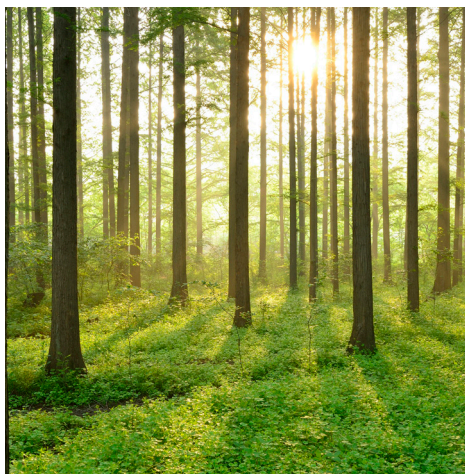


REGELSTYRD ENERGI- OCH MILJÖVÄRDERING AV BYGGNADER

RAPPORT 2017:411



Regelstyrd energi- och miljövärdering av byggnader

**OLA ERIKSSON
BJÖRN KARLSSON
RICHARD THYGESEN**

ISBN 978-91-7673-411-7 | © ENERGIFORSK augusti 2017

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Energikraven i boverkets byggregler har varit föremål för återkommande diskussioner sedan Boverket anpassade reglerna till direktivet om byggnaders energiprestanda. Det är många centrala aktörer som har påpekat att det är oriktig att bara inkludera den energi som köps in för att värma upp en byggnad som den energi som byggnaden utnyttjar för uppvärmningsändamål. Med det betraktelsesättet blir nämligen byggnadens energiprestanda beroende av valet av uppvärmningsalternativ. Ett och samma hus får exempelvis lägre specifik energianvändning om värmeförsörjningen kommer från en bergvärmepump än om den kommer från en fjärrvärmecentral.

Det betyder att det är möjligt att bygga ett hus med sämre isolering med värmepump än med exempelvis fjärrvärme och pelletspanna. Med detta faktum följer den oönskade konsekvensen att konkurrensen mellan alternativen på värmemarknaden blir skev. Mot den bakgrunden har energibranschen och andra signifikanta aktörer krävt att energikraven i byggreglerna ändras så att de blir teknikneutrala. Den fråga som då givetvis anmält sig är den om hur energikraven i så fall skulle se ut. Och det är i syfte att bättre förstå de alternativ som står till buds som det projekt som avrapporteras här har genomförts.

Projektet har, förutom denna slutrapport, mynnat ut i två delrapporter som författats Björn Karlsson och Richard Thygesen från Mälardalens högskola och Ola Eriksson och Mattias Gustafsson från Högskolan i Gävle.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av Christer Boberg, Fortum Värme, Jan-Olof Dalenbäck, Chalmers Tekniska Högskola, Martin Forsén, Nibe, Paula Hallonsten, Boverket, Lars Hedström, Direct Energy, Roland Jonsson, HSB, Raziye Khodayari, Energiföretagen Sverige, Mari-Louise Persson, Riksbyggen, Jörgen Sjödin, Energimyndigheten och Annika Widmark-Sjöstedt, E.ON

Projektet ingår i forskningsprogrammet Fjärrsyn som finansieras av Energiföretagen Sverige och Energimyndigheten. Forskningen inom Fjärrsyn ska stärka fjärrvärme och fjärrkyla, uppmuntra konkurrenskraftig och affärs- och teknikutveckling och skapa resurseffektiva lösningar för framtidens hållbara energisystem till nytta för energibranschen, kunderna, miljön och samhället i stort.

Leif Bodinson

Ordförande i Energiföretagen Sveriges omvärldsråd

Sammanfattning

I direktivet om byggnaders energiprestanda anges att det är upp till de enskilda medlemsstaterna att definiera och införa begreppet nära-noll-energi-byggnader (NNEB). I början av 2014 gav den svenska regeringen Boverket i uppdrag att föreslå en rimlig definition av NNEB och införa denna i Boverkets byggregler. I början av 2017 presenterade Boverket sitt förslag till föreskrifter.

Det övergripande problemet som projektet som helhet vill finna lösningar på är att köpt energi är ett olämpligt mått på resursanvändning då elektricitet, värme och bränslen utgör olika stora resurser. Det är mycket viktigt att strikt skilja på användning av elektrisk energi och värme när byggnadens användning av energi analyseras. Det är angeläget att lagar, värderingar och rekommendationer utformas för att styra energisystemet mot ökad effektivitet och miljönytta. Dagens regler ger fel signaler för effektivisering inom fjärrvärmeområde med kraftvärme. De styr mot att spara värme i kraftvärmenät och använda mera el samtidigt som kraftproduktionen i kraftvärmeverket minskar. Studien skall besvara följande problemställningar:

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

En metod som bättre värderar skillnader i resursanvändning mellan elektricitet, värme och bränslen utvecklades i projektets första fas (Delrapport 1). I projektets andra fas genomfördes olika konsekvensanalyser med hjälp av byggnads- och energisystemsmodeller samt en granskning av energipolicy (Delrapport 2). I de underliggande delrapporterna redovisas såväl resultat och slutsatser med koppling till ovanstående problemställningar, liksom flertalet ytterligare slutsatser. Nedan redovisas endast slutsatserna till problemställningarna ovan:

1. Om kvaliteten på byggnaden och dess energisystem skall bedömas bör den sekundära energi som tillförs byggnaden värderas och viktas med kvalitetsfaktorer. Då tas ingen hänsyn till den primära energikällan. Men EU har bestämt att den primärenergi som byggnaden använder skall beräknas. Energibärarna i EUs föreslagna metod för beräkning av PEF för t.ex. EU:s elmix summeras utan kvalitetsfaktorer. Det innebär att 1 kWh värme av låg temperatur, 1 kWh värme av hög temperatur och 1 kWh elektrisk energi betraktas som likvärdiga resurser. I termodynamiken betyder användning av energi att förmågan att leverera el förbrukas. Ovanstående metod strider mot denna princip. Primärenergifaktorn bör därför kompletteras med eller ersättas av en primärelfaktor, som värderar energibärarens förmåga att utföra ett arbete eller omvandlas till el.
2. 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 kraftvärme-

- meprocess 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.
3. El som används direkt i byggnaden för fastighetsel, verksamhetsel och hushållsel eller fastighetsel bör räknas separat eftersom ingen alternativ energibärrare finns. 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, eftersom värme av låg temperatur kan omvandlas till el med mycket låg verkningsgrad.
 4. 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. Boverkets föreslagna nära nollenergibyggnadsdefinition förstärker möjligheten att bygga systemkombinationer med bergvärmepump och solcellssystem som ger byggnader med lågt primärenergital. En fjärrvärmeuppvärmd byggnads primärenergital påverkas marginellt av installationen av ett solcellssystem. Fjärrvärme och solvärme ger enligt nya BBR lägre primärenergital än fjärrvärme och solceller, vilket är önskat ur systemsynpunkt.
 5. I EU:s energieffektiviseringsdirektiv fastslås att den värme av omgivningstemperatur som en värmepump tar i omgivningen är förnybar solenergi. Samma synsätt har anammats av Energimyndigheten. Detta synsätt stämmer dock inte med termodynamikens lagar. Värmepumpens 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. Om värmepumpen tar värme från en källa som är varmare än omgivningen kommer den tillförda värmens begynnelsestemperatur att vara högre än dess sluttemperatur. Det innebär att exergi förbrukats. Värmepumpen värmer i detta fall upp byggnaden med en mindre elanvändning än om värmen tagits vid omgivningstemperatur. Om värmekällan värmts upp över omgivningstemperatur med solenergi innebär det att förnybar solenergi tillförts byggnaden genom värmepumpen.

En intressant och viktig övrig slutsats är att NNEB-definitionen eller föreskriftförslaget för kapitel 9 i Boverkets byggregler möjliggör att nya byggnader får väldigt låga primärenergital om de utrustas med bergvärmepump. Om denna systemutformning införs i byggnader inom fjärrvärmeområdet så riskerar det att leda till en ökning av globala koldioxidutsläpp (om elen antas produceras enligt Europeisk mix och Nordisk residualmix).

Summary

The Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) states that it is up to the individual Member States to define and implement the concept of nearly zero-energy buildings (NZEB). In early 2014, the National Board of Housing, Building and Planning (Boverket) was instructed to propose a reasonable definition of NZEB and include this in the national building regulations. At the beginning of 2017, Boverket presented its proposed regulations.

The overall problem is that purchased energy is an inappropriate measure of resource use as electricity, heat and fuels are of constitute different resources. It is very important to strictly distinguish between the use of electrical energy and heat when the building's energy use is analyzed. It is important that laws, values and recommendations are designed to guide the energy system towards higher efficiency and improved environmental performance. The current rules give the wrong signals for efficiency in the district heating area with CHP. They advise to save heat in CHP networks and use more electricity, while power generation in the CHP plant declines. The study should address the following issues:

1. Should the building's energy quality be determined by its use of primary energy, secondary energy or thermal energy?
2. What weighting factors for electricity, fuel and heat are optimal to minimize the resource use of the building?
3. How should the use of household electricity be treated?
4. How should the contribution of solar cells and solar panels be treated?
5. How should the heat which the heat pump supplies the building be defined?

A method that better evaluates differences in resource use between electricity, heat and fuels was developed in the project's first phase. In the second phase various impact assessments were carried out aided by building and energy simulations and a review of energy policy.

- The message is that 1 kWh of electricity can be converted to 2,5-3 kWh heat with a heat pump and 1 kWh fuel can be converted to 1.5 kWh heat in a cogeneration process where the generated electricity feeds a heat pump. Similar energy form factors have been introduced in the Nordic countries. The method implies that the quality factors will change as the technical systems are developed. The factor for electricity will be higher as the heat pumps receive a higher heat factor.
- Separate demands should be issued on the building envelope, regardless of how it is heated. This can be done by requiring the UA value of the building, or the power requirement at the designed outdoor temperature.
- Contribution from solar panels and solar cells directly credited to the building may be considered 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 electricity and district heating grids are not included. Power requirement means that solar panels and solar cells will not be able to contribute to energy efficiency, if they are not combined with energy storages that can reduce peak effects.

- The primary energy factor should be supplemented or replaced by a primary electricity factor, valuing the energy carriers ability to perform work or be converted into electricity.
- Boverket's proposed near-zero energy building definition enhances the ability to build systems combinations with geothermal heat pump and solar systems that provide buildings with low primary energy numbers. The primary energy number for a building heated by district heating is marginally affected by the installation of a solar energy system.
- The proposed regulations for NZEB holds no mandatory requirements regarding renovation, meaning they are not ruling for renovations.
- The NZEB definition or regulation proposal for Chapter 9 of the Building Regulations will allow new buildings to receive very low primary energy numbers if equipped with a geothermal heat pump. If this systems design is introduced in buildings within the district heating area there is a risk it will lead to an increase in global carbon dioxide emissions (if electricity is assumed to be European mix or Nordic residual mix)..
- The energy carriers in the by EU proposed method for calculating PEF are summarized without quality factors. This means that 1 kWh of heat with low temperature, 1 kWh of heat with high temperature and 1kWh of electrical energy are considered equivalent resources. In thermodynamics, the use of energy means that the ability to deliver electricity is consumed. The above method violates this principle.

Innehåll

1	Introduktion	9
1.1	Bakgrund	9
1.1.1	EU-direktiv	9
1.1.2	Svenska byggregler	10
1.1.3	Nära-noll-energi-byggnader	10
1.2	Problem	11
1.3	Syfte och mål	12
1.4	Referensgrupp	12
2	Fas 1 Metodutveckling	14
2.1	Primärenergifaktorer	15
2.2	Klimatpåverkansfaktor eller andel fossila bränslen	16
2.3	Exergi eller energibärarens kvalitet	17
2.4	Sekundärenergikvalitetsfaktor SEF eller modifierad Exergi	17
2.5	Energiformfaktor	18
2.6	Pris	18
2.7	Slutsatser och rekommendationer	18
2.8	Användning av solenergi	19
3	Fas 2 Konsekvensanalys	21
3.1	Utgångspunkter	21
3.1.1	Boverkets förslag till nära-nollenergibyggnadsdefinition	21
3.1.2	Solenergi och dess användning i byggnader	22
3.1.3	Byggnadssimuleringar	23
3.1.4	Energisystemsmoduleringar	25
3.1.5	Syfte och mål	26
3.2	Huvudsakliga resultat	27
3.2.1	Påverkan på sol i byggnader med olika uppvärmningsform	27
3.2.2	Val av uppvärmningsform inom fjärrvärmeområdet	30
3.2.3	En byggnads specifika energianvändning vid renovering	32
3.2.4	Analys av hur val av uppvärmningsform påverkar koldioxidutsläpp	32
3.2.5	Beräkning av primärenergifaktor för europeisk el	35
3.3	Slutsatser	39
4	Projektkommunikation	40
4.1	Ursprunglig kommunikationsplan	40
4.1.1	Strategi	40
4.1.2	Mål	40
4.1.3	Målgrupper	40
4.1.4	Kanaler och medier	41
4.1.5	Aktivitetsplan	42
4.2	Reviderad kommunikationsplan	42
4.3	Genomförd kommunikation	44

1 Introduktion

Denna slutrapport sammanfattar resultaten från de två underliggande delrapporterna från projektet. Därtill redovisas projektkommunikationen.

