

# RENOVERING AV 60- OCH 70-TALS SMÅHUS TILL PASSIVHUS

- Utvärdering av kostnadseffektiva renoveringspaket

Tomas Ekström, NCC & LTH

Åke Blomsterberg, LTH

2018-06-15

# FÖRORD

I projektet har ny kunskap tagits fram om hur byggbranschen kan säkerställa kostnadseffektiva energirenoveringar av småhus till passivhusstandard med bra inomhusmiljö. Småhus står för cirka 30 procent av energianvändningen i den svenska byggsektorn. Många småhusägare står i begrepp att renovera sina hus, men ytterst få planerar att göra stora energiåtgärder. Det vill forskare i detta SBUF-projekt ändra på.

Projektet Renovering till passivhusstandard av 60- och 70-tals småhus har letts av NCC AB och Lunds Universitet och har genomförts i samverkan med Linnéuniversitet, Skanska, Installatörsföretagen, BeSmå/WSP, RISE, TMF, Passivhuscentrum, White Arkitekter, Swedisol.

Då projektet varit ett industridoktorandprojekt är huvudförfattaren teknisk licentiat Tomas Ekström från NCC med stöd av handledarna Åke Blomsterberg, LTH, (huvudhandledare), Kajsa Flodberg Munck, NCC, (industrihandledare) och Ricardo Bernardo, LTH (bitr. handledare universitet).

I projektet har följande personer medverkat:

Projektledare:	Åke Blomsterberg	Lunds universitet, Energi och byggnadsdesign
Projektgrupp:	Tomas Ekström	Industridoktorand från NCC
	Ricardo Bernardo	Lunds universitet
	Henrik Davidsson	Lunds universitet
	Kajsa Flodberg Munck	NCC
	Mats Sihvonen	NCC
Referensgrupp:	Charlotte Winkler	BeSmå/WSP
	Magnus Everitt	Installatörsföretagen
	Leif Gustavsson	Linnéuniversitetet
	Hans Eek	Passivhuscentrum
	Eva-Lotta Kurkinen	RISE
	Björn Berggren	Skanska
	Mats Björs	Swedisol
	Anders Rosenkilde	TMF
	Fredrik Larsson	White Arkitekter

Projektet har finansierats av SBUF, Energimyndigheten genom programmet E2B2 samt av NCC AB.

/ 2018-06-15

# SAMMANFATTNING

För att kunna nå de nationella energieffektiviseringsmålen måste energianvändningen minska även i det befintliga beståndet av småhus. Omfattande energiåtgärder är inte realistiska i alla småhus, därför måste energianvändningen minst halveras i ett stort antal småhus, vilket i många fall innebär passivhusstandard. Småhus byggda mellan 1961 och 1980 utgör cirka en tredjedel av det totala energibehovet på 31 TWh för uppvärmning och tappvarmvatten i svenska småhus. Dessa använder i sin tur cirka 40 procent av den totala energianvändningen i alla byggnader. Det finns omkring 715 000 småhus från denna period och de är byggda på ett likartat sätt i tekniska termer – med låg isoleringsnivå – och de har sällan ventilation med värmeåtervinning. Normalanvändningen av energi i småhus från denna period överstiger dagens småhus - byggda mellan 2011 och 2013 - med cirka 40 procent.

Målet med detta forskningsprojekt var att utvärdera möjligheten att genomföra kostnadseffektiva renoveringar av småhus till passivhusnivå samtidigt som det leder till andra förbättringar, som ett bättre inomhusklimat. Undersökningen inkluderar även lokal förnyelsebar energiproduktion och energilagring. Inkluderat i undersökningen var även mervärden från att genomföra denna typ av renovering, så som ökad termisk komfort och fuktsäkerhet. Utvärderingarna genomfördes genom att simulera renoveringslösningar för två referenshus inkluderade i fallstudien.

Forskningsprojektet påbörjades genom att söka efter genomförda pilotprojekt, i framförallt Sverige, som drastiskt minskat energianvändningen i småhus. Baserat på de renoveringslösningar som använts i dessa projekt bestämdes möjliga renoveringslösningar att undersöka för att bestämma den möjliga energibesparingspotentialen från att genomföra passivhusrenoveringar i småhus. Resultaten visade på en stor besparingspotential på över 65 procent i de utvärderade referenshusen.

Undersökningen fortsatte genom att bestämma kostnadseffektiva renoveringspaket till passivhusnivå med hjälp av omfattande energisimuleringar och LCC-analyser för olika energipriser - genom att utvärdera olika typer av värmekällor - och investeringskostnader. En försvårande omständighet är det inte finns en tekniskt och ekonomiskt rimlig lösning för passivhusisolering av grundläggningen. Inkluderat i denna undersökning är även alternativ av lokal energiproduktion från solfångare och solceller samt energilagring i batterier.

