



***ID: 12906***



# Energirenoovering av 60- och 70-tals småhus

*– Tekniska principlösningar*

2018-08-10

Åke Blomsterberg, LTH  
Tomas Ekström, LTH och NCC  
Kajsa Flodberg Munck, NCC

## Innehåll

Inledning.....	3
Bakgrund .....	3
Normer och krav vid renovering.....	4
Referenshus.....	4
Renoveringsåtgärder.....	6
Generella krav.....	6
Klimatskalet .....	7
VVS.....	10
Ventilationssystem.....	10
Värmesystem och värmekälla.....	11
Lokal energiproduktion och lagring .....	11
Solfångare för varmvatten.....	11
Solceller .....	12
Energilagring.....	12
Undersökta alternativ .....	12
Energibesparing och ekonomi .....	13
Passivhusrenovering .....	14
Nollenergihus.....	15
Slutsatser.....	17
Sammanfattning .....	18
Referenser .....	18

# Inledning

## 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. Detta innebär att i många hus måste energianvändningen minst halveras, vilket i många fall innebär passivhusstandard, för att uppnå önskat resultat. Uppskattningsvis har de senaste åren detta endast uppnåtts i tre renoveringar av småhus. Byggbranschen saknar idag goda exempel och riktlinjer för renovering till passivhusstandard av svenska småhus.

Småhus byggda mellan 1961 och 1980 utgör cirka en tredjedel av det totala energibehovet på 31 TWh för uppvärmning och tappvarmvatten i svenska småhus. Småhus 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 värmeisoleringsnivå – 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 (Ekström, 2017) var att utvärdera möjligheten att genomföra kostnadseffektiva renoveringar av småhus till Passivhus-nivå samtidigt som det leder till andra förbättringar, såsom bättre termisk komfort och fuktsäkerhet. Undersökningen inkluderar även lokal förnyelsebar energiproduktion och energilagring. Rapporten baserar sig på teoretiska beräkningar genom att simulera att renoveringslösningar för två referenshus. Referenshusen är verkliga hus, som är representativa för tidsperioden.

Denna rapport beskriver tekniska principlösningar och dess ekonomi för renovering med syfte att uppfylla krav enligt BBR, passivhuskrav enligt FEBY12 (Erlandsson et al., 2012) samt möjligheten att uppnå nollenergihus.

Arbetsgången i forskningsprojektet följer en traditionell renoveringsmetod:

1. Sammanställning av kravställning, tillgänglig teknik och renoveringslösningar
2. Detaljerad genomgång av byggnadens förutsättningar och behov
3. Analys av möjliga åtgärder och begränsningar
4. Sammanställning av alternativ
5. Utredning av:
  - a. Energieffektivitet
  - b. Kostnadseffektivitet
  - c. Fuktsäkerhet
  - d. Termisk komfort
6. Förslag på renoveringspaket

## Normer och krav vid renovering

Vilka normer och krav som gäller vid renovering är inte helt enkelt att avgöra då det beror på flera faktorer, t.ex. typ av byggnad, vilken tidsepok den byggdes, vilka förutsättningar som gäller samt renoveringens omfattning. Energikraven är dessutom beroende av vilket klimat byggnaden är uppförd i.

Målet med detta projekt har varit att renovera byggnader till en sådan nivå att de uppfyller alla tillämpliga krav, gällande BBR samt energikravet på specifik energianvändning, lufttäthetskrav samt krav på U-värde för fönster och dörrar i den svenska passivhuscertifieringen FEBY12, se Tabell 1.

Tabell 1. Kravställning enligt BBR 24 och Passivhus, FEBY12

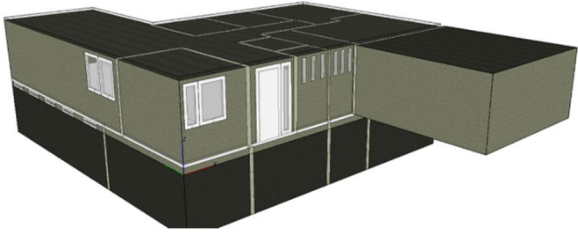

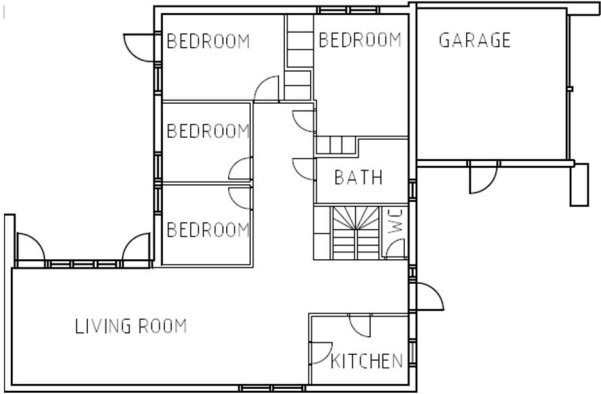
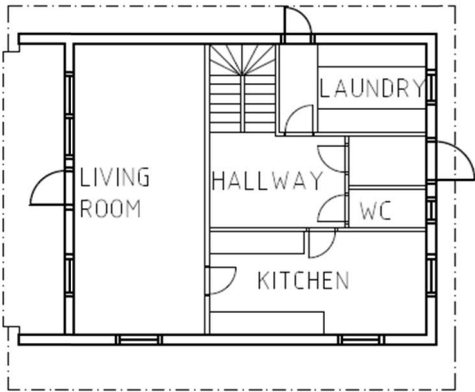
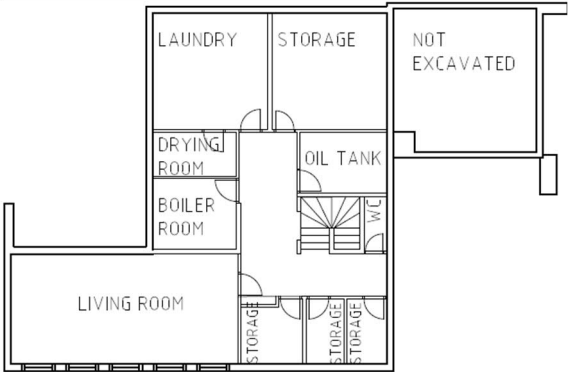
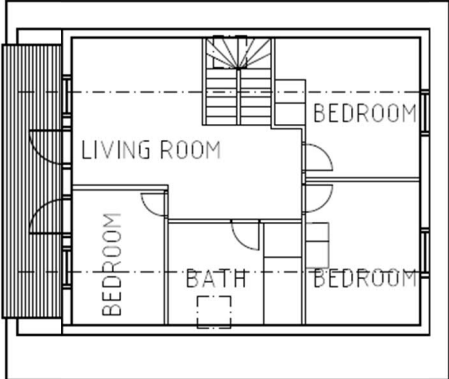
Klimatzon	Enhet	I	II	III	IV	
Ej eluppvärmd						
Specifik energianvändning	BBR 24	kWh/(m <sup>2</sup> , A <sub>temp</sub> ) per år	≤ 130	≤ 110	≤ 90	≤ 80
	Passivhus, FEBY12	kWh/(m <sup>2</sup> , A <sub>temp</sub> ) per år	≤ 63	≤ 59	≤ 55	≤ 55
	Eluppvärmd					
	BBR 24	kWh/(m <sup>2</sup> , A <sub>temp</sub> ) per år	≤ 95	≤ 75	≤ 55	≤ 50
Passivhus, FEBY12	kWh/(m <sup>2</sup> , A <sub>temp</sub> ) per år	≤ 31	≤ 29	≤ 27	≤ 27	
Passivhuskrav - övriga						
Effektkrav, DVUT	W/m <sup>2</sup> , A <sub>temp</sub>	≤ 19	≤ 18	≤ 17	≤ 17	
Lufttäthet, q <sub>50</sub>	l/(s·m <sup>2</sup> ), omslutande yta		≤ 0.30 vid ± 50 Pa			
Fönster och dörrar	W/(m <sup>2</sup> ·K)		Medelvärde ≤ 0,80			