1.1 BAKGRUND

1.1.1 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-nollenergibygnader 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 byggnaden som sekundär-energi 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 primärenergifaktorens 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.

1.1.2 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.

Energiushållningen 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.

1.1.3 Nära-noll-energi-byggnader

År 2002 införde EU direktivet om byggnaders energiprestanda och reviderade det 2010¹. Direktivet infördes delvis som ett sätt att minska energianvändningen i den växande byggsektorn. Denna sektor står för nästan 40 % av den totala energianvändningen i EU-27 varav energi till uppvärmning och tappvarmvatten svarar för ca 27%². EU fastslår att medlemsstaterna skall se till att a) alla nya byggnader senast den 31 december 2020 är nära-noll-energi-byggnader, och b) nya byggnader som används och ägs av offentliga myndigheter är nära-noll-energi-byggnader efter den 31 december 2018. Medlemsstaterna ska upprätta nationella planer för att öka antalet nära-noll-energi-byggnader. Dessa nationella planer får innehålla differentierade mål beroende på byggnadskategori. Medlemsstatens närmare praktiska tillämpning av definitionen av nära-nollenergibyggnader, som avspeglar nationella, regionala eller lokala förhållanden och där en numerisk indikator för primärenergi-användning i kWh/m² och år skall ingå i den nationella planen. De primärenergifaktorer som används för att fastställa primärenergianvändning får grundas på nationella eller regionala årsgenomsnittsvärden och får ta hänsyn till relevanta europeiska standarder.

Beteckningen "nära-noll-energi-byggnad" är oprecis men kan inge förväntningar om att man uppfört en byggnad med låg energianvändning och egen lokal energi-produktion som i hög grad balanserar den tillförda energin. I direktivet (Artikel 9 pkt 3) krävs att medlemsstaterna utformar en praktisk tillämpning av definitionen nära-noll-energi-byggnad, där primärenergianvändningen i kWh/m² ingår. I promemorian från regeringen om nära-noll-energi-byggnader saknas en strikt svensk

¹ Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/31/EU av den 19 maj 2010 om byggnaders energiprestanda.

² Europeiska Kommissionen. 2014. EU energy in figures statistical pocketbook 2014, Luxembourg.

definition av beteckningen nära-noll-energi-byggnad. I denna definition blir viktningsfaktorerna för olika energibärare mycket viktiga. Valet av viktningsfaktorer får avgörande betydelse för val av energiteknik. I promemorian (sid 22) hänvisas till de viktningsfaktorer som togs fram i delbetänkande till Energieffektiviseringsutredningen. I denna föreslås att el och värme skall värderas som 2,5-1. Dessa viktningsfaktorer gynnar värmepumpar framför fjärrvärme och lokal användning av biobränsle, eftersom viktningsfaktorn för el är relativt låg.

I direktivet om byggnaders energiprestanda anges att det är upp till de enskilda medlemsstaterna att definiera och införa begreppet nära-noll-energi-byggnader (NNEB). Det betonas också att decentraliserad energiproduktion är en viktig faktor att ta hänsyn till. I Sverige är den nya definitionen planerad att införas 2021 för byggnader ägda av privata aktörer och 2020 för statliga byggnader. I början av 2014 gav den svenska regeringen Boverket i uppdrag att föreslå en rimlig definition av NNEB och införa denna i Boverkets byggregler³. I juni 2015 avslutades uppdraget och Boverket skickade förslaget till den svenska regeringen som i sin tur skickade ut det på remiss⁴. I början av 2017 presenterade Boverket sitt förslag till föreskrifter⁵.

1.2 PROBLEM

Det övergripande problemet som projektet som helhet vill finna lösningar på är att köpt energi är ett olämpligt mått på resursanvändning då elektricitet, värme och bränslen utgör olika stora resurser. Det är mycket viktigt att strikt skilja på användning av elektrisk energi och värme när byggnadens användning av energi analyseras. Om det finns behov av att ange byggnadens totala energianvändning skall elanvändningen multipliceras med en faktor av i storleksordningen 3 när byggnadens energibudget summeras. Det innebär att en byggnad som försörjs med fjärrvärme och byter till markvärmepump och på så sätt minskar energianvändningen förändrar energibehovet från 3 enheter värme till 1 enhet elektrisk energi inte effektivisering utan endast byter värme mot el. Det är angeläget att lagar, värderingar och rekommendationer utformas för att styra energisystemet mot ökad effektivitet och miljönytta. Dagens regler ger fel signaler för effektivisering inom fjärrvärmeområde med kraftvärme. De styr mot att spara värme i kraftvärmenät och använda mera el samtidigt som kraftproduktionen i kraftvärmeverket minskar.

Studien skall besvara följande problemställningar:

1. Skall byggnadens energikvalitet bestämmas genom att ange primärenergi, sekundärenergi eller utvecklad värmeenergi?
2. Vilka viktningsfaktorer för el, bränsle och värme är optimala för att minimera byggnadens resursförbrukning?
3. Hur skall användning av hushållsel behandlas?
4. Hur skall tillskottet från solceller och solfångare behandlas?

³ Näringsdepartementet. 2014. Uppdrag att föreslå definition och kvantitativ riktlinje avseende energihushållningskrav för nära-nollenergibyggnader. N2014/75/E

⁴ Boverket. Förslag till svensk tillämpning av nära-nollenergibyggnader. RAPPORT 2015:26. 2015

⁵ Boverkets förslag till föreskrifter för NNEB definitionen (2017)

5. Hur skall den värme som värmepumpen tillför byggnaden definieras?

En metod som bättre värderar skillnader i resursanvändning mellan elektricitet, värme och bränslen utvecklades i projektets första fas⁶. I projektets andra fas genomfördes olika konsekvensanalyser med hjälp av byggnads- och energisystemsimuleringar samt en granskning av energipolicy.

1.3 SYFTE OCH MÅL

Projektet bidrar till en mer resurseffektiv energihushållning med avseende på uppvärmning, komfortkyla, varmvatten och fastighetsenergi. Projektet förväntas leda mot uppfyllande av Fjärrsyns syften genom att bidra till att skapa resurseffektiva lösningar för framtidens hållbara energisystem till nytta för fjärrvärmebranschen, kunderna, miljön och samhället. Det förväntas bidra till uppfyllande av Fjärrsyns följande mål:

- Bidra till minskad användning av primärenergi.
- Beskriva effekten på fjärrvärme och fjärrkyla, till följd av omvärldsförändringar och ny politik, på ett sätt som möjliggör en anpassning av fjärrvärmesystemen på ett kostnadseffektivt sätt.
- Bidra med underlag till minst ett system som möjliggör för fjärrvärmekunder att värdera och styra sin egen miljöpåverkan.

Projektmålen är att:

1. Redovisa Boverkets förändrade byggregler samt ge förslag till ett helt omarbetat alternativ. Regelverket ska omfatta även solelsystem som inte kan bedömas utifrån byggreglerna idag,
2. Utforma kvalitetsfaktorer för energiformerna el, bränsle och värme,
3. Analysera energianvändning före och efter energieffektivisering för 20 byggnader med och utan fjärrvärme med hjälp av olika simuleringsprogram.

1.4 REFERENSGRUPP

Till projektet har en referensgrupp varit knuten med bred förankring i energi- och fastighetsbranscherna. Gruppen har under det sista året haft följande sammansättning:

1. Christer Boberg, produktchef fjärrkyla, Fortum Värme AB
2. Jan-Olof Dalenbäck, professor, Chalmers
3. Martin Forsén, manager international affairs, NIBE AB
4. Roland Jonsson, energichef, HSB Riksförbund
5. Mari-Louise Persson, energistrateg, Riksbyggen
6. Annika Widmark Sjöstedt, senior advisor, E.ON Sweden AB

I gruppen finns även företrädare för finansörerna:

7. Jörgen Sjödin, Energimyndigheten
8. Raziye Khodayari, Energiföretagen Sverige (f.d. Svensk Fjärrvärme)

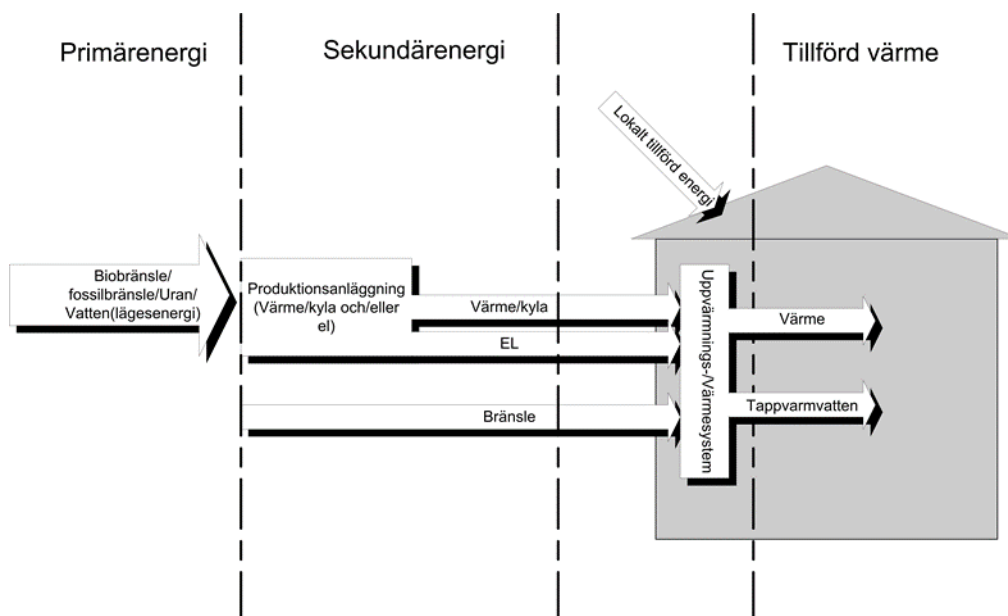
⁶ Karlsson, B., Lundström, L., Eriksson, O. (2016) Energivärdering av byggnader – Analys av regelstyrd energi- och miljövärdering av byggnader, Delrapport 1.

Referensgruppen har haft återkommande möten med forskargruppen (författarna av denna rapport) och gett synpunkter och kommentarer på arbetets inriktning och framkomna delresultat liksom kommunikation. Den insats som referensgruppen gjort har varit värdefull för den förankring som projektet kräver för att resultaten ska bli trovärdiga och användbara. Gruppen har tidigare även haft företrädare från solenergibranschen och Boverket men dessa ledamöter har av olika anledningar inte fullföljt sina uppdrag till projekttidens slut.

2 Fas 1 Metodutveckling

Detta kapitel återger den exekutiva sammanfattning som även återfinns i delrapport 1. Här sammanfattas utgångspunkter, resultat och slutsatser från projektets första fas som handlat om att utveckla en metod för att resursvärdera energianvändning utifrån energibärarnas förmåga att producera elektricitet. I denna fas ligger fokus på att uppfylla projektmål 1 och 2.

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 transmitteras 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 värmen är svår att mäta för t.ex. luftvärmepumpar och kaminer som tillför värme direkt till rumsluften utan distributionsystem.

EU kräver i sitt direktiv om utformning av energieffektiva byggnader att primärenergifaktorer för de olika energibärarna som tillförs bygganden som sekundär energi 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 ansättas 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 energi-användning 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 sex olika metoder eller kombinationer av dessa urskiljas: primärenergi, klimatpåverkan, energikvalitet, sekundärenergi, energiform och pris.

2.1 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 primärenergifaktornas 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 primärenergifaktor, som värderar energibärarens förmåga att utföra ett arbete eller omvandlas till el.

2.2 KLIMATPÅVERKANSAKTOR 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 fjärrvärmens 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.

2.3 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 and 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 el.

2.4 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.

2.5 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 marknads-kommittén 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.

2.6 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.

2.7 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Begreppet primärenergi är entydigt när energiomvandlingarna från en enda energibärare 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 energibärare. 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.

2.8 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 be-

gynnelsetemperatur. 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.

3 Fas 2 Konsekvensanalys

I detta kapitel sammanfattas utgångspunkter, huvudsakliga resultat och slutsatser från projektets andra fas som handlat om att analysera konsekvenserna av Boverkets definition av nära-noll-energi-byggnader samt hur beräkningen av medelprimärenergifaktor för EUs elmix görs.

3.1 UTGÅNGSPUNKTER

3.1.1 Boverkets förslag till nära-nollenergibyggnadsdefinition

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). Dessa bestämmer hur mycket energi som maximalt får användas för uppvärmning, komfortkyla, tapp-varmvatten samt fastighetsenergi. Icke eluppvärmda byggnader får ha en faktor 1,6 gånger högre specifik energianvändning än eluppvärmda byggnader, vilket resulterar i att en byggnad med värmepump kan uppföras betydligt mindre energieffektiv än en byggnad som värms med fjärrvärme.

