



Prefabricerade fasadelement för renovering



Prefabricerade fasadelement för renovering

Förstudie

Åke Blomsterberg, LTH

Stephen Burke, NCC

Rikard Sundling, LTH



Energimyndighetens projektnummer: 40797-1

E2B2

Inför publiceringen av denna rapport har Åke Blomsterberg tyvärr gått bort. Kollegorna från projektgruppen är evigt tacksamma för Åkes positivitet och djupa kunskap.

*Till minne av
Åke Blomsterberg*





Förord

E2B2 Forskning och innovation för energieffektivt byggande och boende är ett program där akademi och näringsliv samverkar för att utveckla ny kunskap, teknik, produkter och tjänster.

I Sverige står bebyggelsen för cirka 35 procent av energianvändningen och det är en samhällsutmaning att åstadkomma verklig energieffektivisering så att vi ska kunna nå våra nationella mål inom klimat och miljö. I E2B2 bidrar vi till energieffektivisering inom byggande och boende på flera sätt. Vi säkerställer långsiktig kompetensförsörjning i form av kunniga människor. Vi bygger ny kunskap i form av nyskapande forskningsprojekt. Vi utvecklar teknik, produkter och tjänster och vi visar att de fungerar i verkligheten.

I programmet samverkar över 200 byggtreprenörer, fastighetsbolag, materialleverantörer, installationsleverantörer, energiföretag, teknikkonsulter, arkitekter etcetera med akademi, institut och andra experter. Tillsammans skapar vi nytta av den kunskap som tas fram i programmet.

Prefabricerade fasadelement för renovering är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av *Lunds Universitet* och har genomförts i samverkan med *NCC, Solkompaniet, Passivhuscentrum, NIBE Industrier, Elementum Eco, Paroc, Landskronahem, SmartFront* och *FläktWoods*.

Fastigheter från miljonprogrammet är i behov av renovering och kan vid rätt åtgärder ge stor energieffektivisering. Problemet är att det saknas en utprövad kostnadseffektiv lösning för större energirenoveringar. I detta E2B2-projekt ska forskare vid Lunds universitet, tillsammans med NCC, genomföra en förstudie och konceptutveckling av prefabricerade multiaktiva fasadelement för energirenovering av svenska flerbostadshus, vilket bedöms kunna ge stor energibesparing. Fasadelement av detta slag används redan i bland annat Österrike och Tyskland.

Stockholm, 18 juni 2018

Anne Grete Hestnes,

Ordförande i E2B2

Professor vid Tekniskt-Naturvetenskapliga Universitet i Trondheim, Norge

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att E2B2 har tagit ställning till innehållet.



Sammanfattning

För att uppfylla de svenska energi- och klimatmålen för år 2020 och 2050, måste det befintliga byggnadsbeståndet åtgärdas. Efter 50 år är byggnader från "miljonprogrammet" nu i behov av renovering, vilket utgör ett utmärkt tillfälle för energieffektivisering. Idag finns ingen utprövad kostnadseffektiv lösning för en omfattande energirenovering av flerbostadshus i Sverige.

Syftet med projektet var att utveckla ett kostnadseffektivt och storskaligt tillämpbart koncept för renovering av svenska flerbostadshus baserat på ett prefabricerat multiaktivt fasadelement, som ger förbättrad värmeisolering, ventilation med värmeåtervinning, värme och elproduktion från solenergi. Energimålsättningarna har varit att kunna uppfylla tre energinivåer: krav för nybyggnation, passivhus och nollenergi.

Projektet inleddes med en teknikkartläggning av befintliga multiaktiva fasadkoncept för renovering av flerbostadshus i Europa, samt en utvärdering av huruvida identifierade potentiella koncept kan anpassas till svenska förhållanden. Av ett antal potentiella lösningar och återstod efter en preliminär utvärdering följande koncept för detaljutvärdering: integration av tilluftskanaler i tilläggsisoleringen, inglasning av balkonger och integration av solceller.

Energiberäkningarna visar att enbart en multiaktiv fasad inte räcker för att uppfylla nybyggnationskrav (enligt BBR24:s energikrav) vid en renovering. Dessutom måste taket tilläggsisoleras, lågenergifönster installeras, samt värmeåtervinning på ventilationen installeras. Då kan BBR:s energikrav uppfyllas med marginal och renoveringen kan vara kostnadseffektivt. Om värmeåtervinningen förbättras kan även passivhuskraven uppfyllas. Om dessutom solceller installeras på fasad och tak kan nollenergikraven uppfyllas.

Inglasning av balkonger ger något sämre energibesparing jämfört med användningen av den multifunktionella fasadlösningen på balkongerna. Nackdelarna är högre investering och sämre lönsamhet. fördelarna är mervärden för de boende, som får ett extra rum som kan användas vår, sommar och höst vilket kan bidra till att göra byggnaden mer attraktiv.

De största fördelarna med prefabricering är minskad byggtid och minskad störning för de boende. Ofta behöver inte de boende evakueras under renoveringen i och med att arbetet utförs mestadels på utsidan.

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

Nyckelord: Energirenovering, flerbostadshus, multiaktiva fasader, nollenergirenovering, passivhusrenovering



Summary

To fulfill the Swedish energy and climate goals for 2020 and 2050, the current building stock must be upgraded. After 50 years, buildings from the Million program in Sweden need to be renovated. This presents an excellent opportunity to implement measures which can reduce the energy use in these buildings. There are currently no proven, cost-effective methods for doing significant cost-effective renovations of multifamily buildings in Sweden.

The purpose of this project was to develop a cost-effective and large-scale concept for renovating Swedish multi-family buildings based on a prefabricated, multi-active facade element. The renovation solution should improve the insulation level of the building envelope, the ventilation rate whilst having heat recovery, and incorporate heating and electricity production from solar solutions. The energy use goals have been to develop different concepts which fulfill three different energy use requirements: BBR24 (the Swedish building code), a passive house level, and a Zero Energy (ZE) level.

The project began with a mapping of the available technologies and current multi-active facade concepts for renovating multi-family buildings in Europe. From this mapping, several concepts were identified and evaluated to determine their suitability to Swedish climate conditions. Analyses were done on all of the identified solutions. After the analyses, the following solutions remained: integration of the supply air ducts in an insulated facade, glassing of the balconies, and the integration of PV cells in an insulated facade.

The energy analyses showed that only applying a multi-active facade as an energy savings measure is not enough to meet the energy requirement for new construction set in the project, BBR24. For the building to meet the modern energy use requirement, the roof must be insulated, low energy windows must be installed, and the ventilation system with heat recovery needs to be installed. After applying these measures, BBR can be fulfilled with a margin in a cost-effective way. If the heat recovery is further improved, then the building can meet passive house requirements. If PV cells are added to the roof, zero energy requirements can be fulfilled.

Glassing in the balconies gives an energy savings but it is not as cost-effective as the other solutions. The disadvantages of using this solution to save energy are the high investment costs and the lower return on investment. The advantages are mostly for the tenants, which gain another room that can be used in spring, summer and fall, which contributes to make the building more attractive.