Till detta har även möjligheten att använda sig av lokalt producerad förnybar energi undersökts i form av solfångare och solceller, med och utan energilagring i form av batterier. Dels har dessa lösningar använts som ett sätt att uppfylla energikraven på specifik energianvändning samt för att undersöka möjligheten att, sett över ett helt år, uppnå ett nollenergihus. D.v.s. att den lokalt producerade förnyelsebara energin per år ska motsvara det årliga energibehovet i byggnaden.

## Referenshus

De två referenshus som använts i studien presenteras nedan i Tabell 2 med de egenskaper som gäller för respektive hus, t.ex. plats, byggteknik samt planritningar. Husen valdes baserat på flera olika kriterier, så som byggteknik, utformning och plats, för att representera typiska småhus från den aktuella perioden. Referenshus 1 representerar ett typiskt 60-tals hus och referenshus 2 representerar motsvarande från 70-talet.

Tabell 2. Beskrivning av egenskaper och simuleringsmodell för referenshusen.

Referenshus 1 (RH1)	Referenshus 2 (RH2)
Plats: Malmö	Plats: Umeå
Egenskaper: Ytterväggar av lättbetong, 250 mm, grundläggning med 100 mm betongplatta på mark med 50 – 70 mm isolering, takkonstruktion med takstolar c/c 1000 med mellanliggande isolering om 100 mm mineralull, självdragsventilation	Egenskaper: Ytterväggar av träregelkonstruktion, 34x70 + 145x45 med mellanliggande isolering av mineralull, grundläggning med 100 mm betongplatta på mark med 50 – 70 mm isolering, takkonstruktion med takstolar med mellanliggande isolering om ca 200 mm mineralull i snedtak och 300 mm lösull vid horisontellt skikt, mekanisk ventilation med värmeåtervinning (FTX)
Översikt – Modell från energisimulering	Översikt – Modell från energisimulering
	
Planritning – Markplan	Planritning – Markplan
	
Planritning - Källare	Planritning - Övervåning
	

Respektive referenshus har sina unika egenskaper som innebär olika svårigheter vid renovering. Dessa beskrivs nedan för att visa på hur viktigt det är med en genomgående undersökning av de objekt som ska renoveras innan val av renoveringslösningar görs. I detta arbete har ingen hänsyn

tagits till om det finns befintliga skador i husen. Detta då sådana behöver åtgärdas oavsett vilken nivå på energieffektivitet renoveringen eftersträvar.

Förutom de begränsade möjligheterna att förbättra grunden då båda husen har betongplatta på mark så har t.ex. referenshus 1 tegelfasad i två väderstreck. Detta innebär ett problem vid tilläggsisolering av yttervägg om målet är att även använda samma fasadmaterial efter renovering. Detta då tegelfasaden inte enbart kan fästas i den bärande väggen, så som skrivmaterial eller panel, utan även behöver stå på en bärande konstruktion, t.ex. utökad betongplatta. Denna lösning skulle vara både tidskrävande och kostnadsökande vilket gör det svårt att bevara det befintliga fasadmaterialet efter renovering. Designen på huset med utstickande tegelmur vid hörnen försvårar även det arbetet vid tilläggsisolering av ytterväggarna. Det finns även ett garage i anslutning till huset, vilket gör det svårt att isolera huset i anslutning till garaget, och speciellt källarväggen nedanför garaget kan ej isoleras som övriga delar av källarväggen.

Båda husen har, jämfört med många nybyggda hus, låg invändig takhöjd. Vilket är väldigt begränsande för referenshus 1, som behöver installera ett nytt kanalsystem för mekanisk ventilation, då detta på många ställen skulle innebära att tillgänglighetskraven ej uppfylls. Liknande problem uppstår om ett golvvärmesystem installeras.

Utformningen på referenshus 2 är mer förlåtande, dels då mekanisk ventilation med FTX redan finns i det befintliga huset. Här är det främst anslutningen för joddarbalkongen samt snedtaket som innebär svårigheter vid renovering.

Svårigheten med att förbättra den totala lufttäteten i ett befintligt hus beror stort på de befintliga konstruktionerna. För referenshus 1 så har de befintliga ytterväggarna av lättbetong förenklat arbetet stort. Däremot för referenshus 2, som har ett förhållandevis välisolerat klimatskal, så har detta varit svårt.

