

SERC

Centrum för solenergiforskning
Solar Energy Research Center

Högskolan Dalarna
SE 781 88 Borlänge
tel: +46 23 778000
www.serc.se



HÖGSKOLAN
Dalarna

Småhusens framtida utformning

-Hur påverkar Boverkets nya byggregler?

Tomas Persson och Johan Heier

Version 04.03.2010

ISSN 1401 - 7555
ISRN DU-SERC- -95- -SE
Februari 2010

FÖRORD

Detta arbete har genomförts inom AES-programmet som finansieras av Energimyndigheten samt inom projekt SWX-Energi som delfinansieras av bl.a. Europeiska Unionen, Region Dalarna och Region Gävleborg. Författarna vill tacka anslagsgivarna samt de företag som bidragit med information till projektet, bl.a. Fiskarhedenvillan, S:t Anna Hus, Borlänge Energi, Folksam, IVT, ComfortZone, Solentek, REC Indovent, m.fl.



En investering för framtiden



SAMMANFATTNING

Från och med 1:a jan 2010 gäller nya byggregler avseende energianvändning och effektbehov för nya byggnader. De nya kraven innebär en skärpning för alla byggnader som använder el för uppvärmning. För att begränsa effektbehovet för elvärmda hus införs krav på maximal installerad eleffekt och kraven på köpt energimängd blir lägre i hus med elvärme än i hus som har annat uppvärmningssätt. Denna rapport undersöker hur byggandet kan komma att påverkas av de nya byggreglerna och vilka system som kan komma att bli dominerande i småhusen framöver.

En villa med olika isolerstandard simulerades på fyra olika orter från Malmö i söder till Kiruna i norr och energianvändningen för de olika uppvärmningssystemen beräknades sedan schablonmässigt med hjälp av tillverkarnas data. Två olika isolerstandarder och ett passivhus simulerades med respektive utan från och tilluft med värmeåtervinning.

Resultaten visar att traditionella frånluftvärmepumpar inte klarar kraven, både vad gäller energi och effekt, förutom möjligen i sydligaste Sverige i ett välisolerat hus. En kondenserande frånluftvärmepump som kyler frånluften kraftigare och utvinner kondensationsvärme klarar kraven om den uppfyller vad tillverkaren lovar. En frånluft/jordvärmepump klarar också kraven, men ligger nära gränsen i Mellansverige. De uppvärmningsalternativ som klarar de nya energikraven med god marginal i alla klimatzoner är kondenserande frånluftvärmepump, bergvärmepump, fjärrvärme (FTX krävs i norra Sverige), pelletkamin med FTX samt passivhuset. De el-baserade uppvärmningsalternativ som ger lägst elanvändning är bergvärmepump samt passivhus alternativet. Dessa ligger på alla orter långt under kravgränserna från BBR.

Uppvärmning med enbart pellets eller fjärrvärme (utan FTX eller solvärme) klarar inte energikraven med tillräcklig marginal förutom i Malmö. Det krävs ytterligare åtgärder som kan vara tilläggsisolering, värmeåtervinning med FTX, frånluftvärmepump eller solvärme. Pelletvärme-systemen får lite svårare att klara energikraven, pga pelletkaminens verkningsgrad. Det blir alltså i praktiken krav på FTX med ved, pellets och oftast med fjärrvärme.

En ekonomisk utvärdering har genomförts baserad på första årets energi-, kapital- och underhållskostnader. Kapitalkostnader delas upp på komponentens förväntade livslängd med annuitetsmetoden. Framtida underhållskostnader diskonteras ett nuvärde och delas upp med annuitetsmetoden. Dagens energipriser och en kalkylränta på 4,5 % används som utgångspunkt, men varierar för olika scenarier.

Fjärrvärme tycks ge bland de lägsta kostnaderna av de studerade alternativen. I alla fall i de kommuner som ligger under medelpriset för svensk fjärrvärme. Vedeldning har inte studerats här, men ger säkerligen lägst totalkostnader om man accepterar den tid som krävs för att hantera ved och elda. Det studerade passivhuset hör också till de alternativ som har bland de lägsta kostnaderna då investering och energianvändning vägs samman. Men räntenivån har en stor inverkan på systemens totalkostnad. Låg ränta har en utjämnande effekt på totalkostnaden. Vid högre ränta ökar kostnaden mest för system med lång livslängd (avskrivningstid), vilket gör passivhusen dyrare.

Pelleteldning i nybyggda hus kommer nog att utgöra en mindre del av installationerna, då det krävs FTX och investeringskostnaden blir ganska hög, men om lösningar med frånluftvärmepump och luftburen pelletkamin mot förmodan skulle komma att uppfylla kraven för ett icke elvärt hus kan det bli ett uppsving av sådana lösningar.

INNEHÅLL

| | | |
|------|---------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | INLEDNING | 9 |
| 1.1 | Bakgrund | 9 |
| 1.2 | Syfte och målsättning | 9 |
| 1.3 | Metod | 9 |
| 1.4 | Boverkets energikrav from 1:a Jan 2010..... | 10 |
| 1.5 | Litteraturstudie över energi- och kostnadsstudier för småhus | 12 |
| 1.6 | Sammanfattande resultat från litteraturstudien | 15 |
| 2 | BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR | 17 |
| 2.1 | De studerade byggnaderna | 17 |
| 2.2 | Studerade systemkoncept | 19 |
| 2.3 | Boverkets kravnivåer för det studerade huset | 21 |
| 2.4 | Kravnivåer för passivhus..... | 21 |
| 2.5 | Varmvattenlast | 22 |
| 2.6 | Solavskärmning | 22 |
| 2.7 | Uppvärmningssystem | 23 |
| 2.8 | Klimat..... | 23 |
| 2.9 | Ventilation och infiltration | 24 |
| 2.10 | Interna värmelaster och solinstrålning | 24 |
| 2.11 | Värmeöverföring mellan zoner | 25 |
| 2.12 | Schablonberäkning av värmesystem | 26 |
| 3 | SIMULERINGSRESULTAT OCH ENERGIBERÄKNINGAR | 29 |
| 3.1 | Simulerad energibalans | 29 |
| 3.2 | Energibesparing med solvärmesystem | 29 |
| 3.3 | Räcker det tillåtna effektbehovet?..... | 31 |
| 3.4 | Beräknade energibehov för olika klimat och uppvärmningssystem | 33 |
| 3.5 | Diskussion | 37 |
| 4 | EKONOMISK UTVÄRDERING | 39 |
| 4.1 | Beräkningsförutsättningar | 39 |
| 4.2 | Ekonomiska beräkningsresultat..... | 44 |
| 4.3 | Ekonomisk parameterstudie | 47 |
| 5 | DISKUSSION | 52 |
| 6 | SLUTSATSER..... | 56 |
| 7 | REFERENSER..... | 59 |

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Från och med 1:a jan 2010 gäller nya byggregler avseende energianvändning och effektbehov för nya byggnader [1, 2]. Idag värms nästan 40 procent av småhusen i landet helt eller delvis med någon typ av värmepump. Det är främst typen luft-vatten samt frånluftvärmepumpar som ökat mest det senaste året och det med ca 18 procent [3]. Enligt en studie utförd vid SP [4] kommer en traditionell frånluftsvärmepump inte att uppfylla kraven i nya BBR. Med anledning av detta kan man fråga sig hur byggandet kommer att påverkas av de nya reglerna och vilka system som kan komma att bli dominerande i småhusen framöver.

Det pågår nu en febril aktivitet bland både värmepumpstillverkare och husleverantörer för att möta de nya energikraven. De nya kraven innebär framförallt att energikravet (formulerat som till byggnaden levererad (köpt) energi per m² boyta) skärps för elvärmda hus, dvs hus som inte har biobränslepanna eller fjärrvärme. Den andra stora förändringen är att maximalt effektbehov begränsas vilket ställer krav på att värmepumpar dimensioneras så att de blir mer heltäckande den kallaste dagen så att el-patronens effekt kan minskas. Syftet med förändringen är att begränsa belastningen på elnätet när det är kallt ute.



1.2 Syfte och målsättning

Detta arbete avser att undersöka hur småhus kan utformas för att klara de nya byggreglerna som träder i kraft 1:a jan 2010 samt undersöka hur byggandet kommer att påverkas av de nya reglerna. Följande frågeställningar har undersökts:

1. Kommer de nya byggreglerna att leda till bättre isolerade hus?
2. Vilka systemlösningar får svårt att klara de nya kraven?
3. Vilka systemlösningar gynnas av de nya direktiven?
4. Vilka system kommer att vara mest kostnadseffektiva framöver?

1.3 Metod

Arbetet bygger på en detaljerad simuleringsstudie av ett småhus som har simulerats i de olika klimatzoner i Sverige med olika isolerstandard, olika ventilationssystem samt med olika solvärmesystem. Orterna Kiruna, Örebro och Mora representerar de kallaste områdena i respektive zon och dessa blir därför dimensionerande för klimatzonen. Dessutom simuleras Malmö eftersom skillnaderna inom zon III är ganska stor. Skillnaden inom den nordligaste zonen är

också mycket stor men Mora är jämförbart med de varmare delarna av den nordligaste zonen liksom Örebro som är jämförbart med de varmare delarna i den mellersta klimatzonen. De olika isoleringsgraderna representerar dagens standardhus, ett hus med förbättrad isolering samt ett hus som uppfyller passivhusstandard. Dessa hus har simulerats i de olika orterna.

De olika värmesystemens energiprestanda (frånluftvärmepumpar, bergvärmepumpar och pelletskaminer) har därefter beräknats schablonmässigt utgående från tillverkardata. Energibesparing med solfångare liksom Till- och frånluft med värmeåtervinning (FTX) har simulerats. Energiförbrukning för pumpar och fläktar inkluderas i schablonberäkningen.

Installationskostnader och underhållskostnader för de olika systemen har beräknats och med hjälp av systemens energiförbrukning har en ekonomisk utvärdering genomförts. Annuitetsmetoden har använts för att beräkna 1:a årets kostnader. Genom detta förfarande baseras beräkningen på dagens energipriser och spekulationer om framtida energipriser undviks. Investeringen delas upp på livslängden och framtida reinvesteringar och underhåll diskonteras till dagens penningvärde, varefter dessa också delas upp på hela livslängden med annuitetsmetoden.

Nackdelarna med denna metod är att den förutsätter att man lånar pengar med en amorteringstakt som följer systemkomponenternas livslängd och att system med lång livslängd som solvärme där man inte behöver köpa någon energi alls i framtiden missgynnas eftersom de endast jämförs med första årets energipris. Av denna anledning studeras också de ekonomiska förutsättningarna med högre energipriser än dagens. Förutom energipriser ingår räntesats i den känslighetsanalys som genomförts.

1.4 Boverkets energikrav från 1:a Jan 2010

Skärpning för elvärmda hus

De nya byggreglerna om energihushållning från 1:a Jan 2010 [2] innebär framförallt en skärpning av kraven för nybyggda elvärmda hus. För elvärmda hus finns både ett energikrav och effektkrav (Tabell 1.1). Även hus med vattenburen elvärme och värmepumpar kommer nu att klassas som elvärmda om det installerade effektbehovet för uppvärmning överstiger 10 W/m^2 . För byggnader som klassas som att de har annat uppvärmningssätt blir det ingen skärpning av kraven.

Enligt Boverkets anvisningar skall byggnaden klassas som elvärmd om "den installerade effekten för uppvärmning är större än 10 W/m^2 " [2] alltså ca 1,4 kW för det studerade huset på 143 m^2 . Dock används nästan alltid en el-patron eller elpanna som tillfällig reserv i småhus även då i hus med fastbränslepannor som gör att i princip alla hus utom fjärrvärmvärmda hus skulle klassas som elvärmda. Av denna anledning finns ett undantag i byggreglerna: "Eleffekt i fastbränsleinstallation, som installeras för att utgöra tillfällig reserv, inräknas inte om fastbränsleinstallationen är konstruerad för permanent drift."

Det är kommunerna som ska tolka och tillämpa Boverkets byggregler och frågan är alltså vad som kommer att godkännas som fastbränsleinstallation konstruerad för permanent drift? Då jag talade med ett par bygglovshandläggare i Dalarna kände de ännu inte till något aktuellt fall eller prejudikat, men de avsåg att ha en restriktiv men gemensam hållning inom länet. Förmodligen kommer vedeldade pannor och kökspannor med vattenmantel som är kopplade till en ackumulatortank att uppfylla kriterierna för permanent drift även om de kanske inte täcker varmvattenbehovet under sommaren. Frågan är hur man ställer sig till en pelletskamin utan

vattenmantel som visserligen är avsedd för permanent drift, men som inte kan sprida värmen till hela huset?

Tre klimatzoner

I de nya reglerna har Sverige indelats i tre olika klimatzoner mot tidigare endast två stycken. Den nordligaste klimatzonen I (Norrbottens, Västerbottens och Jämtlands län) får en lättnad av kraven för icke elvärmda hus jämfört med tidigare. Klimatzon II innefattar Västernorrlands, Gävleborgs, Dalarnas och Värmlands län. Klimatzon III utgör övriga län.

Tabell 1.1

Krav på specifik energianvändning och effektbehov för bostäder f o m 1:a jan 2010 [2]

| Klimatzon | Uppvärmningssätt | Maximal specifik energianvändning [kWh/m ² ·år] | Maximal installerad eleffekt [kW] | Genomsnittlig värmege-nomgångskoefficient [W/m ² K] |
|-----------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| I | El, Tillägg då $A_{temp} > 130 \text{ m}^2$ | 95 | 6 $+0,035(A_{temp}-130)$ | 0,40 |
| | Annat | 150 | - | 0,50 |
| II | El, Tillägg då $A_{temp} > 130 \text{ m}^2$ | 75 | 5 $+0,030(A_{temp}-130)$ | 0,40 |
| | Annat | 130 | - | 0,50 |
| III | El, Tillägg då $A_{temp} > 130 \text{ m}^2$ | 55 | 4,5 $+0,025(A_{temp}-130)$ | 0,40 |
| | Annat | 110 | - | 0,50 |

Specifik energianvändning

Kraven utgår från byggnadens *specifika energianvändning* (Tabell 1.1) som är *byggnadens energianvändning* dividerat med A_{temp} . *Byggnadens energianvändning* är den energi som används för uppvärmning och tappvarmvatten, samt den del av fastighetselen som är relaterad till byggnadens behov. Med detta menas fast monterad utrustning som är anbringad inom, under eller på utsidan av byggnaden. Pumpar, fläktar kylmaskiner och värmekablar inräknas om de försörjer byggnaden. Fast belysning i allmänna utrymmen inräknas men inte belysning i trädgård och på utvändiga gångstråk. Inte heller el för annan användning som tex motor- och kupevärmare inräknas. El som används för komfortkyla skall uppräknas en faktor tre för icke elvärmda hus. Vid användning av bränsle används bränslemängd och dess värmevärde för att beräkna energianvändningen. Energi från solfångare och solpaneler samt frikyla som tas direkt från markinräknas inte i byggnadens energianvändning.

A_{temp} är arean av samtliga våningsplan inklusive trappor och schakt för de utrymmen som skall värmas till mer än 10°C. Garage inom byggnaden får inte inräknas i A_{temp} , men dess uppvärmningsbehov skall ingå i *byggnadens energianvändning*.

Uppföljning av kraven skall möjliggöras

Tanken med kravens utformning är att de skall kunna följas upp genom mätning efter att huset har byggts. Dock är inte detta ett bindande krav. Det står endast att kraven bör verifieras genom beräkning och mätning. Dock står att byggnadens energianvändning ska kunna följas upp kontinuerligt genom ett mätsystem. Man är således tvungen att installera ett mätsystem för uppföljning, men det finns inget krav på att följa upp energianvändningen i alla hus.

Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient

Det ställs också kompletterande krav på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (Tabell 1.1), men det studerade husets isolerstandard är betydligt högre än kravvärdet (Tabell 2.1) så i praktiken tycks det inte ha någon betydelse. Det ställs också krav på klimatskärmens täthet (0,6 l/s per m² omslutningsarea vid tryckskillnaden 50 Pa). För mindre byggnader än 100 m² finns alternativa sätt att uppfylla kraven.

1.5 Litteraturstudie över energi- och kostnadsstudier för småhus

Ett stort antal studier och examensarbeten har gjorts där olika typer av uppvärmningssystem för nya hus jämförts med varandra, men i regel saknas någon intressant systemvariant eller en ekonomisk utvärdering av de olika alternativen. De nya byggreglerna gör också att förutsättningarna förändras. Här nedan görs en genomgång av andra studier om enfamiljshus från senare år.

Prototyputveckling av kompakt sol- och pelletvärmesystem samt kostnadsanalys för olika uppvärmningssystem i nya hus

I en studie av Dalenbäck [5, 6] samt Albers [7] undersöks funktionen för en prototypversion av ett kompakt sol- och pelletvärmesystem samt kostnaden för detta system jämfört med andra vanliga uppvärmningssystem som vattenburen elvärme med F-system, FTX, samt frånluftsvärmepump. Huset som undersöks har ett energibehov för uppvärmning och varmvatten på mellan 7 500 och 11 000 kWh/år beroende på uppvärmningsform. En ekonomisk analys under antagande av en annuitet på 9 %, pelletpris på 0,24 kr/kWh och elpris på 0,6 kr/kWh som visar årliga kapital-, energi- och driftskostnader för de olika systemen. Kostnaden är i stort sett samma för samtliga varianter och slutsatsen är att vilket uppvärmningssystem som bör väljas beror på vilka preferenser man har inför framtiden.

Examensarbete 1 med energi- och kostnadsanalyser av småhus och flerfamiljshus med olika uppvärmningssystem

Sundqvist och Allansson [8] studerar i sitt examensarbete hur energibehov (simulerat med VIP+) och LCC kostnader påverkas av olika uppvärmningssystem för en villa (och flerfamiljshus) på orterna Malmö, Stockholm och Luleå. Referenshuset är en villa med fjärrvärme och F-ventilation. De åtgärder som studeras är tilläggsisolering, FTX, energieffektiva fönster, solvärme, frånluftsvärmepumpar, bergvärmepump, samt en kombination av bergvärmepump och frånluftsvärmepumpar.

Störst energibesparing ger bergvärmepumpen med en minskad energianvändning på ca 67 %. Frånluftsvärmepumpen ger en energibesparing motsvarande 40 % i södra Sverige och omkring 30 % i norra. Solvärmesystemet ger en större besparing i södra Sverige (upp till 34 %) än i norra Sverige (ca 20 %).

När det gäller 5 cm extra isolering i väggarna så ligger energibesparingen på runt 5 %. Bättre fönster ger en besparing på ca 10 % (fönster med U=1,0 W/m²K istället för 1,7 W/m²K). En kraftig ökning av lufttätheten i Malmö (0,2 l/sm² vid 50 Pa) sticker dock ut med en minskad energianvändning på ≈13 %. Kombinerar man åtgärderna på klimatskalet och tilläggsisolerar, tätar och sätter in fönster med lägre U-värde så kan energianvändningen minskas med 12-15 % oavsett ort. Lägst energianvändning får man om man kombinerar olika åtgärder med en bergvärmepump. Energianvändningen kan då minskas med ca 75 %.

För LCC-beräkningarna antas 20 års livslängd på alla installationer, ingen underhållskostnad eller återinvestering ingår. Grundfallet avser uppvärmning med fjärrvärme. Investering i byggnadsstommen räknas på 60 år. Resultaten av LCC-beräkningarna av enskilda energieffektiviserande åtgärder i villan visar att tilläggsisolering av både ytterväggar och tak är lönsamt på 60 år på samtliga orter. Tilläggsisolering sänker LCC60 mest i Luleå och minst i Malmö. Även FTX-systemet med 81 % temperaturverkningsgrad sänker LCC kostnaderna. Dock görs här antagandet att luftläckaget minskar med FTX, jämfört med frånluftssystem eftersom friskluftventilerna tas bort. Om tryckfallet över ventilerna är litet kan det säkert vara så, men om undertrycket i huset är mindre med FTX (balanserad ventilation) är det troligare att läckförlusterna ökar med FTX.

Att byta till nya fönster med lägre U-värde är en tveksam åtgärd ur livscykeleconomisk synpunkt för Malmö och Stockholm där LCC-kostnaden ökar. Även solvärmesystem för varmvatten och solvärmesystem som kombisystem ökar Livscykelkostnaden på samtliga orter. Dock brukar man räkna med att systemet (ej varmvattenberedaren) har en livslängd på 30 år. Frånluftsvärmepump och elpanna istället för fjärrvärme sänker LCC kostnaden i Malmö och Stockholm. Bergvärmepumpen sänker LCC kostnaden på samtliga orter.

Examensarbete 2 med energi- och kostnadsanalyser av småhus med olika isolerstandarder

Andersson och Chiaussa [9, 10] har beräknat livscykelkostnader för en villa med tre olika isolerstandarder av väggar golv tak och fönster. Uppvärmning sker med elvärme, frånluftsvärmepump, solvärt tappvarmvatten eller fjärrvärme. Livscykelkostnadsanalyser baserade på 30 års kalkyltid visar att lågenergihuset (ca 48 kWh/m²,år) ger de lägsta livscykelkostnaderna jämfört med referenshusen (ca 86 kWh/m²,år) trots att merkostnaden är ca 80 000 kr. Vid en årlig elprisökning på 4 % (som är lägre än statistiken för de tio senaste åren) och en fjärrvärmeprisökning på 1,8 % blir kostnaden ungefär lika för elvärme, resp fjärrvärme. Initialkostnaden för el har satts till 99,08 öre/kWh och fjärrvärmens till 61,84 öre per kWh vid en anslutningsavgift på 24 800 kr. Frånluftsvärmepumparna tycks inte ge lägsta kostnader i denna studie, men har inte använts i lågenergihuset.

Examensarbete 3 med energi- och kostnadsanalyser av småhus med olika uppvärmningssystem

Torsell [11] studerar i sitt examensarbete en 1 ½ plans villa på 120 m². Huset har simulerats i VIP+ och alternativ med elpanna och olika typer av ventilationssystem simuleras för Malmö, Stockholm och Haparanda. Frånluft, frånluftsvärmepump, FTX och ett alternativ med både FTX och frånluftsvärmepump studeras. För samtliga klimat ger FVP samt FTX+FVP de lägsta energibehoven. Skillnaden mellan de olika systemen är liten. FTX ger i samtliga klimat ett högre energibehov jämfört med FVP, men skillnaden mot FVP är marginell i Haparanda. En viktig anledning till att FTX inte ger så stor besparing som FVP är att läckageflödet antas öka med FTX som innebär en balanserad ventilation med mindre undertryck i huset. En annan viktig parameter är att FVP-system gynnas av ökat varmvattenbehov. LCC-kostnader samt pay-off tider har beräknats. Frånluftsvärmepumpen ger i samtliga fall de lägsta kostnaderna och pay off tiderna. I beräkningen ingår både investeringskostnader (arbete+material), men också underhållskostnader och byten av slitdelar. Dock tycks livslängden för FTX-aggregatet ha satts till 20 år, lika långt som för värmepumpen, vilket kanske är för kort för ett sådant system, då endast fläktarna är slitdelar.

