



Resurseffektiva kyl- och värmepumpssystem

# **Värmepumpssystem för nära- nollenergi småhus och flerfamiljshus**

Martin Persson

Svein Ruud

06-2014

## Förord

Det här projektet har genomförts inom ramarna för forskningsprogrammet EFFSYS+. EFFSYS+ är en fortsättning på de tidigare programmen "Alternativa köldmedier", "Klimat 21", "eff-Sys" och "Effsys2", vilka sammantaget löpt sedan 1994. De tidigare programmen har varit mycket framgångsrika och fört Sverige till den internationella forskningsfronten inom området kylteknik och värmepumpar.

Detta projekt har finansierats av Energimyndigheten via Effsys+, Skanska, SBUF, Trä och Möbelföretagen, Enerch/CTC, Bosch Termoteknik/IVT, Danfoss/Thermia och SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Författarna vill speciellt tacka alla industrirepresentanter för bra uppslutning på projektmöten och viktigt input till projektet.

## Sammanfattning

Direktivet om byggnaders energiprestanda (EPBD 2010/31/EC) kommer troligvis resultera i krav på mycket låg energianvändning i alla byggnader vid ny- och ombyggnad från och med 2021. Detta innebär att byggnaders värmebehov totalt sett kommer att sjunka och att energi för att värma tappvarmvatten kommer att stå för en större del av den totala energianvändningen. Det kan därför komma att krävas en ny generation värmepumpsystem med lägre kapacitet, lägre pris och med en prestanda så att kraven i direktivet om byggnaders energiprestanda uppnås. Det övergripande målet med det projekt som beskrivs i denna rapport var att i samarbete med projektpartners utveckla kostnadseffektiva och konkurrenskraftiga värmepumpsystemlösningar som uppfyller sannolika krav för framtidens nära-nollenergihus (NNE-hus) och ger byggnaderna förutsättningar att nå plusenerginivåer. I projektet har kravspecifikationer för ett nybyggt NNE-enfamiljshus och för ett nybyggt NNE-flerfamiljshus tagits fram. I dessa specificerades byggnadernas egenskaper såsom exempelvis fysiska dimensioner och värmebehov. Därefter har fysiska värmepumpsystem tagits fram för dessa typhus. Båda de framtagna systemen bygger på systemlösningar med bergvärmepumpar, från- och tillufts-ventilation (FTX) och golvvärme. För de utvecklade systemen har energibesparingspotential samt Life Cycle Cost (LCC) har analyserats. Systemen har även prestandaprovats i SPs labb i Borås. Resultatet ifrån energiberäkningarna och provningen visar att det med relativt enkla system och relativt standardiserade NNE-klimatskal på byggnaderna går att nå de av Energimyndigheten (2012) föreslagna kravnivåerna för specifik energianvändning med bred marginal. Analysen av de framtagna värmepumpsystemens LCC visar också på att de är kostnadseffektiva alternativ jämfört med andra uppvärmningsalternativ. För samtliga uppvärmningsalternativ har LCC även beräknats med solceller och solvärme som tillägg och i båda fallen får samtliga uppvärmningsalternativ en lägre LCC än utan tillägget med solvärme och solceller vilket får anses som väldigt positivt för solenergis framtid.

## Summary

The energy performance of buildings directive (EPBD 2010/31/EC) will probably result in requirements of very low use of energy in all new and refurbished buildings from 1<sup>st</sup> of January 2021. This means that the energy use for heating will decrease and that domestic hot water (DHW) will represent a much larger share of the total energy use in a building. This will require a new generation of heat pumps with lower power and a cheaper price and a performance that meet the requirements in the energy performance of buildings directive (EPBD 2010/31/EC). The overall objective of this project was to develop cost effective heat pump systems that meet the requirements in the concerned EU-directives with a possibility to reach plus energy levels. The project has developed requirements specifications for a single family nZEB and a multifamily nZEB. The developed houses were later used for dimensioning the heat pump prototypes. The developed heat pump systems consists of a ground source heat pump with balanced mechanical ventilation with heat recovery and floor heating for distribution for both the single family and the multifamily house. The developed systems have been assessed from an energy performance point of view as well as from a Life Cycle Cost (LCC) point of view. The assessment of the systems shows that they meet the proposed levels (Energimyndigheten 2010) for specific energy use for nZEB in Sweden and are cost effective. The heating systems have also been assessed with an additional PV-system and an additional solar thermal system. From this analysis it can be seen that all the assessed heating systems get a lower LCC with the addition of the PV-system and the solar thermal system which is very positive thing to see.

# Innehåll

1	Inledning.....	5
1.1	Bakgrund.....	5
1.2	Projektdeltagare.....	6
1.3	Mål.....	6
2	Genomförande.....	8
2.1	Beskrivning av mjukvaran TMF Energi.....	10
2.2	Beräkningsmodell för LCC.....	11
3	Resultat.....	13
3.1	Framtagande av typhus.....	13
3.2	Resultat energiberäkningar.....	19
3.3	System för vidareutveckling.....	28
3.4	System för NNE-enfamiljstyphus nybyggnation.....	29
3.5	System för NNE-flerfamiljstyphus nybyggnation.....	30
3.6	Resultat LCC analys.....	32
3.7	Känslighetsanalys.....	35
3.8	Resultat laboratorieprovningar.....	39
4	Diskussion.....	46
4.1	Måluppfyllelse.....	48
4.2	Lärdommar.....	49
4.3	Fortsatt arbete.....	49
	Referenser.....	51
	Projektets populärvetenskapliga publikationer och presentationer.....	53

# 1 Inledning

Direktivet om byggnaders energiprestanda, (EPBD 2010/31/EC) kommer troligvis att ställa krav på mycket låg energianvändning i alla byggnader vid ny och ombyggnad från och med år 2021. Detta innebär att värmebehoven sjunker och att tappvarmvattnet kommer att stå för en större del av den totala energianvändningen. Värmepumpstillverkarna saknar idag färdiga värmepumpsystemlösningar som klarar kommande krav för nära-nollenergi (NNE) -byggnader avseende energi- och kostnadseffektivitet. Det krävs därför en ny generation värmepumpsystem med lägre kapacitet, lägre pris och med en prestanda så att de klarar kraven i gällande EU-direktiv. Utan en lösning på detta riskerar värmepumpsbranschen att värmepumpar bli ett mindre konkurrenskraftigt alternativ vid ny- och ombyggnad av småhus. Utmaningen är att utveckla systemkoncept som kan erbjuda en konkurrenskraftig livscykelkostnad (LCC) för slutkonsumenten. När den totala energianvändningen sjunker får investeringskostnaden en relativt större inverkan på LCC kalkylen.

## 1.1 Bakgrund

Sverige har varit tidigt ute med utveckling och implementering av värmepumpande teknik. När det gäller mark/bergvärmepumpar har dock den huvudsakliga inriktningen varit relativt stora värmepumpar för ersättning av el-/oljepannor i äldre befintliga småhus. I samband med en teknikupphandling i mitten av 1990-talet togs mindre berg/markvärmepumpar fram. Dessa har dock försvunnit från marknaden. För befintliga elvärmda hus har istället luft-luftvärmepumpen dominerat och för nybyggnadsmarknaden har frånluftsvärmepumpar dominerat (SVEP 2013). Beräkningar som genomförts inom Effsys2 projektet Ekonomiska värme- och kylsystem för lågenergihus visar att bergvärmepumpar är den bästa lösningen ur ett energiperspektiv men att investeringskostnaden är för hög (Ruud 2010). Resultaten visar också att energianvändningen för fläktar och cirkulationspumpar till golvvärme är för hög samt att tomgångsförlusterna behöver sänkas. Arbetet som genomförts inom IEA Heat Pump Program (HPP) Annex 32 visar också att dagens berg-/markvärmepumpar på den svenska marknaden är för stora. Även tidigare Effsysprojekt såsom Driftoptimering av Värmepumpsystem (Karlsson 2004) och Konvertering av Elvärmda Småhus (Fahlén 2004) har visat på berg/markvärmepumpens potential. Syftet med det här projektet är dels att se på byggnaden som ett system i arbetet med att ta fram koncept för nya värmepumpsystem för ny- och ombyggnad, dels att ta fram modeller för energiberäkningar. Beräkningar som gjorts visar också att om en ny generation värmepumpsystem utvecklas och "grön el" används är värmepumpar en ur energi- och miljösynpunkt mycket förmånlig lösning. I kombination med solceller finns det dessutom

förutsättningar att nå plusenerginivåer. Det här projektet är även det svenska bidraget till ett internationellt annex 40 inom IEA HPP med delvis samma målsättning som det här projektet. Det initierades utifrån ett starkt intresse från medlemsländerna. Genom ett aktivt deltagande säkerställs återföring av bästa möjliga internationella kunskap till den nationella projektgruppen.

## 1.2 Projektdeltagare

För att lyckas ta ett holistiskt grepp kring problematiken var det viktigt att ha med representanter för både värmepumpstillverkarna och ifrån hustillverkarna samt spetskompetens i projektgruppen. Därför har projektgruppen haft följande sammansättning.

Projektledare: Svein Ruud, Tekn.Lic SP – Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Bitr. Projektledare: Martin Persson, SP – Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Jessica Benson, Tekn.Lic., SP – Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Anna Boss, Civ.Ing. Teknisk Fysik, SP – Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Kent Karlsson, Eneritech/CTC

Timo Haak, Bosch Termoteknik/IVT

Gunnar Eklund, Bosch Termoteknik/IVT

Olav Öhmark, Danfoss/Thermia

Magnus Lantz, Danfoss/Thermia

Anders Rosenkilde, Trä och Möbelföretagen

Tommy Walfridson, Skanska

## 1.3 Mål

Övergripande mål var att i samarbete med projektpartners utveckla konkurrenskraftiga värmepumpsystemlösningar som uppfyller kraven på NNE-byggnader och har förutsättningar att nå plusenerginivåer med förutsättning att använda olika värmekällor utifrån lokala förutsättningar. Principiellt finns det fler fysikaliska likheter än olikheter mellan små och flerfamiljshus. Däremot skiljer det i dimensioneringsförutsättningarna mellan små och flerfamiljshus. Med värmepumpsystem avses hela systemet värmepump samt distributionssystem, det vill säga hela systemet för att klimatisera och producera tappvarmvatten. Med systemkoncept avses att studera hela byggnaden som system inklusive val av klimatskal.

### 1.3.1 Följande delmål ingår i projektet:

- Teoretiska koncept för små och flerfamiljshus NNE-hus för både nybyggnation och ombyggnation.
- Bygga och utvärdera en värmepumpsprototyp för ett NNE-enfamiljshus som uppfyller energi och miljökrav i Fgas (Fgas Directive 2006/842/EC), Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013) och förnybartdirektivet (RES Directive 2009/28/EC) samt har en LCC kostnad som är ett konkurrenskraftigt alternativ för småhus.
- Bygga och utvärdera en värmepumpsprototyp för ett NNE-flerfamiljshus som uppfyller energi och miljökrav i Fgas, Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013) och förnybartdirektivet (RES Directive 2009/28/EC) samt har en LCC kostnad som är ett konkurrenskraftigt alternativ för flerfamiljshus.
- Rapporter som bildar underlag för rapportering till Annex 40 inom IEA HPP, Nearly Zero Energy Buildings koordinerat av Schweiz. Eftersom varje land inom EU kommer att ta fram sina egna kravnivåer för vad en NNE-byggnad är så är det också viktigt att prototyperna görs så flexibla att de kan anpassa till olika länders kravnivåer.



## 2 Genomförande

Projektet har genomförts enligt nedanstående steg.

Steg 1: Litteraturstudie, vilken finns som separat rapport och även var Sveriges bidrag i IEA HPP Annex 40 Task 1 "State-of-the-art analysis and system concepts".

- a) Nuläget beskrevs på området avseende klimatskalet, möjligheter för värmeåtervinning samt beteendets inverkan på framtida behov av värme, kyla och tappvarmvatten i NNE byggnader.
- b) Nuläget beskrevs på området avseende små energieffektiva värmepumpsystem, mark/bergvärmekollektorer, tappvarmvattensystem och distributionssystem.

Steg 2: Framtagande av kravspecifikation tillsammans med industrigrupp

Genomfördes med den samlade kunskap som finns hos projektdeltagare och referensgrupp. Kravspecifikationen togs fram för att klara de EU-direktiv som påverkar som påverkar systemets utformning såsom EPBD2, förnybartdirektivet, F-gas och EuP direktivet. För exporterande företag var det också viktigt att anpassa kravspecifikationen så att den för exportmarknader av intresse förväntas klara nationsspecifika krav på en NNE-byggnad.

Då det under projektets gång inte funnits någon definition i Sverige för NNE-byggnader har projektet antagit kravnivåer som presenterades i energimyndighetens rapport ER 2010:39 (Energimyndigheten 2010) presenterade i Tabell 1 Huruvida detta kommer att bli gällande krav för NNE-byggnader är ännu oklart och regeringen har nyligen avsatt 120 miljoner för att mellan 2014-2016 finansiera demonstration och utvärdering av lågenergihus med syfte att få mer underlag för att kunna bestämma lämpliga kravnivåer för NNE-byggnader.

Tabell 1: Av Energimyndigheten (2010) föreslagna kravnivåer för nybyggda NNE-byggnader

Klimatzon	Elvärmda (kWh/m <sup>2</sup> år)			Icke-elvärmda (kWh/m <sup>2</sup> år)		
	I	II	III	I	II	III
Bostäder	<b>50</b> (95)	<b>40</b> (75)	<b>30</b> (55)	<b>75</b> (130)	<b>65</b> (110)	<b>55</b> (90)
Lokaler	<b>50-75 *</b> (95-131)	<b>40-60 *</b> (75-104)	<b>30-45 *</b> (55-78)	<b>70-105 *</b> (120-192)	<b>60-90 *</b> (100-159)	<b>50-75 *</b> (80-126)

Steg 3: Framtagande av beräkningsmodeller för NNE-byggnader för både energi- och LCC-beräkningar. Kvalitet på indata var självklart mycket viktiga faktorer att ta hänsyn till, liksom ekonomiska randvillkor såsom internräntor, energiprisutveckling, etc. Energiberäkningsmodellen finns beskriven i avsnitt 2.1. LCC-beräkningsmodellen finns beskriven i avsnitt 2.2.

Steg 4: Utvärdering av dagens bästa teknik och genomförande av beräkningar (energi och LCC) för olika värmepumpsystem. Utvärderingarna gjordes dels på projektmötena i form av paneldiskussioner med alla deltagande projektpartners och dels via beräkningar på befintliga system. I detta steg diskuterades även energieffektiva system för distribution av värme. Beräkningar genomförs för värmepump kombinerad med distributionssystem med avseende på energi och ekonomi (LCC). De mest intressanta värmepumpsystemen gick vidare från steg 4

Steg 5: Utveckling av teoretiska koncept för värmepumpen baserat på bästa möjliga teknik för följande fyra fall:

1. Nybyggnation, småhus
2. Ombyggnation, småhus
3. Nybyggnation, flerfamiljshus
4. Ombyggnation, flerfamiljshus

Steg 6: Genomförande av energi och LCC beräkningar för de olika systemkoncepten inklusive klimatskal.

Syftet med detta steg var att i första hand teoretiskt bestämma vilka åtgärder som är mest konkurrenskraftiga med avseende på energianvändning och ekonomi (LCC). Modifiering av teoretiska koncept i steg 4 baserat på resultat från beräkningar. Syftet var att välja de koncept som skulle vidareutvecklas till fysiska prototyper.

Steg 7: Byggnation av prototyper baserat på steg 1-6. Här valde en värmepumpstillverkare att utveckla ett system för ett nybyggt enfamiljshus och en värmepumpstillverkare att utveckla ett system för ett nybyggt flerfamiljshus.

Steg 8: Laboratorieprovning

De två olika systemen provades i SPs labb i Borås. Systemet som togs fram för ett NNE-enfamiljshus provades både för värmedrift och för tappvarmvatten. Värmedriften provades enligt EN14511:2011 och tappvattenprestanda enligt Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013). "seasonal coefficient of performance" SCOP för värmepumpen och NNE-enfamiljstypshuset beräknades utgående ifrån provningsresultaten gjordes sedan enligt SP metod 4967-1. En beskrivning av SP metod metod 4967-1 finns i Appendix 1.

Steg 9: Underlag till IEA HPP Annex 40, HP4nZEB

Här har projektet deltagit med en nulägesrapport för Sverige i delprojekt 1 "State-of-the-art analysis and system concepts" samt kommer att delta med en rapport inom delprojekt 3 "Technology Developments and field monitoring".

## 2.1 Beskrivning av mjukvaran TMF Energi

Med anledning av de sedan 2007 successivt skärpta kraven på energihushållning i Boverkets byggregler (BBR) har TMF och dess trähustillverkande medlemmar låtit SP, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, utveckla ett beräkningshjälpmedel för att projektera och beräkna specifik energianvändning - TMF Energi. Programmet idag av merparten av de svenska småhustillverkarna. Programmet är i grunden statiskt och icke dynamiskt. Indirekt tas dock hänsyn till byggnadens tidskonstant och dess inverkan på det maximala effektbehovet för uppvärmning.