Resultatet från LCC-analysen visar att en passivhusrenovering kan vara kostnadseffektiv vid användning av vissa typer av värmekällor. Men resultatet är beroende av bland annat skillnaden i driftkostnad mellan de olika värmekällorna samt att energikraven för passivhus är olika om huset är eluppvärmt eller inte. Kostnadseffektiviteten skulle förbättras om t.ex. ROT-avdraget för denna typ av åtgärd förbättrades. Den mest kostnadseffektiva enskilda renoveringsåtgärden var att installera frånluftsvärmepump och den minst kostnadseffektiva åtgärden var att installera nya fönster. I hus värmda med direktverkande el är passivhusrenoveringen det mest kostnadseffektiva alternativet i jämförelse med en BBR-renovering.

Nästa rekommenderade projektsteg är demonstration i fullskala med vetenskaplig utvärdering.

Nyckelord: Kostnadseffektiv, energirenovering, LCC-analys, passivhus, småhus, solenergi

# INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND.....	4
2	GENOMFÖRANDE.....	5
3	RESULTAT.....	8
4	DISKUSSION OCH SLUTSATS.....	12
5	PUBLIKATIONSLISTA.....	13
	REFERENSER.....	14

# 1 INLEDNING OCH BAKGRUND

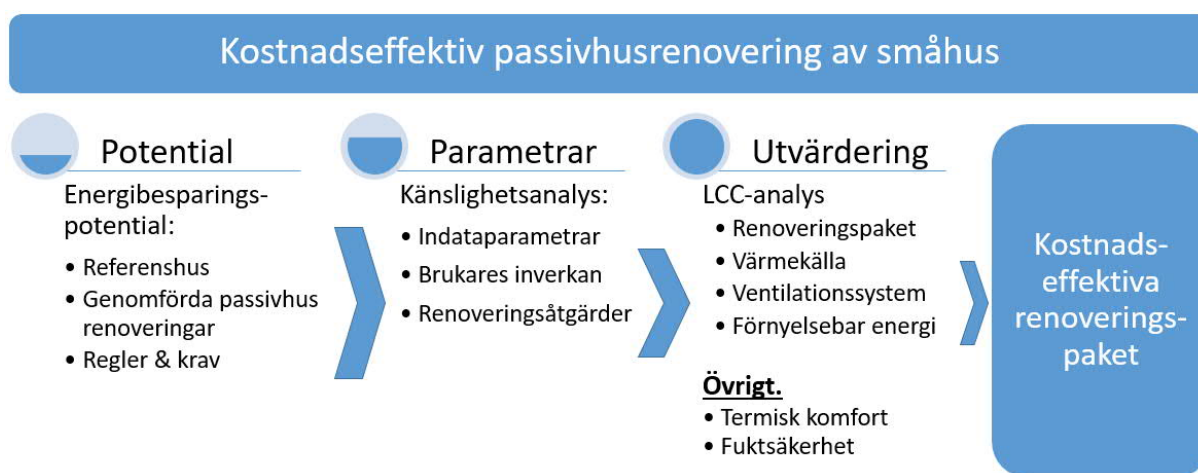
För att kunna nå de nationella energieffektiviseringsmålen måste energianvändningen minska i det befintliga beståndet av byggnader. Omfattande energiåtgärder måste genomföras, vilket inte är realistiskt för alla hus. Det innebär att i många hus måste energianvändningen minst halveras, vilket i många fall innebär passivhusstandard, för att uppnå önskat resultat. Baserat på en kartläggning av genomförda renoveringar till passivhusnivå i Sverige, så finns det uppskattningsvis tre sådana projekt. Byggbranschen saknar idag goda exempel och riktlinjer för renovering av svenska småhus till passivhusstandard.

Småhus byggda mellan 1961 och 1980 utgör cirka en tredjedel av det totala energibehovet på 31 TWh för uppvärmning och tappvarmvatten i svenska småhus. Dessa använder i sin tur cirka 40 procent av den totala energianvändningen i alla byggnader. Det finns omkring 715 000 småhus från denna period och de är byggda på ett likartat sätt i tekniska termer – med låg isoleringsnivå – och de har sällan ventilation med värmeåtervinning. Normalanvändningen av energi i småhus från denna period överstiger dagens småhus - byggda mellan 2011 och 2013 - med cirka 40 procent. Många småhus har dessutom ett underhållsbehov, 2/3 av alla småhus har någon typ av skador (BETSI, 2011). Alla typer av skador utom bulleråtgärder ingår. De flesta skador och brister är dock inte av allvarlig karaktär. Att åtgärda dessa skador och brister är ett utmärkt tillfälle att även minska energianvändningen.

Många av småhusen byggda under 60- och 70-talet ingår i grupphusområden, som i hög grad var en prefabricerad produktion av småhusfabrikanter (Björk, 2009). Den övervägande delen av småhusen byggdes med förtillverkade väggelement. Målet med detta forskningsprojekt, som resulterat i en licentiatavhandling (Ekström 2017), har varit att utvärdera möjligheten att genomföra kostnadseffektiva renoveringar av småhus till passivhus-nivå samtidigt som det leder till andra förbättringar som ett bättre inomhusklimat. Undersökningen inkluderar även lokal förnyelsebar energiproduktion och energilagring. Utvärderingarna genomfördes genom att simulera renoveringslösningar tillämpade på två referenshus inkluderade i fallstudien.

