

Metod för energirenoivering av miljonprogramshus

- En fallstudie för lamellhus med bokhylllestomme och utfackningsväggar



Esbjörn Lindh
Assar Zätterström



LUNDS
UNIVERSITET

Metod för energirenoivering av miljonprogramshus

- En fallstudie för lamellhus med bokhullestomme
och utfackningsväggar

Esbjörn Lindh
Assar Zätterström

Examensarbete

Avdelningen för Byggnadsfysik
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund

© Esbjörn Lindh och Assar Zätterström

ISRN LUTVDG/TVBH—24/5131—SE(138)
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Sammanfattning

- Titel:** **Metod för energirenovering av miljonprogramshus** - En fallstudie för lamellhus med bokhylllestomme och utfackningsväggar
- Författare:** Esbjörn Lindh, Assar Zätterström
- Handledare:** Stephen Burke. Tekn. Dr. Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Avdelningen för byggnadsfysik
Karin Adalberth. Tekn. Dr. Primeproject AB
- Examinator:** Petter Wallentén. Tekn. Dr. Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Avdelningen för Byggnadsfysik.
- Bakgrund:** Under det svenska miljonprogrammet byggdes drygt en miljon bostäder under en 10-årsperiod, där lamellhus i 3-våningar är den dominerande hustypen. Produktionen var industriell och rationell med enhetliga metoder och utföranden. Byggnaderna har under åren haft varierad grad av underhåll, men genomgående för husen har generellt varit bristfällig skötsel. Gemensamt för en stor del av byggnaderna är således deras stora renoveringsbehov, då den tekniska livslängden dessutom uppnåts. Som en del av de klimatpolitiska målen läggs samtidigt nu en allt större vikt på energieffektivisering av befintliga hus, då produktionen av nya hus innebär stora klimatavtryck, samtidigt som äldre hus har en, med dagens mått, bristfällig energiprestanda. Med anledning av den standardiserade stomtypen, behovet av mer energieffektiva byggnader, samt det stora renoveringsbehovet som existerar hos en av landets vanligaste byggnadstyp, behövs lönsamma och effektiva renoveringsmetoder som fler fastighetsägare vågar satsa på. En sådan metod utförs på Brf Tingvallen i Lund.
- Syfte:** Syftet med examensarbetet är att utvärdera och undersöka effekterna på byggnadernas energiprestanda och deras termiska inneklimat till följd av renoveringsmetoden som tillämpats på Brf Tingvallens lamellhus. Detta för att förhoppningsvis ge kunskap och inspiration till branschen, och uppmana till vidare forskning och effektivare renoveringar av miljonprogramshusen.
- Metoder:** För att utvärdera renoveringsmetodens effekter upprättas energimodeller i IDA-ICE, vars resultat jämförs med uppmätt energistatistik från NODA-systemet. Därtill utförs lufttäthetsprovningar och termografering av några av de renoverade lägenheterna. Dessutom

används enkätundersökningar som besvaras av de boende, för att undersöka upplevelsen av renoveringen och det termiska inneklimatet.

Slutsatser: Arbetet visar på att renoveringsmetoden upplevdes relativt besvärlig för en del boende, men enligt många ansågs den vara nödvändig och inte speciellt jobbig, sett till lyftet det gav för lägenheterna och området i helhet. Dessutom visar resultatet på att det termiska inneklimatet i lägenheterna har förbättrats något. Därtill visar analysen på att energiprestandan för fastigheterna verkar minska med ca 25 - 29 %. Studien visar även att renoveringsmetoden kan tillämpas på de flesta byggnader med bokhullestomme, varför metoden har stor potential att nyttjas vid renoveringar av flerbostadshus från miljonprogrammet.

Nyckelord: Energirenovering, miljonprogrammet, energianvändning, energiprestanda, IDA-ICE, NODA, lufttäthetsprovning, termografering, energieffektivisering, flerbostadshus, renoveringsmetod, bokhullestomme

Abstract

A fifth of Sweden's current housings were built during the Million Programme (1965 - 1974). A substantial amount of these houses are in a great need of renovation, and furthermore, these houses do not have the same energy performance that modern houses have. As a part of decreasing the building sector's carbon emissions, reaching the climate targets and at the same time utilize already existing buildings and thus avoid the big accumulated emissions of new production, it's of great importance that these buildings are renovated, and especially that they are well renovated.

The purpose of this study was therefore to examine a potentially effective renovation method for these common dwelling houses; how the energy efficiency and the thermal climate in the houses was affected. To do so, energy usage from theoretical energy models from IDA-ICE were compared with measured values, and air tightness tests, as well as thermography tests were made to evaluate the parameters. Furthermore, a survey was sent to the house residents, where the respondents gave an indication about how the renovation was experienced and how the thermal climate affected the residents. The results of the study revealed that the thermal climate was generally enhanced and that the residents experienced the renovation somehow bothersome, though most were satisfied and thought that the area as a whole had improved. The results also showed that the energy efficiency of the houses was improved with 25 – 29 %, depending on if the measured or the simulated result was used. The results also indicated that the renovation method inherently is applicable on most apartment buildings from the Million Programme, due to the building frame's formation.

Förord

För det första är vi mycket tacksamma för all hjälp och stöd vi fått från våra handledare Stephen Burke och Karin Adalberth, samt vår kollega Martin Rydenlund. Med deras erfarenhet och kompetens har vi ständigt haft det stöd och det bollplank vi behövt. Därtill har vi fått stor hjälp, rundvisningar och tillgång till husen via Joakim Gullstrand och Martin Jeppsson på Servicekuben, bostadsrättsföreningens ordförande Mikael Lantz, samt bovärdarna Calle och Robban. Vi är också tacksamma för genomgång och diskussion av NODA-systemet med Johnny Ragazzo, energiexpert på Krafringen, samt för alla boende i föreningen som tog sig tid att besvara vår enkät och som kunde låna ut sina lägenheter för lufttäthetsprovningarna. Till sist vill vi såklart även rikta ett stort tack till vår examinator Petter Wallentén och opponert Alexander Nilsson som gett oss otroligt värdefulla kommentarer.

Lund, januari 2024

Esbjörn Lindh & Assar Zätterström

Innehållsförteckning

| | |
|--|-----|
| Sammanfattning | i |
| Abstract | iii |
| Förord | v |
| Innehållsförteckning | vii |
| 1 Inledning | 1 |
| 1.1 Bakgrund | 1 |
| 1.2 Syfte och frågeställningar | 2 |
| 1.3 Avgränsningar | 3 |
| 1.4 Struktur | 3 |
| 2 Teori | 5 |
| 2.1 Miljonprogrammet | 5 |
| 2.1.1 Bakgrunden till miljonprogrammet | 5 |
| 2.1.2 Kritik och renoveringsbehov | 6 |
| 2.1.3 Miljonprogrammets byggtekniker | 7 |
| 2.2 Klimatmålen i EU och Sverige | 9 |
| 2.3 En byggnads tre skeden | 10 |
| 2.4 Energieffektivisering | 12 |
| 2.4.1 Åtgärder för energieffektivisering av miljonprogrammet | 12 |
| 2.5 Lufttätetsprovningar | 13 |
| 3 Fallstudie | 17 |
| 3.1 Brf Tingvallen | 17 |
| 3.1.1 Byggnadernas renoveringsstatus | 19 |
| 3.1.2 Husens förutsättningar & bakgrunden till renoveringen | 20 |
| 3.2 Renoveringen | 29 |
| 4 Metod | 41 |
| 4.1 Energiberäkning | 41 |
| 4.2 Uppmätt energistatistik | 43 |
| 4.3 Utförande av enkätundersökning | 46 |
| 4.4 Lufttätetsprovning och termografering | 47 |
| 5 Resultat | 55 |
| 5.1 Energiberäkning | 55 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2 | Uppmätt energistatistik..... | 55 |
| 5.3 | Enkätsvaren | 57 |
| 5.4 | Lufttäthetsprovning och termografering..... | 66 |
| 5.4.1 | Termografering i lägenhet 1..... | 67 |
| 5.4.2 | Termografering i lägenhet 2..... | 68 |
| 5.4.3 | Termografering i lägenhet 3..... | 70 |
| 6 | Diskussion..... | 73 |
| 6.1 | Energianvändningen..... | 73 |
| 6.2 | NODA - Lärande och framåtblickande styrning av värmekurvor..... | 78 |
| 6.3 | Förutsättningar för renoveringsmetoden och dess lämplighet..... | 79 |
| 6.4 | Enkätresultaten | 82 |
| 6.5 | Lufttäthetsprovning i renoveringsprojekt..... | 84 |
| 6.6 | Termografering..... | 84 |
| 7 | Slutsats | 87 |
| 7.1 | Reflektion | 88 |
| 7.2 | Vidare forskning och möjligheter..... | 88 |
| | Referenser | 91 |
| | Bilagor..... | 97 |

1 Inledning

Detta är ett examensarbete på väg- och vattenbyggnadsprogrammet på Lunds Tekniska Högskola, vid Lunds universitet. Arbetet är utfört under höstterminen 2023 och utgör den avslutande delen för civilingenjörsutbildningen.

1.1 Bakgrund

Sverige står inför stora utmaningar för att minska utsläppen av växthusgaser och för att lyckas nå klimatmålen. Enligt det globala klimatavtalet - Parisavtalet - ska jordens medeltemperaturökning hållas under 2 °C och helst runt 1,5 °C genom minskade utsläpp av växthusgaser (Energimyndigheten 2023). Som del av Sveriges nationella plan för att uppnå detta har det upprättats långsiktiga nationella mål, som innebär att Sverige ska nå nettonollutsläpp år 2045 och efter detta åstadkomma negativa utsläpp av växthusgaser (Naturvårdsverket u.å.). I dagsläget sker dock en allt för långsam minskning av utsläppen och enligt Klimatpolitiska rådet innebär hittills presenterade åtgärder från nuvarande regering att Sverige till och med skulle kunna få ökade utsläpp av växthusgaser inom en snar framtid (Klimatpolitiska rådet 2023).

Inom Sverige utgör byggbranschens klimatpåverkan och växthusgasutsläpp en ansenlig del av landets totala utsläpp. Branschen stod 2020 - enligt den senaste statistiken från SCB - för ca 21 % av de totala växthusgasutsläppen och som en del i att minska klimatpåverkan infördes 2022 lagkrav på klimatdeklarationer för nya byggnader. Branschen har minskat sina utsläpp av växthusgaser och kväveoxider något, samtidigt som energianvändningen, partikelutsläppen och avfallsmängderna ökade. Enligt EU:s direktiv om byggnaders energiprestanda krävs därför mer cirkularitet i branschen med större fokus på att behålla befintliga byggnader, återbruk, energieffektivisering, samt nationella renoveringsplaner med konkreta åtgärder (Boverket 2023c).

Bland Sveriges befintliga byggnader utgör miljonprogrammets byggnader en väsentlig del av det svenska bostadsbeståndet, närmare en femtedel av alla bostäder (Boverket 2020). Dessa fastigheter hade vid sitt uppförande avsevärt lägre krav på energiprestanda, och enligt statistik från SCB har upp mot 36 – 84 % av den totala mängden som byggnaderna utgör beräknats vara i måttliga till stora renoveringsbehov. Alltså, en potentiellt väldigt stor andel av byggnaderna kommer behöva genomgå större renoveringar inom en snar framtid då många har nått sin tekniska livslängd (Vi lyfter miljonprogrammet u.å.). Samtidigt är miljonprogramshusen producerade på ett mycket industriellt tillvägagångssätt med välplanerade planlösningar som formas av stommen. Dessutom har husen identiska prefabricerade element, precisa mått och standardlängder på byggelementen, samt stommar som har en livslängd som utlöper långt efter att andra delar, såsom fasader och fönster. Stommens stora klimatavtryck och långa livslängd möjliggör att denna kan utnyttjas långt framöver och samtidigt kan övriga delar av byggnaden bytas ut för att uppnå en energieffektivare byggnad. För att klara av de nationella klimatmålen, EU:s klimatmål och de globala överenskommelserna enligt

Parisavtalet, krävs inte bara att energianvändningen i byggnader minskar, utan även att byggbranschen förflyttar fokus till ett betydligt mer cirkulärt hållbarhetsperspektiv där man tar till vara på idag existerande byggnader med deras resurser och tillgångar, snarare än att riva och bygga nytt (EASAC 2021). Nybyggnation innebär stora klimatavtryck då det krävs stora mängder byggmaterial som ska brytas, transporteras och produceras. I byggprocessen för en ny byggnad är det materialproduktionen som står för en majoritet av påverkan. I IVL:s och KTS:s fallstudie från 2015 uppgår materialproduktionen till 84 % av klimatpåverkan i byggprocessen, och de material som har absolut störst påverkan är betong, bruk och armering - det vill säga husets stomme. (Liljenström et al. 2015). Vidare är stommen således en del av byggnaden som bör tas till vara på och nyttjas hela sin livslängd. Under senaste tiden har detta uppmärksamats och allt fler har poängterat och kritiserat byggsektorns stora fokus på nyproduktion. Eftersom det är betydligt enklare och säkrare att räkna på rivning och nyproduktion, samtidigt som lagstiftningen och certifieringssystemen också är anpassade efter nyproduktion, vill många nu vända fokus mot ombyggnationen och befintliga byggnader. I en intervju sammanfattar Lone-Pia Bach (Professor restaureringskonst) detta som: "Hela byggsektorn tänker hållbarhet genom nybyggnad" (Zawieja 2022).