## Renoveringsåtgärder

### Generella krav

De renoveringsåtgärder som utvärderats vid renovering till passivhusnivå gäller hela klimatskalet, d.v.s. ytterväggar, tak, grund, fönster och dörrar, samt värme- och ventilationssystem. Befintlig rördraging för tappvarmvatten samt hushållsutrustning har ej inkluderats i utredningen, men förutsätts åtgärdas vid en passivhusrenovering som en del i standardökningen.

Vid val av renoveringslösningar har målet, förutom energieffektivisering, varit att de ska vara realistiska och traditionella lösningar som går att applicera på referenshusen, leder till ökad fuktsäkerhet samt förbättrat termiskt inomhusklimat. Målet har även varit att alla lösningar gällande klimatskalet appliceras utvändigt. Detta av flera anledningar, t.ex. att inte minska den tillgängliga volymen inomhus, förbättra fuktsäkerheten samt minska påverkan på de boende under renoveringstiden. Utformningen av de befintliga husen begränsar dock vilka möjliga renoveringslösningar som kan appliceras. Båda referenshusen har en grund bestående av platta på mark av betong, vilket gör att de energieffektiviserande renoveringsåtgärderna placeras utanför den befintliga grunden och inte under plattan, se exempel i figurerna i Tabell 4 nedan.

För konstruktionslösningar har olika producenter av isolermaterial kontaktats vilka har fått tillgång till ritningsunderlag för de befintliga husen varefter de återkommit med renoveringslösningar. Dessa

lösningar har sedan utvärderats gällande energieffektivitet, genomförbarhet och fuktsäkerhet. En viktig del i detta arbete har varit lufttäteten och att utforma ett kontinuerligt skikt för hela klimatskalet som samtidigt kan uppnå både lufttäthetskravet och fuktsäkerhetskraven. Fönster och dörrar har valts baserat på ursprungliga storlekar samt krav från passivhusstandarden, FEBY12, gällande U-värde. Vid val av lösningar har målet varit att i största mån bevara husens befintliga utseende och därmed t.ex. välja konstruktionslösningar som ger möjlighet att ha samma fasadmaterial som i det befintliga huset. Detta har dock inte varit möjligt för tegelfasaden, då en sådan lösning kräver ytterligare förstärkning av bärförmågan vilket ökar omkostnaderna och därför har valts bort i denna undersökning. För installationer har produkter med hög prestanda främst valts baserat på tillgängliga jämförelser från Energimyndigheten, t.ex. för ventilationsaggregat, värmepumpar, pumpar och pellets- och elpannor.

## Klimatskalet

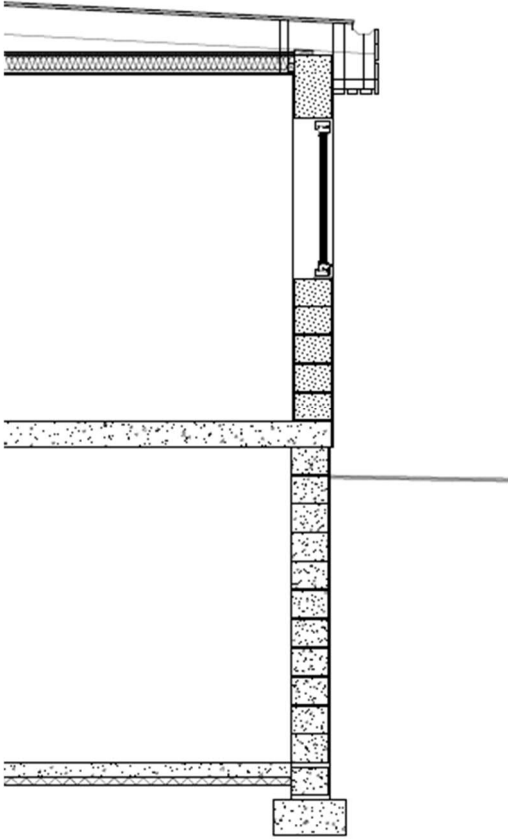
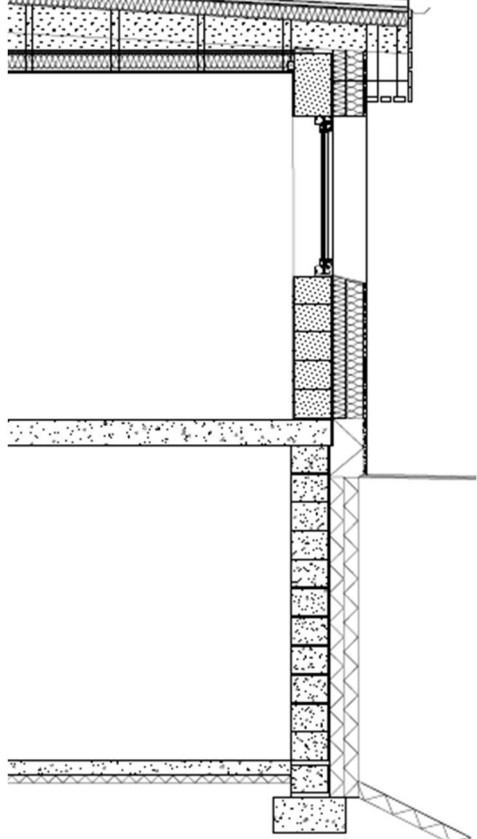
För de två referenshusen utvärderades ett renoveringspaket till passivhusnivå för vilken kostnaden jämfördes mot kostnaden att för att endast renovera för att återställa byggnadens ursprungliga egenskaper kallad "minimum-renovering". Minimum-renoveringen innehåller kostnaden för att renovera bl.a. fasader och övriga ytskikt, installationer för att uppfylla BBR-krav gällande luftflöden och dränering av grund, baserat på resultaten från BETSI-studien (BETSI, 2011). I Tabell 3 nedan presenteras de förutsättningar och kravnivåer som renoveringspaketet behövde uppfylla samt de förutsättningar som de två referenshusen startade med.

Tabell 3. Egenskapskrav för klimatskalet i undersökta renoveringspaket.