Beräkningsprogrammet förutsätter att användaren själv har tillgång till program för att beräkna Um-värde inklusive köldbryggar. Detta skall därför endast vara indata till beräkningshjälp-medlet. Vidare antas att användaren har tillgång till metrologiska data i form av årsmedel-temperatur för den plats/ort där byggnaden skall uppföras. För "elvärmda" byggnader är det också bra att ha tillgång till DVUT-värden för den aktuella orten (även om programmet i brist på sådana beräknar approximativa värden). Slutligen antas att användaren har tillgång till vissa grundläggande prestandavärden hos installationer såsom värmeeffekt och COP hos värmepumpar, temperaturverkningsgrad hos ventilationsvärmväxlare, installerade eleffekter, etc.

Beräkning sker huvudsakligen enligt SS-EN ISO 13790:2008 och resultatet redovisas som total årlig energianvändning, samt årlig specifik energianvändning för uppvärmning och varmvatten. Beräkningen utgår från en årsmedeltemperatur som klimatindata och att ett varaktighetsdiagram beräknas enligt approximativ formel för utetemperaturens varaktighetskurva (VVS-special, Värmeåtervinning 1:1981, Tomas Hallén). Statisk energibalans görs för 4-timmars perioder. Eftersom SS-EN ISO 13790:2008 huvudsakligen behandlar byggnadens värmebehov har beräkningen kompletterats med

inverkan av varmvattenanvändning och olika kombinationer av installationstekniska lösningar. Brukarrelaterade defaultvärden har huvudsakligen valts i enlighet med "Regelsamling för energideklaration med kommentarer, 2010", Boverket, maj 2010, "Indata för energiberäkningar i kontor och småhus", Boverket, oktober 2007 och handbok "Energihushållning enligt Boverkets byggregler – Utgåva 2", Boverket, oktober 2012. I vissa fall har defaultvärden valts utifrån "Byggvägledning 8 – Energihushållning och värmeisolering", Utgåva 3, Svensk Byggtjänst, februari 2012. När det gäller exfiltration räknar programmet enligt EN ISO 13789:2008, men modifierat för att man i Sverige anger byggnadsskalets otäthet i l/s per kvm omslutande yta (och inte i oms/h) vid  $\pm 50$  Pa tryckskillnad. För elvärmda hus beräknas förutom värmesystemets eleffektbehov också det värmeeffekt-behov, inklusive cirka 0,5 kW tappvarmvatten, som värmesystemet behöver avge vid DVUT. Denna beräkning är användbar för att välja/bedöma rätt storlek/täckningsgrad på värmepump.

I utvecklingsfasen har programmets utdata avseende värmebehov med god överensstämmelse jämförts med utdata från det dynamiska programmet VIP+. Vidare har värmepumpsberäkningarna både i utvecklingsfasen (IVT och NIBE) och i detta projekt (Danfoss och CTC) jämförts med flera av värmepumpstillverkarnas dynamiska beräkningsprogram. Också i dessa jämförelser med god överensstämmelse. Vår bedömning är därför att TMF Energi trots att det är mycket enklare att använda ger för vårt ändamål tillräckligt bra resultat jämfört med mer avancerade program såsom IDA. Vi har därför valt att arbeta med TMF Energi i detta projekt för beräkning av energianvändning och effektbehov. Detta för att minimera arbetsinsats och kostnader. En annan fördel är att vi som utvecklare av TMF Energi har haft möjlighet att göra en för ändamålet anpassad betaversion.

TMF Energi är i sin officiella grundversion endast avsett för beräkning av enfamiljshus. Vi har därför i detta projekt tagit fram en betaversion för beräkning av energianvändning även i flerbostadshus. Grundversionen saknar även möjlighet att räkna på solceller och solvärme i kombination med värmepumpar, vilket vi har kompletterat både enfamiljs- och flerbostadshusberäkningarna med i detta projekt. Den framtagna betaversionen har även en något flexiblare inmatning av hushållsel. Betaversionen kan dock endast räkna på värmepumpsinstallationer av typen luft-vatten och vätska-vatten, detta efter samråd med i projektet deltagande företag. Som referens till värmepumpslösningar har vi även tagit fram anpassade beräkningsflikar för fjärrvärme i flerbostadshuset och enfamiljshuset, samt pelletspanna i enfamiljshuset.

När det gäller LCC-beräkningar har vi valt att inte integrera dessa direkt i TMF Energi. Dels därför att TMF för närvarande inte ser något behov av att inkludera detta i programmet, men huvudsakligen för att i framtida projekt kunna använda den framtagna LCC-modulen fristående och i kombination med andra energiberäkningsprogram

## 2.2 Beräkningsmodell för LCC

LCC beräkningsmodulen som tagits fram i projektet bygger på nuvärdesmetoden enligt ekvation 1 nedan. LCC-beräkningarna har gjorts enligt Energimyndighetens modell (Energimyndigheten 2010) med indataparametrar enligt Tabell 18 nedan. För investeringskostnaden har först nuvärdet av investeringarna beräknats och sedan

nuvärdet av restvärdet för de fall då det finns en återstående livslängd på investeringar vid kalkylperiodens slut. Nuvärdet av restvärdet på investeringar subtraheras ifrån nuvärdet av investeringarna för att få det korrigerade nuvärdet. För de rörliga kostnaderna i LCC-analysen har energianvändningen antagits ha en månadsfördelning enligt Figur 1 för att bättre ta hänsyn månatliga variationer över året (FEBY 12). Enkelt förklarat så betyder det att för exempelvis värmeanvändningen används 2,25 delar av årets totala värmeanvändning i januari och den totala värmeanvändningen under året är 12.

$$NV = \frac{I}{(1+p)^n} \quad (1)$$



Figur 1: Månadsfördelning energianvändning i LCC-analysen

## 3 Resultat

I resultatkapitlet redovisas resultatet ifrån de olika stegen i projektet uppdelat på framtagande av typhus, resultat energiberäkningar, resultat LCC beräkningar samt resultat ifrån laboratorieprovningar.

### 3.1 Framtagande av typhus

Ett antal installationstekniska och byggnadsfysikaliska data har tagits fram för fyra olika typhus; ett nybyggt enfamiljshus, ett befintligt enfamiljshus, ett nybyggt flerfamiljshus och ett befintligt flerfamiljshus. De nybyggda husen antas byggda med idag bästa tillgängliga teknik. Värden för de nya husen har tagits fram i samråd med i projektet deltagande företag. Vissa överväganden kring kostnadsoptimalitet har gjorts, d.v.s. vissa värden skulle rent tekniskt kunna vara ännu bättre men i dagsläget antas det inte vara ekonomiskt försvarbart. När det gäller de befintliga husen baseras dessa värden på en sammanvägning av befintlig statistik och erfarenhet. Spridningen på befintliga hus är rätt stor beroende på när de är byggda och vad man har gjort med dem. Angivna värden för ska därför mer ses som möjliga värden för "befintliga hus". För att förenkla jämförelsen mellan de olika typhusen har det antagits att de nya och befintliga husen är lika stora och har samma geometri. Det har också antagits att ventilationen är normenlig i samtliga hus och användningen av hushållsel är samma i nya och befintliga hus. För flerbostadshusen har vi dock antagit att en del av det som är hushållsel i enbostadshusen hamnar på fastighetens byggnadsel, 2 kWh/m<sup>2</sup>/år. Det som byggnadsfysikaliskt skiljer mellan de nya och de befintliga husen är isolergraden och klimatskalets täthet. Installationsteknisk skiljer det huvudsakligen avseendet varmvatten/VVC-förluster och ventilationen. De nya husen antas ha lägre tomgångsförluster för varmvatten/VVC en mekanisk till- och frånluftsventilation med högeffektiv luft-luftvärmväxling för att vid behov återvinna av frånluftens värmeinhåll (FTX-ventilation). De befintliga husen antas ha högre tomgångsförluster för varmvatten/VVC endast mekanisk frånluftsventilation utan värmeåtervinning (F-ventilation). Effektbehovet som varmvattencirkulationen kräver är försumbart jämfört med tappvarmvattnets behov men värmemängden som åtgår är inte försumbar p.g.a. konstant cirkulation under året och detta visas i typhusen i form av högre tomgångsförluster för de befintliga husen. Det brukar emellertid antas att värmeförlusterna kommer byggnaden tillgodo, åtminstone under de månader då det finns ett värmebehov. Faktum kvarstår dock att värmemängden måste tillsättas varmvattenberedaren och det är därför intressant att veta hur stor denna är i förhållande till värmemängden för tappvarmvattenberedning. Två sätt att sänka VVC-förlusterna är att undvika handdukstorkar kopplade direkt till VVC-kretsen och helt enkelt att isolera VVC-kretsen bättre. (Olsson 2003) Trots olika ventilationssystem antas den specifika fläkteffekten samma för nya och befintliga hus. För FTX-systemet innebär detta att det är eleffektivt medan för F-systemet att det inte är eleffektivt. Även den specifika pumpeffekten antas samma för nya och befintliga hus. Orsaken i det fallet är att de nya husen antas ha golvvärme medan de befintliga antas ha radiatorer. Trots eleffektivare

cirkulationspumpar blir då den specifika pumpeffekten likvärdig den med sämre pumpar i de befintliga husen. Vid ett byte till ett nytt värmesystem antas dock att även pumparna byts och vi har då räknat med en halvering av nedan angivna värden för pumpar. Beräknat värmebehov avser en placering i ett klimat med en årsmedeltemperatur på ca +7°C, vilket ungefär motsvarar Stockholm. I Tabell 2-4 nedan ges en sammanställning av data för de olika typhusen.

### 3.1.1 Enfamiljshus Nybyggnation

Tabell 2: Typhus enfamiljshus för nybyggnation

Hustyp	Småhus NNE
Antal hushåll/lägenheter	1
Antal boende	4
Hushållsel	4800 kWh/år
<b>Specifik energianvändning, hushållsel</b>	<b>30 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>
Övrig byggnadsel	-
Specifik övrig byggnadsel	-
Tempererad golvarea, A <sub>temp</sub>	160 m <sup>2</sup>
Inre area omslutande klimatskal, A <sub>om</sub>	390 m <sup>2</sup>
Nominellt luftflöde; 0,35 liter/(s m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )	56 liter/s
Genomsnittligt värmegenomgångstal, U <sub>m</sub>	0,2 W/(K m <sup>2</sup> A <sub>om</sub> )
Lufttäthet (vid ±50 Pa)	0,2 liter/(s m <sup>2</sup> A <sub>om</sub> )
Spec. ventilationsvärmeförlust (vid DVUT)	0,14 W/(K m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
ventilationsvärmeförlust	22,4 W/K
temperaturverkningsgrad	ca 80 %
Specifik fläkteffekt SFP **	≤ 1,5 W/(liter/s)
fläkteffekt	≤ 85 W
Specifik fläktenergi	≤ 4,5 kWh/(år m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
fläktenergi	≤ 700 kWh/år
Specifik pumpeffekt värme- och varmvattendistribution ***	≤ 0,3 W/(m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
pumpeffekt värme- och varmvattendistribution	≤ 50 W
Specifik pumpenergi värme- och varmvattendistribution	≤ 1,5 kWh/(år m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
pumpenergi värme- och varmvattendistribution	≤ 250 kWh/år
Specifik värmeförlust varmvatten/VVC vid stand-by	≤ 0,5 W/(m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
värmeförlust varmvatten/VVC vid stand-by	≤ 80 W
Specifikt värmebehov varmvatten/VVC vid stand-by	≤ 4,5 kWh/(år m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
värmebehov varmvatten/VVC vid stand-by	≤ 700 kWh/år
Specifikt värmebehov i klimatzon III	<b>36,5 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>
värmebehov i klimatzon III	5800 kWh/år
Maximalt effektbehov ut på värmesystemet	4 kW
Specifikt varmvattenbehov (exkl. värmeförluster)	<b>21,5 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>

varmvattenbehov (exkl. värmeförluster)	3400 kWh/år
<b>Specifikt energibehov netto, inkl. hushållsel</b>	<b>100 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>
energibehov netto, inkl. hushållsel	16 000 kWh/år
Specifik energianvändning (köpt energi), inkl. hushållsel ****	60 kWh/(år m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
energianvändning (köpt energi), inkl. hushållsel	9 600 kWh/år
Specifik energianvändning (köpt energi), exkl. hushållsel	30 kWh/(år m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
energianvändning (köpt energi), exkl. hushållsel	4 800 kWh/år

### 3.1.2 Enfamiljshus Renovering

Tabell 3: Typhus enfamiljshus med renoveringsbehov

Hustyp	Småhus NNE
Antal hushåll/lägenheter	1
Antal boende	4
Hushållsel	4800 kWh/år
<b>Specifik energianvändning, hushållsel</b>	<b>30 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>
Övrig byggnadsel	-
Specifik övrig byggnadsel	-
Tempererad golvarea, A <sub>temp</sub>	160 m <sup>2</sup>
Inre area omslutande klimatskal, A <sub>om</sub>	390 m <sup>2</sup>
Nominellt luftflöde; 0,35 liter/(s m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )	56 liter/s
Genomsnittligt värmegenomgångstal, U <sub>m</sub>	0,35 W/(K m <sup>2</sup> A <sub>om</sub> )
Lufttäthet (vid ±50 Pa)	0,8 liter/(s m <sup>2</sup> A <sub>om</sub> )
Spec. ventilationsvärmeförlust (vid DVUT)	0,42 W/(K m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
ventilationsvärmeförlust	67,2 W/K
temperaturverkningsgrad	0%
Specifik fläkteffekt SFP **	≤ 1,5 W/(liter/s)
fläkteffekt	≤ 85 W
Specifik fläktenergi	≤ 4,5 kWh/(år m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
fläktenergi	≤ 700 kWh/år
Specifik pumpeffekt värme- och varmvattendistribution ***	≤ 0,3 W/(m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
pumpeffekt värme- och varmvattendistribution	≤ 50 W
Specifik pumpenergi värme- och varmvattendistribution	≤ 1,5 kWh/(år m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
pumpenergi värme- och varmvattendistribution	≤ 250 kWh/år
Specifik värmeförlust varmvatten/VVC vid stand-by	≤ 1,0 W/(m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
värmeförlust varmvatten/VVC vid stand-by	≤ 160 W
Specifikt värmebehov varmvatten/VVC vid stand-by	≤ 9,0 kWh/(år m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
värmebehov varmvatten/VVC vid stand-by	≤ 1400 kWh/år
Specifikt värmebehov i klimatzon III	125 kWh/(år m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )



värmebehov i klimatzon III	20000 kWh/år
Maximalt effektbehov ut på värmesystemet	12 kW
Specifikt varmvattenbehov (exkl. värmeförluster)	<b>25 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>
varmvattenbehov (exkl. värmeförluster)	4000 kWh/år
<b>Specifikt energibehov netto, inkl. hushållsel</b>	<b>195 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>
energibehov netto, inkl. hushållsel	16 000 kWh/år
Specifik energianvändning (köpt energi), inkl. hushållsel ****	133 kWh/(år m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
energianvändning (köpt energi), inkl. hushållsel	21300
Specifik energianvändning (köpt energi), exkl. hushållsel	103 kWh/(år m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
energianvändning (köpt energi), exkl. hushållsel	16500 kWh/år

### 3.1.3 Flerfamiljshus Nybyggnation

Tabell 4 Typus flerfamiljshus för nybyggnation

Hustyp	Flerbostadshus NNE
Antal hushåll/lägenheter	40
Antal boende	80
Hushållsel	112 MWh/år
<b>Specifik energianvändning, hushållsel</b>	<b>28 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>
Övrig byggnadsel	8 MWh/år
Specifik övrig byggnadsel	<b>2 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>
Tempererad golvarea, A <sub>temp</sub>	4000 m <sup>2</sup> *
Inre area omslutande klimatskal, A <sub>om</sub>	6000 m <sup>2</sup>
Nominellt luftflöde; 0,35 liter/(s m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )	1,4 m <sup>3</sup> /s
Genomsnittligt värmegenomgångstal, U <sub>m</sub>	0,3 W/(K m <sup>2</sup> A <sub>om</sub> )
Lufttäthet (vid ±50 Pa)	0,3 liter/(s m <sup>2</sup> A <sub>om</sub> )
Spec. ventilationsvärmeförlust (vid DVUT)	0,14 W/(K m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
ventilationsvärmeförlust	0,56 kW/K
temperaturverkningsgrad	ca 80 %
Specifik fläkteffekt SFP **	≤ 1,3 kW/(m <sup>3</sup> /s)
fläkteffekt	≤ 1,8 kW
Specifik fläktenergi	<b>≤ 4,0 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>
fläktenergi	≤ 16 MWh/år
Specifik pumpeffekt värme- och varmvattendistribution ***	≤ 0,3 W/(m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
pumpeffekt värme- och varmvattendistribution	≤ 1,2 kW
Specifik pumpenergi värme- och varmvattendistribution	<b>≤ 1,3 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>
pumpenergi värme- och varmvattendistribution	≤ 5 MWh/år
Specifik värmeförlust varmvatten/VVC vid stand-by	≤ 0,3 W/(m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
värmeförlust varmvatten/VVC vid stand-by	≤ 1,2 kW