För miljonprogramshusen ökar nu renoveringstakten kraftigt (Vi lyfter miljonprogrammet u.å.). Detta parallellt med att en allt större betoning läggs, och kommer behöva läggas inom en snar framtid, på energieffektivisering och renoveringsplaner för bostadsbeståndet (Boverket 2023c), varför standardiserade metoder för dessa renoveringar är nödvändiga. För att möta krav och mål behöver branschen smidiga och standardiserade renoveringsmetoder för att energirenoivera denna mycket vanliga byggnadstyp och höja dess energiprestanda. En positiv synergieffekt kan dessutom uppstå då miljonprogramsområden kan utvecklas till mer attraktiva och tilltalande bostadsområden vid renoveringar som höjer standarden och livskvaliteten, vilket är av särskild vikt för miljonprogramsområden då många av dessa, ur ett generaliserat perspektiv, är mer eller mindre utsatta (Fröhlin & Svedberg 2022). Miljonprogramsområden var i grunden välplanerade, innovativa och byggda med stommar i kvalitet. De är ofta byggda med trafikseparering, flyttbara innerväggar och innergårdar, vilket gör att många har en stor potential att vara sociala och attraktiva områden (Stenberg u.å.).

Miljonprogrammets byggnader behöver tas till vara på och detta på ett effektivt och kompetent sätt - "Framtidens byggnader är redan byggda" (Stannow 2022).

1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med arbetet är att undersöka renoveringsmetoden som tillämpats i projektet på Brf Tingvallen sett till flera aspekter, såsom påverkan på användningen av uppvärmningsenergi, brukarnöjdhet, termisk komfort, samt byggmetodens tillämpbarhet på andra byggnader. Arbetet ska dels utvärdera metodens positiva egenskaper sett till ovan nämnda aspekter, men även undersöka dennes begränsningar och nackdelar sett till

dessa aspekter. Arbetets resultat ska bidra till att renoveringsmetoden utvecklas och tillämpas på andra liknande ombyggnadsprojekt, för att dels ta till vara på det redan byggda och minska resursslöseri, dels förbättra energiprestandan på dessa hus för att minska byggbranschens utsläpp och nå klimatmålen.

Med detta syfte som utgångsläge ska rapporten besvara följande frågor:

- Hur mycket ändrades byggnadernas uppvärmningsenergi före relativt efter renoveringen?
- Hur upplevdes renoveringsprocessen av de boende?
- Upplevde boende en förändring i termisk komfort före relativt efter renoveringen? I så fall på vilket sätt?
- Kan metoden tillämpas på andra miljonprogramsbyggnader? Vilka förutsättningar är i så fall nödvändiga?

1.3 Avgränsningar

Arbetet har en mängd olika aspekter som hade kunnat undersökas och diskuteras för att få en än djupare inblick i renoveringen och dess effekter. Det arbetet inte kommer behandla är för det första fuktaspekten på renoveringen. Därtill kommer återbruksaspekten inte undersökas och diskuteras, och det kommer inte heller göras någon undersökning av alternativa utföranden på renoveringen eller någon sorts ekonomisk analys av andra åtgärder som hade kunnat användas (exempelvis FTX-system, värmepumpar etc.). I datorprogram kommer endast energianvändningen (uppvärmningen) undersökas, och inte hur exempelvis dagsljusfaktor eller solvärmelast påverkar lägenheterna. Hur köldbryggor påverkas av renoveringen är också en aspekt som inte kommer att behandlas i arbetet. Ytterligare en aspekt som inte kommer undersökas närmare är de socioekonomiska effekterna som renoveringen kan medföra för området.

1.4 Struktur

Examensarbetet inleds med ett teorikapitel där nödvändig information och bakgrund sammanställs baserat på tidigare forskning och undersökningar. Därefter presenteras en fallstudie där det aktuella renoveringsprojektet, renoveringsmetoden och fastigheterna som arbetet baserar sina resultat på beskrivs, följt av ett metodkapitel där tillvägagångssätt för arbetets olika metodiker redogörs. Efter detta visas arbetets resultat som sedan överläggs i diskussionskapitlet, följt av slutsatser.

Om inget annat anges i figurtexterna är bilder och illustrationer i arbetet författarnas egna. I arbetet används även det förenklade ordet ”energianvändning”, vilket framöver syftar specifikt på användningen av uppvärmningsenergi för byggnaderna.

2 Teori

2.1 Miljonprogrammet

Under ett decennium (1965–1974) byggdes det i Sverige 1 005 578 bostäder - det så kallade miljonprogrammet. Tanken bakom miljonprogrammet var att bygga bort den rådande bostadsbristen med hjälp av effektiv, industriell och storskalig produktion av bostäder (Boverket 2020).

2.1.1 Bakgrunden till miljonprogrammet

På 1930-talet hade Sverige Europas sämsta bostadsstandard (Länsstyrelsen 2004) senare under efterkrigstiden kom Sverige att få en kraftigt växande välfärd och levnadsstandard (Söderqvist 1999). Med förbättrade levnadsstandarder följde bättre hushållsekonomi och därmed en ökad efterfrågan på bostäder. Vidare medförde 40-talet ovanligt stora barnkullar och många av tidens befintliga bostäder och byggnader var bristfälliga och behövde därmed rivas. Samtidigt som detta skedde en mycket intensiv urbanisering från land till stad i och med att arbetstillfällena på landet minskade som en följd av mekaniseringen av lantbruks- och skogsindustrin. Parallellt med detta ökade exportindustrin i landet kraftigt vilket krävde ny arbetskraft. Eftersom dessa industrier ofta låg i närheten av städerna drev detta på urbaniseringen, och genererade därutöver en omfattande arbetskraftsinvandring (SOU 2008:38). Allt detta orsakade en påtaglig bostadsbrist och hundratusentals medborgare stod i bostadsköer i storstäderna (Länsstyrelsen 2004)(Söderqvist 1999).

För att möta underskottet av bostäder började man redan under 40-talet med förmånliga statliga bygglån till byggherrar, mot att framtagna normer och standarder följdes. Detta bidrog till fler och bättre bostäder - bra bostäder skulle vara en rättighet för alla och man ville undvika kategoriboenden (Länsstyrelsen 2004). De statliga lånen räckte dock inte för att bemöta bristen på bostäder. Därför skapades 1959 "bostadsbyggnadsutredningen" som dels kritiserade att bostadsbyggandet "stod under inverkan av de ekonomiska konjunkturerna" som delvis orsakat bristen, vilket man ville ändra på (Söderqvist 1999). Därför slogs det även fast att det under en tioårsperiod behövde uppföras en miljon bostäder - miljonprogrammet var därmed fött (Länsstyrelsen 2004).

För att klara av att producera bostäder i stor kvantitet och kvalitet på så pass kort tid behövdes en effektivisering av byggandet. Detta ansågs extra viktigt då man inte ville att arbetskraften som användes för bostadsbyggnation skulle bli för stor och således konkurrera med den viktiga och lönsamma exportindustrin. Därmed var man tvungen att mekanisera, industrialisera och rationalisera byggprocessen. Byggelementfabriker öppnades, totalentreprenader började införas och man satsade generellt på storskalig och effektiv produktion, där staten och de kommunala fastighetsbolagen, det vill säga den så kallade allmännyttan, hade en väldigt viktig roll (Länsstyrelsen 2004). Detta fick som följd att typen av byggnader och bostäder som producerades under dessa år var mycket

olika de byggnadstyper som tidigare dominerat. Miljonprogramshusen baserades till en början på lamellhus i tre våningar vilka utgör ca en tredjedel av beståndet och är således periodens vanligaste hustyp (Björk, Kallstenius, & Reppen 1984). Efter att boverket i sin rapport *“höga eller låga hus?”* från 1967 ansågs låghus och höghus som jämbördiga i ett försök att minimera byggkostnaderna per kvadratmeter boyta, började hus med många fler än 3 våningar bli vanligare. Under miljonprogramsåren gynnades de bostadsprojekt som hade stora och enhetliga produktionsserier och där arbetskraftsanvändningen var låg i förhållande till byggnadens storlek, detta gav upphov till att många hus producerats på ett liknande sätt (Boverket 2020).

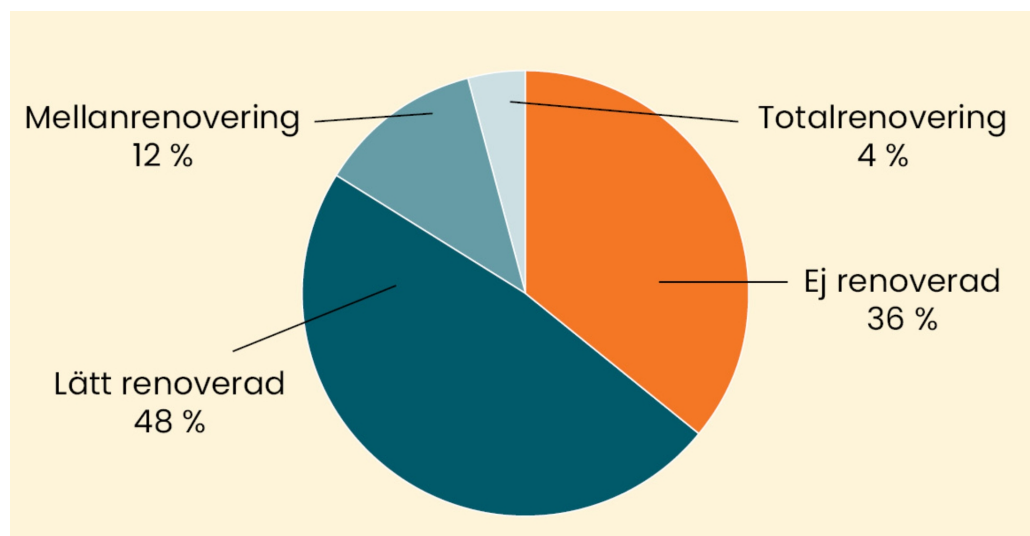
2.1.2 Kritik och renoveringsbehov

Bostadsbolagen som hade haft de största och mest betydelsefulla rollerna i byggandet av miljonprogrammet hade utvecklats i en riktning där de specialiserats och anpassats till nybyggnation och endast nybyggnation, varför det senare blev svårt för dessa att möta hyresgästernas önskemål, samt underhåll och skötsel av byggnaderna (Boverket 2008). Miljonprogramshusen fick därför snabbt utstå stark kritik till följd av dess rationella likformiga utformning, dess tekniska defekter och oförmåga hos fastighetsägarna att underhålla fastigheterna. I takt med förfall valde många som hade möjligheten att flytta ifrån miljonprogramsområdena och bosatte sig på annat håll. Detta ledde till att bostäderna i allt större utsträckning blev hem till socioekonomiskt utsatta grupper och personer med svåra livssituationer, vilket fortsatt påverkade vem som valde att bosätta sig i områdena och vilka som inte gjorde det (Boverket 2008).

Många av dessa bostäder är idag i behov av renovering då det i dagsläget endast är ett fåtal av miljonprogramshusen som har genomgått större renoveringar och många har uppnått eller överskridit sin tekniska livslängd för delar av byggnaderna (Vi lyfter miljonprogrammen u.å.).

Försök att uppskatta hur många miljonprogramshus som har renoverats har gjorts. Ett sätt som använts är att titta på bostäder från miljonprogramsåren som har fått sina värderingsår ändrade. Med detta sätt kan man se att endast 23 % av dessa har genomgått omfattande renoveringar (Nobs u.å.). Då endast en liten andel av husen byggda under miljonprogrammet har genomgått större renoveringar finns det ett uppdämt behov av renoveringar för dessa fastigheter. Renoveringsbehovets kostnad är svår att sätta ett exakt pris på men har uppskattats till cirka 500 miljarder (Boverket 2020).

Statistiken har visat sig svårtolkad och även SCB har tagit fram liknande värden, där det uppskattas att endast 4 % av alla flerbostadshus från tidsperioden som genomgått totalrenovering och 16 % av byggnaderna har fått ett nytt värdeår, och därmed genomgått ansevärd renoveringar. Endast 48 % av fastigheterna har erhållit omregistrerade ombyggnadsår och därmed genomgått mindre renoveringar, medan 36 % inte har noterat upprustningar över huvud taget. En stor andel av miljonprogrammet har alltså endast genomgått lätta renoveringar eller inga renoveringar alls, varför renoveringsbehovet troligtvis är stort. I figur 2.1 redovisas denna statistik (Vi lyfter miljonprogrammen u.å.).