## 2 GENOMFÖRANDE

Den metod som använts inom projektet redovisas översiktligt i Figur 1. Forskningsprojektet påbörjades genom att kartlägga genomförda pilotprojekt vilka drastiskt minskat energianvändningen i småhus. Utifrån de renoveringslösningar som använts i pilotprojekten utvärderades den möjliga energibesparingspotentialen från att genomföra renoveringar till passivhusnivå i småhusbeståndet från 1960- och 1970-talet. Energibesparingspotentialen utvärderades med energibalansberäkningar av renoveringsåtgärder för referenshus, ett från respektive årtionde. Referenshusen som användes i undersökningen presenteras i Tabell 1.



Figur 1. Övergripande metod för projektgenomförande.

Därefter genomfördes en känslighetsanalys av energibalansberäkningarna för att avgöra hur stor påverkan vissa parametrar hade på energibesparingspotentialen i den inledande undersökningen. I känslighetsanalysen ingick bl.a. olika typer av isoleringsmaterial, olika leverantörer av ventilationsaggregat med värmeåtervinning, olika klimat samt olika förenklade brukarbeteenden. Analyserna gjordes med det dynamiska energiberäkningsprogrammet IDA ICE (EQUA, 2016). Resultaten från denna studie visade på ett stort beroende mellan energibesparingspotentialen och klimatet samt möjligheten att uppfylla passivhuskraven. Resultaten användes även för att minska antalet renoveringslösningar som kom att utvärderas i fortsättningen av projektet genom att eliminera åtgärder som hade liten påverkan på energibesparingspotentialen.

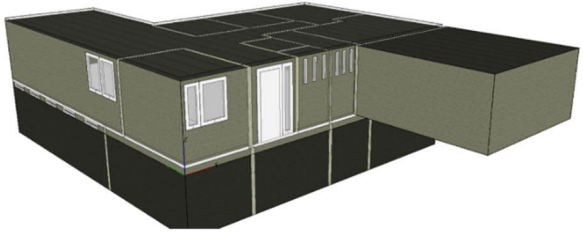

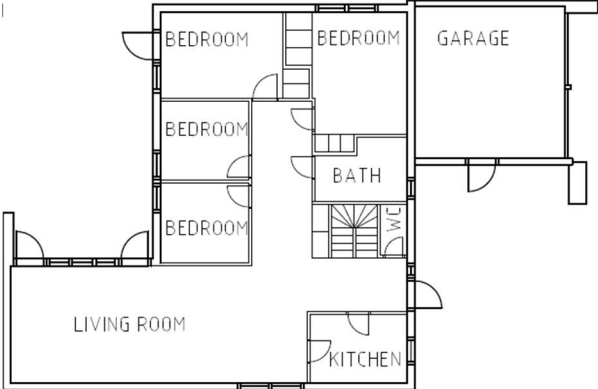
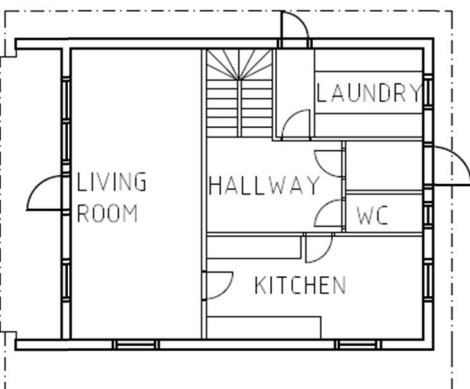
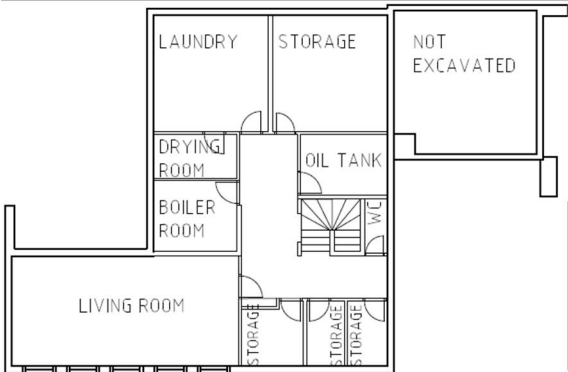
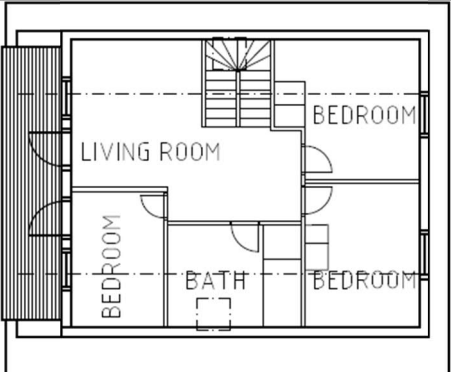
Nästa steg i undersökningen var att bestämma kostnadseffektiva renoveringspaket till passivhusnivå, vilket genomfördes med en LCC-analys. Analysen bygger vidare på energisimuleringarna genom att även inkludera energipriser - för relevanta typer av värmekällor - och investeringskostnad, samt möjliga ROT-avdrag och investeringsbidrag. I LCC-analysen ingår inte kostnader för uppgradering av självdragsventilation till fläktstyrd ventilation utan värmeåtervinning och inte heller renoveringsåtgärder pga. behovet av underhåll. Det är åtgärder som i mycket liten utsträckning påverkar energianvändningen. Inkluderat i analysen är alternativen lokal energiproduktion från solfångare och solceller samt energilagring i batterier.