Specifikt värmebehov varmvatten/VVC vid stand-by	$\leq 2,5 \text{ kWh}/(\text{år m}^2 A_{\text{temp}})$
värmebehov varmvatten/VVC vid stand-by	$\leq 10 \text{ MWh}/\text{år}$
Specifikt värmebehov i klimatzon III	<b><math>34,5 \text{ kWh}/(\text{år m}^2 A_{\text{temp}})</math></b>
värmebehov i klimatzon III	$138 \text{ MWh}/\text{år}$
Maximalt effektbehov ut på värmesystemet	75 kW
Specifikt varmvattenbehov (exkl. värmeförluster)	<b><math>17,5 \text{ kWh}/(\text{år m}^2 A_{\text{temp}})</math></b>
varmvattenbehov (exkl. värmeförluster)	$70 \text{ MWh}/\text{år}$
<b>Specifikt energibehov netto, inkl. hushållsel</b>	<b><math>90 \text{ kWh}/(\text{år m}^2 A_{\text{temp}})</math></b>
energibehov netto, inkl. hushållsel	$360 \text{ MWh}/\text{år}$
Specifik energianvändning (köpt energi), inkl. hushållsel ****	$55 \text{ kWh}/(\text{år m}^2 A_{\text{temp}})$
energianvändning (köpt energi), inkl. hushållsel	$220 \text{ MWh}/\text{år}$
Specifik energianvändning (köpt energi), exkl. hushållsel	$27 \text{ kWh}/(\text{år m}^2 A_{\text{temp}})$
energianvändning (köpt energi), exkl. hushållsel	$108 \text{ MWh}/\text{år}$

### 3.1.4 Flerfamiljshus Renovering

Tabell 5 Typhus flerfamiljshus med renoveringsbehov

Hustyp	Flerbostadshus NNE
Antal hushåll/lägenheter	40
Antal boende	80
Hushållsel	$120 \text{ MWh}/\text{år}$
<b>Specifik energianvändning, hushållsel</b>	<b><math>30 \text{ kWh}/(\text{år m}^2 A_{\text{temp}})</math></b>
Övrig byggnadsel	$16 \text{ MWh}/\text{år}$
Specifik övrig byggnadsel	<b><math>4 \text{ kWh}/(\text{år m}^2 A_{\text{temp}})</math></b>
Tempererad golvarea, $A_{\text{temp}}$	$4000 \text{ m}^2 *$
Inre area omslutande klimatskal, $A_{\text{om}}$	$6000 \text{ m}^2$
Nominellt luftflöde; $0,35 \text{ liter}/(\text{s m}^2 A_{\text{temp}})$	$1,4 \text{ m}^3/\text{s}$
Genomsnittligt värmegenomgångstal, $U_m$	$0,55 \text{ W}/(\text{K m}^2 A_{\text{om}})$
Lufttäthet (vid $\pm 50 \text{ Pa}$ )	$0,6 \text{ liter}/(\text{s m}^2 A_{\text{om}})$
Spec. ventilationsvärmeförlust (vid DVUT)	$0,42 \text{ W}/(\text{K m}^2 A_{\text{temp}})$
ventilationsvärmeförlust	$1,68 \text{ kW}/\text{K}$
temperaturverkningsgrad	0%
Specifik fläkteffekt SFP **	$\leq 1,3 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
fläkteffekt	$\leq 1,8 \text{ kW}$
Specifik fläktenergi	<b><math>\leq 4,0 \text{ kWh}/(\text{år m}^2 A_{\text{temp}})</math></b>
fläktenergi	$\leq 16 \text{ MWh}/\text{år}$
Specifik pumpeffekt värme- och varmvattendistribution ***	$\leq 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 A_{\text{temp}})$
pumpeffekt värme- och varmvattendistribution	$\leq 1,2 \text{ kW}$
Specifik pumpenergi värme- och varmvattendistribution	<b><math>\leq 1,3 \text{ kWh}/(\text{år m}^2 A_{\text{temp}})</math></b>

pumpenergi värme- och varmvattendistribution	≤ 5 MWh/år
Specifik värmeförlust varmvatten/VVC vid stand-by	≤ 0,6 W/(m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
värmeförlust varmvatten/VVC vid stand-by	≤ 2,4 kW
Specifikt värmebehov varmvatten/VVC vid stand-by	≤ <b>5,0 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>
värmebehov varmvatten/VVC vid stand-by	≤ 20 MWh/år
Specifikt värmebehov i klimatzon III	<b>100 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>
värmebehov i klimatzon III	400 MWh/år
Maximalt effektbehov ut på värmesystemet	200 kW
Specifikt varmvattenbehov (exkl. värmeförluster)	<b>30 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>
varmvattenbehov (exkl. värmeförluster)	120 MWh/år
<b>Specifikt energibehov netto, inkl. hushållsel</b>	<b>175 kWh/(år m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>)</b>
energibehov netto, inkl. hushållsel	700 MWh/år
Specifik energianvändning (köpt energi), inkl. hushållsel ****	175 kWh/(år m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
energianvändning (köpt energi), inkl. hushållsel	700 MWh/år
Specifik energianvändning (köpt energi), exkl. hushållsel	145 kWh/(år m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
energianvändning (köpt energi), exkl. hushållsel	580 MWh/år

## 3.2 Resultat energiberäkningar

Energiberäkningar för typhusen presenterade i Tabell 2-4 är genomförda för de fyra olika fallen presenterade i Tabell 6 nedan. För de olika fallen har relevanta installationstekniska lösningar för värme och varmvatten jämförts med varandra.

Tabell 6: Olika fall för energiberäkningar

Enfamiljshus	Flerfamiljshus
Nybyggnation	Nybyggnation
Renovering	Renovering

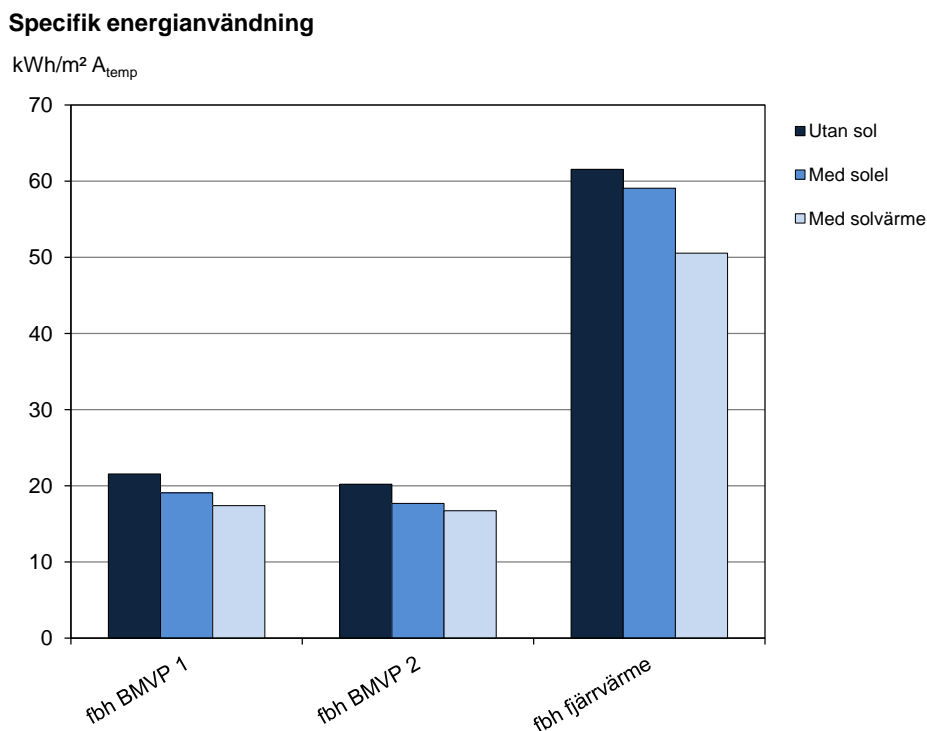
För energiberäkningarna har programvaran TMF Energi använts. För nybyggnadsalternativen har samtliga uppvärmningsalternativ som studerats även studerats med och utan solvärme och solceller för att undersöka potentialen att nå plusenergihus med standardiserande lösningar. För enfamiljshuset har en PV-installation på 3,3 kW<sub>peak</sub> som ger ca 3000 kWh antagits. Vidare har det antagits att 25% av den producerade elen kan användas direkt i byggnaden för att minska uppvärmningsbehovet enligt Boverkets Byggregler. För den resterande delen solcell har det antagits nettodebitering på månadsbasis. För den lilla resterande mängden egenproducerad solcell som inte täcks av nettodebiteringen har det antagits att den kan säljas ut på elnätet till Nordpools spotpris. Solvärmeinstallationen har antagits täcka 40% av tappvarmvattenbehovet och 10% av värmebehovet för typhuset vilket för enfamiljshuset innebär en anläggning som producerar . För flerfamiljshuset har en PV-installation på cirka 40 000 kWh antagits och även här har det antagits att 25% minskning av uppvärmningsbehovet enligt Boverkets Byggregler. För den resterande delen solcell har det antagits nettodebitering på månadsbasis. För den lilla resterande mängden egenproducerad solcell som inte täcks av nettodebiteringen har det antagits att den kan säljas ut på elnätet till Nordpools spotpris medan solvärme installationen har antagits för att täcka 40% av tappvarmvatten och 10% av värmebehovet för flerfamiljstypshuset. För en beskrivning av de olika antagna solsystemen se Tabell 7.

Tabell 7: Beskrivning av de olika antagna solsystemen

		Energi, kWh	Yta, m <sup>2</sup>	Toppeffekt, kWp
Enfamiljshus	Solvärme	1 940	4,5	-
	Solcell	3 000	21	3,3
Flerfamiljshus	Solvärme	41 800	97	-
	Solcell	40 000	260	44

### 3.2.1 Energiberäkning flerfamiljshus nybyggnation

För flerfamiljstypshuset Tabell 4 kan man se i Figur 2 att den specifika energianvändningen för basfallet utan solenergi, är lägre än de föreslagna kravnivåerna i Tabell 1 vilket betyder att NNE-nivåerna nås med relativt enkla installationstekniska förändringar. De indata som använts för energiberäkningarna finns presenterade i Tabell 8 och Tabell 9. Det kan även konstateras att fallet med solvärme ger en lägre specifik energianvändning än fallet med solel men att det med standardiserade storlekar på solanläggningarna är svårt att nå plusenergipotential. Anledningen till att fallet med solvärmeanläggningen blir lägre är det antaganden om storlek på de olika anläggningarna som gjort samt antaganden om täckningsgrad. För att nå plusenergipotential med de typhus och de värmepumpar vi ansatt som bas samt kombinerat med Boverkets byggregler krävs en soleanläggning på ungefär 350 kW<sub>p</sub> vilket för detta flerfamiljshus är en orimligt stor installation. 350 kW<sub>p</sub> kan jämföras med nordens största anläggning som ligger utanför Västerås och är på 1MW<sub>p</sub>. Om det istället antas nettodebitering över året, d.v.s. att all producerad solenergi kan kvittas mot köpt energi krävs det istället en anläggning på ca 90kW<sub>p</sub> vilket fortfarande är en stor soleanläggning men inom betydligt rimligare ramar. Detta motsvarar en anläggning på ca: 584 m<sup>2</sup> vilket kan jämföras med vår temperade golvarea om 4000 m<sup>2</sup>. I detta exempel har hushållselen uteslutits enligt BBR.



Figur 2: Energiberäkning, flerfamiljshus, nybyggnation

**Tabell 8: Indata värmepumpsystem 1 flerfamiljstypus**

<b>BMVP 1, NNE-flerfamiljstypus</b>		
P vp värme, 0/35°C	90980	(W)
COP, värme, 0/35°C	4.60	(-)
P vp värme, 0/45°C	87040	(W)
COP, värme, 0/45°C	3.66	(-)
Superheater	Nej	
A-klassad cirkulationspump	ja	
Tomgångseffekt, el	1201.6	(W)
Installerad eleffekt	35880	(W)

**Tabell 9: Indata värmepumpsystem 2 flerfamiljstypus**

<b>BMVP 2, NNE-flerfamiljstypus</b>		
P vp värme, 0/35°C	86513	(W)
COP, värme, 0/35°C	4.948	(-)
P vp värme, 0/45°C	84206	(W)
COP, värme, 0/45°C	3.970	(-)
Superheater	nej	
A-klassad cirkulationspump	100	
Tomgångseffekt, el	ja	(W)
Installerad eleffekt	ja	(W)

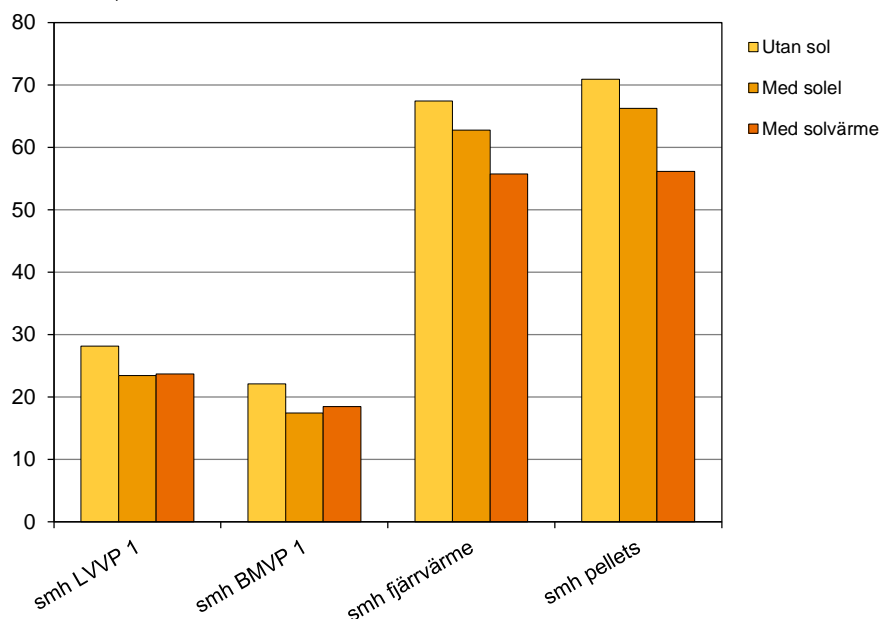
### 3.2.2 Energiberäkning enfamiljhus nybyggnation

Energibesparingspotentialen för det typiska enfamiljs NNE-typhuset, Tabell 2, presenteras i Figur 3 och visar att den specifika energianvändningen i basfallet utan solenergi ligger under de föreslagna nivåerna i Tabell 1 vilket betyder att NNE-nivåerna nås med relativt enkla installationstekniska förändringar. De indata som använts för energiberäkningarna finns i Tabell 10 och

Tabell 11. Det kan även konstateras att både solex och solvärme ger en bättre specifik energianvändning än basfallet utan sol. För enfamiljshuset blir de i det två fallen med värmepump lägst specifik energianvändning i kombination med de solexsystem som antagits. Anledningen till att det skiljer mellan flerfamiljshuset och enfamiljshuset i frågan om solvärme eller solexsystemet får lägst specifik energianvändning beror de antagande om storlek och täckningsgrad för solvärmens som gjorts och de skillnader i tappvarmvatten och uppvärmningsbehov som finns mellan enfamiljshuset och flerfamiljshuset. Med standardiserade storlekar på de olika solanläggningarna är svårt att nå plusenergipotential med det typhus och de värmepumpar vi ansatt som bas. Detta beror på att endast en mindre andel av den totalt producerade solexen bidra till att minska den specifika energianvändningen i byggnaden. Det betyder att det krävs en solexanläggning på ungefär  $14 \text{ kW}_p$  för att nå plusenergivåer vilket för enfamiljshuset är en orimligt stor installation. Om det istället antas nettodebitering på årsbasis, dvs att all producerad solex kan kvittas mot köpt energi krävs det istället en anläggning på ca  $4 \text{ kW}_p$  vilket är en standardiserad anläggning med dagens mått. I detta exempel har hushållselen uteslutits enligt BBR.