Renoveringsnivåer	Minimum - RH1/RH2	Passivhus	Enhet	
Klimatskal	Fasadbeklädnad	Ny		
	Ytterväggar	RH1: 0,54 / RH2: 0,23	0,10 ±0,02 W/(m <sup>2</sup> ·K)	
	Tak	RH1: 0,36 / RH2: 0,15	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: -	+200 mm isolering W/(m <sup>2</sup> ·K)	
	Fönster	RH1: 2,80 / RH2: 2,00	0,80 W/(m <sup>2</sup> ·K)	
	Dörrar	RH1: 1,50 / RH2: 1,50	0,80 W/(m <sup>2</sup> ·K)	
	Köldbryggor	Beräknad	Beräknad	
	Lufttäthet, vid ± 50 Pa	-	0,3 l/(s·m <sup>2</sup> )	
	Dränering	Ny	Ny	

Målet vid val av lösningar har varit att de uppfyller de egenskaper som presenterats i tabellen ovan samtidigt som de är genomförbara och fuktsäkra. De har därefter utvärderats med avseende på energibesparingspotential och livscykelkostnad. Nedan i Tabell 4 presenteras renoveringsåtgärderna i mer detalj. Figurerna visar referenshus 1 och 2 innan renovering samt efter renovering med de utvärderade renoveringsåtgärderna.

Tabell 4. Beskrivning och sektionsritning för referenshus 1 och 2 före och efter renoveringslösningar.

Renoveringslösningar – Sektionsritning före/efter renovering	
Referenshus 1	Malmö
<p>Ytterväggarna har utvändigt tilläggsisolerats i två skikt, först 95 mm mineralull mellan stålreglar på c/c 600 och utanpå detta ett homogent skikt med 120 mm mineralullsskiva. Lösningen är även förberedd för luftad fasad och med möjlighet till olika fasadmateriäl. 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>	
	



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>	

De föreslagna renoveringsåtgärderna av ytterväggarna för referenshus 1 och referenshus 2 har kontrollerats med avseende på fuktsäkerhet i simuleringsverktyget WUFI PRO 5.2 i kombination med en mögelriskmodell. Referenshus 1 med en putsad fasad utan luftspalt för ventilation och dränering uppvisar hög relativ fuktighet både före och efter renovering. Det är därför viktigt att undvika organiska material i denna konstruktion och tilläggsisoleringen bör göras mellan stålreglar och inte träreglar. Ett alternativ kan vara att putsa fasaden på en ventilerad skiva för att få en tvåstegstätning och sänka den relativa fuktigheten i konstruktionen efter renovering.

Ytterväggen i referenshus 2 uppvisar något högre maxvärden av den relativa fuktigheten i konstruktionen efter renovering men risken för mögelpåväxt minskar något då konstruktionen har goda möjligheter att återhämta sig mellan fukttopparna. I denna konstruktionstyp är det viktigt att säkerställa att den befintliga invändiga plastfolien är i fullgott skick och att den resterande livslängden anses tillräckligt lång, annars måste den ersättas med en ny.

Vid renovering till passivhusnivå kommer de nya konstruktionerna vara välisolerade och då är det generellt viktigt att undvika träreglar långt ut i konstruktionen eftersom dessa skulle bli kalla med risk för kondens och mögelpåväxt. Yttersta isolerskiktet bör bestå av ett homogent isolerskikt utan trämaterial för att skydda stommen. Eftersträva även om möjligt en ventilerad fasad med god luftomsättning för att hindra vatteninträning utifrån och få en mer förlåtande konstruktion som bättre kan stå emot framtida klimatförändringar.

## VVS

Renoveringsåtgärderna för värme- och ventilationssystem har utgått från de alternativ som i stor omfattning används i dagens småhus. Invändiga installationer, så som värmepanna, ackumulatortank och aggregat, är främst tänkta att placeras i pannrum för referenshus 1 och tvättstuga för referenshus 2. För referenshus 2 finns i befintligt hus redan ett FTX aggregat placerat på vinden. Denna lösning förutsätts kunna användas även efter renovering, även om aggregatet byts ut.

## Ventilationssystem

Två alternativ har utvärderats för ventilationssystem, båda har mekanisk ventilation med värmeåtervinning (se Tabell 5). Skillnaden ligger typen av återvinning. Första alternativet var att installera mekanisk från- och tilluft med värmeåtervinning (FTX) och det andra alternativet var att använda sig av en frånluftsvärmepump (FVP). Alternativen har vissa skillnader i förutsättningar, krav och resultat. T.ex. så förutsätter en FVP att det finns ett vätskeburet värmesystem i huset, vilket inte alltid är fallet. Om det i nuläget inte finns ett vätskeburet värmesystem måste även det installeras vid användning av FVP-lösningen. Det vätskeburna värmesystemet som använts i utvärderingen är ett radiatorsystem, då alternativet med golvvärme valts bort. Detta valdes bort då grunden är den del av klimatskalet som ej går att förbättra till en nivå som motsvarar passivhus, då de nuvarande konstruktionerna utgörs av platta på mark. Därmed skulle detta system leda till ökade värmeförluster genom grunden.

För referenshus 2 finns befintlig mekanisk ventilation med återvinning samt kanalsystem för från- och tilluft, vilket förenklar installationen av ett nytt ventilationssystem. Det är dock viktigt att säkerställa prestandan på det befintliga systemet, så det uppfyller de krav som ett nytt högpresterande system har.

För referenshus 1 finns endast ett befintligt kanalsystem för frånluft vilket ökar kostnaderna samt försvårar installationen av ett FTX-system. Den låga takhöjden försvårar även installationen av horisontella kanaler i källarvåningen p.g.a. tillgänglighetskrav. För markplan kan de horisontella kanalerna placeras i taket när taket tilläggsisoleras. Att istället använda sig av en FVP förenklar installationen då denna endast behöver ett kanalsystem för frånluften, vilket troligtvis kan installeras enligt befintlig kanaldragning. Tilluftsdon placeras sedan i ytterväggar bakom radiatorer för att även förvärma tilluften innan den sprids i huset. Uppdateringen från självdrag till mekanisk frånluftventilation förväntas förbättra fuktsäkerheten då fukttillskottet i inomhusluften kommer kunna ventileras bort med bättre kontroll.