I Boverkets förslag tas separata nivåkrav för byggnadens energiprestanda bort och ersätts med en nivå som kallas primärenergital (PET). Samtidigt införs primärenergifaktorer (PEF) för el, 1,6, och 1,0 för övrig köpt energi. Senast 2021 ändras PEF för el till 2,5.

Den föreslagna definitionen, se figur 2, har olika viktningsfaktorer för elenergi baserat på dess användningsområde i byggnaden. El till uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och fastighetsel har, som tidigare nämnts, en PEF på 2,5. Hushållsel räknas inte med i byggnadens energiprestanda.

$$PET_{\Sigma} = \frac{\left(\frac{E_{\text{uppv,el}}}{F_{\text{geo}}} + E_{\text{kyl,el}} + E_{\text{tvv,el}} + E_{\text{f,el}} \right) * PE_{\text{el}} + \left(\frac{E_{\text{uppv}}}{F_{\text{geo}}} + E_{\text{kyl}} + E_{\text{tvv}} \right) * PE_{\text{övr}}}{A_{\text{temp}}}$$

där

$E_{\text{uppv,el}}$	Elenergi till uppvärmning, kWh/år
$E_{\text{kyl,el}}$	Elenergi till komfortkyla, kWh/år
$E_{\text{tvv,el}}$	Elenergi till tappvarmvatten, kWh/år
$E_{\text{f,el}}$	Elenergi till fastighetsenergi, kWh/år
E_{uppv}	Annan energi än el till uppvärmning, kWh/år
E_{kyl}	Annan energi än el till komfortkyla, kWh/år
E_{tvv}	Annan energi än el till tappvarmvatten, kWh/år
PE_{el}	Primärenergifaktor för elenergi, -
$PE_{\text{övr}}$	Primärenergifaktor för annan energi än el, -
F_{geo}	Geografisk justeringsfaktor, -

Figur 2. Boverkets förslag remiss till NNEB definition (2017)

Förutom PEF har även geografiska justeringsfaktorer införts. Dessa ersätter de befintliga zonerna och varierar mellan 0.9 och 1.6 med Eskilstuna som referens, 1,0. Andra förändringar är ändrade kravnivåer och U_m -värden.

I ett tidigare förslag från Boverket användes fortfarande begreppet specifik energianvändning. I detta förslag viktades el olika beroende på användningsområde. El för uppvärmning, tappvarmvatten och kyla viktades med en faktor 2,5 och fastighetsel med faktor 1, se figur 3.

$$E_{\text{spec}} = \frac{(E_{\text{el,uppv}} + E_{\text{el,vv}} + E_{\text{el,kyla}}) * 2,5 + E_{\text{el,fast}} + E_{\text{uppv}} + E_{\text{vv}} + E_{\text{kyla}}}{A_{\text{temp}}}$$

där

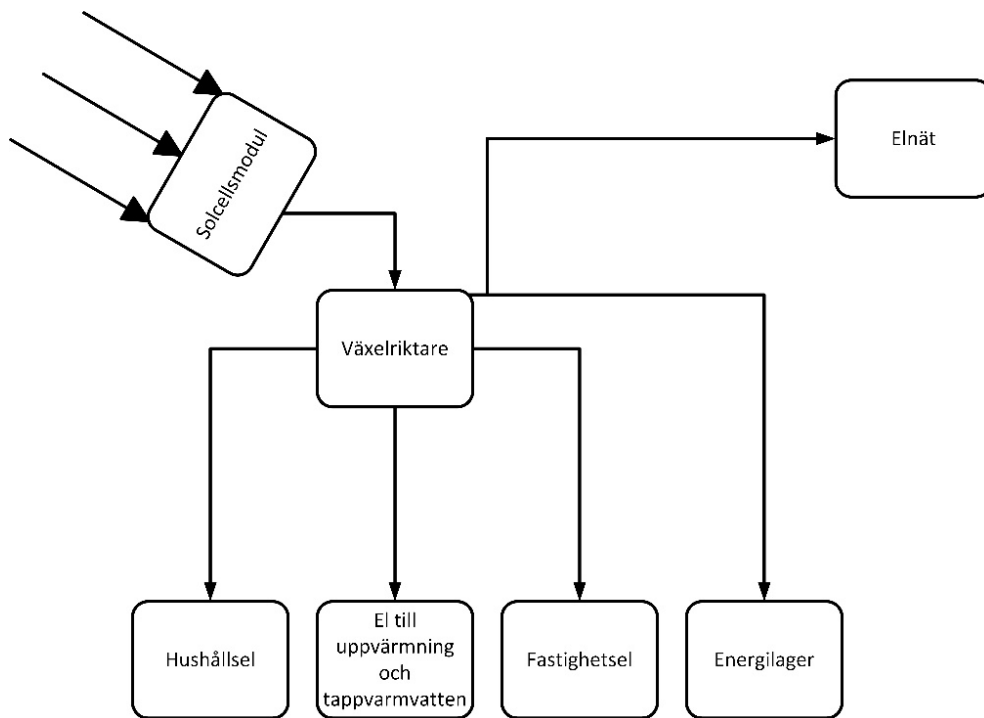
$E_{\text{el,uppv}}$	Elenergi till uppvärmning, kWh/år
$E_{\text{el,vv}}$	Elenergi till varmvatten, kWh/år
$E_{\text{el,kyl}}$	Elenergi till komfortkyla, kWh/år
$E_{\text{el,fast}}$	Fastighetsel, kWh/år
E_{uppv}	Annan energi än el till uppvärmning, kWh/år
E_{vv}	Annan energi än el till varmvatten, kWh/år
E_{kyla}	Annan energi än el till komfortkyla, kWh/år
A_{temp}	Area med temperatur över 10°C, m ²

Figur 3. Definition av specifik energianvändning

I båda förslagen betraktas solenergi och den värme som en värmepump tar från omgivningen och som används direkt i byggnaden som energieffektivisering.

3.1.2 Solenergi och dess användning i byggnader

Solcellssystem används i Sverige huvudsakligen för att spara köpt energi i byggnader vilket också leder till att byggnadens primärenergital minskas. I den föreslagna NNEB definitionen finns inget specificerat om hur solen skall hanteras. Solen kan, vilket beskrivs grafiskt i figur 4, minska behovet av köpt hushållsel (småhus), fastighetsel och el till uppvärmning, komfortkyla och tappvarmvatten.



Figur 4. Solelens olika användningsområden i en byggnad

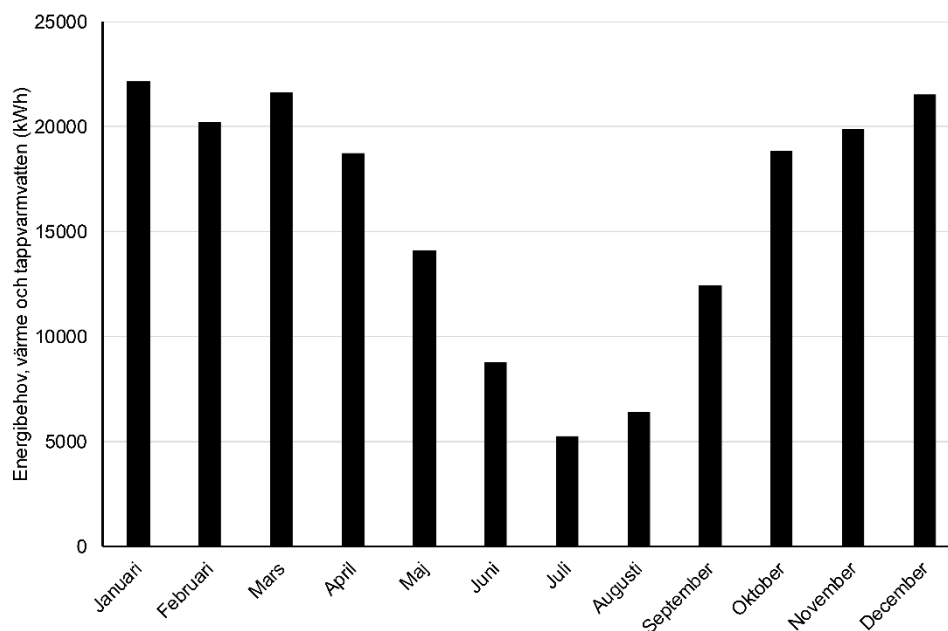
I Boverkets förslag till föreskrifter finns ingen beskrivning hur soler skall hanteras. Detta ger upphov till problem i byggnaders projekteringsfas. Det är inte specificerat med vilken upplösning beräkningarna ska ske. T.ex. kan beräkningar ske på dagsbasis, tim- minut- eller sekundbasis. Beroende vilken bas som används så varierar den soleandel som används i byggnaden.

Två begrepp definieras här för att resultatdelen skall kunna förstås lättare. Dessa är egenanvändning av soler och solenergiandel. Egenanvändningen definieras som den del av solelen som används direkt i byggnaden eller lagras i ett energilager för senare användning i byggnaden. Solenergiandelen definieras som den del av byggnadens totala energianvändning som kommer från solenergisystemet.

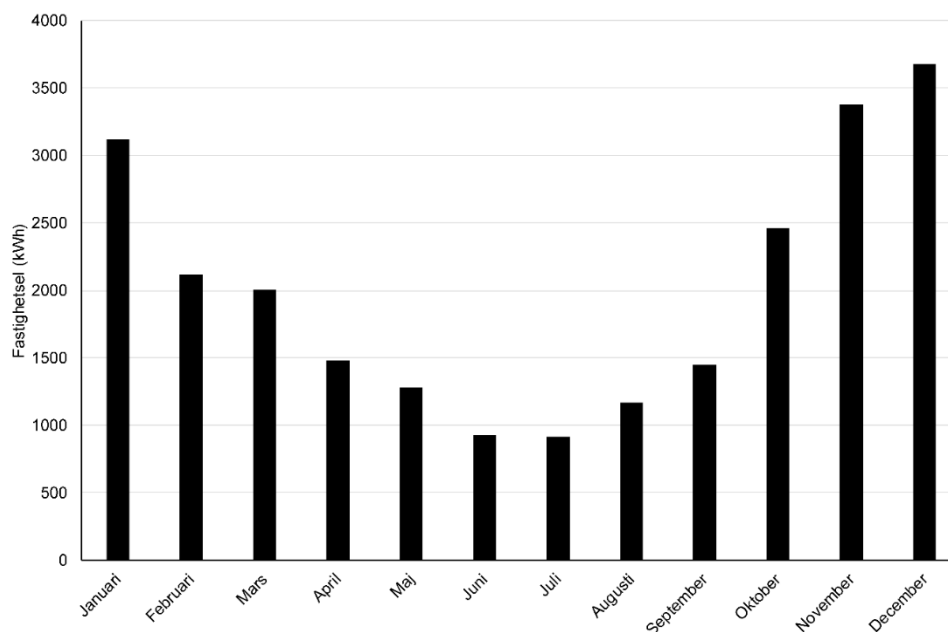
Solvärme används huvudsakligen i Sverige för att spara bränsle i systemkombinationer med fastbränslepannor i enfamiljshus. Det finns dock exempel på solvärmesystem på större byggnader och även system som är inkopplade på fjärrvärmenätet.

3.1.3 Byggnadssimuleringar

Ett nyrenoverat flerbostadshus i Eskilstuna har analyserats. Byggnaden består av tre våningsplan med 24 lägenheter och totalt 3331 m² tempererad yta. En tvättstuga finns också i byggnaden. Årligt energibehov inklusive värme, tappvarmvatten och fastighetsel är ca 180 MWh och är ett medelvärde baserat på tre likvärdiga byggnader. Månatligt värme- och tappvarmvattenbehov visas i figur 5 och månatlig fastighetselanvändning i figur 6.



Figur 5. Flerbostadshusets månatliga energibehov för värme och tappvarmvatten



Figur 6. Flerbostadshusets månatliga användning av fastighetsel

Flerbostadshusets energibehov för värme, tappvarmvatten och fastighetsel är uppmätta data⁷. Dessa uppmätta data används i kombination med simulerade data för solcells- och solvärmesystemen.

Solcellssystem från 1 kW till 200 kW och solvärmesystem från 0 m² till 294 m² har analyserats i denna studie. Ingen hänsyn ha tagits till tillgänglig takyta i förhål-

⁷ Eskilstuna Kommunfastigheter, Lukas Lundström

lande till solcellssystemyta vid olika systemstorlekar. För att ge läsaren en uppfattning om storlek på solcellssystem kan sägas att det krävs en yta på 6,7 m² per installerad kW om solcellsmodulerna har en verkningsgrad på 15 %.