En mindre undersökning av den termiska komforten inomhus under sommarhalvåret genomfördes genom att jämföra den operativa temperaturen (medelvärdet av luftens temperatur och omgivande ytors temperatur) i vardagsrum och sovrum innan och efter implementering av renoveringspaketet. Renoveringspaketet till passivhusnivå utvärderades även gällande fuktsäkerheten för de åtgärder som påverkar klimatskalet. Dessa simulerades enligt metodiken i

ByggaF (Norling 2007) och beräkningarna utfördes med hjälp av beräkningsprogrammet WUFI (Fraunhofer).

En avslutande studie av förutsättningarna för att uppfylla nollenergihuskraven, sett på årsbasis gällande energianvändning och energiproduktion, efter en renovering till passivhusstandard gjordes. Detta genom att installera solceller på tillgänglig takyta som ej skuggas.

Tabell 1. Ritningar för referenshus 1 och 2.

Referenshus 1 (RH1), med självdragsventilation	Referenshus 2 (RH2), med FTX-ventilation
Översikt – Modell från energisimulering	Översikt – Modell från energisimulering
	
Planritning – Markplan	Planritning – Markplan
	
Planritning - Källare	Planritning - Övervåning
	

För de två referenshusen utvärderades renoveringspaket i tre olika nivåer, 1. Minimum, 2. BBR och 3. Passivhus. I Tabell 2 presenteras de kravnivåer som respektive renoveringspaket behövde uppfylla. I kolumnen 1. Minimum ingår de åtgärder och kostnader som behövdes för att återställa byggnadens ursprungliga egenskaper, så som fasad, ytskikt och dränering, baserat på resultaten från BETSI-studien (BETSI, 2011). Även inkluderat är funktionskrav från BBR, så som luftflöde genom att installera mekanisk ventilation i referenshus 1 som endast haft självdrag. I kolumn 1. Minimum presenteras även de förutsättningar som de två referenshusen startade

med. I renoveringspaketet i kolumnen 3. Passivhus ingår även värmeåtervinning på ventilationen, antingen en värmeväxlare med en temperaturverkningsgrad över 85 % eller en frånluftsvärmepump med en COP över 3.

Tabell 2. Kravnivåer för klimatskalet för respektive renoveringspaket.