Examensarbete 3 med energi- och kostnadsanalyser av småhus med olika isolerstandarder

I ett examensarbete av Granbom och Thorn [12] jämförs energibehov och LCC-kostnader för fyra olika huskoncept: Konventionellt hus med FTX och fjärrvärme, vanligt hus med FVP, passivhus utan solvärme samt ett förbättrat passivhus med solvärme. Det konventionella huset

med FTX och fjärrvärme ger de högsta kostnaderna, medan de andra alternativen något lägre och likvärdiga kostnader. Det förbättrade passivhuset med solvärme ger allra lägst kostnader enligt undersökningen.

"Marknadens intresse för energieffektiva småhus"

En energi- och kostnadsanalys av Wijk [13] har genomförts för hus med fyra olika uppvärmningsbehov och fyra olika typer av värmesystem. Studien gäller för nybyggda hus och de värmesystem som jämförs är frånluftsvärmepump, fjärrvärme med frånluftsventilation och fjärrvärme med FTX. Dessutom undersöktes det mest välisolerade huset med solfångare och FTX (passivhus). Klimatorten var Göteborg. Simulerade energibehov (uppvärmning och varmvatten) varierade mellan 75 och 150 kWh/m². El- och Fjärrvärmepreis ges inte, men har tagits från Energimyndigheten respektive Göteborg Energi. Installationskostnader och merinvestering i byggnaden redovisas. Förenings sparbanken har gjort boendekalkyler som visar att månadskostnaden mellan de olika husen varierar som mest mellan +100 till -310 kr/månad. Dvs från +1 200 till -3 720 kr/år. Energiprisökningarna har varierats mellan 3 och 7 %. Då månadskostnaden för ett nytt hus är ca 10 000 kr är det egentligen väldigt små variationer i månadskostnad och de ökade investeringskostnaderna med ett mer välisolerat hus kunde kompenseras med lägre energikostnader. Generellt fanns det en liten lönsamhet att isolera husen bättre. Ett välisolerat hus med frånluftsvärmepump gav den lägsta boendekostnaden. Studien innehåller också en enkätundersökning där slutsatsen dras att det både finns en efterfrågan och en betalningsvilja för energisnåla hus.

"Broschyr med titeln: "Hur värmer vi svenska småhus idag och i framtiden?"

Kapitalkostnad och energikostnad för olika uppvärmningssystem har beräknats av Svensk Energi, Elforsk och Villaägarnas Riksförbund [14]. De system som ingår i studien är pelletspanna, luft/vattenvärmepump, bergvärmepump, fjärrvärme och elpanna. Resultaten visar att det är billigast att behålla direktverkande elvärme i hus med 10 000 till 14 400 kWh i uppvärmningsbehov. Inget fall med pelletkamin studerades. Luft/vattenvärmepump ger den lägsta kostnaden i ett hus med vattenburen värme där uppvärmningsbehovet är 20 000 kWh/år. Studien genomfördes 2005 och energipriser och systemkostnader redovisas ej så det är svårt att bedöma beräkningarnas relevans idag.

"Studie av kostnader för olika värmesystem i nya och gamla hus"

Kapitalkostnad, servicekostnad och energikostnad för de flesta tänkbara uppvärmningssystem (dock inte pelletkaminer) redovisas av Bengtsson [15]. Förutsättningarna är ett nybyggt hus med 9 800 kWh uppvärmningsbehov och ca 4 900 kWh tappvarmvatten vilket sägs motsvara medelvärdet för nybyggda småhus år 2006. Energipriserna är följande; El: 134 öre/kWh, Pellets: 2 000 kr/ton, Ved: 400 kr/m³, Fjärrvärme: 63,1 öre/kWh Olja: 10 000 kr/m³. Den årliga inflationen antas vara 2 %, Låneräntan 4 % Skattereduktionen 30 % och 10 års amortering. Årliga kostnader för energi, service och kapital beräknas och då får pelletpannor och vedpannor de lägsta kostnaderna tätt följt av luft-vattenvärmepump.

"Koldioxidutsläpp från olika uppvärmningssystem"

Karlsson [16] jämför i sin avhandling CO₂-utsläpp från olika typer av uppvärmningssystem. Räknat med enbart direkta kostnader får naturgaspanna, oljepanna och vedpanna de lägsta kostnaderna. Värmepump och fjärrvärme har högre kostnader. Externa kostnader för emissioner är osäkra varvid det är svårt göra en exakt beräkning, men inkluderas ett högt antagande av dessa kostnader är biobränslebaserade värmesystem kostnadseffektivast.

1.6 Sammanfattande resultat från litteraturstudien

De olika studierna i avsnitt 1.5 ger ingen liktydig bild av vilka system som ger de lägsta kostnaderna. Ett problem är att ingen av studierna är heltäckande när det gäller möjliga systemvarianter och att olika energipriser och beräkningsförutsättningar tillämpas i de olika studierna. Det är väl utan tvekan så att oljeuppvärmning och elvärme i normalbyggda hus är och kommer att förbli en kostsam lösning. Intressant är resultaten från studierna av Wijk [13] samt Dalenbäck [5, 6] och Albers [7] att de olika uppvärmningssystemen ger ungefär samma energikostnad och att konsumenten därför bör välja efter vad man tror om den framtida utvecklingen av tillgång och priser. Faktorer som investeringskostnad kontra driftskostnad eller möjligheter till framtida bränsleflexibilitet [17] är andra faktorer att ta hänsyn till vid val av uppvärmningssystem.

Frånluftsvärmepumpen ger lägst kostnad i två av studierna [11, 13] och näst lägst kostnad efter bergvärmepumpen i studien av Sundqvist och Allansson [8]. Luft/vattenvärmepumpen ger lägst kostnader i [14] och i studien av Bengtsson [15] ger den näst lägst kostnad efter vedpanna och pelletpanna som ger lägst kostnader. Granbom och Thorn visar i sitt examensarbete att Passivhus (med, resp utan solvärme) samt konventionellt hus med frånluftsvärmepump ger de lägsta kostnaderna. Även Persson [18] finner att solvärme är lönsamt då den ersätter elvärme vid ett elpris på 1,20 kr/kWh och därmed kommer solvärmens att bli mycket lönsamt då energipriserna förväntas stiga under solvärmesystemets livstid. Solvärme som ersätter pelleteldning är svårare ekonomiskt med dagens energipris, men solvärmens möjliggör att pannan kan stängas av sommartid och därigenom undvika driftsperioden med sämst verkningsgrad vilket gör att pelletbesparingen kan bli större än själva solvärmestillskottet om ackumulatortanken är välisolerad [18].

Utfallet av ekonomiska beräkningar för värmesystem är starkt beroende av de förutsättningar man väljer och en absolut objektivitet är omöjlig. Skillnaden i kostnader mellan olika systemlösningar är ju inte så stor, så en orsak till de spretiga resultaten kan också vara författarens vilja att uppnå ett visst resultat.

2 BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

2.1 De studerade byggnaderna

Ett småhus enligt Figur 2.1 har modellerats och simulerats med det dynamiska simuleringsprogrammet TRNSYS [19]. Tre olika utföranden har studerats enligt Tabell 2.1;

- Standardhus med genomsnittligt $U_m=0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Välisolerat hus med genomsnittligt $U_m=0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Passivhus som uppfyller den frivilliga passivhusstandarden [20] med $U_m=0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$

Huset har regelstomme med isolering av mineralull. Standardhuset och det välisolerade huset har golvvärme i betongplatta med överliggande laminatgolv och klinker i våtrum. Interaktionen mellan golv och mark beräknas av en markkopplingsmodell (TRNSYS type 703). Denna modell delar upp marken under och kring huset i noder och beräknar kontinuerligt marktemperaturen under huset med hänsyn till utetemperatur och golvtemperatur. För att marktemperatursvängningarna skall hinna ställa in sig simuleras huset först ett år och de slutliga temperaturerna i marken används som indata till den slutliga simuleringen som avser tretton månaders drift, där simuleringsresultaten från första månaden ej utnyttjas. Huset har simulerats med solfångare och ackumulatortank i olika storlekar (Tabell 3.2), golvvärme i de fall det används samt med frånluft eller FTX, men de olika värmekällorna har inte simulerats utan beräknats schablonmässigt efteråt, se Tabell 2.7 för i beräkningen använda verkningsgrader på värmepumpar, pelletkaminer och FTX-aggregat.



Figur 2.1. Det simulerade enplanshuset från Fiskarhedenvillan [21] på 143 m^2 och dess zonindelning som har modellerats i TRNSYS (skala 1:200). Pilar i dörröppningar visar simulerad värmespridning orsakad av egenkonvektion mellan de olika zonerna [21]. Dessutom förekommer luftflöden mellan zonerna orsakade av ventilationssystemet

Passivhuset simuleras med solvärme (10 m² solfångare och 750 l ackumulatortank i grundfallet) och utan golvvärme. Istället används ett FTX-aggregat med ett vattenbatteri för värmning av tilluften där tillufttemperaturen styrs så att frånlufttemperaturen hålls vid 20°C.

Isolerstandard

Huset har simulerats i flera versioner med olika isolerstandard enligt Tabell 2.1. Solinstrålningsdata levereras till byggnadsmodellen för de olika vägg- och takorienteringarna från en klimatfil med timvärden och en energibalans för utvändiga ytor beräknas där solljus, värmestrålning och konvektion ingår. Tidssteget för simuleringen är 0,025 timmar för att reglering av golvvärmesystem och solfångare skall fungera. Klimatdata för de olika orterna skapas med hjälp av programmet METEONORM [22] och bygger på uppmätta månadsmedelvärden för många olika platser. Den valda ortens väderdata bygger på interpolerade "syntetiskt" framtagna väderdata. Väggar simuleras endimensionellt där värmeledningsförmåga, värmekapacitet och densitet anges för de olika skikten. I trähus där man blandar träreglar och mineralull har andelsviktade värden för värmeledningsförmåga, värmekapacitet och densitet använts.

Standardhuset med det högsta U_m-värdet på 0,20 W/m²K är mycket välisolerat i jämförelse med vad Boverkets regler kräver (Tabell 1.1) Huset är också ganska välisolerat i jämförelse med monteringsfärdiga småhus på marknaden. Hållbar utveckling Väst [23] visar till exempel i en färsk marknadsundersökning av fjorton monteringsfärdiga småhus att 43 % av dessa har högre U_m-värden (sämre isolerstandard) än 0,20 W/m²K.

Tabell 2.1

Isolertjocklek och U-värden för de olika byggnadsdelarna samt genomsnittligt U-värde. Det moderna huset och det välisolerade huset utgår från Fiskarhedenvillans nuvarande, resp planerade isolerstandard våren 2009. Isolerstandard för passivhusen utgår från kravspecifikationen från FEBY [20].

| | Total yta m ² | Standardhus | | Välisolerat hus | | "Passivhus" | |
|----------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| | | Isoler- tjocklek m | U-värde W/m ² K | Isoler- tjocklek m | U-värde W/m ² K | Isoler- tjocklek m | U-värde W/m ² K |
| Ytterväggar | 107 | 0,19 | 0,23 | 0,26 | 0,17 | 0,41 | 0,10 |
| Takbjälklag inkl yttertak | 153 | 0,45 | 0,09 | 0,50 | 0,08 | 0,77 | 0,05 |
| Golvbjälklag inkl mark | 143 | 0,30 | 0,10 | 0,30 | 0,10 | 0,30 | 0,10 |
| Fönster | 24 | | 1,27 | | 0,98 | | 0,82 |
| Dörr | 5 | | 0,54 | | 0,54 | | 0,54 |
| Genomsnittligt U-värde, U _m | | | 0,20 | | 0,16 | | 0,13 |

Zonindelning

Huset är indelat i sex zoner enligt Figur 2.1 samt en zon för att simulera vindsutrymmet. I varje zon antas lufttemperaturen vara jämn och strålning och konvektionsutbytet mellan luften och de olika väggytorna beräknas. För golvytan varierar den konvektiva värmeövergångskoefficienten, men på övriga ytor antas ett konstant värde. Värmekapacitet av möbler och inredning ingår, men mattor och andra föremål som vanligtvis täcker en del av golvet och därmed minskar värmeöverföringen har inte beaktats i simuleringen.

Av Figur 2.1 framgår det simulerade husets planlösning samt zonindelning. Inom en zon antas lufttemperaturen vara homogen. Byggnadsmodellen i TRNSYS (Type 56) är en modell som

viktat strålningsutbytet mellan väggarna inom de olika zonerna, men tar inte hänsyn till geometrin i övrigt. Konvektion mellan rumsluften och de olika ytorna beräknas som en konstant koefficient för icke uppvärmda byggnadsdelar och en temperaturberoende koefficient för golvet med golvvärme. Solinstrålning genom fönster beräknas genom en detaljerad fönstermodell. Vindsutrymmet simuleras som en separat zon.

2.2 Studerade systemkoncept

För att utreda hur olika uppvärmningssystem påverkas av de nya byggreglerna studerades utvalda kombinationer av system vilka kan ses i Tabell 2.2 nedan. Energianvändningen för de olika systemen har beräknats för de tre husen med samma planlösning, men olika isolerstandard; ett standardisolerat hus, ett välisolerat hus samt ett passivhus eller lågenergihus. Mer om detta i avsnitt 2.1. En ekonomisk utvärdering av olika systemlösningar och deras uppvärmningsbehov har gjorts och presenteras i avsnitt 4. De uppvärmningssystem som studerades redovisas i Tabell 2.2. Vissa av systemen kombinerades med FTX (från och tilluft med värmeåtervinning) samt solvärme.

*Tabell 2.2
Studerade kombinationer av uppvärmningssystem.*

| | |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fjärrvärme + FTX | Fjärrvärme med mekanisk till- och frånluft med värmeåtervinning |
| Fjärrvärme | Fjärrvärme och mekanisk frånluftventilation |
| BV | Bergvärmepump som utvinnet värme ur ett borrhål kombinerad med frånluftventilation. Detta sker genom via en eldriven kompressor |
| BV+FTX | Bergvärmepump enligt ovan med mekanisk till- och frånluft med värmeåtervinning |
| FVP | Traditionell frånluftvärmepump som återvinnet värme ur frånluften och värmer tappvarmvatten och en liten del till radiatorkretsen. (kyler frånluften till ca +5°C) |
| FVP+JV | Kombinerad frånluft/jordvärmepump med jordslinga som utvinnet värme ur frånluften och värmer tappvarmvatten och radiatorer. |
| FVP kond. | Frånluftvärmepump, kondenserande. Utgående frånluft kyls till ca -15°C, vilket gör att nästan all fukt som finns i frånluften kondenserar. När vatten kondenserar frigörs stora mängder energi. |
| FVP kond+Sol | Kondenserande frånluftvärmepump, enligt ovan med 10 m ² solfångare och 750 liters ackumulatortank. |
| Pellet+sol+FTX | Vattenmantlad pelletkamin (80 % till vatten) med 10 m ² solfångare och 750 liters ackumulatortank samt mekanisk till- och frånluft med värmeåtervinning |
| Pellet+FTX | Vattenmantlad pelletkamin (80 % till vatten) med mekanisk till- och frånluft med värmeåtervinning |
| Pellet | Vattenmantlad pelletkamin och mekanisk frånluftventilation |
| Passiv+sol+FTX | Passivhus med 10 m ² solvärmsystem samt mekanisk till- och frånluft med värmeåtervinning och luftvärmare i tilluften. |

Vedeldning

Vedeldning har inte inkluderats i studien då kostnaden för ved varierar kraftigt beroende på den egna arbetsinsatsen, samt att arbetet är svårt att värdera i ekonomiska termer. Normalt ger vedeldning den lägsta kostnaden om man accepterar den arbetsinsats som krävs. Även om man köper färdigkliven ved är det billigare än pellets, men det är svårt att ordna en praktisk vedeldning när det inte finns så stora utrymmen för en ackumulatortank. En väl dimensionerad vattenmantlad kökspanna är en intressant lösning i nya hus och det skulle troligen uppfylla

Boverkets krav att vara en fastbränsleinstallation som är konstruerad för permanent drift och därigenom skulle huset inte klassas som elvärt. Investeringskostnaden för ett sådant system blir dock ungefär lika som för en vattenmantlad pelletkamin. Då gäller inte de strängare energi- och effektkraven för elvärmda hus.

Vattenmantlad pelletkamin

Vi har således endast studerat pelletsystem med vattenmantlad kamin. Vi antar att en vattenmantlad pelletkamin med minst 80 % till vattenkretsen skulle uppfylla kraven för att vara ett icke elvärt system, men det är tveksamt för luftburna pelletkaminer. Kompletterar man dessutom med solvärme täcks varmvattenlasten sommartid utan behov av el. Nybyggda hus har sällan ett utrymme avsett för en panna och dagens pelletpannor är inte heller är lämpliga som grovkökspannor vilket gör pelletpannor relativt ointressanta i nybyggda hus. Systemverkningsgraden blir dessutom betydligt högre för pelletkaminer, eftersom värmeavgivningen till rummet räknas som nyttig värme.

Ett pelletalternativ med automatisk påfyllning av pellet från ett bulkförråd samt en kamin med helautomatisk rengöring och uraskning är intressant för att motsvara komfortnivån hos värmepumpar, men då extrakostnaden för ett sådant system blir högre och då arbetsinsatsen med pellet värderas olika av olika brukare [24] har det inte tagits med i den ekonomiska utvärderingen.

Kombinationer av frånluftvärmepump och pelletkamin

Kombinationer av frånluftvärmepump och pelletkamin kan vara ekonomiskt intressanta men det är oklart hur man kommer att klassa dessa system, då det egentligen är en blandning av system med elvärme och pellet. Klassas de som elvärmda kan pelletkaminens verkningsgrad göra det svårare att klara energikraven och för att de inte skall klassas som elvärmda måste antingen kravet på att vara en panna avsedd för permanent drift uppfyllas eller så måste effekten måste ligga under 10 W/m^2 , vilket innebär att el-patronen måste utelämnas. Det är också mycket svårt att göra en schablonberäkning av kombinationen värmepump och pelletkamin, så detta sammantaget gör att dessa kombinationer utelämnas.

Uteluftvärmepump

Alternativ med uteluftvärmepump uteslöts då det troligen inte kommer att vara ett gångbart alternativ på grund av effektkrav för elvärmda hus i de nya byggreglerna (se avsnitt 1.4 för energikrav). Vattenmantlade pelletkaminer bedöms vara betydligt intressantare än dagens pelletpannor i samband med nybyggnad. Framförallt krävs inget pannrum och spillvärmens från kaminen kommer huset tillgodo. Vi antar att en vattenmantlad pelletkamin kommer att accepteras som ett icke elvärt system trots att den inte täcker varmvattenbehovet sommartid. Det är ytterst kommunerna som skall tolka och tillämpa byggreglerna. En vattenmantlad pelletkamin tillsammans med solvärme är ett intressant koncept då varmvattenbehovet sommartid täcks med solvärme. En frånluftvärmepump med pelletkamin är också en intressant lösning men det är oklart om en sådan lösning kommer att klassas som elvärt eller icke elvärt alternativ. Frågan är också om man skall maximera bidraget från pelletkaminen eller från värmepumpen.

Fjärrvärme och frånluftvärmepump

Det finns lösningar på marknaden med kombinationen fjärrvärme och frånluftvärmepump. Det kan vara ett bra alternativ för att klara energikraven, men det är inte säkert att det gillas av fjärrvärmebolagen, eftersom det minskar sommarlasten och riskerar att öka returtemperaturen. Vi har även utelämnat detta alternativ, liksom kombinationen av fjärrvärme och solvärme.

2.3 Boverkets kravnivåer för det studerade huset

I Tabell 2.3 nedan redovisas vilka krav som gäller för det studerade huset på 143 m² enligt Boverkets nya energikrav från 1:a jan 2010 [1, 2]. Beroende på om huset klassas som elvärt eller inte blir kraven på köpt energimängd olika. Huset klassas som elvärt om det inte finns någon bibränslepanna avsedd för permanent drift som täcker värme- och tappvarmvattenbehovet. Energi från solfångare räknas inte in i den köpta energimängden, inte heller hushållsel. Däremot ingår fastighetsel, dvs. el till pumpar och fläktar. Om huset räknas som elvärt får maximalt effektbehov enligt Tabell 2.3 inte överskridas.

Tabell 2.3

BBR:s krav på energi- och effektbehov från och med 1:a jan 2010 för det studerade huset beroende på uppvärmningssätt och klimatzon [2].

| Klimatzon/ Simulerad ort | Uppvärmningssätt | Maximalt energibehov [kWh/m ² ·år] | Maximalt energibehov [kWh/år] | Maximalt eleffektbehov [kW] |
|--------------------------|------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| I (Kiruna) | El/Värmepump | 95 | 13 623 | 6,0 |
| | Biobränsle | 150 | 21 510 | - |
| II (Mora) | El/Värmepump | 75 | 10 755 | 5,4 |
| | Biobränsle | 130 | 18 642 | - |
| III (Örebro, Malmö) | El/Värmepump | 55 | 7 887 | 4,8 |
| | Biobränsle | 110 | 15 774 | - |

2.4 Kravnivåer för passivhus

Framtagna effekt och energikrav för så kallade "passivhus" [20] utgår från att huset skall kunna värmas med ordinarie ventilationssystem, dvs. värmebehovet skall kunna bäras av den ordinarie tilluften utan att tillufttemperaturen överstiger 52°C. Detta begränsar effektbehovet som kan tillföras och de krav som ställs enligt Forum för Energieffektiva Byggnader [20] för friliggande småhus är att effektbehovet får vara högst 14 W/m²A_{temp+garage} för zon I, 13 W/m²A_{temp+garage} för zon II och 12 W/m²A_{temp+garage} för zon III. Dessutom anges att mängden fastighetsel bör vara mindre än 5 kWh/m²A_{temp+garage}. Beträffande årligt energibehov finns två alternativa kravnivåer som sammanfattas i Tabell 2.4. Används den viktade energianvändningen inkluderas hushållselanvändningen och det rekommenderas att varje kWh el räknas som två kWh och att insamlad solvärme inte inkluderas i beräkningen. Ytterligare krav som nämns är att luftläckning genom klimatskalet får vara maximalt 0,30 l/(s·m²) vid en tryckdifferens av 50 Pa.