The greatest advantages with the prefabricated solutions include reduced renovation time and less disturbance to the tenants. Often the tenants need not to be evacuated during the renovation as the work is mostly carried out on the outside.

The next step recommended in this project is to test the concept in full scale, with a scientific evaluation on a real project.

Keywords: Energy renovation, multi-family house, multi-active facade, passive house renovation, Zero Energy building renovation



INNEHÅLL

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INLEDNING OCH BAKGRUND | 8 |
| 2 | GENOMFÖRANDE | 10 |
| 2.1 | ALLMÄN ÖVERBLICK | 10 |
| 2.2 | METODIK OCH ARBETSPAKET | 10 |
| 3 | RESULTAT | 14 |
| 3.1 | TEKNIKKARTLÄGGNING | 14 |
| 3.1.1 | SVENSKA RENOVERINGSKONCEPT | 14 |
| 3.1.2 | MULTI-AKTIVA FASADER MED PASSIV TEKNIK FÖR RENOVERING | 15 |
| 3.1.3 | MULTI-AKTIVA FASADER MED AKTIV TEKNIK FÖR RENOVERING | 15 |
| 3.1.4 | UTVÄRDERINGSKRITERIER | 15 |
| 3.2 | KONCEPT FÖR MULTI-AKTIV FASAD | 15 |
| 3.3 | ENERGISIMULERING AV KONCEPT FÖR MULTIAKTIVA FASADER | 16 |
| 3.4 | LIVSCYKELVINST FÖR KONCEPT FÖR MULTIAKTIVA FASADER | 20 |
| 4 | DISKUSSION | 23 |
| 5 | PUBLIKATIONSLISTA | 24 |
| 6 | REFERENSER | 25 |



1 Inledning och bakgrund

Med en genomsnittlig energianvändning för uppvärmning och varmvattenproduktion på 140 kWh/m² (Energimyndigheten 2017), är det befintliga byggnadsbeståndet byggt före 1980-talet den stora energianvändaren inom bostadssektorn. "Miljonprogrammet", från 1965 till 1975, representerar en stor del av denna grupp. Många av byggnaderna från miljonprogrammet står nu inför behov av renovering. Dessutom är husen ganska enhetligt konstruerade. Nuvarande åtgärder för en omfattande energirenovering kräver ofta evakuering av de boende pga. stora förändringar invändigt, såsom dragnings av nya ventilationskanaler för modern ventilation med värmeåtervinning. Sådana åtgärder med traditionella lösningar innebär ofta en hög investeringskostnad och låg kostnadseffektivitet.

För att identifiera lämpliga lösningar för reproducerbara åtgärder för tilläggsisolering, som förbättrar energieffektiviteten samt sänker kostnaderna, genomfördes en teknikupphandling av beställargruppen för energieffektiva flerbostadshus, BeBo, 2011–2014. Åtta väggssystem för tilläggsisolering identifierades, varav några är prototyper (Mjörnell 2014). En av lösningarna inkluderar tilluftskanaler i tilläggsisoleringen, vilket löser problemen med att i efterhand installera tilluftskanaler inne i huset. Tre system är marknadsfärdiga prefabricerade fasadsystem, varav ett har använts i passivhus-renoveringen av miljonprogramsområdet Brogården i Alingsås. Inget av de undersökta fasadsystemen innebär ett integrerat ventilationssystem med värmeåtervinning och solenergitillämpningar. En annan teknikupphandling av beställargruppen BeBo, för värmeåtervinning i ventilationssystem i befintliga flerbostadshus, genomfördes 2013–2016. Den resulterade i utvecklingen av två system: en effektivare frånlufts-värmepump och ett system för uppgradering av ett mekaniskt frånluftssystem med tilluft och värmeåtervinning. Även med dessa tekniker, är investeringarna för omfattande energirenoveringar inte tillräckligt lönsamma för fastighetsägare enligt beställargruppen.

Inom IEA-forskningsprojektet Annex 50 "Prefabricated Systems for Low Energy Building Renewal" (Zimmermann 2012), genomfördes demonstrationsprojekt, som visade potential att uppfylla ekonomi- och energieffektivitetsmål med multifunktionella fasadlösningar. Ett exempel i Österrike visar t.ex. ett reproducerbart och prefabricerat fasadelement med integrerat värmesystem och ett nyutvecklat aktivt solenergisystem som tillämpats på ett flerbostadshus (Höfler 2012, Blomsterberg 2012). Byggtiden kunde minskas avsevärt, och även möjliggöra kvarboende under byggtiden. Uppgraderingen av värme- och varmvattensystemet gjordes genom integrering i fasaden och inga nya kanaler och större byggnadsarbeten inom byggnaden behövdes. Ett sådant tillvägagångssätt har hittills inte prövats i Sverige.

EU stödjer några internationella projekt på temat multifunktionella fasader (E2ReBuild 2015, RETROKIT 2015, MEEFS 2015, MORE-CONNECT 2015). Inget av projekten fokuserar på att utveckla ett reproducerbart koncept för svenska förhållanden. Bland annat kan det förklaras av att svenska flerbostadshus t.ex. miljonprogramshusen har tekniska lösningar som är ovanliga i övriga Europa: central mekanisk frånluftsventilation, ett värmesystem för hela huset, anslutna till fjärrvärme samt att många har ursprungliga prefabricerade fasader och är bättre värmeisolerade. Frågorna detta projekt försöker svara på är: vilka tekniska och ekonomiska förutsättningar finns det i Sverige för multifunktionella fasader? Kan de vara bättre från både energi- och ekonomiperspektiv än traditionella renoveringslösningar?



Syftet med projektet är att genomföra en förstudie av förutsättningar, funktioner och koncept för prefabricerade multi-aktiva fasadsystem för renovering av svenska flerbostadshus. Tre olika energimål ingår, att uppnå nybyggnationskraven (BBR-kraven), passivhuskraven (Feby 2012) och skapa ett nollenergihus (Feby 2012).

Målet "multi-aktiva" står för en kraftig tilläggsisolering av klimatskärmen kombinerad med integration av värme- och ventilationssystem i ett prefabricerat fasadelement, som kan installeras på en befintlig byggnad. Passiva såväl som aktiva komponenter i fasadsystemet kommer att kartläggas och analyseras med hänsyn till svenska förhållanden och förutsättningar. Aktiva tekniker omfattar ventilation med värmeåtervinning, uppvärmning och solenergi.

