionsstatistik i Finland för perioden 2000–2008 och beräknar primärenergi- och utsläppsfaktorer för dessa. När primärenergifaktorer beräknas för ett land som Finland är det framförallt tre faktorer som är avgörande: hur kärnkraft och förnyelsebart bedöms samt val av allokeringsmetod vid samproduktion av el och värme. Kärnkraftens primärenergiform kan t.ex. bestämmas till el- eller värmeenergi. IEA och Eurostat använder värmeeenergi vilket ger primärenergifaktorn ≈ 3 , medan UNSD använder elenergi som primärenergiform vilket ger primärenergifaktorn $\approx 1,7$.

renergiform vilket ger primärenergifaktorn ≥ 1 . Förnybar energi som t.ex. vindkraft kan bedömas ha primärenergifaktor ≥ 1 eller primärenergifaktor ≥ 0 , det senare alternativet ger den s.k. icke-förnybara primärenergifaktorn. Andra val som påverkar en primärenergifaktorberäkning är om sekundärenergiformen sätts till elens brutto- eller nettoproduktion och om bränslen beräknas vid det lägre eller högre värmevärdet. I tabell 24 redovisas de principiella utfall som dessa olika antaganden ger.

Tabell 24. Alternativa primärenergifaktorer för kärnkraft och förnybar energi.

Alternativ	Kärnkraft	Förnybar energi
A	3	1
B	3	0
C	1	1
D	1	0

Alternativ A & B: kärnkraftverkets värmeproduktion som primärenergiform och verkets nettoelproduktionen som sekundär energiform.

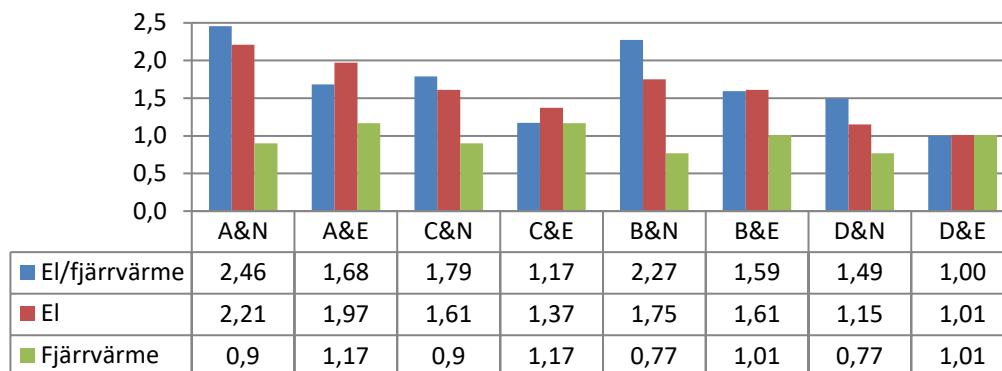
Alternativ A & C: nettoelproduktion som primärenergiform för vind, sol och vattenkraft och lägre värmevärdet som primärenergiform för biobränslen.

Alternativ B & D: ingen primärenergiåtgång för förnybar energi.

Alternativ C & D: kärnkraftens nettoelproduktion som primärenergiform.

För fossila bränslen används bränslets undre värmevärde som primärenergiform.

De finländska energiformfaktorerna baseras på alternativ "A & N" i figur 20, d.v.s. total primärenergifaktor där kärnkraftens primärenergiform är satt vid verkets värmeproduktion och samproduktion av el och värme allokerats med nyttofördelningsmetoden (rak översättning från finska, liknar den i Sverige använda alternativproduktionsmetoden). Alternativ "B & N" används för icke-förnybara primärenergifaktorer.



Figur 20. Finska primärenergifaktorer för perioden 2000-2008 för el och fjärrvärme samt kvoten av dessa.

N: samproduktion av el och värme allokerat med nyttofördelningsmetoden.

E: samproduktion allokerat med energimetoden.

Energiprestandakrav vid renovering

Vid energiberäkningen rörande reparations- och ändringsarbeten, ändring av en byggnads användningsändamål, val av kalkylverktyg och vid presentation av resultaten tillämpas samma regelverk som vid nybyggnation, d.v.s. ByggBS 2012, enligt förordningen om förbättring av byggnaders energiprestanda vid reparations- och ändringsarbeten som trädde i kraft 2013 (Miljöministeriet, 2013b).

När ett tillståndspliktigt renoveringsprojekt påbörjas finns det tre alternativa tillvägagångssätt att välja mellan:

- Förbättra U-värdet på de byggnadsdelar som berörs av renoveringen. För ytterväggar och vindbjälklag skall U-värdet antingen halveras eller uppnå nybyggnadstandard; bottenbjälklag förbättras om möjligt; vid byte av fönster och ytterdörrar gäller nybyggnadstandard.
- Minska byggnadens energiförbrukning. Byggnadens energieffektiviseras så att den beräknade årlig energiförbrukningen vid standardanvändning uppfyller följande krav: små-, rad- och kedjehus $\leq 180 \text{ kWh/m}^2$; flervåningsbostadshus $\leq 130 \text{ kWh/m}^2$; kontor $\leq 145 \text{ kWh/m}^2$; samt egna värden på ytterligare sex byggnadskategorier.
- Minska den totala energiförbrukningen, E-talet. Med hjälp av de tidstypiska lösningar som gällde vid den senaste ändringen av användningsändamålet beräkna E-talet, och minska denna förbrukning. För de tre första byggnadskategorierna sätts kravet på E-talet till 0,80, 0,85 och 0,70 multiplicerat med det beräknade E-talet för respektive små-, rad- och kedjehus, flervåningsbostadshus och kontor.

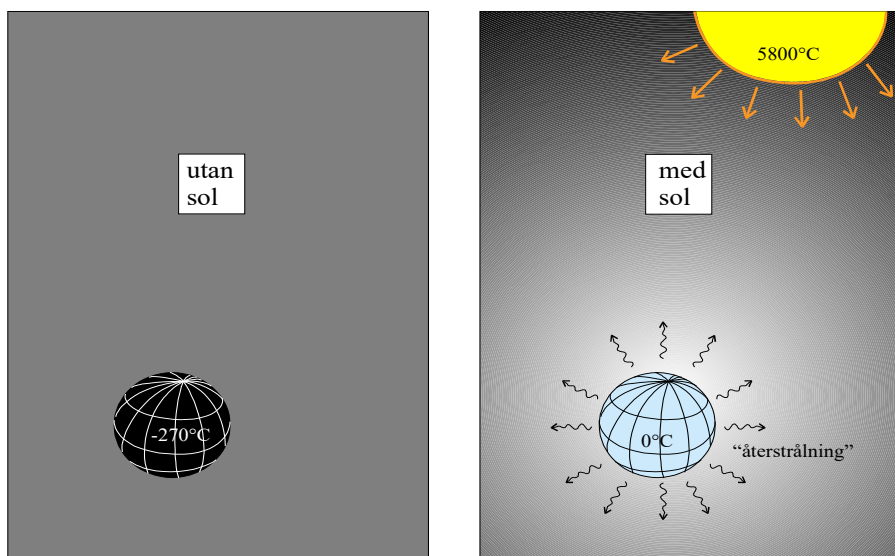
Några andra beaktansvärda punkter:

- Separata krav för tekniska system som skall uppfyllas oberoende vilket av ovanstående tillvägagångssätt som väljs.
- Gemensam produktion och förbrukning av förnybar självförsörjande energi för flera byggnader som är belägna nära varandra kan räknas som en fördel om energin används i de byggnader som bidrar till energiproduktionen.
- Åtgärder som förbättrar energiprestandan behöver inte vidtas om de inte är tekniskt, funktionellt eller ekonomiskt genomförbara eller om byggnaden inte faller under tillämpningsområde (t.ex. skyddat).