Tabell 5. Tekniska data för FTX och FVP.

Mekanisk till- och frånluft med återvinning (FTX)	Värmeväxlare	Roterande
	Temperaturverkningsgrad, torr	Ca 85 %
	SFP	Ca 1,5 kW/(m <sup>3</sup> /s), enligt tillverkare för specifik produkt vid aktuella förutsättningar.
	Luftflöde	Till- och frånluft: 0,35 l/sm <sup>2</sup> , alternativt enligt minimiluftväxling.
Frånluftsvärmepump (FVP)	COP	3+
	Luftflöde	Frånluft: 0,35 l/sm <sup>2</sup> , alternativt enligt minimiluftväxling.
	Tilluftsdon	Placerade bakom radiatorer för förvärmning

## Värmesystem och värmekälla

De befintliga värmesystemen i småhus varierar med en någorlunda jämn fördelning mellan de olika alternativen, se Tabell 6. Det finns troligtvis flera anledningar till att just dessa alternativ används, men det som är tydligt är att användningen av olja är näst intill obefintlig idag. Övriga alternativ, direktverkande el, vattenburen el (med elpanna och som frånluftsvärmepump), biobränsle (genom alternativet pellets), bergvärmepump och fjärrvärme, har utvärderats för de två referenshusen i detta projekt.

Tabell 6. Fördelning av värmesystem i befintliga småhus.

Byggnadsår	1961 - 1970	1971 - 1980	1961 - 1980	Totalt - 2014	Kombinerat med värmepump	Enhet
Använda värmesystem	Direktverkande el	10	35	25	15	61
	El, vattenburen	15	12	13	16	71
	Olja	1	0	0.5	1	
	Biobränsle	18	22	20	28	%
	Värmepump - bergvärme	21	11	15	18	
	Fjärrvärme	24	13	18	13	
	Övrigt (kombinationer)	9	7	8	9	-

## Lokal energiproduktion och lagring

Som tidigare nämnts så har det i projektet utvärderats hur installationen av lokal förnyelsebar energiproduktion kan implementeras och hur kostnadseffektivt dessa alternativ är, dels individuellt samt i jämförelse med övriga renoveringsåtgärder.

### Solfångare för varmvatten

För solfångare har alternativet att installera ett system som täcker 50 % av den årliga tappvarmvattenanvändningen utvärderats. Detta motsvarar enligt tidigare studier ett system om ca 5m<sup>2</sup> solfångaryta samt en lagring om 300 liter i ackumulatortank.

Solfångarna placerades i sydligt läge i 45 graders vinkel för båda referenshusen. För referenshus 2 innebär detta att solfångarna placeras i samma lutning som taket medan det för referenshus 1 behövs ställningar för att få optimal lutning.

## Solceller

Vid utvärderingen av solceller så har systemet utformats baserat på uppskattat elbehov samt vilket mål som eftersträvats. Behovet har varierat beroende på vilket typhus som utvärderats, var det är placerat, vilket värmesystem som använts samt vilka boende som antas använda byggnaden. Målet har även varierat mellan alternativen att antingen optimera installationen för att öka kostnadseffektiviteten, vilket ofta innebär ett mindre system, eller att täcka det totala årliga elbehovet, för att uppnå ett nollenergihus sett på årsbasis, samt utvärdera om dessa nivåer kan vara lönsamma.

Vid optimering av elproduktionen så har solcellerna placerats så att de är riktade i sydlig riktning i 45 graders lutning. Det innebär att referenshus 2 antas vara placerat med sadeltaket i nord-sydlig riktning i detta fall. För referenshus 1, med sitt låglutande tak, behövs ställningar att fästa panelerna på för att optimera riktning och lutning.

Vid undersökning om det är möjligt att uppnå ett nollenergihus har istället målet varit att maximera den årliga produktionen från solcellerna för att kunna täcka husets totala årliga elbehov. I detta fall har maximal panyta eftersträvats, vilket innebär att panelerna för referenshus 1 har placerats platt på taket för att eliminera risken för att panelerna ska skugga varandra. För referenshus 2 innebär detta att huset har antagits varit placerat med sadeltaket både i nord-sydlig riktning och öst-västlig riktning (där det senare gav störst årlig produktion, då hela takytan kan användas, och därmed var det alternativ som fortsatt användes i undersökningen).

## Energilagring

Gällande energilagring så har alternativet att installera antingen ett eller två litium-jon batterier om 14 kWh vardera utvärderats. Resultatet vid installation av två stycken batterier redovisas inte då dessa aldrig var lönsamma med nuvarande förutsättningar.

## Undersökta alternativ

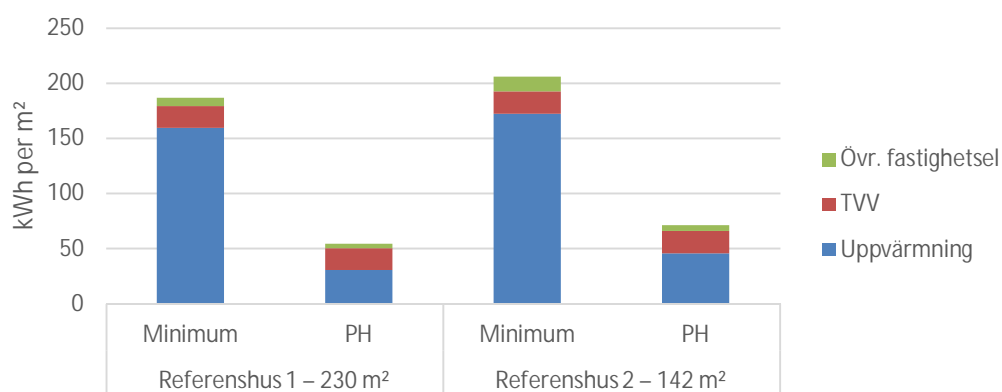
Baserat på de lösningar som presenterats tidigare har följande alternativ utretts i kombination med passivhusrenoveringspaket inom detta projekt, se Tabell 7.

Tabell 7. Utvärderade alternativ för ventilation- och värmesystem.