Det simulerade huset i passivutförande har simulerats med 10 m² solfångare, 750 liters ackumulatortank med el-patron samt en vatten-luftvärmexlare i tilluften som värmer tillufttemperaturen så att frånlufttemperaturen hålls vid lägst 20°C.

Tabell 2.4

Energi- och effektkrav för det studerade huset för att uppfylla passivhuskrav. Kraven är framtagna inom Energimyndighetens program för passivhus och lågenergihus [20]. E_{viktad} avser viktad total energianvändning för uppvärmning, varmvatten och hushållsel dividerat med total uppvärmd yta inkl garage. Viktningen föreslås ske så att; $el=2$, fjärrvärme, biobränsle=1, sol & vind = 0. Dessutom nämns att fastighetsel i småhus bör vara mindre än 5 $kWh/m^2 A_{temp+garage}$.

| Klimatzon/ Simulerad ort | E_{viktad} (inkl hushållsel) [$kWh/m^2 A_{temp+garage}$] | Alternativt krav (exkl hushållsel) [kWh köpt/ $m^2 A_{temp+garage}$] | Maximalt effektbehov upp- värmning [$W/m^2 A_{temp+garage}$] |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| I (Kiruna) | 68 | 34 (elvärme) 58 (icke elvärme) | 14 |
| II (Mora) | 64 | 32 (elvärme) 54 (icke elvärme) | 13 |
| III (Örebro, Malmö) | 60 | 30 (elvärme) 50 (icke elvärme) | 12 |

2.5 Varmvattenlast

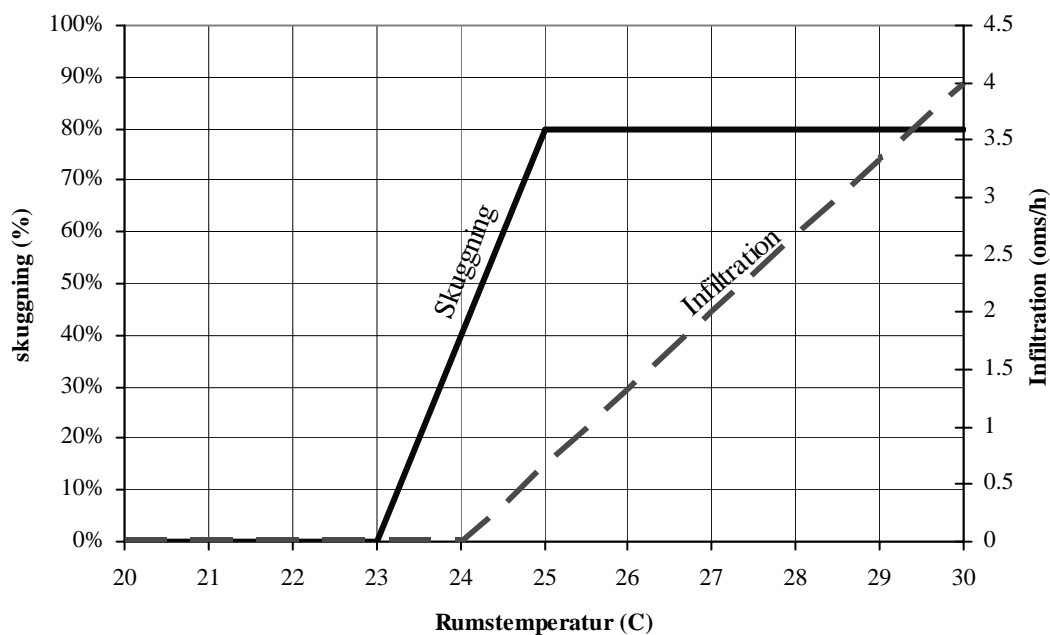
Tappvarmvattenlasten simuleras genom en tappningsprofil kopplad till varmvattentanken och ger en årlig last på drygt 3 100 kWh/år. Den tappningsprofil som används är framtagen inom Task32-projektet [25] och består av 6-minuters tappningar med varierande flöden upp till ca 0,25 l/s. Alla tappningar sker vid 45 grader och för kallvattentemperaturen används en sinusformad temperaturkurva enligt ekvationen nedan [26]:

$$T_{KV} = T_{mKV} + T_{aKV} \cdot \sin\left[360 \cdot (t + (273,25 - D_{offKV}) \cdot 24) / 8600\right] \quad \text{ekv 2.1}$$

De parametrar som används är alla för Stockholm [26] där T_{mKV} är kallvattnets årsmedeltemperatur (8,5 °C), T_{aKV} är amplituden (6,4 °C), t är tidpunkten i timmar och D_{offKV} är tidsförskjutningen (80 dygn). Samma varmvattenlast och kallvattentemperatur används för alla simulerade orter vilket betyder att varmvattenlasten inte varierar för de simulerade orterna.

2.6 Solavskärmning

För att minska solinstrålning genom fönster och därmed undvika alltför stora övertemperaturer inomhus simuleras interna persienner som fälls ner och infiltrationsflödet ökas vid ökande rumstemperatur enligt Figur 2.2 för att simulera vädring. Ingen vädring tillåts dock om utetemperaturen understiger 15°C.



Figur 2.2. Skuggning med interna persiennor och ökad infiltration (vädring) för att begränsa rumstemperaturen till en rimlig nivå sommartid. Utetemperaturen skall vara över 15°C för att ökad infiltration skall påbörjas.

2.7 Uppvärmningssystem

Standardhuset och det välisolerade huset simuleras med ett vattenburet golvvärmesystem och inställda temperaturer redovisas i Figur 2.1. Passivhuset simulerades med en vattenvärmare i tilluften som upprätthåller lägst 20°C i frånluften. Denna typ av uppvärmning ger större variationer i inomhustemperaturen mellan rummen, men har lägre kostnader och ger lägre värmeförluster från golvet.

Golvvärmesystemet (rör i betongplattan) uppdelat på de sex olika zonerna simuleras inom byggnadsmodellen (Type 56). Vattenflöde och utetemperaturkompenserad framledningstemperatur levereras till byggnadsmodellen. Det simulerade styrsystemet bygger på rekommendationer från Wirsbo AB som är en leverantör av golvvärmesystem. Detta innebär en on/off reglering där flödet antingen är noll eller lika med fullt dimensionerade flöde. Om rumstemperaturen är mer än en grad under inställd rumstemperatur råder konstant flöde genom golvet. Då inställd temperatur överskrids är flödet alltid noll. I temperaturområdet däremellan växlar flödet mellan av och på (6 minuter på och 6 minuter av). Flödet är desamma i samtliga klimat (ca 10 kg/(m²h)). Framledningstemperaturen styrs av ett linjärt samband och framledningstemperaturen justeras vid DUT (lägsta utetemperatur) utan solvärmestillskott för varje klimat och isolerstandard så att önskad rumstemperatur kan upprätthållas. Framledningstemperaturen ökas linjärt från och med då utetemperaturen understiger 20°C. Golvvärmesystemet står i beredskap hela året och kan vid behov tillföra värme oavsett årstid.

2.8 Klimat

Huset har simulerats i fyra olika svenska klimat för Malmö, Örebro, Mora och Kiruna. Klimatdata är hämtade från programmet METEONORM [22] som skapar timvärden från må-

nadsmedelvärden. Årsmedelvärden för de väderdata som använts redovisas i Tabell 2.5. Örebro, Mora och Kiruna representerar bland de kallaste platserna i respektive zon III, II och I. Som jämförelse och för att visa skillnaderna inom en klimatzon simulerades även Malmö, vilket får representera en av de varmaste platserna i zon III.

Tabell 2.5

Sammanställning av väderdata från METEONEORM [22] för de olika orterna som simulerats. Den lägsta temperaturen enligt klimatfilen har använts som DUT (dimensionerande utetemperatur) vid injustering av värmesystemet och beräkning av maximalt effektbehov.

| | Malmö | Örebro | Mora | Kiruna |
|-----------------------------------------|-------|--------|-------|--------|
| Lägsta temperatur i klimatfil (°C) | -9,4 | -19,7 | -26,7 | -31,3 |
| Årsmedeltemperatur (°C) | 8,5 | 7,0 | 4,4 | -0,1 |
| Medelvindhastighet (m/s) | 4,8 | 3,2 | 1,9 | 3,4 |
| Solinstrålning (kWh/m ² ,år) | 990 | 957 | 905 | 749 |

2.9 Ventilation och infiltration

Huset har simulerats, dels med till- och frånluft med värmeåtervinning (konstant 85 % temperaturverkningsgrad) samt enbart frånluftventilation med en konstant luftomsättning på 0,5 omsättningar per timme i genomsnitt i huset. Tilluft/uteluft tillförs i sovrum och vardagsrum och frånluft suges ut i badrum, kök och tvätt. Infiltrationsförluster varierar med utetemperatur och vindhastighet enligt en modell av Sherman och Grimsrud [27]. Parameter för husets täthet uttryckt i totalt läckflöde vid 50 Pa tryckdifferens har antagits vara 0,1 m³/s för de två vanliga hustyperna med FTX och 0,04 m³/s för passivhuset med FTX. Enligt en frivillig kravspecifikation för passivhus [20] skall läckflödet inte överstiga 0,3 l/s·m² vilket motsvarar det antagna värdet för passivhuset. I Boverkets byggregler [1] finns inte längre något specifikt gränsvärde för lufttäthet.

Då husen simuleras med frånluftssystem antas att läckflödet minskar ytterligare till 0,033 m³/s, eftersom huset då har ett större undertryck och därför inte påverkas lika kraftigt av blåsig väderlek. Uteluft suges lättare in genom eventuella hål i klimatskärmen när frånluftssystem används, men med FTX (balanserad ventilation) är det större risk att varm inneluft strömmar ut genom dessa hål. Detta ger en osäkerhet när det gäller hur stor besparingen egentligen blir med ett FTX-system. Det finns tom en studie på flerfamiljshus som indikerar att FTX inte ger någon besparing alls jämfört med Frånluft [28, 29]. Klart är dock att det gäller att bygga mycket täta hus och använda el-snåla aggregat med hög verkningsgrad på värmväxlaren för att FTX skall ge så låg energianvändning som möjligt.

2.10 Interna värmelaster och solinstrålning

I modellen har hänsyn tagits till värme från personer, apparater, belysning och solinstrålning mot fasader och genom fönster. Ingen hänsyn har tagits till värme- och fuktavgivning orsakade av dusch och vattentappningar. Värmetillskott från solinstrålning beräknas automatiskt av byggnadsmodellen. Dock har skuggning från andra byggnader, träd, takfot och snö inte beaktats i simuleringen. Huset antas vara bebott av två vuxna och två barn och sensibel värme från

personer och elektriska maskiner uppgår till 5 100 kWh/år. Nyttigt solvärmestillskott varierar beroende på klimat och fönster typ enligt Tabell 2.6, men också beroende på om huset är utrustat med solfångare eller FTX. I nämnda tabell visas det passiva solvärmestillskottet för hus med FTX men utan solfångare.

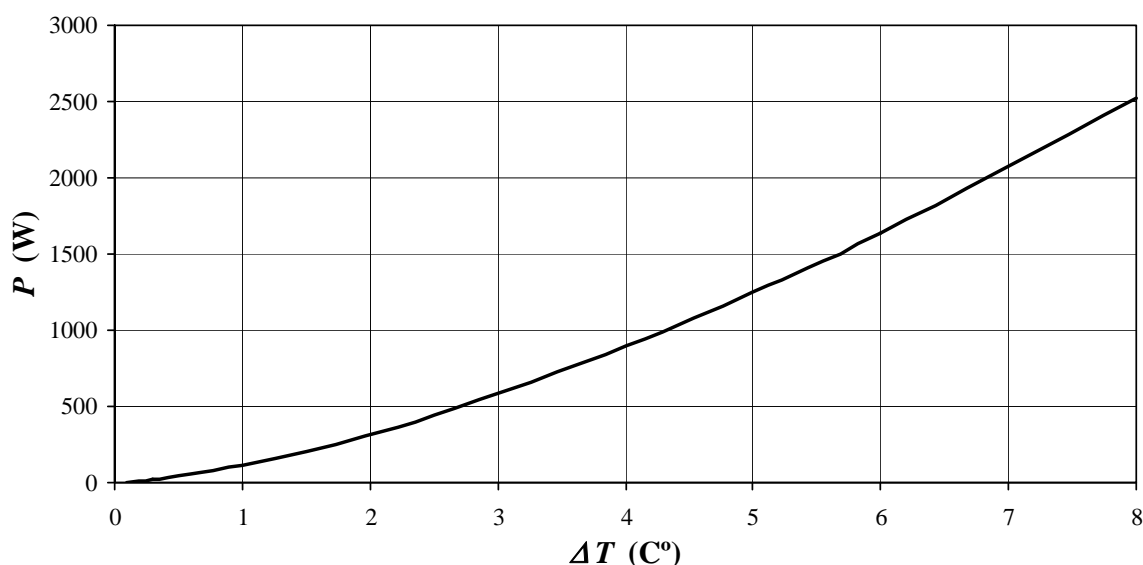
Tabell 2.6

Nyttiggjort passivt solvärmestillskott varierar beroende på klimat och fönstertyp samt användning av persienner (se Figur 2.2). Tillskottet är beräknat för hus med FTX men utan solfångare och avser den energibesparing som solinstrålningen genom fönstren ger upphov till jämfört med om det vore mörkt hela året.

| Passiv solvärme | Malmö | Örebro | Mora | Kiruna | |
|-----------------|-------|--------|-------|--------|--------|
| Modernt hus | 3 674 | 3 948 | 4 027 | 3 741 | kWh/år |
| Välisolerat hus | 3 610 | 3 870 | 3 950 | 3 700 | kWh/år |
| Passivhus | 3 480 | 3 740 | 3 880 | 3 720 | kWh/år |

2.11 Värmeöverföring mellan zoner

Värmeöverföring mellan de olika zonerna genom innerväggar beräknas automatiskt av modellen. Konvektion genom dörröppningar mellan zonerna som genererar värmespridning beräknas enligt samma metodik som av Persson [30] där värmeöverföring i dörröppningar bygger på teorier som rekommenderas av Barakat [31]. Figur 2.3 visar värmeöverföringen i en dörröppning.



Figur 2.3. Beräknad värmeöverföring P genom en dörröppning med måtten 2 m * 0,8 m som funktion av temperaturskillnaden mellan rummen ΔT .

2.12 Schablonberäkning av värmesystem

Värmepumpar

Förutom solvärme har de olika uppvärmningssystemen i studien inte simulerats, utan en schablonberäkning för de olika systemen baserade på tillverkardata har tillämpats. IVT:s beräkningsprogram har använts för att beräkna el-besparingen för frånluftsvärmepump, frånluft/jordvärmepump samt bergvärmepump. Besparingen för den kondenserande värmepumpen från ComfortZone lästes av från ett besparingsdiagram i produktbladet [32] som baserades på värmebehovet och bostadsytan (ventilationsbehovet). För den kondenserande frånluftsvärmepumpen kombinerad med solvärme adderades halva energibesparingen från solvärmens (se 3.2) till besparingen för värmepumpen. Detta då COP vid varmvattenproduktion antogs vara 2 och solvärmens till största delen ersätter varmvatten över sommarhalvåret.

Tillverkardata för de olika produkterna sammanfattas i Tabell 2.7 tillsammans med den valda verkningsgraden för schablonberäkningen. En fältundersökning av fem värmepumpinstalleringar [33] som installerats i äldre hus mellan åren 1998 och 2003 uppvisar värmefaktorer på mellan 2,4 och 2,9. Detta var i medel ca 7 % lägre än den värmefaktor som offererades vid förfrågan (en anläggning installerades utan offert). Av denna anledning har årsverkningsgraden i schablonberäkningen också korrigerats nedåt med 7 % jämfört med tillverkardata. Viktigt att notera är att årsverkningsgrad för schablonberäkningen härstammar ur i förra stycket nämnda el-besparing och inkluderar el till el-patron, kompressor och eventuella cirkulationspumpar. Den totala installerade eleffekten med dagens värmepumpar kan bli högre än de nya byggreglerna accepterar eftersom kompressoreffekt och el-patronens effekt inte optimerats, vilket diskuteras utförligare i 3.3.

Pelletkaminer

Vattenmantlade pelletkaminer har en verkningsgrad som enligt tillverkardata ligger på mellan 85 och 90 % [34, 18]. Mätningar och systemsimuleringar [18, 35] visar att verkningsgraden varierar med last och är beroende på kaminens karakteristik och reglerprincip. Karakteristiskt för kaminer är att verkningsgraden ökar vid lägre drifteffekt eftersom rögkastemperaturen sjunker, men kaminens verkningsgrad kan också bli lägre om luftfaktorn inte är optimalt justerad för lägre effekt eller om förbränningsluftfläkten arbetar länge under stoppfasen och fläktar ut kvarvarande värme genom skorstenen. Dock minskar också andelen värme som avges till vattenkretsen vid lägre drifteffekt eller många start och stop. En kamin som har ca 80 % av värmeavgivningen till vattenkretsen under stationär drift levererar endast ca 60 % av värmen till tanken på årsbasis [18, 35].

Till skillnad från pannor så brukar värmeavgivningen till rummet räknas som nyttig värme och kaminen stängs därför av sommartid när inget uppvärmningsbehov föreligger och detta är mycket gynnsamt för årsverkningsgraden. Forskning visar dock att det krävs kaminer med mycket hög andel av värmeavgivningen (> 80 % vid stationärdrift) för att det inte skall bli ett värmeöverskott i det rum som kaminen är placerad i [18, 35]. Årsverkningsgraden för pannor blir alltid lägre än verkningsgraden vid stationär drift, eftersom värmeavgivningen till pannrummet räknas som förluster och blir förhållandevis stor under låglastperioder. För beräkningarna i denna studie sattes verkningsgraden för pelletkaminen till 85 % och det förutsätts vara en kamin med 80-90 % av värmeavgivningen till vattenkretsen vid stationär drift. För pelletkaminer sjunker inte verkningsgraden vid minskande last på samma sätt som för pannor eftersom värmeförlusterna till rummet räknas som nyttig effekt och självdragsförluster till skorstenen upphör så snart kaminen kallnat av [18].

Tabell 2.7

Tillverkardata för de olika värme- och ventilationssystemen samt vald årsverkningsgrad. Data för värmepumpar är hämtade från IVT [36], Kondenserande frånluftsvärmepump från Comfortzone [37, 38], och FTX från REC Indovent [39]. Årsverkningsgraden för värmepumpar är beroende av last och klimatet och i tabellen presenteras det spann som användes för Malmö resp Kiruna. Vattenmantlade pelletkaminer har en verkningsgrad som ligger på omkring 85-90 % [34, 18].

| | Värmeeffekt kompressor kW | Eleffekt kompressor kW | Eleffekt el-patron kW | Årsverkningsgrad för- schablonberäkningen. beroende på ort |
|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------|
| FVP IVT 490 | 1,7-2,0 | 0,5-0,7 | 6/9/12 | 1,4-1,6 |
| FVP, kondenserande Comfortzone CE50 | 5 ¹⁾ Varvtalsstyrd | 1,3 ¹⁾ | 6/9 | 2,2-2,6 |
| FVP/JordVP IVT 695 TWIN | 5,17 ²⁾ | 1,44 ²⁾ | 9 | 1,8-2,0 |
| Bergvärmepump IVT Premiumline X11 | 6,68 ³⁾ Varvtalsstyrd | 2,07 ³⁾ | 6 | 3,3-4,0 |
| Vattenmantlad pelletkamin | | | | 85 % |
| Fjärrvärme | - | - | - | 100 % |
| FTX REC Temovex 400S | - | - | - | 85 % |

¹⁾ Effektuppgifterna angivna vid 20(12)/35 °C enligt Europastandard EN255 utan fläktar och pumpar. Angivna temperaturen 20°C anger frånlufttemperatur och (12)°C anger luftens våta temperatur.

²⁾ Effektuppgifterna angivna vid 0/35 °C enligt Europastandard EN255 utan fläktar och pumpar.

³⁾ Effektuppgifterna angivna vid 0/45 °C enligt Europastandard EN14511

3 SIMULERINGSRESULTAT OCH ENERGIBERÄKNINGAR

3.1 Simulerad energibalans

Simulerade energidata för de olika hustyperna, olika ventilationssystem och de olika klimaten redovisas i Tabell 3.1 nedan. Här har inte värmekällan simulerats utan endast huset med dess ventilationssystem, varmvattenlast och en eluppvärmd ackumulatortank. Från- och tilluft med värmeåtervinning (FTX) har simulerats med en konstant temperaturverkningsgrad på 85 %. Det simulerade värmebehovet används sedan som utgångspunkt för att beräkna slutligt el- och värmebehov utgående från olika värmesystems årsverkningsgrad enligt Tabell 2.7, eftersom husets totala användning av el och pellet är beroende av vilket uppvärmningssystem som används.