Figur 2.1. Figuren visar fördelningen av renoveringsbehov bland flerbostadshus från miljonprogrammet enligt statistik från SCB (Vi lyfter miljonprogrammet u.å.).

2.1.3 Miljonprogrammets byggtekniker

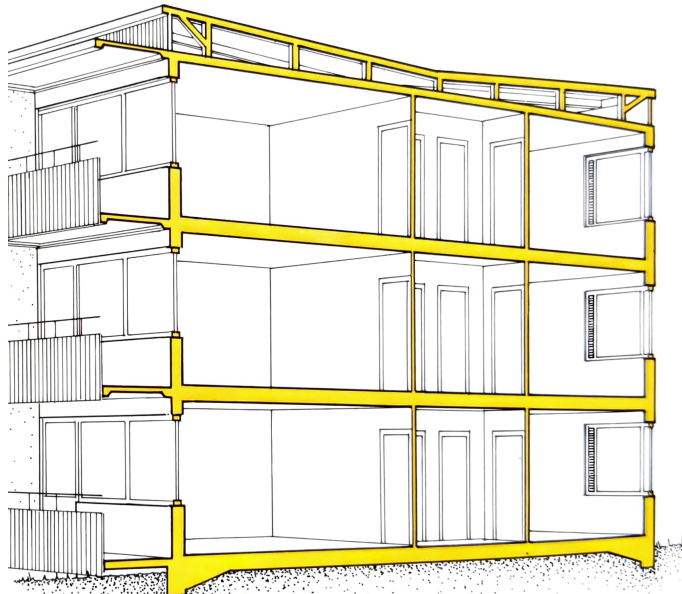
Hustypen som arbetet fokuserar på är avlånga 3-vånings lamellhus med platta tak och invändig avvattning genom schakt i trapphusen. Här fokuseras det i huvudsak på byggtekniken för denna hustyp på grund av att det är den hustyp som fallstudien berör.

Hustypen är mycket vanlig: Ca 300 000 lägenheter från 1960 - 1975 är av denna sort, då byggnaderna inte bara saknade krav på hiss, utan även på grund av att de var väldigt enkla att bygga sett till miljö och stadsplanering. Hustypen uppfördes ofta som relativt korta hus med två till tre trapphusenheter och placerade parallellt relativt varandra, eller som fristående hus i en rektangel runt en innergård. Ju längre in i miljonprogrammet man kom, ju mer började denna hustyp byggas med platta på mark istället för med källare (Björk, Kallstenius, & Reppen 1984). Att man i stället utförde grundläggningen med platta på mark fick som följd att hustypen blev än lättare och tidseffektivare att uppföra (Björk, Kallstenius, & Reppen 1984).

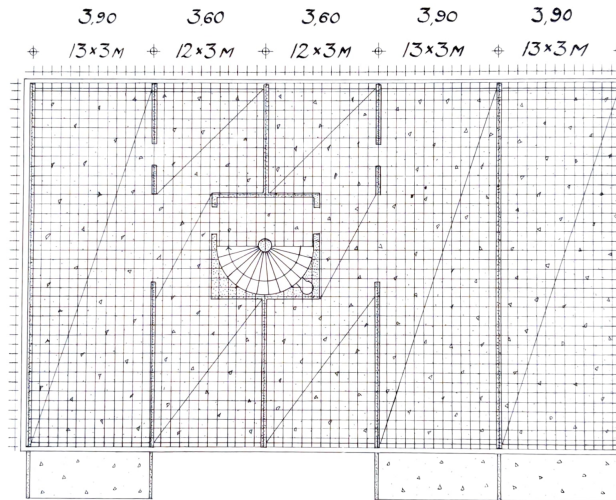
Stommen för ett tidstypiskt lamellhus från miljonprogrammet har en så kallad bokhyllstomme, där den bärande stommen är uppförd i betong med bärande mellanväggar som går tvärlängs genom byggnaden och där gavleväggarna också är bärande och ofta fönsterlösa. Därmed, vilket figur 2.2 och figur 2.3 illustrerar, blir rummen likt "bokhyllfack" mellan de bärande innerväggarna och fasadväggarna (utöver gaveln) har således ingen bärande funktion och byggdes väldigt lätta. Yttreväggar som på detta sätt inte ingår i den bärande stommen kallas för utfackningsväggar. Detta skiljer stommen från många andra stomtyper från andra tidsåldrar (Björk, Kallstenius, & Reppen 1984). Utfackningsväggarna uppfördes traditionellt med en lätt träregelstomme med isolering (ofta 95mm), med asfaboard eller asbestcementskiva utanför och med 13mm plastfolierade gipsskivor på insidan.

Beroende på om utfackningsväggen var placerad ut mot balkong eller inte kunde fasadmaterialet antingen bestå av asbestcementskivor eller ½-stenstegel med luftspalt. Gavelväggarna är generellt i bärande betong med tegelbeklädnad utanför och är ofta fönsterlösa. Att ytterväggarna (utöver gavelväggen) inte bär huset och att mellanväggarna i stället är bärande kan få som konsekvens att planlösningarna blir bristfällig då få innerväggar går att förflytta, men trots detta har hustypens lägenheter generellt en god planlösning (Björk, Kallstenius, & Reppen 1984).

Utmärkande för dessa hustyper är också det industriella sättet som det byggdes på under miljonprogrammet och denna typiska stomme består, precis som många andra stommar från tidsåldern, av prefabricerad betong. Detta gjorde byggprocessen effektiv, samtidigt som betongelementen kunde gjutas med mycket hög precision under kontrollerade förhållanden, varför byggnadernas stommar är väldigt exakta när det kommer till mått. Detta gav också som resultat att betongen och dess yta höll högre kvalitet, varför man inte behövde putsa på insidan på grund av en så slät yta, vilket gav stora tidsbesparingar. För att stomproduktionen skulle hållas industriell och effektiv utan störning, byggdes balkongerna helt utanpåliggande, också dessa i prefabricerade element, och planlösningen är även identisk för varje våningsplan (Björk, Kallstenius, & Reppen 1984).



Figur 2.2 En typisk stomkonstruktion för lamellhus från miljonprogrammet - en så kallad bokhylllestomme (betongstommen markerad i gult) (Björk, Kallstenius, & Reppen 1984).



Figur 2.3 Stomplan för bokhyllestomme med tvärgående mellanväggar i betong (Björk, Kallstenius, & Reppen 1984).

2.2 Klimatmålen i EU och Sverige

Sverige har tagit fram egna nationella klimatmål, vilka bland annat innebär att Sverige ska nå nettonollutsläpp år 2045 och sedan åstadkomma negativa utsläpp av växthusgaser (Naturvårdsverket u.å). Som etappmål på vägen dit ska utsläppen minska med 63 % till år 2030 relativt år 1990 (Naturvårdsverket 2023). Enligt Klimatpolitiska rådet innebär detta att Sverige i dagsläget minskar sina utsläpp i en alltför långsam takt relativt vad som krävs för att nå målen (Klimatpolitiska rådet 2023).

Parallellt med Sveriges nationella mål finns även EU:s klimatmål. EU antog en ny klimatlag i juni 2021 där det fastslogs att nettoutsläppen i EU ska vara 55 % lägre än 1990 (Naturvårdsverket, 2023). För att kunna uppnå detta behöver bygg- och fastighetssektorn bidra med sin andel då denna sektor 2020 stod för 21 % av Sveriges totala inhemska utsläpp och 34 % av Sveriges utsläpp om utsläpp som sker i andra länder av produkter som sektorn importerar tas med i beräkningen (Boverket 2023b). Sverige ska år 2030 ha en energianvändning som är 50 % effektivare än vad den var 2005 uttryckt i termer av tillförd energi genom bruttonationalprodukt (Regeringskansliet u.å.). Dessutom har EU infört mål som avser att minska Europas byggnaders energianvändning med 60 % till 2030 och kommissionen slår fast att renoveringstakten som idag råder i Europa minst behöver fördubblas. Denna renoveringsökning krävs även för att nå målen om ett nettonollutsläpp till 2050 (Europeiska kommissionen 2020). Ett större fokus på renovering av befintliga byggnader kan även leda till en mängd andra positiva effekter för EU:s länder och sammanfattas av Europeiska kommissionen som "Renoveringsvägen kan enligt kommissionen bidra till att skapa 160 000 nya arbetstillfällen i EU fram till 2030 samtidigt som det skapas nya möjligheter till sociala, miljömässiga och ekonomiska vinster. Genomgripande renovering bedöms också kunna

minska pressen att bygga nytt och bidra till att bevara natur, biologisk mångfald och bördig jordbruksmark” (Europeiska kommissionen 2020). De positiva effekterna av att renovera befintliga hus relativt nybyggnation, är alltså inte bara positivt med avseende på miljöpåverkan och växthusgasutsläpp, utan skapar även möjligheter för socioekonomiskt utsatta grupper att få bättre levnadsstandard med bättre inneklimat och hälsa som följd (EASAC 2021).

För att uppnå detta mål är energianvändningen i befintliga byggnader avgörande. I EU:s projekt Cityfied har det i projektet Skarpan utanför Linköping gjorts besparingar på 50 % av energianvändningen (Nobs u.å.). De nationella miljömålen, även kallad generationsmålet, innefattar målet “god bebyggd miljö” där det uttrycks att energianvändningen från bygg- och fastighetssektorn ska användas effektivt samt att förnybara källor ska användas för energin. Det uttrycks också att energianvändningen som helhet successivt ska minska (Boverket 2023a).

Målen om 50 procent energieffektivare användning år 2030 jämfört med 2005 är inte på väg att uppfyllas om inte en mer ambitiös renoveringstakt uppnås. Ett stort problem som måste överbryggas för att öka takten är bristande kunskap och svårbedömd lönsamhet samt finansiering av renoveringsprojekt (Boverket och Energimyndigheten 2019).

2.3 En byggnads tre skeden

En byggnads livscykel kan delas in i tre separata faser. Boverket benämner dessa som byggskede, användningsskede (driftskede) och slutskede. Dessa skeden delas sedan in i mindre moduler med de ingående momenten, vilka redovisas i figur 2.4 (Boverket 2021b).

| Livscykelinformation byggnad | | | |
|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| A1–A5 Byggskede | | B1–B7 Användningsskede | C1–C4 Slutskede |
| A1–A3 Produktskede | A4–A5 Byggproduktionsskede | | |
| A1 Råvaruförsörjning | A4 Transport | B1 Användning | C1 Demontering, rivning |
| | | B2 Underhåll | |
| A2 Transport | A5 Bygg- och installationsprocessen | B3 Reparation | C2 Transport |
| A3 Tillverkning | | B4 Utbyte | C3 Restproduktbehandling |
| | | B5 Ombyggnad | |
| | | B6 Driftsenergi | C4 Bortskaffning |
| | | B7 Driftens vattenanvändning | |

Figur 2.4 Figuren visar en byggnads livscykel med de tre huvudfaserna, som i sin tur är indelade i mindre enheter (Boverket 2021b).

Uppförandet av en byggnad orsakar klimatutsläpp i alla ovan presenterade stadier. Sett till total klimatpåverkan är det byggskedet och användningsskedet som orsakar störst utsläpp, medan slutskedet ger upphov till betydligt mindre utsläpp. Utmaningarna med slutskedet ligger i stället i hur man ska ta hänsyn till de material som blir kvar efter rivning och om det finns några hälsovådliga eller miljöfarliga ämnen (Liljenström et al. 2015). Under etableringen uppstår klimatpåverkan i form av utsläpp som uppstår vid brytning, produktion, installation och transport av materialet i byggnaden (dvs. materialproduktionen i sin helhet), medan det under användnings- och driftskedet är främst uppvärmningen och kylning som orsakar utsläppen av växthusgaser (EASAC 2021)(Liljenström et al. 2015). I dagsläget står etableringen av byggnaden för stor klimatpåverkan, vilket i dagens moderna hus ofta beror på stommen och grunden som inte sällan består av betong och har stora mängder växthusgaser inbundet i sig genom tillverkningen, varför en nybyggnation, på ett mycket generellt plan, inte är speciellt miljövänligt relativt renovering (EASAC 2021). För ett nybyggt flerbostadshus i betong visar studien "Byggandets klimatpåverkan" från 2015 att uppströms klimatpåverkan (byggskedet) respektive nedströms klimatpåverkan (användningsskedet och slutskedet) är ungefär lika stora efter att byggnaden stått i 50 år (Liljenström et al. 2015). Detta innebär att om huset rivs efter 50 år står den inbyggda klimatpåverkan från byggskedet för halva påverkan. Specifika byggnadsdelar i ett hus har längre livslängd än så, men resultatet visar trots detta att klimatpåverkan från byggskedet är betydligt större än vad man generellt brukar anta. Antagandet brukar vara att byggskedet står för ca 15 % av energianvändningen och klimatpåverkan för en byggnad, men studien visar att detta skede i stället står för 20 till och med 85 % av den totala påverkan, beroende på en mängd faktorer såsom analysperiod, byggnadsteknik etc. Dessutom förväntas framtida byggnader bli än mer energieffektiva och användningsskedets klimatpåverkan lär bli mindre i framtiden relativt hur stor andel i en byggnads klimatavtryck som stadiet utgör idag genom bättre isolering och energikällor med lägre klimatpåverkan (Liljenström et al. 2015).