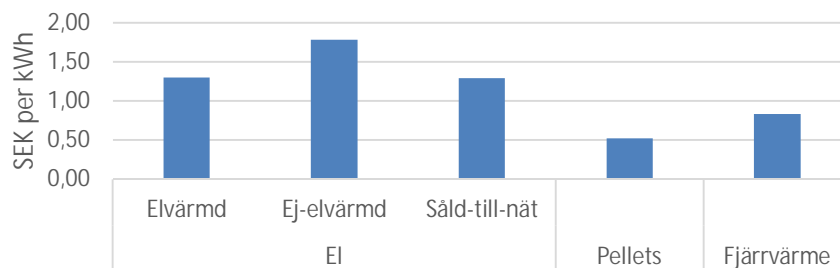
	Kombinationer												
Klimatskal	1.0 Passivhusrenoveringspaket												
Ventilation	1.1 FTX												1.2 FVP
Värme	1.1.1 Direktverkande el			1.1.2 Bergvärmepump			1.1.3 Fjärrvärme			1.1.4 Pellets			1.2.1 El-spets
Förnyelsebar energi	1.1.1.1 Solfångare	1.1.1.2 Solceller		-	1.1.2.1 Solceller		1.1.3.1 Solfångare	1.1.3.2 Solceller		1.1.4.1 Solfångare	1.1.4.2 Solceller		-
Energilagring (batterier)	-	Utan	Med	-	Utan	Med	-	Utan	Med	-	Utan	Med	-

## Energibesparing och ekonomi

Energibesparingen har bestämts genom dynamiska simuleringar av referenshusens energianvändning i beräkningsprogrammet IDA ICE 4.7, först i deras ursprungliga utförande, benämnt Minimumrenovering, sedan med de olika alternativen för passivhusrenoveringspaketet. I första skedet har energibehovet bestämts, se Figur 1. Därefter har simuleringar genomfört med de specifika värme- och ventilationssystemen och snittpriser för energislaget, se Figur 2, för att bestämma köpt energi och årliga driftkostnader, se resultat i Tabell 8.



Figur 1. Energibehov före och efter passivhusrenovering för referenshusen. Minimum = renovering för att återställa ursprunglig funktion, som inte påverkar energianvändningen, PH = passivhus, TVV = tappvarmvatten.



Figur 2. Årliga snittpriser för de utvärderade energislagen.

Tabell 8. Årliga driftkostnader med de utvärderade värmesystemen. I de fall där resultaten är markerade med fet stil och understruken uppfylls passivhuskravet för energianvändning med passivhusrenoveringspaketet. I de fall resultaten endast är understrukna krävs även installation av lokal energiproduktion för att sänka den specifika energianvändningen ytterligare. Övriga resultat uppnår inte kraven med något av de utvärderade alternativen.

Renoveringsnivå	Referenshus 1		Referenshus 2		Enhet
	Min.	PH	Min.	PH	
Direktverkande el	55 800	16 300 (-71 %)	38 000	13 100 (-66 %)	SEK per år
Bergvärmepump	15 100	<u>5 700 (-62 %)</u>	12 000	<u>4 800 (-60 %)</u>	
Värmekälla Frånluftsvärmepump	26 900	<u>7 000 (-74 %)</u>	22 100	<u>7 300 (-67 %)</u>	
Pellets	27 400	<u>8 300 (-70 %)</u>	19 200	<u>6 700 (-65 %)</u>	
Fjärrvärme	36 500	<u>10 800 (-70 %)</u>	25 200	<u>8 800 (-65 %)</u>	

Därefter har kostnadseffektiviteten utvärderats för de olika alternativen genom livscykelkostnadsanalys, genomförd i "Belok Totalmetodik 2" för allt utom solceller med och utan

energilagring vilken utfördes i "Investeringskalkyl för solceller". Investeringskostnader för renoveringsåtgärder har främst uppskattats baserat på data från Wikells sektionsdata. De kostnader som använts är marginalkostnader, kostnader för att genomföra passivhusrenoveringen jämfört med minimumrenoveringen, beskrivna tidigare.

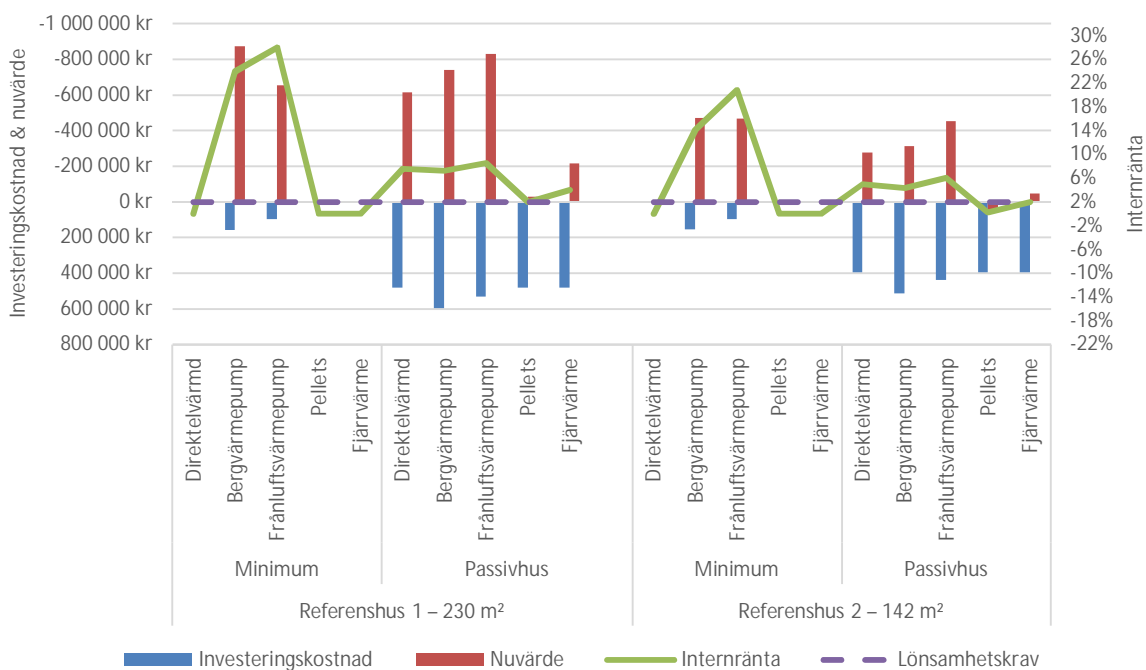
Övriga antaganden och indata:

- ROT och investeringsbidrag för solceller och batterier är inkluderade.
- Försäljning av el från solceller till elnätet vid överproduktion.
- Lönsamhetskrav på 2 % över inflation.
- Livslängd:
  - klimatskal 40 år,
  - solceller 25 år,
  - batterier 12,5 år och
  - övriga installationer 20 år.