Tabell 3.1

Årligt uppvärmningsbehov för de simulerade husen inklusive varmvatten, exklusive hushållsel samt dimensionerande effektbehov. Dimensionerande effektbehov är beräknat vid lägsta utetemperatur enligt Tabell 2.5 och innefattar inte produktion av varmvatten eller hushållsel. Fallen med mekanisk frånluftsventilation (F-vent) används för att beräkna energiprestanda för hus med frånluftsvärmepumpar och andra uppvärmningsformer utan mekanisk från- och tilluft med värmeåtervinning (FTX).

| | Standardhus | | Välisolerat hus | | Passivhus |
|---------------------------------------------|-------------|--------|-----------------|--------|-----------|
| | F-vent | FTX | F-vent | FTX | |
| Värmebehov, Kiruna (kWh/år) | 25 156 | 17 068 | 23 132 | 15 127 | 8 330 |
| Dim. Effektbehov Kiruna (W) | 7 106 | 4 631 | 6 628 | 4 106 | 1 950 |
| Dim. Effektbehov Kiruna (W/m ²) | 49 | 32 | 45 | 28 | 13 |
| Värmebehov, Mora (kWh/år) | 17 953 | 11 648 | 16 475 | 10 278 | 5 983 |
| Dim. Effektbehov Mora (W) | 6 281 | 3 938 | 5 813 | 3 456 | 1 825 |
| Dim. Effektbehov Mora (W/m ²) | 43 | 27 | 40 | 24 | 13 |
| Värmebehov, Örebro (kWh/år) | 14 807 | 9 755 | 13 618 | 8 656 | 5 234 |
| Dim. Effektbehov Örebro (W) | 5 306 | 3 216 | 4 884 | 2 894 | 1 594 |
| Dim. Effektbehov Örebro (W/m ²) | 36 | 22 | 33 | 20 | 11 |
| Värmebehov, Malmö (kWh/år) | 12 847 | 8 760 | 11 805 | 7 821 | 4 799 |
| Dim. Effektbehov Malmö (W) | 4 191 | 2 719 | 3 891 | 2 381 | 1 319 |
| Dim. Effektbehov Malmö (W/m ²) | 29 | 19 | 27 | 16 | 9 |

3.2 Energibesparing med solvärmesystem

Husen har också simulerats med solvärmesystem i olika storlekar. Tre olika systemstorlekar har studerats. Ett litet kombisystem (system som levererar solvärme till både tappvarmvatten och värme) på 5 m² solfångare och 330 liters ackumulatortank vilken får plats i en 60*60-

modul, ett normalstort på 10 m² och 750 liter tank, båda solfångarna med husets taklutning på 27 grader. Dessutom simulerades ett stort system på 20 m² och 1 800 liters tank och här är solfångarlutningen hela 70 grader, vilket kräver ett hus med brantare tak eller att solfångarna reses upp på taket. Skall ett så stort system byggas bör man optimera för höst och vår genom högre solfångarlutning för att få en skaplig ekonomi på systemet. Tabell 3.2 visar simulerad energibesparing med solvärmesystemet beroende på klimat, hustyp och systemstorlek. Energibesparingen avser det minskade behovet av tillsatsvärme för att klara värme- och varmvattenlast och är uträknad som skillnaden för huset med och utan solfångare. I båda fallen simuleras en ackumulatortank på 750 liter med el-patron som värmekälla.

Systemet som simuleras är ett typiskt svenskt system med tre interna kamflänsrörvärmväxlare där värmväxlarplacering och anslutningshöjder i tanken följer de rekommendationer som ges av Lorenz [40] och Persson [30, 18, 35]. Värmeförlustfaktorn för tankarna är cirka 3,5 W/K vilket enligt Persson [41] skulle motsvara en tank med mycket god isolering och som är bättre än traditionellt byggda tankar med mineralullsisolering. Det är dock önskvärt med bättre isolerade tankar i lågenergihus eftersom värmeförlusterna i förhållande till värmebehovet kan bli stora och skapa komfortproblem i huset. Solfångarens parametrar har tagits från Task 32-projektet [25] och avser en enkelglasad solfångare med selektiv absorberator med goda prestanda.

Resultaten i Tabell 3.2 visar att energibesparingen med solvärme är kraftigt beroende av husets värmelast, dvs varierar med klimatet och husets isolerstandard. Den är också kraftigt beroende av varmvattenlasten [30], men i detta arbete varierar inte varmvattenlasten utan är konstant ca 3100 kWh/år.

Värmeförluster från tanken

Tankförlusterna ökar med 65% (380 kWh) om tanken förses med solvärme. Tankens värmeförluster avges till tvättstugan och kan spridas vidare till köket och övriga huset via dörröppningarna, men simuleringarna visar att dessa värmeförluster inte kommer huset till godo. Värmebehovet (värme till golvvärmesystemet) minskar inte. Den tillkommande värmeförlusten från tanken för system med solvärme kan alltså inte användas vilket troligen beror på att extra värmeförluster främst uppstår under sommarhalvåret när uppvärmningsbehov saknas eller är mycket litet. En studie av hur mycket av värmeförlusterna som kan utnyttjas för ackumulatortankar med sämre isolerstandard har inte genomförts i detta arbete.

Inverkan av klimatet mellan Mora och Malmö är relativt litet för de mindre systemen, men i Kiruna är solvärmebidraget markant mindre för de mindre systemen. Med 20m² solfångaryta blir solvärmestillskottet som högst i Mora och Örebro och lägre i både Kiruna och Malmö. I Kiruna är tillskottet lägre pga lägre solinstrålning under uppvärmningssäsongen och i Malmö blir tillskottet lägre pga mindre last (värmebehov) under vår och höst. Det är således lönsamast att bygga stora solvärmesystem i mellersta Sverige. I Kiruna ökar solvärmestillskottet kraftigt relaterat till solfångarytan. Observera att alternativet med 20 m² solfångare har 70 graders solfångarlutning jämfört med övriga system som monteras på husets aktuella taklutning 27 grader. Detta bidrar till den kraftiga ökningen jämfört med systemet med 10 m² solfångare.

Tabell 3.2

Simulerad energibesparing i kWh/år med solvärmsystem beroende på klimat, hustyp och systemstorlek. Varmvattenlasten är i samtliga fall ca 3 100 kWh/år. Alla system är placerade i söderläge med lutningen 27° för de två mindre systemen och 70° för systemet med 20 m² solfångare.

| 5 m ² solfångare 330 l tank | Standardhus | | Välisolerat hus | | Passivhus |
|-------------------------------------------------|-------------|-------|-----------------|-------|-----------|
| | F-vent | FTX | F-vent | FTX | FTX |
| Kiruna | 1 115 | 1 043 | 1 165 | 976 | 873 |
| Mora | 1 436 | 1 273 | 1 401 | 1 235 | 1 170 |
| Örebro | 1 479 | 1 335 | 1 453 | 1 294 | 1 235 |
| Malmö | 1 492 | 1 341 | 1 455 | 1 312 | 1 243 |
| 10 m ² solfångare 750 l tank | | | | | |
| Kiruna | 2 258 | 2 000 | 2 229 | 1 929 | 1 541 |
| Mora | 2 807 | 2 385 | 2 736 | 2 290 | 1 969 |
| Örebro | 2 786 | 2 412 | 2 715 | 2 341 | 2 001 |
| Malmö | 2 719 | 2 357 | 2 645 | 2 295 | 1 982 |
| 20 m ² solfångare 1800 liter tank | | | | | |
| Kiruna | 4 475 | 3 856 | 3 703 | 3 004 | 2 765 |
| Mora | 5 094 | 4 157 | 4 136 | 3 234 | 3 249 |
| Örebro | 4 846 | 4 029 | 3 975 | 3 178 | 3 176 |
| Malmö | 4 397 | 3 703 | 3 805 | 3 115 | 2 978 |

I Tabell 3.5 beräknas den reserveffekt som finns efter att värmepumpen och el-patronen täckt värmeeffektbehovet vid DUT samt varmvattenlasten. Det antas att det måste finnas minst 3 kW utöver värmeeffekten för att klara varmvattenbehovet när det är som kallast. Energilansen för ett system med värmepump och el-patron illustreras i Figur 3.1. Av detta följer att vi kan beräkna reserveffekten P_r enligt

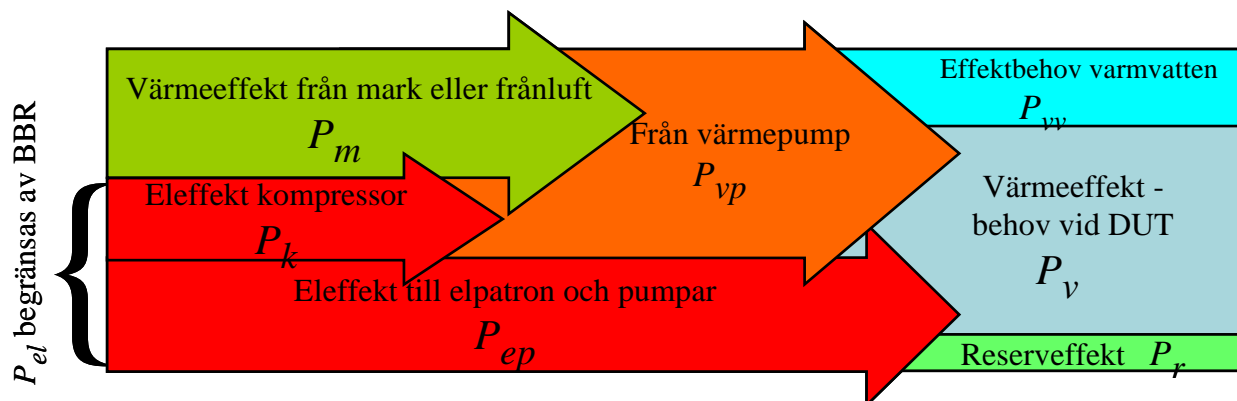
$$P_r = P_{vp} - P_k + P_{el} - P_v - P_{vv} \quad \text{Ekv 3.1}$$

Där P_{el} är den maximala eleffekten som begränsas enligt BBR [2] och Effektbehovet för att klara varmvattenlasten antas vara 3 kW. Tabell 3.3 visar antagna värden på kompressoreffekt P_k och avgiven värmeeffekt P_{vp} som använts. Beräkningen är en grov uppskattning, eftersom vi inte har exakta driftdata när värmepumpen går på högsta varvtal.

3.3 Räcker det tillåtna effektbehovet?

Eftersom de nya byggreglerna begränsar det maximalt tillåtna effektbehovet för system med elvärme vill vi undersöka hur de olika värmepumparna kan tänkas uppfylla dessa krav på de undersökta orterna. Maximal tillåten effekt på el-patron och cirkulationspumpar har beräknats för de olika orterna i Tabell 3.4. El-patronens effekt kan alltså behöva varieras beroende på var i landet som värmepumpen säljs och den kommer även att behöva varieras med husets boyta.

Vanligtvis används el-patroner på 3, 6, eller 9 kW och frågan är om tillverkarna behöver tillhandahålla el-patroner i alla tänkbara effektlägen



Figur 3.1. Energibalans för ett system med värmepump. Om reserveffekten blir negativ kan värmesystemet få svårt att leverera tillräcklig mängd värme och varmvatten när det blir kallt ute.

Tabell 3.3

Kompressoreffekt och avgiven värmeeffekt vid DUT för de olika värmepumparna enligt tillgängliga tillverkardata .

| | FVP | FVP kond. | FVP/Jord | Bergvärmepump |
|------------------------------|-----|-----------|----------|---------------|
| Avgiven värmeeffekt P_{vp} | 2,0 | 5,0 | 5,2 | 6,7 |
| Eleffekt kompressor P_k | 0,7 | 1,3 | 1,4 | 2,1 |

I Tabell 3.4 redovisas tillåten eleffekt på el-patron, fläktar och cirkulationspumpar efter att kompressorns eleffekt dragits av från den enligt BBR tillåtna maximieffekten. För alla värmepumpsvarianter blir den tillåtna effekten under 6 kW, vilket brukar vara den minsta el-patron som levereras med värmepumpen. Om kraven skall följas måste alltså värmepumparna anpassas till de nya kraven genom att levereras med olika effektsteg beroende på klimatzon och husets boyta. Bergvärmepumpar kan idag dimensioneras för att klara hela dimensionerande värme- och varmvattenbehovet genom att värmepumpen är varvtalsstyrd. Vid ett ev kompressorhaveri blir man då helt utan värmekälla vilket kan skapa olägenheter för brukaren.

I Tabell 3.5 redovisas den reserveffekt beräknad med ekv 3.1 som finns efter att värmepumpen och el-patronen täckt värme- och varmvattenlasten (3kW för varmvattenproduktion) Den vanliga frånluftsvärmepumpen klarar inte effekt kraven förutom möjligtvis i Malmö med då finns det bara ca 2 kW för varmvattenproduktion vid DUT. Den kondenserande frånluftvärmepumpen och kombinationen frånluft/jord ligger precis på gränsen och det kan vara ide att välja det välisolerade huset i norra Sverige.

Tabell 3.4

Maximal eleffekt på el-patron för olika värmepumpar efter att eleffekten till kompressorn räknats av från tillåten maximieffekt enligt de nya reglerna i BBR [2]. El-patron och övriga pumpar och fläktar får tillsammans alltså inte ha högre effekt än den som redovisas här.

| | Dim. effektbehov standardhus utan FTX (kW) | Dim. Effektbehov välisolerat hus utan FTX (kW) | Max eleffekt enl. BBR (kW) | Maximal effekt el-patron, pumpar, fläktar | | | |
|--------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|---------------|---------------|--------------------|
| | | | | FVP (kW) | FVP kond (kW) | FVP/Jord (kW) | Bergvärmepump (kW) |
| Kiruna | 6,6 | 7,1 | 6,0 | 5,3 | 4,7 | 4,6 | 3,9 |
| Mora | 5,8 | 6,3 | 5,4 | 4,7 | 4,1 | 4,0 | 3,3 |
| Örebro | 4,9 | 5,3 | 4,8 | 4,1 | 3,5 | 3,4 | 2,7 |
| Malmö | 3,9 | 4,2 | 4,8 | 4,1 | 3,5 | 3,4 | 2,7 |

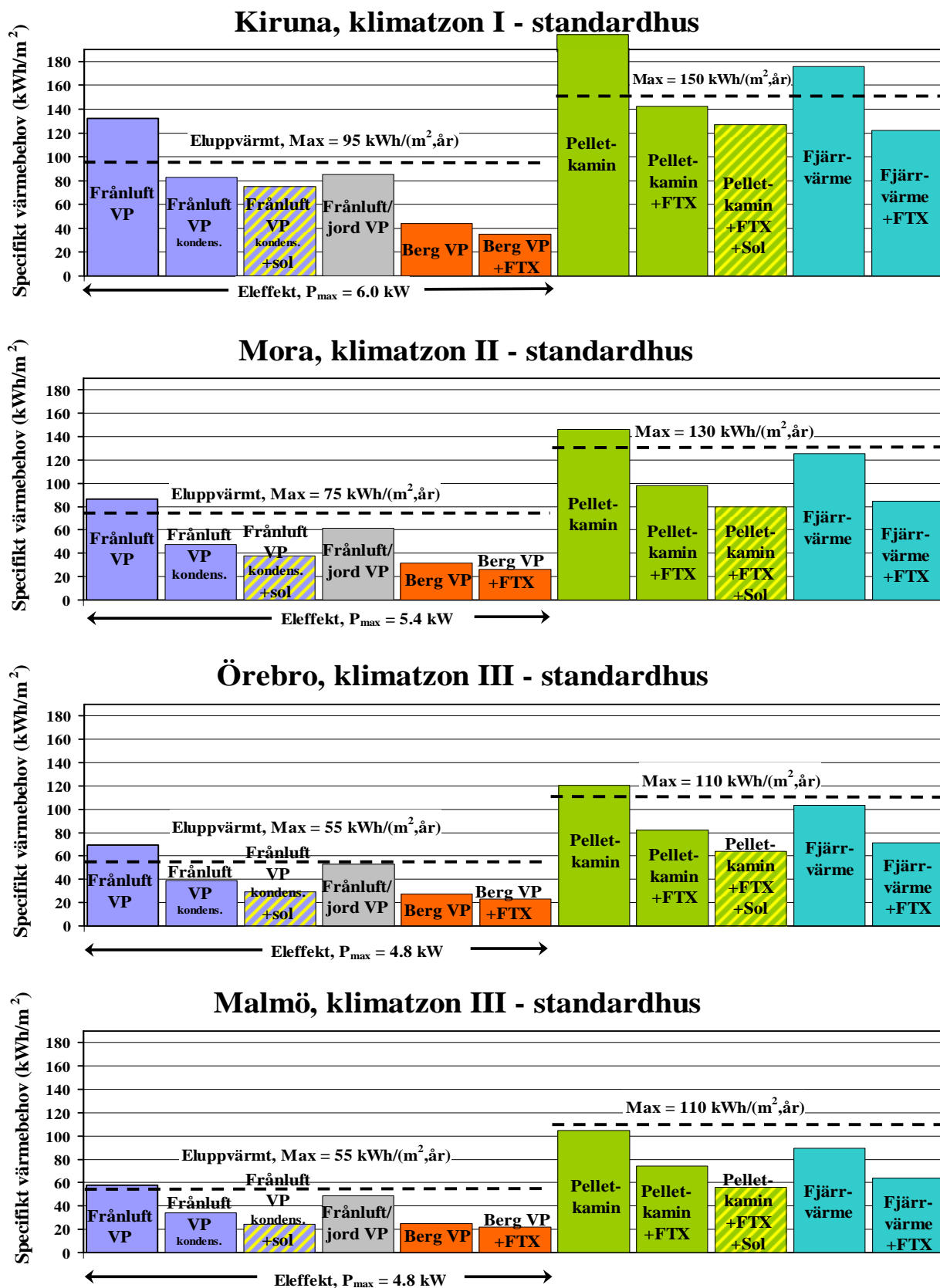
Tabell 3.5

Tillgänglig reserveffekt enligt ekv 3.1 efter att dimensionerande effekt för uppvärmning (Tabell 3.4) och tappvarmvatten (3 kW) har räknats bort. Resultaten avser standardhuset och det välisolerade huset utan FTX. Här förutsätts att maximalt tillåten effekt på el-patron enligt Tabell 3.4 är installerad.

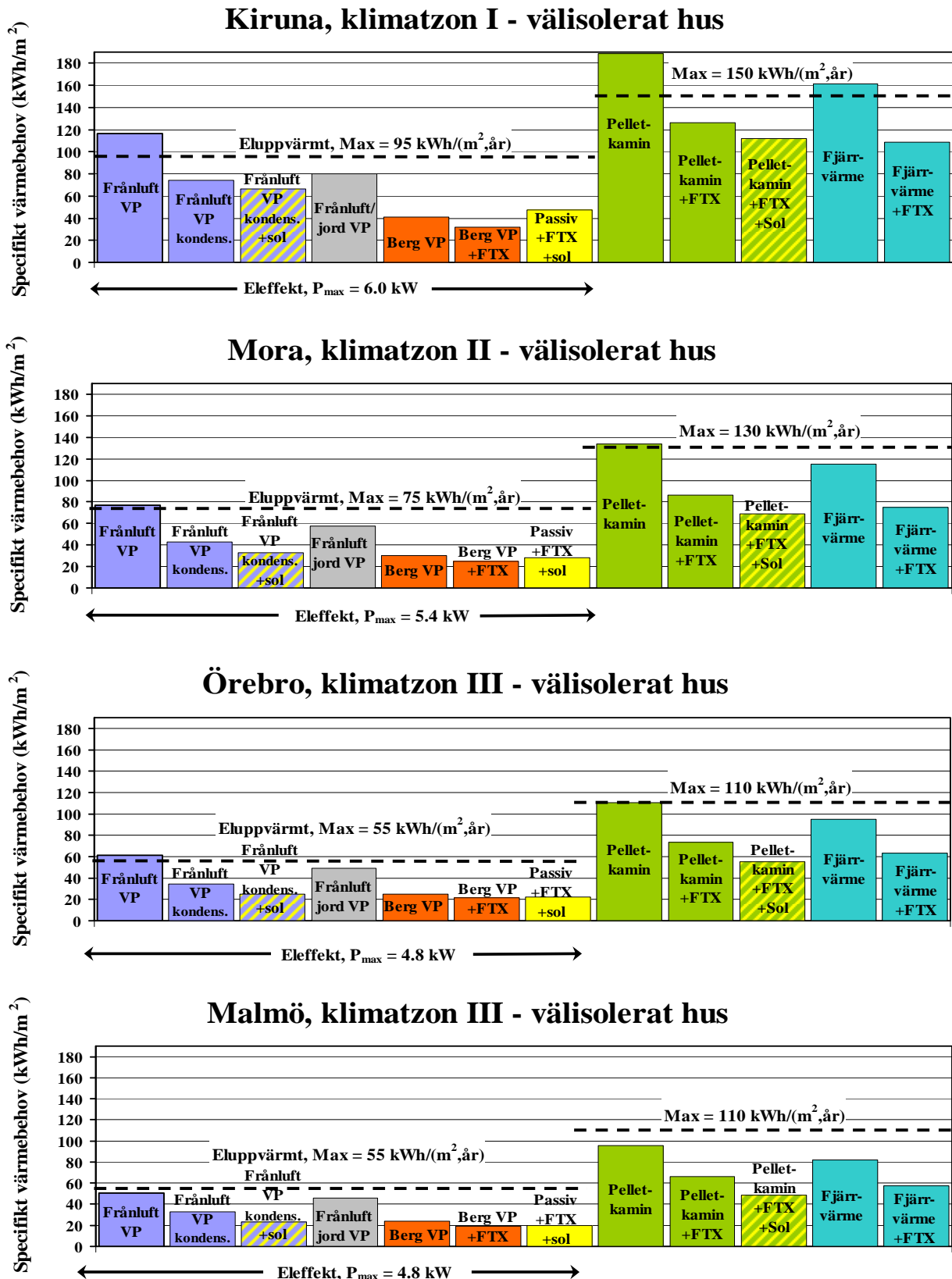
| Standardhus | Reserveffekt (kW) | | | |
|-----------------|-------------------|----------|----------|---------------|
| | FVP | FVP kond | FVP/Jord | Bergvärmepump |
| Kiruna | -2,8 | -0,4 | -0,3 | 0,5 |
| Mora | -2,6 | -0,2 | -0,1 | 0,7 |
| Örebro | -2,2 | 0,2 | 0,3 | 1,1 |
| Malmö | -1,1 | 1,3 | 1,4 | 2,2 |
| Välisolerat hus | FVP | FVP kond | FVP/Jord | Bergvärmepump |
| Kiruna | -2,3 | 0,1 | 0,1 | 1,0 |
| Mora | -2,1 | 0,3 | 0,3 | 1,2 |
| Örebro | -1,8 | 0,6 | 0,7 | 1,5 |
| Malmö | -0,8 | 1,6 | 1,7 | 2,5 |

3.4 Beräknade energibehov för olika klimat och uppvärmningssystem

Årliga El- och värmebehov för de olika husen och klimatzonerna har beräknats schablonmässigt utgående från simulerade energidata i Tabell 3.1, simulerad energibesparing med solvärme från Tabell 3.2 samt de olika värmekällornas verkningsgrad från Tabell 2.7. Energiberäkningarna har gjorts för både standardhuset och det välisolerade huset. I Figur 3.2 redovisas energibalanser för olika värmesystem i standardhuset och i Figur 3.3 redovisas motsvarande resultat för det välisolerade huset. Dessutom redovisas också passivhuset med FTX och 10m² solfångare i samma figur.