Att renovera en byggnad i stället för rivning och nyproduktion kan även ha en positiv effekt sett till investeringskostnader och livscykelkostnader. En fallstudie av La Fleur och Moshfegh (2021) visar att kostnaderna generellt är lägre för renovering och ombyggnad relativt att riva och bygga nytt - med förutsättningen att stommen är intakt och kan återanvändas. Med nybyggnation tillkommer dock andra fördelar. Det innebär en mer kostnadseffektiv investering där en större garanti finns på en god innemiljö, verksamhetsanpassning och betydligt lättare att få en väl fungerande drift och bättre energieffektivitet. Detta kan dock, beroende på fall och magnitud, även uppnås vid renovering och ombyggnation. En annan fallstudie visar därtill att energirenovering av byggnader byggda under 1960- och 1970-talet, så att de precis uppnår nuvarande energiprestandakrav, kostar ungefär hälften så mycket som nybyggnation av motsvarande byggnad som precis uppnår energiprestandakravet. Den extra byggkostnad som nybyggnation medför kompenseras till viss del med högre hyror i nybyggda lägenheter jämfört med i renoveringsprojekt men även denna något högre hyra gör inte nybyggnad av flerbostadshus till en mer lönsam investering sett ur ett livscykelkostnadsperspektiv (La Fleur, Rohdin & Moshfegh 2019).

Det finns dessutom flera olika oberoende studier som visar att den totala miljöpåverkan i de flesta fall är betydligt lägre för renovering av byggnader, snarare än rivning och nybyggnation (Itard & Klunder 2007, Sedláková et al. 2020, EASAC 2021, Höjer & Mjörnell 2018). Likt "The four-step principle in transport infrastructure planning" togs det 2017 fram en liknande metod för en mer effektiv användning av bostäder. Metoden bygger på att man i första hand minskar behovet av yta, därefter att man nyttjar befintliga ytor mer effektivt, sedan att man renoverar och anpassar befintliga byggnader, och till sist att man bygger en helt ny byggnad (Höjer & Mjörnell 2018). Denna prioriteringsordning är baserad på vad som är minst energi- och resurskrävande och metoden menar att man i första hand bör renovera befintliga byggnader före en nybyggnation (Höjer & Mjörnell 2018).

Att renovera i stället för att riva och bygga nytt är generellt också en snabbare process, vilket leder till fördelar både för fastighetsägaren, de boende och personer som är av behov av bostäder (Sedláková et al. 2020). För att kunna renovera förutsätter det att byggnaderna är av rätt storlek och utformning för den tänkta verksamheten eller att man har samma förutsättningar innan renoveringen som efter, exempelvis bostäder som renoveras till nya bostäder. Det behöver även finnas erforderlig teknisk livslängd kvar hos stommen för att kunna bevara stora delar av byggnaden. Förutsatt detta, är den tillfälliga flytten och evakueringen smidigare vid renovering, relativt rivning och nybyggnation (La Fleur & Moshfegh 2021).

2.4 Energieffektivisering

Bygg- och fastighetssektorns energianvändning uppgick 2020 till 97 TWh inhemsk energianvändning och gav upphov till 6 TWh energianvändning utanför Sverige. Majoriteten av energianvändningen kommer från uppvärmningsbehovet som varierar från år till år beroende på utomhustemperaturen (Boverket 2023a).

2.4.1 Åtgärder för energieffektivisering av miljonprogrammet

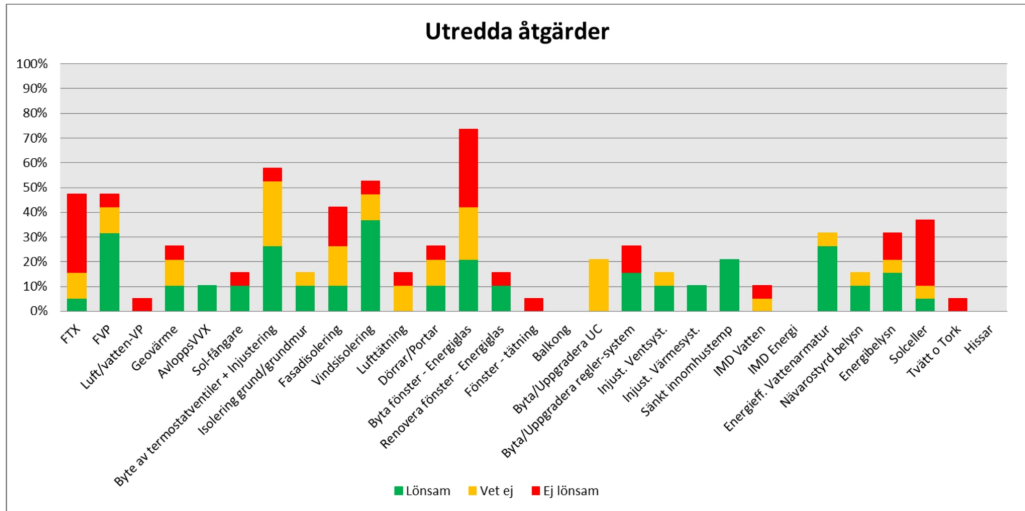
Det finns en mängd olika renoverings- och energibesparingsåtgärder som kan användas för att minska energianvändningen i byggnader från miljonprogrammet. Några exempel på åtgärder som kan vara aktuella listas nedan:

- Fönsterbyte
- Tätning av fasad
- Tilläggsisolering av ytterväggar och vindsutrymmen
- Värmeåtervinning av frånluft (FX/FTX-system)
- Injustering av uppvärmningssystem
- Individuell mätning och debitering av varmvatten
- Solfångare eller solceller

Summan av dessa åtgärder kan ge upphov till besparingar av energianvändningen på uppemot 60 % (Kurkinen, Ylmén, Wisell och Warfvinge 2012). I miljonprogramshus där vissa av dessa åtgärder gjorts har energibesparingar mellan 35 – 66 % uppnåtts, beroende på husens tidigare förutsättningar och vilka åtgärder som utförts (Kurkinen et

al. 2012). Detta kan påverkas av byggnadernas befintliga skick och vilka tidigare energirenoveringar som är genomförda sedan innan.

En tydlig anledning till varför det inte alltid renoveras, är att fastighetsägarna anser att lönsamheten är svårbedömd samt inte tillräcklig för att täcka renoveringskostnaderna (Nobs u.å.). En utredning av olika renoveringåtgärders lönsamhet presenteras i figur 2.5 (Westerbjörk 2015). I byggnader med högre energianvändning vid renoveringsstart är det fler fastighetsägare som väljer renovering av klimatskalet, medan byggnader med lägre energianvändning vid renoveringsstart, är det vanligare med driftspecifika renoveringar (Westerbjörk 2015).



Figur 2.5 Den bedömda lönsamheten hos de olika renoveringsåtgärderna som studerades i Halvera mera 2.0 (Westerbjörk 2015).

2.5 Lufttätetsprovningar

Lufttätetsprovning kan användas för att bestämma ett rums, en byggnads eller delar av en byggnads lufttätet. BBR ställer ett antal krav på byggnaders lufttätet, men det finns dock inga specifika värden för dessa krav. Kraven kopplar till byggnadens energiprestanda, fuktsäkerhet och brandsäkerhet (BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4). I en byggnad som inte är lufttät finns risken att fuktig inomhusluft trycks ut genom klimatskärmen och kondenserar i de kallare delarna av klimatskärmen vilket i sin tur kan leda till fuktskador. Riskerna är störst högst upp i en hög byggnad där det råder invändigt övertryck på grund av skorstenseffekten vid kallt uteklimat (RISE u.å.)(BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4). Skorsteneffekten sker till följd av den termiska drivkraften som uppstår till följd av temperaturskillnader (Sandin 2010).

Lufttäteten påverkar en byggnads värmeförlust, ventilation, fuktillstånd och den termiska komforten. Det finns även brandsäkerhetskrav angående lufttäteten i en byggnad som behöver tas hänsyn till. När man utför lufttätetsmätning bör det

undersökas om luftläckaget är koncentrerat i enstaka byggnadsdelar då detta kan medföra problem med fuktskador i dessa byggnadsdelar (BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4). Om man upptäcker problem med lufttätheten under byggtiden finns det oftast möjlighet till att förbättra den men detta blir svårare ju längre in i byggskedet man har kommit.

Lufttäthetsmätningar utförs exempelvis i enlighet med standarden SS-EN ISO 9972:2015. Vid lufttäthetsprovning används en så kallad Blowerdoor som har till uppgift att tät öppningen mot uteklimatet där fläkten sitter monterad. En lufttrycksmätare används också för att mäta flödet genom fläkten och därmed hur mycket oönskad infiltration av luft som förekommer i en byggnad. Till detta finns även olika gummislangar som monteras mot uteklimat, inneklimat och i fläkten, för att mäta tryckskillnaderna mellan de olika klimaterna.

Vid en lufttäthetsmätning finns det många saker att beakta. Bland annat är det viktigt att inte slangarna placeras för nära fläkten då det kan påverka resultatet. Slangen som placeras utomhus bör inte heller placeras i direkt solljus då temperaturökningen kan påverka mätresultaten (SS-EN ISO 9972:2015). En grundnivå för tryckskillnaden, en "Baseline", mäts för att ta hänsyn till den vinddrivna infiltrationen och den termiska drivkraften vid den specifika mätningen. Lufttäthetsmätningarna korrigeras efter denna grundnivå. Denna fås fram genom mätning av ett antal värden på tryckskillnaden mellan ute- och inneklimatet. Infiltrationskurvan justeras sedan med hjälp av denna grundnivå (ByggaL 2017)(SS-EN ISO 9972:2015). För att sammanställa och korrigera de uppmätta värdena, används programmet TECTITE Express 5.0.

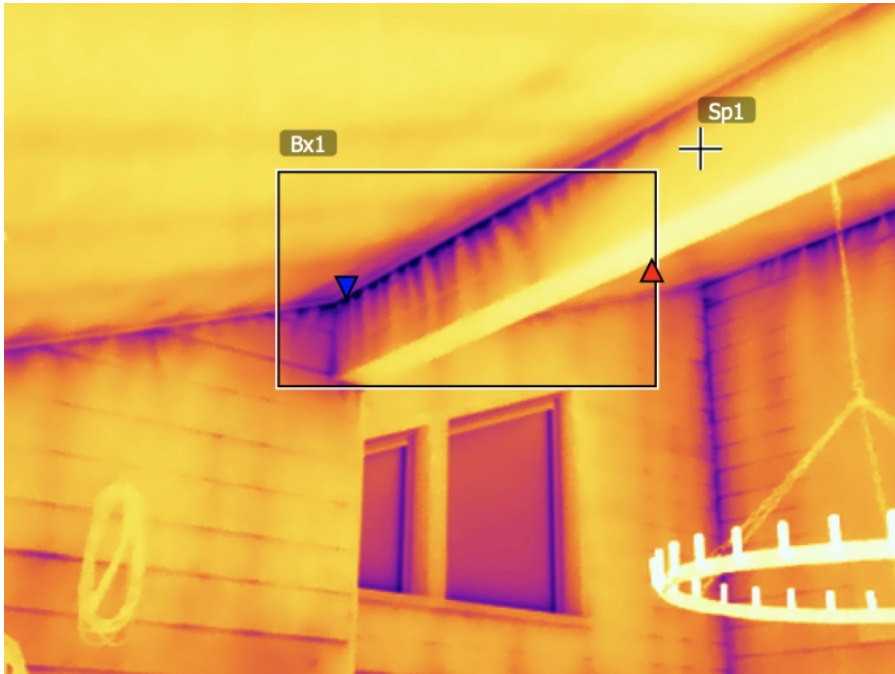
Vidare bör mätningar inte utföras då det är stark vind. Enligt standarden bör mätningar inte utföras vid vindhastigheter över 6 m/s. Vid mätning av lufttäthet i höga byggnader är stora temperaturskillnader problematiska då den termiska tryckskillnaden kan leda till att man inte kan hamna innanför standardens tolerans för skillnad i tryckskillnad (ByggaL 2017)(SS-EN ISO 9972:2015).

Lufttäthetsprovningar bör dessutom göras när det fortfarande går att göra åtgärder för att förbättra lufttätheten i klimatskalet. De bör alltså, utöver att göras som en sista kontroll för att få fram resultatet, även göras innan byggnaden är färdig då möjligheten till förbättringsarbete blir avsevärt mycket enklare tidigare i processen (RISE u.å.).