Om en bergvärmepump med 4 i årsvärmefaktor står för värme och tappvarmvatten blir årsbehovet av köpt driftsel till bergvärmepumpen och fastighetsel, ca 44 MWh. Två olika versioner av flerbostadshuset jämförs och analyseras, dessa redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Uppvärmnings- och ventilationssystemen i de olika versionerna av flerbostadsbyggnaden

Uppvärmningssystem	Ventilationssystem
Fjärrvärme	Från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning
Bergvärmepump	Från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning

3.1.4 Energisystemsmoduleringar

För att analysera hur fjärrvärme och en bergvärmepumpensamt eller i kombination med solceller eller solfångare påverkar de globala koldioxidutsläppen används en metod där utetemperaturen enbart sätter gränserna mellan baslast/mellanlast samt mellanlast/topplast. Det ger en enkel men relativt noggrann metod[1]. Som en referens används fjärrvärmesystemet i Eskilstuna. Fjärrvärmesystemet i Eskilstuna har ett biobränsleeldat kraftvärmeverk som baslast, en biobränsleeldad värmepanna som mellanlast samt en oljeeldad panna som spetslast. Bryttemperaturen mellan baslast och mellanlast är +5°C och bryttemperaturen mellan mellanlast och topplast är -5°C [2].

För att analysera hur en förändrad användning eller produktion av el påverkar de globala koldioxidutsläppen används tre olika antaganden för sluppen elproduktion, samtlig med s.k. bokföringsperspektiv där det är en produktionsmix som ersätts. Det första antagandet är att det är s.k. Nordisk Elmix som ersätts. Antagande 2 är att det är Europeisk medel-el som ersätts medan det sista antagandet utgår från residualmixen i det Nordiska kraftsystemet, d.v.s. den elmix som återstår sedan den mängd grön el som specifikt köpts av slutkunder dragits bort från den Nordiska mixen.

För att analysera hur olika komposition av bränslen i fjärrvärmenätet påverkar de globala koldioxidutsläppen antas tre olika kombinationer av bränslen samt produktion av värme i värmeverk (vv) eller kraftvärmeverk (kvv). De tre olika kombinationerna presenteras i Tabell 2. De olika bränslena som används är biobränslen (bio), hushållsavfall (avfall) samt olja.

Tabell 2. Bränslesammansättningar samt produktion av fjärrvärme i värmeverk (VV) eller kraftvärmeverk (KVV)

Systemkonfiguration	Baslast	Mellanlast	Topplast
Referens Eskilstuna	Bio KVV	Bio VV	Olja
Hög andel elproduktion	Bio KVV	Bio KVV	Olja
Fossilbaserad fjärrvärme	Kol KVV	Kol VV	Olja

För att beräkna de globala koldioxidutsläppen används emissionsfaktorer enligt Tabell 3.

Tabell 3. Använda emissionsfaktorer

Bränsle/allokeringmetod för el	Emissionsfaktor	Enhet	Referens
Olja	300	g/kWh bränsle	⁸
Kol	335	g/kWh bränsle	⁹
Biobränsle	0	g/kWh bränsle	Antagande
Elektricitet, Nordisk elmix	100	g/kWh elektricitet	¹⁰
Elektricitet, Nordisk residualmix	344	g/kWh elektricitet	¹⁰
Elektricitet, Europeisk medel	280	g/kWh elektricitet	¹¹

Förändringar i globala koldioxidutsläpp jämförs för fjärrvärme som bas för uppvärmning (Fjv) i kombination med både solfångare (solf) och solceller (solc) samt en bergvärmepump (BVP) i kombination med solfångare och solceller. Solfångaranläggningen antas bestå av 101 m² plana solfångare kopplade till en 5m³ ackumulatortank. Solcellssystemet antas ha en topp effekt av 25 kW_p, vilket motsvarar ca 200 m² solcellsmoduler. Förändringarna i globala koldioxidutsläpp utgår från att fastigheten använder fjärrvärme som bas och sedan kompletterar med solfångare eller fjärrvärme eller att fjärrvärme byts ut till en bergvärmepump i kombination med solfångare eller solceller. Detta ger förändringen i globala koldioxidutsläpp utifrån referensfallet, bara fjärrvärme.

3.1.5 Syfte och mål

Syftet med projektet som helhet är att utvärdera alternativa energivärderingsregler för att bidra till en mer resurseffektiv energihushållning. Projektmålen 1-2 är redovisade i föregående kapitel och i projektets första delrapport¹² medan projekt mål 3 redovisas i detta kapitel och i projektets andra delrapport¹³. I denna del har fokus legat på att genom simuleringar av energianvändning i byggnader illustrera problemen med definitionen av nära-noll-energi-byggnader. Projektmålet har därför i sin tur brutits ner i delprojekt mål vilka formulerats som konsekvensanalys:

1. Belysa problemet med solcellssystemets påverkan på byggnadens specifika energianvändning för byggnader med olika uppvärmningssystem (bergvärmepump och fjärrvärme)

⁸ Difs, K., Bennstam, M., Trygg, L., Nordenstam, L. (2010) Energy conservation measures in buildings heated by district heating – A local energy system perspective, Energy 35 (8), pp 3194-3203, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.04.001>

⁹ Unger, T. (Profu AB, Göteborg, Sweden) personlig kommunikation, 2009

¹⁰ <http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Miljo-och-klimat/Klimatpaverkan/Hur-mycket-koldioxid-medfor-din-elanvandning/>

¹¹ <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment>

¹² Karlsson, B., Lundström, L., Eriksson, O. (2016) Energivärdering av byggnader – Analys av regelstyrd energi- och miljövärdering av byggnader, Delrapport 1.

¹³ Thygesen, R., Eriksson, O., Gustafsson, M., Karlsson, B. (2017) Nära-noll-energi-byggnaders energianvändning – Analys av solel, energieffektivisering och val av uppvärmningsform genom simuleringar av byggnader och energisystem, Delrapport 2.

2. Belysa hur BBR och NNEB definitionen påverkar renoveringar med avseende på specifik energianvändning och värdera vilka åtgärder som är mest lönsamma för fastighetsägaren.
3. Belysa hur kraven i NNEB definitionen påverkar valt uppvärmningssystem i nya byggnader inom fjärrvärmeområden.

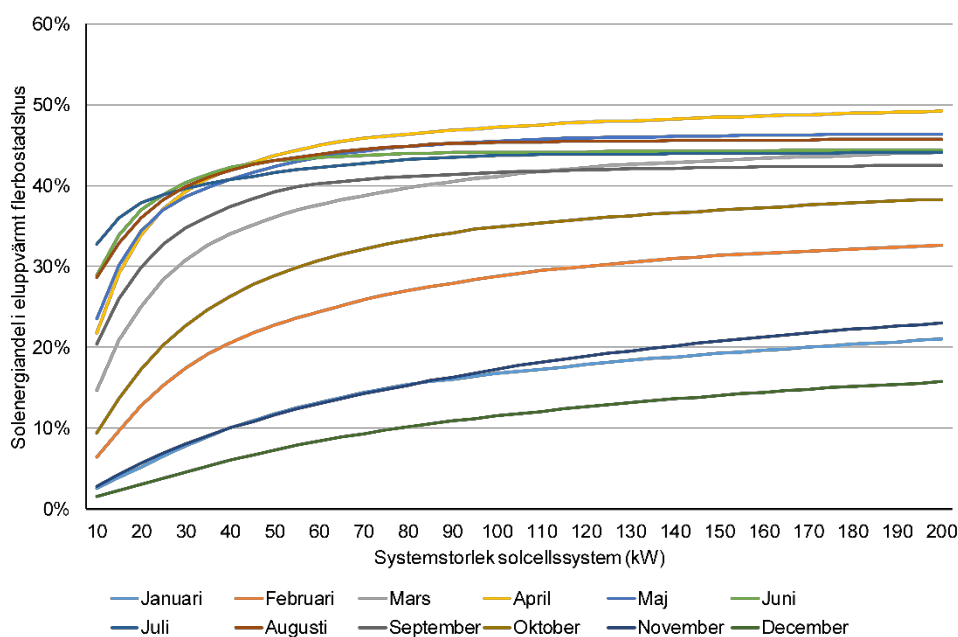
3.2 HUVUDSAKLIGA RESULTAT

Simuleringarna är indelade i tre sektioner som alla utgår från Boverkets föreslagna nära-noll-energi-byggnadsdefinition. Till detta kommer granskningen av primärenergifaktorn för EUs elmix.

3.2.1 Påverkan på solen i byggnader med olika uppvärmningsform

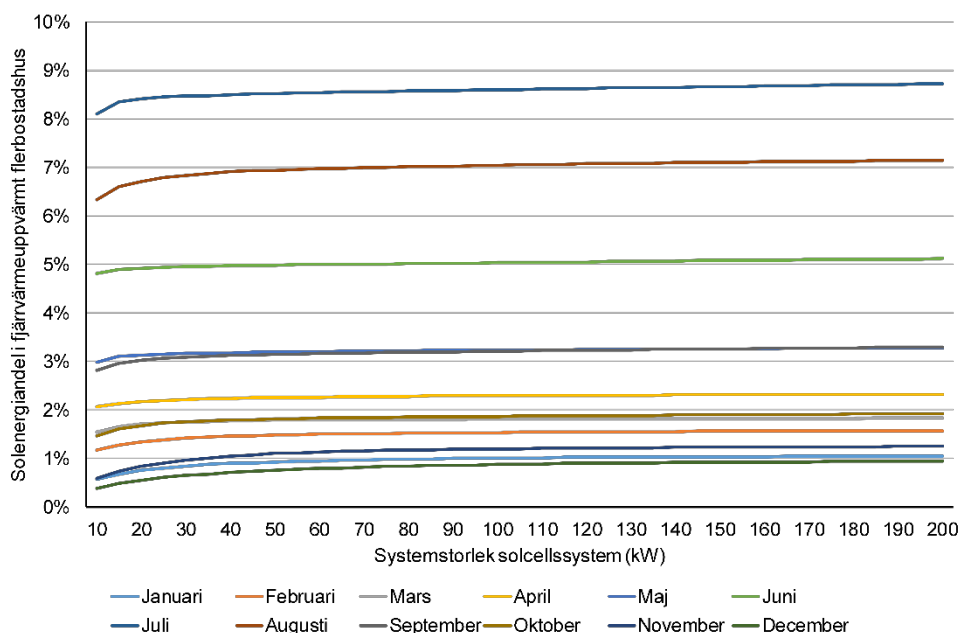
Flerbostadshusets huvudsakliga värmebehov är koncentrerat till vintermånaderna vilket tidigare visats i figur 5. Användning av fastighetsel över året är även den något större under vintermånaderna vilket visats i figur 6.

Solenergiandelen i den eluppvärmda byggnaden varierar stort under året. Som lätt inses så är solenergiandelen störst under sommarmånaderna och detta visas i figur 7. Under vintermånaderna är solenergiandelen och således minskningen av köpt energi liten.



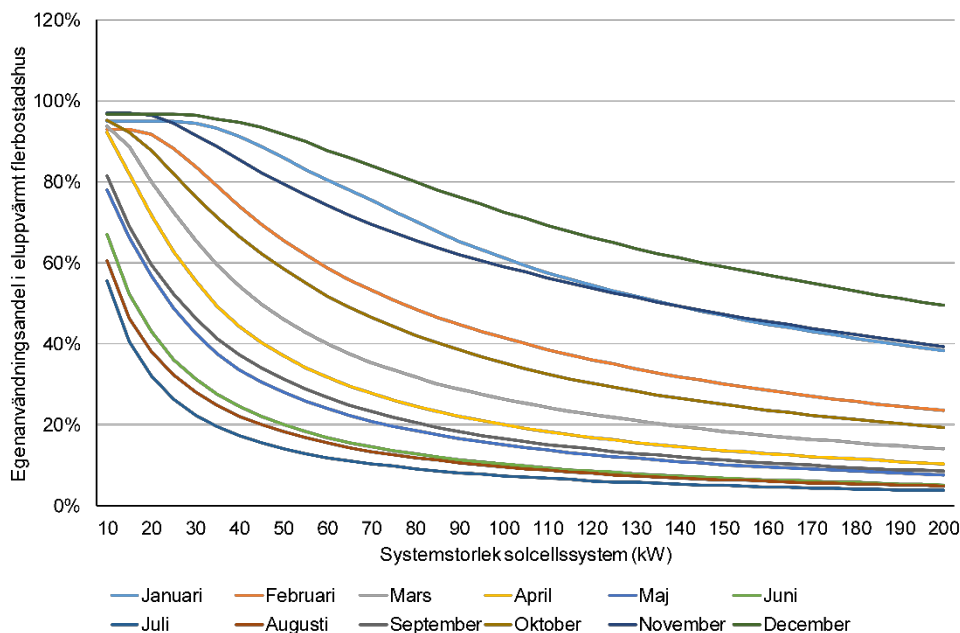
Figur 7. Månadsvis solenergiandel i den eluppvärmda byggnaden som en funktion av solcellssystemets storlek

I den fjärrvärmeuppvärmda byggnaden är den månadsvisa solenergiandelen mycket lägre än i den eluppvärmda byggnaden. Det beror på att elanvändningen är en relativt liten del av den totala energianvändningen i byggnaden. Även med liten elanvändning blir solenergiandelen högre under sommarmånaderna än under vintermånaderna. I figur 8 redovisas den månadsvisa solenergiandelen för den fjärrvärmeuppvärmda byggnaden.