I projektet har följande personer medverkat:

| | | |
|-------------------|-------------------|--|
| Projektledare: | Åke Blomsterberg | Lunds universitet, Energi och byggnadsdesign |
| Projektgrupp: | Ricardo Bernardo | Lunds universitet, Energi och byggnadsdesign |
| | Stephen Burke | NCC |
| | Susanne Gosztanyi | Lunds universitet, Energi och byggnadsdesign |
| | Rikard Sundling | Lunds universitet, Byggproduktion |
| | Petter Wallentén | Lunds universitet, Byggnadsfysik |
| Referensgrupp: | David Larsson | Solkompaniet |
| | Pär Svensson | Passivhuscentrum |
| | Ted Holmberg | NIBE Industrier |
| | Johan Enberg | Elementum Eco AB |
| | Mikael Olofsson | Paroc |
| | Johan Zellbi | Landskronahem |
| | Stefan Forsberg | SmartFront |
| Anders Bertilsson | FläktWoods | |



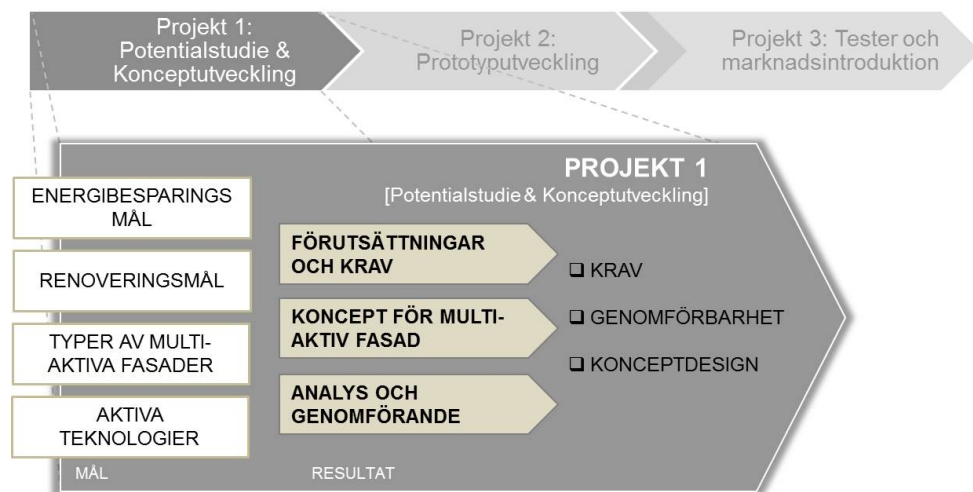
2 Genomförande

2.1 Allmän överblick

Passiva såväl som aktiva komponenter i fasadsystemet har kartlagts och analyserats med hänsyn till svenska förhållanden och förutsättningar. Aktiva tekniker omfattar ventilation med värmeåtervinning, uppvärmning och solenergiproduktion med hjälp av solceller.

Målet för hela projektet, i ett långsiktigt perspektiv, består i förverkligande och testning av det planerade multi-aktiva fasadsystemet. För att nå dit har tre projektetapper definierats för att möjliggöra etapputvärderingar och kontroller mot verkligheten av genomförbarheten och framgången i systemutvecklingen. De tre etapperna är:

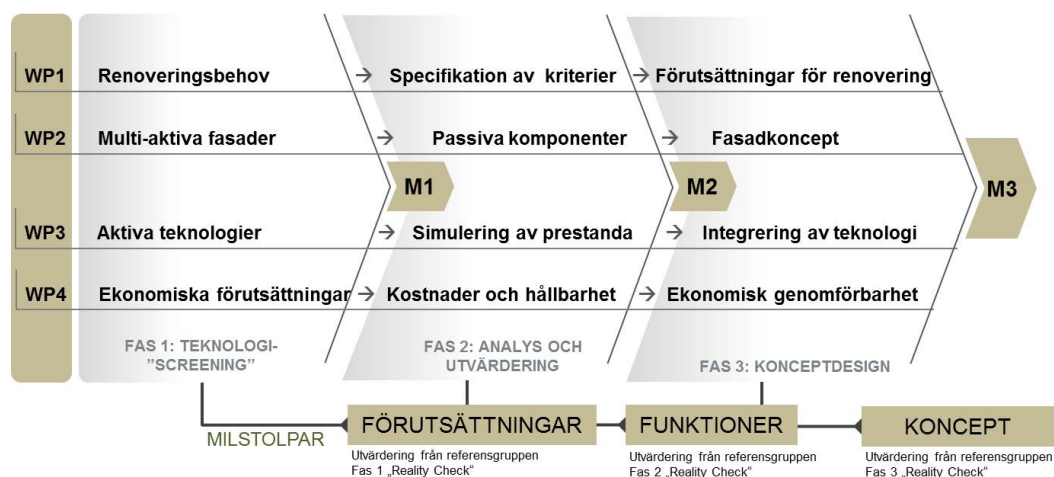
- Projektetapp 1 (denna etapp, som motsvarar den studien, figur 1): Förstudie och konceptutveckling;
- Projektetapp 2: Utveckling av prototyp;
- Projektetapp 3: Provning och marknadsintroduktion.



Figur 1: Metodiken som användes i projektet baseras på ovanstående modell.

2.2 Metodik och arbetspaket

Genomförandet har bestått av sex arbetspaket (WP) indelade i tre utvecklingsfaser med tre milstolpar (M), se figur 2.



Figur 2: Sammanställning av de olika faser och WP som användes i projektet.

Fas 1: Inledningsvis genomfördes en teknikkartläggning som bestod av en litteraturstudie av befintliga multifunktionella fasadkoncept för renovering av flerbostadshus i Europa, en teknikkartläggning av lämpliga fasadintegrerade komponenter och tekniska förutsättningar i befintliga svenska flerbostadshus samt en utvärdering av huruvida identifierade potentiella koncept kan anpassas till svenska förhållanden. Därefter definierades konkreta mål för en genomförbar plan för det svenska nya multi-aktiva fasadkonceptet. Det identifierade konceptet och förutsättningar utvärderades av en projekt- och en referensgrupp. Utvärderingskriterierna omfattade kostnadseffektivitet, energieffektivitet, renoveringsprocessen, fasadteknik och energiproduktion.

Fas 2: Omfattade analys och utvärdering med hjälp av dynamiska energisimuleringar med dataprogrammet IDA ICE för Göteborgsklimatsamt ekonomiska utvärderingar (LCC) som underlag till ett beslutsunderlag inför nästa steg. Lovande koncept som stämmer med de tidigare fastställda målkriterierna valdes. Analyserna beaktade värmeförluster, fukt, konstruktion, kostnader, solenergiproduktion, ventilation, energiåtervinning och värme. Syftet var att studera möjligheten att uppfylla energikraven enligt BBR24, passivhuskraven respektive nollenergihus.

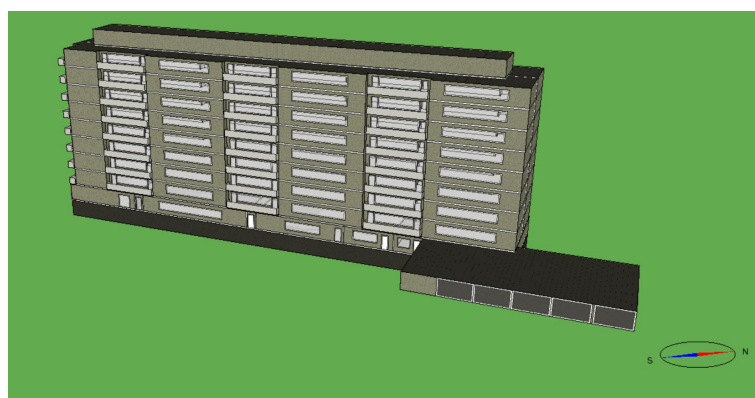
Fas 3: Konzeptutveckling av ett prefabricerat multiaktivt fasadelement för renovering av svenska flerbostadshus baserat på tidigare analys och utvärdering. Återkopplingen från referensgruppen under projektets gång användes för att förfina konceptet.

Analyserna gjordes för ett representativt nio vånings skivhus med 105 lägenheter (se figur 3) och ett tre vånings lamellhus med 18 lägenheter (figur 4). Skivhus och lamellhus står för den största delen av byggnaderna från miljonprogrammet. Skivhuset valdes för studier av passiva tekniker. Där blir värmeförluster från tilluftskanaler placerade i tilläggsisoleringen av fasaden störst på grund av längre kanaldragning. Lamellhuset valdes för studier av aktiva tekniker. Byggnadernas tekniska egenskaper redovisas i tabell 1.



Tabell 1: Indata för analyserna i IDA-ICE för skiv- respektive lamellhuset före renoveringen.

| Beskrivning | Skivhuset | Lamellhuset |
|---|--------------------------------|--------------------------------|
| Uppvärmad yta (A_{temp}), m ² | 9235 | 2148 |
| Formfaktor ($A_{omslutningsarea}/A_{temp} \cdot 100$), % | 79 | 103 |
| Lufttäthet, l/(s·m ²), hos klimatskalet vid 50 Pa tryckskillnad | 0,4 | 0,4 |
| Frånluftsflöde (konstant) med mekanisk frånluftsventilation, utan värmeåtervinning. Frånluft från kök och badrum, l/(s·m ²) | 0,35 (krav enligt BBR) | 0,35 (krav enligt BBR) |
| Specific fan power (SFP) för frånluftsventilationen, kW/(m ³ /s) | 1,5 | 1,85 |
| Fastighetsel: fläktar, pumpar, belysning och annan utrustning, kWh/(m ² ·år) | 8,7 | 8,2 |
| Köldbryggor, %, av total transmissionsförlust (antagande) | 20 | 20 |
| Varmvatten (antagande), kWh/(m ² ·år) | 25 | 25 |
| Byggteknik | U-värde, W/(m ² ·K) | U-värde, W/(m ² ·K) |
| Tak | 0,48 | 0,23 |
| Fasader | 0,47 | 0,31 |
| Grundmur | 0,9 | 0,21 |
| Grundläggning | 0,31 | 0,39 |
| Fönster & dörrar: tvåglas | 2,4 | 2,4 |



Figur 3: Skivhuset som det ser ut i IDA ICE.



Figur 4: Lamellhuset som det ser ut i IDA ICE.



3 Resultat

3.1 Teknikkartläggning

Så många som tjugofem projekt med potentiellt lämpliga multiaktiva fasader identifierade. De flesta hade karaktären demonstrationsprojekt och kunde kategoriseras enligt följande:

- Naturlig ventilation via fasad (förvärmning i luftspalt m.m.)
- Förbättring av den termiska kvaliteten (tilläggsisolering, uppgradering/byte till lågenergifönster, inglasning av fasad/balkong)
- Förbättring av dagsljuskvaliteten
- Integration av apparater, teknologier och smarta material (decentraliserad ventilation, FTX med tilluftskanaler i fasaden m.m.)
- Integration av solenergi (solfångare, solceller)
- Energimålsättning (passivhus, nollenergi, lågenergi, nybyggnadskrav)
- Ekologiska och ekonomiska aspekter som påverkar konstruktionen (prefabricering, modularisering, ekologiska material m.m.)

Utifrån den här studien identifierades några fasadlösningar som orealistiska:

- Integrering av solfångare pga. läckagerisk
- Integrering av från- och tilluftskanaler, eftersom fungerande frånluftskanaler ofta finns.
- Integrering av värmepumpar pga. svårigheter att koppla till centralvärme.
- Inglasning av hela fasaden pga. höga kostnader.

Med beaktande av utformningen av t.ex. miljonprogramshusen bedömdes följande vara intressanta för fortsatta studier:

- Naturlig ventilation via fasad (förvärmning i luftspalt)
- Förbättring av den termiska kvaliteten (tilläggsisolering, uppgradering/byte till lågenergifönster, inglasning av fasad/balkong)
- Integration av apparater, teknologier och smarta material (central FTX med tilluftskanaler i fasaden m.m.)
- Integration av solenergi (solceller)
- Energimålsättning (nybyggnadskrav, passivhus, nollenergi)

3.1.1 Svenska renoveringskoncept

För svenska flerbostadshus förekommer mini, mellan och stor energirenovering, där den stora är sällan tillämplad. Traditionell teknik används oftast, vilken kan innebära platsbyggd tilläggsisolering av fasad och tak, byte till lågenergifönster, samt installation av värmeåtervinning på ventilationen. En relativt ny produkt är SmartFront, som innebär platsbyggd tilläggsisolering av fasad med integrerade tilluftskanaler, vilket möjliggör ombyggnad till FTX.



3.1.2 Multi-aktiva fasader med passiv teknik för renovering

Slutsatsen var att följande passivteknik kan vara intressant för Sverige:

- Ventilation via fasaden via ett föruppvärmt luftutrymme (som t.ex. med glasrum, inglasade balkonger eller en dubbelglasfasad)
- Tilläggsisolering
- Bättre lufttäthet
- Bra fönster (lågt U-värde)

Av dessa potentiella tekniker, har tre valts ut för en mer noggrann analys och utvärdering i IDA-ICE:

- Inglasning av balkonger på söderfasaden
- Inglasning av fasad
- Solvägg

3.1.3 Multi-aktiva fasader med aktiv teknik för renovering

Av potentiella tekniker, har två valts ut för en mer noggrann analys och utvärdering i IDA-ICE:

- Uppgradering av F-ventilation till FTX-ventilation genom att integrera tilluftskanaler i tilläggsisoleringen av fasaden, samt centralt återvinningsaggregat
- Integrering av solceller i tilläggsisoleringen av fasaden

3.1.4 Utvärderingskriterier

Utvärderingskriterierna för den multiaktiva fasaden omfattar kostnadseffektivitet, energieffektivitet, renoveringsprocessen, fasadteknik och energiproduktion. Kriteriet för kostnadseffektivitet är att under förutsättning att det finns ett underhållsbehov för fasaden så skall merkostnaden för en multiaktiv fasad betala sig på mindre än 60 år med 4 % kalkylränta. Energieffektivitet innebär att tillsammans med tilläggsisolering av tak skall BBR:s krav på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) [$W/m^2 \cdot K$] (för flerbostadshus 0,4) och specifik energianvändning uppfyllas. Vad avser renoveringsprocessen och fasadteknik så förutsätts en prefabricerad lösning som ni undrar störningen av de boende och behovet av evakuering av de boende. Alla relevanta krav på ljud, lufttäthet, regntäthet, fuktsäkerhet måste uppfyllas. Energiproduktion innebär att integrering av solceller skall undersökas.

3.2 Koncept för multi-aktiv fasad

Sex olika svenska koncept för multiaktiva fasader har tagits fram i denna studie, exklusive basfall:

Basfall: Basfallet är en minirenovering, som innebär återställande av funktionalitet och kvalitet hos byggnaden, såsom fasad- och takrenovering, samt byte av fönster. Energianvändningen påverkas inte nämnvärt.

BBR – Opak: En multiaktiv fasadlösning, som innebär att nya tilluftskanaler placeras i tilläggsisoleringen av fasaden. För att säkerställa att $U_m = 0,4 W/(m^2 \cdot K)$ uppfylls måste alla fasader,



fönster, ytterdörrar och tak förbättras. Ett värmeåtervinningsaggregat installeras centralt i ventilationssystemet.

Passivhus Opak: Konceptet är baserat på Opak konceptet men det uppfyller FEBY12 (Feby 2012). Passivhuskraven uppfylls utan att förbättra värmeåtervinningen i ventilationssystemet.

NE Opak: betyder nollenergibygnad (Feby 2012), vilket innebär att byggnaden bör producera lika mycket energi som den använder. Detta koncept liknar Passivhus Opak, fast med solceller som producerar energi.

Opak + Inglasning av balkonger, BBR: Detta koncept är också liknande Opak konceptet men i detta koncept ändrar man inte fasaden eller fönsterna i den befintliga vägg bakom balkongerna. Istället har balkongerna en inglasning. I lamellhuset är även balkongerna förlängda.

Passivhus + Inglasning av balkonger (Opak + Inglasning av balkonger + Solceller och effektivare ventilation): Detta koncept är en kombination av inglasningskonceptet och Passivhus Opak konceptet.

NE + Inglasning av balkonger (Passivhus + inglasning + mycket solceller): Detta koncept är en kombination av Passivhus Inglasning och NE Opak koncepten.

3.3 Energisimulering av koncept för multiaktiva fasader

Energisimuleringar har genomförts för de två referensbyggnaderna, ett skivhus och ett lamellhus. Det första steget var att undersöka hur BBR24:s energikrav kan uppfyllas. Det andra steget var att undersöka hur passivhuskravet kan uppfyllas och slutligen NE-kravet (Feby 2012).

Det första energikravet i BBR24, som måste uppfyllas är $U_m = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för byggnadsdelar och köldbryggor). För att uppfylla detta för skivhuset krävs avsevärda förbättringar av värmeisoleringen av klimatskalet. Det räcker inte med tilläggsisolering av fasaden med en multi-aktiv fasad (tilläggsisolering + tilluftskanaler). Utöver det måste taket tilläggsisoleras och fönster bytas till lågenergifönster. Om dessutom nybyggnadskravet för energianvändning (specifika energianvändning) skall uppfyllas måste värmeåtervinning för ventilationen installeras (se tabell 2). För att därutöver uppnå Febys (Feby 2012) krav på specifik energianvändning för passivhus, $50 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{år}$ (för södra Sverige), krävs även förbättring av värmeåtervinningens verkningsgrad från 80 % till 90 %.

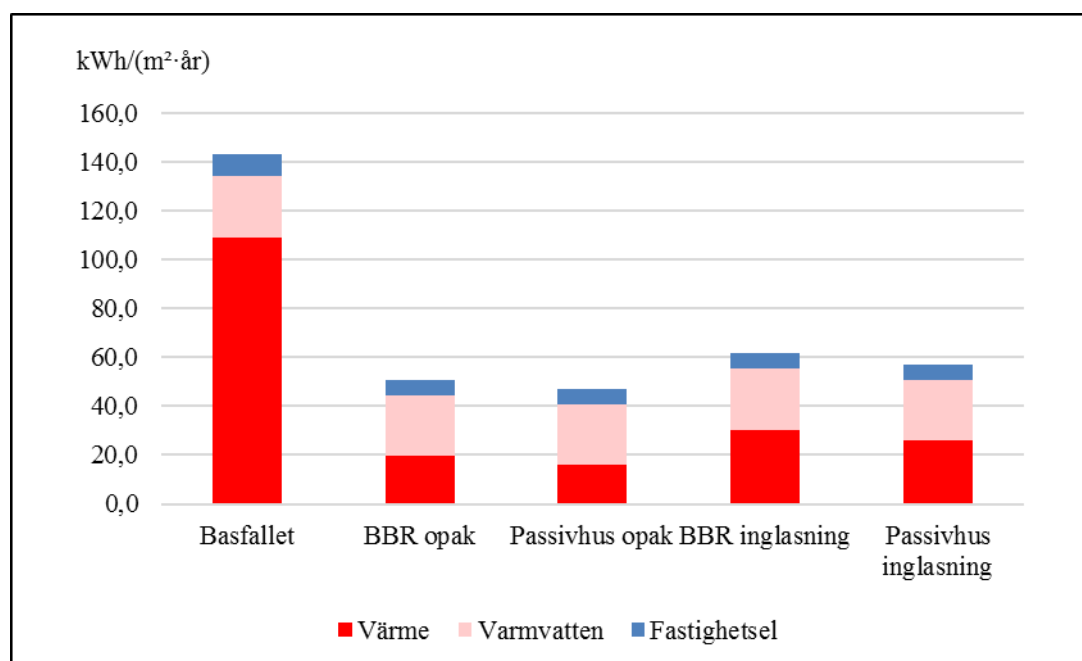
Inglasning av balkonger gör det omöjligt att uppnå energikraven för passivhus. Märk väl att bakom balkongerna ersätts tilläggsisoleringen och bytet till lågenergifönster av inglasningen.



Tabell 2: Indata för IDA-ICE för skivhuset

| Beskrivning | Basfallet | BBR opak | Passivhus opak |
|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Lufttäthet, l/(s·m ²), hos klimatskalet vid 50 Pa tryckskillnad | 0,4 | 0,4 | 0,3 |
| Frånluftsflöde (konstant) med frånluft från kök och badrum, l/(s·m ²) | 0,35 (krav enligt BBR) | 0,35 | 0,35 |
| Köldbryggor, %, av total transmissionsförlust | 20 | 20 | 20 |
| Fastighetsel: fläktar, pumpar, belysning och annan utrustning, kWh/(m ² ·år) | 8,7 | 6,2 | 6,2 |
| Varmvatten, kWh/(m ² ·år) | 25 | 25 | 25 |
| Byggteknik | U-värde, W/(m ² ·K) | U-värde, W/(m ² ·K) | U-värde, W/(m ² ·K) |
| Tak | 0,48 | 0,07 | 0,07 |
| Fasader | 0,47 | 0,11 | 0,11 |
| Grundmur | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Grundläggning | 0,31 | 0,31 | 0,31 |
| Fönster & dörrar | 2,4 | 0,8 | 0,8 |
| U _m | 1,05 | 0,4 (krav enligt BBR) | 0,4 |
| Verkningsgrad värmeåtervinning ventilation, % | 0 | 80 | 90 |

Den totala energianvändningen för basfallet för skivhuset är 143 kWh/(m²·år) (de Concini 2018) (figur 5). Den valda opaka BBR-renoveringen uppfyller med marginal BBR24:s krav på specifik energianvändning, 75 kWh/(m²·år) jämfört med 52 kWh/(m²·år). Den opaka passivhusrenoveringen uppfyller exakt passivhuskraven. Inglasningsalternativet uppfyller med 63 kWh/(m²·år) BBR-energikravet. Däremot uppfyller inglasningsalternativet inte passivhuskravet, vilket överskrids med ca 15 %. Nollenergikravet uppfylls genom att för passivhusalternativet täcka större delen av fasaden och taket med solceller.



Figur 5: Beräknad energianvändning för skivhuset.

Beräkningarna för lamellhuset visar liknande resultat som för skivhuset dvs. att för att uppnå BBR24:s krav på U_m krävs avsevärda förbättringar av värmeisoleringen för klimatskalet och att det inte räcker med tilläggsisolering av fasaden med en multi-aktiv fasad (tilläggsisolering + tilluftskanaler). Taket måste tilläggsisoleras, fönster bytas till lågenergifönster och värmeåtervinning från ventilationen installeras (se tabell 3). Samma nivå på tilläggsisolering som för skivhuset har valts, vilket har inneburit att U_m -kravet uppfylls med marginal. För att därutöver uppnå Febys (Feby 2012) krav på passivhus, $50 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{år}$, krävs förbättring av värmeåtervinningens verkningsgrad från 80 % till 90 %.

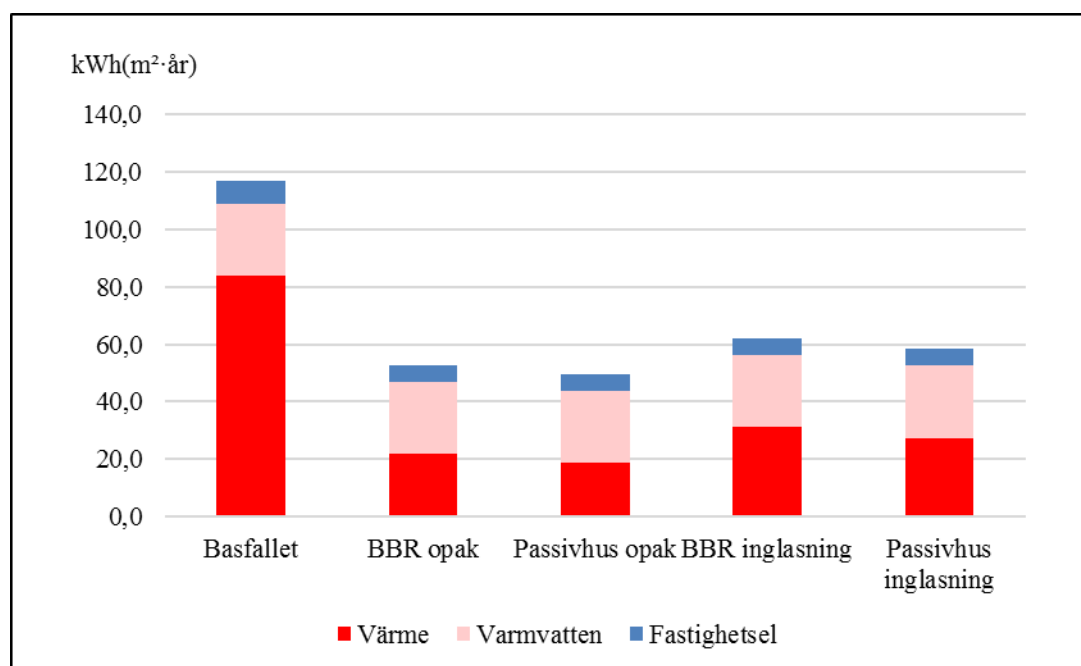
Inglasning av balkonger omöjliggör att uppnå energikraven för passivhus. Märk väl att bakom balkongerna ersätts tilläggsisoleringen och bytet till lågenergifönster av inglasningen.



Tabell 3: Indata för IDA-ICE för lamellhuset.

| Beskrivning | Basfallet | BBR opak | Passivhus opak |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Lufttäthet, $l/(s \cdot m^2)$, hos klimatskalet vid 50 Pa tryckskillnad | 0,4 | 0,4 | 0,3 |
| Frånluftsflöde (konstant) med frånluft från kök och badrum, $l/(s \cdot m^2)$ | 0,35 (krav enligt BBR) | 0,35 | 0,35 |
| Fastighetsel: fläktar, pumpar, belysning och annan utrustning, $kWh/(m^2 \cdot \text{år})$ | 8,2 | 5,9 | 5,9 |
| Köldbryggor, %, av total transmissionsförlust | 20 | 20 | 20 |
| Varmvatten, $kWh/(m^2 \cdot \text{år})$ | 25 | | |
| Byggteknik | U-värde, $W/(m^2 \cdot K)$ | U-värde, $W/(m^2 \cdot K)$ | U-värde, $W/(m^2 \cdot K)$ |
| Tak | 0,23 | 0,08 | 0,08 |
| Fasader | 0,31 | 0,12 | 0,12 |
| Grundmur | 0,21 | | |
| Grundläggning | 0,39 | | |
| Fönster & dörrar | 2,4 | 0,8 | 0,8 |
| Um | 0,63 | 0,33 (0,4 krav enligt BBR) | 0,33 |
| Verkningsgrad värmeåtervinning ventilation, % | 0 | 80 | 90 |

Den totala energianvändningen för basfallet för lamellhuset är $117 \text{ kWh}/(m^2 \cdot \text{år})$ (de Concini 2018) (figur 6). Den valda opaka BBR-renoveringen uppfyller med marginal BBR24:s krav på specifik energianvändning, $75 \text{ kWh}/(m^2 \cdot \text{år})$ jämfört med $53 \text{ kWh}/(m^2 \cdot \text{år})$. Den opaka passivhusrenoveringen uppfyller exakt passivhuskraven. Inglasningsalternativet uppfyller med $62 \text{ kWh}/(m^2 \cdot \text{år})$ BBR-energikravet. Däremot uppfyller inglasningsalternativet inte passivhuskravet, vilket överskrids med ca 15 %. Nollenergikravet uppfylls genom att för passivhusalternativet täcka större delen av fasaden och taket med solceller.



Figur 6: Beräknad energianvändning för lamellhuset.

3.4 Livscykelvinst för koncept för multiaktiva fasader

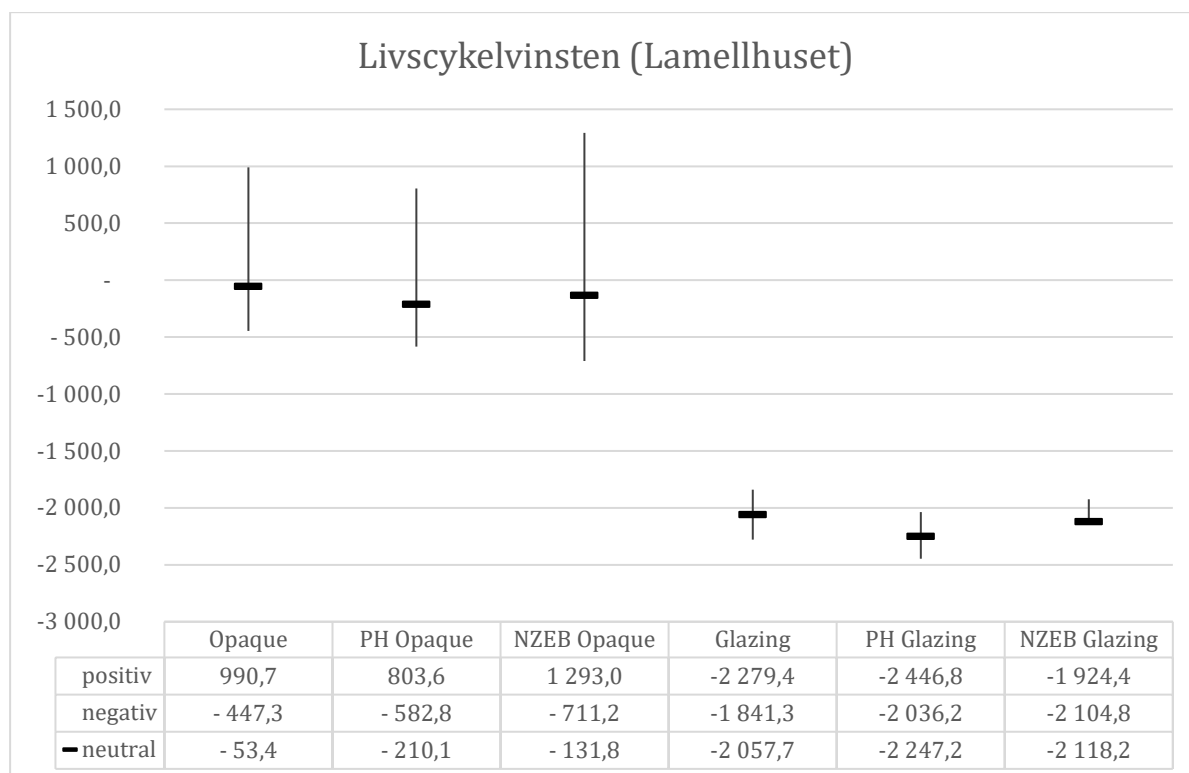
Livscykelvinstmetoden är en metod som tar hänsyn till hela renoveringens livslängd från implementering till nästa renovering eller rivning, samt alla kostnader, besparingar och inkomster som uppkommer som följd av renoveringen. Resultatet från en livscykelvinst analys är ett tal, om talet är 0 eller högre så är renoveringen en god investering, om talet är mindre än 0 så är renoveringen inte lämplig.

Resultaten av analysen presenteras i figur 7 och figur 8. Varje koncept är representerat som en linje, där toppen av linjen representerar det positiva alternativet (en real prisökning på 4% för både energi och underhåll) och botten på linjen representerar det negativa alternativet (en årlig realprisminskning på -1% för både energi och underhåll) och en markering någonstans i mitten, vilket representerar det neutrala/"sannolika" alternativet (reala prisökningar: 1,7% el; 1,4% fjärrvärme och 1,7% underhåll). Resultatet har beräknats som skillnaden mellan basfallet och de olika renoveringsalternativen. Detta är för att det man kanske egentligen vill analysera är frågan: Vad får vi för den extra investering som energirenoveringen innebär? I studien antogs det att basfallet är den minsta renoveringen som kan göras för att förlänga byggnadens livslängd med 60 år.

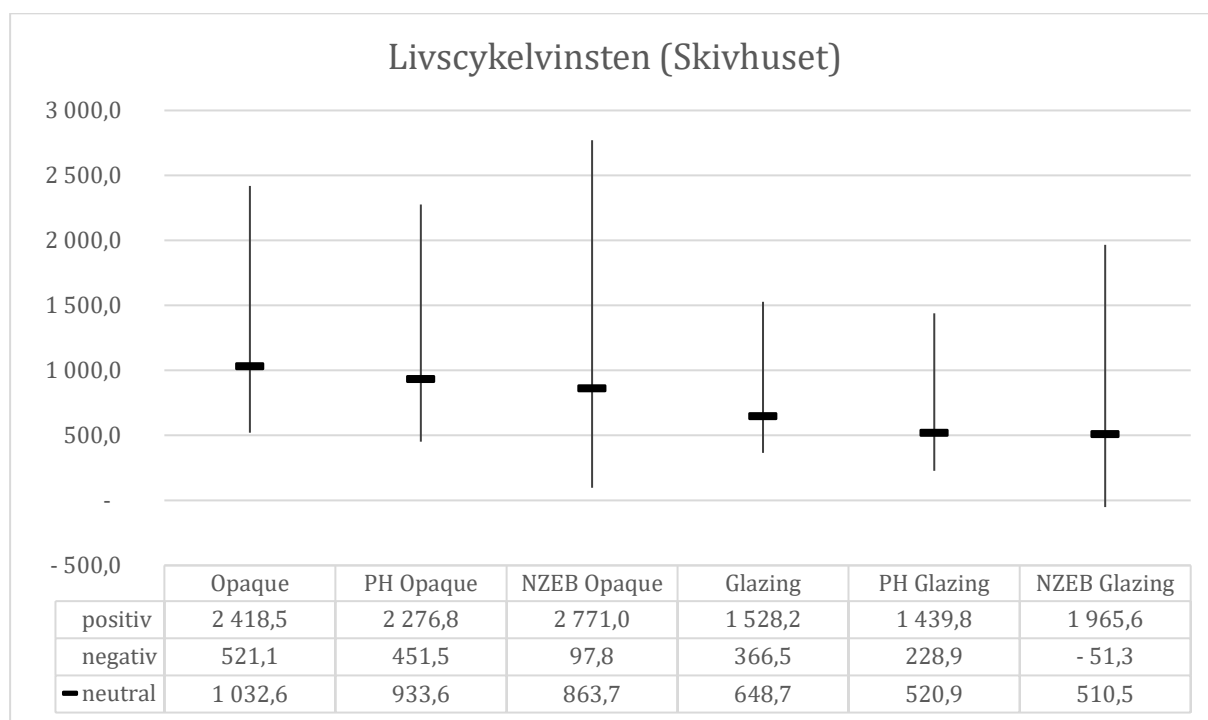
Alla renoveringsalternativen verkar vara ekonomiskt fördelaktiga för skivhuset, dock är inglasningsalternativen de minst lönsamma. För lamellhuset finns det inget renoveringsalternativ som är bättre än basfallet. Det finns två anledningar, den första är att lamellhuset har en tegelfasad som behöver rivs innan fasadelementen kan installeras vilket ökar investeringen avsevärt. Den andra anledningen är att lamellhuset har större fasadarea i förhållande till golvytan, det går helt enkelt åt mer fasadelement per m² golvyta jämför med skivhuset. En intressant aspekt av resultatet är att: om



man tror att energipriserna kommer att öka i framtiden, som i det positiva alternativet, så visar det sig att nollenergirenoveringsalternativet NE Opak (största investeringskostnad) är det mest fördelaktiga för båda byggnaderna.



Figur 7: Livscykelvinsten i SEK per m² BOA för de sex olika renoveringskoncepten för låghusbyggnaden.



Figur 8: Livscykelvinsten i SEK per m² BOA för de sex olika renoveringskoncepten för höghusbyggnaden.



4 Diskussion

En allmän slutsats från projektet är att den prefabricerade tilläggsisoleringen som ingår i en multiaktiv fasadlösning ensam inte räcker vid renovering för att uppfylla BBR's krav på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient U_m och specifik energianvändning. Ytterligare energiåtgärder behövs för att minska transmissionsförlusterna, såsom takisolering, nya lågenergidörrar och fönster. Om dessutom värmeåtervinning på ventilationen installeras, så är det möjligt att mer än halvera den specifika energianvändningen och därmed med marginal uppfylla byggnormskraven i BBR24. Den mest lönsamma renoveringslösningen för svenska förhållanden är, utifrån analyserna i föreliggande projekt, att i åtgärds paketet inkludera en multi-aktiv fasadlösning med integrerade tilluftskanaler i en prefabricerad tilläggsisolering, samt att de befintliga frånluftskanalerna förbättras och att värme återvinns i ett centralt ventilationsaggregat.

Om värmeåtervinning förbättras kan även passivhuskraven (FEBY 2012) uppfyllas. Om dessutom solceller installeras på fasad och tak kan NE-kraven uppfyllas.

Inglasning av balkonger kombinerat med en multifunktionell fasad ger något sämre energibesparing än enbart den multifunktionella fasaden. Nackdelarna är högre investering och sämre lönsamhet. Fördelarna är mervärden för de boende, som får ett extra rum som kan användas vår, sommar och höst. Detta kan öka byggnadens attraktivitet. Balkongdörren måste dock vara stängd under uppvärmningssäsongen för att inte riskera en ökad energianvändning för uppvärmning.

För det studerade skivhuset kan ett renoveringspaket där multiaktiva fasader ingår vara ekonomiskt fördelaktigt under förutsättning att det finns ett grundläggande renoveringsbehov, en minirenovering. För det studerade lamellhuset är inget av renoveringspaketen med multiaktiva fasadalternativ ekonomiskt fördelaktiga. Emellertid är de ekonomiska beräkningarna känsliga för vilka kostnader och åtgärder som ingår i minirenoveringen, samt antaganden om räntor och prisutveckling. Dessutom tillkommer mervärden, såsom förbättrad termisk komfort, som är svåra att värdera i ekonomiska termer. De största fördelarna med prefabricering är minskad byggtid och minskad störning för de boende. I vissa fall och med god planering kan en prefabricerad lösning till och med leda till att de boende kan bo kvar under renoveringen. I vår studie har vi antagit en kortare byggtid eftersom stomme, isolering, fönster och tilluftskanaler byggs i fabrik.

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



5 Publikationslista

Adolfsson, L. & Andersson, C., 2016, Multi-active façades for renovation of million program houses - An analysis from Energy and Life Cycle Cost perspectives, Master thesis in Energy-efficient and Environmental Buildings Faculty of Engineering | Lund University

Bajars, K., Persson, A., 2017: Study of glazed spaces as a renovation strategy for two typical residential multi-apartment buildings from Swedish million programme – Theoretical analysis of two reference buildings. Master thesis in Energy-efficient and Environmental Buildings Faculty of Engineering | Lund University

Bernardo, B., Hadzimuratovic, A., Swedmark, M., Burke, S., Nilsson, R., Ekström, T., Gosztonyi, S., Blomsterberg, Å.: Prefabricated multi-active façade elements for energy renovation of multi-family houses – a theoretical case study in Sweden, 41st IAHS World Congress Sustainability and Innovation for the Future, 13-16th September 2016, Albufeira, Algarve, Portugal

Bernardo, R., Blomsterberg, Å., Burke, S., Gosztonyi, S., Sundling, R., Wallentén, P., 2018 Förstudie av prefabricerade multifunktionella fasadelement för energirenovering av flerbostadshus, SBUF 13105.

Blomsterberg, Å., Bernardo, R.: Konzeptutveckling av prefabricerade multifunktionella fasader för energirenovering av flerbostadshus, Bygg & teknik 8/2017

Gosztonyi, S., Stefanowicz, M., Bernardo, R., Blomsterberg, Å.: Multi-active façade for Swedish multi-family homes renovation: Evaluating the potentials of passive design measures. Power Skin i München 2017-01.

Gosztonyi, S., Stefanowicz, M., Bernardo, R., Blomsterberg, Å.: Multi-active façade for Swedish multi-family homes renovation: Evaluating the potentials of passive design measures. Façade Design & Engineering, Vol 5, No 1, 2017.

Hadzimuratovic, A. & Swedmark, M., 2016, Study of active technologies for prefabricated multi-active facade elements for energy renovation of multi-family buildings - theoretical analysis for a case-study in Sweden, Master thesis in Energy-efficient and Environmental Buildings Faculty of Engineering | Lund University.



6 Referenser

Blomsterberg, Å., 2012, Prefabricerade system för energieffektiv renovering av bostadshus, Avdelningen för Energi och ByggnadsDesign, Institutionen för Arkitektur och Byggt Miljö, Lunds Universitet, Lunds Tekniska Högskola, Rapport EBD-R--12/38.

De Concini, M., 2018, Prefabricated multi-functional facade elements for energy renovation of multi-family houses – A retrofitting analysis for two building cases. Master thesis in Energy-efficient and Environmental Buildings Faculty of Engineering, Lund University.

E2ReBuild 2015, Available at: <http://www.e2rebuild.eu/en/Sidor/default.aspx> [februari 2015].

Energimyndigheten 2017, Energistatistik för flerbostadshus 2016, ES 2017:04 .

Feby, 2012, Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus – Bostäder, Feby 12, Sveriges centrum för nollenergihus, www.nollhus.se.

Höfler, K., 2012, Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings, National final report, IEA Forschungskooperation, nachhaltig wirtschaften, bmvit 25/2012.

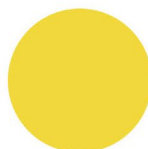
MEEFS 2015, Multifunctional Energy Efficient Facade System for Building Retrofitting. Available at: <http://www.meefs-retrofitting.eu/> [februari 2015].

Mjörnell, K., Blomsterberg, Å., 2014, Rationell isolering av ytterväggar och fasader för befintliga flerbostadshus – Slutrapport för utvecklingsprojektet TURIK 2, beställargruppen bostäder.

MORE-CONNECT, 2015. Available at: <http://www.more-connect.eu>.

Retrokitproject, 2015. Available at: <http://www.retrokitproject.eu> [28:e jan 2015].

Zimmermann, M., 2012, Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings. Project Summary Report. IEA ECBCS Annex 50.



Runt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.

E2B2 genomförs i samverkan mellan IQ Samhällsbyggnad och Energimyndigheten åren 2013–2017. Läs mer på www.E2B2.se.