Lufttäthetsprovningar utförs med både övertryck och undertryck enligt SS-EN ISO 9972:2015 och medelvärdet av dessa två mätningar används som resultatet för lufttäthetsprovningen. Detta görs för att källor till otäthet i en byggnad kan variera beroende på om de utsätts för över- eller undertryck, då olika otätheter kan sluta, respektive öppna sig, beroende på riktningen av luftströmningen (Burke 2023).

I samband med lufttäthetsprovning är det fördelaktigt att termografering utförs parallellt, då det vid undertryck och kalla temperaturer ute blir tydligare om man har otätheter i konstruktionen då kall luft läcker in i lägenheten och man ser detta som "streckiga" kalla ytor i termograferingskameran. Hur detta kan se ut redovisas i figur 2.6. För att upptäcka skillnaderna kan man först göra en kontroll vid olika konstruktioner där man misstänker

läckage. Därefter låter man undertrycket verka 20 - 30 minuter, varpå man kan undersöka och jämföra skillnader med den tidigare termograferingen (Burke 2023).



Figur 2.6 Exempelbild över hur otätheter kan framstå vid lufttäthetsprovningar. Utmärkande för detta är de "streckiga" mönstret av kallare partier som uppstår (Mät & byggprojekt u.å.).

3 Fallstudie

I arbetet har ett specifikt bostadsområde i norra Lund undersökts. Kapitlet inleds med bakgrundsinformation om området och bostadsrättsföreningen, varpå underkapitel presenteras med vilken renoveringsstatus föreningens olika hus är i idag, vilka förutsättningar husen har inför renovering och bakgrunden till varför renoveringen genomförs, samt åtgärderna som görs vid renoveringarna. Till sist presenteras en genomgång av renoveringsmetodiken steg för steg.

Kapitlets innehåll bygger på flertalet utförda platsbesök och observationer, samt underlag och information som erhållits från byggtreprenör, bostadsrättsföreningen, bovärdarna och andra aktörer i projektet. För en djupare förståelse för husens utformning, planlösning och utseende, se bilaga C.

3.1 Brf Tingvallen

Brf Tingvallen är en bostadsrättsförening under HSB, belägen i norra Lund (se Figur 3.1). Fastigheterna är byggda mellan åren 1967 och 1969 (HSB 2020) och omfattar totalt 15 byggnader i tre våningar, med sammanlagt 414 lägenheter (HSB 2023). Figur 3.2 visar byggnadernas utseende och Figur 3.3 visar byggnadernas form och orientering. Ur Figur 3.2 och 3.3 framgår det att byggnaderna utgör klassiska s.k. lamellhus, dvs. avlånga, fristående byggnader i 2 - 4 våningar med platta tak och bokhyll stomme med utfackningsväggar (se kap 2.1.3 Miljonprogrammets byggtekniker), som ofta är placerade parallellt och/eller vinkelräta relativt varandra, varpå det bildas innergårdar mellan husen (Länsstyrelsen 2004)(Björk, Kallstenius, & Reppen 1984). Lamellhus i tre våningar, likt Brf Tingvallens fastigheter, utgör de absolut vanligaste från miljonprogrammet, då det inte behövdes någon hiss om byggnadens översta bostadsplan låg mindre än nio meter ovan mark (Länsstyrelsen 2004).

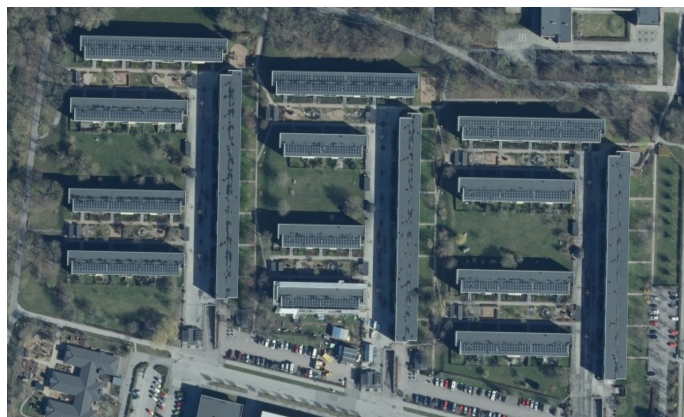
Metod för energirenovering av miljonprogramshus



Figur 3.1 Brf Tingvallens placering i norra Lund, här markerat i blått (Lantmäteriet 2023).



Figur 3.2 Flygbild över området under renovering av hus 16 (Servicekuben u.å.).



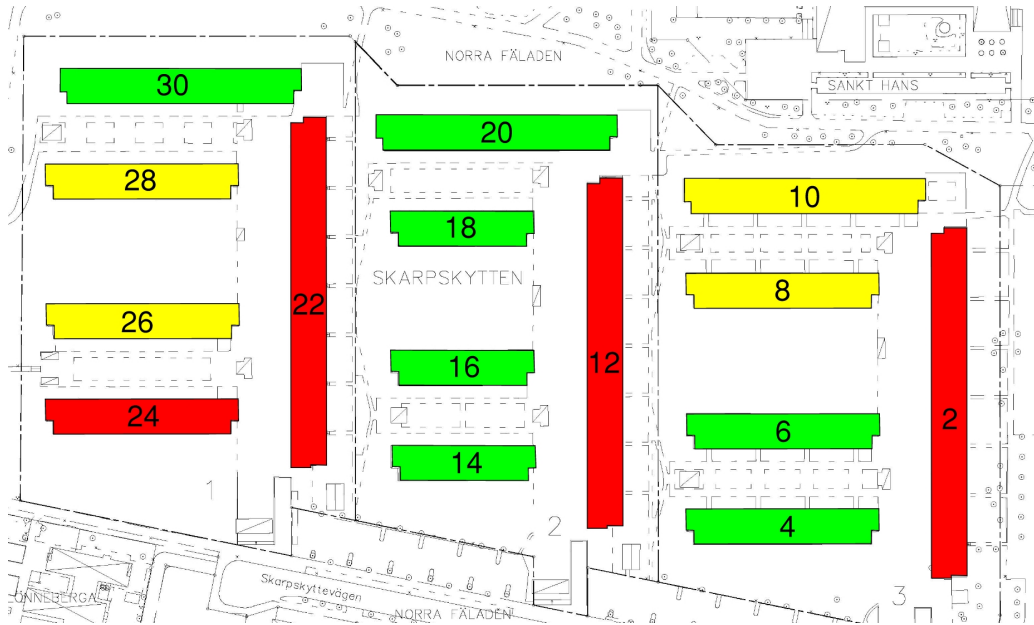
Figur 3.3 Satellitvy över Brf Tingvallens 15 fastigheter i norra Lund. I figuren syns byggnadernas orientering, där norr är rakt uppåt i figuren (Lantmäteriet 2023).

3.1.1 Byggnadernas renoveringsstatus

Den första renoveringen inleddes i maj 2022 på huset längst söderut på mittengården (hus 14). Nedan, i tabell 3.1 visas när renovering inleddes/ska inledas samt när den avslutades/ska avslutas för respektive hus. Under det skede då detta arbetet skrevs var ett antal fastigheter renoverade, en viss del under renovering, och vissa hade inte påbörjats än. Aktuell status redovisas i färgskala i figur 3.4.

Tabell 3.1 Tabellen redovisar när renoveringen påbörjades och avslutades, respektive planeras att påbörjas och avslutas, för de olika fastigheterna.

| Fastighet | Renovering påbörjad | Renovering avslutad |
|-----------|---------------------|---------------------|
| Hus 14 | April 2022 | Juli 2022 |
| Hus 16 | Juli 2022 | December 2022 |
| Hus 18 | September 2022 | April 2023 |
| Hus 20 | December 2022 | September 2023 |
| Hus 4 | Januari 2023 | Juni 2023 |
| Hus 6 | April 2023 | November 2023 |
| Hus 8 | Augusti 2023 | Januari 2024 |
| Hus 10 | Oktober 2023 | Maj 2024 |
| Hus 2 | Januari 2024 | November 2024 |
| Hus 12 | Juli 2024 | April 2025 |
| Hus 30 | April 2023 | December 2023 |
| Hus 28 | September 2023 | Mars 2024 |
| Hus 26 | December 2023 | Juni 2024 |
| Hus 24 | Februari 2024 | Oktober 2024 |
| Hus 22 | Maj 2024 | Mars 2025 |



Figur 3.4 Översikt över bostadsrättsföreningens fastigheter där grön färg innebär att byggnaden är färdigrenoverad, gul färg innebär att renovering pågår och röd markering innebär att byggnaden inte har börjat renoveras än. Ritningen erhöles från databasen för projektet (Ritning A-01-1-011 dat. 2021-12-16).

3.1.2 Husens förutsättningar & bakgrunden till renoveringen

De befintliga byggnaderna hade under årens lopp erhållit stora mängder fuktskador, där ett stort problem var skicket på utfackningsväggarna, vilket visas i figur 3.5 och figur 3.6.



Figur 3.5 Mögelskadade befintliga utfackningsväggar efter att fasadskivor tagits av.



Figur 3.6 Mögelskadade befintliga utfackningsväggar runt fönster

Problemet med fuktskadorna upptäcktes 2017 där man inför ett planerat fönsterbyte upptäckte att fukt hade trängt in bakom fasadskivor och vid fönsteranslutningar. På 80-talet hade utanpåhängande glaspartier monterats på befintliga fönster och troligtvis på grund av dess stora vikt uppkom sättningar som delvis kan ha varit anledningen till att fukt kommit in bakom fasadskivorna. Detta orsakade med tiden skador på isolering och

reglar och en stor andel av dessa var i så pass dåligt skick att en renovering var direkt ofrånkomlig. Därtill var den tidigare isoleringen dimensionerad enligt dåtidens isoleringsstandard med betydligt mindre tjocklek än dagens standarder och med köldbryggor i form av reglar. Det diskuterades därför om man endast skulle tilläggsisolera väggarna, men då hela fasaden ändå skulle behövas plockas ner och med tanke på reglarnas varierande hållfasthet till följd av fuktskadorna, beslutade man sig för att göra en totalrenovering (Svahn 2023). Olika förslag utreddes för hur renoveringen skulle gå till där det bland annat föreslogs lösningar med färdigbyggda element. Det var dock viktigt för föreningen att de boende kunde bo kvar i sina lägenheter medan renoveringen utfördes och att det inte blev för mycket störningar och tung trafik. Styrelsen ansåg att Servicekubens lösning var den bästa och de ingick därför i en samverkansentreprenad för att utföra renoveringen. Renoveringskostnaden uppgick till cirka 400 miljoner kronor och EU-bidrag söktes för energieffektiviseringen som godkändes. Denna finansiering står för cirka halva renoveringskostnaden (Servicekuben 2022).

Nedan görs en genomgång av byggnadernas förutsättningar inför renovering, med uppbyggnad, detaljer och system. Denna status utgör läget inför en renovering.

Generellt

Husen är avlånga i sin geometri med tre våningar och platta tak och invändig avrinning, där takbjälklaget har tilläggsisolerats med 300 mm lösull. Långsidorna är försedda med fönster på ena långsidan och på andra långsidan är det en blandning mellan balkonger och fönster. Hur detta ser ut för ett orenoverat hus presenteras i figur 3.7. Lamellhus från tidsperioden är generellt kortare i sin utformning, likt hus 14, 16 och 18, men byggdes ofta, som i detta fall, som fristående hus runt innergårdar.



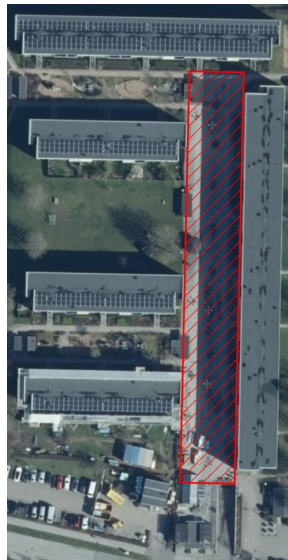
Figur 3.7 Ovan demonstreras ett av de orenoverade husen som exempel där den ena långsidan har balkonger och fönster (t.v.) och den andra långsidan endast har fönster (t.h.).

Varje hus är försett med källare, vilket skiljer sig från de tidstypiska lamellhusen som oftast gjordes direkt på mark med betongplatta. Källarkonstruktionen består av 150 - 180 mm platsgjuten betong som bär upp byggnaden. Källarytterväggarna är i princip oisolerade, men har på insidan 70 mm träullit som putsbärare, vilken även har viss isolerande förmåga. Under balkongplattorna på bottenplan sitter det 50 mm frigolit i

taket på källaren. Källarens ytterväggar är helt under marken på tre sidor av byggnaden, medan en av sidorna delvis är exponerad mot fria luften, med drygt 1 - 1,5 m källarytterväggar med fönster, se figur 3.8. Mellan varje husgård finns dessutom garage under de asfalterade gårdsytorna, se figur 3.9, där det finns ingångar till respektive källare till varje hus.



Figur 3.8 Figuren visar långsidorna där källarytterväggen är exponerad ut mot fria luften med källarfönster och landgångar över till trappuppgången. Varje hus har källarfönster på detta sätt längs med en av sina två långsidor.