## Passivhusrenovering

Resultaten för passivhusrenovering visar att alternativet i många fall kan vara en kostnadseffektiv investering, se Tabell 9. Lönsamhetskravet uppfylls för alla alternativ till passivhusrenoveringen även om resultaten varierar stort. Resultaten visar även på hur svårt det är att konkurrera mot en lösning där bara en värmepump installeras. Att endast installera en värmepump ger ett stort utfall på en mindre investering, men det ger dock inte andra mervärden som ökad termisk komfort.

Tabell 9. Resultat från livcykelkostnadsanalysen för referenshusen med alternativen för värmesystem. Resultaten presenteras som investeringskostnad och nuvärde på vänstra axeln och internränta på högra axeln. Lönsamhetskravet presenteras som en linje vid 0 kr och 2 %. Med denna metod är målet att nuvärdet är negativt, därav att denna axel är inverterad, och att internräntan överstiger 2 %.



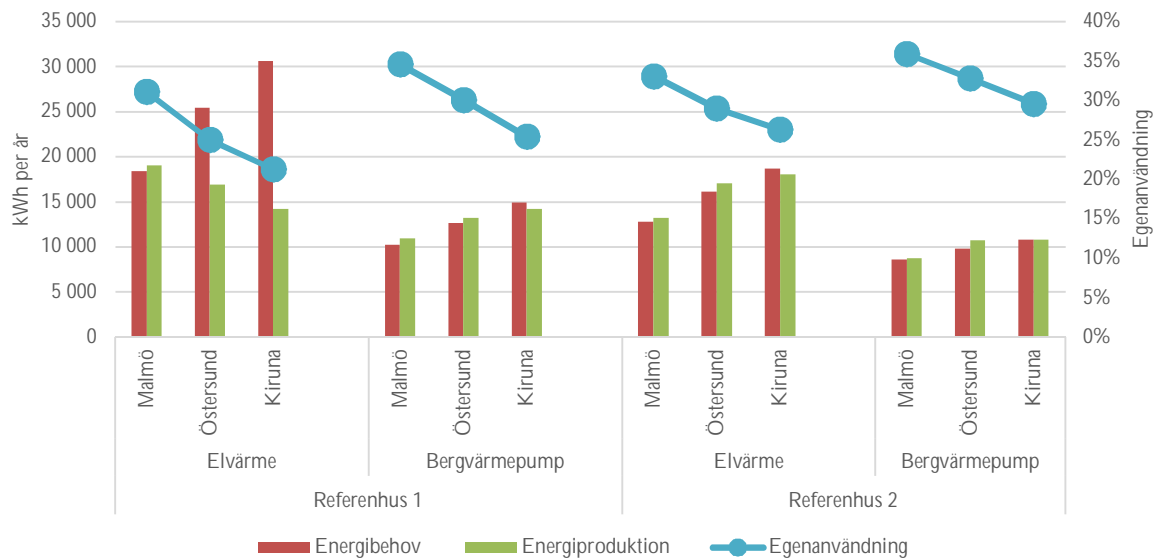
## Nollenergihus

Målet med nollenergihus är att den årliga lokala energiproduktionen skall överstiga den årliga energianvändningen i huset. Detta skiljer sig från definitionen av specifik energianvändning och hur lokalt producerad förnyelsebar energi kan tillgodoräknas för att sänka energianvändningen. Nedan presenteras resultaten som årligt energibehov, d.v.s. köpt energi, årlig energiproduktion och egenanvändning. Egenanvändningen är den del av den årliga energiproduktionen som momentant kunnat användas i huset, och därmed inte skickats ut på elnätet för att säljas. Denna är beräknad baserat på timvärden för energibehov och produktion för hela året.

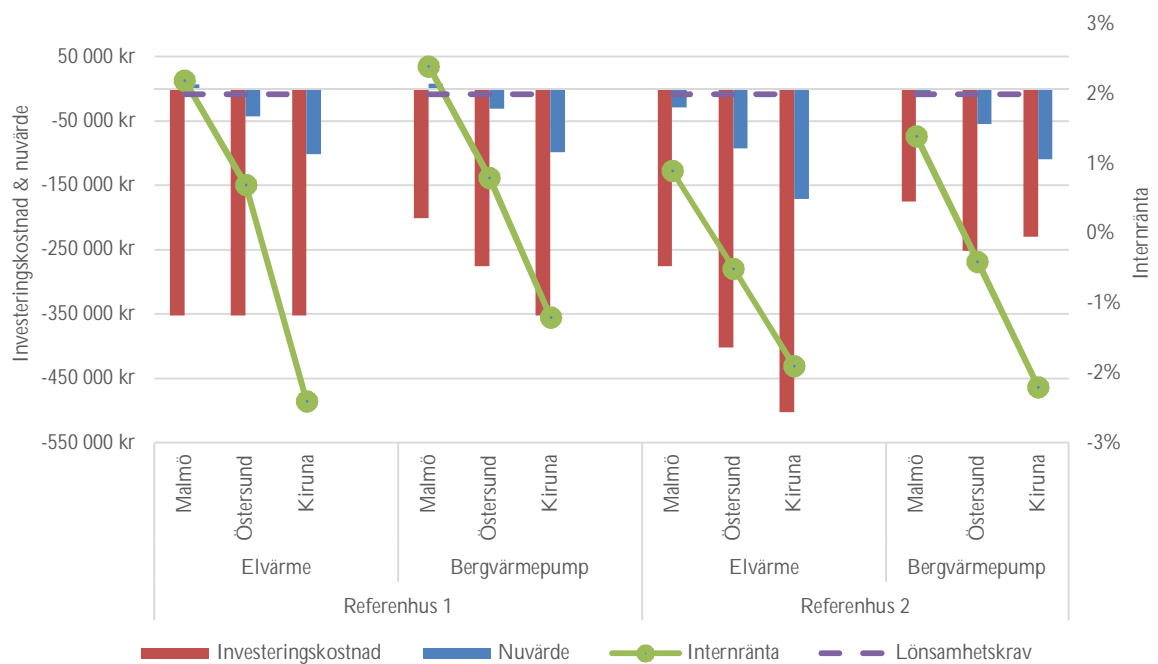
Resultaten från utvärderingen av möjligheten att nå nollenergihus visar på svårigheten med allmänna slutsatser för hela bostadsbeståndet. I denna utvärdering har referenshusens individuella förutsättningar kombinerats med passivhusrenoveringspaketet för att sedan utvärdera möjligheten för lokal energiproduktion att täcka de årliga behoven i olika delar av landet. De platser som undersökts är Malmö, Östersund och Kiruna. Resultaten, presenterade i Figur 3, visar att det är möjligt att uppnå nollenergihus i de södra delarna av Sverige, men att behovet ökar och produktionen minskar i de norra delarna av Sverige. Tillgänglig takyta för att placera solceller på räcker helt enkelt inte till.