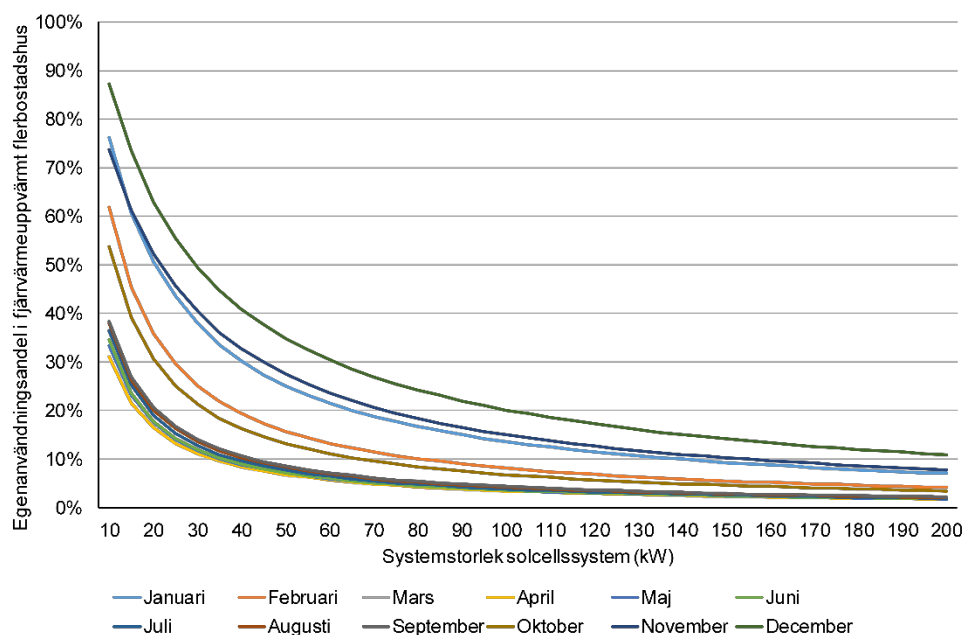


Figur 8. Månadsvis solenergiandel i den fjärrvärmeuppvärmda byggnaden som en funktion av solcellssystemets storlek

Egenanvändningen av solen visar hur stor del av solen som används i byggnaden och hur stor del som måste matas in på elnätet och säljs. Som visas i figur 9 och 10 så går det att bygga större system på byggnader med eluppvärmning än med annan uppvärmning med en acceptabel egenanvändningsandel.



Figur 9. Egenanvändningsandel per månad och år i byggnad med elvärme som funktion av installerad solcellssystemstorlek

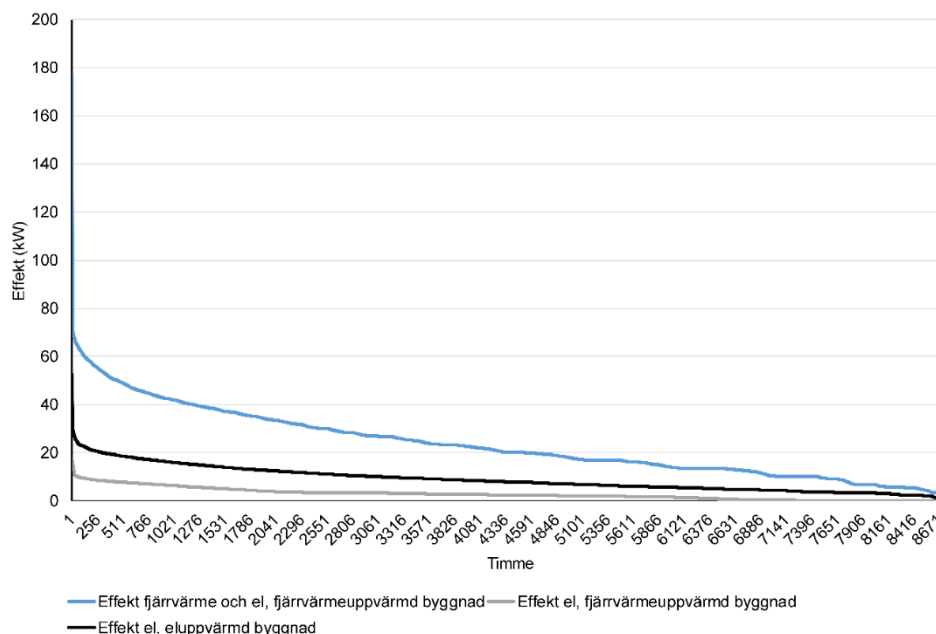


Figur 10. Egenanvändningsandel per månad och år i byggnad med fjärrvärme som funktion av installerad solcellssystemstorlek

I fallet med fjärrvärmeuppvärmning är egenanvändningsandelen på årsbasis redan vid 10 kW installerad solcellssystemeffekt låg, ca 40 %. Det kan diskuteras om denna byggnad är lämpad för ett solcellssystem eftersom större delen av utbytet måste säljas till relativt låga priser. Alternativet med eluppvärmning är mer lämpad och den bibehåller relativt höga egenanvändningsandelar, 60 %, upp till c:a 20 kW och systemet når 50 % vid ca 30 kW.

Hur maxeffektbehovet av el i byggnaden påverkas av solcellssystemet beror på när detta uppkommer under året. Uppkommer det t ex på vintern är sannolikheten stor att det inte påverkas av solcellssystemet.

I alternativet med bergvärmepump är det maximala eleffektbehovet c:a 3 gånger högre än i alternativet med fjärrvärme. I figur 11 presenteras byggnadens effektbehov med olika uppvärmningssystem i form av ett varaktighetsdiagram. Notera att byggnadens totala effektbehov inte påverkas av val av uppvärmningssystem men att en del av effektbehovet i alternativet med bergvärmepump täcks av "gratistillskott" från borrhålet.



Figur 11. Byggnadens effektbehov som en funktion av antalet timmar

3.2.2 Val av uppvärmningsform inom fjärrvärmeområdet

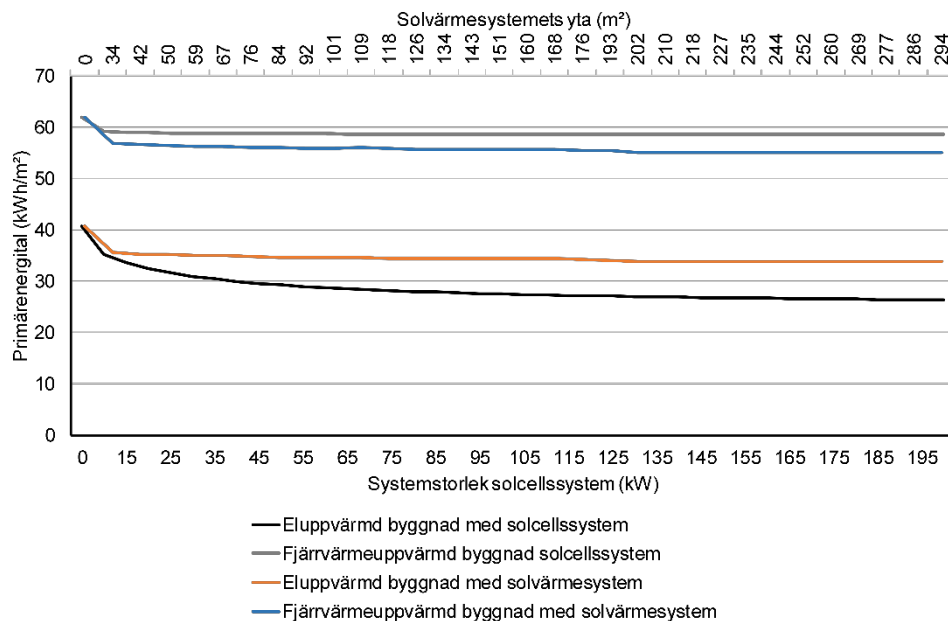
Som tidigare nämnts sparar el från solceller fastighetsel i en byggnad med fjärrvärme. Solfångare sparar fjärrvärme och el från solceller sparar fastighetsel och el för uppvärmning i en byggnad med bergvärme. Solfångare sparar värme, vilket gör att värmepumpen använder mindre el.

Val av uppvärmningsform inom fjärrvärmeområden beror på flera faktorer, bland annat ekonomi, långsiktig förvaltning och krav på byggnaders energihushållning. I denna studie är fokus på hur Boverkets föreskriftsförslag styr.

Den simulerade byggnadens primärenergital blir med fjärrvärme eller bergvärmepump utan solcellssystem är 62 kWh/m² respektive 41 kWh/m². Båda alternativen uppfyller kravnivån på 85 kWh/m² i Boverkets förslag. Skillnaden i specifik energianvändning mellan de olika uppvärmningsalternativen, utan solcellssystem, förklaras av att bergvärmepumpen har en högre årsvärmefaktor än Boverkets föreslagna primärenergifaktor på 2,5. Det är en skärpning från nu gällande byggregler¹⁴ för eluppvärmda byggnader men värmepumpar med en årsvärmefaktor högre än 2,5 gynnas fortfarande i relation till icke eluppvärmda byggnader.

Byggnadens primärenergital som funktion av solcellssystemets installerade effekt visas i figur 12.

¹⁴ Boverkets förslag till föreskrifter för NNEB definitionen (2017)



Figur 12. Byggnadens primärenergital med fjärrvärme och bergvärme som funktion av solenergisystemets storlek

Installation av ett solcellssystem påverkar byggnaden med fjärrvärme endast marginellt. Primärenergitalet minskar med 3.2 kWh/m², A_{temp} eller 5 % om ett solcellssystem om 100 kW installeras. Med ett 100 kW solcellssystem i byggnaden med bergvärmepump reduceras primärenergitalet med 13 kWh/m² eller 32 %.

I byggnaden med fjärrvärme och solvärmesystem minskas primärenergitalet med 5 kWh/m², A_{temp} eller 8 % om ett system på 50 m² installeras. I byggnaden med bergvärmepump minskar ett 50 m² solvärmesystem primärenergitalet med 6 kWh/m², A_{temp} eller 14 %.

Primärenergitalet för ytterligare några solcellssystemstorlekar presenteras i tabell 4.

Tabell 4. Primärenergital vid olika solenergisystemstorlekar

	Fjärrvärme (kWh/m ²)	Elvärme (kWh/m ²)
Utan solenergisystem	62	41
Solcellssystem 20 kW	59	33
Solcellssystem 40 kW	59	30
Solcellssystem 60 kW	59	29
Solcellssystem 80 kW	59	28
Solcellssystem 100 kW	59	28
Solvärmesystem 50 m ²	57	35
Solvärmesystem 100 m ²	56	35
Solvärmesystem 200 m ²	55	34

Skillnaden mellan en flerbostadsbyggnad med el- respektive fjärrvärme-uppvärmning blir således stor och beror, som tidigare nämnts, på skillnaden i storlek på elanvändningen.

I båda alternativen med de olika uppvärmningssystemen reduceras primärenergitalet snabbt i början, figur 10, vilket betyder att system med relativt liten installerad effekt kan få stor påverkan på primärenergitalet.

3.2.3 En byggnads specifika energianvändning vid renovering

Det ställs inga skallkrav vid renovering av byggnader. I förslagets kapitel 9:9 "Krav på energihushållning vid ändring av byggnader", 9:91 Allmänt står följande: *"Ändring av byggnader får inte medföra att energieffektiviteten försämras, om det inte finns synnerliga skäl. Dock får energieffektiviteten försämras om byggnaden efter ändring ändå uppfyller kraven i avsnitt 9:2–9:6."*

Det är till och med möjligt att försämma byggnadens energieffektivitet om det finns synnerliga skäl. Det är alltså svårt att utvärdera denna del av föreskriftsförslaget. En möjlig form av energirenovering är installation av olika typer av värmepump i byggnader, t.ex. frånluftsvärmepump i byggnader med frånluftsventilation eller bergvärmepump. Detta leder till ett lägre primärenergital jämfört med om byggnaden fortfarande var fjärrvärmeuppvärmd. I kapitel 3.1.4 redovisas hur utsläpp av koldioxid påverkas av olika nivåer av penetration av frånluftsvärmepump i fjärrvärmeområde.