Figur 3.9 Figuren visar garagens placering under gårdsplanerna mellan husen. Här för mittengården (Lantmäteriet 2023).

Värme- och ventilationssystem

Byggnadernas uppvärmning är vattenburen med radiatorer i alla lägenheter och med fjärrvärme som uppvärmningsmetod. Trappuppgångarna och källarna är också försedda med radiatorer, vilka dock till viss del är avstängda. De tre gårdarna har varsin fjärrvärmecentral (huvudcentral) där fjärrvärmeledningarna ansluts. Från respektive

central går isolerade ledningar ut till respektive hus via garaget till undercentralerna. Vid varje undercentral finns en värmeväxlare där vattnet i husets radiatorsystem värms upp via värmeväxlaren och skickas ut i byggnaden. I dessa undercentraler finns dessutom ytterligare en värmeväxlare som värmer upp husets varmvatten som cirkulerar i VVC-slingan (varmvattencirkulationsslingan). Denna går via respektive schakt ut till varje lägenhets tappställen och tillbaka. Värmen kunde före renoveringen inte styras för varje enskilt hus, utan styrdes för varje gård (5 hus), varpå huset närmast huvudcentralen hade betydligt högre temperatur på fjärrvärmvattnet än husets längst bort. Detta gav upphov till att det blev för varmt i vissa hus och för kallt i andra beroende på hur nära centralen husen låg i slingan.

Innan renovering ventileras husen med frånluftssystem där tilluft togs in via lägenheternas egna vädringsluckor, det vill säga de boende styrde mängden tilluft med sina vädringsluckor. Otätheter i konstruktionen bidrar också med viss tilluft. Frånluften sugs ut via frånluftskanaler till aggregaten, där varje aggregat behandlar frånluft från 6 stycken lägenheter. Samtliga ventilationsaggregat och fläktrum finns i källaren på respektive fastighet, där varje trappuppgång har ett ventilationsaggregat eftersom ventilationsledningarna går i schakten som är lokaliserade i varje trapphus. Frånluften dras via frånluftsledningarna i schakten till respektive fläktrum, varefter frånluften skickas tillbaka via schakten upp till taket och skickas där ut som avluft, utan någon sorts värmeåtervinning. Undantaget är fastigheterna i nord-sydlig riktning där frånluften blåses ut i garaget för att värma upp detta utrymme, vilket är garagets enda uppvärmningskälla (utöver förluster från ledningar och internlast).

Fönster

Fönsterna innan renoveringen var i grunden ett original 2-glasfönster från 60-talet, där ytterligare en kassett med båge och glas monterades på under 80-talet för att förbättra isoleringsförmågan och komforten i lägenheterna. Att finna ett U-värde för dessa fönster visade sig i praktiken svårt och U-värdena har i stället uppskattas med hjälp av Tabell 4-2 i boken "Energibesiktning av byggnader - flerbostadshus och lokaler" (Adalberth & Wahlström 2007, tabell 4.2), U-värdet uppskattades till $1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ för 1+2-glas isolerfönster från denna tidsperiod. Trappuppgångarna är i stället försedda med tunna 2-isolerglas med aluminiumpartier runt om och visas i figur 3.10. Dess U-värde uppskattas till $2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (Adalberth & Wahlström 2007, tabell 4.2).



Figur 3.10 Figuren visar två bilder av trappuppgångarna före renoveringen: En utifrån (t.v.) och en inifrån (t.h.). Dessa är försedda med 2-glasfönster i aluminiumprofiler.

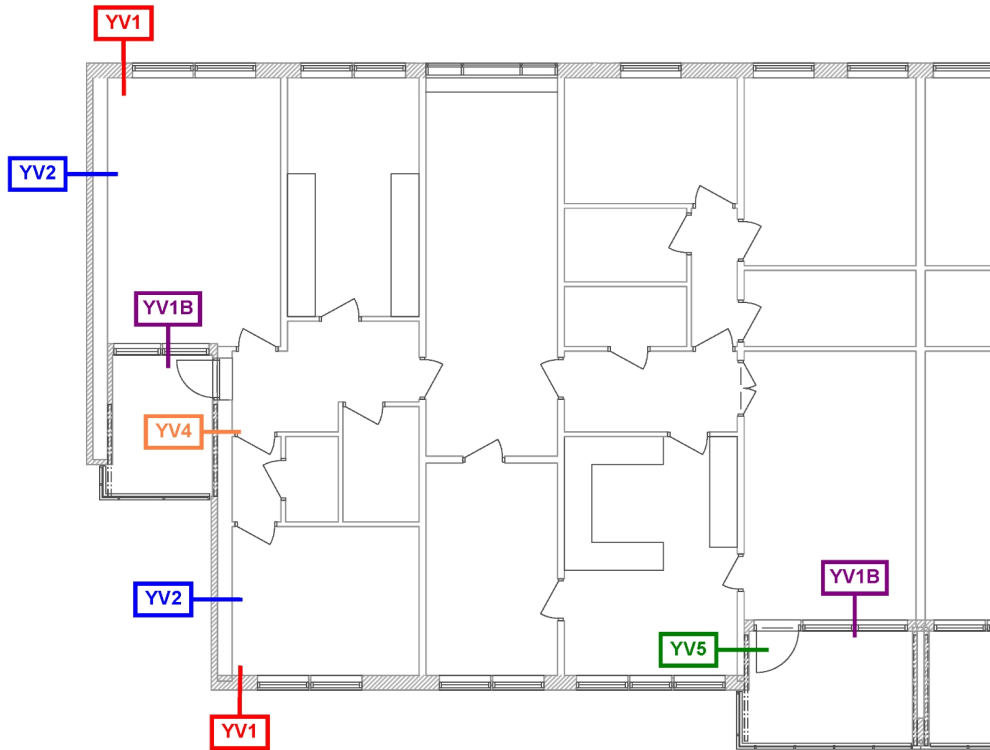
Ytterväggar

Innan renovering hade husen fasadskivor i aluminium med undantag av gavlarna som i stället bestod av platsgjuten betong med sandwichuppbbyggnad - se figur 3.11.



Figur 3.11 Bilden visar hur husen ser ut innan renovering med originalfönster och fasadskivor, samt gavlarna i platsgjuten betong (till vänster).

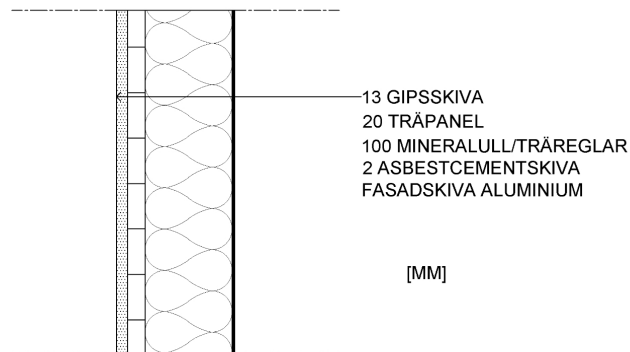
Stommen är, som tidigare konstaterats, tidstypisk i sitt utförande, men för att säkerställa exakt uppbyggnad av väggarna mättes och dokumenterades deras uppbyggnad vid tillfällen då väggarna revs. Ytterväggarna var av olika sort och detta presenteras nedan i figur 3.12.



Figur 3.12 Ytterväggarna i byggnaderna har olika utformningar. I figuren syns de olika varianterna med den namngivning de benämns med framöver. Det skall tilläggas att YV3, YV6, YV7 och YV8 också finns, men dessa är inte relevanta för arbetet då de inte påverkar U-värdet för klimatskalet, då de är olika varianter av de bärande betongväggarna som går ut mellan balkongerna. Originalritning hämtad från databasen för projektet (Ritning A-40-1SH-01 dat. 2021-06-30).

Innan renoveringen var konstruktionen uppbyggd enligt nedan presenterade figurer. YV2 relativt YV4, samt YV1B relativt YV1 var då identiska. Namnvalen beror på att det fanns fler olika antal ytterväggstyper efter renoveringen än innan, men samma benämning används för båda fallen. Nedan presenteras ytterväggstyperna YV1/YV1B som var utfackningsväggarna på långsidorna av husen (se figur 3.13), YV2/YV4 som var gavelväggarna på husen (se figur 3.14), samt YV5 som var den bärande ytterväggen ut mot balkongerna (se figur 3.15). Som syns i figurerna nedan skiljer sig ytterväggarna något från de tidstypiska utfackningsväggarna för perioden. Fasadskivan är i aluminium både för väggar ut mot balkong (YV1B) och de andra utfackningsväggarna på långsidorna (YV1). Fasadmaterialet är varken fasadtegel eller asbestcementskivor, men innanför fasadmaterialet finns dock asbestcementskivor, vilket är tidstypiskt (se kap. 2.1.3 Miljonprogrammets byggtekniker). På samma sätt skiljer sig gavelväggarna från det tidstypiska då gaveln inte har skärmtegel ytterst, utan platsgjuten betong i sandwichelement (YV2/4).

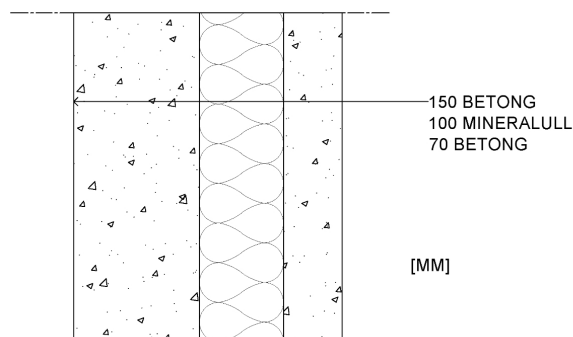
YTTERVÄGG UTFACKNINGSVÄGG
(FÖRE RENOVERING) YV1/1B



Figur 3.13 Ytterväggstyp 1 och 1B för utfackningsväggarna längs med husens långsidor med icke bärande treäregelstomme - före renoveringen. Inneklimat till vänster och utomhusklimat till höger i figuren.

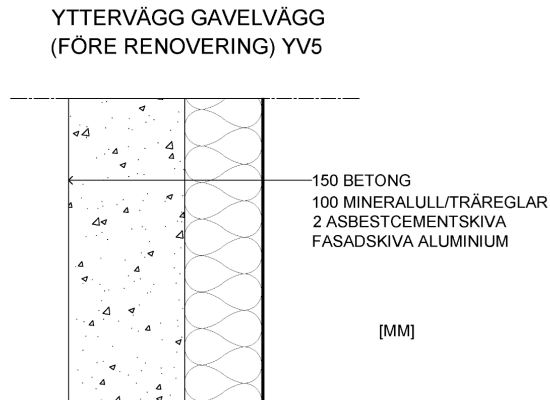
Den vanligaste ytterväggstypen före renoveringen är YV1 som är en utfackningsvägg med träreglar. Isoleringen består av 100 mm mineralull med genomgående träreglar.

YTTERVÄGG GAVELVÄGG
(FÖRE RENOVERING) YV2/4



Figur 3.14 Ytterväggstyp 2 och 4 för de bärande gavelväggarna med platsgjuten betong ytterst (längst till vänster i figuren) - före renoveringen. Inneklimat till vänster och utomhusklimat till höger i figuren.

YV2 består av en sandwichkonstruktion med platsgjuten betong ytterst som är 150 mm tjock, innanför det ligger det 100 mm isolering och innerst mot lägenheten är det 70 mm prefabricerad betong.



Figur 3.15 Ytterväggstyp 5 för de bärande väggarna in mot balkongerna på långsidorna - före renoveringen. Inneklimat till vänster och utomhusklimat till höger i figuren.

YV 5 ligger mellan köket och de indragna balkongerna, se figur 3.12 för orientering. Betongen ligger innerst mot köket och på utsidan av den finns det en uppreglad vägg med 100 mm mineralull och träreglar som bekläds med en aluminiumskiva.

3.2 Renoveringen

Detta delkapitel inleds med en översiktlig genomgång av vad renoveringen innebar och vad som ändrades. Därefter görs en mer detaljerad beskrivning av metoden som tillämpades och hur den fungerade i praktiken.

Renoveringen av bostadsrättsföreningens fastigheter skedde i en samverkansentreprenad mellan Brf Tingvallen och Servicekuben. Renoveringen fick ett EU-bidrag som uppgick till nästan halva projektets kostnad. Kravet för EU-bidraget var att energianvändningen i byggnaderna minskar med minst 20 % jämfört med värden före renoveringen. Metoden för renovering hade som huvudsakligt fokus att ge en smidig och snabb process där den boende kunde bo kvar i sin lägenhet under renoveringen, med minsta möjliga besvär.