När målet är att uppnå en hög årlig egen produktion så minskar möjligheten att optimera verkningsgraden genom att endast placera solpanelerna med optimal riktning och lutning. Därmed minskar även kostnadseffektiviteten, vilket även resultaten visar, se Figur 4. Resultaten är presenterade som investeringskostnad för solcellsanläggningen och dess nuvärde baserat på kostnader och intäkter under sin livslängd. Resultatet presenteras även som internränta vilken tillsammans med nuvärdet skall jämföras mot lönsamhetskravet, vilket är över 0 kr nuvärde och 2 procents internränta.

Valet av ventilations- och värmesystem har även det påverkan på resultaten, då alternativ som minskar mängden köpt energi underlättar uppfyllandet av målet om årligt nollenergihus. Skillnaden i resultat mellan husen är även stor, detta då formfaktorn har en stor påverkan. Ett kompakt hus som referenshus 2 med stora taktor har såklart lättare för att uppfylla nollenergimålet med sitt lägre energibehov och möjlighet till stor energiproduktion.



Figur 3. Resultaten från utvärdering av nollenergihus som energibehov, energiproduktion samt egenanvändning. På vänster axel presenteras energibehov och energiproduktion om kWh per år och på högra axeln presenteras egenanvändningen som procent.



Figur 4. Resultaten från livscykelkostnadsanalys för referenshusen med passivhusrenovering och förnyelsebar energi med olika värmesystem. Resultaten presenteras som investeringskostnad, nuvärde och internränta. På vänstra axeln presenteras investeringskostnad och nuvärde som SEK och på högra axeln internräntan i procent. Resultaten ska jämföras med lönsamhetskraven om 2 procent internränta samt ett positivt nuvärde.



## Slutsatser

Resultatet från livscykelkostnadsanalysen visar på att passivhusrenoveringen är kostnadseffektiv, men att resultatet beror mycket på vilken typ av värmekälla som används. Detta då valet påverkar både driftkostnaden men även omfattningen av renoveringen som krävs för att uppnå passivhuskraven. Resultatet visar även på hur viktigt det är att ta ett helhetsperspektiv vid renovering då detta krävs för att säkerställa alla parametrar och uppnå de eftersträlvade synergieffekterna från åtgärderna. Resultatet visar även på hur svårt det är att konkurrera mot alternativet att bara installera en värmepump för att sänka värmekostnaderna om endast lönsamhet används vid jämförelse.

Följande åtgärder rekommenderas vid renovering:

- Välj fönster och dörrar med ett U-värde runt 0,8 W/m<sup>2</sup>K där det är möjligt, lönsamt över tid.
- Installera mekanisk ventilation, antingen FTX eller FVP beroende på förutsättningar.
- Behöver dräneringen åtgärdas, se till att även isolera grunden.
- Isolera ytterväggar och tak, hur och mängd beror på husets specifika förutsättningar.
- Installera ett effektivt värmesystem, stor påverkan på driftkostnader. Kombinera med:
  - Solceller, mängd beror på tillgängligt tak med bra förutsättningar.
  - Batterier, beroende på förutsättningar, med sjunkande investeringskostnad och ökande driftkostnader för el och främst nätöverföring förbättras lönsamheten för denna lösning med tiden.

## Sammanfattning

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. Även inkluderat i undersökningen är mervärden från att genomföra denna typ av renovering, så som termisk komfort och fuktsäkerhet. Utvärderingarna genomfördes genom att simulera renoveringslösningar för två typhus 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 typhusen.

Undersökningen fortsatte genom att bestämma kostnadseffektiva renoveringspaket till passivhusnivå med hjälp av omfattande energisimuleringar och livscykelkostnads-analyser för olika energipriser - genom att utvärdera olika typer av värmekällor - och investeringskostnader. Inkluderat i denna undersökning är även alternativen lokal energiproduktion från solfångare och solceller samt energilagring i batterier.

Resultatet från livscykelkostnadsanalysen visar att en passivhusrenovering kan vara kostnadseffektiv, vid användning av vissa typer av värmekällor. Men resultatet är beroende bl.a. på skillnaden i driftkostnad mellan de olika värmekällorna samt att energikraven för passivhus är olika om huset är eluppvärmt eller inte.

## Referenser

BETSI: "Teknisk status i den svenska bebyggelsen – resultat från projektet BETSI" Boverket, 2011  
Ekström, T., 2017 Passive house renovation of Swedish single-family houses from the 1960s and 1970s. Evaluation of cost-effective renovation packages. Report EBD-T--17/22

Erlandsson, M., Ruud, S., Sandberg, E., Blomsterberg, Å., Eek, H., & Ingulf, O. (2012).  
Kravspecifikation FEBY12 - Bostäder, <http://www.nollhus.se>