Figur 3.2. Beräknad specifik energianvändning för de olika uppvärmningssystemen för standardhuset. Sol avser 10m² solfångare med 750 l ackumulatortank.



Figur 3.3. Beräknad specifik energianvändning för de olika uppvärmningssystemen för det välisolerade huset. Sol avser 10m² solfångare med 750 l ackumulatortank. Det frivilliga kravet på specifikt värmebehov för passivhuset är 30 kWh/m² för Malmö och Örebro, 32 kWh/m² för Mora och 34 kWh/m² för Kiruna.

De uppvärmningsalternativ som klarar kraven med god marginal i alla klimatzoner (Figur 3.2 och Figur 3.3) är kondenserande frånluftvärmepump, bergvärmepump, fjärrvärme med FTX, pelletkamin med FTX samt passivhuset. Enbart pelletkamin kan klara kraven i Malmö, och enbart fjärrvärme från Mora och söderut. Vill man använda pellet eller ved som värmekälla är alltså kravet att använda FTX (eller frånluftvärmepump) för värmeåtervinning ur frånluften, vilket inte krävs om man installerar en bergvärmepump.

El-baserade uppvärmningssystem

De el-baserade uppvärmningsalternativ som ger lägst elanvändning är bergvärmepump samt passivhus alternativet. Dessa ligger på alla orter långt under kravgränserna från BBR. En frånluft/jordvärmepump klarar också kraven, men ligger mycket nära gränsen i Örebro. Det beror på att frånluft/jordvärmepumpen enligt tillverkardata får en minskande verkningsgrad söderut. Även bergvärmepumpen har högst årsverkningsgrad i Kiruna och verkningsgraden minskar söderöver. Gissningsvis har bergvärmepump och jordvärme bättre möjligheter att utnyttja det högre värmebehovet i norr och får bäst verkningsgrad där. Frånluftsvärmepumparna å andra sidan får lägst verkningsgrad i norr på grund av det kalla klimatet där den inte alls kan täcka värmebehovet. Den kondenserande frånluftsvärmepumpen får dock lägre verkningsgrad längst i söder troligen på grund att andelen varmvattenproduktion ökar, vilket sker vid högre temperatur med lägre värmefaktor. T.ex. genom att komplettera med solvärme kan man skapa den säkerhetsmarginal som behövs.

Generellt visar resultaten att det är svårt att klara energikraven med en traditionell frånluftvärmepump förutom möjligtvis i Malmö med det välisolerade huset. Dock finns det endast en effekt på ca 2 kW för att bereda varmvatten vid DUT (Tabell 3.5). En kombination av en frånluftvärmepump och en luftburen pelletkamin är onekligen en intressant kombination, men då det är svårt att beräkna energibalansen schablonmässigt har det inte tagits med. Den kondenserande frånluftsvärmepumpen kan om den håller vad den lovar komma att klara de nya byggreglerna även i standardhuset. För att klara effektkravet måste dock el-patronens effekt kunna anpassas i täta steg efter husets maximalt tillåtna effektbehov, vilket diskuterades i avsnitt 3.3.

Passivhus

Passivhuset som är elvärt uppfyller dock inte de frivilliga passivhuskraven i Kiruna som ligger på 34 kWh/m² (avsnitt 2.4). Används inte elvärme utan fjärrvärme eller en pelletkamin är kravgränsen 58 kWh/m² och huset uppfyller då passivhuskraven. Systemen med bergvärmepump ger dock något lägre elanvändning än passivhuset i Kiruna och ungefär samma elbehov som passivhuset i övriga klimat.

Isolerstandard

Skillnaden mellan standardhuset och det välisolerade huset är inte avgörande för något av systemen förutom den traditionella frånluftvärmepumpen i Malmö och enbart pelletkamin i Örebro. Dock ökar ju säkerhetsmarginalen för systemen med det välisolerade huset.

Generellt är det svårare att klara kraven ju längre norrut huset byggs, trots att zonindelningen gör att högre energianvändning accepteras i norr än i söder. Det krävs alltså något bättre isolerade hus i norra Sverige. Även värmeåtervinning ur frånluft kan vara aktuellt för att klara kraven i norr även om det inte behövs i söder. Solvärmertilskott räknas inte in i byggnadens specifika energianvändning och kan därför användas som komplement för att klara kraven, men i de fall som studerats här så har solvärmens inte haft en avgörande roll för att klara energikraven. Kraven uppfylls för de flesta system med en sämre klimatskärm än vad som studerats här. Bergvärmepumpen ger störst marginal mot kravgränsen.

Pellet och fjärrvärme

Uppvärmning med enbart pellets eller fjärrvärme (utan FTX eller solvärme) klarar inte energikraven med tillräcklig marginal förutom i Malmö. Det krävs ytterligare åtgärder som kan vara tilläggsisolering, värmeåtervinning med FTX, frånluftvärmepump eller solvärme. Pelletvärme-systemen får lite svårare att klara energikraven, pga pelletkaminens verkningsgrad. Det blir alltså i praktiken krav på FTX med ved, pellets och oftast med fjärrvärme, men inte om bergvärmepump installeras.

Vilken säkerhetsmarginal krävs?

I BBR anges att det ska finnas en säkerhetsmarginal för projekterade värden så att kraven kan uppfyllas när byggnaden tas i bruk. För att undersöka inverkan från brukarens val av temperaturnivå så genomfördes en parameterstudie (Tabell 3.6) där inomhustemperaturen ökades, respektive minskades en grad. Resultaten visar att en förändrad rumstemperatur har störst påverkan i södra Sverige, ca 12% per grad mot ca 7% i norra Sverige. Högst procentuell förändring av värmebehovet får man således i södra Sverige och det behövs således större säkerhetsmarginaler i södra Sverige.

Tabell 3.6

Procentuell förändring av uppvärmningsbehovet (varmvatten ej inkluderat) vid en höjning, resp. sänkning av rumstemperaturen med en grad.

| | Malmö | Örebro | Mora | Kiruna |
|--------|--------------|---------------|-------------|---------------|
| T-1 °C | -12.4 | -11.9 | -9.9 | -7.2 |
| T+1 °C | 10.4 | 10.6 | 9.2 | 6.9 |

Skulle varmvattenlasten öka från 3100 kWh/år till 5000 kWh så påverkar det den specifika energianvändningen (värme och varmvatten) ca 20 % i södra Sverige med en pelletkamin som värmekälla och ca 15 % vid användning av en frånluftvärmepump. I norra Sverige är den procentuella påverkan mindre, ca 10 % för en pelletkamin och ca 8 % för en frånluftvärmepump. Enligt ett par småhusföretag siktar de på en säkerhetsmarginal på 20 % och förhoppningsvis är det tillräckligt om man anpassar beräkningen efter kunden och inte överskattar gratisvärme från solinstrålning, personer och hushållsel. Resultaten visar att den procentuella säkerhetsmarginalen bör vara högst i södra Sverige. Det behövs ingen säkerhetsmarginal för klimatets normala variationer, eftersom uppmätt energianvändning skall normalårskorrigeras.

3.5 Diskussion

Är kraven rimliga?

Den valda utformningen av energikraven motiveras med att de skall vara möjliga att kontrollera och följa upp. Det har ju ofta visat sig att husen drar betydligt mer energi än vad som är projekterat. Det som är mindre bra är att kravet på husets isolerstandard i praktiken blir kraftigt beroende på vilken uppvärmningskälla som väljs. Ett annat problem är att varmvattenbehovet ingår i energianvändningen. Det betyder att man behöver ta hänsyn till varmvattenanvändningen vid projekteringen. För en barnfamilj i ett litet hus som använder mycket varmvatten kan det därför krävas extra isolering. Hushållsel ingår däremot inte i energianvändningen, men ökad användning av hushållsel minskar värmebehovet.

Krav på isolerstandard varierar med uppvärmningssystem

Genom att använda bergvärmepump som uppvärmningssystem klaras energikraven med god marginal, trots att det är ett el-baserat uppvärmningssystem. De krav som då blir begränsande är kraven på husens isolerstandard (genomsnittlig värmeförlustkoefficient), eller maximalt installerad effekt (Tabell 1.1). Kraven för genomsnittlig värmeförlustkoefficient är betydligt lägre än vad den är för de undersökta husen, så kraven har knappast några begränsande effekter. Det blir således effektkravet som blir begränsande, men som framgår av Tabell 3.5 klarar bergvärmepumpen också effektkraven med god marginal utan FTX.

Man kan således bygga sämre isolerade hus och ändå klara kraven med bergvärmepump. Man kan fråga sig om intentionen från Boverket verkligen är sådan att man vill att hus som byggs med biobränslepanna eller fjärrvärme skall vara bättre isolerade än de hus som värms med bergvärmepump? I praktiken krävs värmeåtervinning ur frånluften vid ved- och pelleteldning samt fjärrvärme, men inte när en bergvärmepump installeras.

Byggnadens livslängd är betydligt längre än uppvärmningssystemets livslängd och historiskt vet vi att uppvärmningssystem ibland byts flera gånger under en byggnads livstid. På sikt är det nog därför mer intressant vilken isolerstandard huset byggs med än vilken typ av uppvärmningskälla som installeras när byggnaden är ny. De krav på U-värden som ställs enligt Tabell 1.1 har ingen begränsande effekt utan bör halveras för att de skall ligga på samma nivå som energi- och effektkraven. Det skulle då bli begränsande i de fall där bergvärmepump installeras.

Uppföljning av kraven

Det finns krav på att husets energianvändning skall kunna följas upp genom ett mätsystem som är tillgängligt för brukaren, men det är inget krav att utföra sådana mätningar. Frågan är hur man skall kunna mäta åtgången av ved vid en ev. uppföljning? Om en kWh ved värderas som en kWh el kan man i princip inte använda vedkaminen och samtidigt klara energikraven i ett hus med frånluftvärmepump, eftersom kaminens verkningsgrad på kanske 80% gör att 20% mer energi används när man eldar i kaminen.

Styrning mot frånluftvärmepumpar med kondensering

En annan berättigad frågeställning är om den kondenserande frånluftvärmepumpen håller vad den lovar. Därmed kan byggreglerna åstadkomma en kraftig förskjutning mot de kondenserande frånluftvärmepumparna, vilket är en teknik som idag behärskas av en enda tillverkare.

Hårdare EU-krav att vänta

I jämförelse med de frivilliga passivhuskraven [20] så är Boverkets krav [2] relativt tandlösa. Nya energikrav på EU-nivå har just klubbats igenom [42] och enligt dessa krav ska alla nya byggnader som byggs från och med 2020 vara passivhus eller lågenergihus. Det införs också krav på energieffektivisering i samband med renovering. Kraven kommer alltså att skärpas ytterligare inom 10 år.

4 EKONOMISK UTVÄRDERING

4.1 Beräkningsförutsättningar

En ekonomisk utvärdering har genomförts baserad på första årets energi-, kapital- och underhållskostnader. Kapitalkostnader delas upp på komponentens förväntade livslängd med annuitetsmetoden. Framtida underhållskostnader diskonteras ett nuvärde och delas upp med annuitetsmetoden. Dagens energipriser och en kalkylränta på 4,5 % används som utgångspunkt, men varierar för olika scenarier. Fördelen med metoden är att spekulation om framtida energipriser undviks, men en osäkerhet är de olika komponenternas livslängd.

Beräknade investeringskostnader för de olika systemen sammanställs i Tabell 4.1. I kostnaderna redovisas både material- och arbetskostnader inklusive moms. Kostnader för pellet- och solvärmesystem är delvis hämtade från ref [18] och delvis i samråd med företag och installatörer. Kostnader för värmepumpar är hämtade från företagen och installationskostnader har uppskattats i samråd med installatörer och återförsäljare. För alternativen med bergvärmepump är kostnaden för borrhålet olika för de olika orterna beroende på att borrhålsdjupet anpassas mot värmebehovet. Redovisad kostnad i Tabell 4.1 gäller för Örebro. Kostnader för borrhål för alla orter samt kostnader för de olika delkomponenterna visas i Tabell 4.2.

Lägsta investeringskostnad eller lägsta totalkostnad?

Tabell 4.1 visar att de värmesystem som har lägst investeringskostnad näst efter den traditionella frånluftvärmepumpen som inte klarar energikraven är fjärrvärme med en totalkostnad på ca 143 000 kr. Därefter följer den kondenserande frånluftvärmepumpen, frånluft/jordvärmepumpen och fjärrvärme med FTX.

I samband med nybyggnad kan fokus på lägsta investeringskostnad vara stort, eftersom banken kan sätta ett tak för hur mycket kunden får låna, en summa som inte ändras även om kunden väljer ett uppvärmningssystem med lägre driftskostnad. Den värmelösning med lägst investeringskostnad kan därmed komma att bli mest intressant för kunden vilket i detta fall är fjärrvärme eller kondenserande frånluftvärmepump. Frånluftvärmepumpen har hittills varit dominerande i nybyggnad genom sin låga driftskostnad.

Annuitetsmetoden används för den ekonomiska utvärderingen. Kapitalkostnaderna blir därmed jämnt fördelade över den tidsperiod som beräknas vara systemets livslängd. Kapitalkostnaden för komponenter med olika livslängd som ingår i samma system kan då enkelt beräknas. 1:a årets kapitalkostnader för investeringen K blir då:

$$K = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \cdot I \quad \text{Annuitet} \quad \text{ekv 4.1}$$

där r är kalkylräntan eller realräntan, n är antal år som investeringen skall betalas på och I är investeringskostnaden. Kalkylräntan beror på aktuella räntor och kan kompenseras för inflationen. Som utgångspunkt i beräkningarna antas en kalkylränta på 4.5 %. För årliga underhåll samt framtida reinvesteringar och enstaka underhåll har kostnaden diskonterats till ett nuvärde med hjälp av nusummefaktor samt nuvärdefaktor, se nedan [43], för att sedan räknas om till en

annuitet på samma sätt som ovan. En sammanställning av annuiteten för alla ingående komponenter kan ses i Tabell 4.2.

$$\frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} \quad \text{Nusummefaktor} \quad \text{ekv 4.2}$$

$$\frac{1}{(1 + r)^n} \quad \text{Nuvärdefaktor} \quad \text{ekv 4.3}$$

Tabell 4.1

Beräknade kostnader för material och arbete för de olika systemvarianterna inklusive moms. Priserna avser extrakostnader för systemet jämfört med huset utan värmesystem. Kostnaden för ventilationssystemet (frånluft eller FTX) är inkluderad i alla system. Även golvvärmesystemet är inkluderat i alla alternativ, utom för passivhuset där vattenbatteri i tilluften ingår istället. Sol avser 10 m² solfångare samt 750 liters ackumulatortank.

| System | Material- kostnad | Installations- kostnad | Total- kostnad |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------|
| Passiv+Sol+FTX | 208 600 | 56 600 | 265 200 |
| Pellet | 143 100 | 37 900 | 181 000 |
| Pellet+FTX | 193 800 | 47 300 | 241 100 |
| Pellet+Sol+FTX | 245 700 | 62 300 | 308 000 |
| FVP | 102 300 | 27 600 | 129 800 |
| FVP kondenserande | 129 400 | 27 600 | 156 900 |
| FVP kond+Sol | 205 300 | 53 600 | 258 700 |
| FVP+Jordvärme | 118 100 | 36 600 | 154 700 |
| Bergvärmepump (Örebro) | 137 500 | 54 700 | 192 300 |
| Bergvärme+FTX (Örebro) | 177 600 | 64 100 | 241 800 |
| Fjärrvärme | 87 000 | 55 900 | 142 700 |
| Fjärrvärme+FTX | 126 900 | 60 900 | 187 800 |
| Extrakostnad Välisolerat hus | 21 000 | 3 000 | 24 000 |
| Extrakostnad Passivhus+Sol+FTX | 229 600 | 59 600 | 289 200 |

Livslängd

Utgångspunkten för att bestämma antal år som investeringen skall betalas på är utrustningens ekonomiska livslängd. Kostnaden för ränta och avskrivning fördelas på denna livslängd, som i studien har antagits vara samma som den tekniska livslängden enligt Tabell 4.2. Detta bör vara ett rimligt antagande då forskning visat att det vanligtvis krävs missnöje med uppvärmningssystemet för att brukaren skall ta steget att byta värmesystem [44]. Restvärdet antas vara noll efter den ekonomiska livslängdens slut.

Pelletkaminens tekniska livslängd är gissningsvis ca 20 till 30 år om man byter slitdelar, men teknisk utveckling samt det faktum att den utgör en möbel skulle kunna ge kortare livslängd i praktiken. Här har dock den tekniska livslängden satts till 25 år. Livslängden för extra isolering och bättre fönster har satts till 50 år och det gäller även golvvärmesystemet. För golvvär-

men antas dock att reglercentralen får bytas ut efter halva tiden, dvs efter 25 år. Den kostnaden antas även innefatta övriga mindre underhåll på golvvärmesystemet.

Livslängden för en värmepump är enligt tillverkarna ca 20 år, med ett kompressorbyte efter 10 år. Enligt en undersökning av Folksam [45, 46] var 73 % av de värmepumpar som anmäldes skadade under 2007 yngre än 5 år. Skadestatistiken ser bäst ut för frånluftvärmepumpar. Under 2008 skadeanmäldes 8500 värmepumpar hos Folksam. Detta säger å sin sida inget om andelen värmepumpar som går sönder, endast att de som går sönder är relativt nya.

Enligt VVS-forums egna beräkningar [45] skadeanmäldes 2,5 % av de värmepumpar som såldes under den aktuella femårsperioden, men de har på något sätt räknat bort garantitiden på två år. Räknar man 2,5% i fem år blir det alltså 12,5% av värmepumparna som går sönder inom fem år. Enligt Svenska Värmepumpföreningen SVEP skadas 1,2% av värmepumparna som säljs i Sverige (Nordemo 2010). Hur det än må vara med skadestatistiken, så finns det olika försäkringar som antingen ingår eller kan köpas till den nya värmepumpen och som därmed bekostar den del som inte täcks av hemförsäkringen.

Vid köp av en ny värmepump finns det olika försäkringar som antingen ingår eller kan köpas till. De försäkringar som finns hos IVT, Nibe och Thermia liknar varandra och alla hanteras av samma försäkringsmäklare. Hos IVT ingår en trygghetsförsäkring i priset för alla värmepumpar, vilken täcker skador på hela värmepumpanläggningen i 6 år och på kompressorn i 10 år. Försäkringen är ett komplement till hemförsäkringen och täcker självriskerna samt hemförsäkringens åldersavdrag. Försäkringen kan vid installationstillfället förlängas till 10 år för hela anläggningen mot en kostnad av 3 000 kr. Försäkringen gäller utan självrisk vilket innebär att kunden inte betalar någonting alls om kompressorn/värmepumpen går sönder inom tidsramarna. Kostnaden för reparation måste dock vara större än självriskerna på hemförsäkringen för att försäkringen ska träda i kraft. Skulle värmepumpen gå sönder utanför tidsramarna för försäkringen får kunden stå för hela den kostnad som inte täcks av hemförsäkringen. Hos Nibe ingår en sexårig trygghetsförsäkring på hela anläggningen för bergvärmepumpar samt luft/vattenvärmepumpar. För frånluftvärmepumpar kan samma försäkring tecknas för 1 500 kr vid köpetillfället. Även här kan försäkringen förlängas till 10 år och detta kostar 3 000 kr vid installationstillfället. På samma sätt som hos IVT är detta ett komplement till hemförsäkringen och fungerar också utan självrisk. Thermias alla värmepumpar får 6 års försäkring på hela anläggningen som ingår vid köptillfället. Att förlänga försäkringen med 4 år kostar 3 500 kr om det sker vid installationstillfället. En skillnad är att den förlängda trygghetsförsäkringen gäller med en självrisk på 500 kr (de första 6 åren gäller utan självrisk).

Utifrån detta kan man resonera kring vilken livslängd som bör sättas för värmepumparna och om kostnaden för ett kompressorbyte bör tas med i beräkningen eller inte. Ett tänkbart scenario är att kompressorn går sönder inom försäkringsperioden på 10 år och byts ut utan kostnad för kunden. Om värmepumpen håller i 5 år utöver försäkringsperioden och då kostar inte ägaren på ett kompressorbyte utan värmepumpen får då en livslängd på maximalt 15 år utan kostnad för byte av kompressorn. Ett annat tänkbart alternativ är att värmepumpen håller försäkringstiden ut, men att kompressorn går sönder strax därefter. Ägaren kan då resonera att det kan löna sig med ett kompressorbyte och värmepumpen kan hålla lika länge till. Det skulle ge en livslängd på 20 år med en kostnad för kompressorbyte efter 10 år. För att bedöma detta beräknades båda alternativen och skillnaden i annuitet blev relativt liten. Annuiteten för installations- och underhållskostnad för alternativet med en kortare livslängd utan kompressorbyte blev något högre, mellan 0,5 till 4,5 % beroende på värmepump.