3.2.4 Analys av hur val av uppvärmningsform påverkar koldioxidutsläpp

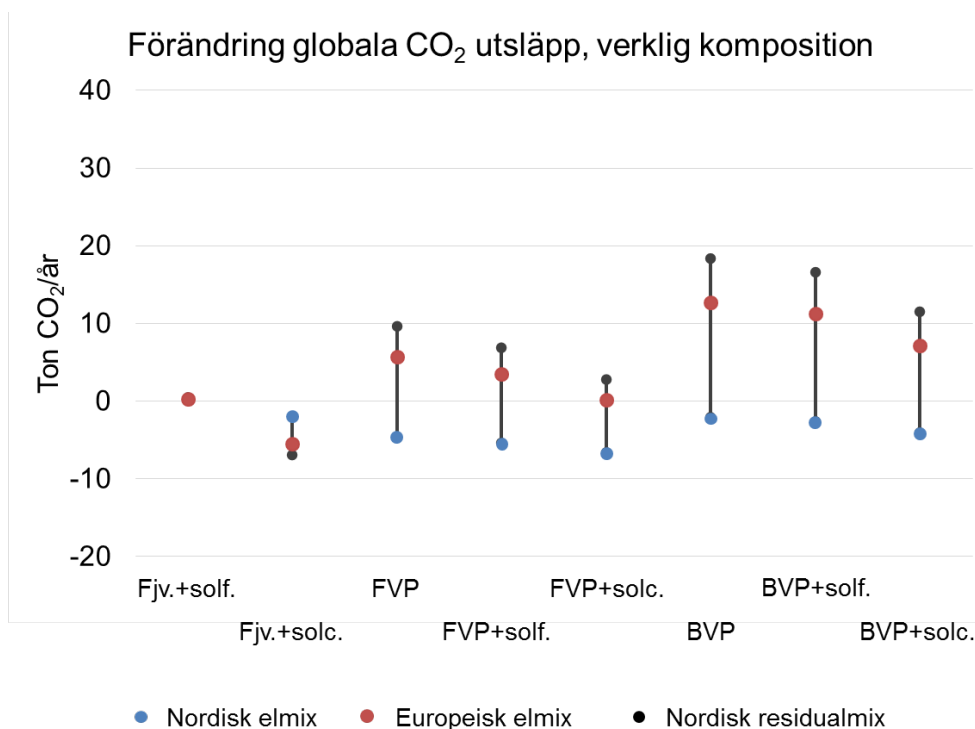
I delkapitel 3.2.3 har visats att Boverkets föreskriftsförslag riskerar att styra mot en värmepumpslösning kombinerat med solceller då det ger ett lågt primärenergital. I detta kapitel redovisas resultatet av hur olika uppvärmningssystem påverkar de årliga utsläppen av växthusgaser i form av koldioxidekvivalenter. Till skillnad mot 3.1.2 där solcellerna endast ersätter egenanvändning av el så tar vi i dessa simuleringar hänsyn till solcellernas totala elproduktion där överskottet exporteras och ersätter annan elproduktion. Vi har räknat på olika alternativ för denna elproduktion:

1. Nordisk el-mix (blåa punkter i figurerna nedan), 100 g/kWh
2. Europeisk elmix (orange), 280 g/kWh
3. Nordisk residualmix (svart), 344 g/kWh

I simuleringarna har fem olika uppvärmningssystem undersökts:

1. Fjärrvärme (Fjv) i kombination med solfångare (solf.)
2. Fjärrvärme (Fjv) i kombination med solceller (solc.)
3. Frånluftsvärmepump (FVP)
4. Frånluftsvärmepump (FVP) i kombination med solfångare
5. Frånluftsvärmepump (FVP) i kombination med solceller
6. Bergvärmepump (BVP)
7. Bergvärmepump (BVP) i kombination med solfångare
8. Bergvärmepump (BVP) i kombination med solceller

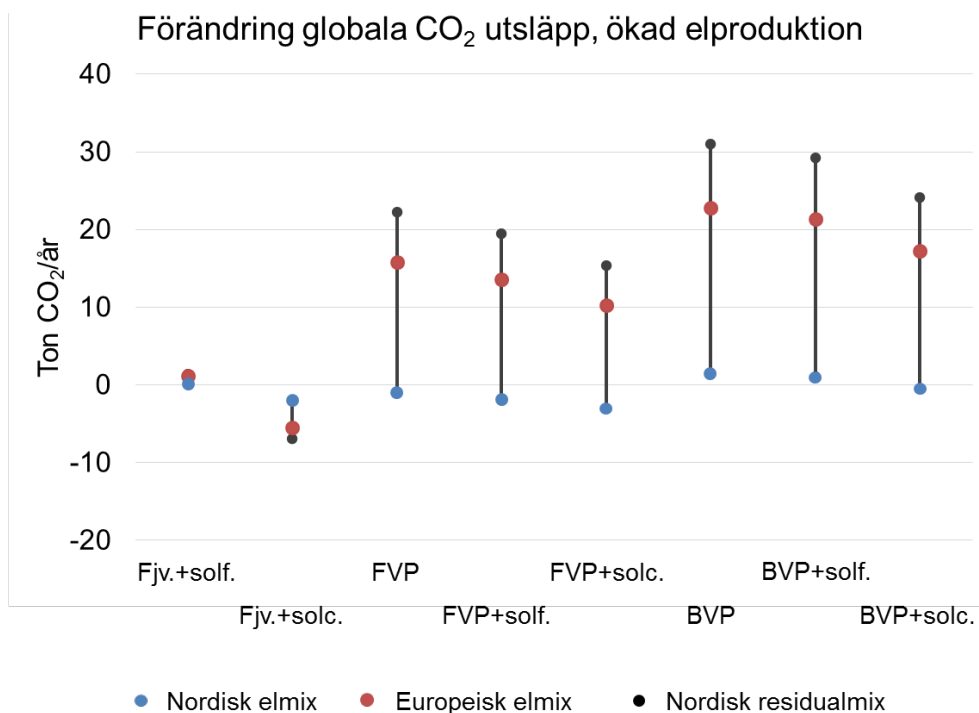
Förändringen i globala utsläpp av koldioxidekvivalenter när den verkliga kompositionen av produktionsenheter i fjärrvärmesystemet i Eskilstuna används, presenteras i figur 13.



Figur 13. Förändring av globala koldioxidutsläpp med verklig kompositionen av produktionsenheter i fjärrvärmesystemet i Eskilstuna.

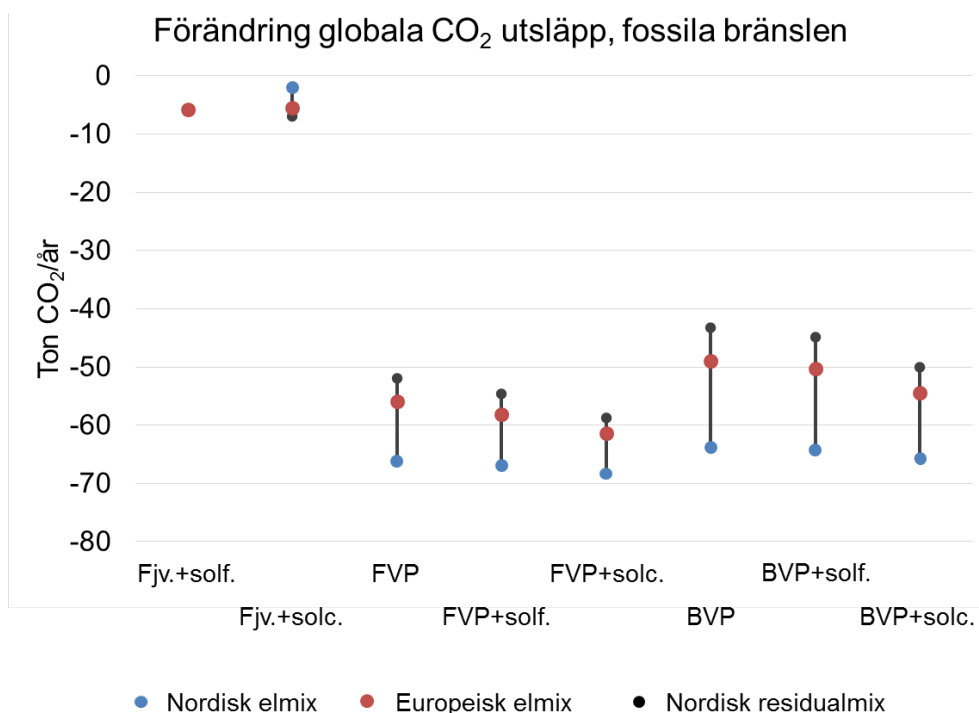
Figuren visar att koldioxidutsläppen från fjärrvärmesystem minskar när solceller installeras. Den minskar mera ju större andel fossila bränslen som används för elproduktionen. Observera att solcellernas elproduktion inte påverkar fjärrvärmeproduktionen utan sparar el i ett Nordiskt alt. Europeiskt elnät som inte har någonting med fjärrvärmesystemet i Eskilstuna att göra. För alternativen med värmepumpar så minskar utsläppen jämfört med fjärrvärme för måttliga utsläpp från använd el (Nordisk mix) medan de ökar för övriga alternativ.

I figur 14 och 15 visas hur utsläppen av koldioxid påverkas i ett fjärrvärmesystem liknande Eskilstunas men med andra bränsle- och produktionsmixar. I figur 14 presenteras förändringen av globala koldioxidutsläpp när en komposition av produktionsenheter med en hög andel elproduktion ingår i fjärrvärmesystemet och figur 15 visar det samma som figur 14 men med fossilbaserad el- och värmeproduktion.



Figur 14. Förändring av globala koldioxidutsläpp med verklig kompositionen av produktionsenheter i fjärrvärmesystemet i Eskilstuna.

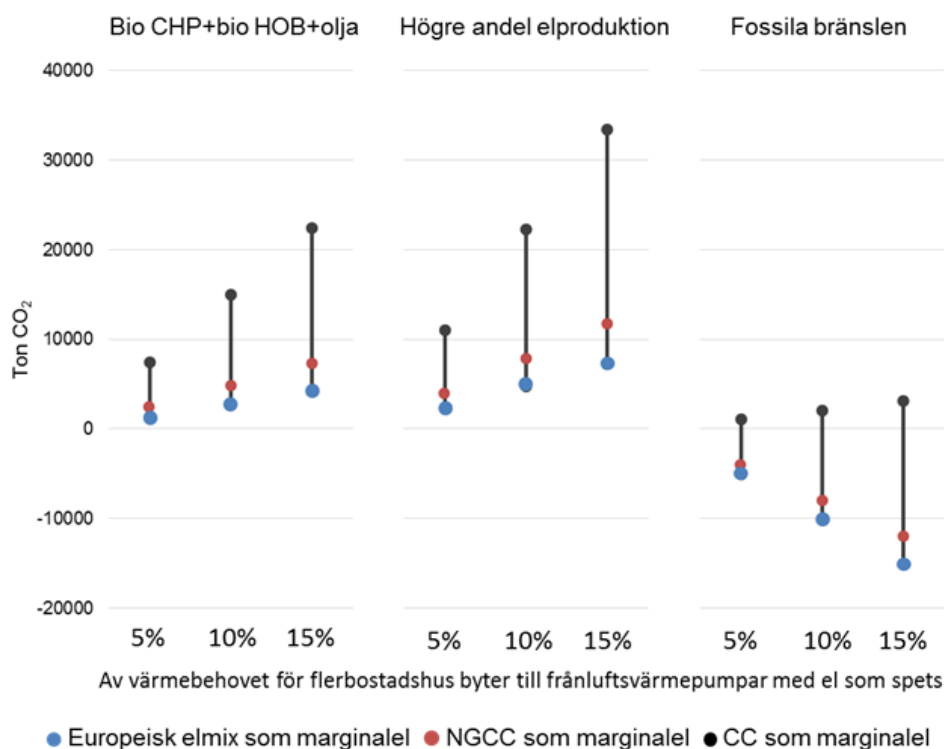
För alla fjärrvärmealternativ med biobränsle eller avfallseldad kraftvärme leder en installation av värmepump till en ökning av utsläpp av växthusgasar om man antar elproduktion från Europeisk mix eller Nordisk residualmix. Kombinationen fjärrvärme och solcellssystem ger en marginell minskning av växthusgasutsläpp.



Figur 15. Förändring av globala koldioxidutsläpp när en komposition av produktionsenheter med en hög andel elproduktion ingår i fjärrvärmesystemet.

Om en hög andel fossila bränslen ingår i produktionen minskar alla el-baserade uppvärmningssystem utsläppen av koldioxid.

En möjlig åtgärd för att minska energianvändningen i miljonprogrammets byggnader med tegelfasader och frånluft är att installera frånluftsvärmepump. Detta riskerar att leda till en ökning av koldioxidutsläppen för alla fjärrvärmealternativ med biobränslebaserad el-generering och en minskning i ett fjärrvärmenät med fossilbränslebaserad el-generering. Detta presenteras i figur 16.



Figur 16. Förändring av globala koldioxidutsläpp vid energirenovering med frånluftsvärmepump.

3.2.5 Beräkning av primärenergifaktor för europeisk el

EU-kommissionen har i sitt Energieffektiviseringsdirektiv målsättningen att EU:s primära energianvändning 2020 skall minska med 20 procent i förhållande till 2007. Eftersom målsättningen är formulerad i termer av primär energi får de antagna värdena av primärenergifaktorer för de olika energiresurserna vid omvandling till el stor betydelse. Mot denna bakgrund har beräkningar av primärenergifaktorn för Europeisk el gjort med fyra olika metoderna.