6 DEFINITION AV FRITT FLÖDANDE ENERGI

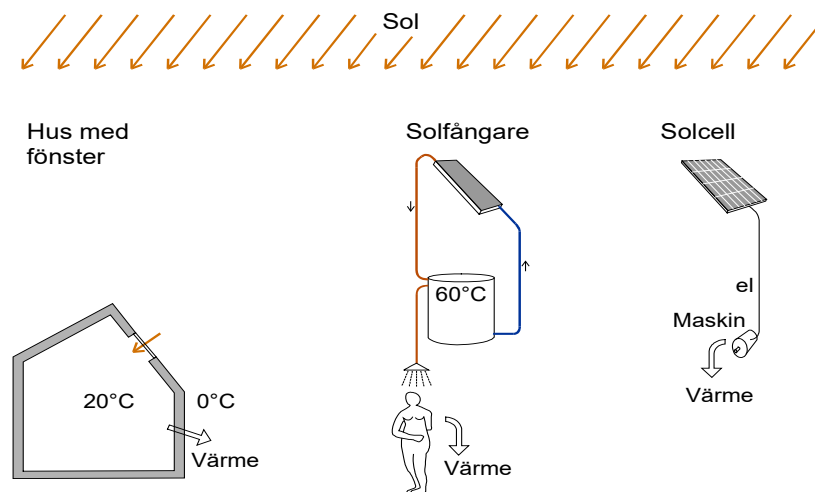
I BBR används begreppet ”fritt flödande energi” som benämning på den energi som en värmepump tar från omgivningen. Fritt flödande energi kommer ursprungligen från solen och kan användas av en värmepump. I detta kapitel förklaras hur solenergi används av värmepumpar och solceller.

I avsaknad av solstrålning skulle den geotermiska energin värma upp jordens yta från -273°C till -235° . Solstrålningen värmer därefter upp jorden till något över 0°C . Vid denna temperatur sänder jorden och atmosfären, enligt figur 21, ut lika mycket värmestrålning som den solstrålning som absorberas. Solstrålningens energi omvandlas till värme av omgivningstemperatur, som strålar ut i universum.



Figur 21. Jorden värms upp av solen med i genomsnitt 230 W/m^2 och av geotermisk energi med $0,1 \text{ W/m}^2$ till en jämviktstemperatur av omkring 0°C .

Figur 22 illustrerar med tre exempel begreppet användning av förnybar solenergi.



Figur 22. Solstrålningen omvandlas till en användbar energibärare under en begränsad tid innan den omvandlas till värme av omgivningstemperatur.

Längst till vänster i figuren visas hur solstrålningen transmittteras genom husets fönster och värmer upp byggnaden. Därefter läcker värmen ut genom klimatskalet och omvandlas till värme av omgivningstemperatur. I mitten av figuren visas hur solstrålningen värmer upp solfångaren som levererar användbart varmvatten vid 60°C . Efter att varmvattnet använts släpps det ut och får slutligen omgivningstemperatur. Till höger i figur 22 visas hur solcellen omvandlar solstrålningen till elektrisk energi. Denna el används för att driva en elektrisk motor. När denna arbetat färdigt omvandlas elektriciteten till värme av omgivningstemperatur.

Alla dessa exempel visar att användning av solenergi innebär att kvaliteten hos solstrålningen på ett kontrollerat sätt utnyttjas innan den omvandlas till värme av omgivningstemperatur. Därefter återgår den till kretsloppet och bidrar till att värma upp jorden till omkring 0°C . Då är den inte användbar längre utan avges som värmestrålning mot universum.

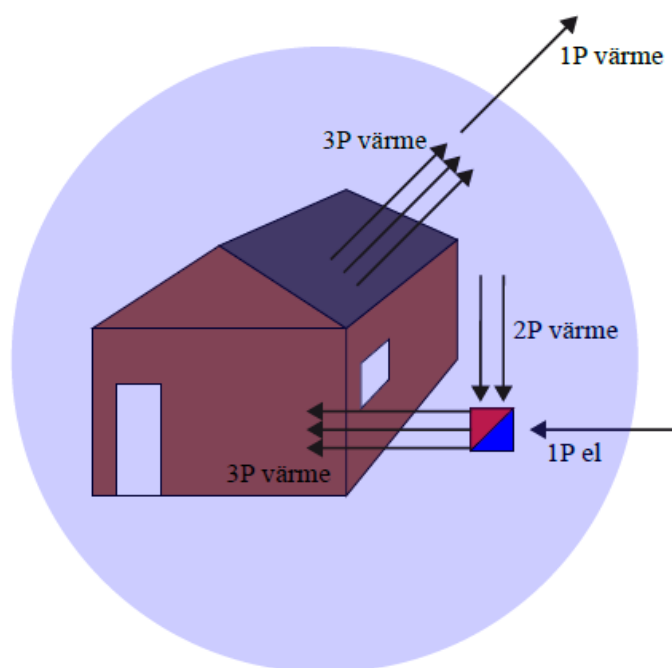
Användning av energi innebär att den omvandlas från en högre till en lägre energikvalitet och exergin förbrukas.