Tabell 4.2

Kostnad och uppskattad ekonomisk livslängd för de olika komponenterna. Annuiteten innefattar eventuellt underhåll, reparation, abonnemang och anslutningsavgift. Totala kostnaden för solvärmesystemet har reducerats med ett solvärmebidrag på 7500 kr.

| | Material- kostnad | Installations- kostnad | Total kostnad | Årligt underhåll | Teknisk livslängd | Annuitet |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------|------------------|---------------------|----------------------|----------|
| | kr | kr | kr | kr/år | år | kr/år |
| Vattenmantlad pelletkamin inkl pump, rör och styrventil | 60 000 | 10 000 | 70 000 | 1 200 | 25 | 6 400 |
| Reparation av kamin efter 15 år | | | 10 000 | | | |
| Skorsten för enplanshus | 11 700 | 4 800 | 16 400 | | 50 | 800 |
| Solfångare, 10 m2 inkl pump, rör, styrenhet samt säkerhetsutrustning | 50 600 | 15 000 | 58 100 | | 30 | 3 800 |
| Reparation av solfångare efter 15 år | | | 5 000 | | | |
| Glykolbyte i solkrets var 10e år | 500 | 1 500 | 2 000 | | | |
| Akkumulatortank, 330 l inkl shunt, pump och styrenhet | 23 900 | 11 000 | 34 900 | | 30 | 2 100 |
| Akkumulatortank, 750 l inkl shunt, pump och styrenhet | 25 200 | 11 000 | 36 200 | | 30 | 2 200 |
| FTX-system 85 % inkl ventilation | 50 800 | 9 400 | 60 100 | 1 100 | 30 | 4 900 |
| FTX-system vvbatteri inkl ventilation, ställdon, rör och uteluftspjäll | 58 400 | 10 600 | 65 300 | 1 100 | 30 | 5 200 |
| Fläktbyte i FTX efter 15 år | | | 2 500 | | | |
| Frånluftkanaler | 10 600 | 4 400 | 15 000 | | 30 | 900 |
| Frånluftvärmepump, inkl försäkring | 44 100 | 11 000 | 55 100 | 1 200 | 15 | 7 400 |
| FVP med jordvärme inkl försäkring | 60 000 | 20 000 | 80 000 | 1 200 | 15 | 9 700 |
| FVP kondenserande inkl försäkring | 71 300 | 11 000 | 82 300 | 1 200 | 15 | 9 900 |
| Bergvärmepump inkl försäkring (utan varmvattenberedare) | 68 800 | 32 000 | 100 800 | 1 200 | 15 | 11 600 |
| Varmvattenberedare för bergvärmepump | 10 600 | 6 200 | 16 800 | | 15 | 1 600 |
| Borrhål Malmö | | 19 300 | 19 300 | | 50 | 1 000 |
| Borrhål Örebro | | 21 600 | 21 600 | | 50 | 1 100 |
| Borrhål Mora | | 25 200 | 25 200 | | 50 | 1 300 |
| Borrhål Kiruna | | 33 500 | 33 500 | | 50 | 1 700 |
| Kompressorbyte för vanlig FVP (går på försäkring) | | | (15 000) | | | |
| Kompressorbyte för övriga VP (går på försäkring) | | | (25 000) | | | |
| Fjärrvärme inkl undercentral | 28 700 | 14 300 | 43 000 | | 30 | 6 300 |
| Anslutningsavgift för fjärrvärme | | | 25 000 | | | |
| Reparation av fjärrvärme efter 15 år | | | 5 000 | | | |
| Extrakostnad passivhus | 74 400 | 20 000 | 94 400 | | 50 | 5 600 |
| Golvvärme inkl rör och reglercentral | 47 500 | 12 200 | 59 700 | | 50 | 3 300 |
| Utbyte av reglercentral golvvärme efter 25 år | 10 000 | 5 000 | 15 000 | | | |

Det värsta tänkbara alternativet är att värmepumpen går sönder direkt år 11 och att kompressorbyte redan har genomförts på garantin, Då är det troligt att kunden får rådet att köpa en ny värmepump och livslängden blir då som kortast 10 år. Tror man på detta scenario blir kostnaden högre och man bör nog inte skaffa en värmepump.

I beräkningarna för frånluftvärmepumpar och bergvärmepumpar valdes alternativet att kunden tecknar en förlängd försäkring på hela anläggningen till en kostnad av 3 000 kr vid inköpet och att värmepumpen får en livslängd på 15 år, utan kostnad för kompressorbyte. Det antas då att ett utbyte av kompressorn sker under värmepumpens försäkringstid på 10 år och utan kostnad för kunden.

Energikostnader

Första årets kostnader för kapital, underhåll och energi baserat på dagens energipriser redovisas i den ekonomiska utvärderingen. Därigenom krävs inga antaganden om framtida energiprishöjningar som behövs vid LCC-beräkningar. I en parameterstudie har även två alternativ med högre energipriser undersökts (se avsnitt 4.3). Då energipriser, speciellt för fjärrvärme, tenderar att variera kraftigt mellan olika kommuner, baseras alla energipriser på 2008 års medel för Sverige, enligt en rapport från Energimarknadsinspektionen [47]. De rörliga priserna för el består av elhandelspris, elcertifikat, elskatt, moms samt rörlig kostnad för elnätet och detta sattes till 1,33 kr/kWh [47]. Den fasta avgiften påverkas av säkringens storlek och för eluppvärmda hus krävs det större säkring. Att abonnera på en 20A säkring istället för 16A kostar hos Borlänge Energi 250 kr extra per år, medan det hos Falu Energi kostar hela 1 325 kr extra per år. I beräkningarna sattes utifrån detta en extra avgift på 800 kr/år för eluppvärmda hus. Hus som klassas som icke eluppvärmda har förvisso en el-patron, men då denna inte används då brukaren är hemma blir det i regel inget problem att klara sig med 16 A säkring.

Det rörliga fjärrvärmepriset sattes lika med medelpriset i Sverige till 0,78 kr/kWh [47]. För fjärrvärme tillkommer även en årlig avgift som varierar kraftigt mellan olika orter. Borlänge Energi har en fast kostnad för villor som är 775 kr/år medan Falu Energi har en avgift som varierar med ansluten effekt. För en villa med ett årsenergibehov på 15 000 kWh blir avgiften nästan 4 000 kr. I beräkningarna antas en fast avgift på 2 000 kr/år.

Enligt Energimarknadsinspektionen [47] var 2008 års medelpris för pellet 0,60 kr/kWh och detta har använts i beräkningarna.

Komponentkostnader

Installationskostnaden och underhållskostnaden för de olika systemen har uppskattats, till stor del i samarbete med tillverkare och återförsäljare. Underhållskostnaden har diskonterats till ett nuvärde och den totala kostnaden har sedan räknats om till en annuitet. Med hjälp av systemens energibehov har sedan en ekonomisk utvärdering genomförts. Kostnader för investering och underhåll samt livslängd och total annuitet för de olika komponenterna visas i Tabell 4.2.

Det årliga underhållet för pelletkaminen innefattar även sotning. Pelletalternativet med solfångare har 10 m² solfångare samt en ackumulatortank på 750 l. Pelletalternativ utan solfångare är utrustade med en ackumulatortank på 330 l. För FTX-systemet är det filterbyte som utgör underhållskostnad och för värmepumparna ingår försäkringskostnader samt filter och underhållskostnader som inte täcks av försäkringen. För passivhuset används det något dyrare FTX-systemet med vattenbatteri, som används för hela uppvärmningen istället för golvvärme. Kostnaden för golvvärmsystemet har lagts till på alla uppvärmningsalternativ utom passivhuset. Kostnaden för kompressorbyte på värmepumparna redovisas, men har inte använts i beräk-

ningarna då detta bekostas av försäkringen, vilket diskuteras under avsnittet om livslängd ovan.

För bergvärmepump har kostnaden räknats ut med antagandet att ett borrhål kan leverera 145 kWh per meter borrhål och år [48] tillsammans med kostnader för borrhål från [49]. Den extra kostnad som redovisas för passivhuset innefattar extra isolering i väggar och tak samt kostnaden för att byta till fönster med lägre U-värde. Anslutningsavgiften för fjärrvärme kan variera mycket beroende på hur lång ledning som måste dras samt andra faktorer som till exempel asfaltering av uppgrävda vägar. Hos Borlänge Energi ligger anslutningsavgiften från 15 000 kr och uppåt, med en normal avgift på mellan 25 000 till 35 000 kr. Då det studerade huset antas byggas nytt väljs den lägre kostnaden inom intervallet, dvs 25 000 kr.

4.2 Ekonomiska beräkningsresultat

Första årets kostnader för de olika systemen med grunddata redovisas nedan i Figur 4.1 till Figur 4.4 och består av annuiteten av kapital- och underhållskostnad samt ett års energikostnad. Med annuitet menas den lika stora kostnad som återkommer varje år under livslängden och är tillsammans med energikostnaden det första årets kostnad. Grundfallet avser standardhuset, kalkylränta på 4,5 % samt dagens energipriser. Dessutom redovisas passivhuset som ett separat alternativ i figurerna med det välisolerade huset. Variationer i ränta och energipris har gjorts och visas i Figur 4.5, Figur 4.6 och Figur 4.7.

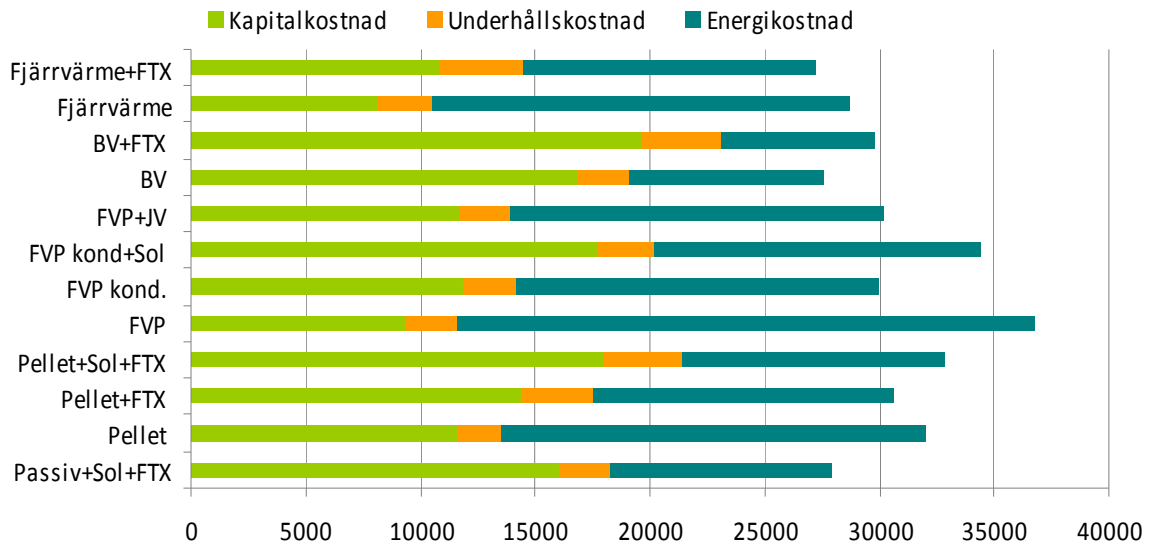
Resultaten beräknade med dagens energipriser och kalkylräntan 4,5 % visar att fjärrvärme och kondenserande frånluftvärmepump ger de lägsta totalkostnaderna från Mora och söderut. För att klara energikraven med säkerhetsmarginal krävs dock FTX eller ett välisolerat hus tillsammans med fjärrvärme. Skillnaden mellan de flesta alternativ är dock inte så stora. Det är mer en fråga om man föredrar låga investeringskostnader och höga driftkostnader eller tvärtom.

De dyraste alternativen i Örebro och Malmö är bergvärmepump med FTX och pelletkamin med solvärme och FTX som är ca 5 000 kr dyrare per år. De system som ger lägst energikostnader, är de system som har störst investeringskostnader, nämligen bergvärmepumpsvarianterna, passivhuset, Pelletkamin med FTX och solvärme samt den kondenserande frånluftvärmepumpen med solvärme.

I Kiruna är passivhuset det mest fördelaktiga alternativet av alla, tätt följt av bergvärmepump och fjärrvärme med FTX. FTX är lönsamt i Kiruna när fjärrvärme och pellet används, men inte med bergvärmepump. De dyraste alternativen i Kiruna är den traditionella frånluftvärmepumpen och den kondenserande frånluftvärmepumpen med solvärme. Från Mora och söderut är FTX inte lönsamt med dagens energipris. Skillnaden i årskostnad i Mora är dock liten och filterkostnaden på ca 1000 kr/år för ett FTX-system gör det olönsamt. Andra faktorer, som energikrav framtida ökande energikostnader och förbättrat inomhusklimat, kan dock motivera FTX.

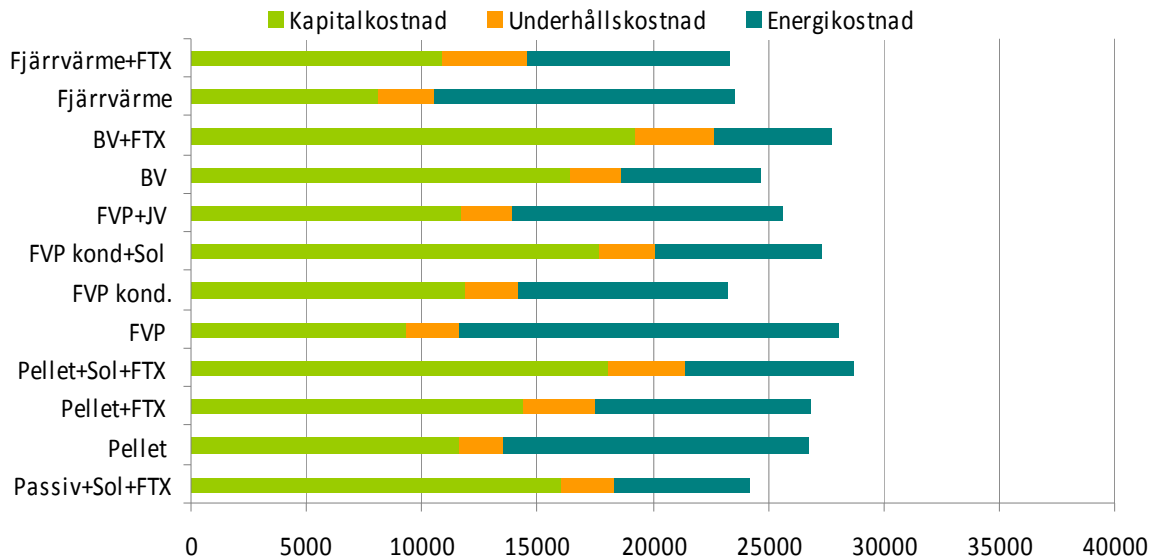
Alternativen med solvärme ligger generellt något högre i kostnad, men framtida energiprisökningar lär komma att göra solvärmesystemet mycket lönsamt på sikt. I kombination med pelletkamin är solvärme mycket lämplig, eftersom kaminen stängs av under sommarmånaderna för att undvika övertemperaturer i huset. Solvärme svarar då för produktion av varmvatten och på så vis ersätter solvärmesystemet el för detta [18, 35]. Solvärmesystemet är betydligt lönsammare i kombination med pellet än med värmepump.

Kiruna, standardhus



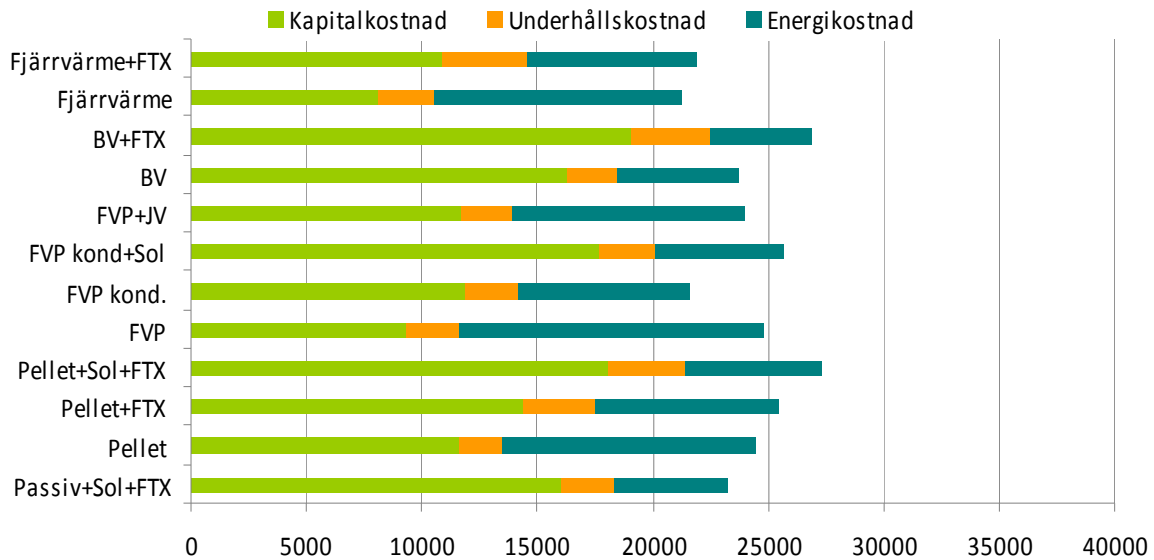
Figur 4.1. Första årets kapital-, underhålls- och energikostnader för de olika systemen i Kiruna beräknade för grundfallet.

Mora, standardhus



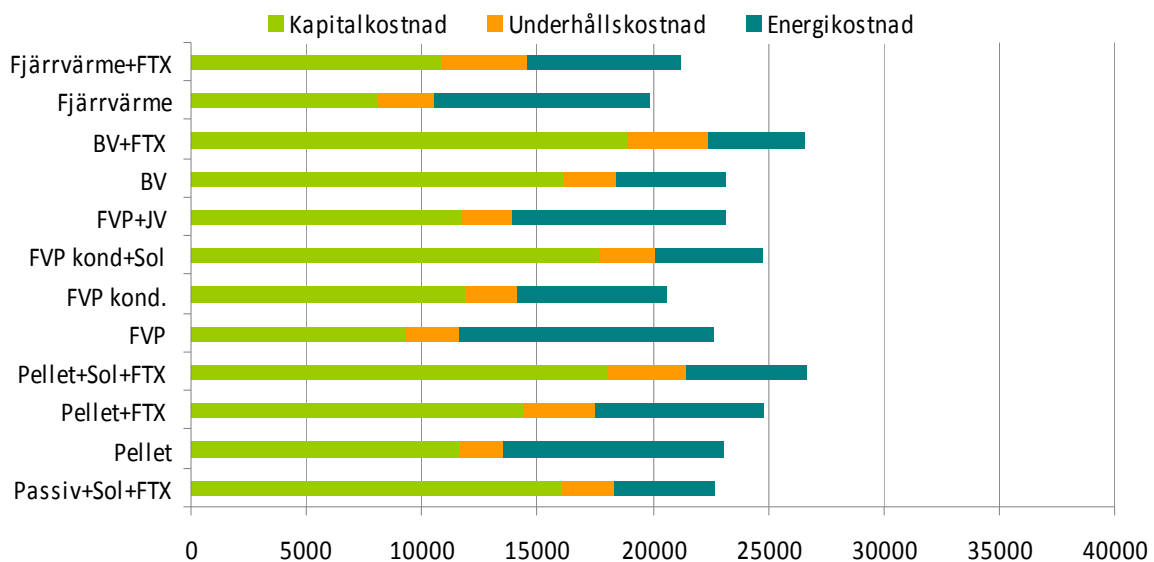
Figur 4.2. Första årets kapital-, service och energikostnader för de olika systemen i Mora beräknade för grundfallet med kalkylränta på 4,5 % samt dagens energipriser.

Örebro, standardhus



Figur 4.3. Första årets kapital-, service och energikostnader för de olika systemen i Örebro beräknade för grundfallet med kalkylränta på 4,5 % samt dagens energipriser.

Malmö, standardhus



Figur 4.4. Första årets kapital-, service och energikostnader för de olika systemen i Malmö beräknade för grundfallet med kalkylränta på 4,5 % samt dagens energipriser.

4.3 Ekonomisk parameterstudie

Isolerstandard, räntesats och energipriser har varierats i den ekonomiska parameterstudien. Framtida energipriser och räntor är en osäkerhetsfaktor och som nämndes tidigare valdes annuitetsmetoden vid beräkningarna för att undvika spekulationer om framtida variationer prisförändringar. Det är dock intressant att se hur höjda energipriser och olika räntor påverkar det ekonomiska utfallet så att var och en kan göra en bedömning utifrån sina egna preferenser om den framtida utvecklingen.

Energipriser

Energiprisökningar för de senaste åren från ref [47] har använts som utgångspunkt för hur energipriset kan tänkas öka framöver. Elpriset har ökat i snitt med 6,1 % per år sedan 2000. Pelletpriset har haft en årlig ökning med 3,8 % sedan 2006 och fjärrvärmepriset har ökat med 2,5 % per år sedan 2004. Mot bakgrund av detta valdes ett fall där priserna ökas med 50, 30 och 20 % för el, pellet och fjärrvärme respektive. Som jämförelse presenteras även ett fall där energipriset genomgående ökas med 50 % för alla energislag.

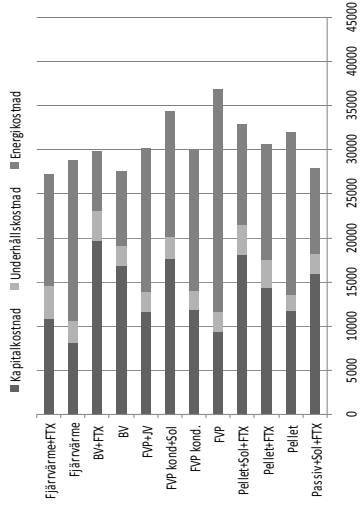
Resultatet med energiprisökningar redovisas i Figur 4.5 och Figur 4.6 och det som först kan noteras är att en vanlig frånluftsvärmepump i de två nordligaste klimatzonerna snabbt blir betydligt dyrare än andra alternativ, men som det visades i avsnitt 3.4 uppfyller den traditionella frånluftsvärmepumpen inte de nya energikraven från jan 2010. Den kondenserande värmepumpen klarar dock energiprisökningar bra utom i Kiruna där den blir bland de dyrare alternativen. Fjärrvärme med FTX blir nu det ekonomiskt mest fördelaktiga alternativet i alla orter med differentierade energiprisökningar (Fjärrvärme utan FTX är billigast i Malmö). Därefter kommer alternativ med bergvärmepump och passivhuset tätt inpå i norra Sverige, respektive passivhus och kondenserande värmepump i södra Sverige.

Vid 50 % energiprisökning på alla energislag gynnas bergvärmepump och passivhus i norra Sverige och de får ungefär samma totalkostnad som fjärrvärme med FTX. Från Mora och söderut gynnas dessutom den kondenserande frånluftsvärmepumpen.

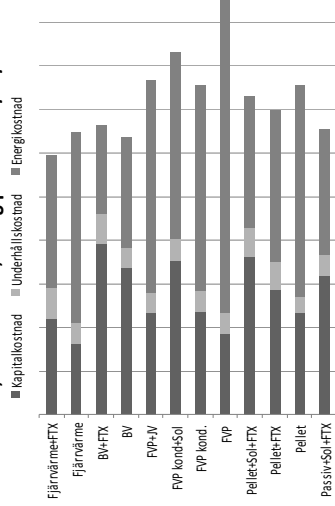
Pelletkamin, även med både FTX och sol, ligger några tusenlappar högre i kostnad mot de billigaste alternativen också med differentierade prishöjningar. Solvärme kombinerat med pellet eller frånluftsvärmepump uppvisar inte lönsamhet trots högre energipriser, men skillnaderna är små för pellet och ganska stora för frånluftsvärmepumpen. Vilken solfångaryta som är ekonomiskt optimal har dock inte studerats. I kombination med pelletkamin är solvärme dock mycket lämpligt ur ett systemtekniskt perspektiv, eftersom kaminen stängs av under sommar-månaderna för att undvika övertemperatur i huset. Solvärme svarar då för produktion av varmvatten och på så vis ersätter solvärmens el för detta (Persson 2006, 2009).