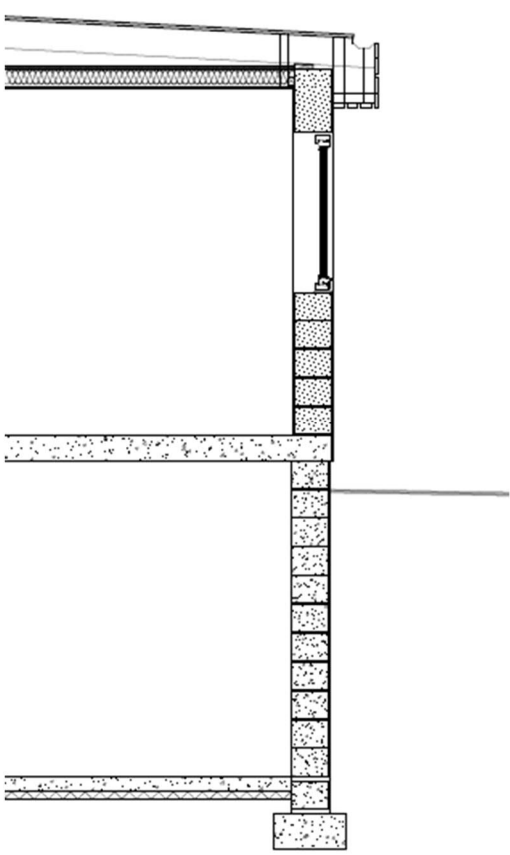
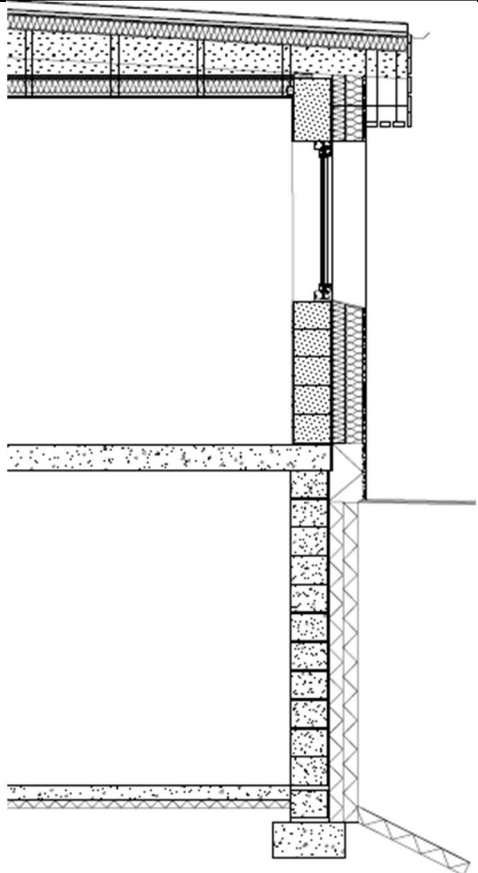
Renoveringsnivåer	1. Minimum RH1/RH2	2. BBR	3. Passivhus (PH)	Enhet
Fasad	Ny	Ny	Ny	
Ytterväggar	RH1: 0,54 RH2: 0,23	0,18	0,10 ±0,02	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Tak	RH1: 0,36 RH2: 0,15	0,13	0,10 ±0,02	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Grund	RH1: 0,32 RH2: 0,23	-	Förbättrad	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Källarväggar	RH1: 0,54 RH2: -	+100 mm isolering	+200 mm isolering	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Fönster	RH1: 2,80 RH2: 2,00	1,2	0,80	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Dörrar	RH1: 1,50 RH2: 1,50	1,2	0,80	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Köldbryggor	Beräknad	25% av $U_{tot} \cdot A_{tot}$	Beräknad	
Lufttäthet, vid ± 50 Pa	-	0,3	0,3	l/(s·m <sup>2</sup> )
Dränering	Ny	Ny	Ny	



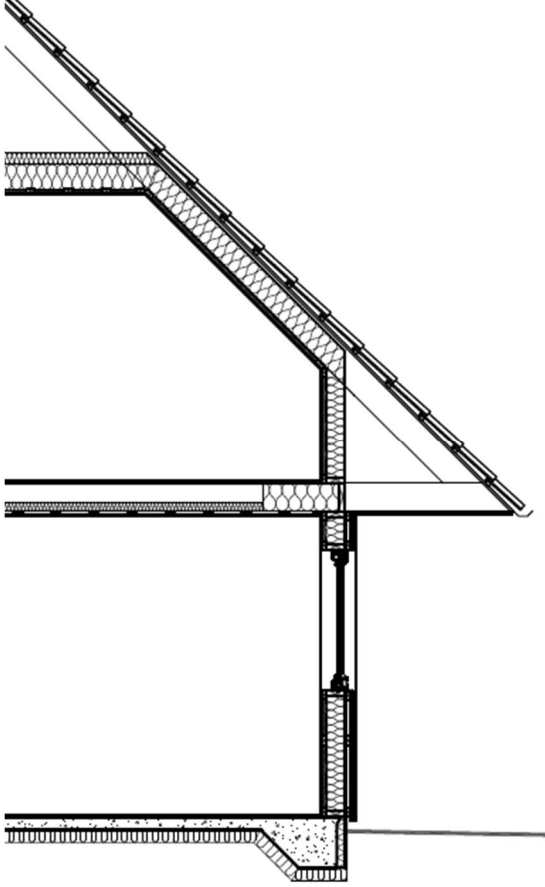
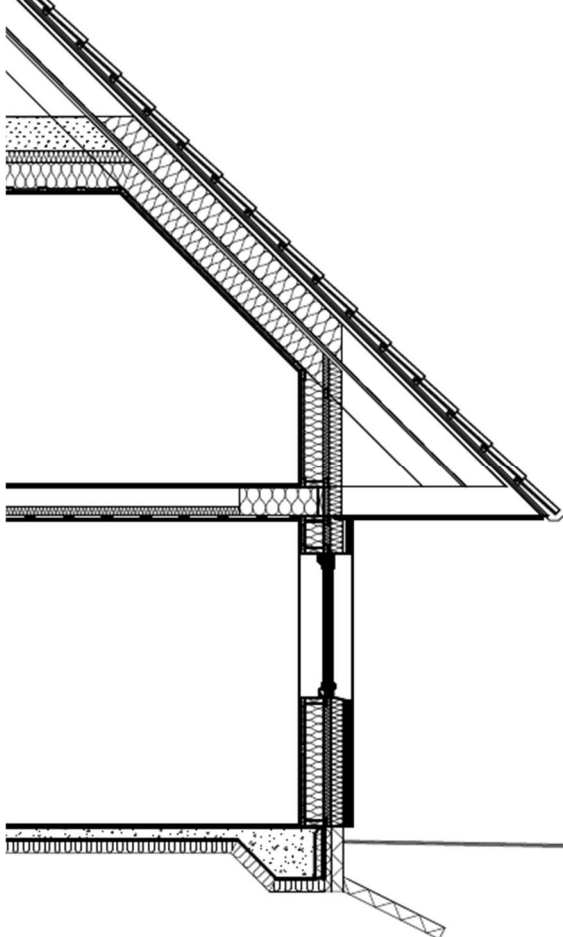
### 3 RESULTAT