Användning av förnybar solenergi innebär att man använder exergin i solstrålningen innan den omvandlats till värme av omgivningstemperatur. När solenergin har omvandlats till värme av omgivningstemperatur har exergin förbrukats!

Fritt flödande energi är solstrålning eller omvandlad solstrålning som har ett högre exergiinnehåll än värme av omgivningstemperatur.

6.1 Principfunktion hos en värmepump

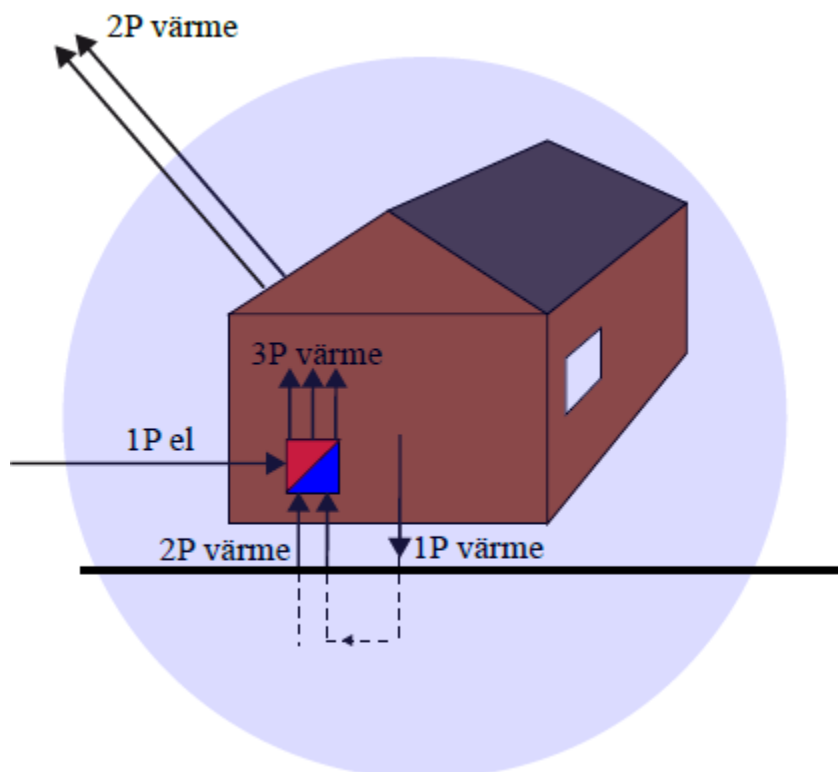
En byggnad skall värmas upp från omgivningstemperatur till omkring 20°C. Det åstadkommes genom att värme avges i rummet. Detta kan göras med en värmepump som drivs med elektrisk energi som omvandlas till mekanisk energi i en kompressor. Värmepumpen använder mekanisk energi för att transformera värme från låg till hög temperatur.



Figur 23. Principbild av funktionen hos värmepump som absorberar värme i omgivningen och avger den inomhus vid en högre temperatur. 2P omgivningsvärme cirkulerar i systemet och behöver inte förnyas.

Figur 23 visar att 1P elektrisk energi tillförs kompressorn och omvandlas till mekanisk energi, 2P värme tas upp vid omgivningstemperatur och 3P värme avges i byggnaden vid en högre temperatur. Värmepumpen tar värme i omgivningen och lyfter den till en högre temperatur i byggnaden genom att kompressorn överför exergi. Därefter läcker 3P värme ut genom klimatskalet och återgår till den ursprungliga temperaturen. Processen innebär att 2P värme tas upp vid omgivningstemperaturen och slutligen återgår till sin begynnelse temperatur samt att den 1P el som tillförts kompressorn förlorat sin exergi och omvandlats till värme av omgivningstemperatur

Principfunktionen blir något mera komplicerad om värmepumpen tar värme från en annan värmereservoar än omgivningsluften. Figur 24 visar principfunktionen hos en markvärmepump.



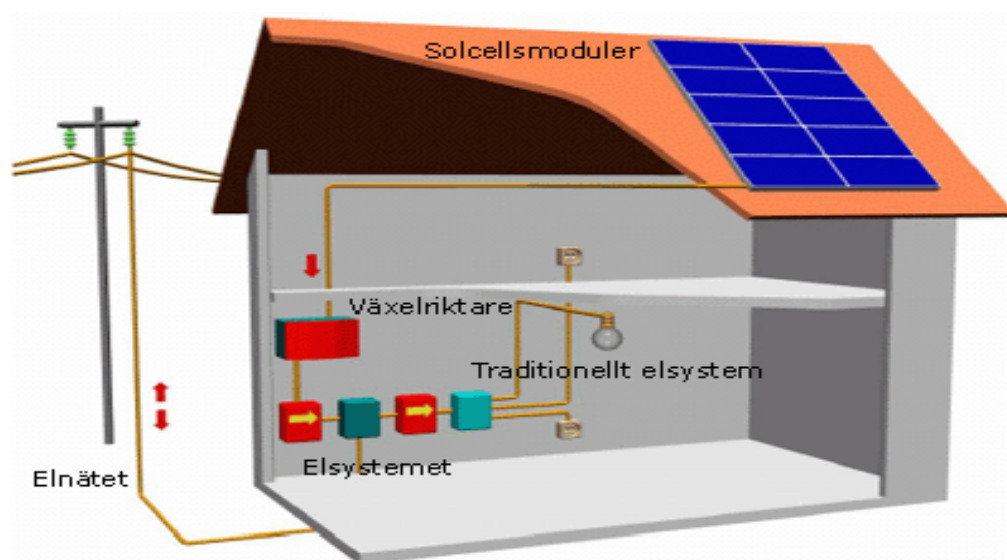
Figur 24. . Principbild av funktionen hos en värmepump som absorberar värme i marken och avger den vid en högre temperatur inomhus. Byggnadens värmeförluster fördelas så att 1P går genom golvplattan och 2P genom väggar och tak.

Värmepumpen tar upp 2P värme i marken och avger 3P i byggnaden vid inomhus-temperaturen. Vidare har antagits att två tredjedelar av husets värmeförlust går till uteluften och en tredjedel går tillbaka till marken. Den el som tillförts kompressorn har som tidigare förbrukat sin exergi och omvandlats till värme av omgivningstemperatur. 1P markvärme har också omvandlats till värme av omgivningstemperatur. Om uteluften är kallare än marken har 1P markvärme kylts av och gjort en exergiförlust. Denna exergiförlust kan betecknas som användning av förnybar solenergi. Markvärmepumpen i figur 24 tillför byggnaden lika mycket värme som luftvärmepumpen i figur 23, men använder en mindre mängd el tack vare att marken är varmare än uteluften.

Om en luft-vattenvärmepump årligen använder 6000 kWh el och en markvärmepump 5000 kWh el för att leverera 15 000 kWh värme kan de 1000 kWh mindre elanvändning hos markvärmepumpen hänföras till förnybar solenergi.

6.2 Behandling av egenproducerad energi

Solceller använder den direkta solenergi som träffar ytan på solcellen. Solcellsystem i figur 25 är inkopplade i elnätet innanför byggnadens elmätare. Det innebär att om byggnaden använder mera el än vad solcellerna tillför så sparar de el. Om solcellerna tillför mera el än vad byggnaden använder så stannar elmätaren samtidigt som systemet exporterar el till nätet.



Figur 25. Principbild av ett Solcellsystem på en byggnad.

I dagens BBR betraktas den solex som används direkt i byggnaden som energieffektivisering medan ingen hänsyn tas till överskottet. Nuvarande BBR innefattar dock inte hushållsel, vilket innebär att det endast är den solex som sparar fastighetsel och el för uppvärmning som skall räknas som effektivisering. Det är dock svårt att veta hur stor denna andel är. Ett solvärmesystem behandlas på samma sätt. I detta fall finns dock oftast ingen möjlighet att exportera överskottet.

Egenanvändningen från ett normalt dimensionerat solcellsystem för ett enfamiljshus som använder el för uppvärmning summeras årligen till 1000-2000 kWh eller motsvarande 7-17 kWh per kvadratmeter uppvärmd area. Ett solvärmesystem för ett enfamiljshus sparar omkring halva årsbehovet av varmvatten motsvarande 1500-2500kWh eller 13-20 kWh per kvadratmeter och år. Solceller installerade i byggnader

med fjärrvärme ger en mycket begränsad energieffektivisering enligt BBR, eftersom de endast kan spara fastighetsel.

El från solceller bör värderas med samma viktningsfaktor som tillförd el, vilket innebär att 1kWh solel får samma värde som 2,5-3kWh solvärme. Detta balanseras av att energiutbytet per areaenhet är 3 gånger högre för en solfångare än för en solcell.

REFERENSER

- Gode, J., Martinsson, F., Hagberg, L., Palm D. (2011) Miljöfaktaboken 2011 – Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter, Stockholm: Värmeforsk.
- Keto, M. (2010) Energiformfaktorerna: Bakgrund och framtagna värden för el- och värmeproduktionen (Energiamuotojen kerroin: Yleiset perusteet ja toteutuneen sähkö- ja lämmöntuotannon kertoimet), Esbo, Finland.
- Miljöministeriet (2011a) Byggnaders energiprestanda – Föreskrifter och anvisningar 2012, no. L. Helsingfors: D3 Finlands byggbestämmelsesamling.
- Miljöministeriet (2011b) Teknisk bilaga: Miljöministeriets reglering av byggnaders energiprestanda (Tekninen liite: Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta), Helsingfors, Finland.
- Miljöministeriet (2011c) Prememorior: Miljöministeriets förordning om byggnaders energiprestanda, Helsingfors, Finland.
- Miljöministeriet (2013a) Beräkning av byggnaders energiförbrukning och effektbehov för uppvärmning, no. L. Helsingfors: D5 Finlands byggbestämmelsesamling.
- Miljöministeriet (2013b) Miljöministeriets förordning om förbättring av byggnaders energiprestanda vid reparations- och ändringsarbeten, Helsingfors: Markanvändnings- och bygglagen.
- SCB (2013) El-, gas- och fjärrvärmeförsörjningen 2012, Definitiva uppgifter.
- Svensk Energi (2014) Elåret & Verksamheten 2013.
- Svensk Fjärrvärme (2012) Svensk Fjärrvärme - Miljövärden 2012, <http://www.svenskfjarrvarme.se/Fjarrvarme/Miljovardering-av-fjarrvarme/Miljovarden-2012/>. [02-Dec-2013].
- Svensk Fjärrvärme (2014) Tillförd energi till fjärrvärme och kraftvärme, <http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Statistik/Excel-filer/Branslen/Fjarrvarmens-branslen-och-produktion-2013.xlsx>. [14-Jul-2014].

BILAGA 1. KVALITETSFAKTORER ELLER ENERGIFORMSFAKTORER FÖR EL OCH FJÄRRVÄRME I OLIKA LÄNDER

	Elektricitet	Fjärrvärme	El/fjärrvärme
Köpt energi	1	1	1
Nordisk elmix ¹	1,5		1,5
BBR Zon III ²			1,6
Svensk elmix ¹	1,8		1,8
Pris ³			~2
Finland ⁴	1,7	0,7	2,4
EU ⁴	2,5		2,5
Danmark ⁴	2,5	0,8	3,1
Tyskland ⁴	2,7	0,7	3,9
Exergi ⁵	1	~0,12	~8
Lokala miljövärden Eskilstuna 2012 ⁶	2	0,14	14

1. Ett energieffektivare Sverige, SOU 2008:25. Bilaga 4, tabell 1.

2. BBR 2012, $(90 \text{ kWh/m}^2)/(55 \text{ kWh/m}^2) = 1,6$

3. Uppskattning: el 1 kr/kWh, fjärrvärme 50 öre/kWh.

4. Väger och irrväger till energieffektivisering: vägvalet är politiskt Hägerby & Persson, Högskolan Dalarna, Akademin Industri och samhälle, Energi och miljöteknik (2012).

5. $\sim(90-50 \text{ °C})/(272 + 50 \text{ K}) = 0,12$.

6. <http://www.svenskfjarrvarme.se/Fjarrvarme/Miljovardering-av-fjarrvarme/Miljovarden-2012>. Alternativa värden för Nordisk och Svensk elmix är 1,7 respektive 2,1 från tabell 74 och tabell 75 i Miljöfaktaboken 2011.



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

ENERGIVÄRDERING AV BYGGNADER

Delrapport 1 i projektet Regelstyrd energi- och miljövärdering av byggnader.