Passivhuset klarar energiprisökningarna bra tack vare den låga energianvändningen och hamnar bland de mer prisvärda alternativen i hela Sverige även då elpriset ökas mest. Då energipriset ökas lika mycket för alla energislag får alternativen med låg energianvändning fördelar, speciellt i de nordligare klimatzonerna. Bergvärmepump tillsammans med passivhuset blir då alternativen med lägst totalkostnader.

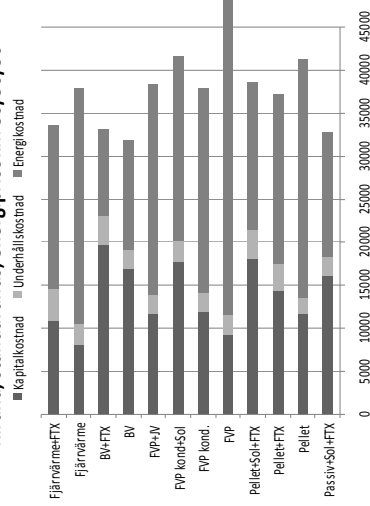
Kiruna, standardhus



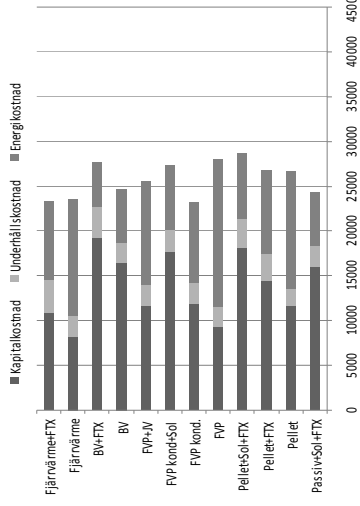
Kiruna, standardhus, energiprisökn. 50/30/20



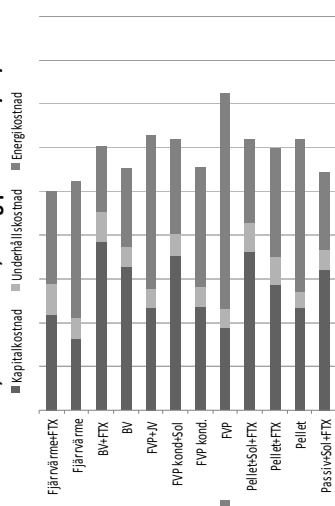
Kiruna, standardhus, energiprisökn. 50/50/50



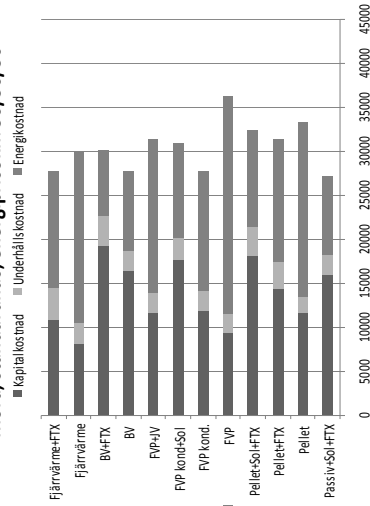
Mora standardhus



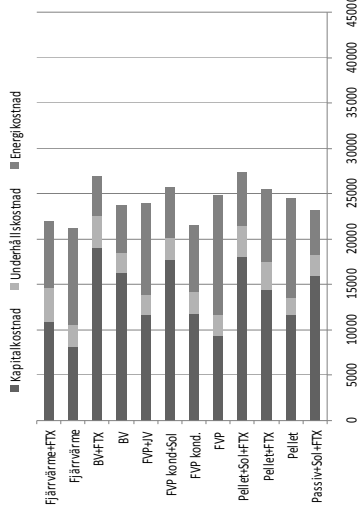
Mora, standardhus, energiprisökn. 50/30/20



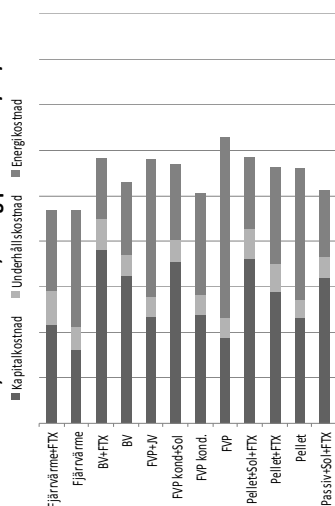
Mora, standardhus, energiprisökn. 50/50/50



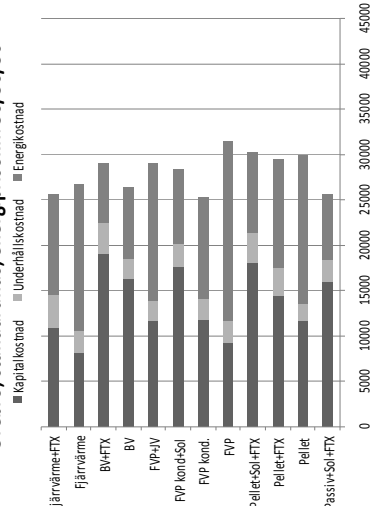
Örebro standardhus



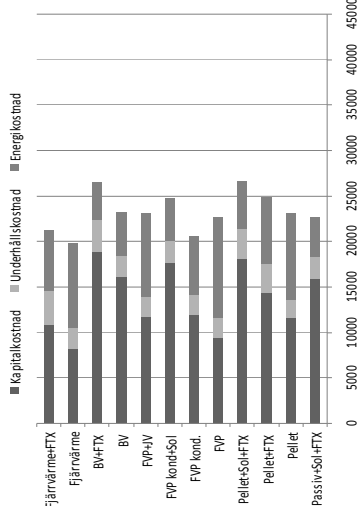
Örebro, standardhus, energiprisökn. 50/30/20



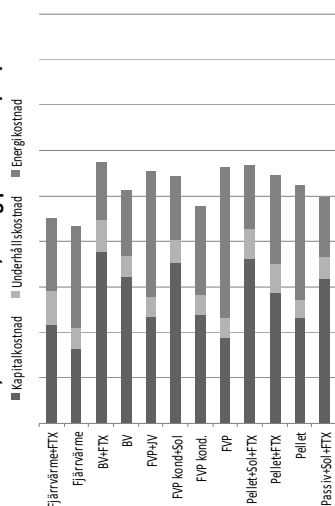
Örebro, standardhus, energiprisökn. 50/50/50



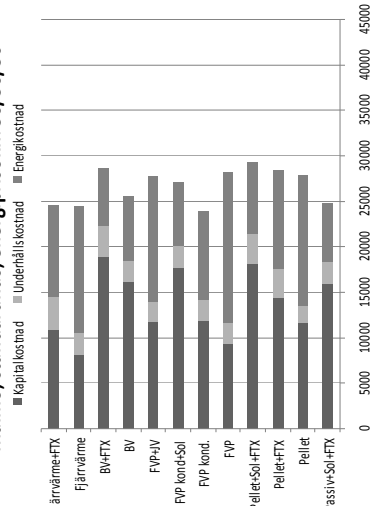
Malmö, standardhus



Malmö, standardhus, energiprisökn. 50/30/20

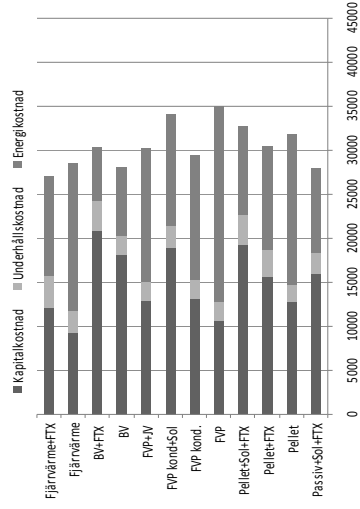


Malmö, standardhus, energiprisökn. 50/50/50

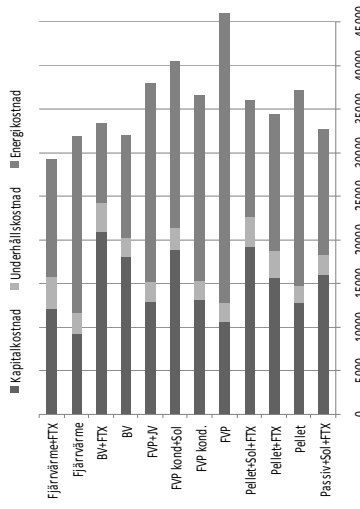


Figur 4.5. Kapital, underhåll och energikostnad första året för standardhuset vid olika energipriser (el/pellet/fjärrvärme) och en ränta på 4,5 %.

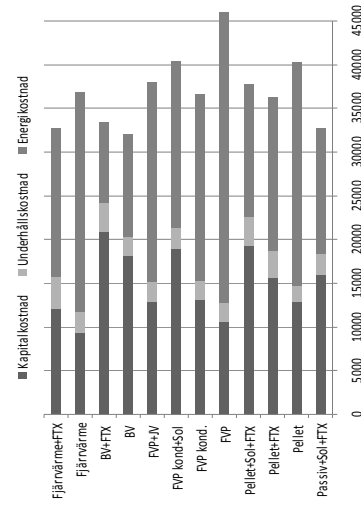
Kiruna, välisolerat



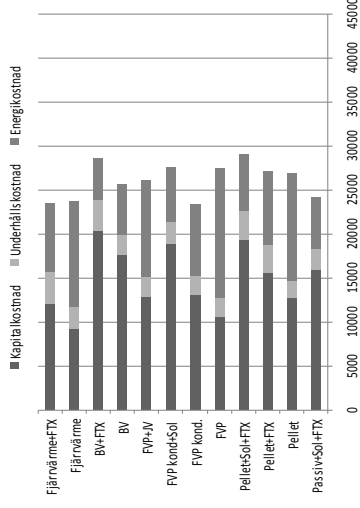
Kiruna, välisolerat, energiprisökning 50/30/20



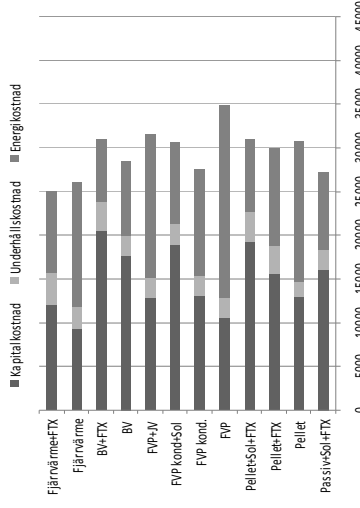
Kiruna, välisolerat, energiprisökning 50/50/50



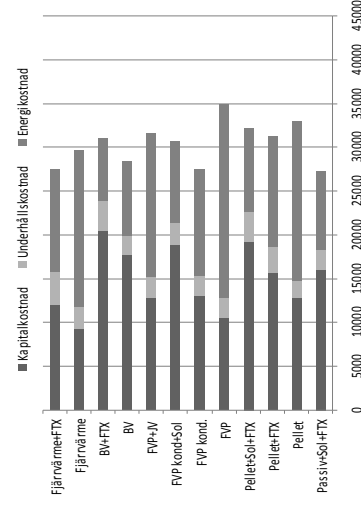
Mora, välisolerat



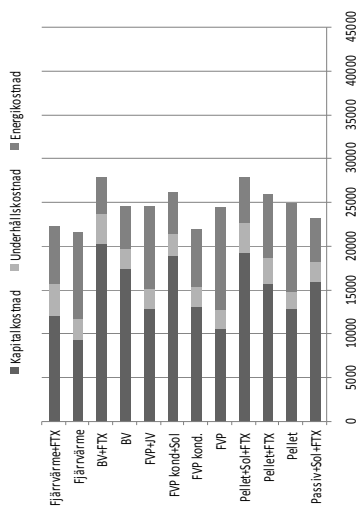
Mora, välisolerat, energiprisökning 50/30/20



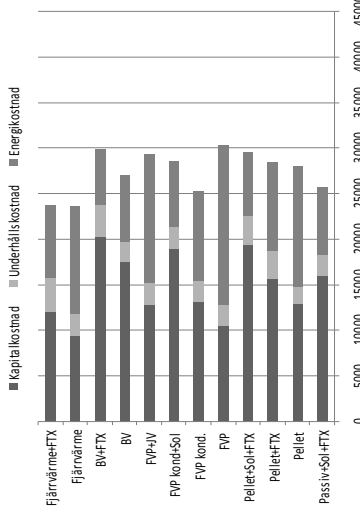
Mora, välisolerat, energiprisökning 50/50/50



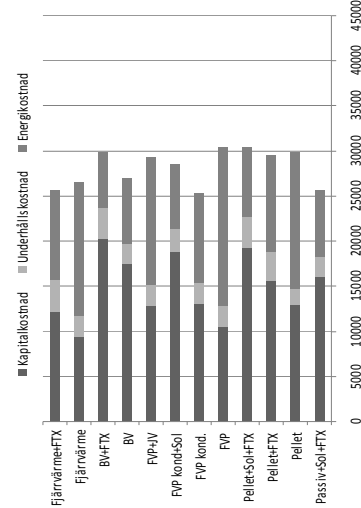
Örebro, välisolerat



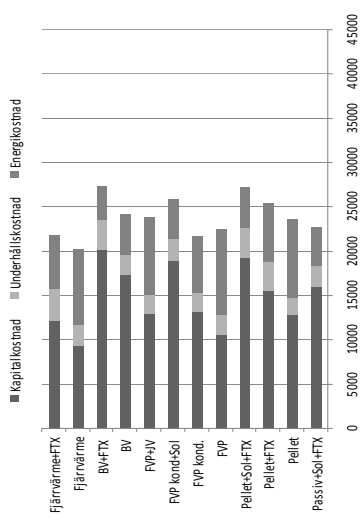
Örebro, välisolerat, energiprisökning 50/30/20



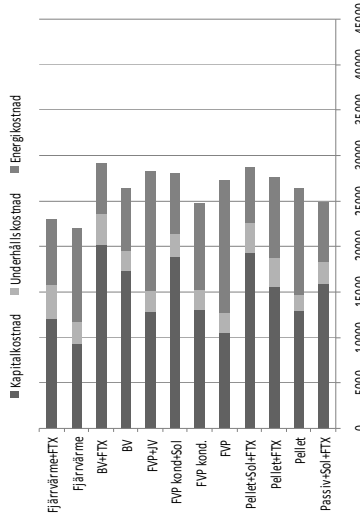
Örebro, välisolerat, energiprisökning 50/50/50



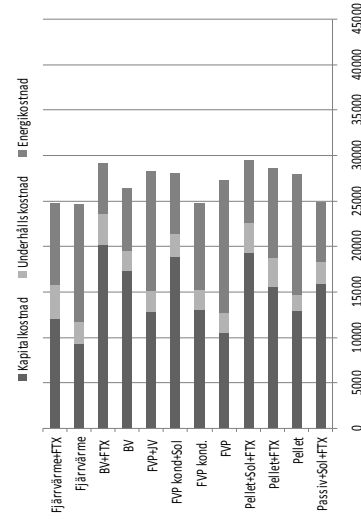
Malmö, välisolerat



Malmö, välisolerat, energiprisökning 50/30/20



Malmö, välisolerat, energiprisökning 50/50/50



Figur 4.6. Kapital, underhåll och energikostnad första året för det välisolerade huset vid olika energipriser (el/pellet/fjärrvärme) och en ränta på 4,5 %.

Isolerstandard

Ökad isolerstandard från $U_m = 0,20$ till $0,16$ ger nästan oförändrade kostnader (jämför Figur 4.5 och Figur 4.6). I södra Sverige ökar kostnaden med några hundralappar för de system som har lägst energikostnad. I de studerade fallen med 50% högre energipriser sjunker totalkostnaden något för alla system utom system med bergvärmepump. Med tanke på husets livslängd är tilläggsisolering troligen mycket lönsamt. Det visar inte minst resultaten för passivhuset som är bland de billigaste alternativen i de studerade fallen.

Räntekostnad

Räntesatsen är en osäker parameter som varierar en hel del över tid och även beroende på om man lånar pengar eller använder besparingar. Förutom standardvärdet på 4,5 % gjordes beräkningar med en låg ränta på 1 % samt en högre ränta på 8 % för standardhuset. Resultaten i detalj redovisas av Persson och Heier (2010). Totalkostnaden påverkas mycket kraftigt av räntekostnaden. Om räntan ökar från 1 % till 8% ökar kapitalkostnaden kraftigt för system med lång livslängd. En högre ränta slår då hårdast mot de alternativ som har hög investeringskostnad och lång livslängd som tex passivhus och solvärme, och ger en relativ fördel till de investeringsmässigt billigare alternativen (fjärrvärme, frånluftsvärmepump). En högre investeringskostnad innebär ofta en lägre energikostnad, men resultaten pekar på att räntan måste vara relativt låg för att det ska löna sig ekonomiskt att investera i lägre energikostnader. Då räntan varierar påverkas totalkostnaden betydligt kraftigare än vid variation av energipriset.

Vid en låg ränta blir skillnaden i totalkostnad för alla system ganska liten, och alternativ med högre investering har då bättre möjligheter att konkurrera. Passivhuset blir med låg ränta mycket kostnadseffektivt. Även pelletkamin med FTX och solfångare hör då till de billigare alternativen. Med kalkylränta på 1 % blir solvärme nästan lönsamt tillsammans med pelletalternativet.

5 DISKUSSION

I och med att de nya byggreglerna införs kommer med all sannolikhet den traditionella frånluftvärmepumpen att försvinna inom nybyggnad. Vad som ligger närmast till hands är den kondenserande frånluftvärmepumpen eller frånluft/jordvärmepumpen som ger förhållandevis god ekonomi. Med en sådan teknik kan man fortsätta bygga på traditionellt vis utan större förändringar. Dessa värmepumpar ger också den lägsta installationskostnaden näst efter fjärrvärme och passivhus. Det är troligt att låga investeringskostnader är viktigare än låga driftskostnader om man har en viss summa från banken att bygga huset för. Värmepumpar klassas också som förnybara energikällor inom EU och det ger tekniken säkerligen draghjälp. Det som skulle kunna hota en sådan utveckling är om skador, driftsstörningar och alltför kort livslängd ger dåligt rykte för tekniken eller om elpriset stiger mycket kraftigare än vad som antagits i denna studie. En större fokusering på driftskostnaden vid bankens bestämning av lånetak skulle nog också gynna de system som har lägst energikostnader.

Pelletvärmsystem

Med dagens energipriser tycks pelletvärmsystemen ge ungefär samma kostnader som bergvärmepumpar. I norra Sverige med högre energibehov får bergvärmepumpen något lägre totalkostnad. Konkurrenskraften för pelletvärmsystemen blir också sämre vid de energiprisökningar som studerats här. FTX är lönsamt med pellet i norra Sverige och i princip ett krav för att man skall klara energikraven.

De nackdelar som brukare ibland upplever med pellet kan vara visst skötselbehov och bränslepåfyllning. Detta kan automatiseras i hög grad, men kostnaden för systemen blir då högre än i denna studie och det kan vara svårt att motivera när energibehoven är så pass låga. För ett hus i Mora med pelletkamin och FTX som drar 100 kWh pellet per m² och år blir det totala pelletbehovet ca tre ton/år för det hus som studeras här. Det motsvarar 180 st 16-kilos pelletsäckar. Man får alltså räkna med att fylla på en säck pellet om dagen under vinterhalvåret. Teknikutveckling mot system med lägre effektområden, mer användarvänliga, och med högre verkningsgrad är viktigt för att passa in i nybyggda hus.

Alternativ med pellet har svårt att konkurrera med bästa lönsamhet, men det är definitivt ingen dålig investering även i nya hus med låga energibehov. En kostnadsfördel med pellets jämfört med värmepump, som inte beaktats i denna studie, är att många som bygger hus med värmepump ändå installerar en vedkamin till en kostnad av mellan 20 000 och 30 000 kr. En pelletkamin ersätter även en sådan investering. Detta gynnar i praktiken system med pelletkaminen ekonomiskt utöver den kalkyl som genomförts här.

Det finns också möjlighet till kombinationer med frånluftvärmepump och pelletkamin som vi inte har studerat här. Ett exempel på en sådan kombination är en luftburen pelletkamin eller vedkamin tillsammans med en frånluftvärmepump. En luftburen pelletkamin tillsammans med frånluftvärmepump i ett hus med öppen planlösning kan vara en mycket kostnadseffektiv lösning, men får svårare att klara energikraven om huset fortfarande klassas som elvärm.

Kombinationen vattenmantlad pelletkamin och frånluftvärmepump är en intressant kombination som inte tagits med. Troligen klassas ett sådant system som icke elvärm (annat upp-

värmsätt än el), men det är inte självklart, då det är en blandlösning med täckning av baslasten via frånluftvärmepumpen och en topplast som täcks av pelletkaminen.

Placering av luftburna pelletkaminer i hall eller vardagsrum i passivhus är ett möjligt sätt att minska elbehovet i passivhusen ytterligare. Samtidigt minskar man också eventuella problem med att det blir varmare i sovrummen, där tilluftdonen normalt är placerade.

Passivhus

Då passivhusen är på stark frammarsch är det helt klart också en teknik som kommer att öka kraftigt framöver. Passivhustekniken visar ju att vi kan bygga betydligt energisnålare än vad dagens normer kräver och det dessutom till ungefär samma kostnad som konventionell bebyggelse. Då EU kommer att skärpa kraven ytterligare till 2020 så att endast lågenergihus får byggas är det troligt att vi får se en kraftig ökning av antalet passivhus [42].

Tanken med ett passivhus är att det ska vara mycket välisolerat. Det ska också ha mekanisk till- och frånluft med värmeåtervinning (FTX), så att uppvärmningsbehovet blir så lågt att det till största delen kan täckas med gratisvärme från solinstrålning, människor och hushållsel. För att kostnaderna skall hållas på en rimlig nivå byggs de utan vattenburet uppvärmningssystem och med en luftvärmare i tilluften. Detta resulterar i att temperaturen vintertid kan bli högre i sovrum och vardagsrum där tilluften tillförs och lägre i kök och badrum där man endast har frånluft. Harrysson [50-52] har också framfört kritik mot system med FTX på grund av de störningar av boendekomforten de kan orsaka i form av buller, risk för fuktskador vid balanserad ventilation och ett ökat skötselbehov. Även höga inomhustemperaturer och stora vädringsbehov sommartid kan förekomma. Normalt används solvärme för tappvarmvatten i passivhusen och elvärme för resterande värme- och tappvarmvattenbehov.