Resultaten från projektet presenteras som energibesparing, investeringskostnad, nuvärde och internränta. Hur referenshusens klimatskal tilläggsisolerades visas i Tabell 3 och 4.

Tabell 3. Renoveringslösningar för referenshus 1 – sektionsritningar.

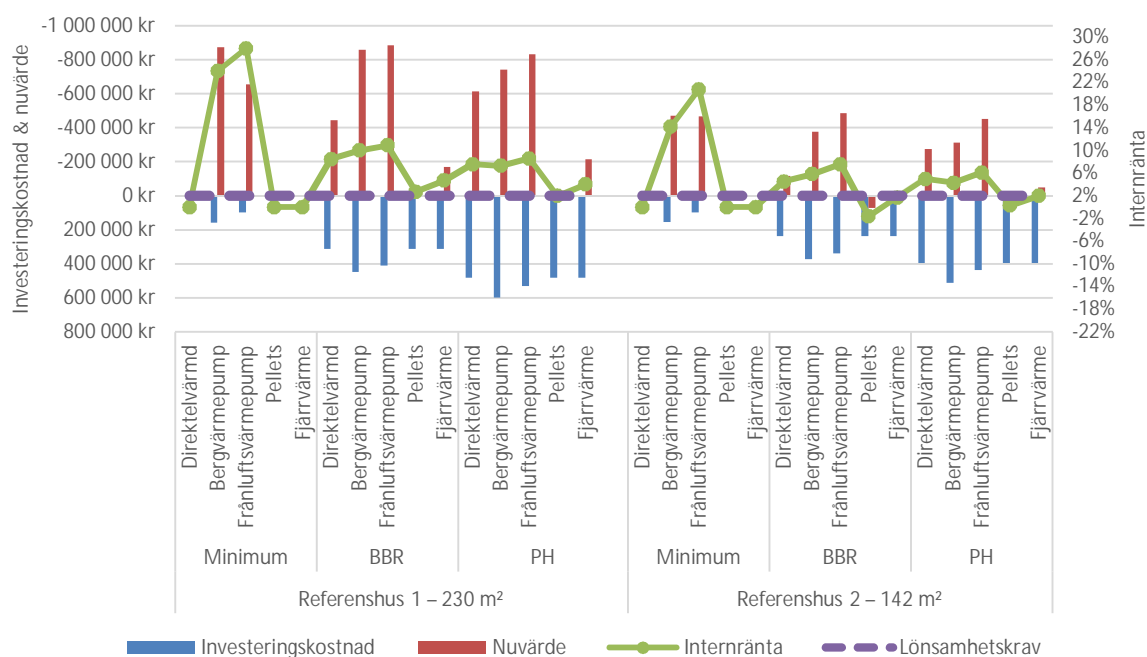
Renoveringslösningar – Sektionsritning före/efter renovering	
Referenshus 1	Malmö
<p>Ytterväggarna har utvändigt tilläggsisolerats i två skikt, först 95 mm mineralull mellan stålreglar 45x95 på c/c 600 och utanpå detta ett homogent skikt med 120 mm mineralullsskiva. Lösningen är förberedd med luftad fasad och möjlighet till olika fasadmaterier. Källarväggen har utvändigt isolerats med två skikt av 100 mm cellplast. När dräneringen åtgärdas har även en skiva med cellplast placerats sluttande ut från grunden för att minska värmeförlusterna. Taket har isolerats genom att tillgängligt utrymme fyllts med lösull och därefter har ett nytt lager med isolering, 100 mm mineralull, och regler monterats utanpå det befintliga taket. Dörrar och fönster är utbytta.</p>	
	

Tabell 4. Renoveringslösningar för referenshus 2 – sektionsritningar.

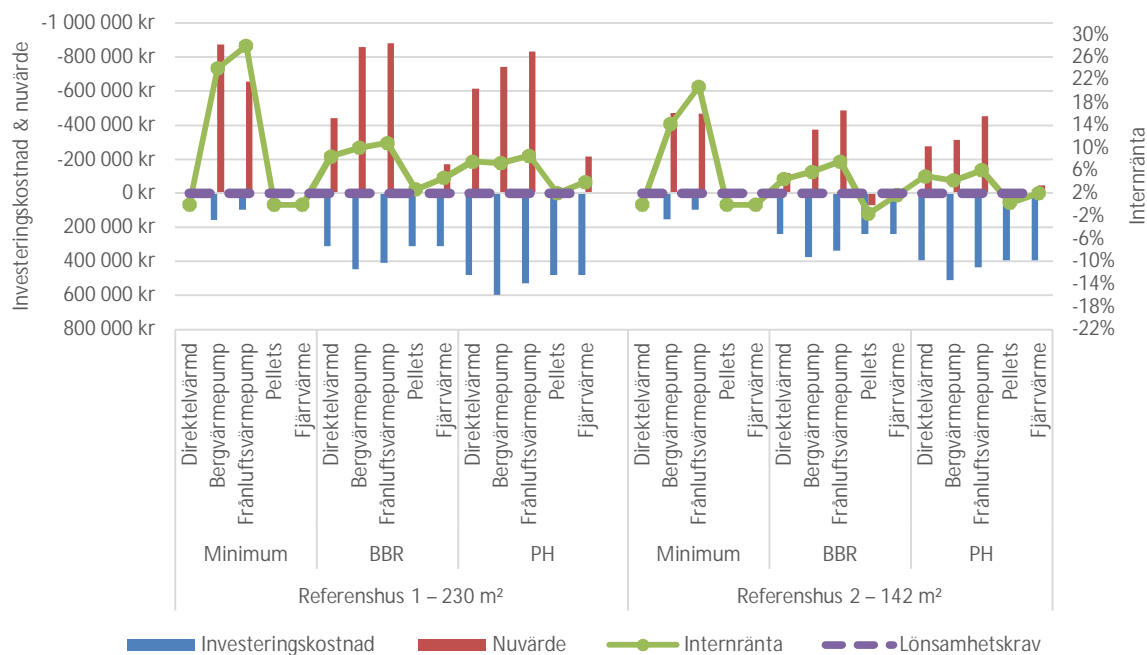
Referenshus 2	Umeå
<p>Ytterväggarna har tilläggsisolerats utvändigt i två skikt, först 45 mm mineralull mellan träreglar på c/c 600 och utanpå detta ett homogent skikt med 100 mm mineralullsskiva. Därefter följer en luftspalt och ett valfritt fasadmateriäl fäst med distanser. När dräneringen åtgärdas har även en skiva med cellplast placerats i marken lutande ner och ut från husgrunden för att minska värmeförlusterna. Taket är isolerat i två delar, dels en horisontell del och dels snedtak. För den horisontella delen har ytterligare lösullsisolering adderats. För att kunna isolera snedtaket så har reglar, 95x210 c/c1200, adderats på hela taket utvändigt som fyllts med 195 mm mineralull. Dörrar och fönster är utbytta.</p>	
	

Resultaten från energisimuleringarna visade på en stor besparingspotential, över 65 procent i de två utvärderade referenshusen. Resultatet från LCC-analysen visar på att passivhusrenoveringen

är kostnadseffektiv, vid användning av vissa typer av värmekällor (se



Figur 2). Anledningen till variationen i kostnadseffektivitet är både p.g.a. att olika värmekällor ger olika driftkostnader, men även att kraven för passivhus varierar beroende på vilken typ av värmekälla som används. Den mest kostnadseffektiva enskilda renoveringsåtgärden var att installera frånluftsvärmepump och den minst kostnadseffektiva åtgärden var att installera fönster som uppfyller passivhuskraven. I hus värmda med direktverkande el är passivhusrenoveringen det mest kostnadseffektiva renoveringspaketet. I övriga fall, förutom vid användning av pellets som värmekälla i referenshus 2, så var renoveringspaketet till passivhusnivå kostnadseffektivt, men lönsamheten minskar jämfört med mindre kostnadsdrivande renoveringspaket (1. Minimum- och 2. BRR-nivå).



Figur 2. Investeringskostnad och resultat från LCC-analysen, presenterat som nuvärde och internränta, för olika värmekällor och renoveringsnivåer för referenshusen. I de fall där både nuvärde (negativt värde eftersträvas) och internränta överstiger lönsamhetskravet är renoveringspaketet en lönsam investering.

Utvärderingen av möjligheten att uppnå nollenergihus för de två passivhusrenoverade referenshusen genom att installera solceller visade att det inte är kostnadseffektivt. Emellertid är det för flera alternativ möjligt att uppnå nollenergihus med de tillgängliga takytorna, men resultatet är beroende av läge och typ av värmekälla i husen.

Resultaten av beräkningarna av den operativa temperaturen bekräftar problemet med övertemperaturer i lågenergibyggnader genom ökade temperaturer efter renovering. Installation av persienner minskar problemet till att bli mindre än före renoveringen. Vad beträffar fuktsäkerheten hos klimatskärmen, så visar beräkningarna att den förbättras något av renoveringen.

## 4 DISKUSSION OCH SLUTSATS

Beräkningarna för referenshusen visar att det är tekniskt möjligt att minska energianvändningen, dvs. energin som behöver tillföras huset för uppvärmning och varmvattenberedning, med upp till 80 %. Energianvändningen skulle kunna minskas ytterligare om det fanns ett tekniskt och ekonomiskt rimligt sätt att tilläggsisolera, till passivhusnivå, grundläggning med betongplatta på mark.

Med en passivhusrenovering är det möjligt att kostnadseffektivt minska energianvändningen med åtminstone 65 % i referenshusen. Beroende på befintlig och vald värmekälla, så kan köpt energi reduceras med upp till 90 % och kostnadseffektiviteten variera. Detta under förutsättning att husen behöver renoveras av åldersskäl. Genom att installera förnybar energi t.ex. solceller och batterier kan den årliga köpta energin minskas till noll. Dock är inte detta steg lönsamt i nuläget.

Om passivhusrenovering genomförs i många småhus vore det ett stort steg mot ett hållbart samhälle, då denna typ av energieffektivisering av klimatskalet förutom energibesparing även minskar det maximala effektbehovet i byggnaderna. De för referenshusen utvärderade renoveringspaketen kan med stor sannolikhet installeras i många liknande småhus och vara kostnadseffektiva, om husen behöver renoveras dvs. endast hänsyn tas till marginalkostnaden för att minska energianvändningen.

Fortsatt arbete behövs dels inom området informationspridning till småhusägarna, för att visa på fördelarna med omfattande energieffektivisering och dess lönsamhet, dels genom att underlätta själva genomförande av renoveringen, t.ex. genom one-stop shopping, vilket har en stor affärspotential men det är svårt att starta och driva en sådan verksamhet.

Med detta projekt har vi tagit fram underlag för direkt tillämpbara riktlinjer för att kunna genomföra passivhusrenoveringar i stor skala. Med LCC-analyser har vi visat att det, trots högre investeringskostnader, kan vara kostnadseffektivt att satsa på passivhusrenovering för energieffektivisering av småhus, framförallt om husen är slitna och behöver renoveras. Ett sätt att öka lönsamheten vore att förbättra ROT-avdraget för denna typ av åtgärd.

Nästa rekommenderade projektsteg är demonstration i fullskala, med vetenskaplig utvärdering.

## 5 PUBLIKATIONSLISTA

Inom projektet så har tre konferensartiklar och en vetenskaplig artikel publicerats.

- Artikel I: “Renovation of Swedish Single-family Houses to Passive House Standard – Analyses of Energy Savings Potential” Ekström, T. and Blomsterberg, Å., In the proceedings of the Sustainable Built Environment 16 Conference on Build Green and Renovate Deep, 5-7 October, 2016, Tallinn, Estonia. Energy Procedia, 2016. 96: p. 134-145. (Ekström & Blomsterberg, 2016b)
- Artikel II: “Renovation of Swedish single-family houses to passive house standard - Sensitivity analysis” Ekström, T., Davidsson, H., Bernardo, R. and Blomsterberg, Å. In the proceedings of the 3rd Asia Conference of International Building Performance Simulation Association - ASim2016, held on November, 27-29, 2016 in Jeju(Cheju) island, Korea. (Ekström & Blomsterberg, 2016a)
- Artikel III: “Evaluation of cost-effective renovation packages to Passive House level for Swedish single-family houses from the sixties and seventies” Ekström, T., Bernardo, R. and Blomsterberg, Å. Publicerad i vetenskapliga tidskriften Energy & Buildings, 2017-12-10 (Ekström, Bernardo, & Blomsterberg, 2017).
- Artikel IV: “Renovating Swedish single-family houses from the sixties and seventies to net-zero energy buildings” Ekström, T., Bernardo, R., Davidsson, H. and Blomsterberg, Å. In the proceedings of the Solar World Congress 2017, 29 Oct – 2 Nov, Abu Dhabi, UAE. (Ekström, Bernardo, Davidsson, & Blomsterberg, 2017)

## REFERENSER

BETSI: "Teknisk status i den svenska bebyggelsen – resultat från projektet BETSI" Boverket, 2011

Björk, C., Nordling, L., & Reppen, L.: "Så byggdes villan" Stockholm: Forskningsförlaget Formas, 2009.

Ekström, T.: "Passive house renovation of Swedish single-family houses from the 1960s and 1970s – Evaluation of cost-effective renovation packages" Licentiatavhandling, Lund University, Faculty of Engineering, LTH, Report EBD-T—17/22, 2017.

EQUA: "IDA Indoor Climate and Energy (Version 4.7)." <http://www.equa.se/en/ida-ice>: EQUA Simulation AB. Retrieved from <http://www.equa.se/en/ida-ice>, 2016

Fraunhofer Institute of Building Physics, G. WUFI PRO 5.2. (Version Release: 5.2.0.972.DB.24.76.).

Norling, Mjörnell: ByggaF. Metod för fuktsäker byggprocess. FoU-Väst Rapport 0702, 2007.