Värdet av den primära energiresursen definieras som värmevärdet hos energibäraren eller dess förmåga att omvandlas till värme. Detta innebär att energikvaliteten eller exergivärdet hos resursen inte bedöms. Tabell 5 visar resultaten av denna definition.

Tabell 5. Resurser med det primära energi-innehållet 100 kWh

Energiresurs	Massa	Värmevärde	Elverkningsgrad	Elvärde
H ₂	2,5kg	100kWh	0,5	50kWh
CH ₄	6,5kg	100kWh	0,5	50kWh
C	11kg	100kWh	0,4	40kWh
Vattenkraft, fallhöjd 367m	100 000kg	100kWh	1,0	100kWh
Värme, $\Delta T=86K$, vatten	1000kg	100kWh	0,10	10kWh

Värmevärdet för ett bränsle ges av dess entalpi ΔH . Förlustfri förbränning av 2,5 kg av väte, 6,5 kg av metan eller 11 kg kol kommer alla att leverera 100 kWh värme. 100 m³ vatten i ett vattenkraftverk med en fallhöjd av 367 meter genererar 100 kWh el som kan omvandlas till 100 kWh värme. 1000 kg vatten som kyls 86°C ger 100 kWh värme. Alla dessa anses som identiska energiresurser. I tabellen anges också typiska verkningsgrader för omvandling till el. Denna beräkning visar att dessa resurser har helt olika elvärden. Den allmänt använda metoden för att uppskatta använd primärenergi tar ingen hänsyn till energibärarens kvalitet. Energibärare av hög kvalitet kan omvandlas till elektrisk energi med hög verkningsgrad.

Esser och Sensfuss har skrivit en rapport till EU¹⁵ för att uppskatta primärenergifaktorn för Europeisk el. Denna rapport har utgjort underlag till EU-direktivet daterat 30 November 2016 där det föreslås att primärenergifaktorn för el i medlemsstaterna $PEF_{el}=2$. I rapporten har fyra olika metoder för beräkning av primärenergifaktorn använts. Metoderna har följande gemensamt.

- Primärenergin för ett bränsle ges av bränslets värmevärde
- Primärenergin för kärnkraft bestäms av turbinens värmeinnehåll
- Primärenergin för vatten-, vind- och solkraft är elektrisk energi, $PEF=1$ eller $PEF \sim 0,05$. Det innebär att förluster hos vattenkraftverk, vindkraftverk eller solceller inte påverkar primärenergianvändningen
- De använder allokeringmetoder för att fördela bränsleanvändningen mellan el och värme för kraftvärme.

Tabell 6 sammanfattar de antaganden om primärenergifaktorer och verkningsgrad vid omvandling till el som gjorts i de fyra olika metoderna.

Tabell 6. Antagna värde för primärenergifaktorer och elverkningsgrad för de olika metoderna

	Metod 1	Metod 2	Metod 3	Metod 4	Verk. elprod.
Vatten/Vind/Sol	1	0,05	1	1	100 %
Geotermisk	1	0,1	1	1	10 %
Biobränsle & spill	1	0,15	1	1	Verklig
Kärnkraft	1	1	1	1	33 %
Fossila bränslen	1	1,1	1	1,1	Verklig
Kraftvärme	IEA-metod	Finsk metod	Finsk metod	Finsk metod	
PEF år 2020	1,87	1,59	2,01	2,09	
PEF år 2025	1,79	1,46	1,93	2,00	

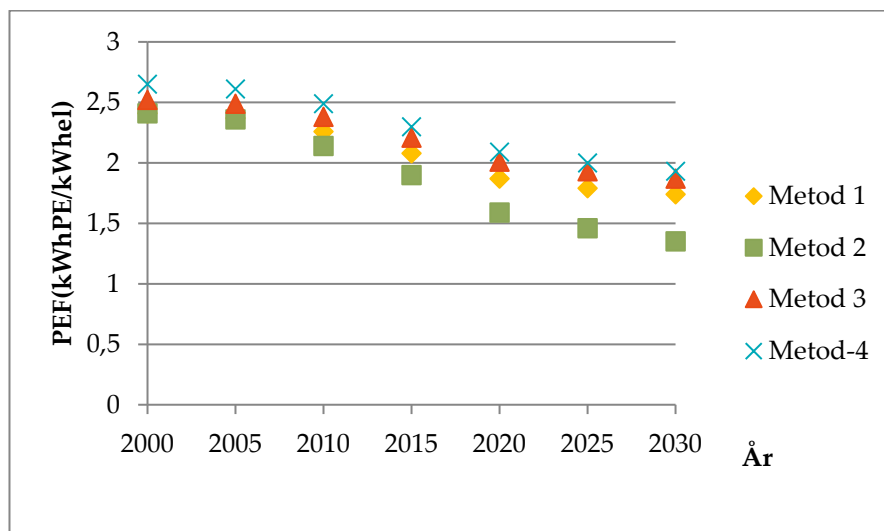
¹⁵ 2016, Evaluation of primary energy factor calculation options for electricity, Specific Contract EN-ER/C3/2013-484/02/FV2014-558 under the Multiple Framework Service Contract EN-ER/C3/2013-484, ISE Fraunhofer, e7, tecalia, Trinomics.

De antagna primärenergifaktorerna för förnybar el, geotermisk värme, bio- och spillbränsle, kärnkraft och spill för metoderna 1, 3 och 4 har värdet 1. Metod 2 antar mycket låga värden för förnybar energi. Metoderna 2 och 4 gör en livscykelanalys för användning av fossila bränslen, vilket innebär att $PEF_{fossilt}=1,1$ kWh fossil energi per kWh el. Två olika allokeringmetoder används för att fördela bränsleanvändningen mellan el och värme för kraftvärme. IEA-metoden för kraftvärme resulterar i $PEF_{el}=1,43$ kWh_{bränsle}/kWh_{el} och $PEF_{värme}=1,43$ kWh_{bränsle}/kWh_{värme}. Den finska metoden resulterar i $PEF_{el}=2,31$ och $PEF_{värme}=1,03$. Slutsatsen är att den finska metoden ger en rimligare fördelning av primärenergianvändningen mellan genererad el och värme.

Resultatet av beräkningarna av PEF för elektrisk energi i EU:s medlemsstater visas i tabell 7 och figur 17.

Tabell 7. Beräkningar av PEF för el i EU:s medlemsstater för metoderna i tabell 2

Metod	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Metod 1	2,41	2,37	2,26	2,08	1,87	1,79	1,74
Metod 2	2,41	2,36	2,14	1,9	1,59	1,46	1,35
Metod 3	2,52	2,49	2,38	2,21	2,01	1,93	1,87
Metod4	2,65	2,61	2,49	2,3	2,09	2	1,93



Figur 17. Beräknade värden för PEF för el i EU:s medlemsstater enligt metoderna i Tabell 7

Figuren visar att primärenergifaktorn för Europeisk el sjunker kontinuerligt med tiden. Det förklaras av att fossila bränslen som omvandlas till el med relativt låg verkningsgrad, $PEF=2,34$, ersätts av förnybar el som omvandlas till el utan förluster, $PEF=1$.

Det är relativt små skillnader mellan metoderna 1,3 och 4. Metod 2 får betydligt lägre primärenergifaktor, eftersom den antar mycket låga faktorer för förnybar energi.

Resultatet av analysen är att i ett diskussionsdokument daterat 19 maj 2016 rekommenderar EU-kommisionen att metod 4 skall användas vid beräkning av primärenergifaktorn för Europeisk el. Vidare har EU-kommisionen i ett direktiv 30 November 2016 föreslagit att primärenergifaktorn för el i medlemsstaterna är 2,0 kWh primärenergi per kWh genererad el. Medlemsstaterna får använda ett andra värden om det kan motiveras. En detaljerad analys av det rekommenderade alternativet 4 genomförs för att demonstrera hur beräkningsmetoden används.

Metod 4 definieras genom följande antaganden:

- Primärenergin för ett fossilt bränsle ges av bränslets värmevärde
- Primärenergin för ett förnybart bränsle ges av turbinens värmeinhåll
- Primärenergin för kärnkraft bestäms av turbinens värmeinhåll
- Primärenergin för vatten-, vind- och solkraft är elektrisk energi, PEF=1.
- Livscykelanalys skall användas för att bestämma förlusterna vid omvandling av fossil energi.
- Kraftvärmeallokeringen sker enligt den finska metoden.

Resultatet av beräkningarna presenteras i Tabell 8.

Tabell 8. Beräkning av primärenergi enligt metod 4 för Europas elproduktion 2015 i TWh/år

Energibärare	Elgenerering (TWh)	Verkningsgrad	Primärenergi- faktor	Primärenergi (TWh)
*Kärnenergi	887	0,33	1	2689
**Förnybara	859	1,0	1	859
Geotermisk	7	0,10	1	73
Fossil	1646	0,428	1,1	4230
Biobränsle& Avfall	152	0,271	1	562
Totalt	3551 (TWh/år)			8413(TWh/år)
***Kraftvärme- korrigering				-1084
Netto				7329(TWh/år)
Elanvändning				3187
Primärenergifaktor				2.30
Andel förnybar energi	859/3551=0,24			859/7329=0,11

*Beräkningsexempel för kärnkraft på rad1: $(887/0,33)*1=2689$ TWh värme.

** Beräkningsexempel för förnybar på rad2: $(859/1)*1=859$ TWh förnybar el

**2106 TWh bränsle används för kraftvärme varav 1084 TWh allokeras till värme.

Använd el från olika primära energibärare visas i kolumn två. Totalt tillförs årligen 3551 TWh el inom EU:s medlemsländer. Verkningsgrad för omvandling från respektive primärenergikälla visas i kolumn tre och antagna primärenergifaktorer finns i kolumn fyra. Endast för fossila bränslen överstiger primärenergifaktorn värdet ett. Under tabellen illustreras hur beräkningen av primärenergianvändningen utförs. Använd el divideras med antagen elverkningsgrad och multipliceras med primärenergifaktorn. Det innebär att för vatten-, vind- och sol el blir den primära energin identisk med tillförd el. En korrigering görs för det bränsle som antas ha använts för värmeproduktion i kraftvärmeprocessen. Totalt har 2106 TWh bränsle använts för kraftvärme, varav 1084 TWh hänförs till produktion av värme. Det

innebär att den totala årliga primärenergianvändningen för produktion av Europeisk el summeras till 7329 TWh. Primärenergifaktorn för Europeisk el under 2015 ges av: $PEF=7329/3187=2,30$ kWh primär energi per kWh använd el.

3.3 SLUTSATSER

1. Belysa problemet med solcellssystemets påverkan på byggnadens primärenergital för byggnader med olika uppvärmningssystem (berg-värmepump och fjärrvärme)

Boverkets föreslagna nära nollenergibyggnadsdefinition förstärker möjligheten att bygga systemkombinationer med bergvärmepump och solenergisystem som ger byggnader med lågt primärenergital. En fjärrvärmeuppvärmd byggnads primärenergital påverkas marginellt av installationen av ett solenergisystem.

Redan relativt små solenergistorlekar ger huvuddelen av minskningen av primärenergitalet för alla systemkombinationer.

2. Belysa hur BBR och NNEB definitionen påverkar renoveringar med avseende på specifik energianvändning och värdera vilka åtgärder som är mest lönsamma för fastighetsägaren.

I Boverkets föreskriftsförslag finns inga skallkrav gällande renovering så dessa blir ej styrande när det gäller renoveringar.

3. Belysa hur kraven i NNEB definitionen påverkar valt uppvärmningssystem i nya byggnader inom fjärrvärmeområden.

NNEB definitionen eller föreskriftsförslaget för kapitel 9 i Boverkets byggregler möjliggör att nya byggnader får väldigt låga primärenergital om de utrustas med bergvärmepump. Om denna systemutformning införs i byggnader inom fjärrvärmeområdet så riskerar det att leda till en ökning av globala koldioxidutsläpp (om elen antas produceras enligt Europeisk mix och Nordisk residualmix).

4. Analysera hur beräkningen av medelprimärenergifaktor för EUs elmix görs

Energibärarna i EUs föreslagna metod för beräkning av PEF summeras utan kvalitetsfaktorer. Det innebär att 1 kWh värme av låg temperatur, 1 kWh värme av hög temperatur och 1 kWh elektrisk energi betraktas som likvärdiga resurser. I termodynamiken betyder användning av energi att förmågan att leverera el förbrukas. Ovanstående metod strider mot denna princip.

När elproduktionen förändras så att en större andel primärenergi av högre energikvalitet (sol-vind-vatten) används sjunker primärenergifaktorn. När kol ersätts av naturgas sjunker primärenergifaktorn, eftersom elverkningsgraden ökar. När kraftprocessen som omvandlar bränslen till el får högre verkningsgrad sjunker primärenergifaktorn.