Om värmepumpar och passivhus (elvärmda) kommer att dominera byggandet framöver blir byggnadsbeståndet mer och mer baserat på elvärme. Även om husen uppfyller byggreglerna, så ökar problemen med höga effektlast vintertid som ställer krav på stor reglerkapacitet. Med tillkommande elbehov för byggnader kan det också bli svårare att klara omställningen till ett koldioxidneutralt och förnybart energisystem, eftersom el idag till mycket stor del produceras med kolkraft inom EU. Å andra sidan löser man koldioxidutsläppen från kolkraftverken med koldioxidavskiljning och bygger ut vindkraft, vågkraft och solexel som så kanske ökat elbehov för uppvärmningsändamål är en bra strategi. Dock är det troligt att elanvändningen inom transportsystemet också kommer att öka kraftigt i framtiden om el- och vätgasdrift för fordonsparken utvecklas vilket kan skapa kraftigt ökande elpriser. Å andra sidan förväntas biobränslen också bli en bristvara i framtiden då den i många fall konkurrerar med matproduktion. Potentialen för termisk solexel producerad i öknar har då inte samma fysiska begränsning som bioenergin. Framtida åtgärder för att reducera växthusgaser kan om klimathotet tas på allvar helt förändra prisbilden och i det perspektivet framstår solvärme, och solexel som framtidens energikällor. Fjärrvärme har en viktig roll, eftersom den samtidigt producerar el och om värmeunderlaget minskar, så minskar också elproduktionen.

Husens isolerstandard

Trots skärpningen av byggreglerna för elvärmda hus är det alltså fortfarande så att den isolerstandard ett hus skall ha för att uppnå BBR:s byggregler är kraftigt beroende på vilka värme- och ventilationssystem som huset byggs med. Installeras bergvärmepump kan man isolera betydligt sämre än de studerade husen var isolerade. Något märkligt kan man tycka, eftersom livslängden på uppvärmningssystemet är ytterst begränsad och kommer att hinna bytas flera

gångar under en byggnads livslängd. Å andra sidan är kraven att de skall kunna följas upp. Det är ju mycket svårt att kontrollera om byggnaden uppfyller gällande krav på U-värden.

Kravet på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient är betydligt högre än dagens isolerstandard och skulle kunna halveras utan att ställa till problem för småhusfabrikanterna. Det är betydligt enklare att klara energikraven med bergvärmepump jämfört med övriga uppvärmningssystem så med bergvärmepump kan den genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten bli avgörande.

Det ser inte ut som att de nya byggreglerna i sig kommer att leda till bättre isolerade hus. Vår slutsats är att det räcker med att byta från vanlig frånluftvärmepump till en kondenserande frånluftvärmepump eller en frånluft/jordvärmepump. Trenden med allt fler passivhus tror vi sker oberoende av skärpningen av byggreglerna. Dock kan skärpningen i sig liksom den ökade belysningen av klimatproblemen i media öka kunskapen och intresset för energieffektiva småhus.

Solvärme

Solvärmen är inte riktigt lönsamt mot pellet vid dagens energipriser, 3100 kWh varmvattenbehov och 4,5 % ränta, men totalkostnaden blir likvärdig med pellet om räntan sänks till 1% eller om pelletpriset ökar med 50 %. Men med tanke på solvärmens livslängd kommer den säkerligen att bli mycket lönsam på sikt. Solvärmen ger störst solvärmestillskott per m² i Mellansverige där solinstrålningen är god, samtidigt som det finns en större värmelast på våren. Med en högre varmvattenlast än den studerade lasten på ca 3100 kWh/år ökar lönsamheten för solvärme och omvänt om varmvattenlasten är mindre.

Eftersom solvärme inte räknas in i den specifika energianvändningen gynnas den, eftersom den kan användas för att klara kraven eller öka säkerhetsmarginalerna. Men om solvärme används istället för bättre isolerstandard, kan det ändå ifrågasättas om nyttan med solvärme jämfört med nyttan av mer isolering. Solvärmen är nästan lönsamt mot pellet vid 50 % högre energipriser vilket talar för att solvärmen kommer att bli mycket lönsamt inom solvärmesystemets livslängd. Solvärmen ger störst solvärmestillskott per m² i Mellansverige där solinstrålningen är god samtidigt som det finns en större värmelast på våren. Solvärme tillsammans med värmepump kräver ännu högre energipriser för att bli lönsamt. Med en högre varmvattenlast än den studerade lasten på ca 3100 kWh/år ökar lönsamheten för solvärme.

Fjärrvärme

Fjärrvärme är oftast det mest ekonomiska alternativet i de kommuner som ligger under medelpriset för svensk fjärrvärme och kommer nog att byggas ut där det är lämpligt. Dock varierar både anslutningsavgifter och energipriser kraftigt vilket ger stora lokala skillnader. Med energiprisökning enligt trenderna från de senaste åren börjar alternativen med pelletskamin konkurrera med värmepumparna, medan fjärrvärme och passivhuset blir de billigaste alternativen. Kraven på energianvändning enligt BBR kräver FTX i norr för alternativ med fjärrvärme och i princip i hela landet för pelletskaminen. Däremot är bergvärmepump ett alternativ som i alla studerade fall ligger långt under kravgränserna för energianvändning, även i hus med standardisolering.

6 SLUTSATSER

De uppvärmningsalternativ som klarar de nya energikraven med god marginal i alla klimatzoner är kondenserande frånluftvärmepump, bergvärmepump, fjärrvärme (FTX krävs i norra Sverige), pelletkamin med FTX samt passivhuset. Systemen med bergvärmepump ger något lägre elanvändning än passivhuset i Kiruna och ungefär samma elbehov som passivhuset i övriga klimat. Det krävs alltså inte bättre isolerade småhus än dagens standard för att klara energikraven.

Traditionella frånluftvärmepumpar klarar varken energi- eller effektkraven. Vår slutsats är att vi kommer att få se en övergång till kondenserande frånluftvärmepumpar och jord/frånluftvärmepumpar på kort sikt, samt på lite längre sikt en allt större andel passivhusbebyggelse. Värmepumparna kräver dock förändringar och optimering av kompressoreffekt och el-patronens effekt för att kunna möta de nya kraven på bästa sätt.

Förutom den traditionella frånluftvärmepumpen så är det alternativen med enbart pellet och fjärrvärme (utan från- och tilluft med värmeåtervinning FTX), samt frånluft/jordvärmepumpen i Örebro, som inte klarar eller som ligger mycket nära att inte klara kraven. Om pellet och fjärrvärme kombineras med FTX klaras energikraven med god marginal även för standardhuset. Vedeldning kräver liksom pellet att huset är mycket välisolerat eller att det förses med FTX.

Pelleteldning i nybyggda hus kommer nog att utgöra en mindre del av installationerna, men om lösningar med frånluftvärmepump och luftburen pelletkamin mot förmodan skulle komma att uppfylla kraven för ett icke elvärt hus kan det bli ett uppsving av sådana lösningar. Vidareutveckling och effektivisering, samt anpassning av tekniken mot energisnålare hus skulle gynna tekniken för nybyggda hus.

Fjärrvärme tycks vara det mest ekonomiska alternativet i de kommuner som ligger under medelpriset för svensk fjärrvärme. Dock varierar både anslutningsavgifter och energipriser kraftigt, vilket ger stora lokala skillnader. Hus med annat uppvärmningssystem än elvärme kräver FTX, solvärme eller annan energibesparande åtgärd för att uppfylla kraven i klimatzon I och II. Däremot är bergvärmepump ett alternativ som i alla studerade fall ligger långt under kravgränserna för energibehov, även i hus med standardisolering. Med bergvärmepump som uppvärmningskälla kan man bygga betydligt sämre isolerade hus och ändå klara energikraven. Det blir då effektkraven som sätter gränsen för husets isolerstandard. Kraven på genomsnittlig värmeförlustkoefficient U_m är så högt satta så att de inte har någon begränsande effekt.

Det studerade passivhuset hör till de alternativ som har lägst kostnad då investering och energianvändning vägs samman. Passivhuset är dyrt i investering, men livslängden på alla delar är lång, vilket ger långa avbetalningstider. Av denna anledning är detta ett av de system vars ekonomi är känsligast för ändrade räntekostnader. Om man antar att energipriserna kommer att fortsätta att öka lär de system som har de lägsta energikostnaderna, som solvärme och passivhus, komma att bli de mest lönsamma alternativen. Men räntenivån har en stor inverkan på systemens totalkostnad. Låg ränta har en utjämnande effekt på totalkostnaden. Vid högre ränta ökar kostnaden mest för system med lång livslängd (avskrivningstid), vilket gör passivhusen dyrare.

Vedeldning har inte studerats här, men ger säkerligen lägst total kostnader om man accepterar den tid som krävs för att hantera ved och elda. Dock kan något annat än en kökspanna vara svårt utan att öka bostadsytan. Inte heller kombinationer med frånluftvärmepump och pelletskamin har studerats och det är lite osäkert hur de kan utformas och om de kommer att klassificeras som elvärmda eller inte. Dock är det klart att enbart kompressorn i en traditionell frånluftvärmepump har så låg effekt att huset inte klassas som elvämt.

Slutligen bör man fråga sig hur en ekonomisk kalkyl av detta slag påverkar hustillverkare och husköpare. Kommer liknande ekonomiska kalkyler att styra vilka uppvärmningssystem som hustillverkare erbjuder och säljer eller är andra faktorer viktigare? Egentligen är ju skillnaderna mellan de olika alternativen inte större än att man kan välja det man gillar och tror på. Frågan är mer av karaktären: Vill man ha en hög kapitalkostnad eller en hög energikostnad, och vilken grad av bekvämlighet önskar man sig? För att gynna system med låg energikostnad måste lånebeloppet kunna ökas om huset har lägre driftskostnader.

Frågan gäller också om man tror på el-baserade system med värmepumpar, sol- och biobränsle eller passivhus med minimalt uppvärmningsbehov. Troligen är den säkraste investeringen ändå ett bra klimatskal som minimerar värmebehovet. Trenden idag är att bygga passivhusen utan vattenburet värmesystem. Frågan är om detta ger tillräckligt flexibla system och om de kommer att svara upp mot framtida krav på inomhusklimatet. Vilka uppvärmningssätt som blir rådande framgent kommer att bero på hur utvecklingen blir inom flera områden, som till exempel transportsektorn, eltillgången och tillgången på biobränsle.

Totalkostnaden skiljer inte så mycket mellan de olika alternativen. Betyder då detta att konsumenten skall få välja fritt eller bör samhället begränsa valmöjligheten till de alternativ som man bedömer har störst framtidsutsikter? Denna kalkyl visar dock att man kan skärpa kraven avsevärt, både vad gäller elanvändning och isolerstandard utan att det medför orimliga kostnader för konsumenten. Det kommer dock att begränsa konsumentens valfrihet och ge en ökad styrning mot ett fåtal systemlösningar, som i framtiden kan visa sig vara mindre lämpliga.

7 REFERENSER

- [1] Boverket, *Regelsamling för byggande, BBR 2008*. 1. uppl. 2008, Karlskrona, Sweden: Boverket. ISBN: 9789186045036.
- [2] Boverket, *Regelsamling för byggande, BBR, Supplement februari 2009, 9 Energihushållning*. 2009, Karlskrona, Sweden: Boverket. ISBN: 978-91-86045-65-4.
- [3] SCB, *Energistatistik för småhus 2008*. Rapport ES 2009:07, 2009. SCB Statistiska Centralbyrån, Örebro, Sweden.
<http://webbshop.cm.se/System/ViewResource.aspx?rl=default:/Resources/Permanent/StorageItem/60373ee0cdc743898284fec420067527/2128W.pdf>
- [4] Kretz, M., Småhusen klarar inte de nya kraven. *Energi&miljö* nr 4, April 2009, p. 6-7.
- [5] Dalenbäck, J.O., *Solvärmsystem vid nybyggnation: Teknikutvecklingsprojekt 16227-18*. 1999. Building services Engineering, Chalmers, Göteborg, Sweden.
- [6] Dalenbäck, J.O., Solar Heating System for a New Single Family House - On the Performance and the Economy of a New Combined Storage and Boiler. In *Proc. 2nd Industry Workshop of IEA-SHC Task 26*. April 2000, p. 25-32. Borlänge, Sweden, IEA.
- [7] Albers, K., *Solar heating system for a new single family house*. Examensarbete E 149, 1999, Department of Building Services Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- [8] Sundqvist, H. och S. Allansson, *Utformning av energieffektiva bostäder. Kostnadsjämförelser med hänsyn till systemlösning, hustyp och klimat*. Examensarbete, Rapport EBD-R--06/11, 2006, Avdelningen för installationsteknik, Institutionen för arkitektur och byggd miljö, energi och byggnadsdesign, Lunds tekniska högskola, Lund, Sweden.
http://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/images/Publikationer/Rapport_ver031_stefan_henrik.pdf
- [9] Andersson, K. och T. Chiaussa, *Livscykelkostnadsanalys av småhus -en jämförelse av Boverkets energikrav och ett lågenergihus*. Examensarbete 2007:116, 2007, Avdelningen för byggnadsteknologi, Chalmers Tekniska Högskola, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sweden.
- [10] Andersson, K. och T. Chiaussa, Livscykelkostnadsanalys av småhus. *Energi & Miljö* Nr 9, September 2008, p. 71-73.
- [11] Torssell, R., *Energianvändning och livscykelkostnad för ventilations- och uppvärmningssystem i småhus*. Examensarbete, Rapport TVIT--05/5004, 2005, Avdelningen för installationsteknik, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Lunds tekniska högskola, Lund, Sweden. <http://www.hvac.lth.se/publikationer/TVIT-5000/TVIT-5004.pdf>

- [12] Granbom, M. och R. Thorn, *Passivhus det långsiktiga valet, En konkret jämförelse mellan konventionellt byggande och passivhus*. Examensarbete 2007:72, 2007, Institutionen för byggt teknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, Sweden.
- [13] Wijk, S., et al., *Marknadens intresse för energieffektiva småhus*. Rapport Slutrapport, 2005. Energimyndigheten, Sweden.
- [14] *Hur värmer vi svenska småhus idag och i framtiden?* 2005. Svensk Energi, Elforsk och Villaägarnas Riksförbund, Sweden.
- [15] Bengtsson, S., Energi för småhus, Ved- och pelletspanna vinnare. *Energimagasinet* 4/06, 2006, p. 36-38.
- [16] Karlsson, Å., *Comparative Assessment of Fuel-Based Systems for Space Heating*. Doctoral Thesis, 2003, Division of Environmental and Energy Systems Studies, Department of Technology and Society, Lund University, Lund, Sweden.
- [17] Lorenz, K. och A. Henning, *Installera värmesystem, Faktablad för installatörer*. 2006. SERC, Högskolan Dalarna, Borlänge, Sweden.
<http://www.du.se/Templates/InfoPage.aspx?id=4269&epslanguage=SV>
- [18] Persson, T., *Combined solar and pellet heating systems for single-family houses - How to achieve decreased electricity usage, increased system efficiency and increased solar gains*. Doctoral Thesis Trita REFR Report No. 06/56, 2006, Department of Energy Technology, KTH - Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- [19] Klein, S.A., et al., TRNSYS 16.0 Transient simulation program. 16.01.0003, Solar Energy Laboratory, Univ. of Wisconsin-Madison, Madison, WI, USA.
- [20] Erlandsson, M., et al., *Kravspecifikation för passivhus i Sverige -Energieffektiva bostäder*. LTH rapport EBD-R--09/25, IVL rapport nr A1592, ATON rapport 0902, 2009. FEBY, Energimyndigheten,
http://www.passivhuscentrum.se/fileadmin/pdf/Kravspecifikation_Passivhus_slutversion_juni_2009_1_juli.pdf
- [21] Fiskarhedenvillan, *Fiskarhedenvillans hemsida*, 2009, Fiskarhedenvillan, Borlänge, Sweden. www.fiskarhedenvillan.se
- [22] METEONORM Weather Data Generator. (Computer programme), METEOTEST, Bern, Switzerland. www.meteonorm.com
- [23] *Energianvändning i monteringsfärdiga småhus -en marknadsöversikt*. Marknadsöversikt, 2009. Hållbar utveckling väst, Sweden.
- [24] Henning, A., *Värmesystem i vardagen, Några småhusägares erfarenhet av att byta värmesystem*. Rapport DU-SERC-94--SE, 2007. SERC, Högskolan Dalarna, Borlänge, Sweden.
- [25] Heimrath, R. och M. Haller, *The Reference Heating System, the Template Solar System of Task 32*. Report A2 of Subtask A, 2007. Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology, Graz, Austria. http://www.iea-shc.org/publications/downloads/task32-Reference_Heating_System.pdf

- [26] *CEN EN 12976-2 Thermal Solar Systems and Components – Factory Made Systems – Part 2: Test methods* 2000. European Committee for Standardization, Bryssel, Belgium.
- [27] Sherman, M.H. och D.T. Grimsrud, Measurement of infiltration using fan pressurization and weather data. In *Proc. A.I.C. Conference Instrumentation and Measuring Techniques*. 1980, p. 279-323. Berkshire, GB.,
- [28] Megner, A., 75 fastigheter undersökta: Frånluftsåtervinning sparar ingen energi. *VVS-Forum* nr 1, Januari 2006 2006, p. 38.
- [29] Öhman, D., Energianvändning i nya hus -Överraskande resultat. *Energi&miljö* nr 11, November 2006 2006, p. 44-45.
- [30] Persson, T., *Elbesparing i direktvärmda hus med pelletkaminer och solvärme i direktvärmda småhus* Licentiate thesis Trita REFR Report No 04/43, 2004, Energiteknik, KTH, Stockholm, Sweden.
- [31] Barakat, S.A., Inter-zone convective heat transfer in buildings: A review. *Journal of Solar Energy Engineering*, 1987. **109**: p. 71-78.
- [32] ComfortZone, *ComfortZone CE50 CE65, Världens effektivaste frånluftsvärmepump, Produktblad* 2009. ComfortZone, Täby, Sweden. www.comfortzone.se
- [33] Energimyndigheten, *Årsmätning på fem bergvärmeanläggningar i Sjuhärad*. 2005. Energimyndigheten/SP Sveriges provnings och forskningsinstitut, Sweden. <http://www.energimyndigheten.se/Global/Hush%C3%A5ll/%C3%85rsm%C3%A4tning%20p%C3%A5%20fem%20bergv%C3%A4rmeanl%C3%A4ggningsanl%C3%A4ggningar%20i%20Sjuh%C3%A4rad.pdf>
- [34] Bioenergi, Pellets-kaminer 2008-2009. *Bioenergi* Nr 4 2008, 2008, p. 4-9.
- [35] Persson, T., *Solar and Pellet Heating Systems: Reduced Electricity Usage in Single-family Houses*. 2009, Saarbrücken, Germany: VDM Verlag Dr. Müller. ISBN: 3639122062.
- [36] IVT, IVT homepage, 2008. <http://www.ivt.se/>
- [37] Comfortzone homepage, 2008. <http://www.comfortzone.se/>
- [38] Hedlund, G., *produktblad: Comfort zone CE50 CE65*. 2009, Comfort zone Täby, Sweden.
- [39] Indovent, R., REC Indovent homepage, 2008. <http://www.rec-indovent.se/>
- [40] Lorenz, K., *Kombisolvärmesystem - Utvärdering av möjliga systemförbättringar*. Licentiate thesis, 2001, Building Services Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- [41] Persson, T., et al., Increasing efficiency and decreasing CO-emissions for a combined solar and wood pellet heating system for single-family houses. In *Proc. Pellets 06*. 30 May - 1 June 2006, p. 87-91. Jönköping, Sweden,

- [42] Fasth, E.-M., Skärpta energikrav på byggnader i EU. *VVS-Forum* nr 12, December 2009, p. 7.
- [43] Ljung, B. och O. Högberg, *Investeringsbedömning en introduktion*. Vol. Upplaga 2:3. 2002, Malmö, Sweden: Liber Ekonomi.
- [44] Jörgensen, E., *Att värma bostäder. Påverkansfaktorer och beslut*. Elforsk rapport 09:41, 2009. Elforsk, ELAN-programmet, Sweden.
- [45] Nordemo, C., Ny larmrapport från Folksam: "Tillverkarna struntar i kvaliteten". *VVS-Forum* nr 1, Januari, 2010, p. 8-9.
- [46] Snaar, J., *Alarmerande kvalitetsbrist hos nya värmepumpar*, *Pressmeddelande*, 2009, Folksam. <http://media.folksam.se/2008/11/03/alarmerande-kvalitetsbrist-hos-nya-varmepumpar/>
- [47] Pålsson, M., et al., *Uppvärmning i Sverige 2009*. Rapport EI R2009:7, 2009. Energi-marknadsinspektionen, Eskilstuna, Sweden. <http://www.energimarknadsinspektionen.se/Bibliotek/Rapporter-2009/Uppvarmning-i-Sverige-2009/>
- [48] *Bergvärme*, *Informationsblad*, 2009, Energikontor Värmland. http://www.sunne.se/upload/Energi,sopor,vatten/Energir%C3%A5dgivning/Faktablad_bergvarme.pdf
- [49] Börjesson, L., *Utvärdering och optimering av bergvärmesystemet vid kv. Barnfröken*. Examensarbete 2005:014 CIV, 2005. Luleå tekniska universitet Luleå, Sweden. <http://epubl.ltu.se/1402-1617/2005/014/LTU-EX-05014-SE.pdf>
- [50] Harrysson, C., *Innemiljö och energianvändning i flerbostadshus. Enkätundersökning och tekniska mätningar i 395 lägenheter med olika systemlösningar*. Rapport 1997:7, 1997. Boverket, Publikationsservice, Karlskrona, Sweden.
- [51] Harrysson, C., *Husdoktorn går ronden*. ed. T. Andersson. 2006, Hestra, Sweden: C Harrysson och Bygg- och Energiteknik AB. ISBN: 91-631-9272-1.
- [52] Harrysson, C., *Variationer i energianvändning och inomhusmiljö kvalitet hos flerbostadshus med olika tekniska lösningar. Erfarenheter och kommentarer*. Rapport Nr 5, Juni, 2009. Akademin för naturvetenskap och teknik, Örebro universitet, Örebro, Sweden.