### Specifik energianvändning

$\text{kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$



Figur 3: Energiberäkning, enfamiljshus, nybyggnation

Tabell 10: Indata BMVP 1 enfamiljstyphus

BMVP 1, NNE-enfamiljstyphus		
P vp värme, 0/35°C	4750	(W)

COP, värme, 0/35°C	4.24	(-)
P vp värme, 0/45°C	4500	(W)
COP, värme, 0/45°C	3.28	(-)
Superheater	nej	
A-klassad cirkulationspump	ja	
Tomgångseffekt, el	55	(W)
Installerad eleffekt	4500	(W)



**Tabell 11: Indata LVVP 2 enfamiljstypus**

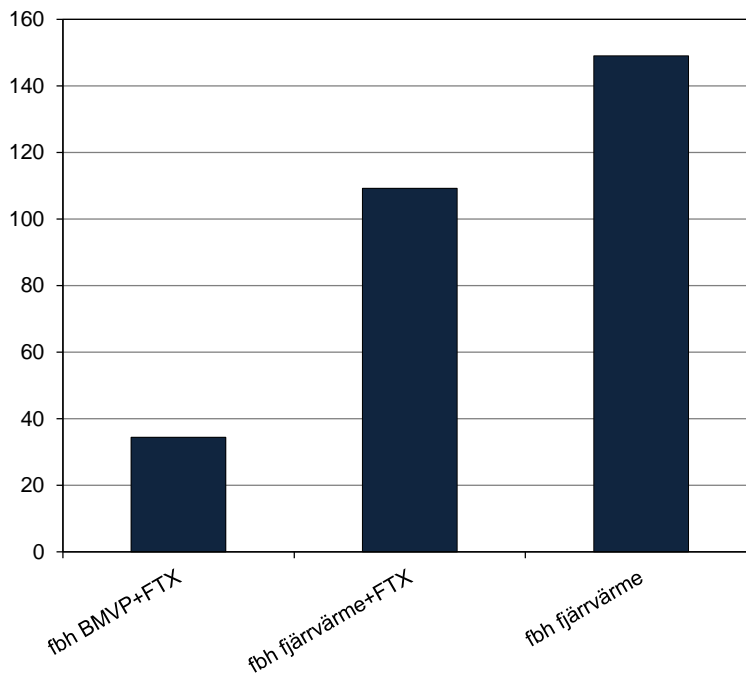
<b>LVVP 1 NNE-enfamiljstypus</b>		
P vp värme, 7/35°C	6110	(W)
COP, värme, 7/35°C	4.46	(-)
P vp värme, 7/45°C	5890	(W)
COP, värme, 7/45°C	3.35	(-)
P vp värme, -15/35°C	4720	(W)
COP, värme, -15/35°C	2.07	(-)
P vp värme, -15/45°C	4380	(W)
COP, värme, -15/45°C	1.56	(-)
Superheater, varmvatten	nej	
Tomgångseffekt, el	100	(W)
Installerad eleffekt	1000	(W)

### 3.2.3 Energiberäkning flerfamiljhus renovering

Energibesparingspotentialen för det typiska flerfamiljhuset med renoveringsbehov, Tabell 5, har beräknats med mjukvaran TMF Energi. De indata som använts i simuleringen presenteras i Tabell 12. Här har ett standardfall med fjärrvärme simulerats mot ett fall med bergvärmepump och FTX aggregat för att visa på energibesparingspotentialen enbart med dessa enkla förbättringar. Självklart finns det stor energibesparingspotential vid tätningsåtgärder och byte av fönster men i detta fall har vi enbart fokuserat på besparingspotentialen från fjärrvärme till bergvärmepump och FTX-aggregat. Resultatet, Figur 4, visar att det finns stor energibesparingspotential med dessa relativt enkla åtgärder. Nivåerna i Figur 4 kan sedan jämföras med de av energimyndigheten föreslagna NNE-kravnivåerna för större renoveringar av flerfamiljhus, Tabell 13 och då konstateras att föreslagna kravnivåer kan nås med bergvärmepump och FTX-ventilation för det föreslagna typhuset.

### Specifik energianvändning

kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>



Figur 4: Energiberäkning, flerfamiljshus, renovering

Tabell 12: Indata BMVP flerfamiljstypus

BMVP NNE-flerfamiljstypus		
P vp värme, 0/35°C	160000	(W)
COP, värme, 0/35°C	4.60	(-)
P vp värme, 0/45°C	155000	(W)
COP, värme, 0/45°C	3.66	(-)
Superheater	nej	
A-klassad cirkulationspump	nej	
Tomgångseffekt, el	1200	(W)
Installerad eleffekt	35880	(W)

**Tabell 13: Av Energimyndigheten (2010) föreslagna NNE-kravnivåer för större renovering av byggnader**

Klimatzon	Elvärmda (kWh/m <sup>2</sup> år)			Icke-elvärmda (kWh/m <sup>2</sup> år)		
	I	II	III	I	II	III
Bostäder	<b>70</b>	<b>55</b>	<b>40</b>	<b>105</b>	<b>90</b>	<b>75</b>
Lokaler	<b>70</b>	<b>55</b>	<b>40</b>	<b>100</b>	<b>85</b>	<b>70</b>

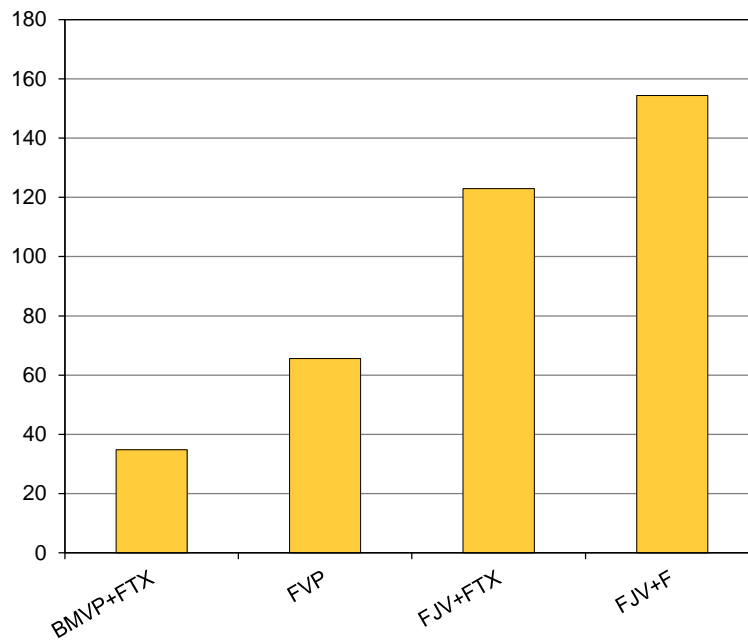
### 3.2.4 Energiberäkning enfamiljshus renovering

Energibesparingspotentialen för det typiska enfamiljshuset med renoveringsbehov, Tabell 3, har simulerats med mjukvaran TMF Energi. De indata som använts i energiberäkningen finns i Tabell 14 och

Tabell 15. Här har ett standardfall med fjärrvärme + frånluftsventilation simulerats samt tre olika effektiviseringsfall med FV+FTX, frånluftsvärmepump (FVP) samt BMVP+FTX för att visa på energibesparingspotentialen enbart med dessa relativt enkla förbättringar. Självklart finns det stor energibesparingspotential vid tätningsåtgärder och byte av fönster men i detta fall har vi enbart fokuserat på besparingspotentialen från fjärrvärme till frånluftsvärmepump, bergvärmepump och FTX-aggregat. Resultatet, se Figur 5, visar att det finns stor energibesparingspotential med dessa relativt enkla åtgärder. Nivåerna i Figur 5 kan sedan jämföras med de av energimyndigheten föreslagna NNE-kravnivåerna för större renoveringar av enfamiljshus, Tabell 13, och då konstateras att föreslagna kravnivåer kan nås med bergvärmepump och FTX-ventilation för det föreslagna enfamiljshuset med renoveringsbehov.

### Specifik energianvändning

kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>



Figur 5: Energiberäkning, enfamiljshus, renovering

Tabell 14: Indata BMVP NNE-enfamiljstypshus, renovering

BMVP NNE-enfamiljstypshus, renovering		
P vp värme, 0/35°C	7670	(W)
COP, värme, 0/35°C	4.68	(-)
P vp värme, 0/45°C	6700	(W)
COP, värme, 0/45°C	3.67	(-)
Superheater	nej	
A-klassad cirkulationspump	100	
Tomgångseffekt, el	nej	(W)
Installerad eleffekt	ja	(W)

Tabell 15 Indata FVP, NNE-enfamiljstypus, renovering

FVP NNE-enfamiljstypus, renovering		
Qnom	50	l/s
P vp värme nom, 20/35°C	1424	(W)
COP, värme nom, 20/35°C	5.12	(-)
P vp värme nom, 20/45°C	1304	(W)
COP, värme nom, 20/45°C	3.74	(-)
P vp värme max, 20/35°C	3452	(W)
COP, värme max, 20/35°C	3.08	(-)
P vp värme max, 20/45°C	3726	(W)
COP, värme max, 20/45°C	2.63	(-)
Tomgångseffekt, el	36	(W)
Installerad eleffekt	4500	(W)

### 3.3 System för vidareutveckling

Projektets industrideltagare var mest intresserade av att gå vidare med lösningar för fallen: **nybyggt NNE-enfamiljshus och nybyggt NNE-flerfamiljshus**. I en iterativ process tillsammans med hela projektgruppen valdes följande systemlösningar för både enfamiljshus och flerfamiljshus.

Värmekälla: Bergvärme

Tillverkarna av enfamiljshus i Sverige vill ha en enkel lösning med en värmepump som fungerar i alla klimatzoner av ekonomiska skäl. De ville också ha en lösning som skulle kunna täcka hela uppvärmningsbehovet året runt av energibesparings skäl. Av erfarenhet visste man att det är rimligt att utforma en luft/vatten värmepump att täcka efterfrågan på värme ner till ca -5 °C, men inte vid lägre utomhustemperaturer. Därför valdes lösningar med luft/vatten bort. Alternativet med markkolektorer diskuterades också och går att kombinera med vätska/vatten värmepumpen men bristen på utrymme för horisontella marksystem i områden med nybyggda hus gjorde att även denna lösning valdes bort.

Värmeåtervinning: FTX

Lufttätheten på  $0,2 \text{ dm}^3 / (\text{s m}^2 A_{\text{om}})$  hos typhuset är bättre än för många andra byggnader, vilket leder till ett behov av mekanisk fläktstyrd ventilation, annars kan det bli problem med kvalitén på inomhusluften. Många nybyggda hus i Sverige idag, är utrustade med en inverterstyrd frånluftsvärmepump (mekanisk frånluft). Denna lösning har valts bort på grund av två skäl, för det första att det genom erfarenheten är känt att det är svårt att möta de tuffa kraven på specifik energianvändning med en frånluftsvärmepump. För det andra har FTX-ventilerat hus en mycket längre tidskonstant och är därför bättre anpassat till framtidens smarta elnät.

Värmedistributionssystemet: Golvvärme

Golvvärme är det bästa alternativet ur energisparsynpunkt på grund av den låga temperaturen i framledningen. Tidigare har det funnits problem med att installera golvvärme på andra våningen i enfamiljshus på grund av inställningar i bärande balkar, men ny forskning har löst dessa problem. Hustillverkarna i projektet förordade även golvvärme av estetiska skäl som är nog så viktigt.

### 3.4 System för NNE-enfamiljstyphus nybyggnation

Värmekälla: Bergvärme

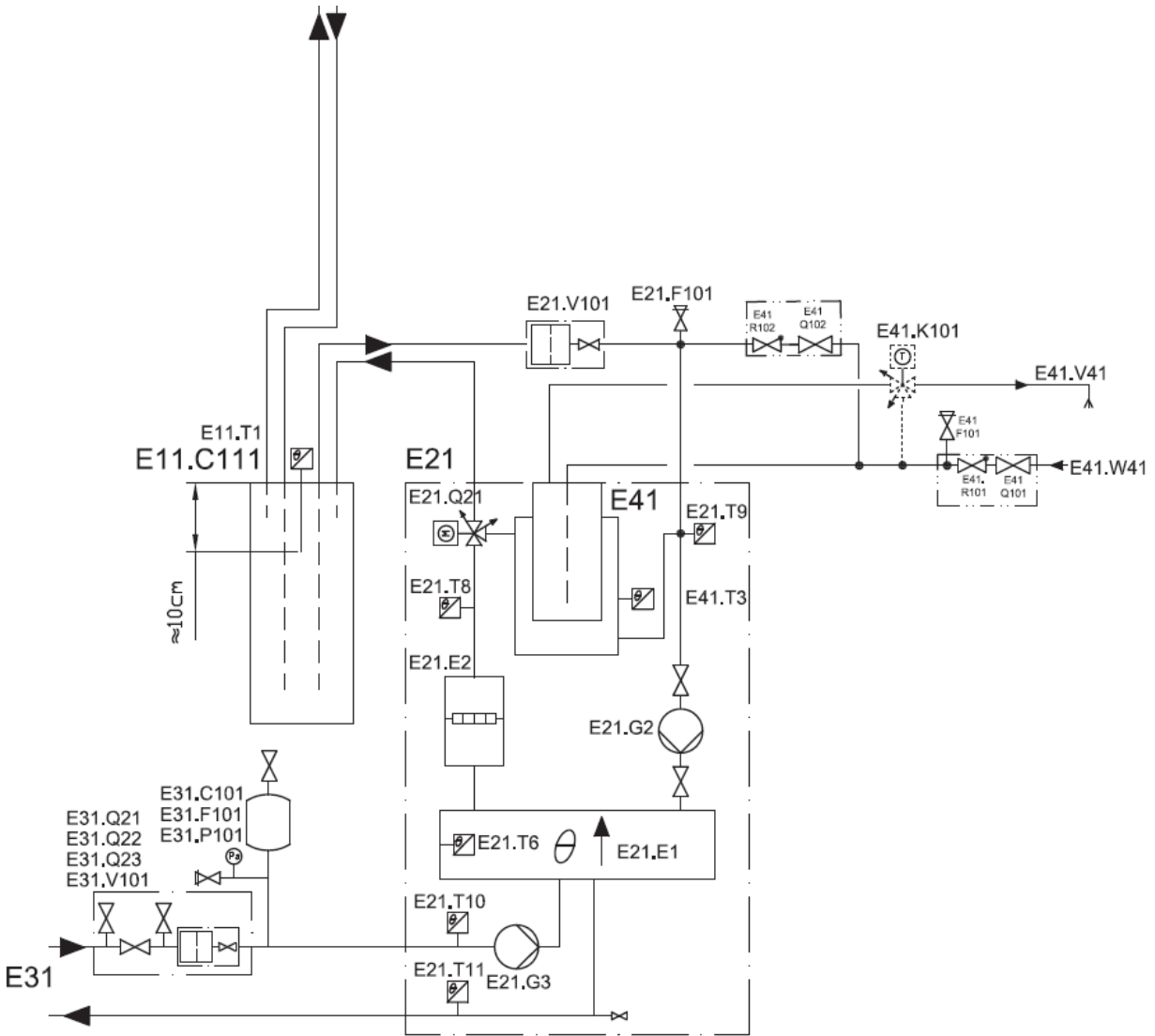
Värmeåtervinning: FTX

Värmedistributionssystemet: Golvvärme

Värmepump: på/av-drift med extra 115 l tank mellan VP och värmesystemet för att minska antalet start och stopp vid värmedrift. Prestanda enligt Tabell 16 nedan.

**Tabell 16: Data värmepumpsystem enfamiljstyphus**

<b>Värmepump, NNE-enfamiljstyphus</b>		
P vp värme, 0/35°C	4750	(W)
COP, värme, 0/35°C	4.24	(-)
P vp värme, 0/45°C	4500	(W)
COP, värme, 0/45°C	3.28	(-)
Superheater	nej	
A-klassad cirkulationspump	ja	
Tomgångseffekt, el	55	(W)
Installerad eleffekt	4500	(W)



Figur 6: Skiss över värmepumpsystemet med extra arbetstank för det nybyggda NNE-enfamiljstypshuset

### 3.5 System för NNE-flerfamiljstypshus nybyggnation

Värmekälla: Bergvärme

Värmeåtervinning: FTX

Värmedistributionssystemet: Golvvärme

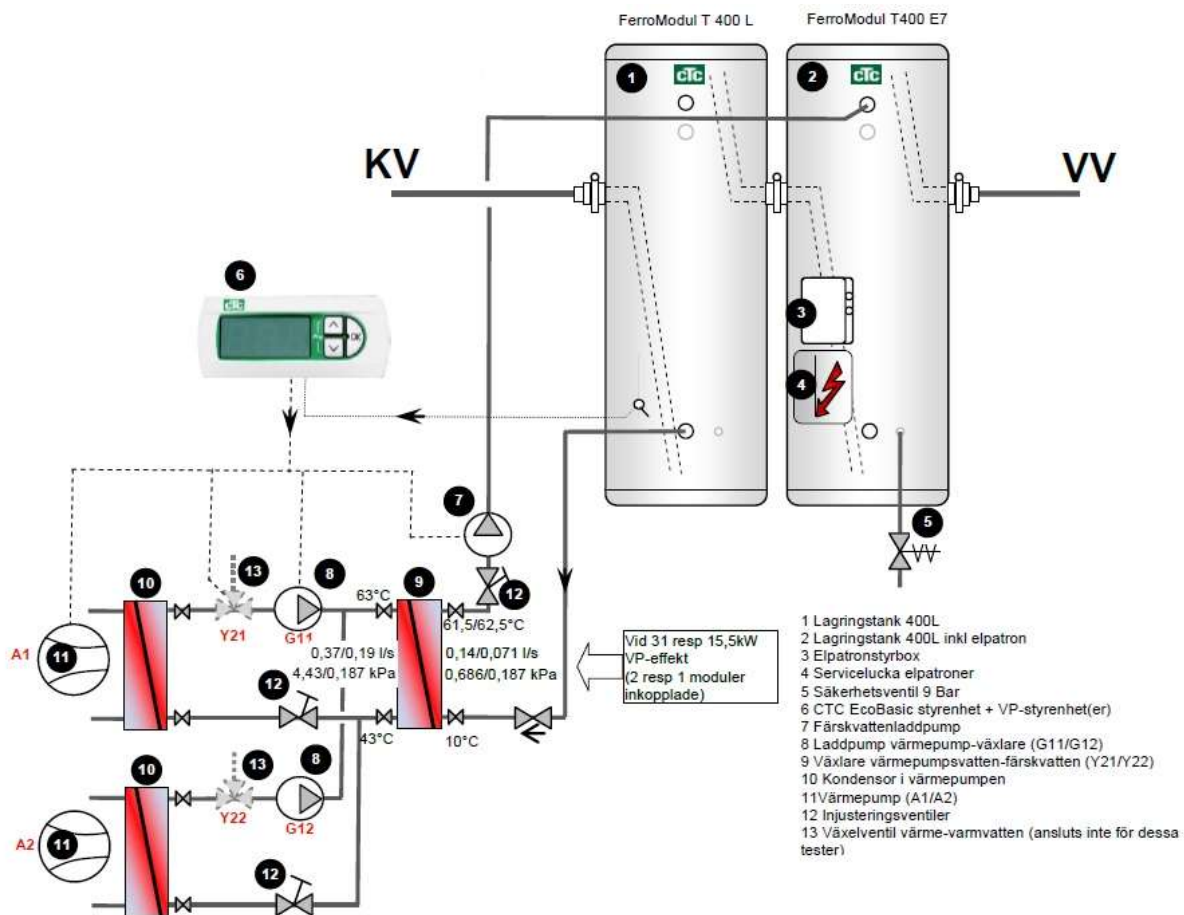
Värmepump: på/av-drift

Tanksystem: 2x400 l färskvatten med direktladdning enligt figur

Tabell 17: Data värmepumpsystemet NNE- flerfamiljstypshus

Värmepump, NNE-flerfamiljstypshus		

P vp värme, 0/35°C	90980	(W)
COP, värme, 0/35°C	4.60	(-)
P vp värme, 0/45°C	87040	(W)
COP, värme, 0/45°C	3.66	(-)
Superheater	no	
A-klassad cirkulationspump	yes	
Tomgångseffekt, el	1201.6	(W)
Installerad eleffekt	35880	(W)



Figur 7: Systemskiss värmepumpsystemet NE-flerfamiljstypshuset, nybyggnation



### 3.6 Resultat LCC analys

En LCC-analys utfördes för de framtagna systemen tillsammans med de typhus som tagits fram i projektet. Tabell 18 visar villkoren som använts i LCC-analysen. För elpris, fjärrvärmepris och pelletspris har månatliga variationer under året har använts. Tabell 18 ger medelpriserna för el, fjärrvärme och pellets.

**Tabell 18: Villkor LCC analys**

Variabel	Värde	Enhet
Diskonteringsränta	4.0%	
Kalkylperiod	30	år
Elpris (medelvärde)	1.46	SEK/kWh
Fjärrvärmepris (medelvärde)	0.67	SEK/kWh
Pelletpris (medelvärde)	0.55	SEK/kWh
Elprisökning per år	3.0%	
Fjärrvärmeprisökning per år	2.0%	
Pelletprisökning per år	2.0%	

De investeringskostnader som antagits för fallet med enfamiljshuset visas i Tabell 19.

**Tabell 19: Investeringskostnader enfamiljshuset, nybyggnation**

Enfamiljshus			
Typ av investering	Investeringskostnad (SEK)	Livslängd (år)	Källa
Bergvärmepump	73 500	15	Bosch Termoteknik
Borrhål	37 500	75	Wahlström et al 2013
Luft/vatten-värmepump	80 800	15	Bosch Termoteknik
Fjärrvärmecentral	20 600	20	Fortum Sthlm
Pelletspanna	63 750	20	NEED4BE
Solfångare + ackumulatortank	56 250	20	Svensk Solenergi
Skorsten	18 750	20	NEED4BE
Rör mm.	6 250	30	NEED4BE
PV- installation, totalt per kWp	20 000		Svensk Solenergi
PV-moduler, per kWp	12 000	25	Svensk Solenergi
Växelriktare, per kWp	2 000	15	Svensk Solenergi
PV-moduler: ytterligare kostnader, per kWp	6 000	25	Svensk

			Solenergi
PV-installation: bidrag, per kWp	-7 000	25	Svensk Solenergi

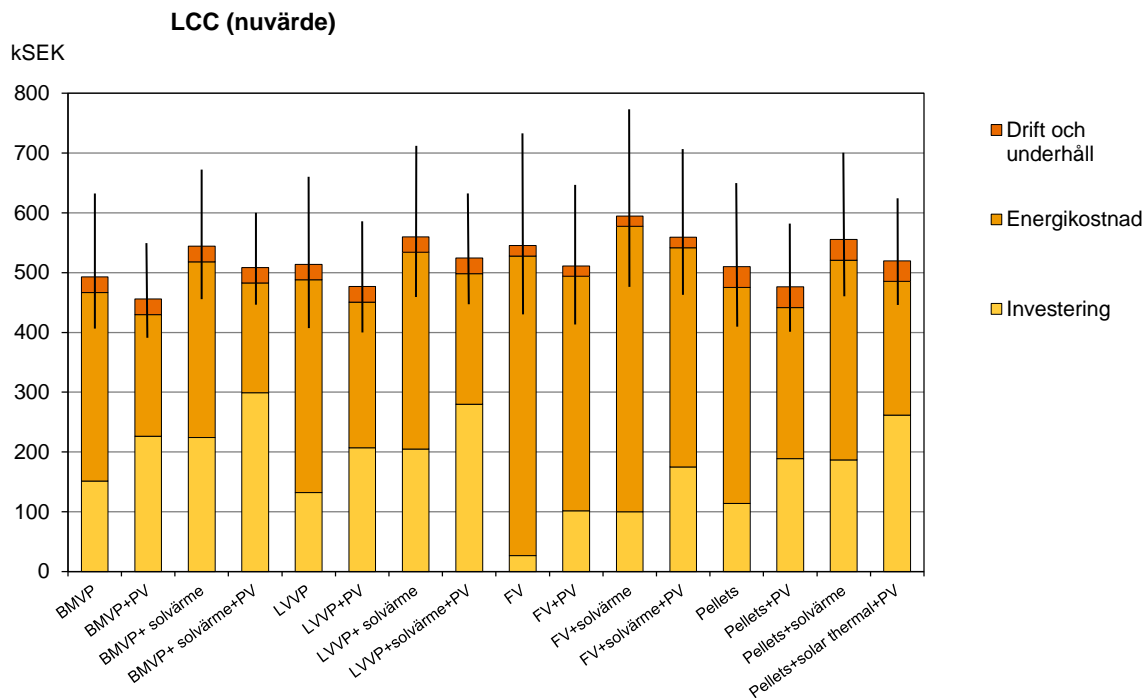
Antagna investeringskostnader för installationstekniken för flerfamiljshuset presenteras i Tabell 20.

**Tabell 20 Investeringskostnader flerfamiljshuset, nybyggnation**

<b>Flerfamiljshus</b>			
<b>Typ av investering</b>	<b>Investeringskostnad (SEK)</b>	<b>Livslängd (år)</b>	<b>Källa</b>
Bergvärmepump	440 000	15	Wahlström et al 2013
Borrhål	308 000	75	Wahlström et al 2013
Fjärrvärmecentral	60 000	20	Fortum Sthlm
Solfångare + ackumulatortank	100 000	25	Svensk Solenergi
PV- installation, totalt per kWp	20 000		Svensk Solenergi
PV-moduler, per kWp	12 000	25	Svensk Solenergi
Växelriktare, per kWp	2 000	15	Svensk Solenergi
PV-moduler: ytterligare kostnader, per kWp	6 000	25	Svensk Solenergi
PV-installation: bidrag, per kWp	-7 000	25	Svensk Solenergi

### 3.6.1 Resultat livscykelanalys NNE-enfamiljshustypus

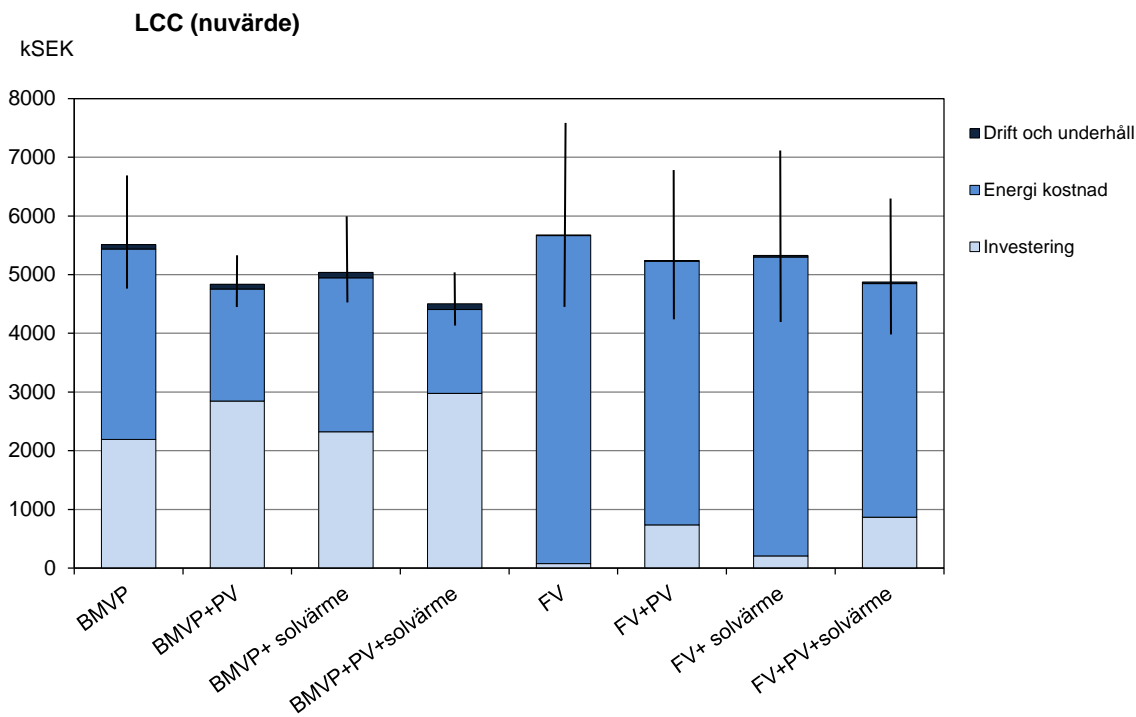
Från LCC-analysen kan man se att nuvärdet för det utvecklade bergvärmesystemet är något bättre än systemet med luft/vatten-värmepump och systemet med fjärrvärme. Alternativet med pellets kommer ut lite sämre än systemet med bergvärme som kan ses i Figur 8. Samtliga fall har även studerats med solceller (PV) och solvärme som tillägg där det för överskottselen har det antagits nettodebitering på månadsbasis. Den mängden el som inte inkluderades i nettodebiteringen har antagits kunna sålts till ett elhandelsbolag till spotpriset på Nordpool. Spotpriset på Nordpool har beräknats från statistiska uppgifter från 2008 till 2012 med månatliga variationer. Det resulterade i ett medelspotpris på 0,43 kr/kWh och elcertifikat har antagits för att kunna säljas till 0,20 kr/kWh. Från känslighetsanalysen som presenteras i kapitel 3.7 kan vi se att resultatet ifrån LCC-beräkningen är relativt känsligt för förändringar hos de olika parametrarna. Därför har ett konfidensintervall lagts till Figur 8 och Figur 9 där parametrarna elprisökning och diskonteringsränta varierats +/- 2 % ifrån standardvärdena.



**Figur 8: Livscykelanalys för olika uppvärmningsalternativ för NNE-enfamiljshus (typhus)**

### 3.6.2 Resultat livscykelanalys NNE-flerfamiljstypshus

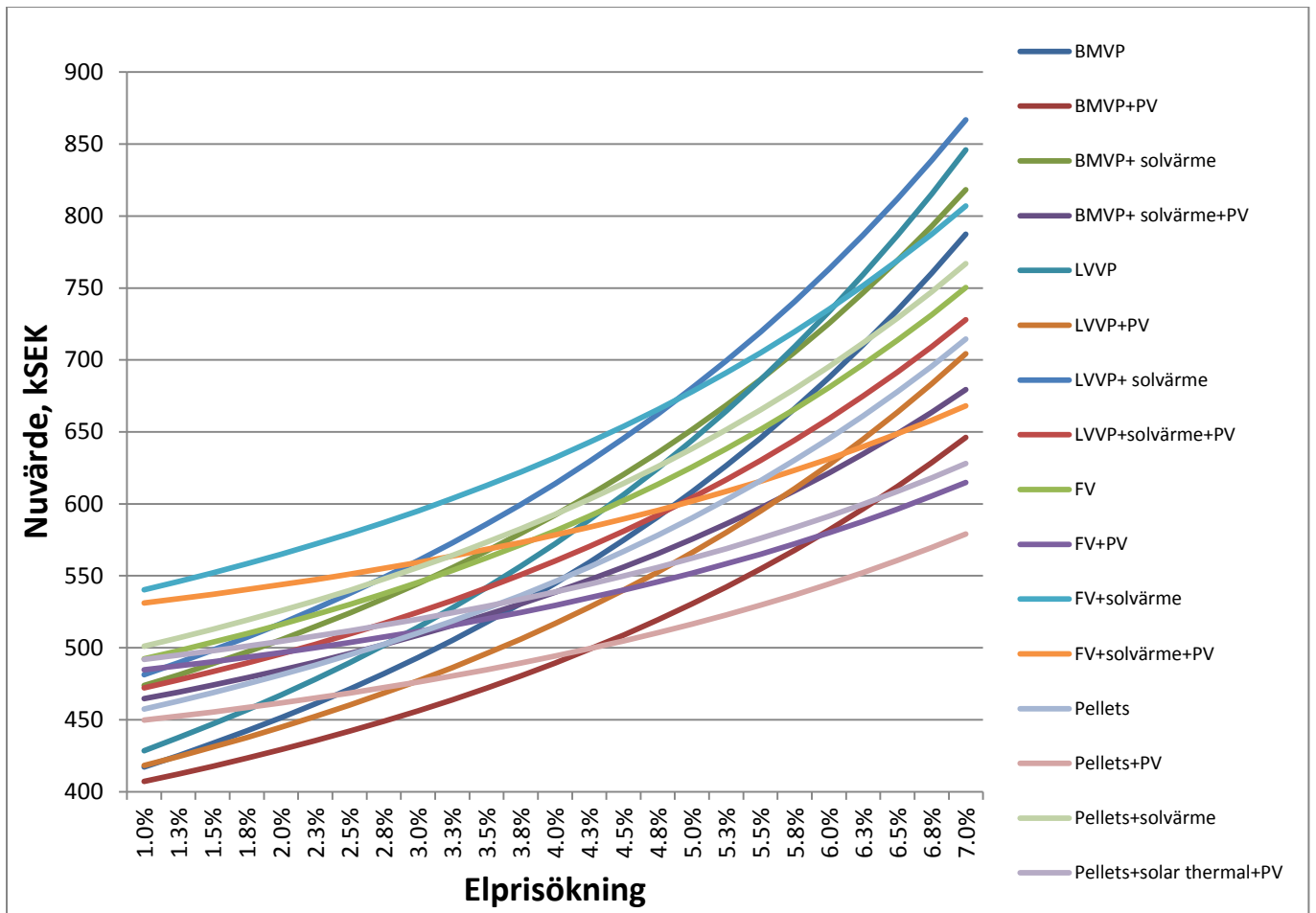
Från LCC-analysen kan man se att nuvärdet för bergvärmesystemet är strax under fjärrvärmealternativet vilket kan ses i Figur 9. Det betyder att systemet är relativt känsligt för ändringar i de antagna parametrarna vilket undersöks närmare i känslighetsanalysen i avsnitt 3.7.



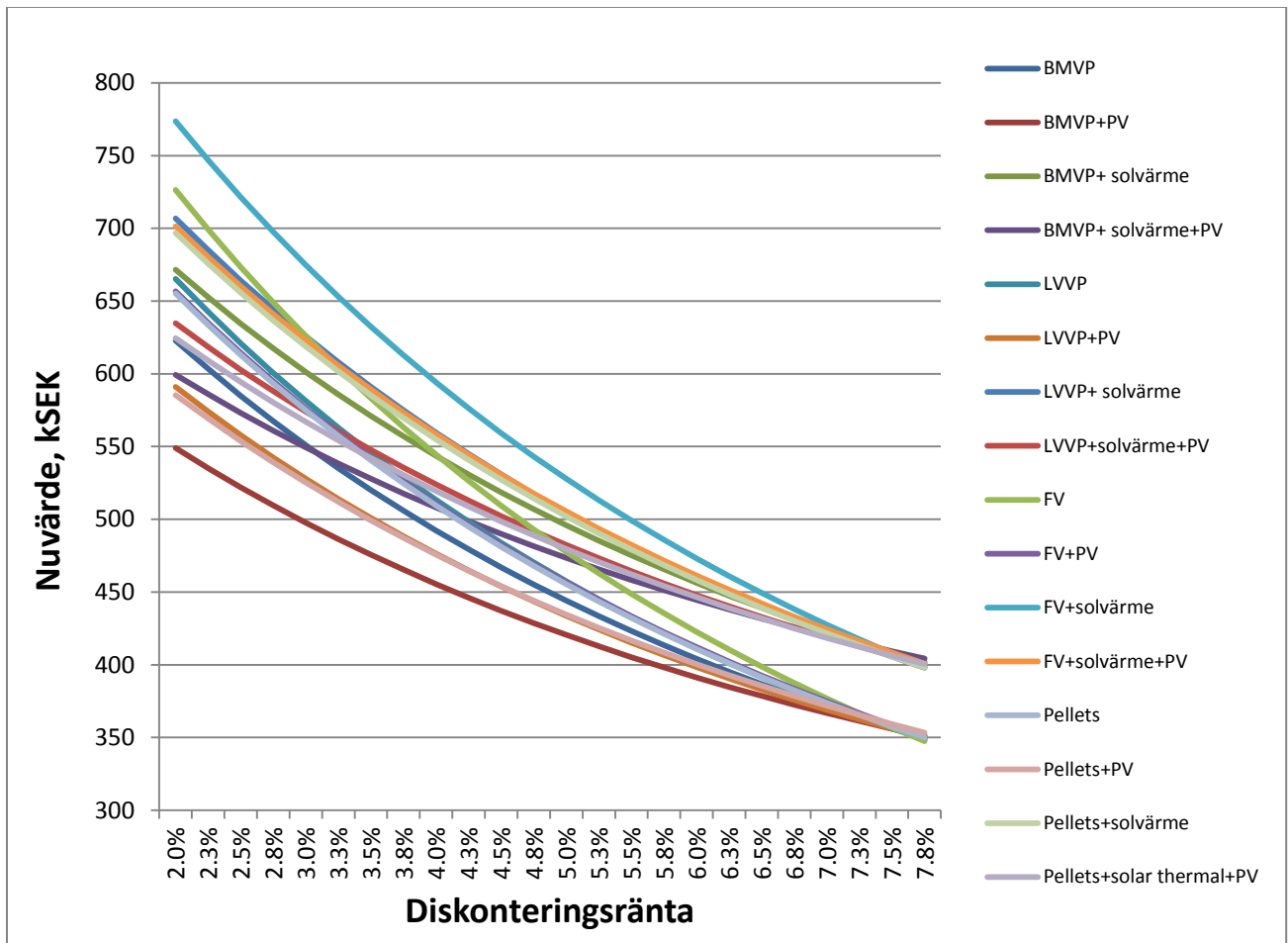
**Figur 9: Livscykelanalys för olika uppvärmningsalternativ för NNE-flerfamiljshus (typhus)**

### 3.7 Känslighetsanalys

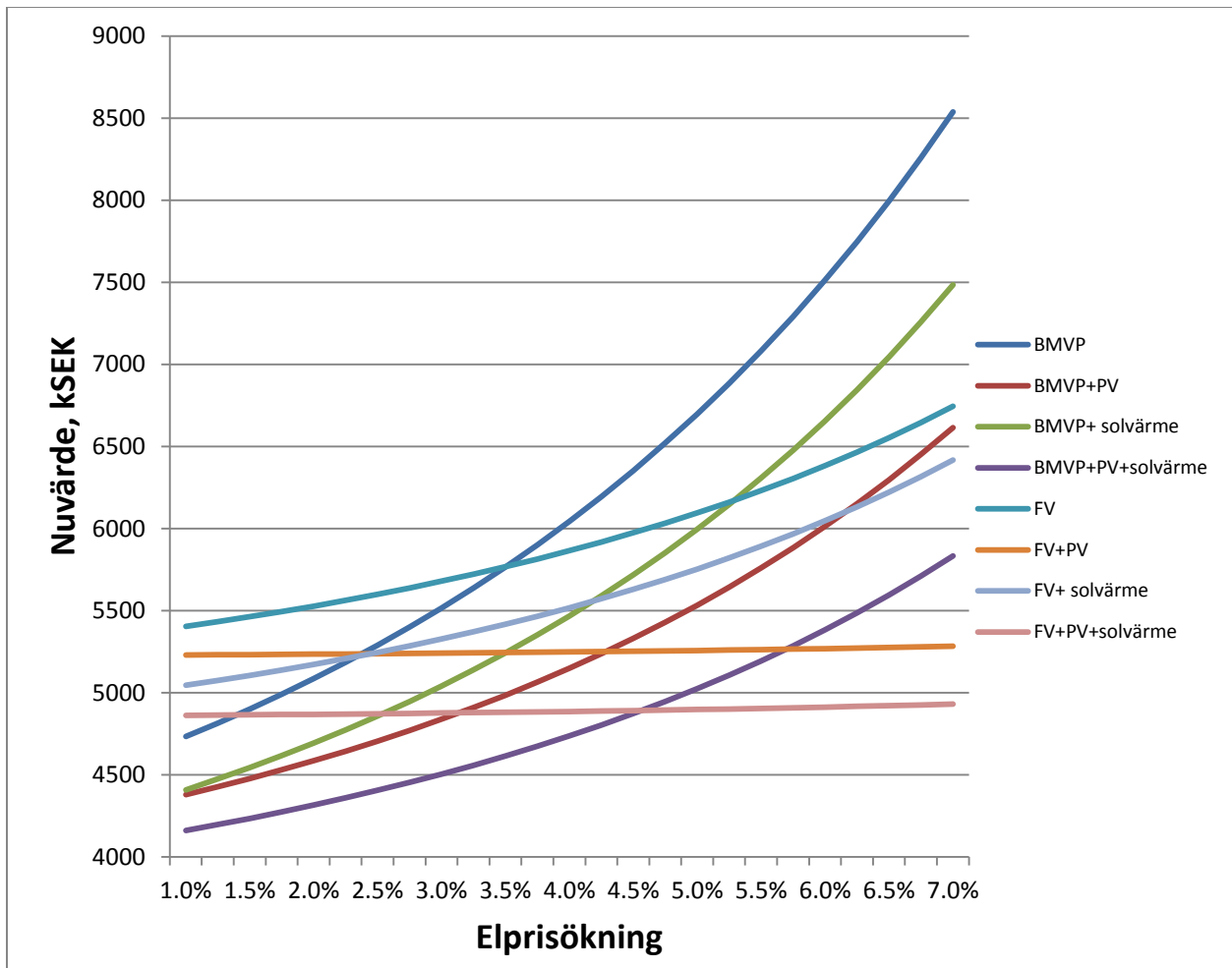
En känslighetsanalys har genomförts för de viktigaste parametrarna i LCC-analysen. Från känslighetsanalysen kan det konstateras att små variationer på de flesta parametrar förändrar vilken systemlösning som är den mest kostnadseffektiva lösningen både för flerfamiljshuset och för enfamiljshuset. Detta visar på att systemet är relativt känsligt för utvecklingen på marknaden både gällande energipriser och diskonteringsränta. De systemlösningar med hög elförbrukning som inte har egenproducerad el ifrån solceller är såklart mest känsliga för en ökning av elpriset vilket kan ses Figur 10 och Figur 12 nedan. De system som påverkas mest av ett högre elpris är luftvatten värmepumpen och bergvärmepumpen medan fjärrvärmealternativet är mer okänsligt mot elprisökningen jämfört med värmepumpsalternativen. Vad gäller diskonteringsräntan och fallet med flerbostadshuset så kan man se i Figur 13 nedan att när diskonteringsräntan börjar närma sig 4,5 - 5,0 % så börjar systemen med fjärrvärme som bas att bli billigare än systemen med fjärrvärme som bas på grund av de lägre investeringskostandena hos fjärrvärmealternativen.



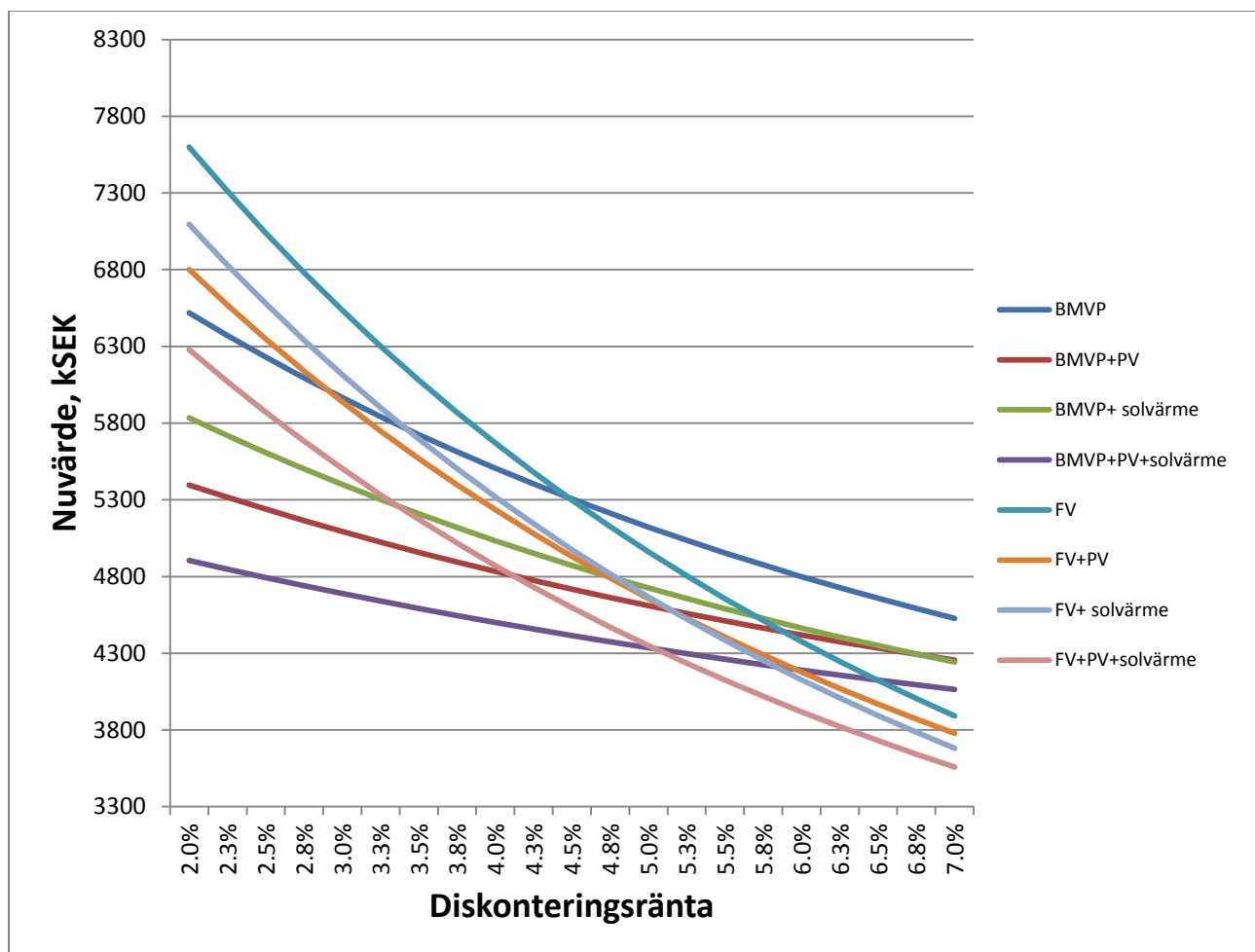
Figur 10: känslighetsanalys elprisökning för olika systemlösningar för NNE-enfamiljstypshuset



Figur 11: känslighetsanalys diskonteringsränta för olika systemlösningar för NNE-enfamiljstypshuset



Figur 12: känslighetsanalys elprisökning för olika systemlösningar för NNE-flerfamiljstypshuset



Figur 13: känslighetsanalys diskonteringsränta för olika systemlösningar för NNE-flerfamiljstypshuset

### 3.8 Resultat laboratorieprovningar

De värmepumpsystem som tillverkarna och projektgruppen var intresserade av att ta vidare för provning i labb var alltså systemet anpassad för ett nybyggt enfamiljs NNE-hus samt ett nybyggt flerfamiljs NNE-hus. Värmepumpsystemet för enfamiljshuset provades i SPs labb för både värmedrift och tappvattenprestanda enligt tappcykel large i Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013). Värmepumpsystemet för flerfamiljshuset provades endast för tappvarmvattenproduktion enligt Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013) då värmepumpen provats för värmedrift tidigare.



### 3.8.1 Resultat laboratorieprovning av värmepumpsystemet för NNE-enfamiljstyphuset

Värmepumpsystemet för enfamiljshuset har provats både för värmedrift och enligt tappcykel large i Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013). Utgående ifrån dessa provningar har ett "seasonal coefficient of performance" (SCOP) beräknats för projektets typhus beläget på två platser.

#### Testresultat vid rumsuppvärmning enligt EN 14511:2011

Tabell 21: Testresultat vid rumsuppvärmning enligt EN 14511:2011

Provpunkt		1	2*	3
$t_{wo}$	°C	25	35	45
$t_{ci}$	°C	0	0	0
* Standard rating condition				
Eleffekt efter korrektion	kW			
Total	PE	0.90	1.12	1.39
Värmeeffekt efter korrektion	kW			
Avgiven	PH	5.16	4.96	4.71
Värmefaktor efter korrektion	( - )			
Total	COP	5.73	4.44	3.38

#### Resultat för värmning av tappvatten värmepump för enfamiljshus

Komfortdrift, Köldbärare 0/-3

Tabell 22: Testresultat tapp-prov enligt tappcykel large i Ekodesignförordningen för vattenvärmare

Uppladdning	$t_h$	2.7	H	
	$W_{eh}$	4.11	kWh	
Tomgång	$W_{es}$	1.4	kWh	
	$t_{es}$	24.4	h	
	$P_{es}$	56	W	
Tappcykel L	$t_{TTC}$	24.5	h	
	$W_{EL-M-TC}$	5.58	kWh	
	Summa $W_{EL-}$	0.04	kWh	

	corr			
	W <sub>EL-HP-TC</sub>	5.54	kWh	
	Q <sub>HP-TC</sub>	11.75	kWh	
	Q <sub>EL-TC</sub>	0.00	kWh	
	Q <sub>TC</sub>	11.75	kWh	
Korrektion av värmeförluster till 24 timmar:				
	W <sub>EL-TC</sub>	5.51	kWh	
COP	COP	2.13		
Maxvolym:	T <sub>40</sub>	0.27	h	
	V <sub>max</sub>	0.269	m <sup>3</sup>	
	RefT <sub>WH</sub>	56.2	°C	

### Mätning av "småförbrukare"

Compressor off mode: 18,8 W

Standby mode: 5,4 W

Off mode: 4,9 W

### Resultat energisparberäkning baserad på SP metod 4967-1

En närmare beskrivning av SP metod 4967-1 finns i appendix 1.

Enfamiljs NNE-typhus, Pdesign 4 kW

Tappcykel 9,32 kWh/dygn

Nytt klimat (Borås), data från meteonorm

Data korrigerade enl. EN14511

Typhus		NNE hus	NNE hus
Värmedistributionssystem		Lågtemperatur	Lågtemperatur
Tappcykel		Large	Large
Climate		Kallt (Helsingfors)	Borås
Termostat av inkluderad i SCOP <sub>kombi</sub> beräkningarna		ja	ja

### Totalt (Värme och tappvarmvatten)

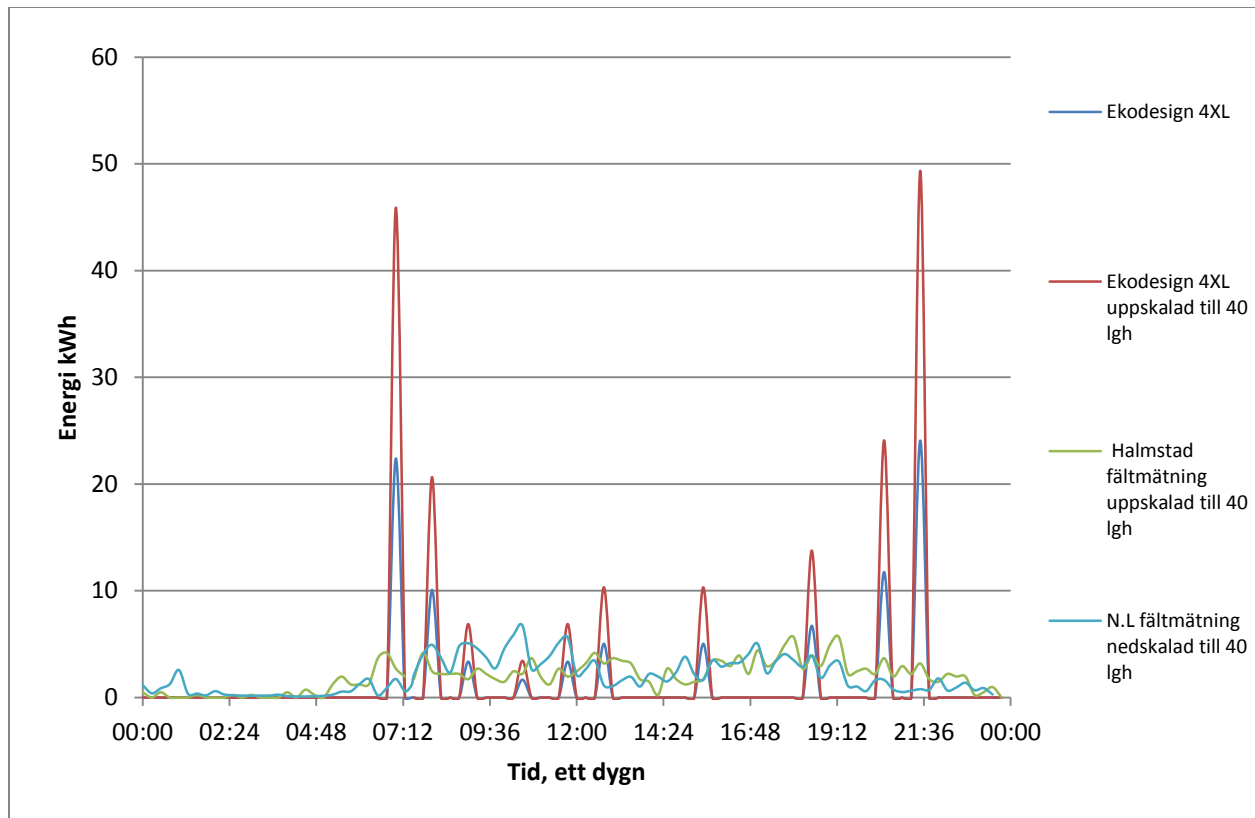
Värmebehov	kWh	13 259	13 824
Elbehov (värmepump)	kWh	3 607	3 663
Elbehov (back up heater)	kWh	-	-

Energibesparing	kWh		9 652		10 160
<b>SCOP kombi</b>			<b>3.68</b>		<b>3.77</b>
Max elbehov	kW		1.37		1.37
T <sub>bivalent</sub>	C	-	<b>25.95</b>	-	<b>19.25</b>

Resultatet ifrån energisparberäkningen visar på ett relativt lågt SCOP och att värmepumpen är heltäckande för typhuset.

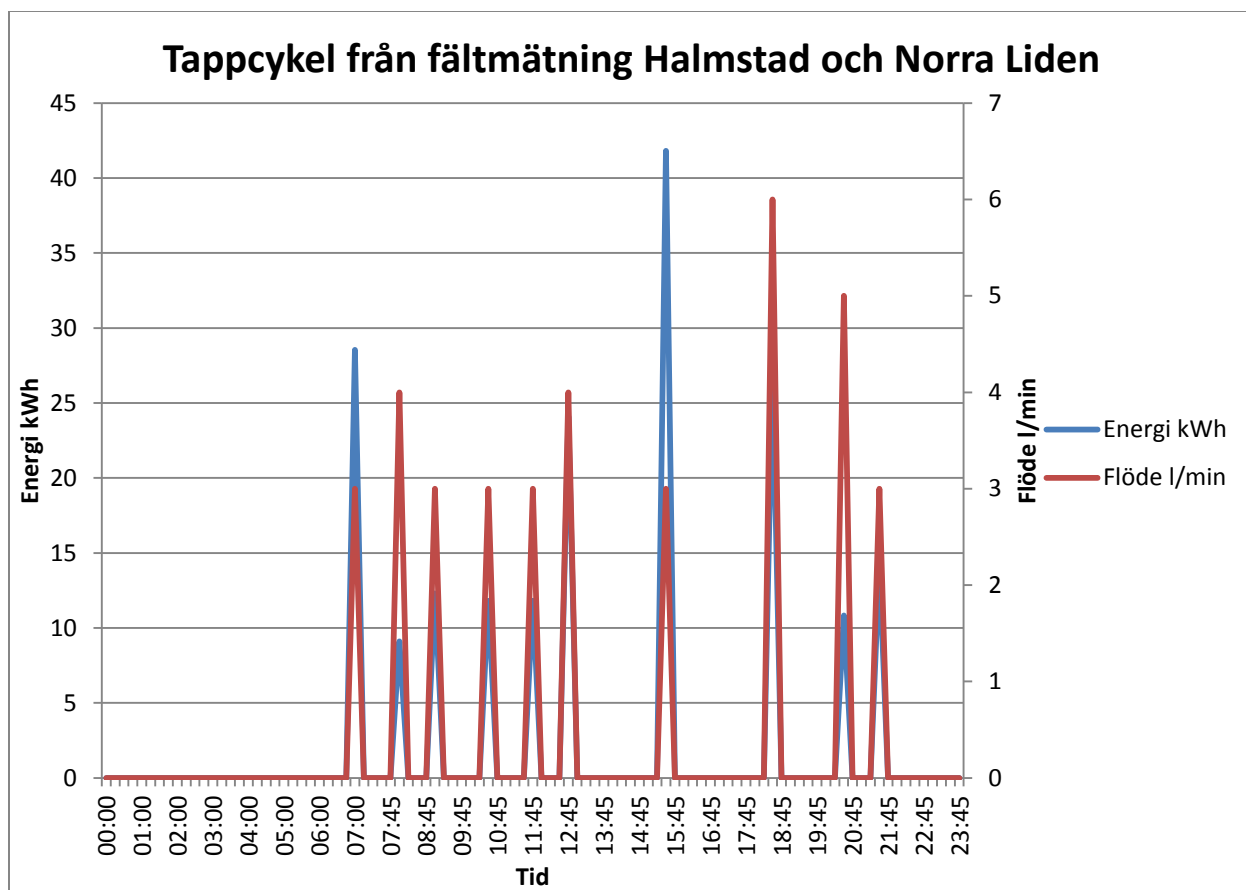
### 3.8.2 Resultat laboratorieprovning av värmepumpsystemet för NNE-flerfamiljstypshuset

För värmepumpsystemet som utvecklades för NNE-flerfamiljshuset genomfördes enbart tappcykelprover enligt Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013) då värmepumpen redan tidigare var provad för värmedrift. De större tappcyklerna (3XL och 4XL) som finns i Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013) för flerfamiljshus speglar den verkliga brukarprofilen i ett flerbostadshus dåligt. Detta kan ses vid jämförande av brukarprofilen ifrån fältmätningar (Ek et al. 2011) (Wahlström et al 2007) i flerbostadshus med tappcykel 4XL i Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013), Figur 14. Detta är speciellt märkligt då syftet med ändringen från äldre tappcykler till Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013) är att de bättre ska spegla det brukarbeteende som sker i verkligheten. Detta har man delvis lyckats åstadkomma för de mindre tappcyklerna i Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013) så som S, M och L men inte för de större cyklerna 3XL och 4XL. Projektet har därför undersökt bakgrunden till tappcyklerna i Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013) genom att söka i litteratur och intervjuer med Rene Kemna på VHK som deltagit i arbetet med att ta fram tappcyklerna i Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013). Enligt Kemna (2013) är inte de större tappcyklerna (3XL och 4XL) framtagna för att likna brukarbeteendena i flerbostadshus utan att de helt enkelt är en kompromiss och det man lyckades komma fram till efter flera års arbete och förhandlingar mellan olika intressenter.



**Figur 14: Brukarprofil tappvatten flerbostadshus jämfört med tappcykel 4XL i Ekodesignförfordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013)**

Eftersom tappcykel 4XL speglar den verkliga brukarprofilen dåligt har därför projektet provat värmepumpsystemet för flerfamiljshuset både enligt 4XL samt enligt en tappcykeln framtagen i projektet baserat på brukarprofilen ifrån fältmätningarna (Ek et al. 2011) (Wahlström et al 2007) presenterade i Figur 14. Den egenframtagna tappcykeln finns beskriven i Figur 15. Tiderna i den egenframtagna tappcykeln är desamma som i Ekodesignförfordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013) men effekt och flöde är ändrat för att bättre spegla det verkliga brukarbeteendet för ett flerfamiljshus med 40 lgh. Resultatet av tapp-proverna presenteras i Tabell 23 och Tabell 24, där kan det ses att tappcykeln ifrån fältmätningarna får ett högre  $COP_{\text{varmvatten}}$  än tapp-provet som gjordes med tappcykeln 4XL. Huruvida detta beror på skillnaden i energimängd eller skillnad i flöde mellan de olika tappcyklerna behöver undersökas vidare. Dock är det känt att  $COP_{\text{varmvatten}}$  stiger vid kontinuerlig drift på värmepumpen vilket blir fallet med tappcykeln ifrån fältmätningarna.



Figur 15: Framtagen tappcykel för flerbostadshus med 40 lgh

Tabell 23: Resultat tapp-prov enligt verklig tappcykel 4XL i Ekodesignförordningen för vattenvärmare.

#### Testresultat, varmvatten

Tappcykel	4XL	
Uppladdning (h:min)	$t_h$	3:15
Energi för uppladdning (kWh)	$W_{eh}$	12.82
Referens varmvattentemperatur (°C)	$\theta'_{WH}$	54.36
Maximal effektiv varmvattenvolym (m <sup>3</sup> )	$V_{max}$	1118
Tomgång (W)	$W_{ES}$	23.70
Uppmätt total elförbrukning under tappcykeln (kWh)	$W_{EL-M-TC}$	39.06
Korrigerad total elförbrukning under tappcykeln (kWh)	$W_{EL-HP-TC}$	37.50
Tidsperiod, TTTC (h)	$T_{TTC}$	24.0

Användbar värme producerad av värmepumpen under tappcykeln (kWh)	$Q_{HP-TC}$	93.41
Beräknad elanvändning (resistance heater) För att nå efterfrågad tapptemperatur (kWh)	$Q_{EL-TC}$	0.61
Elanvändning under tappcykeln (kWh)	$W_{EL-TC}$	38.11
Total användbar värme producerad under tappcykeln (kWh)	$Q_{TC}$	94.02
Coefficient of performance (-)	$COP_{DHW}$	2.47

**Tabell 24: Resultat tapp-prov enligt verklig tappcykel presenterad i figur 12.**

### Testresultat, varmvatten

Tappcykel	Egen tappcykel (figur 12)	
Uppladdning (h:min)	$t_h$	3:15
Energi för uppladdning (kWh)	$W_{eh}$	12.82
Referens varmvattentemperatur (°C)	$\theta_{WH}$	54.36
Maximal effektiv varmvattenvolym (m <sup>3</sup> )	$V_{max}$	1118
Tomgång (W)	$W_{ES}$	23.70
Uppmätt total elförbrukning under tappcykeln (kWh)	$W_{EL-M-TC}$	66.60
Korrigerad total elförbrukning under tappcykeln (kWh)	$W_{EL-HP-TC}$	64.00
Tidsperiod, TTTC (h)	$T_{TTC}$	24.2
Användbar värme producerad av värmepumpen under tappcykeln (kWh)	$Q_{HP-TC}$	185.71
Beräknad elanvändning (resistance heater) För att nå efterfrågad tapptemperatur (kWh)	$Q_{EL-TC}$	5.96
Elanvändning under tappcykel (kWh)	$W_{EL-TC}$	69.9
Total användbar värme producerad under tappcykeln (kWh)	$Q_{TC}$	191.66
Coefficient of performance (-)	$COP_{DHW}$	2.74

## 4 Diskussion

Målet med detta projekt var att ta fram kostnadseffektiva Värmepumpsystem för NNE-hus. Det har därför lagts stor vikt på att de framtagna systemen ska ha en lägre livscykelkostnad än alternativa lösningar. Vad som är kostnadseffektivt för ett NNE-hus avgörs i stor utstäckning av vad definitionen för ett NNE-hus är. Då det under projektets gång inte funnits någon definition i Sverige för ett NNE-hus har projektet antagit kravnivåer presenterade i energimyndighetens rapport (ER 2010:39) presenterade i Tabell 1. Huruvida dessa nivåer kommer att bli gällande krav för NNE-byggnader är ännu oklart och regeringen har nyligen avsatt 120 miljoner mellan 2014-2016 för demonstration av NNE-byggnader för att få ett ökat beslutsunderlag när slutliga kravnivåer för NNE-byggnader ska bestämmas. De kommande kravnivåerna för NNE-byggnader kommer också att avgöra hur mycket förstora dagens befintliga "små" värmepumpar är och om det finns ett behov för att ytterligare utveckla värmepumparna eller om utvecklingsfokus kommer att ligga på byggnadernas klimatskal.

### **NNE-enfamiljshus**

Utgående ifrån de kravnivåer som Energimyndigheten föreslagit i sin rapport "Nationell strategi för lågenergibygnader" (Energimyndigheten 2010) ger det ett relativt lågt värmebehov för rumsuppvärmning, vilket leder till att energi för värmning av tappvarmvatten kommer att stå för den största delen av energianvändningen och då är det viktigt att ha en värmepump med så låg tomgångsförbrukning som möjligt då detta kommer att få ett stort inflytande på värmepumpsystemets totala prestanda. Vidare leder det till relativt låga effektkrav på värmepumpen under en stor del av året. En värmepump som är för stor för byggnadens värmebehov startar och stannar ofta och kan dessutom under drift leverera onödigt höga utgående vattentemperaturer. Utmaningen är därför att konstruera en värmepump som klarar att leverera effektbehovet de kallaste dagarna och samtidigt kan behålla en god effektivitet under delar av året när värmebehovet för rumsuppvärmning är ännu lägre. På samma gång ska den vara tillräckligt billig för att vara kostnadseffektiv när den endast tillför cirka 6000 kWh värme per år. Ett sätt att lösa detta är att använda en varvtalsstyrd kompressor som kan hantera det låga uppvärmningsbehovet med god effektivitet, men det kan bli en relativt dyr lösning vilket kan leda till en lösning som inte är kostnadseffektiv. En annan lösning, som valdes i detta projekt, är att kombinera en värmepump med på/av-drift med en extra tank mellan värmepumpen och värmedistributionssystemet som gör det möjligt att värmepumpen kan köras under längre perioder, jämfört med om den körts utan tank. Detta innebär också att den kan arbeta med jämnare och lägre vattentemperaturer ut från värmepumpen och med färre starter och stopp per år, vilket sannolikt kommer att resultera i en längre livslängd för kompressorn. Ett sådant system har förutsättningar att bli billigare än alternativet med varvtalsstyrd kompressor men nackdelen är den extra tanken mellan värmepumpen och värmesystemet, som tar visst utrymme i anspråk. Detta förutsätter dock att tanken och

dess inkoppling inte överskrider kostnaden för en dyrare än en varvtalsstyrd kompressor.

Vidare är det vid varvtalsstyrning viktigt att pumpar och fläktar också styrs effektivt är varvtalsstyrda. I varje driftsituation finns också en optimal andel drivenergi som kan läggas på extern medicirkulation. Flera studier har visat på vikten av att ta hänsyn till parasiteffekter. Dessutom krävs en god kunskap om elmotorer och motordrifter om man till exempel ska sätta varvtalsstyrning på befintliga distributionsenheter för att matcha installationen av en varvtalsstyrd kompressor. Risken är annars påtaglig att resultatet av en nedreglering blir ett mindre flöde men just ingen minskad elanvändning på grund av snabbt sjunkande motorverkningsgrad. (Fahlén 2004)

Vidare så kan det konstateras att de flesta nybyggda NNE-enfamiljshus kommer att vara utrustade med golvvärme vilket leder till en lägre framledningstemperatur på värmesystemet, jämfört med om radiatorer används, vilket ytterligare minskar vinningen med en varvtalsstyrd kompressor.

Mot ovanstående resonemang som bakgrund är det därför av stort intresse att jämföra en installation av en liten varvtalsstyrd värmepump i ett NNE-hus mot en liten värmepump med på/av-drift i samma typ av hus.

### **NNE-Flerfamiljshus**

När det gäller NNE-flerfamiljshus är värmebehovet tillräckligt stort för att relativt enkelt ta fram en kostnadseffektiv systemlösning, vilket har visats med de energiberäkningar som gjorts i detta projekt. Fokus har därför snarare legat på utveckling av dimensioneringskriterier för värmepumpsystem för flerfamiljshus. Lite forskning har gjorts på kriterier och användarbeteenden för flerfamiljshus och att döma av "tumregler" och konstruktionskriterier som används vid dimensionering av både varmvattensystemet och värmesystem för flerfamiljshus är många system för stora. Detta leder till alltför stora värmeförluster från varmvattentankar, alltför dyra systemlösningar och även en överanvändning av material. Syftet med utvecklingen av tappcyklerna i Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013) har varit att de bättre ska spegla den verkliga brukarprofilen i bostäder än tidigare använda tappcykler. Detta är sant för de mindre tappcyklerna, som benämns S, M och L men när man jämför 3XL och 4XL med användarbeteenden från fältmätningar i Sverige är det helt klart att dessa tappcykler är ganska överdimensionerade och överensstämmer dåligt med verkligt brukarbeteende. De tappningar som görs i tappcyklerna 3XL och 4XL är alldeles för stora och både sett till effekt och flöden men framförallt flödena är för höga. Vidare sker tappningarna alldeles för sällan jämfört med hur det ser ut i verkligheten vilket flera fältmätningar visar (Ek et al. 2011) (Wahlström et al 2007). Naturligtvis ska man ta hänsyn till möjligheten att flera boende i ett flerfamiljshus hus kan ta en dusch samtidigt på vissa hårt belastade perioder men att utforma ett varmvattensystem för att alla invånare i ett flerfamiljshus ska ta en dusch vid samma tidpunkt varje dag är inte vettigt varken ur ett kostnadsmässigt perspektiv eller ur ett energibesparingsperspektiv. Fältmätningar visar att denna situation inträffar statistiskt sett mycket sällan eller aldrig visar (Ek et al. 2011) (Wahlström et al 2007). Detta måste utvärderas ytterligare med fler fältmätningar av



användarbeteenden i olika typer av flerbostadshus med olika antal invånare för att ytterligare kunna säkerställa brukarbeteenden i flerbostadshus.

I SPs labb genomfördes två olika tapp-prover på det utvecklade värmepumpsystemet för NNE-flerfamiljshuset. Först provades systemet med tappcykeln 4XL ifrån Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013) sedan provades systemet med en tappcykel framtagen i projektet utgående från fältmätningar (Ek et al. 2011) (Wahlström et al 2007) som bättre speglar verkligt brukarbeteende. Resultatet ifrån dessa prover visar att det skiljer i tapp-COP mellan de två olika tappcyklerna som provats vilket ytterligare stöder teorin om att tappcykeln 4XL i Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013) ger en felaktig bild av värmepumpsystemets prestanda vid verklig drift. Detta behöver ytterligare undersökas för fler fall och för fler värmepumpsystem för att ytterligare kunna säkerställa hur stor påverkan det har på värmepumpsystemets prestanda för att eventuellt kunna agera för att ändra utformningen av tappcyklerna 3XL och 4XL i Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013). Här behöver det fortsatt utredas varför tappcyklerna 3XL och 4XL ser ut som de gör. I projektet intervjuades Rene Kemna på VHK som är en av personerna som jobbat med utvecklingen av tappcyklerna i Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013) för att få svar på denna fråga. Enligt Kemna (2013) är inte tappcyklerna 3XL och 4XL skapade för att spegla brukarbeteendet i ett flerbostadshus men det är ändå 3XL och 4XL som är de tappcykler som ska användas för att prova system ämnade för flerfamiljshus. Detta rimmar dåligt och det finns därför ett ytterligare behov att fortsatt utreda hur den nuvarande utformningen av 3XL och 4XL påverkar energimärkningen av värmepumpar.

## 4.1 Måluppfyllelse

- Projektet har tagit fram teoretiska koncept för små och flerfamiljshus för både nybyggnation och ombyggnation.
- Projektet har byggt och utvärderat en prototyp för ett systemkoncept för enfamiljshus som uppfyller energi och miljökrav i Fgas, Ekodesign och RES Direktiv samt har en LCC kostnad som är ett konkurrenskraftigt alternativ för småhus.
- Projektet har byggt och utvärderat för ett systemkoncept flerfamiljshus som uppfyller energi och miljökrav i NNE, Fgas, Ekodesign och RES Direktiv samt har en LCC kostnad som är ett konkurrenskraftigt alternativ för flerfamiljshus.
- Projektet har utvecklat energibesparings och LCC beräkningsmodeller för NNE-hus.
- Projektet har ännu inte skrivit två vetenskapliga publikationer som ska ligga till grund för en doktorsavhandling men planerar att skriva en vetenskaplig publikation baserat på projektet som ligger till grund för Jessica Bensons doktorsavhandling. Projektet har bidragit med följande publikationer:
  - Persson, M., Ruud, S., Benson, J., Haglund-Stignor, C., Boss, A., 2014. Heat pump systems for single family and multifamily nZEB. IEA HPC conference proceedings, Martin Persson, Montreal, 11th IEA Heat Pump Conference

- Persson, M., Ruud, S., 2013 Värmepumpsystem för nära-nollenergi småhus och flerfamiljshus. Konferensartikel, Martin Persson, Göteborg, Passivhus Norden.
- Persson, M., Ruud, S., 2013 State-of-the-Art Analysis of Nearly Zero Energy Buildings
- Country report IEA HPP Annex 40 Task 1 Sweden.
- Persson, M., Ruud, S., 2013 Värmepumpsystem för nära-nollenergi småhus och flerfamiljshus. Kyla+Värmepumpar, maj 2013.

## 4.2 Lärdommar

Det är en utmaning att utveckla kostnadseffektiva värmepumpsystem för NNE-byggnader när det inte finns någon nationell eller internationell definition för en NNE-byggnad. Hur NNE-byggnader kommer att definieras påverkar kraftigt huruvida de system som tagit fram i detta projekt är kostnadseffektiva eller inte. Med en annorlunda definition av en NNE-byggnad hade resultatet av detta projekt blivit helt annorlunda.

Det är svårt att få tillverkande företag att gå in med sina absolut hetaste utvecklingsprojekt i denna typ av samverkans projekt då det trots sekretessavtal råder en viss skepsis mot att dela med sig av affärshemligheter vilket är helt förståeligt då det handlar om viktiga strategiska beslut för tillverkarna.

Det är svårt att från grunden utveckla en ny typ av värmepump i denna typ av projekt då processen med ett sådant arbete tar betydligt längre tid än 24 månader. Det är därför viktigt att både ha mer tid på sig och ett närmare samarbete med respektive värmepumpstillverkarens utvecklingsteam.

## 4.3 Fortsatt arbete

Det är av stort intresse att fortsätta arbetet med att vidare analysera valen av olika vägar för värmepumpsystemet för enfamiljshuset. I detta projekt valdes en väg med en enklare värmepump till en lägre investeringskostnad då det bedömdes att det skulle bli den mest kostnadseffektiva lösningen. Andra tillverkare utanför projektet har valt en mer avancerad värmepump till ett högre pris. Det är då intressant att fortsatt analysera denna frågeställning för att avgöra prestanda och pris för de olika alternativa vägarna. En bra utgångspunkt för detta arbete är de två forskningsvillorna i FP7 projektet NEED4BE där det i det ena huset sitter en mer avancerad varvtalsstyrd värmepump och i det andra en enklare modell med på/av-drift ifrån detta projekt. Då husen är identiska och klimaten är relativt lika för de olika husen är det av intresse att utvärdera driftprestanda för de olika värmepumparna samt hur kostnadseffektiva de olika alternativen blir för just detta NNE-hus.

Vidare är det fortsatt intressant att undersöka hur utformningen av de större tappcyklerna i Ekodesignförordningen för vattenvärmare (Kommissionens förordning nr 814/2013) påverkar energimärkningen för flerfamiljshus och den prestanda som provas fram. Detta är speciellt intressant för värmepumpsbranschen att utreda vidare eftersom

det kan få konsekvenser vid energimärkning och således konkurrensfördelar eller konkurrensnackdelar mot andra uppvärmningsalternativ.

Projektet kommer att skriva en artikel som kommer att publiceras i tidsskriften kyla+värmepumpar i augusti 2014 där slutresultatet av projektet kommer att redovisas.

# Referenser

Axell, M., E. Sikander. S. Ruud. E. Kurkinen. P. Kovacs. O. Räftegård. F. Ståhl. 2010. SP Rapport 2010:32 Att gå från lågenergihus till aktivhus - hur skapar vi nästa generations energieffektiva byggnader i stadsdelen Kongahälla?

BBR, Boverkets byggregler BBR 19-21 (BFS 2011: 6 med ändringar t.o.m. BFS 2014:3)

Byggvägledning 8, Energiushållning och värmeisolering, Svensk Byggtjänst, 2012

Ek, Christian,. D. Nilsson. 2011 Varmvatten i flerbostadshus: Erfarenhet, kunskap och mätning för en klokare användning

Energiushållning enligt Boverkets byggregler – utgåva 2, Boverket, augusti 2012

Energimyndigheten 2010. Rapport: ER2010:39. Nationell strategi för lågenergibyggnader

Energimyndigheten 2010. Beräkna LCC. Digitalt tillgänglig:  
<http://www.energimyndigheten.se/Foretag/Energieffektivisering-i-foretag/Finansiering-och-inkop/Livscykelkostnad/Berakna-LCC/>

EPBD 2010/31/EC. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council

Fahlén, P., 2004. Effsys rapport H23 Värmepumpar i vattenburna värmesystem – Effektiva lösningar med värme och varmvatten vid konvertering av elvärmda småhus

FEBY 12. 2012. Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus, LTH rapport EBD-R-12/36, IVL rapport nr B 2027, ATON rapport 1201

F-GAS 2006/842/EC. Regulation (EC) No 842/2006 of the European Parliament and of the Council

Indata för energiberäkningar i kontor och småhus, Boverket, oktober 2007

Karlsson, F., 2004 Effsys rapport H22 Driftoptimering av Värmepumpsystem – behovsstyrning av värme och varmvatten

Kemna, R., 2013 M.Sc. Delft University of Technology. Telefonintervju 2013

Kommissionens förordning nr 814/2013. om genomförande av Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/125/EG med avseende på krav på ekodesign för varmvattenberedare och ackumulatortankar

Olsson, 2003., 2003 Tappvarmvatten i flerbostadshus, EFFEKTIV 2003

Regelsamling för energideklaration med kommentarer, 2010, Boverket, maj 2010

RES Directive 2009/28/EC. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council

Regelsamling för energideklaration med kommentarer, 2010, Boverket, maj 2010

Ruud, S., 2010. Ekonomiska värme- och kylsystem för lågenergihus – Beräkningar, jämförelser och utvärdering av olika systemlösningar

SS-EN ISO 13790:2008 Byggnaders energiprestanda - Beräkning av energianvändning för uppvärmning

SS-EN ISO 13789:2008 Byggnaders termiska egenskaper -  
Värmegenomgångskoefficienter - Beräkningsmetod (ISO 13789:2007)

SVEP 2013. Hemsida, Digitalt tillgänglig: <http://www.svepinfo.se/varmepumpar/luft/>

TMF Energi 2014. Hemsida, Digitalt tillgänglig:  
<http://www.tmf.se/bransch/trahus/tmfEnergy>

Wahlström. Å., U. Pettersson. R. Nordman. 2007 Mätning av kall- och varmvatten i åtta hushåll

# Projektets populärvetenskapliga publikationer och presentationer

Persson, M., Ruud, S., Benson, J., Haglund-Stignor, C., Boss, A., 2014. Heat pump systems for single family and multifamily nZEB. *IEA HPC conference proceedings*, Martin Persson, Montreal, 11<sup>th</sup> IEA Heat Pump Conference

Persson, M., Ruud, S., 2013 Värmepumpsystem för nära-nollenergi småhus och flerfamiljshus. *Konferensartikel*, Martin Persson, Göteborg, Passivhus Norden.

Persson, M., Ruud, S., 2013 State-of-the-Art Analysis of Nearly Zero Energy Buildings Country report IEA HPP Annex 40 Task 1 Sweden.

Persson, M., Ruud, S., 2013 Värmepumpsystem för nära-nollenergi småhus och flerfamiljshus. *Kyla+Värmepumpar*, maj 2013

Persson, M., Ruud, S., 2013 Värmepumpsystem för nära-nollenergi småhus och flerfamiljshus. Presentation, Svein Ruud, Växjö, SP-Trähusdagarna.

# Appendix

## SP metod 4967-1, version 2

### Bakgrund

Energisparberäkningarna bygger på den metod för beräkning av årsvärmefaktorn för rumsuppvärmning som beskrivs i EN14825:2013. Därutöver har beredning av tappvarmvatten inkluderats i beräkningarna, då detta inte inkluderas i EN14825.

Beräkningsgången i EN14825 bygger på en så kallad bin-metod. Med bin-metod avses en metod där man har samlat, räknat och sorterat de timmar då en viss utomhustemperatur råder för en specifik ort. Alla timmar med en utomhustemperatur på 5°C samlas i en bin och alla timmar med en temperatur på 6°C i nästa och så vidare. Genom att beräkna värmepumpens prestanda för varje given utomhustemperatur kan man sedan summera hur effektiv den är över året för ett givet klimat. I EN14825 finns tre standardklimat angivna, kallt, medel och varmt europaklimat. Vi har i beräkningarna använt oss av det kalla klimatet vilket ska spegla klimatet i Helsingfors och därmed är det klimat som bäst efterliknar svenska förhållanden.

Indata till beräkningarna kommer från prestandaprovningen för rumsuppvärmning baserat på EN14511:2013, dock används i vissa fall andra driftspunkter. Dessutom ingår elförbrukning hos småförbrukare (EN 14825:2013) och resultaten från prestandaprov av tappvarmvatten (EN 16147:2011).

### Beräkningsmetodens och programmetts giltighetsområde och begränsningar

- Denna beräkningsmetod och program gäller för en bergvärmepump som har brine som värmekälla och värmevatten till radiatorer eller golvvärme samt tappvarmvatten som värmesänka.
- Det gäller för en värmepump med icke-varvtalsstyrda kompressor och variabel framledningstemperatur, dvs kompressorn har fast kapacitet och framledningstemperaturen anpassas efter behov och följer en värmekurva.
- Det gäller för vätska/vatten-värmepumpar som alternerar mellan produktion av rumsuppvärmning och tappvarmvatten och som har en tappvarmvattentank. Värmevattnet alternerar mellan att gå ut till husets radiatorer eller golvvärmesystem eller till att värma tappvarmvattentanken.
- Metoden/programmet förutsätter även att elpatronen är placerad efter värmepumpen och eftervärmer värmevattnet till önskad temperatur.

Metoden/programmet gäller för värmepumpar som har en avgiven värmeeffekt på ca 5-20 kW.

- Metoden/programmet förutsätter att resultat från följande provpunkter finns tillgängliga

**Tabell 1, Sammanställning av indata från prestandaprov rumsuppvärmning**

Provpunkt	Temperatur, °C			
	Temperatur köldbärare in, $t_{ci}$	Temperatur köldbärare ut, $t_{co}$	Temperatur värmebärare in, $t_{wi}$	Temperatur värmebärare ut, $t_{wo}$
1 <sup>d</sup>	±0	b	b	+25
2 <sup>a</sup>	±0	-3	+30	+35
3 <sup>d</sup>	±0	b	b	+45
4 <sup>d</sup>	±0	c	c	+35
5 <sup>d</sup>	±0	c	c	+45
6 <sup>a</sup>	±0	-3	+47	+55

a: Standard rating condition enligt EN 14511-2 Provningsförhållanden.

b: värme- och köldbärarflöde enligt provpunkt 2.

c: värme- och köldbärarflöde enligt provpunkt 6.

d: Provpunkten ingår inte i EN14511 men behövs för att ge indata till energisparberäkningarna.

Notera att endast provpunkt 2 och 6 är definierade i EN14511, övriga provpunkter är inte det. Samma krav och toleranser gäller dock för dem som för de som är definierade i standarden.

**Tabell 2, Sammanställning av indata från prestandaprov tappvarmvatten, EN 16147**

<b>Indata</b>
Avgiven värmeeffekt från Tappcykel ( $Q_{TC}$ )
Beräknad värmeenergi som tillförts med



backup el ( $Q_{EL\_TC}$ )
Förbrukad eleffekt under tappcykeln ( $W_{EL\_TC}$ )
Tomgångsförbrukning ( $P_{es}$ )
Total tid för tappcykeln ( $T_{TTC}$ )
Kompressorns totala drifttid under tappcykeln ( $T_{Comp}$ )

**Tabell 3, Sammanställning av indata från elmätning av småförbrukare, EN 14825**

<b>Indata</b>
Eleffekt vid compressor off state
Eleffekt vid thermostat off mode
Standby mode
Off mode