Generellt

Då stora delar av utfackningsväggarna var i så dåligt skick att det inte ansågs effektivt att försöka bevara dem, vilket tidigare visades i figur 3.4 och figur 3.5, valde man att riva ut hela väggarna och bygga upp platsbyggda utfackningsväggar med måttbeställda slitsade stålreglar. Det gjordes endast små tilläggsisoleringar på källaren mellan fönsterna och på taket som tidigare tilläggsisolerats med lösull gjordes inga ändringar. Renoveringen fokuserade inte bara på att energieffektivisera utan även att öka värdet på lägenheterna genom att platsgjuta djupare balkonger, byta ut gammal isolering mot det mer högpresterande isoleringsmaterialet PIR-isolering (fast polyuretanskum) för att ge

mer plats på balkongen. Nedan i figur 3.16 visas ett av de färdigrenoverade husen som exempel på hur resultatet av renoveringen såg ut.



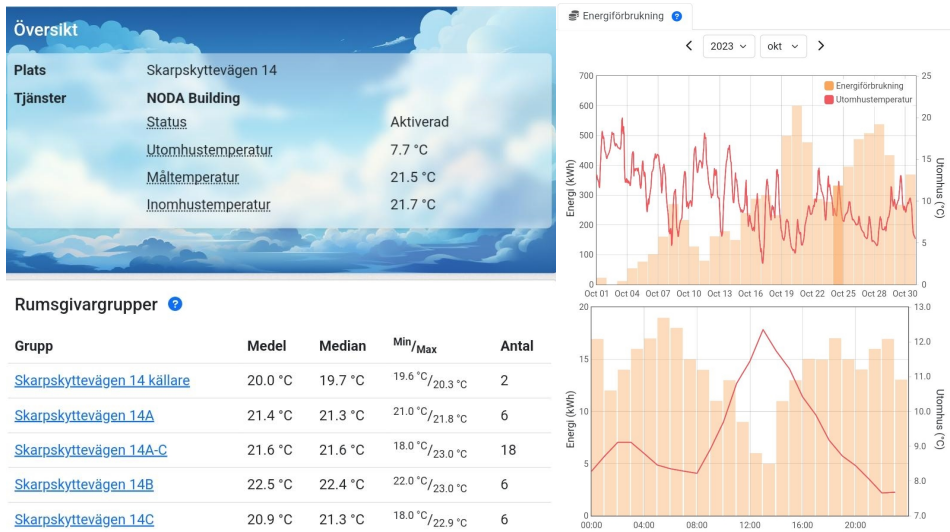
Figur 3.16 Exempelbild på hur ett färdigrenoverat hus ser ut. I detta fall visas hus 20 (t.v) och hus 16 (t.h.). Samtliga hus ser dock likadana ut med undantag av färgdetaljerna på balkonger och räcken där de olika gårdarna har olika färger.

Värme- och ventilationssystem

I samband med renoveringen installerades tilluftsventiler i fasad vid balkongerna, bakom radiatorerna. Detta då det ansågs för kostsamt att installera tilluftskanaler och FTX-system. Samtidigt behölls vädringsluckorna som komplement då många boende gärna ville behålla dessa. I övrigt behölls frånluftsdon, kanaler och aggregat som innan, men ventilationssystemet injusterades efter renoveringen.

För värmesystemet gjordes större ändringar, där gamla radiatorerna byttes ut mot nya radiatorer dimensionerade för lågtemperatursystemet. Detta då man bytte till ett lågtemperatursystem på 40 - 30 °C från ett system på 60 - 50 °C, för att minska förlusterna i uppvärmningssystemet. Det installerades även shuntgrupper i samtliga hus för att kunna styra värmen i varje enskilt hus vilket inte var möjligt innan renoveringen, utan då styrde systemet i stället för varje gård med fem hus. Därtill gjordes även en injustering av värmesystemet. Samtidigt monteras radiatorer bort i trapphus och delar av källaren så att dessa utrymmen blev ouppvärmda. Förutom detta installerades även ett nytt styrsystem, med en mätare i varje lägenhet som loggade temperatur och relativ fuktighet. Styrsystemet kallas NODA Building och använder sig av artificiell intelligens för att analysera och optimera byggnadens energianvändning (NODA u.å. a). Detta leder till att NODA lär sig hur byggnadens tröghet fungerar samt hur mycket energi som den har behövt vid tidigare liknande väderlek och justerar radiatorkretsens värmekurva efter behovet. NODA mäter energianvändningen med hjälp av en värmemätare i varje shuntgrupp. Detta möjliggör för bättre förståelse för användningen i olika hus samt styrning i varje hus beroende på dess behov. Med hjälp av denna data analyserar NODA byggnadens energibehov och använder endast den mängd värme som är nödvändig

precis vid det tillfället. Tillsammans med modeller för väder och energipriser försöker NODA hela tiden optimera kostnad mot inomhusklimat för att spara energi och pengar (NODA u.å. b). NODA justerar värmeeffekten i byggnaden utifrån nuvarande och kommande behov till skillnad från många andra system som endast reagerar på ögonblicksinformation. Detta gör att NODA kan effektivisera energianvändningen jämfört med ett reaktivt system. Nedan i figur 3.17 visas ett skärmskott från NODA och hur programmet ser ut för användaren.



Figur 3.17 Skärmskott från NODA där startmenyn för ett visst hus (i detta fall hus 14) visas, samt grafer för energianvändning relativt utomhustemperatur.

Mer detaljerat sänker NODA temperaturen i den sekundära framledningsflödet till radiatorerna. Skillnaden mellan den programmerade värmekurvan och den temperatur som NODA sänker till blir således den energi som NODA kan spara in för byggnaden. NODA:s huvudsyfte är att vid dagar med mycket sol eller gynnsamma väderförhållanden sänka temperaturen i framledningsflödet för att minska energianvändningen. NODA kan inte ersätta ett väl injusterat värmesystem utan är endast ett komplement för att optimera driften. Om grundvärmekurvan är dåligt inställd för fastigheten kommer NODA inte kunna hantera detta eller fungera speciellt bra (Ragazzo 2023).

Fönster

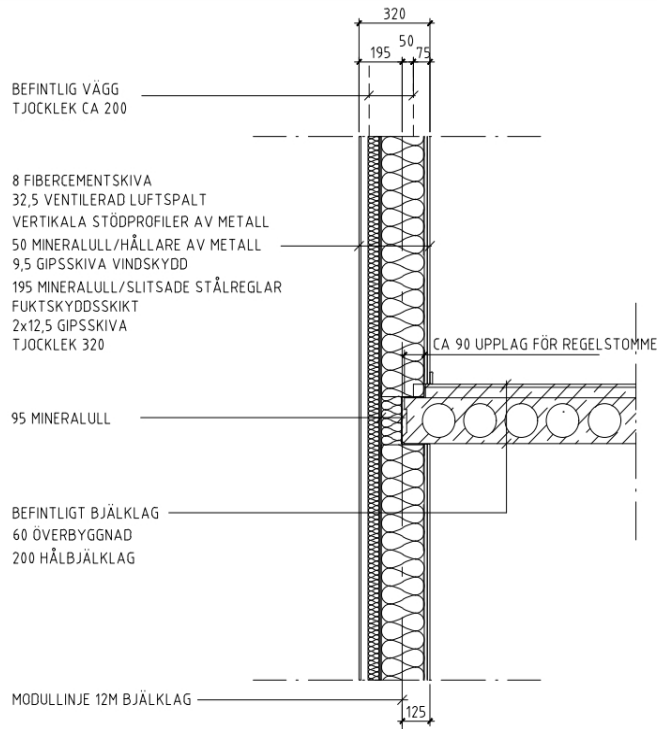
När hela långsidornas fasad revs byttes även samtliga fönster ut mot 3-glas isolerrutor med solskyddsbeläggning. U-värdet på de nya fönsterna är i snitt 1,05 W/(m²·K) enligt uppgift från tillverkare. De större fönsterna har något bättre U-värde då andelen karm är mindre medan de mindre fönsterna har något sämre U-värde men för våra beräkningar räcker det med ett viktat U-värde. Exempelbild visas i figur 3.18.



Figur 3.18 Bild på de nya fönsterna och balkongdörrarna som sattes in i samband med renoveringen.

Ytterväggar

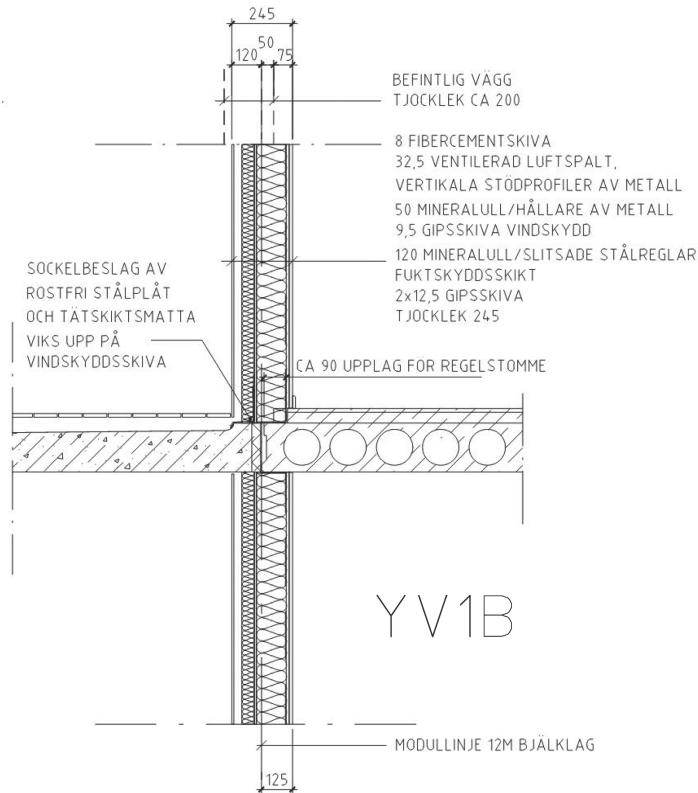
Nedan presenteras samtliga väggar som är del av klimatskärmen, där namnen på väggtyperna är, precis som tidigare, namngivna enligt figur 3.12. Efter renoveringen skiljer sig YV2 relativt YV4, samt YV1B relativt YV1 och efter renoveringen finns fler väggtyper än innan renoveringen. Ytterväggstyperna som uppförs vid renoveringen är dels YV1 som är utfackningsväggarna med enbart fönster längs med båda långsidorna på husen (se figur 3.19). Dels är det YV1B som är utfackningsväggen inne vid balkongerna där det finns fönster och balkongdörr (se figur 3.20). Därtill är det även YV2 och YV4 som båda är gavelväggar med sandwichelement som tilläggsisoleras, men som har olika fasadmaterial ytterst. YV2 är, vilket man ser i figur 3.12, gavelväggen ytterst och visas i figur 3.21, och YV4 är endast den delen av gavelväggen som vetter ut mot de yttersta balkongerna som finns vid var gavel (se figur 3.22). YV5 är vidare den bärande betongvägg som är mellan lägenheter och kortsidan av balkongerna, utan fönster (se figur 2.23).



YV1

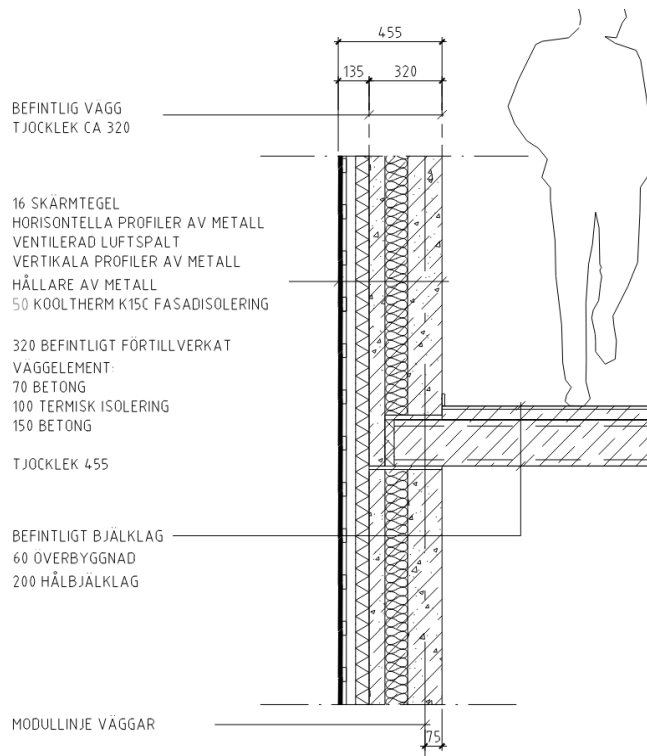
Figur 3.19 Ytterväggstyp 1 för utfackningsväggarna längs med husens långsidor (ej vid balkongerna) med icke bärande regelstomme med slitsade stålreglar - efter renoveringen. Inneklimat till höger och uteklimat till vänster i figuren. Originalritning hämtad från databasen för projektet (A-42-6-1401 daterad 2022-03-14).