4 Projektkommunikation

4.1 URSPRUNGLIG KOMMUNIKATIONSPLAN

Projektets resultat och budskap kommer att vara kontroversiellt eftersom olika grupper har olika ekonomiska intressen. Viktiga mottagare av information är Boverket, Energimyndigheten, politiska beslutsfattare, energibolag, fastighetsbolag, byggföretag, arkitekter, energiforskare, byggnadsforskare och studenter.

4.1.1 Strategi

Projektets målsättning är att utforma ett alternativ till dagens BBR och Miljövärderingar av byggnader. För att dessa skall påverka förnyelsen av regelverket krävs en acceptans inom breda grupper med delvis motstridiga ekonomiska intressen. Det är därför viktigt att tidigt få igång en dialog med de olika grupperna. Dialog och debatt är viktigt i projektet. Denna debatt pågår för övrigt redan i det svenska energisamhället. Det är angeläget att dialogen och kommunikationen förs med fjärrvärmeföretagen, fastighetsbolagen och värmepumpföretagen.

4.1.2 Mål

Projektets kommunikationsmål består i att berörda målgrupper (se nedan) får tillgång till ett kommunikations- och informationsflöde om projektet och dess fortgång på ett för dem lättillgängligt och begripligt sätt. Projektet har ett mycket tydligt budskap:

- Elektrisk energi har högre kvalitet och värde än värmeenergi av låg temperatur.
- Användning av 1 kWh elektrisk energi motsvarar resursmässigt användning av 3-4 kWh värmeenergi.
- De regler och värderingssystem som styr byggandet i Sverige skall ta hänsyn till att elektrisk energi har högre kvalitet än termisk energi.

Kommunikationsmålet är att detta termodynamiska faktum skall spridas och få acceptans bland intressegrupperna.

4.1.3 Målgrupper

Projektets kommunikationsmål består i att berörda målgrupper (se nedan) får tillgång till ett kommunikations- och informationsflöde om projektet och dess fortgång på ett för dem lättillgängligt och begripligt sätt. Nedan listas de olika målgrupper som förväntas ha ett intresse i att veta om projektet och dess fortskridande. Vi beskriver även vilken slags information de kan tänkas ha intresse av.

- *Finansiären, Fjärrsynsprojekt och Svensk Fjärrvärmes kansli* - Information om projektbeskrivning, avtal, årlig rapportering av projekt, webbplats mm. Fjärrvärmes kansli ska känna till projektets framsteg och aktiviteter, i den utsträckning som krävs, för att kunna bedöma att projektmedlen används i enlighet med intentionerna.

- *Fjärrvärmeföretagen i Sverige* – skall ha en djupgående insikt om projektets fortskridande.
- *Energibranschen* – Det är viktigt att kunna föra ut kunskap om projektet och dess resultat till den bransch där den har stor betydelse.
- *Högskolorna* – Forskningskollegor på högskolorna inom energi och byggområdena har ett brett intresse av projektets resultat
- *Nationellt och internationellt forskarkollegium* – Detta är den vetenskapliga målgruppen för projektet där man publicerar resultaten från projektet och även får feedback på den vetenskapliga kvaliteten och relevansen på projektet.
- *Studenter* – Både befintliga och eventuella blivande studenter har ett intresse av att veta att det pågår forskning av hög kvalitet och intresse inom fjärrvärmeområdet.
- *Forskarskolan REESEBE*, vid Högskolorna i Gävle, Mälardalen och Dalarna, som analyserar möjligheterna till energieffektivisering inom fjärrvärmeområdet.
- *Fjärrvärme och bostadsbolagen i Gävle, Falun, Borlänge, Västerås och Eskilstuna* som är med i forskarskolan REESEBE.
- Boverket, Energimyndigheten och de organisationer som miljövärderar byggnader.
- *Omgivande samhälle* – Det omgivande samhället har som intresse att veta hur och varför forskning bedrivs i stort, dess förutsättningar, svårigheter och villkor. I slutändan syftar detta till att öka samhällets förtroende för forskningen och de enskilda forskare som bedriver densamma.

4.1.4 Kanaler och medier

De kanaler projektet har till förfogande för att föra ut sitt budskap är:

- *Hemsida* – Hemsidan ska fungera som den huvudsakliga informationskällan för flera målgrupper. Den innehåller bl.a. beskrivning av projektet dels populärvetenskapligt och mer i detalj för forskarkollegiet: Lista på forskningspublikationer och konferensbidrag ska kunna laddas ner därifrån.
- *Den centrala informationsavdelningen på högskolan* – Informationsavdelningen har kanaler för att nå ut till både samhället och blivande studenter.
- *Aktiviteter hos Fjärresyn* Fjärresyns webbplats, Fjärrvärmetidningen, Svensk Fjärrvärmes olika temadagar, adressregister över medlemsföretagen och nyhetsbrevet Kort-kort.
- *Nationella nätverk, konferenser och seminarier* Konkreta exempel är energimyndigheten, Svensk Energi och Värmepumpföreningen.
- *Internationella journaler, konferenser och workshops* – Dessa används dels för att publicera de vetenskapliga resultaten från projektet samt som informationskälla och kontaktskapande aktiviteter med andra universitet och högskolor inom området.
- *Slutrapport i Fjärresyns mall, Sammanfattande Resultatblad och Licentiatavhandling.*

4.1.5 Aktivitetsplan

Vid projektstart planeras att en artikel med projektets målsättning sprids i dagspressen samt energi och teknikpressen. Ett uppstartseminarium är planerat att ges vid Mälardalens Högskola i Västerås med inbjudna talare från de olika intressegrupperna.

Förutom de kanaler som listas kommer följande aktiviteter att planeras:

- Projektmöten – Möten för att diskutera och planera det fortlöpande arbetet i projektet.
- Företagsbesök
- Seminarium – Projektet kommer att arrangera flera forskningsseminarier under projektiden, dit både nationell akademi och industri inbjuds. Dessutom kommer projektet att delta i den interna seminarieverksamheten på högskolan.
- Gästbesök hos andra forskargrupper – För att utbyta information kring vetenskapliga frågeställningar som ligger i anslutning till projektet planeras kortare vistelser hos andra forskargrupper.
- Examensarbeten – Projektet förväntas generera examensarbeten för magisterstudenter, vilket är ett ypperligt tillfälle att visa på hur forskning bedrivs och låta studenter få en insikt i vilka frågeställningar som är både akademiskt och industriellt relevanta.

4.2 REVIDERAD KOMMUNIKATIONSPLAN

Från den 1 februari 2016 tog Ola Eriksson över rollen som projektledare. Ola har lett projektet under den förlängning av ordinarie projekttid som beviljats av Energimyndigheten. I samband med ett referensgruppsmöte i juni aktualiserades frågan om hur projektet kommuniceras. På nästkommande referensgruppsmöte den 16 september 2016 redovisades en genomgång av de kommunikationsaktiviteter som till dags dato förekommit och en reviderad kommunikationsplan togs fram. I tabell 1 nedan redovisas de kommunikationsaktiviteter som utlovats i den ursprungliga kommunikationsplanen samt en redogörelse för utfallet.

Tabell 1. Uppföljning av projektkommunikation

	Vad ska göras?	Vad har gjorts?
1	Artikel i dagspress samt branschtidningar om projektets målsättning (projektstart)	Artikel på gång i Ny Teknik
2	Uppstartsseminarium vid MdH	Björn har haft seminarier på HiG och MDH om ämnet
3	Företagsbesök	Fortum, MälarEnergi, Gävle Energi
4	Forskningsseminarier för akademi och industri,	Fortum, Mälarenergi, Gävle Energi, Svensk Fjärrvärme, Energimyndigheten
5	Gästbesök hos andra forskargrupper	Nej
6	Examensarbeten	Nej
7	Information på fjärrsyns hemsida	Ja
8	Journalpublikation	På gång via konferensen i Danmark Richard har en artikel i sin avhandling Ola planerar två artiklar utöver detta
9	Licentiatexamen	Nej (planen var att anställa en doktorand inom projektet)
10	Resultatblad	Nej

I kommunikationsplanen finns minst 10 olika målgrupper angivna. Dessa har i varierad utsträckning nåtts av information om projektet. Bland dessa kan nämnas:

- Studenter i kurser på HiG och MDH
- Doktorander i forskarskolan Reesbe
- Företag i forskarskolan reesbe
- Energibolag
- Kommunförbundet
- Energimyndigheten
- Forskare på kommande konferens i Danmark
- Svensk Fjärrvärmes omvärldsgrupp
- Boverket

Då projektet inte förlöpt som ursprungligen planerat beslöt referensgruppen att ändra kommunikationsstrategi från breda grupper till att fokusera på ett begränsat antal nyckelaktörer vilka uppvaktas särskilt. Aktiviteter som diskuterades på mötet redovisas i Tabell 2.

Tabell 2. Reviderad kommunikationsplan

Målgrupp/kanal	Motivering	Ansvarig
Swedish Green Building Council (SGBC)	En viktig aktör som projektet måste nå. I en dialog med SGBC skulle projektet kunna lyfta marknadsperspektivet. Behandlingen av el och värme är en trovärdighetsfråga och kan felaktigt hantlerad vara förödande för deras SGBCs trovärdighet. På energiområdet ligger inte SGBC steget före lagstiftningen vilket man rent generellt har intentionen att göra. Den miljöstyrande effekten med främst Miljöbyggnad är oklar.	Björn
Boverket	Verket säger att de inte har eller tar miljöansvar, frågan är om projektet kan påverka det? Paula Hallonsten är vår ingång här.	Björn
Energimyndigheten	Är den tredje viktiga aktören vid sidan av SGBC och Boverket. Seminarium ordnas av Jörgen Sjödin.	Björn
Building Sustainability	Den internationella konferensen om grönt byggande hålls i Stockholm hösten 2016 och är en utmärkt arena. Det är dock oklart om och hur projektet kan synas där.	Björn
Second opinion http://second-opinion.se/	Slutsatser från projektet kommuniceras i ett nätbaserat diskussionsforum för energibranschen. Ett inlägg baserat på artikeln till Ny teknik och det kommande PM:et används för att spela in forskningsresultaten i debatten.	Björn
Sveriges Allmännyttiga Bostadsföretag (SABO)	Kontaktperson: Therese.Rydstedt@sabo.se	Björn
Sveriges Kommuner och Landsting (SKL)	Kontaktperson: Andreas.Hagnell@skl.se	Björn

4.3 GENOMFÖRD KOMMUNIKATION

Projektet har kommunicerats muntligt vid följande kommunikationstillfällen av Richard Thygesen:

- Energimyndighetens Solforum 2016, 7 april 2016
- Mälarenergis prisdiallog, 31 Maj 2016
- Sala kommuns fastighetsavdelning, 8 februari 2017
- Vasakronans ledningsgrupp, 16 februari 2017

Den tidigare projektledaren och initiativtagaren prof. Björn Karlsson har kommunicerat projektresultat i arbetet med NNE-byggnader (seminarier, remiss etc.) och gentemot SGBC inom ramen för sitt styrelseuppdrag. Där har han nått intressanta målgrupper som byggherrar, fastighetsägare, energibranschen och konsulter. Björn har också varit inbjuden till Energimyndigheten av Jörgen Sjödin.

Projektet har förutom de officiella rapporterna kommunicerats skriftligt enligt följande:

1. Thygesen R, Karlsson B. An analysis on how proposed requirements for near zero energy buildings manages PV electricity in combination with two different types of heat pumps and its policy implications – A Swedish example. Energy Policy 101 (2017) 10–19
2. Thygesen R. An Analysis of Different Solar-Assisted Heating Systems and Their Effect on the Energy Performance of Multifamily Buildings—A Swedish Case. Energies 2017, 10, 88

3. Gustafsson M, Thygesen R, Karlsson B, Ödlund L. Changes in primary energy use and CO2 emissions – An impact assessment for a building with focus on the Swedish proposal for nearly zero energy buildings. Energies (under review)

REGELSTYRD ENERGI- OCH MILJÖVÄRDERING AV BYGGNADER

Det är viktigt att skilja på användning av elektrisk energi, bränsle och värme när en byggnads energianvändning analyseras. Samtidigt är det angeläget att lagar, värderingar och rekommendationer utformas så att de styr energisystemet mot en ökad effektivitet och miljönytta.

Boverkets föreslagna definition av nära-noll-energi-byggnader gör det möjligt för nya byggnader att få låga primärenergital om de utrustas med bergvärmepump. Om den här systemutformningen införs i byggnader inom fjärrvärmeområden riskerar det att leda till ökade globala koldioxidutsläpp om elen produceras enligt Europeisk mix och Nordisk residualmix.

Dagens regler ger fel signaler för effektivisering inom ett fjärrvärmeområde med kraftvärme. De styr mot att spara värme i kraftvärmenät och att använda mer el samtidigt som kraftproduktionen, det vill säga produktionen av el, i kraftvärmeverket minskar.

Här presenteras därför en metod som bättre värderar skillnader i resursanvändning mellan elektricitet, värme och bränslen. Rapporten innehåller också olika konsekvensanalyser som har genomförts med hjälp av byggnads- och energisystemsmoduleringar.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk