

FÖRSTUDIE AV PREFABRICERADE MULTIFUNKTIONELLA FASADELEMENT FÖR ENERGIRENOVERING AV FLERBOSTADSHUS

**Ricardo Bernardo, Åke Blomsterberg, Stephen
Burke, Susanne Gosztonyi, Rikard Sundling,
Petter Wallentén**

2018-09-11

FÖRORD

Författarna vill tacka SBUF och Energimyndigheten (E2B2 program) för deras finansiella stöd till projektet. Författarna vill också tacka alla som deltog i referensgruppen och har delat sina idéer, feedback och erfarenhet med gruppen.

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 övergripande energirenovering för 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 solceller. Denna typ av renoveringsåtgärd har inte testats i Sverige ännu.

Projektet organiserades i sex arbetspaket: förutsättningar och krav, passiva teknologier, aktiva teknologier, ekonomiskt genomförande och informationsspridning. Projektet genomfördes i tre utvecklingssteg.

Steg 1: Teknikkartläggning med en litteratursökning.

Steg 2: Konceptutveckling för ett prefabricerat multiaktivt fasadelement för renovering av svenska flerbostadshus.

Steg 3: Analys och utvärdering med dynamiska simuleringar och ekonomiska analyser för två typiska miljonprogramshus.

Resultatet från forskningsprojektet är sex renoveringskoncept baserade på ett prefabricerat multiaktivt fasadelements system, under vissa förutsättningar, skulle kunna vara kostnadseffektiva och minska energianvändningen med mellan 50–100%. Eftersom koncepten är baserade på prefabricerade fasadelement skulle de kunna vara storskaligt tillämpbara och därför kunna användas på potentiellt 150 000 svenska flerbostadshus. De sex koncepten baseras på fasadelement som innehåller tilläggsisolering med integrerade ventilationskanaler. I tre av koncepten ersätts tilläggsisoleringen av en inglasning vid balkongen.

Resultatet från analysen av miljöpåverkan visar att de olika renoveringskoncepten kan minska miljöpåverkan med 40–70%. Resultatet från den ekonomiska analysen visar att kostnadseffektiviteten är beroende på de förutsättningarna som ges av byggnaden. Alla renoveringskoncepten verkar vara ekonomiskt fördelaktiga för höghusbyggnaden, men för låghusbyggnaden finns det inget renoveringskoncept som är bättre än basfallet. Detta beror på två anledningar, den första är att låghusbyggnaden har en tegelfasad som behöver rivas innan fasadelementen kan installeras. Den andra anledningen är att låghusbyggnaden har större fasadarea i förhållande till boarean, det går helt enkelt åt mer fasadelement per boarea jämfört med höghusbyggnaden. Om man som fastighetsägare tror att energipriserna kommer att öka snabbare i framtiden än vad de gör idag bör man överväga nära nollenergi koncepten. Om man skulle kunna motivera en hyresökning på 210 kr per månad och lägenhet för inglasade balkonger så bör man överväga inglasningskoncepten.

INNEHÅLL

INLEDNING OCH BAKGRUND	5
SYFTE	5
METODIK OCH GENOMFÖRANDE	6
ALLMÅN ÖVERBLICK	6
METODIK OCH ARBETSPAKET FÖR PROJEKT 1	7
UTVALDE BERÄKNINGSOBJEKT.....	8
<i>Skivhus</i>	8
<i>Lamellhus</i>	9
RESULTAT	10
UTMÄRKANDE KARAKTÄRSDRAG FÖR MILJONPROGRAMSHUSEN	11
RENOVERINGSPOTENTIAL FÖR EN PREFABRICERAT MULTIAKTIVFASADLÖSNING I MILJONPROGRAMSHUSEN	15
<i>Byggtekniska förutsättningar</i>	15
<i>Potentiell marknad för multiaktiva fasadelement</i>	17
<i>Kostnadseffektiva åtgärder</i>	18
<i>Beställarens krav</i>	19
Användning av fastighet	19
Anledning till renovering	19
Lokala förhållanden.....	20
<i>Förordningar</i>	21
<i>Nybyggnadskrav eller inte?</i>	21
<i>Plan- och bygglagen, PBL</i>	21
<i>Boverkets byggregler, BBR 24</i>	22
RÄKNAS FASADBYTTE SOM EN OMBYGGNAD?	24
NYBYGGNADSKRAV SOM EVENTUELLT MÅSTE UPPFYLLAS VID EN OMFATTANDE RENOVERING.....	24
<i>Tillgänglighet</i>	24
<i>Bärförmåga</i>	24
<i>Brandskydd</i>	24
<i>Hygien, hälsa och miljö</i>	25
<i>Bullerskydd</i>	25
<i>Säkerhet</i>	25
<i>Energiushållning</i>	26
Krav på U-värde (U _m)	26
TEKNIKKARTLÄGGNING FÖR MULTIAKTIVFASADER	29
<i>Svenska renoveringskoncept</i>	30
<i>Multi-aktiva fasader med passiv teknik för renovering</i>	30
<i>Multi-aktiva fasader med aktiv teknik för renovering</i>	31
<i>Ekonomiska mål, produktion och renoveringsprocesser</i>	32
KONCEPT FÖR RENOVERING MED MULTIAKTIVA FASADER	32
<i>Basfallet</i>	32
<i>BBR opak</i>	32
<i>Passivhus opak</i>	32
<i>NNE opak</i>	32
<i>BBR inglasning</i>	32
<i>Passivhus inglasning</i>	33

<i>NNE inglasning</i>	33
ANALYS OCH UTVÄRDERING	33
<i>Energisimulering av tilluftskanal för det opaka konceptet</i>	33
<i>Energisimulering med multiaktiva fasader</i>	34
Skivhuset	34
Lamellhus	36
<i>Livscykelvinstanalysen</i>	38
Den ekonomiska livslängden.....	39
Energibesparingen och energiprisförändringen	39
Underhållskostnaderna och underhållsprisförändringen	40
Kalkylräntan.....	40
Investeringskostnaden	40
Resultatet från analysen	41
<i>LCA</i>	43
DISKUSSION	46
SLUTSATSER	47
LCC	47
LCA.....	47
FRAMTIDA FORSKNING	47
REFERENSER	48

INLEDNING OCH BAKGRUND

För att möta de svenska energi- och klimatmålen för åren 2020 och 2050, krävs stora satsningar på energieffektivisering. För samtliga byggnader uppgår energi-användningen till cirka 166 TWh/år dvs. 40% av den totala energianvändningen i Sverige (Energimyndigheten, 2011a). Det finns en betydande energi-effektiviseringspotential i det svenska bostadsbeståndet. Med en genomsnittlig energianvändning för uppvärmning och varmvattenproduktion på 158 kWh/m²·år 2010 (Energimyndigheten, 2010b, 2011b), 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 dessa byggnader står nu inför behov av renovering. Nuvarande åtgärder för omfattande energirenovering kräver ofta evakuering av de boende pga. stora förändringar invändigt, såsom dragning av nya ventilationskanaler för modern ventilation med värmeåtervinning. Sådana åtgärder innebär en hög investeringskostnad och låg kostnadseffektivitet.

För att identifiera lämpliga lösningar för reproducerbara åtgärder, som förbättrar energieffektiviteten samt sänker kostnaderna, genomfördes en teknikupphandling av beställargruppen bostäder, BeBo, 2011–2014. Åtta väggssystem för tilläggsisolering identifierades, varav några är prototyper (Mjörnell & Blomsterberg 2014). En av lösningarna inkluderar ventilationskanaler i tilläggsisoleringen. Tre system är marknadsfärdiga prefabricerade fasadsystem, varav ett har använts i passivhus-renoveringen av Brogården, Alingsås. Inget av de undersökta fasadsystemen innebär ett integrerat ventilationssystem med värmeåtervinning och/eller solenergitillämpningar. En annan teknikupphandling av beställargruppen bostäder, för värmeåtervinning i ventilationssystem i befintliga flerbostadshus, påbörjades 2013. 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 för bostäder.

Inom IEA-forskningsprojektet Annex 50 "Prefabricated Systems for Low Energy Building Renewal" (Zimmermann 2012), genomfördes demonstrationsprojekt, som visade en potential för 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 minska avsevärt, och även tillåta kvarboende under byggtiden. Uppgraderingen av värme- och varmvattensystemet gjordes genom integrering i fasaden och inga nya kanaler och större byggnads-arbeten inom byggnaden behövdes. Ett sådant tillvägagångssätt har hittills inte prövats i Sverige.

EU stödjer några internationella projekt på temat multifunktionella fasader. Inget av projekten fokuserar på att utveckla ett reproducerbart koncept för svenska förhållanden (E2ReBuild 2015, RETROKIT 2015, MEEFS 2015, MORE-CONNECT 2015).

SYFTE

Syftet med detta projekt var att genomföra en förstudie av förutsättningar, funktioner och koncept för prefabricerade multiaktiva fasadsystem för renovering av svenska flerbostadshus. Projektet avsåg att ta fram ny kunskap om prefabricerade multiaktiva fasadsystem med avseende på:

- energieffektivitet och prestandaoptimering,
- renoveringsoptimering, inklusive processrelaterade aspekter för bygg- och konstruktion,
- modulsystem och integrering av komponenter,
- kostnadseffektivitet och reproducerbarhet för storskaliga renoveringar.

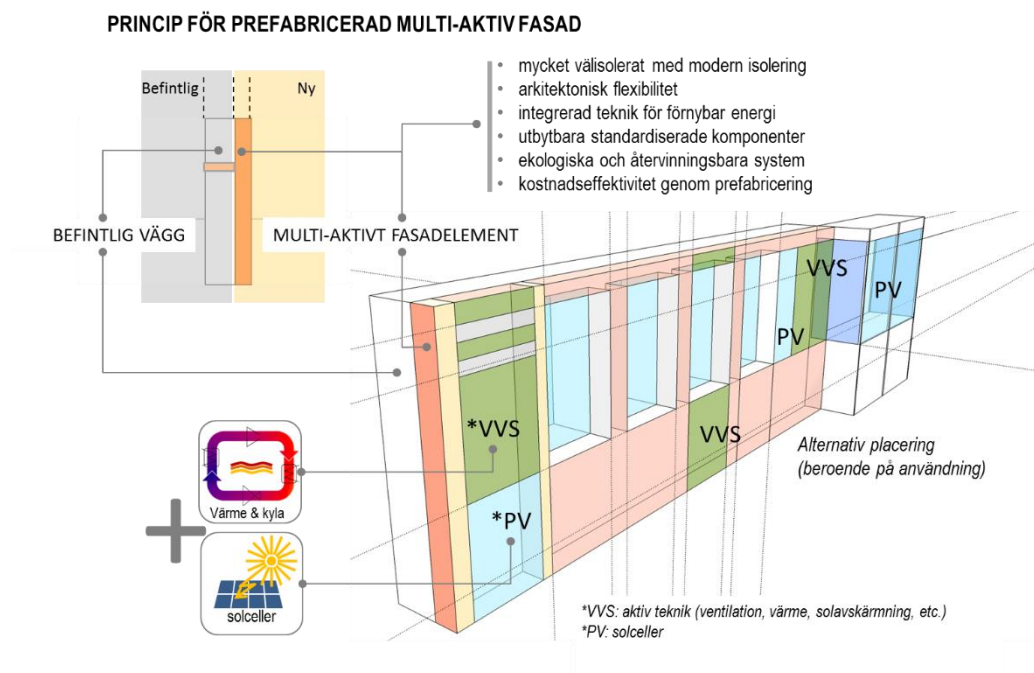
Målet "multiaktiva" står för en kraftig tilläggsisolering av klimatskalet kombinerat med integration av aktiva värme- och ventilationssystem i ett prefabricerat fasadelement, som kan installeras på en befintlig byggnad.

Det långsiktiga målet är att utveckla ett koncept för kostnadseffektiv energirenovering av flerbostadshus i Sverige. Konceptet ska ligga till grund för eventuellt kommande produktutveckling av multiaktiva fasadelement.

METODIK OCH GENOMFÖRANDE

Allmän överblick

Passiva såväl som aktiva komponenter i fasadsystemet har kartlagts och analyserats med hänsyn till svenska förhållanden och förutsättningar. Aktiva teknologier omfattar ventilation med värmeåtervinning, uppvärmning, och solenergiproduktion med hjälp av solceller. En översiktlig bild av modulkonceptidén visas i Figur 1 nedan.

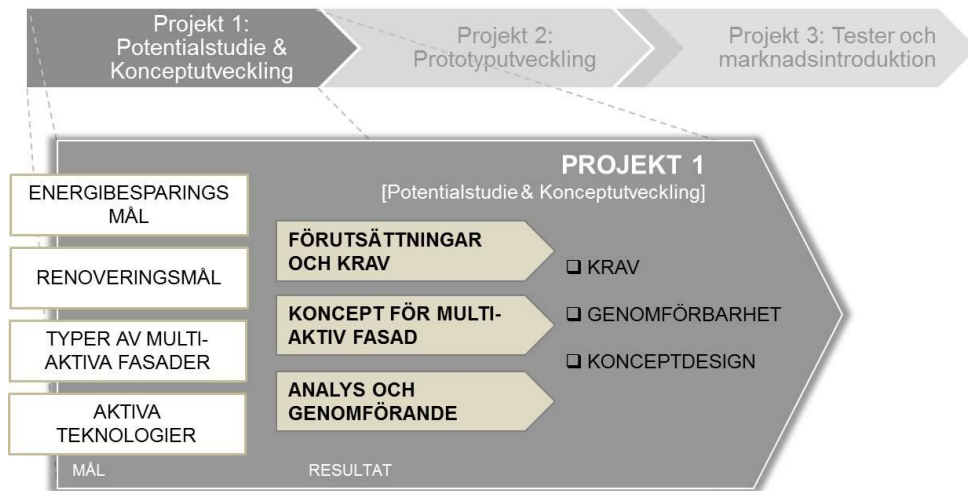


Figur 1: Princip bild för en prefabricerade multiaktiv fasad för renovering av flerbostadshus.

Som nämndes innan, det långsiktiga målet består i förverkligande och testning av det planerade multiaktiva fasadsystemet. För att uppnå detta har tre projekt definierats för att möjliggöra etapputvärderingar och kontroller mot verkligheten av genomförbarheten och framgången i systemutvecklingen. De tre projekten är:

- Projekt 1 (detta projekt, Figur 2): Förstudie och konceptutveckling;
- Projekt 2: Utveckling av prototyp;
- Projekt 3: Provning och marknadsintroduktion.

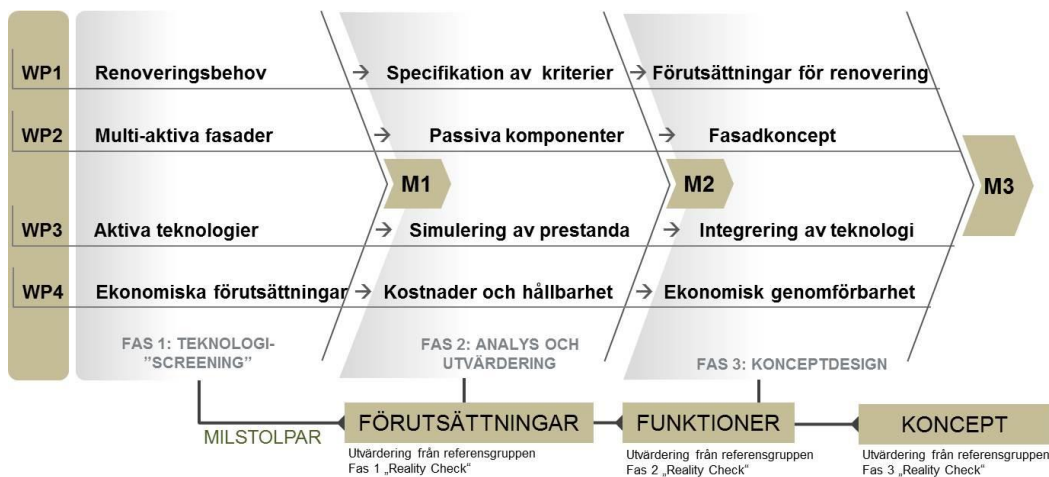
Detta tillvägagångssätt har beslutats efter möte med industriella och akademiska partners och medlemmar från referensgruppen. Fördelen med ett sådant tillvägagångssätt är att införa verklighetsavstämning av utvecklingen samt ha steg-för-steg genomförandefaser.



Figur 2: Metodiken som har använts i projektet var baserad på ovanstående modell.

Metodik och arbetspaket för Projekt 1

Genomförandet har bestått av sex arbetspaket (WP) som sker i tre utvecklingsfaser med tre milstolpar (M), se Figur 3 (WP5-6 är inte med i figuren).



Figur 3: Sammanställning av de olika faserna för WP 1-4 i projektet.

Fas 1: Teknikkartläggning som innebär 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 om huruvida identifierade potentiella koncept kan anpassas till svenska förhållanden blir den första fasen i projektet. Därefter definierades konkreta mål för en genomförbar plan för det svenska nya multi-aktiva fasadkonceptet. Det identifierade konceptet och förutsättningar har utvärderats av projekt- och referensgrupp. Utvärderingskriterierna omfattade kostnadseffektivitet, energieffektivitet, renoveringsprocessen, fasadteknik och energiproduktion.

Fas 2: Analys och utvärdering som innebär dynamiska energisimuleringar med simuleringsprogrammet IDA-ICE och ekonomiska utvärderingar som görs för att utarbeta ett beslutsunderlag för nästa steg. Lovande koncept som stämmer med de tidigare fastställda

målkriterierna valdes. Analyserna beaktade värmeförluster, konstruktion, kostnader, solenergiproduktion, ventilation, energiåtervinning, termisk komfort och uppvärmningsbehov. Syftet har varit att studera möjligheten att uppfylla energikraven enligt BBR24 och passivhuskraven.

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

Arbetspaketen utfördes enligt den tredje fasen som beskrivs ovan. Arbetspaket WP1 - WP4 fokuserade på specifika ämnen, medan WP5 fokuserade på resultatspridning och WP6 projektledning. I de olika arbetspaketen genomfördes en iterativ utvärderingsprocess för att möjliggöra samverkan och kunskapsutbyte mellan dem.

Utvalde beräkningsobjekt

Arbetet har fokuserats på miljonprogramshusen, eftersom de utgör en stor andel av det svenska beståndet av flerbostadshus. Dessutom är dessa hus ganska enhetligt konstruerade, har hög energianvändning och behöver renoveras av många anledningar.

Skivhus

Analyserna gjordes för ett representativt skivhus och ett lamellhus i och med att dessa hustyper täcker de flesta hustypen från den perioden. Husen är verkliga hus, och ett niovånings skivhus (se Figur 4), och ett trevånings lamellhus (se Figur 5). Skivhuset valdes för studier av passiva tekniker för att det är det svåraste alternativet med hänsyn på värmeförluster från tilluftskanaler placerade i tilläggsisoleringen av fasaden. Byggnaden byggdes 1963 och har 105 lägenheter. Byggnadens tekniska egenskaper som använt vid IDA-ICE simuleringarna redovisas i Tabell 1.



Figur 4: Exempel på skivhus (Foto Hadzimuratovic, A., Swedmark, M.)

Tabell 1: Indata för IDA-ICE för skivhus före renovering

Beskrivning	Data
Uppvärmd yta (A_{temp}), m ²	9235
Omslutningsarea, m ²	7311
Fönsterarea/väggarea, %	33
Formfaktor ($A_{omslutningsarea}/A_{temp} \cdot 100$), %	79
Lufttäthet, l/(s·m ²), hos klimatskalet vid 50 Pa tryckskillnad	0,4

Frånluftsflöde (konstant) med mekanisk frånluftsventilation, utan värmeåtervinning. Frånluft från kök och badrum, l/(s·m ²)	0,35 (krav enligt BBR)
Specific fan power (SFP) för frånluftsventilationen, kW/(m ³ /s)	1,5
Köldbryggor, %, av total transmissionsförlust (antagande)	20
Fastighetsel: fläktar, pumpar, belysning och annan utrustning, kWh/(m ² ·år)	8,7, 4,84, 2,68 and 1,18 respektive
Varmvatten, kWh/(m ² ·år)	25
Byggteknik	U-värde, W/(m²K)
Tak: betong 150 mm, 95 mm isolering, takpapp	0,48
Fasader: sandwichelement: Betong 120 mm, 100 mm isolering, lättbetong 60 mm	0,47
Grundmur: 120 mm betong	0,9
Grundläggning: 200 mm betong	0,31
Fönster & dörrar: tvåglas	2,4

Lamellhus

Lamellhuset (Figur 5) valdes för studier av aktiva tekniker. Byggnaden byggdes under miljonprogrammet och har 18 lägenheter. Byggnadens tekniska egenskaper redovisas i Tabell 2.



Figur 5: Exempel på lamellhus (Foto: Hadzimuratovic, A., Swedmark, M.)

Tabell 2: Indata för IDA-ICA för lamellhuset före renoveringen.

Beskrivning	Data
Uppvärmad yta (A_{temp}), m ²	2148
Formfaktor ($A_{omslutningsarea}/A_{temp} \cdot 100$), %	103
Lufttäthet, l/(s·m ²), hos klimatskalet vid 50 Pa tryckskillnad	0,4
Frånluftsflöde (konstant) med mekanisk frånluftsventilation, utan värmeåtervinning. Frånluft från kök och badrum, l/(s·m ²)	0,35 (krav enligt BBR)
Specific fan power (SFP) för frånluftsventilationen, kW/(m ³ /s)	1,85
Fastighetsel: fläktar, pumpar, belysning och annan utrustning, kWh/(m ² ·år)	8,2

Köldbryggor, %, av total transmissionsförlust (antagande)	20
Varmvatten, kWh/(m ² ·år)	25
Byggteknik	U-värde, W/(m²K)
Tak	0,23
Fasader	0,31
Grundmur	0,21
Grundläggning	0,39
Fönster & dörrar: tvåglas	2,4

RESULTAT

Flera av projektets resultat har redan presenterats och publicerats i olika form. Denna del av rapporten ger en sammanfattning av resultaten som uppnått. Följande publikationer har genomförts inom projektet:

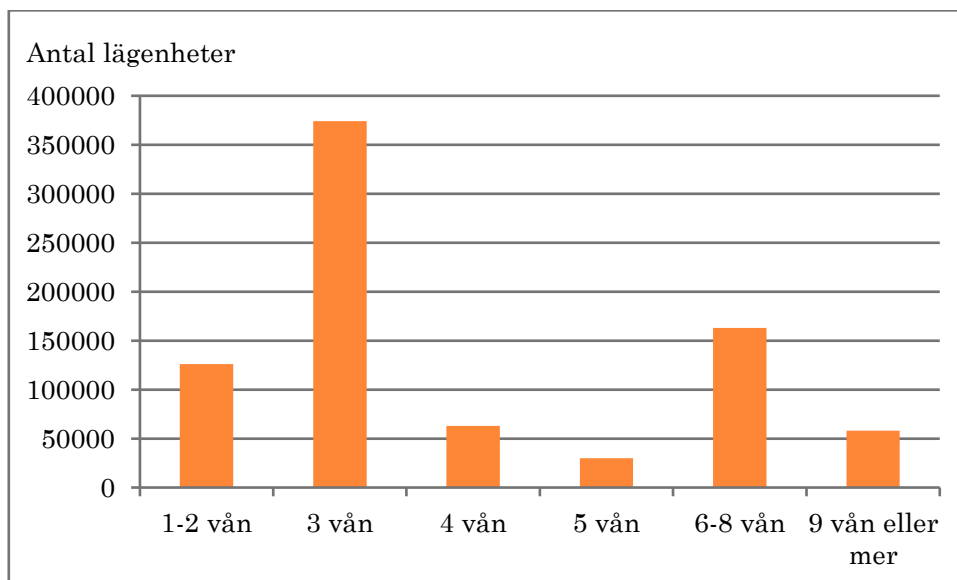
1. Bernardo, L.R., Hadzimuratovic, A., Swedmark, M., Burke, S., Nilsson, R., Ekström, T., Gosztanyi, S., Blomsterberg, Å., 2016, *Prefabricated multi-active façade elements for energy renovation of multi-family houses – A theoretical case-study in Sweden.*, 41st IAHS World Congress – Sustainability and Innovation for the future, Portugal, At:
2. 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, At:
http://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/publications/exjobb/16-1-web.pdf
3. 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, At:
http://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/publications/exjobb/16-2-web.pdf
4. Gosztanyi, S., Stefanowicz, M., Bernardo, R., Blomsterberg, Å., 2017, *Multi-active façade for Swedish multi-family homes renovation: Evaluating the potentials of passive design measures*. Power Skin i München 2017-01, At:
<https://journals.library.tudelft.nl/index.php/jfde/article/view/1425/1586>
5. 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, At: <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/8918616>
6. Gosztanyi, S., Stefanowicz, M., Bernardo, L.R., Blomsterberg, Å., 2017, *Multi-active facade for Swedish multi-family homes renovation – Evaluating the potentials of passive design measures.*, Journal of Facade design and Engineering, Vol 5, # 1, (Samma artikel som #4)
7. Blomsterberg, Å., Bernardo, R.: *Konceptutveckling av prefabricerade multifunktionella fasader för energirenovering av flerbostadshus*, Bygg & teknik 8/2017
8. 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

Utöver dessa kommer åtminstone en vetenskaplig artikel kommer att publiceras senare.

Utmärkande karaktärsdrag för miljonprogramshusen

När produktionen av bostäder under 1950-talets slut och 60-talets början stimulerades, reducerades arkitekturens variation genom en byggnadsteknik med ökad användning av prefabricerade element (Wahlström et. al., 2009). Under denna tidsperiod (ca 1960 – 1975) byggdes också många lamellhus, men med andra produktionsmetoder än tidigare. Taken var plana eller svagt sluttande. Husen var i två eller tre våningar. På 1970-talet byggdes också loftgångshus. Mot slutet av 70-talet återkom sadeltaket, som kan vara ganska brant och ha inredd vind.

I Sverige finns dag ca 800 000 lägenheter som byggdes under rekordåren 1961–1975. Av dessa ligger drygt hälften i de tre storstadslänen. Under tidsperioden producerades ca 300 000 lägenheter i 3-vånings lamellhus (se Figur 6). I slutet av perioden byggdes husen ofta källarlösa med platta direkt på mark. Ett typiskt vindsbjälklag består av 12 cm betong med 12 cm mineralull. Fönsterpartierna kan ha separat ventilationsbåge på sidan (vädringslucka). Ytterväggar är vanligen lätta och icke-bärande, uppbyggda med 4,5 x 9,5 cm regler med mellanliggande värmeisolering av mineralull. Fasaden kan på utsidan ha ½-stens fasadtegel och på insidan gipsskivor. Bärande mellanväggar består av 16 cm betong. Rumshöjden är 2,5 m. Våningsbjälklagen består av 16 cm betong. Taken är ofta platta, med invändig avvattning.



Figur 6: Antal uppförda lägenheter 1961–1975 med olika antal våningsplan (Boverket 2003).

Under 60-talet byggdes inte bara lamellhus, utan också skivhus och punkthus. Skivhusen byggdes ofta i en höjd av 8 – 9 våningar. Takkonstruktionen byggdes med ett svagt fall. Mellanväggarna är bärande av 15 cm betong. Punkthusen kan variera i höjd upp till 16 våningar. De har byggnadstekniskt och formmässigt ofta individuella lösningar. Bärande ytterväggar kan vara av platsgjuten betong med utvändigt isolering av lättbetong eller murad av lättbetongblock. Bärande mellanväggar är ofta av 20 cm betong i de nedre våningarna och 1-stens tegel i de övre våningarna. Taken är ofta platta.

Slutligen under 70-talet kom också elementbyggda lamellhus. Fasaderna består av bärande sandwichelement. Tvärgående mellanväggselement är också bärande. Fasaden är isolerad med 14 cm cellplast. Fönster kan vara av treglastyp. Under 60-talet byggdes inte bara lamellhus, utan skivhus och punkthus. Skivhusen byggdes ofta i en höjd av 8 – 9 våningar. Takkonstruktionen är med ett svagt fall. Ytterväggar är utförda av 15 cm lättbetong som motgjutits med 15 cm betong. Våningsbjälklagen av 15 cm betong täckt med 3 cm mineralull, 5 cm sand, 5 cm överbetong och

linoleum. Mellanväggarna är bärande av 15 cm betong. Skivhusen kan även ha förtillverkade fasadelement. Hela skivhuset kan också vara ett elementbygge.

Punkthusen kan variera i höjd upp till 16 våningar (se Tabell 3). De har byggnadstekniskt och formmässigt ofta individuella lösningar. Bärande ytterväggar kan vara av platsgjuten betong med utvändig isolering av lättbetong eller murad av lättbetongblock. Bärande mellanväggar är ofta av 20 cm betong i de nedre våningarna och 1-stens tegel i de övre våningarna. Taken är ofta platta.

Tabell 3: Byggnadsteknik för flerbostadshus uppförda 1961 – 1980.

	Lamellhus	Skivhus	Punkthus
Byggnadsteknik	Ökad användning av prefabricerade element	Ökad användning av prefabricerade element. Hela huset kan också vara ett elementbygge.	Ökad användning av prefabricerade element
Tak	Plana eller svagt lutande	Ofta platta	Ofta platta
Vindsbjälklag	12 cm betong + 12 cm mineralull		
Grundläggning	Källare eller platta på mark		
Ytterväggar	Vanligen lätta och icke-bärande med 9,5 cm mineralull och ev. fasadtegel. Under 70-talet kom elementbyggda av bärande sandwichelement.	Platsgjuten betong med utvändig isolering av lättbetong eller murad av lättbetong-block. Under 70-talet kom förtillverkade fasadelement.	Platsgjuten betong med utvändig isolering av lättbetong eller murad av lättbetongblock
Mellanväggar	Bärande av 16 cm betong	Bärande av 20 cm betong i de nedre våningarna och 1-stens tegel i de övre våningarna	Bärande av 20 cm betong i de nedre våningarna och 1-stens tegel i de övre våningarna
Våningsbjälklag	16 cm betong	Betong	Betong
Antal våningar	2-3	8 – 9	Upp till 16

För ytterväggar är det genomsnittliga U-värdet 0,41 W/(m²·K) (se Tabell 4 och Tabell 5) (Boverket 2010). Det högsta U-värdet har hus byggda före 1975, då en ny byggnorm gavs ut med U-värdeskrav. Den största arean för ytterväggar finns i hus byggda före 1960, men även arean för hus byggda 1961-75 är betydande. UA-värdet för ytterväggar har beräknats för det svenska flerbostadshusbeståndet till 49,3 miljoner W/K, varav 13,1 miljoner W/K gäller hus byggda 1961-75.

Tabell 4: Genomsnittliga U-värden, areor och det totala UA-värdet för ytterväggar för det svenska flerbostadshusbeståndet (Boverket 2010).

Byggår	U-värde, W/(m ² ·K)		Area miljoner m ²		UA, miljoner W/K	
-60	0,58	±0,07	48,4	±17	28,3	±5,7
61-75	0,41	±0,07	31,8	±5,1	13,1	±3,4
76-85	0,33	±0,17	7,5	±2,7	2,5	±1,5
86-95	0,22	±0,03	17,9	±1,3	3,9	±1,7
96-05	0,20	±0,05	6,8	±0,7	1,3	±0,7
Medel-/summa	0,44	±0,05	112,5	±21,2	49,2	±8,5

Tabell 5: U-värden för ytterväggar, befintligt och rekommendationer/krav. TURIK = BeBo:s teknikupphandling av rationell isolering av klimatskärmen.

Byggår	U-värde, W/(m ² ·K)			
	Befintligt	BBR-”krav” vid renovering	BeBo godhetstal (BeBo 2013)	TURIK (Mjörnell 2011)
61-75	0,41	0,18	0,13	0,10 – 0,15
76-85	0,33	0,18	0,13	0,10 – 0,15

Dessa flerbostadshus ventileras framförallt med mekanisk frånluft, ca 60 % enligt en undersökning avrapporterad i ELIB (1993) eller 70 % avrapporterad av Boverket (2010) (se Tabell 6, Tabell 7 och Tabell 8). Omräknat till uppvärmd area motsvarar detta ca 20 miljoner m² eller 280 000 lägenheter (se Tabell 9 och Tabell 10). En del av dessa flerbostadshus har förmodligen renoverats och därmed fått en uppgradering av fläktarna. En del av flerbostadshusen med självdrag har förmodligen renoverats och därmed fått en uppgradering av ventilationssystemet till s.k. förstärkt självdrag. Eftersom många av husen hade i det närmaste platta tak dvs. inget vindsutrymme att tala om, så placerades ofta frånluftsfläktarna ute på taket i takhuvar med direktdrift av fläkthjulet (Orestål 1996). Springventiler, som uteluftsdon, ansågs vara ”urmodiga” framförallt ur designsynpunkt. De ersattes därför ofta av vädringsfönster och vädringsluckor. Ventilationskanalernas mått skulle helst minskas jämfört med 50-talet för att utöka uthyrningsbar yta. De olika våningsplanen kopplades samman, vilket innebar att alla kanaler från kök drogs samman till en kanal och på samma sätt drogs alla kanaler från badrum samman. Runda spiralfalsade kanaler började tillverkas. ”I början av 60-talet läckte kanalerna i genomsnitt ca 30 % av tillförd luft. Med bättre packningsmaterial och noggrannare montage har läckaget i nyare kanaler kunnat nedbringas till dagens 2 – 10 % i läckluftflöde.” (Orestål, 1996, s. 89)

Tabell 6: Sammanfattande beskrivning av frånluftssystem i flerbostadshus uppförda 1961 – 1975.

Fläktplacering	Ofta ute på taket
Uteluftsdon	Ofta vädringsfönster och vädringsluckor
Kanaldragning	Alla kanaler från kök drogs samman till en kanal och på samma sätt drogs alla kanaler från badrum samman
Lufttätet kanaler	I början av 60-talet 30 % av luftflödet

Tabell 7: Ventilationssystem i flerbostadshus i Sverige för olika tidsperioder, % av uppvärmd area (ELIB 1993, Boverket 2010). Värdena för perioden efter 1989 är en kvalificerad gissning.

% av area enl. ELIB1993 (Boverket 2010)	Självdrag	F	FT
–1940	76	22	2
1941–1960	88	10	2
1961–1975	38	58 (72)	4 (13)
1976–1989	6	54 (58)	40 (30)
1990–2000	0	80	20
2001–2006	0	70	30
2006–	49	41	11

Tabell 8: Ventilationssystem i flerbostadshus i Stockholm, % av (Engvall 2003)

% av	Självdrag	F	FT	Hybridventilationssystem
–1930	74	20	3	3
1931–1960	61	38	1	0
1961–1975	7	71	20	2
1976–1984	0	36	64	0
1985–1990	0	76	21	3
1990–	49	41	7	2

Tabell 9: Ventilationssystem i flerbostadshus i Sverige, miljoner m² (ELIB 1993 och SCB 2007). Värdena för perioden efter 1989 är en kvalificerad gissning.

milj. m ²	Självdrag	F	FT
–1940	23,0	6,7	0,6
1941–1960	37,6	4,3	0,9
1961–1975	20,5	31,3	2,2
1976–1989	1,7	15,2	11,3
1990–2000	0,0	9,1	2,3
2001–2006	0,0	2,4	1,0
2006–	82,8	69,0	18,2

Tabell 10: Ventilationssystem i flerbostadshus i Sverige, antal lägenheter (ELIB 1993 och SCB 2007). Värdena för perioden efter 1989 är en kvalificerad gissning.

Antal lgh, tusental	Självdrag	F	FT
–1940	290,3	84,0	7,6
1941–1960	568,5	64,6	12,9
1961–1975	280,8	428,6	29,6
1976–1989	21,5	193,3	143,2
1990–2000	0,0	112,0	28,0
2001–2006	0,0	31,5	13,5
2006–	1161,1	914,1	234,8

En period under 60-talet premierades FT-system även i bostäder. Dessa system hade ofta något slag av fläktrum på taket. Värmebatteri för förvärmning av luften ingick. Ventilationsanläggningarna på 60-talet möjliggjorde sällan mätningar av luftflöden trots kravet på detta.

Många flerbostadshus har ändrat sin uppvärmningssätt sedan de byggdes. Enligt SCB (2018, s.76 Tabell 3.1.3) hade nyproducerat flerbostadshus från 1975 bara 39 % fjärrvärme och 53 % olja (med 1 % el och 1 % övriga uppvärmningssätt). Det ändrade sig på grund av oljekrisen och vid 2002 hade flerbostadshus byggda mellan 1961–1970 ca 83 % fjärrvärme och 4 % olje. Den dominerande värmeförsörjningen i flerbostadshus är numera fjärrvärme (Boverket 2010), i 81 % av alla flerbostadshus (andel uppvärmd golvarea) (se Tabell 11). Den åldersklass som har högst andel fjärrvärme är husen byggda 1961–75, där 93 % har fjärrvärme.

Tabell 11: Andel av uppvärmd golvarea med värmeförsörjning av olika typer i flerbostadshus.

Åldersklass	Olja/Gas	Elvärme	Värmepump	Frånlufts- värmepump	Biobränsle	Fjärr- värme	El inkl. el i vp & fvp
-60	0,06	0,03	0,10		0,01	0,79	0,06
61–75	0,01		0,02	0,02		0,93	0,02
76–85	0,01	0,10	0,02	0,02	0,01	0,84	0,51
86–95	0,17	0,13	0,05	0,07		0,58	0,17
96–05		0,15	0,01	0,07		0,76	0,18
Totalt	0,06	0,05	0,06	0,02	0,01	0,81	0,07

Det dominerande värmedistributionssystemet är vattenburen värme, nästan 100 % för husen byggda 1961–75 (Boverket 2010) (se Tabell 12). Detta torde innebära nästan uteslutande varmvattenradiatorer. Dessa radiatorer är vanligen försedda med termostatventiler (Boverket 2010).

Tabell 12: Andel av A_{temp} i flerbostadshus med en viss typ av värmedistributionssystem.

Åldersklass	-60	61–75	76–85	86–95	96–05	Totalt
Direkt el, %	4,0	2,5	10,0	2,5	4,0	2,5
Luftburen, %	1,0	1,0	5,0	10,0	4,0	3,0
Vattenburen, %	95,0	96,5	85,0	87,5	92,0	94,5

Renoveringspotential för en prefabricerat multiaktivfasadlösning i miljonprogramshuset

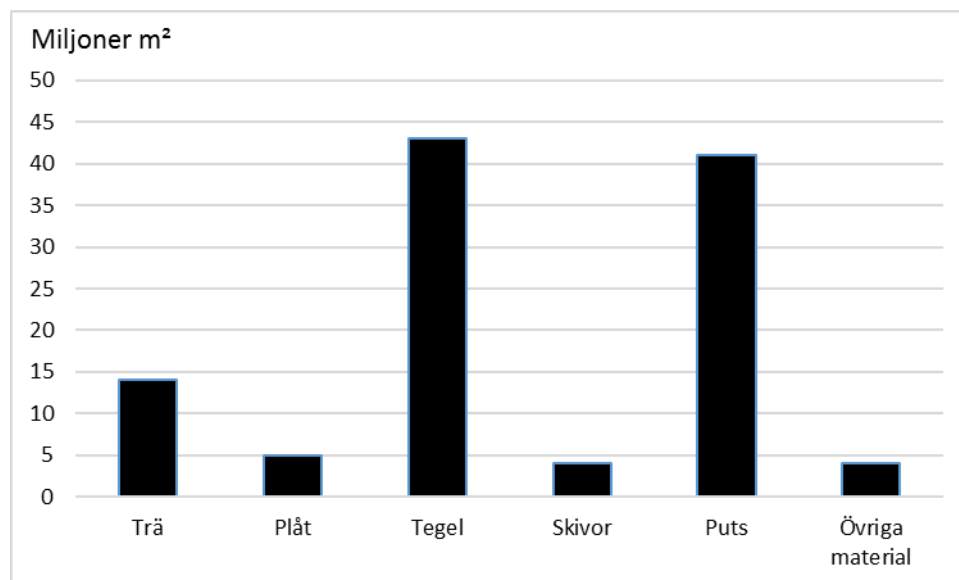
Lindqvist et al. 2013 fick uppdraget att göra en omfattande studie av renoveringsbehovet inom miljonprogrammet. I deras rapport ”Miljonprogrammet – Förutsättningar och möjligheter” finns sammanställda data från olika källor inklusive intervjuer med olika fastighetsägare. På sidorna 14–15 i deras rapport beskrivs begränsningarna i studien. Detta kapitel är till stor del baserat på information hämtad från den rapporten.

Enligt BETSI-studien (Boverket, 2010) finns det ca 1,8 miljoner lägenheter som är byggda 1975 eller tidigare. I studien anses miljonprogrammet ligga inom åren 1961–1975 och det uppges att ca 775 000 lägenheter byggdes under perioden. Å andra sidan anger Lindqvist et al. 2013 att det finns totalt ca 922 000 lägenheter som byggdes mellan 1962–1975. Boverket skriver att deras källa är SCB, men det framgår inte varifrån Lindqvist hämtar sina siffror.

Byggtekniska förutsättningar

Val av renoveringsmetod beror på vilken typ av fasadmateriel det finns på flerbostadshusen. Det är därför intressant att titta på fasadytan för att uppskatta potentialen för ett multiaktivt fasadsystem. Varje byggnadstyp innebär dessutom att olika strategier för energieffektivisering är lämpliga.

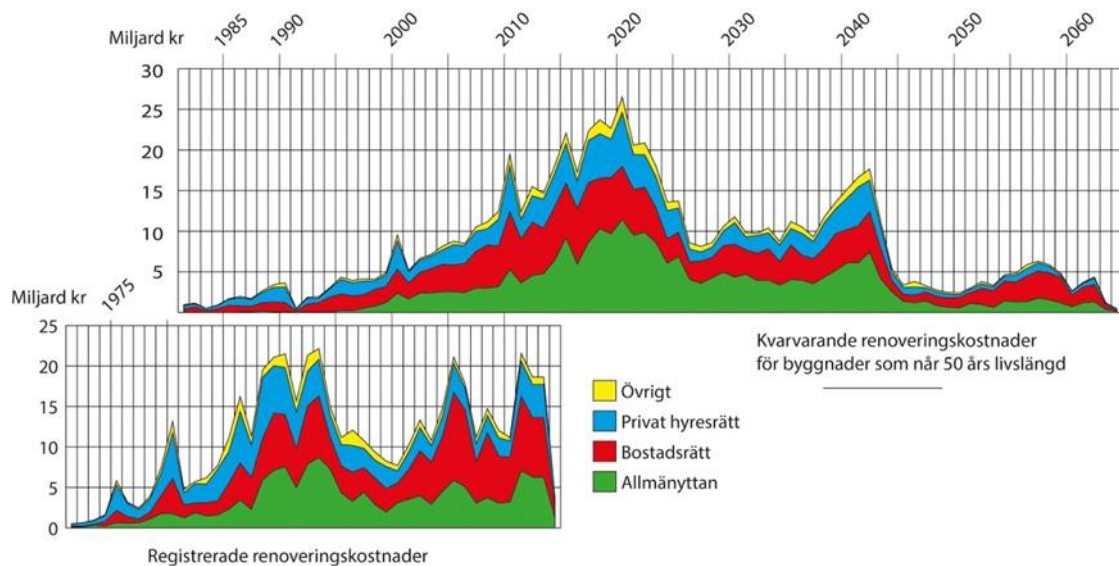
En multiaktiv fasadlösning är mest tillämpligt på ett hus med en större fasadyta. Två fasadtyper dominerar när det gäller flerbostadshus, tegel och puts (se Figur 7). Fasadtyperna kräver olika lösningar om man ska montera en multiaktivfasad.



Figur 7: Olika fasadtyper på flerbostadshus. (Boverket, 2010b s. 29)

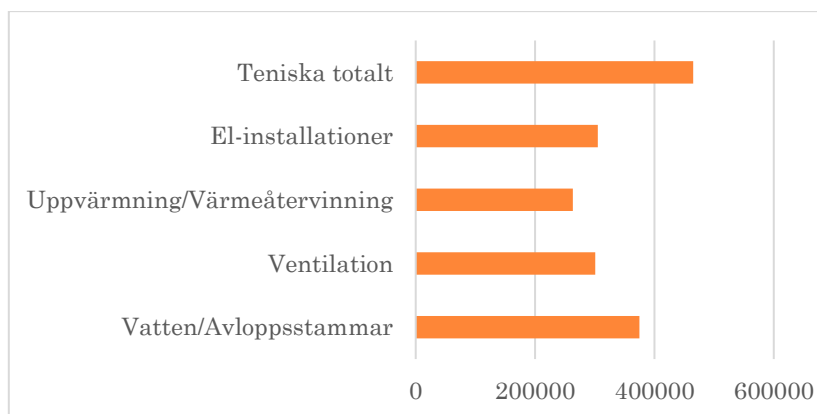
Fram till 2013, har ca 264 000 lägenheter renoverats. Det är ca 30 % av miljonprogrammet, men det är okänt hur många som samtidigt har gjort energieffektiviseringar. Det innebär att det finns potentiellt 658 000 lägenheter kvar som är i behov av renovering. Om man exkludera lägenheterna som ligger i ett område med svag marknad, d.v.s. där renoveringen inte är ekonomisk lönsam, blir det potentiellt 613 000 lägenheter som kan renoveras på ett kostnadseffektivt sätt. (Lindqvist et al. 2013)

Enligt Johansson och Mangold (2018) kan ett framtida scenario för renoveringskostnaderna för miljonprogrammet vara som i Figur 8. Som framgår att figuren, när man jämför prognosen med vad som faktiskt har renoverats så har vi en "renoveringsskuld" som varar fram till ca 2045.



Figur 8: Jämförelse av tidigare registrerade renoveringskostnader och förutsedda kostnader för renovering och energieffektivisering vid lägre energieffektivisering och renoveringsambitioner (Johansson och Mangold 2018).

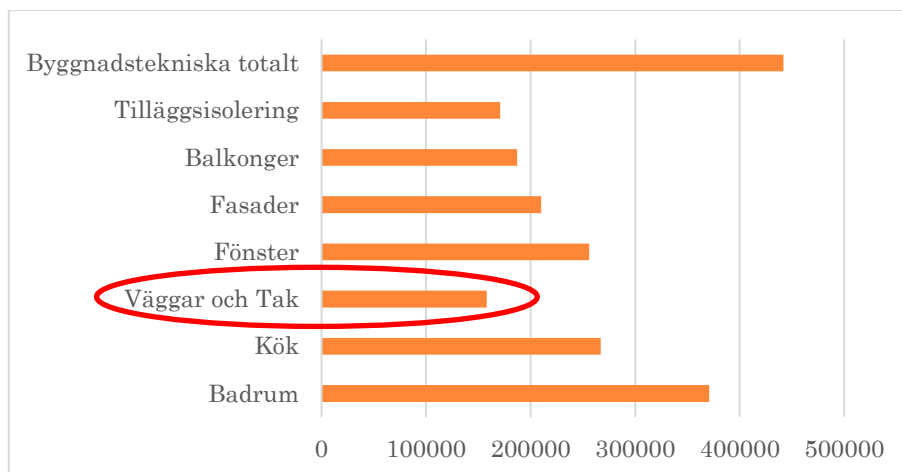
I dagsläget, är det mest tekniska åtgärder som vatten/avlopp, ventilation, uppvärmningssystem och el, som behöver göras (se Figur 9). I sådana fall behöver renoveringen inte uppfylla nybyggnadskrav för energi eller handikappanpassning, se kapitel "Nybyggnadskrav eller inte?".



Figur 9: Potentiell ekonomiska lönsamt tekniska renoveringar (Lindqvist, o.a., 2013, s. 31).

Potentiell marknad för multiaktiva fasadelement

Det är nästan lika många lägenheter som är i behov av byggtekniska renoveringar som är i behov av installationstekniska renoveringar. Figur 10 visar att, av det totala byggtekniska renoveringsbehovet, ca 36 % är i behov av nya väggar och tak. Man kan tolka det som den största potentiella marknaden för en multiaktiv fasadelements lösning men det är kanske inte hela potentialen. Det finns även fönster och fasade renoveringar som behövs. I vissa fall det kan vara kostnadseffektivt att lägga till en multiaktivfasad som en åtgärd. Kostnaden för att byta fönster och renovera fasader är ganska hög även när man inte tar hänsyn till energibesparande åtgärder. Att lägga till extra isolering samt andra lösningar kommer troligtvis inte medföra en allt för hög merkostnad då den största kostnaden är att bygga om fasaden till originalskick.



Figur 10: Potentiell ekonomiska lönsamma byggtkniska renoveringar (Lindqvist, o.a., 2013, s. 31).

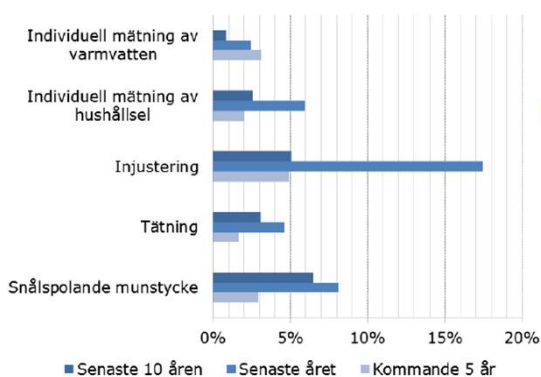
Kostnadseffektiva åtgärder

Oftast så är en kostnadseffektiv renovering starkt kopplad till statusen på den aktuella byggnaden. En byggnad som har låg status och är i behov av upprustning har också lättare för att motivera en mer omfattande renovering. Figur 11 visar vilka åtgärder som har varit populärast de senaste åren, samt vilka av dessa som är mindre kostsamma (vänster) och de som är mer kostsamma (höger) (Lindqvist et al. 2013). Att nå kostnadseffektiva för energibesparande åtgärder gör man oftast bara om man ändå måste byta ut en del av byggnaden. Ett exempel på byggnadsdel som bytas ut ungefär vart 25 år är fönster, som brukar bytas ut på grund av slitage eller att bristande funktion. När fönstrena ändå ska bytas ut så är det vettigt att överväga vilka fönster som skulle i det långa loppet vara billigast att välja, vilket leder till att många väljer att installera moderna fönster med låga U-värden. En fasad däremot bytas väldigt sällan och i vissa fall (när fasaden har ett kulturellt värde) kanske aldrig, därför är det mycket svårare att motivera en tilläggsisolering av fasaden, eftersom det är mycket enklare att underhålla den befintliga fasaden så den bibehåller ett fungerande skick.

Energibesparande åtgärder per åtgärdstyp

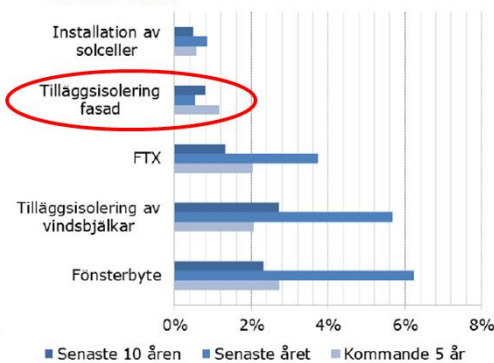
Mindre kostsamma energibesparande åtgärder:

Framförallt är det injustering, snålspolande munstycken och individuell mätning av hushållsel som genomförts under de senaste året och prioriteras i de renoveringsplaner som finns.



Mer kostsamma energibesparande åtgärder:

Det som framförallt prioriterats senaste året och i hög grad finns i företagens planer är fönsterbyten. Tilläggsisolering av vindbjälkslag tycks däremot minska i planerna medan fasadisolering och värmeåtervinning (FTX) väntas öka.



© PROGNOSCENRET OKTOBER 2013

48

Figur 11: De mest populära åtgärdstyper (Lindqvist, o.a., s. 48).

Beställarens krav

En väsentlig faktor när man utvärderar en multiaktiv fasadlösning är följaktligen anledningarna till varför en fastighetsägare beslutar sig för att renovera. Nedanstående anledningar visar när en teknisk lösning är motiverad eller inte.

Användning av fastighet

Vilken typ av användning som fastigheten har spelar i detta sammanhang inte så stor roll eftersom referensbyggnaderna är för boende. I vissa fall kan nedersta planet ändras från boende till kommersiella lokaler och i andra fall vice versa. I de allra flesta fall kommer den faktiska användningen av byggnaderna förbli densamma. Detta är väsentligt eftersom det avgör hur mycket av byggnormerna som är relevant för renoveringen. Om fastighetsägaren beslutar sig för att ändra användningen av delar av fastighetens yta kan det innebära att byggnadslov krävs som i sin tur kan innebära att den renoverade byggnaden måste uppfylla nybyggnadskraven. Vid ett sådant scenario kan en multiaktiv fasad vara en möjlig lösning för att uppfylla dess krav, i alla fall när det kommer till byggnadens klimatskal och energiförbrukning.

Skulle fastighetsägaren kräva att de boende ska bo kvar under renoveringen är detta en väsentlig faktor eftersom det påverkar projektets komplexitet. Det skulle innebära ett antal tekniska utmaningar som begränsar antalet tillgängliga lösningar för renoveringen. Om det kommer finnas kvarboende under renoveringen bör genomförandet minimeras så att det inte påverkar de boendes liv. Om en ny fasad behövs kan en prefabricerad multiaktiv fasad lösa detta problem om den kan monteras på utsidan av existerande fasad. Om den existerande fasaden är i så dåligt skick att den måste bytas ut, är det troligen enklast att låta de boende bo någon annanstans under renoveringens mest intensiva skede.

Anledning till renovering

En fastighetsägare har alltid en anledning eller ett mål med renoveringen. Målet påverkar också vilka tekniska lösningar som är applicerbara. Vissa fastighetsägare har ett långsiktigt perspektiv medan andra har ett kortsiktigt perspektiv vilket leder till olika val.

Ägaren eller företaget kan ha en särskild profil som de är måna om att vårda och behålla. Det kan, till exempel, vara så att fastighetsägaren vill spara pengar under driften, rusta upp området, förbättra standarden, attrahera andra typer av kunder, eller reparera komponenter som är sönder. Detta innebär ofta att de kan acceptera en längre återbetalningstid om renoveringen innebär en förlängd livslängd för byggnaden, minskar driftskostnaderna, ökar hyresintäkterna och minskar omsättningen av hyresgäster.

Fastighetsägare som har kortsiktiga mål med renoveringen vill vanligtvis endast återställa funktionalitet till byggnaden. De är också intresserade av att maximera det ökade värdet och väljer det mest kostnadseffektiva sättet att återställa funktionalitet och öka värdet på fastigheten för att fastigheten ska kunna säljas igen efter att funktionen säkerställs. Det ökade värdet för ett objekt kan åstadkommas genom strategiska renoveringar så som nya kök och badrum. I Sverige är hyresnivåerna reglerade enligt bruksvärdessystemet. Det innebär att "En lägenhets bruksvärde bestäms bland annat av dess storlek, modernitetsgrad, planlösning, läge inom huset, reparationsstandard och ljudisolering. Exempel på faktorer som inte ska ha betydelse för bruksvärdet är byggnadsår samt produktions-, drift-, och förvaltningskostnader" (Löfven, 2018 s. 16) I praktiken det betyder att en renovering av kök och badrum påverka den så kallat modernitetsgrad och reparationsstandard, vilket är de två lättaste faktorerna man kan påverka vid en renovering.

I båda fallen kan multiaktiva fasader vara ett attraktivt alternativ, dock måste den tilltänkta renoveringen inkludera arbete på ytterfasaden. Om ytterväggens fasad är i tillräckligt bra skick

finns andra mer kostnadseffektiva åtgärder som kan göras. Det beror i huvudsak på byggreglerna som har fokus på köpt energi snarare än energibehov, se mer om detta i avsnitt Energihushållning.

Lokala förhållanden

En multiaktivfasads kostnadseffektivitet kommer att variera beroende på var den är i landet. Kostnaderna påverkas inte så mycket av var i landet byggnaden befinner sig, men värdet av byggnaden påverkas stort. En tre-vånings miljonprogramshus är värt mycket mer i ett centralt område jämfört med utanför centrum. Det kan innebära att ett renoveringspaket som fungerar i storstan inte är lönsamt i mindre orter. Men, precis som tidigare så beror det på vad fastighetsägaren önskar.

Typ av ägarskap kan påverka vilken lösning man kan välja. Enligt Byman (2013), det finns flera saker som både underlättar och försvårar energieffektiviseringar och det är olika beroende på ägarformen. Det som underlättar bostadsrätter är:

- ”De boende förvaltar gemensamt sin byggnad, vilket kan leda till ett stort engagemang i underhålls- och energiåtgärder.
- Bostadsrättsföreningar är inte vinstdrivande och skulle därför kunna godkänna lägre kalkylräntor vid lönsamhetsbedömningar.
- Avgifterna styrs av gemensamma beslut och inte genom reglering”. (Byman, 2013, s. 14)

Det som försvårar för bostadsrätter är:

- ”I hus med stor omsättning av bostadsrätter saknas incitament för en långsiktig förvaltning.
- Många bostadsrätter är små och högt belånade, vilket minskar tillgången till kapital för energiinvesteringar.
- Föreningar har sällan egen driftsorganisation och saknar intern energikompetens.” (Byman, 2013, s.14.)

Beroende på vilket intresse de olika personerna i bostadsrättsförening har, kan renoveringen ha olika syfte. En bostadsrättsföreningsgrupp kan vara fokuserad på att minimera driftskostnader medan en annan kan vara mer fokuserad på trivsel eller miljöpåverkan. Försättningarna för renovering kommer att variera mycket mellan olika byggnader och föreningar.

Enligt Byman (2013), har oftast ett privat fastighetsbolag intern kompetens inom drifts- och energifrågor. Det som kan försvåra för energieffektiviserande renovering är enligt Byman (2013) att privata fastighetsbolag oftast har krav på lönsamma investeringar. Dessutom är det svårt att motivera en hyreshöjning som kompensation för förbättrande energiåtgärder eftersom detta, för tillfället, inte anses påverka hyresgästens bruksvärde positivt.

En annan typ av ägare är allmännyttiga bostadsbolag. Enligt Byman (2013) så har ett kommunalt fastighetsbolag samma hinder för energieffektivisering som privata bostadsbolag, d.v.s. att de har ett krav på lönsamma investeringar och är också begränsade av gällande lagar för hyresrätter. Det som kan underlättas en energieffektivisering är att det brukas finnas energikompetensen internt i bolaget, kommunen har även ett samhällsansvar som ägare. Om fastigheten är kommunalt ägd kan det var mer fokus på trivsel (inomhusmiljö), och hur folk mår av sitt hus. Trivsel är viktigt för långsiktiga ägare för att det är en signifikant kostnad om mycket folk flyttar. Kostnader som uppstår är i form av förlorad hyra när lägenheten står tom, resurser för att hitta nya hyresgäster och även resurser för renoveringen och målning av lägenhet innan en ny hyresgäst flyttar in, vill man gärna minimera. Kommunala bostadsbolag planerar att äga byggnaden långsiktigt och därför är intresserade av långsiktiga lösningar som är kostnadseffektiva.

Förordningar

Den svenska byggnormen är baserad på byggnadens prestanda. Den anger att byggnaden måste uppfylla specifika krav på sin prestanda, men den definierar inte hur huset skall utformas för att prestandan ska uppfyllas.

Det bästa exemplet från de svenska byggnormerna på detta hittas i energikapitlet, 9 – Energi, BBR. Energikapitlet anger att byggnader ska byggas så att de uppfyller kraven på:

1. maximal specifik/primär energianvändning per m² uppvärmd golvarea
2. maximalt U-medelvärde (inkluderat linjära och punktformiga köldbryggor)
3. maximalt värde för lufttätheten @ 50 Pa (enligt EN-ISO 9972:2006 eller likvärdigt) är dels för att uppfylla energikravet och dels inte orsaka fuktskador
4. och om det finns installerad eluppvärmning finns maximalt värde för installerad effekt (BFS 2015, 9:2)

Det finns även små variationer i kraven. Ett exempel på detta kan man hitta för kraven om installerad eleffekt. Upp till 130 m² A_{temp} är det ett fixt värde. Över denna yta tillåts den installerade effekten öka enligt ekvationer som tar hänsyn till faktisk A_{temp} och klimatzon. Ett annat exempel är tillägg på energikravet på grund av hygieniska skäl. Byggnormerna innehåller också ett krav på att energianvändningen i byggnaden ska kunna verifieras två år efter att den togs i bruk. (BFS 2015, 9:7 Mätssystem för energianvändning)

Nybyggnadskrav eller inte?

En viktig del av en renoveringsprocess är svaret på frågan; Vilket regelverk måste projektet uppfylla? En mindre renovering ska bara uppfylla reglerna som gällde när byggnaden uppfördes. En större renovering, definierat som omfattande renovering enligt BBR, innebär att projektet delvis eller helt måste uppfylla dagens nybyggnadskrav. Elisabeth Helsing har publicerat en rapport på www.renoveringscentrum.lth.se som heter "Lagar och regler vid renovering – en översikt" (2016) och handlar om vilket krav som gäller vid en större renovering. Slutsatsen från Helsing (2016) är att regelverket ganska bra beskriver vilket krav som gäller för en omfattande renovering. Vissa regler gäller alltid medan andra regler är flexibla så att till exempel de kulturhistoriska egenskaperna inte riskeras.

Dock saknar BBR en tydlig definition för vad en omfattande renovering är. De kommande två avsnitten diskuterar om en renovering med en multiaktivfasad lösning är tillräckligt omfattande för att räknas som en omfattande renovering. Om en multiaktivfasad renovering räknas som en omfattande renovering så måste byggnaden efter renovering uppfylla diverse olika nybyggnadskrav, om en multiaktivfasad renovering inte räknas som en omfattande renovering behöver byggnaden inte uppfylla dessa krav efter renovering.

Plan- och bygglagen, PBL

PBL tar upp svårigheten med att kategorisera en åtgärd som en ändring eller som en ombyggnad. Ombyggnadsbegrepp har huvudsakligen betydelse för vilka delar av byggnaden som det ställs krav på. Vid ändring ställs normalt krav enbart på den ändrade delen, men vid ombyggnad ställs krav på hela byggnaden, eller om det inte är rimligt på den betydande och avgränsbara delen som förnyas.

Om man som byggherre är osäker på om ens ändring skall anses som ombyggnad eller inte kan det begäras villkorsbesked från kommunen som då redovisar sin bedömning om åtgärderna är en ombyggnad eller inte.

Boverkets byggregler, BBR 24

BBR:s definition av en omfattande renovering utvecklas mer jämfört med tidigare byggregler men är fortfarande svårtolkad och diffus. Där finns inget konkret svar på vad det innebär. I kapitel 1:22 i BBR tas omfattning först upp i sammanhanget kring ändring av användning i byggnaden. Det står:

”Vid ändring av byggnader gäller reglerna i avsnitt 1 och 2 i tillämpliga delar samt de delar av avsnitt 3–9 som står under rubrikerna ”Krav vid ändring av byggnader”.

De delar av avsnitt 3–9 som står under rubrikerna ”Definitioner” och Tillämpningsområde” gäller även de vid ändring av byggnader. (BFS 2011:26).” BBR 2016, s.2.

Allmänt råd i BBR förtydligar kravet ovan:

”Kraven för nya byggnader är aldrig direkt tillämpliga vid ändring. Däremot kan man ofta få en viss ledning av dessa då man ska bedöma innebörden av motsvarande krav vid ändring. Vid ändring kan dock kraven ofta tillgodoses genom andra lösningar än vid uppförandet av nya byggnader. (BFS 2016:6).”, BBR 2016, s.2.

Det innebär att renoveringen inte behöver uppfylla alla nybyggnadskrav om man kan redovisa orsaken till varför ett visst krav ska bortses. Enligt BBR 1:223, bör byggherren redovisa skälen för anpassningen senaste vid det tekniska samrådet. Om man ändrar användning av en del, då måste man ”beakta de utformningskrav och tekniska egenskapskrav som är relevanta för den nya användningen” BBR 2016 s, 4.

Enligt BBR 1:2234, gäller vid tillbyggnad nybyggnadskrav för tillbyggnaden.

I BBR 24:s definition (BBR 1:2242) nedan, försöker man tydligare definiera när en ombyggnation ska uppfylla nybyggnadskrav. Dock finns lydelsen ”medföra en stor ekonomisk investering” fortfarande kvar, ett begrepp som inte är definierat. En studie från Boverket visar att olika kommuner har olika bedömnings sätt. Det finns kommuner som sätter en gräns på 25 % av värdet för att nybygga motsvarande byggnad i dagens läge. Överstiger ombyggnadskostnaden detta värde, då gäller nybyggnadsreglerna. Andra kommuner tittar på vad som ska göras i renoveringen och bedömer utifrån detta huruvida nybyggnadsreglerna ska tillämpas. (Boverket 2014, s. 30.)

Om renoveringen handlar om att byta fasaden, då gäller 1:224 i BBR som står:

”1:224 Ombyggnad

1:2241 Betydande och avgränsbar del

Med avgränsbar del avses en funktionell enhet av byggnadens volym.

Med betydande och avgränsbar del avses en eller flera funktionella enheter som tillsammans utgör en betydande del av byggnadens volym.

Allmänt råd

Med funktionell enhet avses till exempel en bostad eller en lokal.

Exempel på en betydande och avgränsbar del kan vara

- ett trapphus med omkringliggande lägenheter,*
- samtliga lägenheter på ett våningsplan, eller*

– en hel råvind.

En åtgärd som endast berör en begränsad del av en byggnad omfattar normalt inte en funktionell enhet av byggnadens volym. Exempel på sådana åtgärder är

– byte av ett tekniskt system, till exempel ventilationssystemet,

– byte av en byggnadsdel, till exempel klimatskärmen, eller

– en åtgärd som endast omfattar ett utrymme eller en funktion i alla lägenheter, till exempel hygienrummen.

1:2242 Påtaglig förnyelse

För att en ändring av en byggnad ska anses medföra en påtaglig förnyelse, så ska åtgärden

– vara bygglovs- eller anmälningspliktig,

– medföra en stor ekonomisk investering, samt

– ha en sådan karaktär och omfattning att byggnaden påtagligt förnyas.

Allmänt råd

Vad som menas med stor ekonomisk investering bör bedömas i förhållande till vad det skulle ha kostat att uppföra en byggnad av motsvarande storlek och karaktär, inte byggnadens marknadsvärde. Investeringen måste också i absoluta tal vara stor, detta bör beaktas om byggnaden är av mycket begränsat värde.

Vid en bedömning av om en åtgärd är av en sådan karaktär och omfattning som krävs för att åtgärden ska kunna anses vara en påtaglig förnyelse behöver en samlad bedömning av hela projektet göras. Ofta kan flera olika kriterier behöva vägas samman. Kriterier som bör vägas in vid en sådan bedömning är

– större förändringar av befintliga bostäders eller lokalers planlösningar,

– byggnaden tas i anspråk eller inreds för ett väsentligt annat ändamål,

– omfattande ingrepp i byggnadens stomme, och

– utbyte av merparten av de tekniska systemen.

För att en underhållsåtgärd ska betraktas som en påtaglig förnyelse, så bör den innefatta så omfattande åtgärder i såväl klimatskärm, tekniska system och invändiga ytskikt att byggnaden kan betraktas som stomren.

Medför en tillbyggnad större förändringar i befintliga bostäders eller lokalers planlösningar så är det ett skäl för att åtgärden kan anses ha en sådan karaktär och omfattning att byggnaden påtagligt förnyas.

Om tillbyggnaden däremot i såväl tekniskt som funktionellt hänseende fungerar som en separat enhet i förhållande till den ursprungliga byggnaden, kan det vara ett skäl för att den befintliga delen inte ska anses vara påtagligt förnyad.” (Boverket, 2016, s.5-6)

Räknas fasadbyte som en ombyggnad?

Enligt allmänt råd i 1:2241 Betydande och avgränsbar del, så ges exempel på åtgärder som berör en begränsad del av byggnaden och som då normalt inte berör en funktionell enhet av byggnadens volym. Ett av de exemplen är byte av en byggnadsdel, till exempel klimatskärm vilket bör betyda att enbart ett fasadbyte är en ändring och inte en ombyggnad.

En multiaktiv fasad innebär dock mer än bara ett fasadbyte då syftet med åtgärden bland annat kan vara att sänka energianvändningen, förbättra inomhusklimatet med höjd komfort mm. Fast eftersom ändringarna bara sker i väggen, borde kraven ställas bara på fasaden och inte på hela byggnaden.

Av anledningen att multiaktiv fasad kan ha många olika funktioner samt att den kanske genomförs tillsammans med andra åtgärder kan det inte fastslås att det alltid är en ändring eller en ombyggnad. Det bästa rådet som kan ges är att beskriva de åtgärder som är tänkt att utföras och begära villkorsbesked från kommunen.

Nybyggnadskrav som eventuellt måste uppfyllas vid en omfattande renovering

Om renoveringen räknas som omfattande, då måste byggnaden uppfylla nybyggnadskraven i BBR. Det innebär bland annat att dagens tekniska egenskapskrav måste uppfyllas för *hela* byggnaden, inte bara för fasaden.

Tillgänglighet

Tillgänglighetskraven kan vara det som är svårast att uppfylla vid renovering av en befintlig byggnad då byggnaden efter renovering måste vara tillgänglig och användbar för personer med nedsatt rörelse- eller orienteringsförmåga så att det exempelvis finns utrymme för rullstolsburna personer. Detta gäller entréer, korridorer, rum, badrum, balkonger, terrasser, uteplatser etc. Dessutom ställs det krav på hiss eller annan lyftanordning till samtliga våningsplan.

Bärförmåga

Med dagens regelverk måste byggnader dimensioneras för fortskridande ras vilket kan innebära en begränsning då nya väggelement måste klara av att ta hand om dessa laster från bjälklagen.

Brandskydd

För att leva upp till dagens brandskyddskrav behöver byggnadens utrymningsvägar ses över med högsta krav på ytskikt och bärande och brandavskiljande konstruktioner. Vid fler än åtta våningar ställs krav på trapphusens utformning.

På själva ytterväggen ställs krav att väggkonstruktionen ska vara brandavskiljande gentemot andra brandceller samt att brandspridning i väggen och längs fasadytan begränsas. Risken för spridning av brand via fönster ska begränsas och delar av väggen får inte falla ned vid brand.

Vinds- och undertaksutrymmen ska utformas så att risken för brandspridning begränsas. Undertaksutrymme som sträcker sig över flera brandceller ska vara avskilt i lägst samma brandtekniska klass som krävs för de brandcellsskiljande väggarna. Vindsutrymmen bör delas upp i delar om högst 400 m² med väggar i klass EI 30. Uppdelning behöver inte göras om isoleringen i vindsbjälklaget är av klass A2-s1,d0 (obrännbart material) och det endast finns begränsade mängder

brännbart material ovanför bjälklaget. I byggnader med tre eller flera våningsplan ska vinden och varje avdelad sektion av vinden vara tillgängliga för räddningstjänsten. I byggnader med fler än fyra våningsplan ska varje avdelad sektion av en vind som kan användas som förrådsutrymme förses med öppningar för brandgasventilation.

Hygien, hälsa och miljö

Byggnaden får ha högst 200 Bq/m³ radon i inomhusluften. Om det finns radon i de befintliga vägarna (blåbetong) behöver ventilationen dimensioneras för att hantera detta.

Ventilationssystem ska utformas för ett lägsta uteluftsflöde motsvarande 0,35 l/s per m² golvarea. Om ventilationen kan styras separat för varje bostad, vilket kan bli fallet med multiaktiva fasader, får ventilationssystemet utformas med närvaro- och behovsstyrning av ventilationen. Dock får uteluftsflödet inte bli lägre än 0,10 l/s per m² golvarea då ingen vistas i bostaden och 0,35 l/s per m² golvarean då någon vistas där.

Tilluft ska i första hand tillföras rum för daglig samvaro samt för sömn och vila. Frånluft ska i första hand tas från rum med lägre krav på luftens kvalitet (badrum, kök och klädkammare). Vid dimensionering av frånluftsflöden i hygienrum och kök ska hänsyn tas till fuktbelastning och förekomst av matos. Ventilationsinstallationer ska vara placerade och utformade så att de är åtkomliga för underhåll och rensning. Huvud- och samlingskanaler ska ha fasta mätuttag för flödesmätning.

Vad gäller fuktsäkerhet så ska varken konstruktionen eller något utrymme i byggnaden kunna skadas av fukt eller orsaka ohälsa eller illa lukt inomhus. Fukttillståndet i en byggnadsdel ska inte överskrida det högsta tillåtna fukttillståndet om det inte är orimligt med hänsyn till byggnadsdelens avsedda användning, till exempel kan den kritiska fuktnivån för trä överskridas på en träfasad då fasaden inte påverkar inomhusmiljön och fasaden anses ha en begränsad livslängd. Fukttillståndet ska beräknas utifrån de mest ogynnsamma förutsättningarna.

Termisk komfort är en återkommande punkt vid renovering av miljonprogramshus. De flesta miljonprogramshus är byggda med bara ett frånluftssystem som ventilationssystem med uteluftsintag genom ventiler i fönster och/eller skafferier. Oftast saknas det plats för dragning av tilluftskanaler, så från en ekonomi- och energisynpunkt är det bättre med ett frånluftsvärmepumpssystem. Det innebär att uteluften oftast fortsätter komma in genom ventiler i fönstren, även om fönsterna är utbyta. Här kan det uppstå problem med termisk komfort. De boende får information om att deras lägenheter kommer att renoveras och de antar att det inte längre kommer bli drag vid fönsterna. I praktiken kommer det fortfarande in luft som innan och problemet kan upplevs som större än innan renoveringen på grund av att ventilationsflöde är oftast högre efter renoveringen då flödet innan var för lågt. Dessutom är klimatskärmen ofta tätare och tilluften känns som ett drag genom lägenheten.

Bullerskydd

Byggnader och deras installationer ska utformas så att ljud från byggnadens installationer, från angränsande utrymmen likväl som ljud utifrån dämpas. Detta ska ske i den omfattning som den avsedda användningen kräver och så att de som vistas i byggnaden inte besväras av ljudet.

Säkerhet

I utrymmen där barn kan vistas ska lågt sittande fönster och glaspartier och balkongdörrar ha säkerhetsbeslag, spärranordningar eller andra skydd som begränsar risken för att barn ska falla ut. Trappor och ramper från bostadslägenheter och övriga utrymmen där människor vistas mer än tillfälligt ska utformas så att transport av sjukbår blir säker. Detta gäller dock inte om transporten kan ske med hiss eller någon annan lyftanordning.

Energihushållning

Krav på U-värde (U_m)

Enligt BBR ska en nybyggnad eller omfattande renovering uppfylla krav på byggnadens specifika energianvändning [$\text{kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år], genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) [$\text{W/m}^2 \text{K}$] (för flerbostadshus 0,4) och klimatskärmens genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad [l/s m^2]. Uppfyller byggnaden efter ändring inte de angivna kraven på specifik energianvändning, ska vid ändring i klimatskärmen följande U-värden eftersträvas, se **Fel! Hittar inte referenskälla..**

Tabell 13: BBR:s alternativkrav på U-värde av olika byggnadskomponent, i detta fall BBR 22.

	[$\text{W/m}^2\text{K}$]
U_{tak}	0,15
$U_{\text{vägg}}$	0,15
U_{golv}	0,15
$U_{\text{fönster}}$	1,2
$U_{\text{ytterdörr}}$	1,2

I detta projekt, det antogs att man skulle genomföra en omfattande renovering. Flera U_m beräkningar gjordes på basmodellen av den skiv- och lamellhusen för att:

1. Kontrollera om U_m -kravet kunde uppfyllas teoretiskt med bara ändringar till fasaden
2. Kontrollera om U_m -kravet kunde uppfyllas om byggnaden använde Boverkets minimum krav på U-värde.
3. Kontrollera om U_m -kravet kunde uppfyllas om byggnaden använde energimyndighetens bör värde för en renovering.
4. Om byggnaden kunde uppfylla passivhuskrav (obs, en energiberäkning gjordes i detta fall).

Ett par andra U_m beräkningar genomfördes på skivhuset för att undersöka olika möjligheter med isoleringstjocklekar. Resultatet av beräkningar rapporteras i nästa del.

Observera att U_m beräkningar som genomfördes i denna del av studien var inte kopplat till en multiaktiv fasad och var rent teoretisk i karaktär. Resultatet från denna del användes som bakgrundsmaterial när man tog fram de olika multiaktivafasader.

Indata till beräkningar

Första beräkningen gjordes för att kontrollera om renoveringen kunde uppfyller BBR:s krav på U_m ($0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) endast genom fasadrenoveringen, d.v.s. bara genom ändring av väggisoleringen. I denna beräkning ändras bara väggen U-värde för att se om man kunde uppfyller en $U_m=0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ för hela huset.

Nästa beräkning gjordes för att kontrollera om U_m kravet uppfylldes i så fall byggnaden behövde uppfylla energimyndighetens minimumkrav på nybyggnation, d.v.s. $0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Det innebär att byggnaden fick U-värden i Tabell 14:

Tabell 14: U-värde för olika byggnadsdel att uppnå BBR:s U_m krav på $0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Byggnadsdel	U-värde krav [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]
Vinden	0,15
Källarvägg	0,15
Ytterväggen vid balkongerna	0,15
Ytterväggen	0,15
Fönster	1,2

Den tredje beräkningen, Tabell 15, gjordes för att kontrollera byggnadens U_m värde om man använde energimyndighetens börvärde (Mjörnell, 2011) vid renovering:

Tabell 15: Energimyndighetens börvärde på U-värde vid renovering.

Byggnadsdel	U-värde krav [W/m ² K]
Vinden	0,10
Källarvägg	0,10
Ytterväggen vid balkongerna	0,10
Ytterväggen	0,10
Fönster	1,20

De sista beräkning gjordes för att kontrollera om byggnaden kunde uppfylla ett passivhuskrav. I detta fall U-värden i Tabell 16 användes i IDA-ICE energiberäkningsprogram för att kontrollera om husen uppfyllde passivhusnivå.

Tabell 16: U-värde för att uppnå passivhuskrav på byggnaden.

Byggnadsdel	U-värde krav [W/m ² K]
Vinden	0,08
Källarvägg	0,15
Ytterväggen vid balkongerna	0,15
Ytterväggen	0,15
Fönster	0,80

Resultat - Lamellhuset

Lamellhuset i detta projekt har tre våningsplan. Fyra olika fall räknades för att komma fram till vilket U-värde byggnaden behövde för att uppfyller BBR:s U_m krav på 0,4 W/m²K för hela huset. För att kontrollera påverkan på helahuset, justerades övriga klimatskärmens U-värden. Se Bilaga 1 för detaljerade U-värdeberäkningar. Se Tabell 17 nedan för en sammanfattning av resultaten.

Tabell 17: Olika förslag på isolerings tjocklek av ytterväggarna baserade på väggens önskade u-värde och U_m krav för Lamellhuset.

Fall	Isoleringstjocklek av väggen för att uppfylla BBR:s U_m krav	U-värdet av väggen [W/m ² K]	U_m (U_m krav= 0,4 [W/m ² K])
Basfall (uppfyller ej BBR krav)	160 mm betong + 100 mm mineralull + ½ stenstegel	0,31	0,55 = Ej OK
1) Bara ändring av väggisolering	Ej möjligt	Ej möjligt	Ej möjligt
2) Energimyndighetens minimumkrav	160 mm betong + 220 mm mineralull + ½ stenstegel	0,15*	0,39 = OK
3) Energimyndighetens bör krav	160 mm betong + 330 mm mineralull + ½ stenstegel	0,10*	0,36 = OK
4) Passivhuskrav	160 mm betong + 220 mm mineralull + ½ stenstegel	0,15*	0,35 = OK

* Enligt Boverket ska köldbryggorna ingå i U_m .

Med lamellhuset, det var omöjligt att uppfylla BBR:s U_m krav endast genom isolering av ytterväggen. Om hela huset renoverades, var det möjligt att reducera U_m till under BBR:s krav, energimyndighetens rekommendationer samt passivhus nivå.

Enligt BBR 24 kan energikravet anpassas beroende på flera byggtkniska parametrar men energianvändning ska inte försämrats. En studie om vilken prestanda en multiaktivfasad ska ha

(Bilaga 1) visar att man inte kan uppfylla BBR:s energikrav utan ändringar i isoleringens tjocklek i andra byggdelar.

Resultat - Skivhuset

Skivhuset har nio våningsplan. Fyra olika fall räknades för att komma fram till vilket U-värde byggnaden behövde för att uppfyller BBR:s U_m krav på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ för hela huset. För att kontrollera påverkan på helahuset, justerade övriga klimatskärmens U-värde. Se Bilaga 1 för detaljerade U-värdeberäkningar. Se Tabell 17 nedan för en sammanfattning av resultaten.

Tabell 18: Olika förslag på isolerings tjocklek av ytterväggarna baserade på väggens önskade u-värde och U_m krav för Skivhuset.

Fall	Isoleringstjocklek av väggen för att uppfylla BBR:s U_m krav	U-värdet av väggen [W/m ² K]	U_m (U_m krav = 0,4 [W/m ² K])
Basfall (uppfyller ej BBR krav)	160 mm betong + 100 mm mineralull + ½ stenstegel	0,46	0,97 = Ej OK
1) Bara ändring av väggisolering	Ej möjligt	Ej möjligt	Ej möjligt
2) Energimyndighetens minimumkrav	160 mm betong + 200 mm mineralull + ½ stenstegel	0,15*	0,44 = Ej OK
3) Energimyndighetens minimumkrav med extra fasadisolering	160 mm betong + 630 mm mineralull + ½ stenstegel	0,05*	0,40 = OK
4) Energimyndighetens bör krav	160 mm betong + 300 mm mineralull + ½ stenstegel	0,10*	0,41 = Ej OK
5) Energimyndighetens bör krav med extra isolering	160 mm betong + 350 mm mineralull + ½ stenstegel	0,09*	0,40 = OK
6) Optimal U-värde (hela byggnaden hanterades)	160 mm betong + 200 mm mineralull + ½ stenstegel	0,15*	0,37 = OK
7) Passivhuskrav	160 mm betong + 220 mm mineralull + ½ stenstegel	0,15*	0,44 = Ej OK

* Enligt Boverket ska köldbryggorna ingå i U_m .

Även med skivhuset var det omöjligt att uppfylla BBR:s U_m krav endast genom isolering av ytterväggen. Om hela huset förbättrades (fall 3, 5 och 6), då var det möjligt att reducera U_m till under BBR:s krav. Observera att man var tvungen att lägga på lite mer isolering i fasaden för att uppfylla U_m kravet. I fall 6, då optimerades hela huset oberoende av energimyndighetens förslag. Resultatet var bättre då energimyndighetens förslag troligtvis utgår från en mindre byggnad utan stora fönsterareor. I fall 7 det var möjligt att uppnå passivhusnivå i en energiberäkning med en U_m på 0,44!

En intressant slutsats från delstudien energihushållnings krav på U-värde (WP1, bilaga 1) var att man inte kan uppnå BBR:s U_m krav bara genom att tilläggsisolera fasaden. Hela klimatskalet måste behandlas som ett system. För lamellhusen kan man använda energimyndighetens förslag på U-värde men när man har ett höghus, som i fallet med skivhuset, fungerar energimyndighetens förslag inte på grund av mängden fönster och ytterväggsarea. Det är rekommenderat att man optimerar U-värderna själv för att få en kostnadseffektiv lösning. Det även visade sig att man kan uppnå ett passivhus energianvändning med ett U_m som är högre än BBR kravet. Detta beror på byggnadens form.

Teknikkartläggning för multiaktivfasader

Det finns två typer av lösningar när det gäller multiaktiv fasader – lösningar som innefattar passiv teknik (som passiv sol, isolering, mm) och lösningar som innefattar aktiv teknik (som solceller, solfångare, ventilation, värmepumpar, mm).

Ett stort antal projekt med multiaktiva fasader, nationellt inom Sverige och internationellt, har identifierats, 25 st, varav de flesta är demonstrations/forsknings-projekt. Projekten kan 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, NNE, lågenergi, nybyggnadskrav)
- Ekologiska och ekonomiska aspekter som påverkar konstruktionen (prefabricering, modularisering, ekologiska material m.m.)

Utifrån denna studie identifierades några fasadlösningar som realistiska:

- Integrering av solfångare pga. läckagerisk i svårtillgängliga utrymmen såsom fasadelement.
- 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 jämfört med energibesparingen.

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)
- Integration av solenergi (solceller)
- Energimålsättning (passivhus, NNE, nybyggnadskrav)

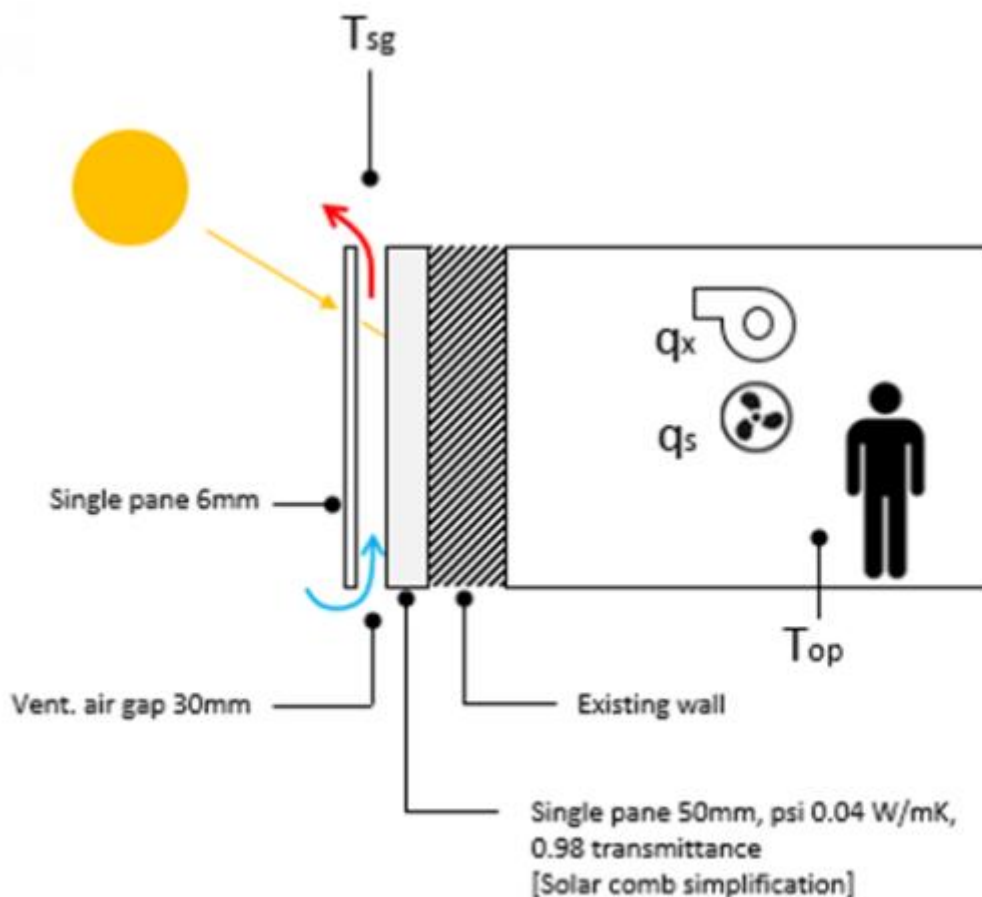
Svenska renoveringskoncept

För svenska flerbostadshus förekommer begreppen mini, mellan och stor energirenovering, där den stora är alltför sällsynt. 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. (Mjörnell och Blomsterberg, 2014)

Multi-aktiva fasader med passiv teknik för renovering

Slutsatsen från WP2 rapporten (bilaga 2) var att följande passiva tekniker var intressant att titta vidare på:

- Ventilation via fasaden via ett föruppvärmt luftutrymme (som till ex med 'winter garden', inglasat balkonger eller en dubbelglasfasad)
- Tilläggsisolering
- Bättre lufttäthet
- Bättre fönster (lägre U-värde, lägre g-värde)
- Bäst fönster (lägst U-värde, lägre g-värde)



T_{sg} – operative temperature in on the solar comb surface

Figur 12: 'Solar active insulation' – en tilläggsisolering som är formad som en bikupa. I teorin isolera den mer vintertid då solstrålning når djupare i materialet. Under sommartid fungerar strukturen som en skuggning som skulle göra att material är kallare under sommartiden. Observera att det är okänt om detta fungerar (variabelt isoleringsvärde) i Sverige.

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

- Winter gardens – inglasning av balkonger på söder fasaden
- Ventilerad 'curtain wall'
- 'Solar adaptive insulation' (se Figur 12 för en beskrivning)

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
- Integrering av solceller i tilläggsisoleringen av fasaden

Ekonomiska mål, produktion och renoveringsprocesser

Arbetet inleddes med en litteraturundersökning. Följande områden har studerats:

- Förutsättningar för renovering av miljonprogrammet både på nationell och på företagsnivå
- Livscykelanalys och dess ingående parametrar
- Fördelar och nackdelar med prefabricering
- Fördelar och nackdelar med centraliserade och decentraliserade tekniska system.

Om Sverige ska möta sina mål för 2020 och 2050 så måste miljonprogrammet upprustas. Trots både nationella mål och stora besparingsmöjligheter är det många omfattande renoveringsprojekt som inte är lönsamma. Många anser dock att tidsperspektivet är för kort och att det finns många andra fördelar med energirenoveringar som inte räknas med här, de så kallade ”multi benefits of energy renovation” (Renovate Europe, 2018). Vi valde därför att göra en livscykelanalys där större hänsyn kan tas till några av dessa aspekter. Livscykelanalysen bestod av följande delar: Konzeptutveckling, Livslängd, Investering, Kalkylränta, Intäkter, Utgifter och Nuvärdesberäkning. För att genomföra en så realistisk analys som möjligt, med bra indata, praktisk genomförbarhet och rimliga slutsatser samarbetade vi med en referensgrupp.

Första steget var att utveckla renoveringskoncept för de två fallstudierna med hjälp av multiaktiva fasader. Sedan gjordes en livscykelvinstanalys som utgick ifrån simuleringar av energianvändning och kostnadsdata. Vi valde därefter att göra en känslighetsanalys för att se hur olika prispåverkan kan påverka resultatet. Målet var att ge en realistisk bild av de ekonomiska konsekvenserna för multifunktionella fasader som renoveringsåtgärd.

Koncept för renovering med multiaktiva fasader

Sex olika koncept för multiaktiva fasader togs fram i denna studie (exklusive basfallet):

Basfallet

Basfallet är en minimalistiskrenovering, som innebär återställande av funktionalitet och kvalitet hos byggnaden, såsom fasad- och takrenovering, samt byte av fönster. Energianvändningen påverkas inte nämnvärt och antas därför vara oförändrad i analysen.

BBR opak

En multiaktiv fasadlösning, som innebär att nya tilluftskanaler placeras i tilläggsisoleringen av fasaden. För att säkerställa att $U_m = 0,4 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ uppfylls måste alla fasader, fönster, ytterdörrar och tak förbättras. Ett värmeåtervinningsaggregat installeras centralt i ventilationssystemet.

Passivhus opak

Konceptet är baserat på BBR opak konceptet men har ett förbättrat ventilationssystem så att passivhus kraven från Feby 12 uppfylls.

NNE opak

Nära noll energibygnad (NNE), innebära att byggnaden teoretiskt sett producerar lika mycket energi som den använder. Detta koncept liknar Passivhus opak, fast har kompletterats med solceller för att producera energi.

BBR inglasning

Detta koncept är också liknande BBR opak konceptet men i detta koncept ändrar man inte fasaden eller fönsterna i den befintliga väggen bakom balkongerna. Istället har balkongerna en inglasning med en enkel glasskiva. I låghuset har även balkongerna förlängts.

Passivhus inglasning

Detta koncept är en combination av BBR inglasning konceptet och Passivhus opak konceptet. Dock kunde inte passivhus kraven uppfyllas, därför installerades solceller för att nå kraven.

NNE inglasning

Detta koncept har mer solceller än konceptet Passivhus inglasning för att nå nära noll energianvändning.

Analys och utvärdering

Energisimulering av tilluftskanal för det opaka konceptet

I Tabell 19 redovisas transmissionsförluster och termiska prestanda för klimatskärmen för skivhuset. U_m före renovering var $1,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ och efter $0,39 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Tabell 19: Transmissionsförluster och termiska prestanda för klimatskärmen i skivhuset före och efter renoveringen.

Klimatskärmen	Area (A) / m ²	U-värde / W/(m ² ·K)		UA / (W/K)		Andel av totala förluster / %	
		före	efter	före	efter	före	efter
Ytterväggar	2921	0,47	0,13	1368	376	15,9	12,9
Grundmur	415	0,90	0,90	375	375	4,4	12,9
Tak	1276	0,48	0,10	1753	128	20,4	4,2
Golv mot mark	1272	0,30	0,30	387	388	4,5	13,3
Golv mot krypgrund	11	3,48	3,48	38	38	0,4	1,3
Fönster	1404	2,4	0,8	3370	1123	39,1	38,5
Dörrar	13	2,38	1,20	30	15	0,4	0,5
Köldbryggor (+ 20%)	-	-	-	1286	478	14,9	16,4
Total	7312	1,18	0.39	8606	2914	100	100

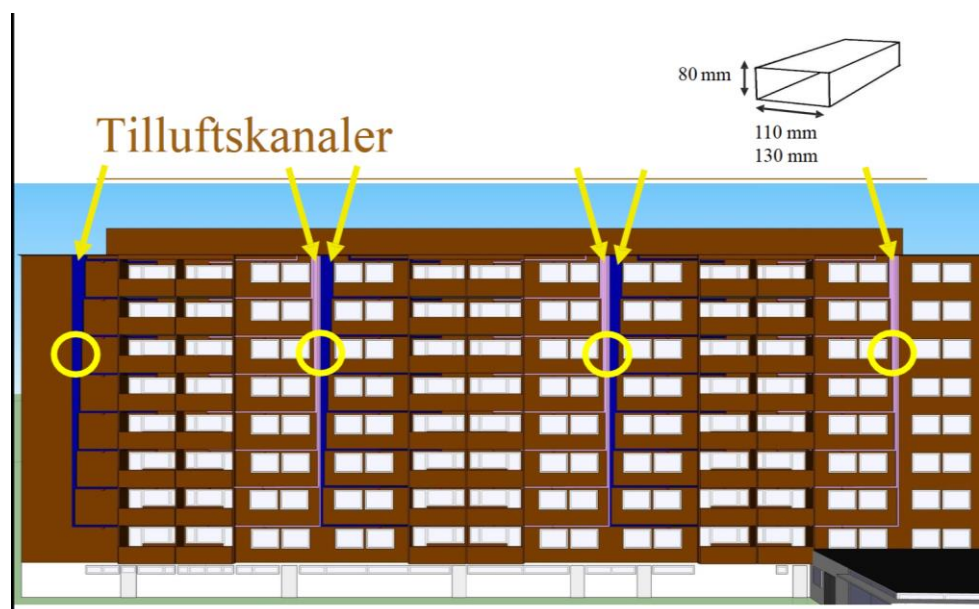
Fönster av passivhusstandard valdes med ett U-värde på $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, eftersom fönsterna svarar för en stor del av de totala transmissionsförlusterna. Taket tilläggsisolerades med 300 mm mineralull, såsom varande en ganska enkel åtgärd. Den maximalt praktiskt möjliga tilläggsisoleringen, 180 mm, av fasaden utnyttjades. Det visade sig att mineralull var tillräckligt för att uppfylla $U_m = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Vad beträffar beräkningar av SFP (specifik fläkteffekt), valdes ett luftbehandlingsaggregat för den multifunktionella fasaden med ett SFP på $1,35 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Resultatet från känslighetsanalysen av placeringen av tilluftskanalerna i tilläggsisoleringen redovisas i Tabell 20, och Figur 13 (Hadzimuratovic 2016). Den optimala placeringen är med 90 mm isolering på utsidan av tilluftskanalen och 10 mm på insidan (för att undvika direktkontakt med betongen och respektive värmeledning). Därefter uppskattades tilluftstemperaturer och energiförluster från tilluften. Tilluftstemperaturen sjunker aldrig under 16 °C när utetemperaturen är som lägst för längst bort belägna lägenhet. Den extra årliga ventilationsförlusten blir fördelad på lägenhetsytan mindre än 0,2 kWh/(m²·år).

Tabell 20: Värmeförlustfaktor för olika placering av tilluftskanalen. Värderna till vänster representerar en placering nära utsidan och värden till höger en placering nära den befintliga väggen.

Avstånd från utsidan / mm	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Värmeförlust från tilluften / (W/(m·K))										
	3,263	0,440	0,254	0,181	0,140	0,114	0,096	0,082	0,072	0,066	0,068



Figur 13: Draging av tilluftskanaler i fasaden.

Energisimulering med multiaktiva fasader

Skivhuset

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 NNE-kravet.

Det första energikravet i BBR24, som måste uppfyllas var $U_m = 0,4 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ (Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för byggnadsdelar och köldbryggor). För att uppfylla detta för skivhuset krävs avsevärda förbättringar av värmeisoleringen av klimatskalet. Det räckte inte med tilläggsisolering av fasaden med en multiaktiv fasad (tilläggsisolering + tilluftskanaler). Dessutom måste taket tilläggsisoleras, fönster bytas till lågenergifönster och värmeåtervinning från ventilationen installeras (se Tabell 21). För att därutöver uppnå Febys (Feby 12) krav på specifik energianvändning för passivhus, 50 kWh/m²·år, krävs endast förbättring av värmeåtervinningens

verkningsgrad från 80 % till 90 % (vilket är teoretiskt möjligt men möjligen inte realistiskt i praktiken).

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

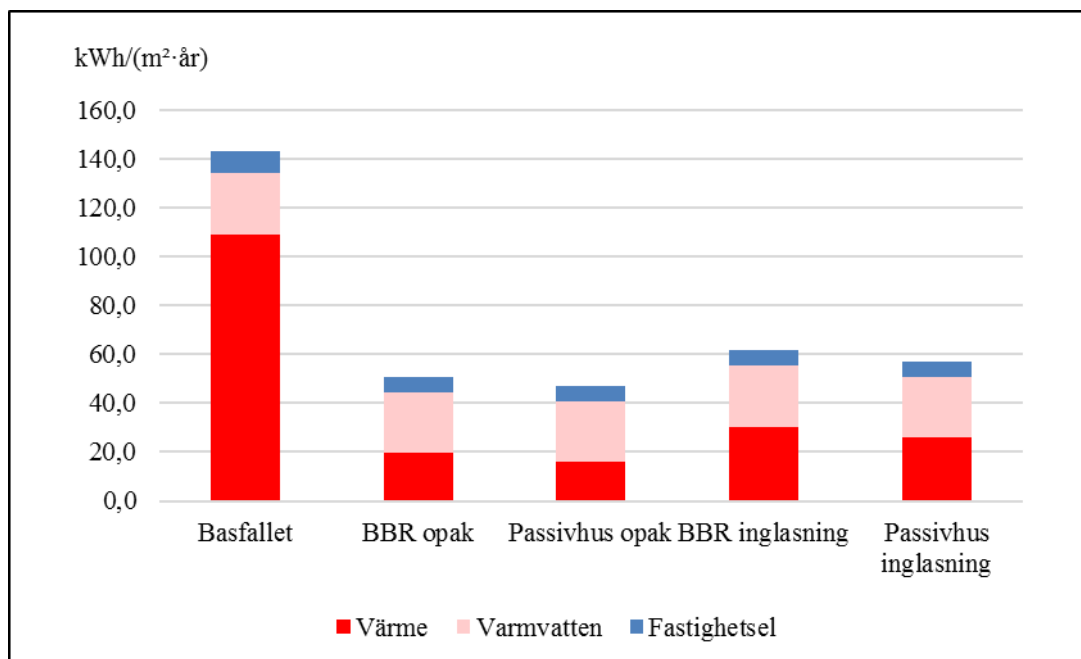
Tabell 21: Indata för IDA-ICE för skivhuset

Beskrivning	Basfallet	BBR opak	Passivhus opak
Uppvärmad yta (A_{temp}), m ²	9235	9235	9235
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		
Grundläggning	0,31		
Fönster & dörrar	2,4	0,8	0,8
U _m	1,05	0,4 (krav enligt BBR = 0,40)	0,4
Verkningsgrad värmeåtervinning ventilation, %	0	80	90

Den totala energianvändningen för basfallet för skivhuset är 143 kWh/(m²·år) (de Concini 2018) (se Tabell 22 och Figur 14). Konceptet BBR opak uppfyller med marginal BBR24:s krav på specifik energianvändning, 75 kWh/(m²·år) jämfört med 52 kWh/(m²·år). Konceptet Passivhus opak uppfyller precis passivhuskraven. Inglasning BBR uppfyller med 63 kWh/(m²·år) BBR-energi kravet. Däremot uppfyller konceptet Passivhus inglasning inte passivhuskravet, vilket överskrids med ca 15 % (Detta kompletteras därför med solceller). NNE-kravet uppfylls genom att täcka större delen av fasaden och taket med solceller.

Tabell 22: Beräknad energianvändning för skivhuset.

Skivhuset				
kWh/(m ² · år)	Fastighetsel	Värme	Varmvatten	Total energi
Basfallet	9	109	25	143
BBR opak	6	20	25	52
Passivhus opak	6	16	25	48
BBR inglasning	6	30	25	63
Passivhus inglasning	6	26	25	58



Figur 14: Beräknad energianvändning för skivhuset.

Lamellhus

Beräkningarna för lamellhuset visade liknande resultat som för skivhuset dvs. 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 multiaktiv fasad (tilläggsisolering + tilluftskanaler). Taket måste tilläggsisoleras, fönster bytas till lågenergifönster och värmeåtervinning från ventilationen installeras (se Tabell 23). 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 12) krav på passivhus, 50 kWh/m²år, krävs endast förbättring av värmeåtervinningens verkningsgrad från 80 % till 90 %.

Inglasningen av balkongerna gör det svårt att uppnå energikraven för passivhus. Detta beror på att vi valde att inte tilläggsisolera eller byta till lågenergifönster bakom balkongerna, vi ville studera effekterna av bara själva inglasningen av balkongerna.

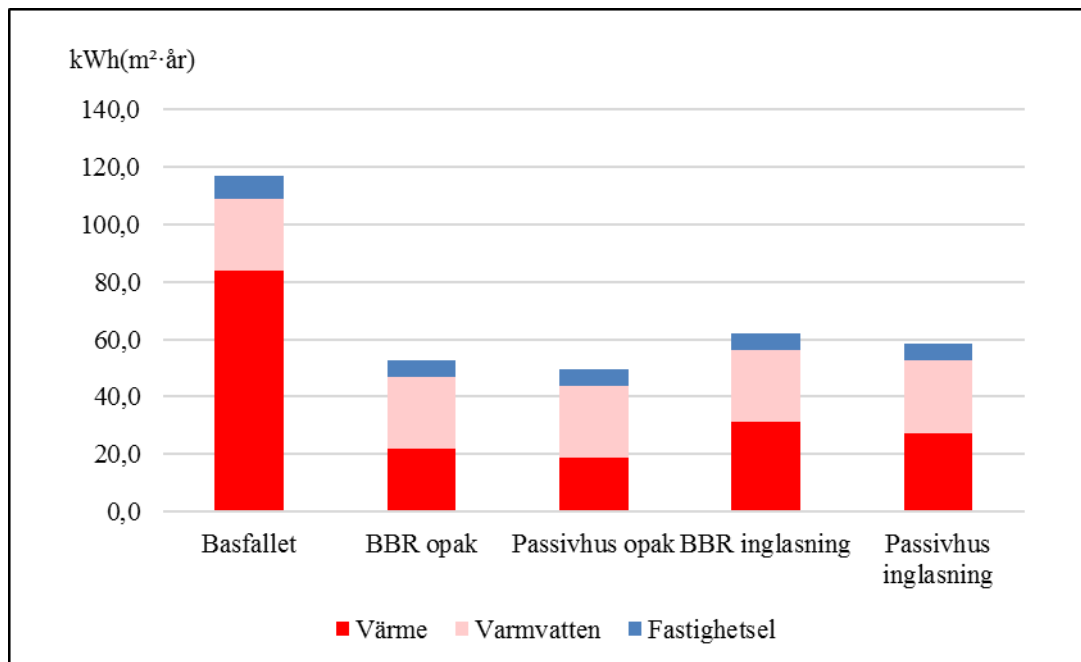
Tabell 23: Indata för IDA-ICE för lamellhuset.

Beskrivning	Basfallet	BBR opak	Passivhus opak
Uppvärmad yta (A_{temp}), m ²	2148	2148	2148
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
Fastighetsel: fläktar, pumpar, belysning och annan utrustning, kWh/(m ² ·år)	8,2	5,9	5,9
Köldbryggor, %, av total transmissionsförlust	20	20	20
Varmvatten, kWh/(m ² ·år)	25		
Byggteknik	U-värde, W/(m ² ·K)	U-värde, W/(m ² ·K)	U-värde, W/(m ² ·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 (krav enligt BBR = 0,40)	0,33
Verkningsgrad värmeåtervinning ventilation, %	0	80	90

Den totala energianvändningen för Basfallet för lamellhuset var 117 kWh/(m²·år) (de Concini 2018) (se Tabell 24 och Figur 15). BBR opak uppfyller med marginal BBR24:s krav på specifik energianvändning, 75 kWh/(m²·år) jämfört med 53 kWh/(m²·år). PH opak uppfyller exakt passivhuskraven. BBR Inglasning uppfyller med 62 kWh/(m²·år) BBR-energikravet. Däremot uppfyllde Passivhus inglasning inte passivhuskravet, vilket överskreds med ca 15 %, därför användes solceller för att minska den köpta energin. NNE-kravet uppfylls genom att täcka större delen av fasaden och taket med solceller för både NNE opak och NNE inglasning.

Tabell 24: Beräknad energianvändning för lamellhuset.

Lamellhuset				
kWh/(m ² ·år)	Fastighetsel	Värme	Varmvatten	Total energi
Basfallet	8,1	83,9	25,0	117,0
BBR opak	5,9	21,9	25,0	53,0
Passivhus opak	5,9	18,7	25,0	49,7
BBR inglasning	6,0	31,1	25,0	62,3
Passivhus inglasning	6,0	27,5	25,0	58,6



Figur 15: Beräknad energianvändning för lamellhuset.

Livscykelvinstanalysen

Som tidigare visat så finns det stora möjligheter för energibesparingar i byggnader byggda före eller under miljonprogrammet, men frågan är om dessa är vettiga ur ett ekonomiskt perspektiv. I fallet för renovering vill man jämföra investeringen mot de effekter som renoveringen har på byggnaden. Syftet är att studera om renoveringen är värd investeringen, eller om man som fastighetsföretag bör göra annat för pengarna. Det finns flera olika sätt att göra denna värdering och det är egentligen upp till fastighetsföretaget att själva välja vilken metod som passar dem bäst. Med det sagt så är de olika metoderna bra på olika sätt, och när det kommer till renovering så finns det vissa aspekter som är av speciellt intresse, fram för allt aspekter så som renoveringens livslängd och planerat underhåll.

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. På grund av detta så fungerar livscykelvinstmetoden bra för att värdera olika renoveringar. Resultatet från en livscykelvinst analys är ett tal, om talet är 0 eller högre så verkar renoveringen som en god investering, om talet är mindre än 0 så är renoveringen inte lämplig. Eftersom svaret bara är ett tal är det enkelt att jämföra olika renoveringskoncept med varandra och på så sätt hitta det bästa renoveringskonceptet. Av dessa anledningar valdes därför livscykelvinstmetoden för att analysera de olika renoveringskoncepten i denna studie.

För att räkna ut livscykelvinsten måste först en nuvärdesberäkning göras av alla kostnader, besparingar och inkomster, på så sätt tas också hänsyn till företagets kalkylränta. Sedan subtraheras investeringskostnaden från detta nuvärde för att få fram livscykelvinsten. Ekvation 1 används för att beräkna livscykelvinsten.

$$LCV = \sum_{t=1}^n \left(\frac{EB_t * pf(EB)_t - U_t * pf(U)_t}{(1+r)^t} \right) - I \quad (1)$$

LCV = Livscykelvinsten

n = Den ekonomiska livslängden

EB_t = Energibesparingen, år t

U_t = Underhållskostnaderna, år t

$pf(EB, U)_t$ = Prisförändringen för energi och underhåll, år t

r = Kalkylräntan

I = Investeringskostnaden

Den ekonomiska livslängden

Den ekonomiska livslängden för de olika renoveringskoncepten fastställdes till 60 år. Det är troligt att mindre underhållsåtgärder kommer att göras under dessa 60 år, men troligtvis kommer ingen större renovering ske, syftet med renoveringen är trots allt att byggnadens klimatskal ska vara som nytt efter renoveringen, därför måste byggnadens livslängd förlängas markant.

Energibesparingen och energiprisförändringen

Energibesparingen beräknades med *IDA-Indoor Climate and Energy*, mer om detta finns att läsa i kapitlet Energisimulering med multiaktiva fasader. När besparingen i kWh var beräknad, beräknades sedan besparingen i kronor, kostnaden för 1 kWh antogs vara 1,25 kr (Lindahl, 2014). I tabell 25 och 26 är energikostnaderna för de sju koncepten för båda byggnaderna redovisade.

Tabell 25: Energikostnaden i SEK per m²·år BOA för lamellhuset.

Lamellhuset	Basfall	BBR opak	Passivhus opak	NNE opak	BBR inglasning	Passivhus inglasning	NNE inglasning
Uppvärmning + tappvarmvatten	70.0	30.2	28.2	28.2	36.0	34.0	34.0
Elektricitet	10.7	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
PV produktion				24.5		3.5	26.5

Tabell 26: Energikostnaden i SEK per m²·år BOA för skivhuset.

Skivhuset	Basfall	BBR opak	Passivhus opak	NNE opak	BBR inglasning	Passivhus inglasning	NNE inglasning
Uppvärmning + tappvarmvatten	86.1	29.6	27.0	27.0	36.6	33.4	33.4
Elektricitet	12.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
PV produktion				34.7		4.3	36.6

Under åren 1996–2014 var prisförändringen för fjärrvärme 2,5 % och 2,8 % för el (Energimyndigheten, 2015). Under samma år var konsumentprisindex 1,1 % (SCB, 2018). Den reala prisförändringen beräknades därför till 1,4 % för fjärrvärme och 1,7 % för el, för att beräkna den reala prisförändringen användes ekvation 2, se nedan.

$$real = \frac{(nominell+1)}{(inflation+1)} - 1 \quad (2)$$

Underhållskostnaderna och underhållsprisförändringen

För att beräkna underhållskostnaderna användes REPAB (Incit AB, 2016). Underhållskostnaderna för de sju koncepten för båda byggnaderna kan ses i tabell 27.

Tabell 27: Underhållskostnaderna i SEK per m² BOA för båda byggnaderna.

Underhållskostnaderna	Basfall	BBR opak	Passivhus opak	NNE opak	BBR inglasning	Passivhus inglasning	NNE inglasning
Skivhuset	52.8	67.3	71.7	85.8	78.1	84.4	97.2
Lamellhuset	56.6	64.3	67.5	77.0	104.1	108.8	117.4

Under åren 2011–2016 var prisförändringen för ombyggnad 2,2 % enligt *Entreprenadindex* (Sveriges Byggindustrier, 2018a). Under samma år var konsumentprisindex 0,3 % (SCB, 2018). Ekvation 2 användes för att beräkna den reala prisförändringen till 1,9 % för underhåll.

Kalkylräntan

Kalkylräntan fastställdes till 4 %. Detta gjordes i diskussion med referensgruppen, där en projektledare från ett kommunalt fastighetsbolag ansåg att 4 % var en lämplig siffra. Dock ska det noteras att privata fastighetsbolag troligtvis har högre krav på avkastning.

Investeringskostnaden

För att beräkna investeringskostnaden användes *Wikells sektionensdata 4.20* (Wikells byggberäkningar AB, 2018) och feedback från referensgruppen. Investeringskostnaderna för de sju koncepten för lamellhuset kan ses i tabell 28 och för skivhuset i tabell 29.

Tabell 28: Byggkostnader i SEK per m² BOA för lamellhuset.

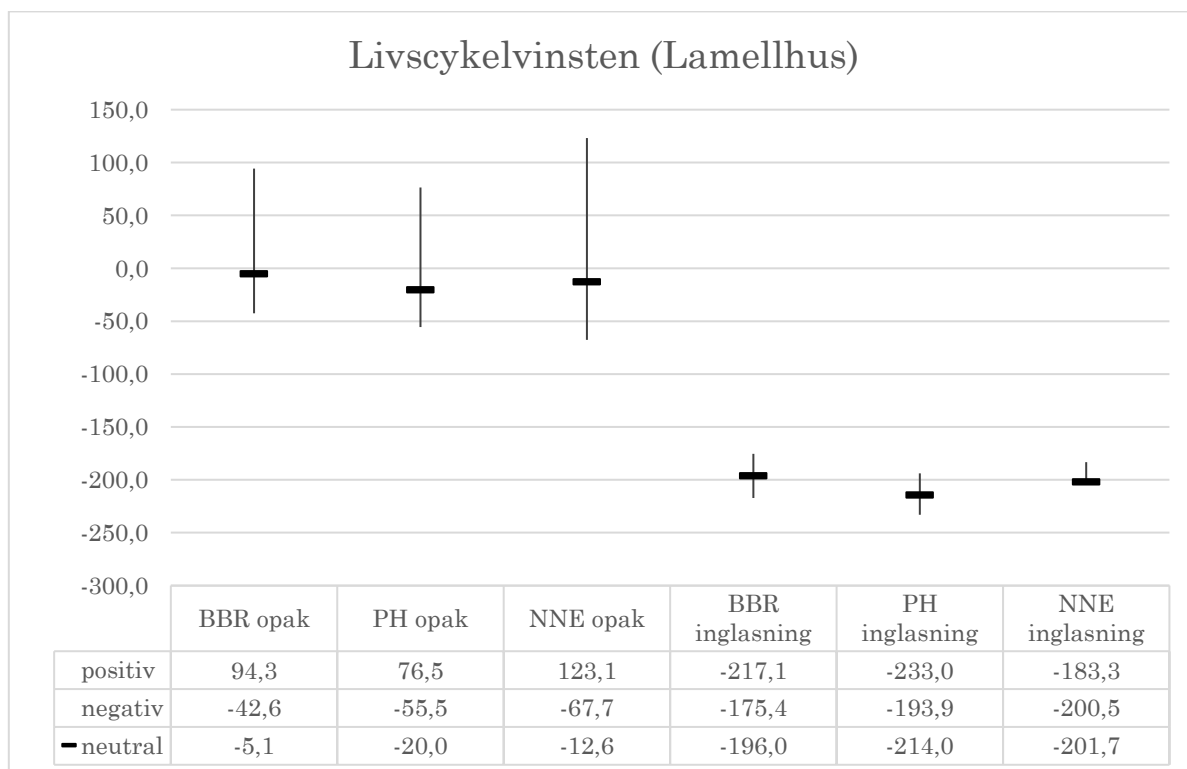
Lamellhuset	Basfall	BBR opak	Passivhus opak	NNE opak	BBR inglasning	Passivhus inglasning	NNE inglasning
Fasader	680	1484	1484	1484	879	879	879
Fönster	1244	1105	1105	1105	1105	1105	1105
Balkonger	351	351	351	351	1495	1495	1495
Tak och PV system	149	378	378	378	378	378	378
Ventilation		264	376	410	264	96	433
Byggeställningar	205	180	180	180	180	180	180
Hvresgäst-	234	206	206	206	206	206	206
Total	2863	3968	4080	4490	4507	4715	5052

Tabell 29: Byggekostnader i SEK per m² BOA för skivhuset.

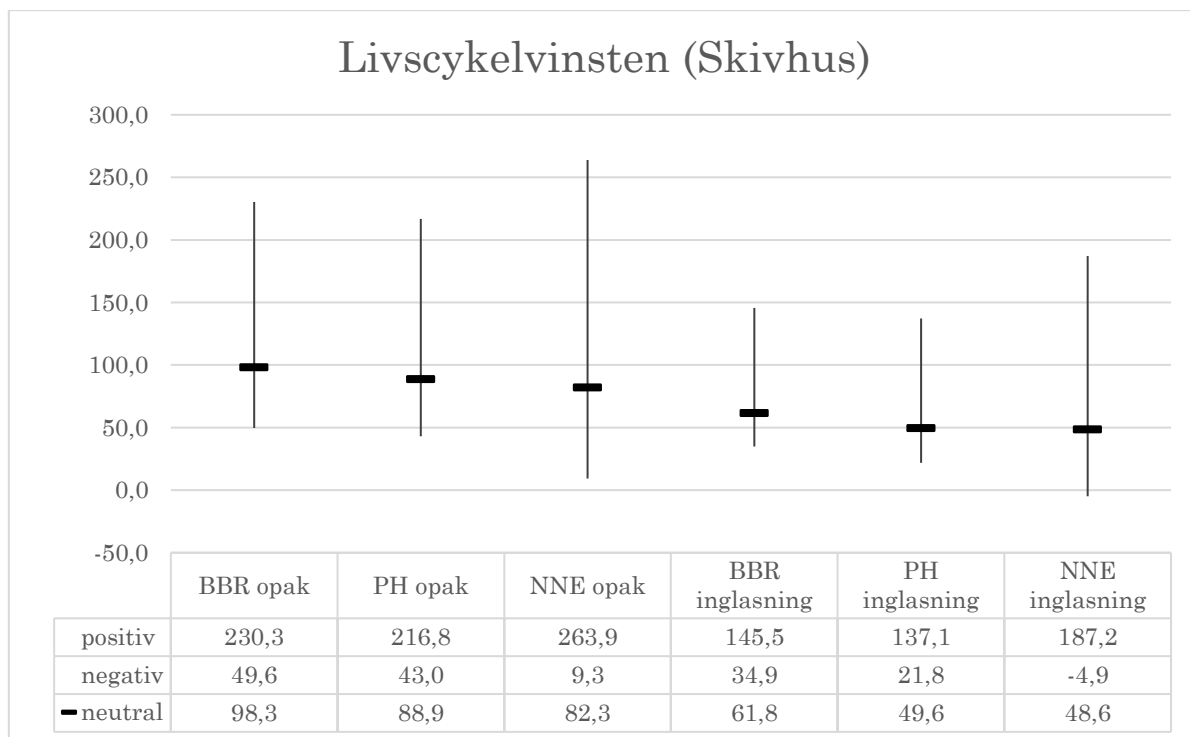
Skivhuset	Basfall	BBR opak	Passivhus opak	NNE opak	BBR inglasning	Passivhus inglasning	NNE inglasning
Fasader	591	1119	1119	1119	920	920	920
Fönster	1261	1174	1174	1174	1174	1174	1174
Balkonger	304	304	304	304	323	323	323
Tak och	83,0	247	247	247	247	247	247
PV system				740		123	771
Ventilation		122	159	159	122	159	159
Byggställningar	384	276	276	276	276	276	276
Hyresgäst-förflyttning	644	370	370	370	370	370	370
Total	3267	3612	3649	4389	3432	3592	4240

Resultatet från analysen

Resultaten av analysen presenteras i Figur 16 och Figur 17. Varje koncept är representerat som en linje, där toppen av linjen representerar det positiva utfallet och botten på linjen representerar det negativa utfallet och en markering någonstans i mitten, vilket representerar det neutrala utfallet. Resultatet har beräknats som skillnaden mellan basfallet och de olika koncepten. Detta är för att det man kanske egentligen vill analysera är frågan: Vad får vi för den extra investering som renoveringen innebär? I studien antogs det att Basfallet är den minsta renoveringen som kan göras för att förlänga byggnadens livslängd med 60 år.



Figur 16: Livscykelvinsten i SEK per BOA för de sex olika renoveringskoncepten för lamellhuset.



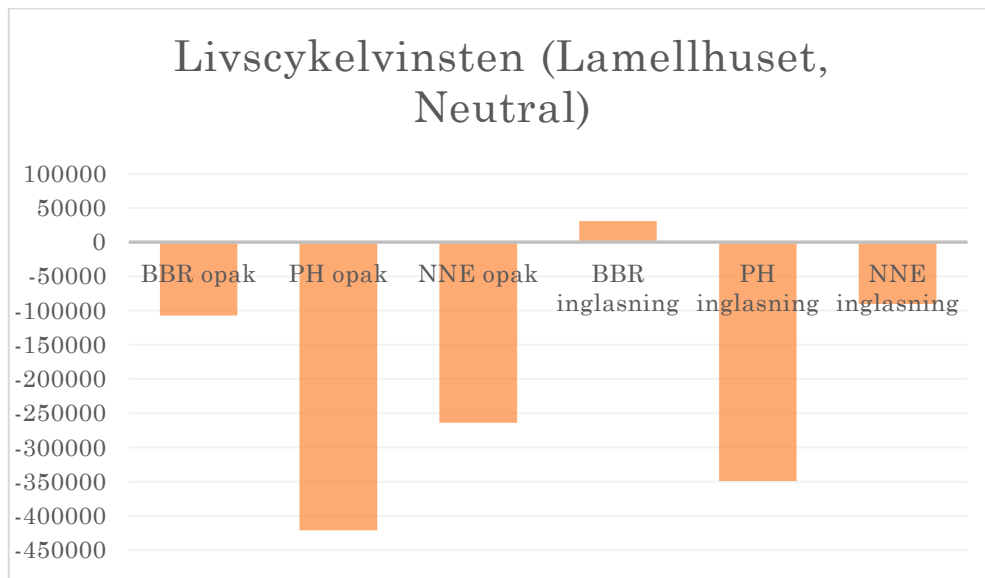
Figur 17: Livscykelvinsten i SEK per BOA för de sex olika renoveringskoncepten för skivhuset.

En känslighetsanalys gjordes genom att beräkna livscykelvinsten med olika indata för prisförändringarna. Eftersom mycket kan hända på 60 år kan man inte anta att bara för att resultatet är positivt så kommer renoveringen i verkligheten också att vara det. Utan man måste på något sätt ta hänsyn till olika förändringar. I studien valdes följande tre utfall:

1. Det positiva utfallet: Det positiva utfallet förutsätter en real prisökning på 4 % för både energi och underhåll, vilket speglar en framtid där dessa priser ökar mycket snabbare än konsumentprisindexet, kanske på grund av svårigheter att hitta nya energikällor, ökande skatter eller andra politiska beslut.
2. Det negativa utfallet: Det negativa utfallet antar en årlig realprisminskning på -1 % för både energi och underhåll, vilket speglar en framtid där dessa priser inte ökar med samma hastighet som konsumentprisindexet, kanske på grund av nya energikällor eller politiska beslut.
3. Slutligen, det neutrala utfallet: Det neutrala utfallet förutsätter följande reala prisökningar: 1,7 % el; 1,4 % fjärrvärme och 1,7 % underhåll. Det här speglar en framtid som liknar tidigare års prisutveckling (se energiprisförändringen och underhållsprisförändringen i tidigare delkapitel).

Figur 16 och Figur 17 visar ett kontroversiellt resultat. Alla renoveringskoncept verkar vara ekonomiskt fördelaktiga för skivhuset, men för lamellhuset finns det inget renoveringskoncept som är bättre än Basfallet. Detta beror på två anledningar, den första är att lamellhuset har en tegelfasad som behöver rivs innan fasadelementen kan installeras vilket innebär en relativ hög kostnad. Den andra anledningen är att lamellhuset har större fasadarea i förhållande till BOA, det går helt enkelt åt mer fasadelement per BOA jämför med skivhuset. En intressant aspekt av resultatet är att: om man tror energipriserna kommer att öka i framtiden, i linje med det positiva utfallet, så visar det sig att NNE opak är det mest fördelaktiga konceptet för båda byggnaderna. En annan intressant aspekt av resultatet är att generellt sätt är inglasningskoncepten dyrare än de andra, detta är för att underhållskostnaderna för de inglasade balkongerna är hög. Av speciellt intresse är inglasningskoncepten i lamellhuset eftersom balkongerna i dessa koncept är förlängda

för att öka hyresgästernas bruksvärde. Om man i dessa koncept kan förlänga balkonginglasningens tekniska livslängd lite, från 25 till 30 år, och höja hyran med 210 kr per lägenhet och månad så blir BBR inglasning det mest fördelaktiga, se Figur 18.



Figur 18: Livscykelvinsten i SEK per BOA för de sex olika renoveringskoncepten för lamellhuset, endast det neutrala utfallet.

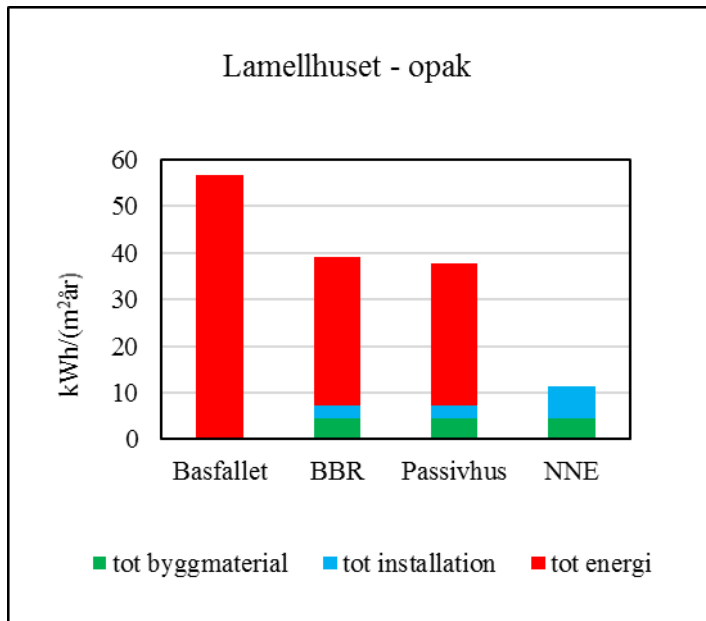
LCA

LCA analyserades för de valda fasadlösningarna med Eco-Bat (Favre 2008), som är ett dataprogram för att bestämma miljöpåverkan från byggnader, inklusive byggnadsmaterial, material för installationer och energianvändning för byggnader i drift, under byggnadens hela livscykel dvs. från "vaggan till graven". Metoden för bestämning av miljöpåverkan under livscykeln är kompatibel med ISO 14040. Indata för miljöpåverkan från material kommer huvudsakligen från databasen Ecoinvent (<https://www.ecoinvent.org/>). Dataprogrammet är framförallt tänkt att användas i ett tidigt skede av arkitekter och tekniska konsulter för nybyggnation eller renovering av befintlig byggnad. Fyra indikatorer för miljöpåverkan kan bestämmas: Ecopunkter, total primärenergianvändning, icke-förnybar primärenergianvändning och växthusgasutsläpp. I detta projekt har valts att analysera total primärenergianvändning och växthusgasutsläpp (se Tabell 30) från material som tillförts för energiåtgärder, samt energianvändningen (värme, varmvatten och fastighetsel) i drift. Miljöpåverkan från transport av material har inte beräknats. Miljöpåverkan anges per $m^2 \cdot A_{temp}$. Livscykeln har antagits vara 60 år.

Tabell 30: Miljöfaktorer för fjärrvärme (Göteborgs Energi 2013 med fossilandel 18%) och svensk el.

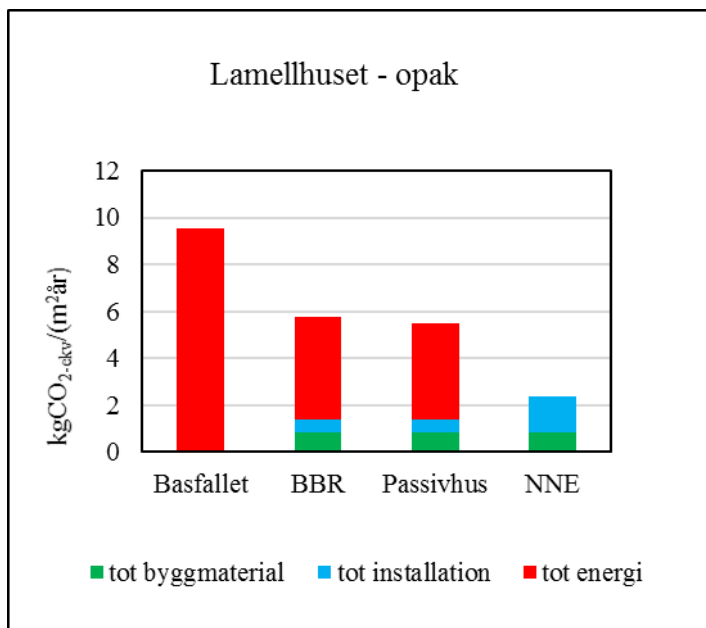
	Primärenergi [kWh/kWh]	Växthusgasutsläpp [kgCO ₂ -ekv/kWh]
Fjärrvärme	0,30	0,08
Svensk el	2,96	0,10

Den årliga primärenergianvändningen, Figur 19, för "basfallet" för lamellhuset är före energirenovering ca 57 kWh/m²·år, vilken reduceras till ca 40 kWh/m²·år (de Concini 2018) genom en BBR opak-renovering. Av de 40 kWh/m²·år utgör mindre än 7 kWh/m²·år bidrag från tillförda material för energiåtgärder. Lägst primärenergianvändning uppnås för NNE opak, ca 11 kWh/m²·år, tack vare solceller.



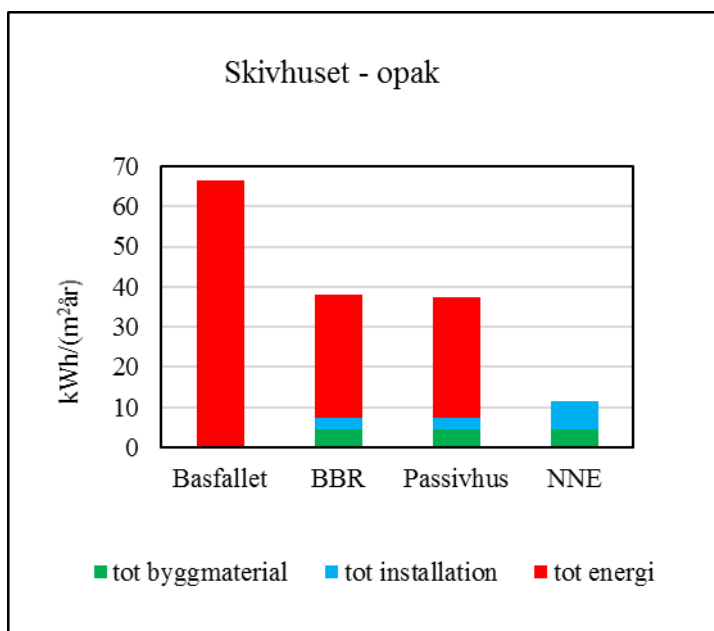
Figur 19: Primärenergianvändning för basfallet och de olika renoveringskoncepten för lamellhuset.

Det årliga växthusgasutsläppet, Figur 20, för "basfallet" för lamellhuset är före renovering ca 10 kgCO₂-ekv/m²·år, vilket reduceras till ca 6 kgCO₂-ekv/m²·år (de Concini 2018) genom BBR opak-renovering. Av de 6 kgCO₂-ekv/m²·år utgör mindre än 2 kgCO₂-ekv/m²·år bidrag från tillförda material för energiåtgärder. Lägst växthusgasutsläpp uppnås för NNE opak, ca 2 kgCO₂-ekv/m²·år, tack vare solceller.



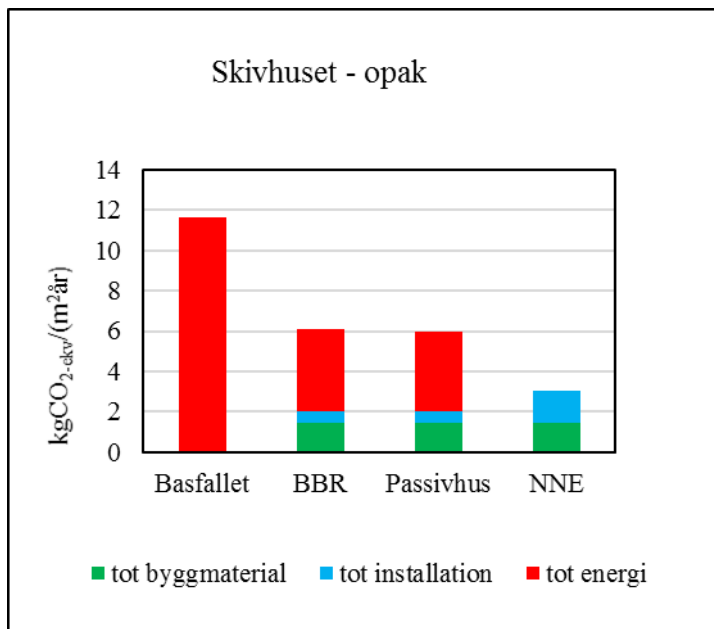
Figur 20: Växthusgasutsläpp för basfallet och de olika renoveringskoncepten.

Den årliga primärenergianvändningen, Figur 21, för "basfallet" för smallhuset är före renovering ca 66 kWh/m²·år, vilken reduceras till ca 38 kWh/m²·år (de Concini 2018) genom BBR opak. Av de 38 kWh/m²·år utgör mindre än 7 kWh/m²·år bidrag från tillförda material för energiåtgärder. Lägst primärenergianvändning uppnås för NNE opak, ca 11 kWh/m²·år, tack vare solceller.



Figur 21: Primärenergianvändning för basfallet och de olika renoveringskoncepten.

Det årliga växthusgasutsläppet, Figur 22, för "basfallet" för smalhuset är före renovering ca 12 kgCO₂-ekv/m²·år, vilket reduceras till ca 6 kgCO₂-ekv/m²·år (de Concini 2018) genom BBR opak-renovering. Av de 6 kgCO₂-ekv/m²·år utgör mindre än 2 kgCO₂-ekv/m²·år bidrag från tillförda material för energiåtgärder. Lägst växthusgasutsläpp uppnås för NNE opak, ca 3 kgCO₂-ekv/m²·år, tack vare solceller.



Figur 22: Växthusgasutsläpp för basfallet och de olika renoveringskoncepten.

Renoveringskoncepten med inglasad balkong har liknande miljöpåverkan, dock lite högre pga. något högre energianvändning.

DISKUSSION

Det är viktigt att påpeka att man endast i liten utsträckning har tagit hänsyn till mjuka parametrar (eller så kallad *multiple benefits of energy renovations* (Hansen et. al., 2016)) i utvärderingen av de olika lösningarna. Det betyder att vissa parametrar, såsom upplevelse av renoverade lägenhet, inomhusluft kvalitet, säkerhet, mm., som inte har en kostnad kopplat till sig inte har analyserats. Termisk komfort och vinterträdgårdar för hyresgästerna har dock undersökts i viss mån i Bajars och Persson (2017). Detta studie har inte heller tagit hänsyn till de så kallade ”multiple benefits of renovation” (Renovate Europe, 2018) vilket är om folk har råd för sin energi, påverkan av byggnaden på hälsan, socialaspekter, hållfasthet, lokala arbetskraft, med flera.

Tanken med detta projekt var att teoretisk försöka hitta en prefabriceradmodul som skulle passa båda husen och som kanske skulle kunna användas i serie för miljonprogrammet. I det här fallet kan man argumentera att vi har gått för långt med renoveringen genom att göra antagandet att vi har en omfattande renovering och därmed försöker uppfylla BBR-nivån. Samtidigt så har referensgruppen påpekat att de funderar på hur låg energianvändning kan man nå med rätt byggteknik och installationstekniska lösningar och ändå uppfylla de avkastningskrav de har. Resultatet av det är att vi har mer isolering och i våra beräkningar och vi klarar därför kraven med marginal. Vi har också visat att nära-noll energikraven inte är orealistiska.

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. Utan vid en energi fokuserad renovering man måste se till hela byggnaden. Intressant nog så ställer BBR inget krav på att byggnaden ska uppfylla energikrav om det inte är en omfattande renovering. BBR till och med använder en fasadrenovering som ett exempel på åtgärder som inte är en omfattande renovering. Det innebär att, i praktiken, att man kan välja isoleringstjocklek utan att behöva uppfylla krav på varken U_m eller energianvändning.

Som nämt innan så vid en omfattande renovering måste ytterligare energiåtgärder genomföras för att minska transmissionsförlusterna, exempelvis takisolering, nya lågenergidörrar och fönster för att klara BBR 24. Om dessutom värmeåtervinning på ventilationen installeras, så är det möjligt att mer än halvera den specifika energianvändningen och därmed med marginal uppfylla byggnormskraven i BBR 24. Om värmeåtervinning förbättras ytterligare kan även passivhuskraven (FEBY 2012) uppfyllas. Dessutom är det möjligt att uppfylla NE-kraven om solceller installeras på fasad och tak.

Inglasning av balkonger kombinerat med en multifunktionell fasad ger något sämre energibesparing än enbart den multifunktionella fasaden. Nackdelarna är högre investering, högre underhållskostnader och sämre energibesparing. 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. 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 basfalls renoveringen, 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 projekt kommer vara prototyputveckling och demonstration i fullskala, med vetenskaplig utvärdering.

SLUTSATSER

En kartläggning av vilka teknologier som finns tillgängliga för renovering har gjorts. Krav från BBR, Feby och rekommendationer från energimyndigheten har gått igenom. Förutsättningar för att renovera byggnader från miljonprogrammet har undersökts. Utifrån detta utvecklades sex olika koncept för renovering med multi-aktiva fasader som skulle kunna fungera i en svensk kontext. Det var en process där koncepten kontinuerligt finjusterades efterhand som analyserna gav resultat. Målet var att ta fram realistiska, väl genomtänkta och innovativa koncept men som också hade en stor energibesparing och skulle kunna vara kostnadseffektiva.

En allmän slutsats från projektet är att tilläggsisoleringen som ingår i en multiaktiv fasadlösning inte ensam räcker vid renovering för att uppfylla BBR's krav på genomsnittlig värmeledningkoefficient U_m och specifik energianvändning, ytterligare energiåtgärder behövs. Om dessutom värmeåtervinning på ventilationen installeras, så är det möjligt att halvera den specifika energianvändningen och därmed med marginal uppfylla byggnormskraven i BBR.

När energiförlusterna från tilluften optimerades så var dessa förluster endast 0,2 kWh/(m²·år) och temperaturfallet för den kallaste dagen och för lägenheten längst bort, endast 3 °C. Slutsatsen är att korrekt dimensionerat fungerar ett sådant ventilationssystem bra i en tilläggsisolering.

LCC

Slutsatsen från denna del av studien är att de framtagna multiaktiva fasadkoncepten har potential och skulle kunna vara ekonomiskt fördelaktiga jämfört med att göra en renovering vars enda syfte är att förlänga byggnadens livslängd. Framför allt så bör man överväga att göra en mer omfattande renovering och installera solceller om man tror att energipriserna kommer att öka mer i framtiden än vad de gör idag. Om en balkong förlängning och inglasning är möjlig och om detta skulle kunna motivera en hyreshöjning så är det också troligtvis fördelaktigt. Mervärden såsom förbättrad termisk komfort, är svåra att värdera i ekonomiska termer och har därför uteslutits.

LCA

Slutsatsen från LCA analysen är att miljöpåverkan under en livscykel minskar, med minst 30–40 %, tack vare de olika renoveringskoncepten. Samt att påverkan från de tillförda materialen inte är försumbar, den kan utgöra ca ¼.

Framtida forskning

För att verifiera resultaten presenterade i denna förstudie skulle ett demonstrationsprojekt kunna genomföras. En framtida studie skulle använda verkliga produktionskostnader, LCA, enkät och feedback från verkliga personer, sociala aspekter och andra mjuka parametrar, mm. Dessutom skulle studien kunna vara anpassad till det senaste gällande krav, rekommendationer och certifieringar. I ett sådant fortsättningsprojekt skulle först en lämplig byggnad identifieras och analyseras. Efter det skulle ett prototypkoncept tas fram och analyseras. Därefter skulle konceptet förverkligas som ett demonstrationsprojekt där forskarna skulle kunna utvärdera processen. Till sist skulle den färdigrenoverade byggnaden kunna analyseras. Förhoppningen är att resultaten från ett sådant projekt skulle kunna användas för att ta fram ett marknadsfärdigt koncept och sedan användas på fler byggnader för att minska energianvändningen på ett ekonomiskt fördelaktigt sätt.

REFERENSER

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, At: <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/8918616>

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

BeBo 2013. *Energirelaterade godhetstal för flerbostadshus – Ombyggnad*.

Björk, C., Kallstenius, P. och Reppen, L., 2002. *Så byggdes husen 1880 ~ 2000 - Arkitektur, konstruktion och material i våra flerbostadshus under 120 år*. Formas, T1:1984, Stockholm.

Boverket BBR18 med ändringar tom BBR23

Boverket, 2016, *Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd*. Från: <http://www.boverket.se/contentassets/feede99355a14be98e44fafa1e0bb5de/bfs-2016-xx-bbr-23.pdf>

Boverket, 2003. *Bättre koll på underhåll*. Diarienummer: 2081–2114/2002. Boverket, Publikationsservice, Karlskrona.

Boverket, 2010, *Energi i bebyggelsen – tekniska egenskaper och beräkningar – resultat från projektet BETSI*.

Boverket, 2014, *Förstudie - ombyggnad och andra ändringar på PBL Kunskapsbanken*, Från: <http://www.boverket.se/contentassets/223380aa0a7540f994136add0e420bf7/forstudie-ombyggnad-andra-andringar-pbl-kunskapsbanken.pdf>

Boverket, 2010b, *Teknisk status i den svenskabebyggelsen – resultat från projektet BETSI*, Boverket, Från: <http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2011/betst-teknisk-status.pdf>

Byman, K., Jernelius, S., 2013, *Miljöprogram för miljonprogrammet – styrmedel för energieffektiv renovering av flerbostadshus*, Naturskyddsföreningen, Från: https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/rapporter/Rapport_Milj%C3%B6program_f%C3%B6r_miljonprogrammet.pdf

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

ELIB, 1993. *Bostadsbeståndets tekniska egenskaper. ELIB-rapport nr 6*, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.

Energimyndigheten, 2010a, *Uppdrag 13: Nationell strategi för lågenergibygnader*, rapport ER 2010:39.

Energimyndigheten, 2011a, *Energiläget 2011*. Från: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjJufzXtJTcAhWhFZoKHUBdB44QFggpMAA&url=https%3A%2F%2Fenergimyndigheten.a-w2m.se%2FFolderContents.mvc%2FDownload%3FResourceId%3D2589&usg=AOvVaw0qJiU5Uba5XLxWuU8o9GDI> [2018-07-10]

- Energimyndigheten. (2015). *Energiläget 2015*. Energimyndigheten. Från: https://www.energimyndigheten.se/contentassets/50a0c7046ce54aa88e0151796950ba0a/energilagget-2015_webb.pdf, [2018-04-25]
- Energimyndigheten, 2010b, 2011b, *Energistatistik för flerbostadshus*
- Engvall, K. 2003. *A Sociological Approach to Indoor Environment in Dwellings*. Department of Medical Sciences, Occupational and Environmental Medicine, Uppsala Universitet
- Favre, D., Citherlet, S., 2008, *Eco-Bat: A design tool for assessing environmental impacts of buildings and equipment*, Building Simulation, mars 2008, volym 1, sida 83-94.
- Hansen, M., Stefansdotter, A., Freimane, M., Klevnäs, P., Næss-Schmidt, H., 2016, *Multiple benefits of energy renovations of the Swedish building stock*, Copenhagen Economics, Från: <https://www.copenhageneconomics.com/dyn/resources/Publication/publicationPDF/4/384/1484917593/copenhagen-economics-2016-multiple-benefits-of-energy-renovations-of-the-swedish-building-stock.pdf>
- Höfler, K., 2012, *Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings*, National final report, IEA Forskningskooperation, nachhaltig wirtschaften, bmvit 25/2012.
- Incit AB (2016). *REPAB Underhållskostnader*. Ale Tryckteam.
- Johansson, T. Mangold, M., *Geografiska analyser gällande behov av renovering och energieffektivisering av flerbostadshus*, Luleå Tekniska Universitet, Teknisk rapport, Luleå, 2018.
- Lindahl, J. (2014). *National Survey Report of PV Power Applications in Sweden*. Uppsala University and International Energy Agency: Uppsala, Sweden.
- Lindqvist et al. 2013, *Miljonprogrammet – Förutsättningar och möjligheter*, Från: <http://www.tmf.se/BinaryLoader.axd?OwnerID=7513b915-4842-47fc-9786-dbbdb1e6467e&OwnerType=0&PropertyName=Files&FileName=2013+Renoveringsbehov+-+miljonprogrammet.pdf&Attachment=True>)
- Löfven, S., 2018, *Riksrevisionens rapport om inkomsteffekter av brukvärdessystemet*. Regeringens skrivelse 2017/18:134 Från: <https://www.regeringen.se/4933fb/contentassets/4217b8893529470b8f7594c68b64d55b/riksrevisionen-s-rapport-om-inkomsteffekter-av-bruksvardessystemet-skr.-201718134>
- MEEFS 2015, *Multifunctional Energy Efficient Facade System for Building Retrofitting*. Från: <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
- Mjörnell, K., 2011. *Teknikupphandling: Rationell isolering av klimatskärmen på befintliga flerbostadshus - Rapport från etapp 1*. BeBo.
- Mjörnell, K., Werner, G., 2010. *Rationell isolering av klimatskärmen på befintliga flerbostadshus - Förstudie inför teknikupphandling*. BeBo.
- MORE-CONNECT, 2015. Från: <http://www.more-connect.eu>
- Orestål, U., 1996. *Ventilation förr och nu – En handbok och regelsamling för ventilationskontroll*. Svensk Byggtjänst.

Renovate Europe, 2018., *Multiple benefits of renovation.*, Från: <https://renovate-europe.eu/the-campaign/multiple-benefits/>

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

SCB, 2007a. *Energistatistik för flerbostadshus 2006. Sveriges officiella statistik statistiska meddelanden EN16 SM 0702*, Statistiska centralbyrån.

SCB, 2007b. *Byggandet – ombyggnad och rivning av flerbostadshus 2006. Sveriges officiella statistik statistiska meddelanden BO 21 SM 0701*, Statistiska centralbyrån.

Statistiska centralbyrån [SCB]. (2018). *Konsumentprisindex*. Från: <http://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/priser-och-konsumtion/konsumentprisindex/konsumentprisindex-kpi/pong/tabell-och-diagram/konsumentprisindex-kpi/kpi-faststallda-tal-1980100/>, [2018-04-25]

Sverige byggindustrier. (2018). *Entreprenadindex: 124 Ombyggnad*. Från: http://www.entreprenadindex.se/entreprenadindex__22#tablepop

Wahlström, Å., Blomsterberg, Å., Olsson, D., 2009. *Värmeåtervinningssystem för befintliga flerbostadshus - Förstudie inför teknikupphandling*. BeBo.

Wikells byggberäkningar AB. (2018). *Kalkylprogram: Sektiondata*. Från: <http://www.wikells.se/kalkylprogram.aspx>

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