Yttervägg 1 är den väggtyp som finns på största ytan av alla ytterväggskonstruktioner. Denna konstruktion har förbättrats markant, inte minst ur energisynpunkt. Yttervägg YV1 har gått från 100 mm isolering med genomgående träreglar till 195 mm isolering med slitsade stålreglar och 50 mm utanpåliggande isolering. Dessutom minskar köldbryggorna som uppstår vid mellanbjälklagen och ytterväggen betydligt. Ett bättre fuktskyddsskikt har också installerats.



Figur 3.20 Ytterväggstyp 1B (YV1B) för utfackningsväggarna längs med husens balkonger på långsidorna med icke bärande regelstomme med slitsade stålreglar - efter renoveringen. Det som skiljer denna väggtyp från YV1 är att denna väggtyp har mindre isolering för att ge en djupare balkong, relativt YV1. Inneklimat till höger och uteklimat till vänster i figuren. Originalritning hämtad från databasen för projektet (A-42-6-1401 daterad 2022-03-14).

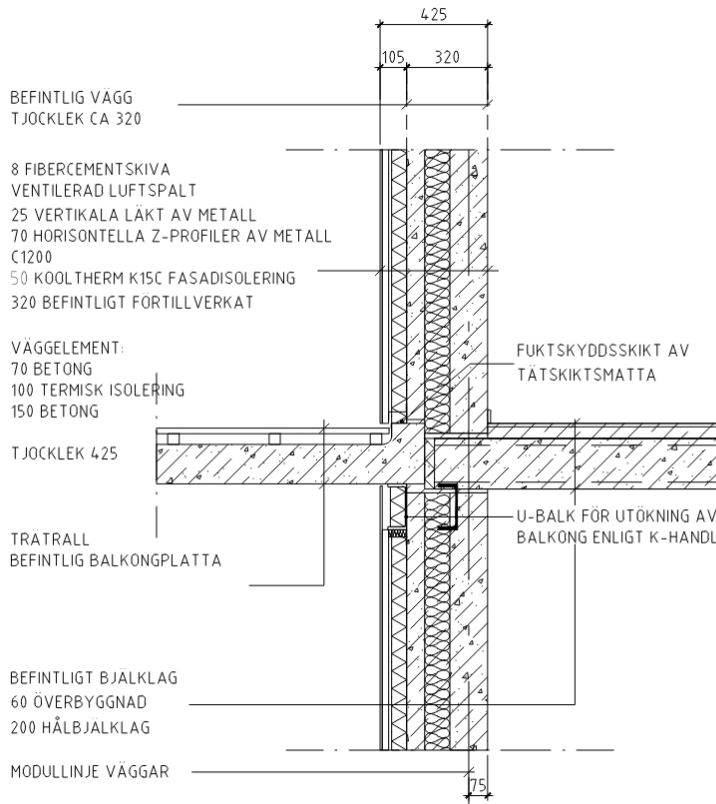
YV1B är en version av YV1 med skillnaden att det innersta lagret med reglar och isolering är i en mindre dimension, 120 mm i stället för 195 mm. Detta gjordes för att inte ta plats från balkongerna. Denna vägg är likt YV1 bättre isolerad än innan och med ett bättre fuktskyddsskikt.



YV2

Figur 3.21 Ytterväggstyp 2 för de bärande gavelväggarna med sandwichelement som tilläggsisolerats på utsidan och därefter fått skärmtegel med luftspalt ytterst - efter renoveringen. Inneklimat till höger och uteklimat till vänster i figuren. Originalritning hämtad från databasen för projektet (A-42-6-1401 daterad 2022-03-14).

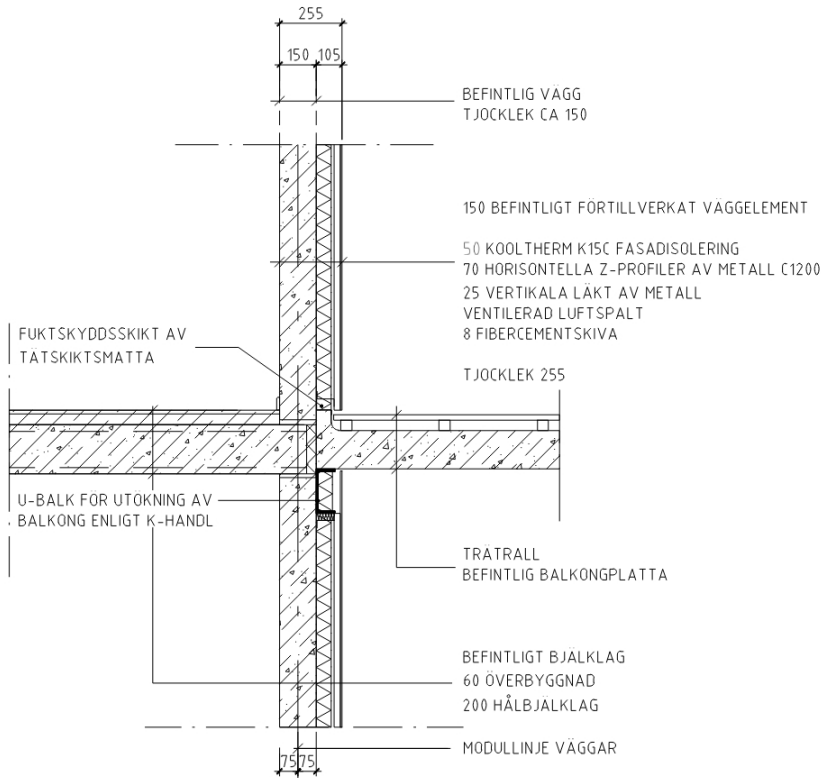
YV2 återfinns på gavlarna av husen vilket kan ses i figur 3.12. Eftersom detta är en bärande konstruktion är tilläggsisolering den mest effektiva vägen för att öka värmemotstånden för konstruktionen. Detta har man gjort genom att lägga PIR-isolering ytterst för att inte ta invändigt utrymme från lägenheterna.



YV4

Figur 3.22 Ytterväggstyp 4 för de bärande gavelväggarna med sandwichelement som tilläggsisolerats på utsidan, ut mot de yttersta balkongerna - efter renoveringen. Det som skiljer denna ytterväggstyp från YV2 är dess att denna har fibercementskiva ytterst i stället för skärmtegel, men samma U-värde. Inneklimat till höger och uteklimat till vänster i figuren. Originalritning hämtad från databasen för projektet (A-42-6-1401 daterad 2022-03-14).

YV4 är av samma typ som YV2 men är placerad på den indragna gaveln, se figur 3.12 för orientering. På denna har likt YV2 utvändigt PIR-isolering adderats detta för att minska värmeförlusten samtidigt som man inte vill ta för mycket plats från balkongen eller lägenheten i anspråk för renoveringen.



YV5

Figur 3.23 Ytterväggstyp 5 för de bärande väggarna in mot balkongerna på husens ena långsida - efter renoveringen. Den gamla isoleringen byts mot PIR-isolering, dvs. i princip samma U-värde men en tunnare vägg som ger mer yta på balkongen. Inneklimat till vänster och uteklimat till höger i figuren. Originalritning hämtad från databasen för projektet (A-42-6-1401 daterad 2022-03-14).

YV5 är en betongvägg som ligger mellan köket och balkongen, se figur 3.12 för orientering. Denna yttervägg hade tidigare 100 mm isolering med regler, som byttes ut mot PIR-isolering för att ge bra värmemotstånd samtidigt som man inte tar upp så mycket plats av balkongen.

Källarytterväggarna gjordes även dessa om till viss del som en del av energieffektiviseringen. Väggarna tilläggsisolerades endast mellan fönsterna där det inte var bärande betong, och fönsterna byttes ut mot nya mer energieffektiva fönster, se figur 3.24.



Figur 3.24 Bild på nästintill färdiga källarytterväggar där fönsterbyte gjorts och ny isolering mellan dessa installerats. Dock har den yttersta fasadskivan inte installerats än och PIR:en är synlig.

Renoveringsmetoden - byte av ytterväggarna

Nedan beskrivs hur väggbytena gick till.

Samtliga lägenheter är genomgående genom huset, varför en sida åt gången kunde renoveras under tiden som de boende bodde kvar i andra änden av sin lägenhet. Efter att boende förflyttat möbler till andra sidan av lägenheten stängdes värmen av på sidan som först revs. Fasaden monterades ner och saneringsarbete med asbestskivorna gjordes innan ytterväggarna revss. Den sida som arbetet började i plastades in och avskärmades från lägenheten för att undvika damm, regn och vind och endast den ena sidans radiatorer värmdes således upp lägenheterna under tiden. Hur avskärningen såg ut visas i figur 3.25. Under en dag revs därefter fyra ytterväggar (utfackningsväggar) och gamla fuktskadade regler, socklar och isolering revs och slängdes. Under dagens gång monterades färdigkapade stålreglar upp tillsammans med isolering, fönster, vindskivor, diffusionsspärr, gipsskivor och vid dagens slut var därmed lägenheterna igen helt täta. I figur 3.26 redovisas resultatet vid slutet av dagen då lägenheten var tät.



Figur 3.25 Visar stadiet då den gamla utfackningsväggen monterats ner och lägenheten har avskärmats mha. plast - detta under tiden då montage av nya väggar pågår under en arbetsdag.



Figur 3.26 De nya utfackningsväggarna med isolering, stålreglar, fuktspärr, vindskydd och fönster monterade på plats - efter en dags arbete.

Därefter monterades fasadskivorna (fibercementskivor) med luftspalt (se figur 3.27) och även invändiga gipsskivor. Vidare gjordes mindre invändiga arbeten såsom spackling och målning, listarbeten, elarbeten, håltagning till nya värmeledningar och installation av persienner. och så småningom installerades även nya radiatorer. Dessa invändiga arbeten pågick parallellt med att det utvändiga arbetet fortgick i lägenheterna bredvid. Olika arbetslag arbetade således hela tiden parallellt. Slutresultatet när denna process pågått för en hel fasadsida visas i figur 3.28.



Figur 3.27 Utfackningsväggarna med delar av fasadskivorna monterat.



Figur 3.28 Färdigt resultat av renoveringen, på bilden syns Hus 20.

4 Metod

För att besvara frågeställningarna gjordes flertalet olika mätningar och undersökningar som ledde fram till arbetets resultat. För att få en bred bild av renoveringsmetodens effekt gjordes flera olika undersökningar. Nedan presenteras metoden (tillvägagångssättet) i arbetet.

4.1 Energiberäkning

Som en del i att utvärdera förändringar av energianvändning som erhöles med renoveringen gjordes energiberäkningar i programmet IDA-ICE. Med programmet byggdes huset upp som en datormodell med indata, som sedan simulerades över en viss tidsperiod för valda klimatdata, varpå energianvändningen beräknades. Detta som ett sätt att bedöma hur stor ändringen av energiprestanda blev till följd av renoveringen. Två 3D-modeller byggdes upp för ett av husen, en modell som representerade före och en efter renoveringen, för att på ett förenklat sätt, få fram skillnaden i energianvändning till följd av renoveringen. Energimodellerna gjordes för Hus 14. Indata hämtades från projektplatsen och *Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår*. För att ta reda på samtliga förutsättningar gjordes platsbesök, nedladdning av material från projektmappar, samt intervjuer med platschefen Joakim Gullstrand och bostadsrättsföreningens ordförande Mikael Lantz. Därefter beräknades U-värdena för varje detalj med Isover Energi 3 och lades in i IDA-ICE. De olika byggnadsdetaljernas U-värden före och efter renovering, redovisas nedan i tabell 4.1, respektive tabell 4.2.

Beräkningen utfördes enligt följande indata:

Tabell 4.1 U-värden för konstruktioner innan renovering

| Konstruktion | U-värde (W/(m ² ·K)) |
|---|---------------------------------|
| Utfackningsvägg, YV1/YV1B | 0,41 |
| Gavelvägg betongsandwich, YV2 | 0,33 |
| Betongsandwich mot balkong, YV4 | 0,33 |
| Utfackningsvägg mot balkong kortsida, YV5 | 0,43 |
| Källarvägg | 0,78* |
| Fönster 2+1 | 1,9 |
| Fasadpartier | 2,9 |

*Utan påverkan från jordens isolerande förmåga

Tabell 4.2 U-värden för konstruktioner efter renovering

| Konstruktion | U-värde (W/(m ² ·K)) |
|---|---------------------------------|
| Utfackningsvägg, YV1 | 0,21 |
| Utfackningsvägg balkong, YV1B | 0,29 |
| Gavelvägg betongsandwich+PIR-isolering, YV2 | 0,23 |
| Betongsandwich mot balkong+PIR-isolering, YV4 | 0,23 |
| Utfackningsvägg mot balkong kortsida, YV5 | 0,43 |
| Källarvägg | 0,78* |
| Fönster 3-glas | 1,05 |

*Utan påverkan från jordens isolerande förmåga

Därefter lades övriga indata, såsom innetemperatur, solavskärmning, hushållsenergi, personvärme, effektavgivning in från BEN (Boverkets föreskrifter om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår). All denna indata redovisas nedan i tabell 4.3. Luftflödena erhöles från injusteringsprotokoll och presenteras i tabell 4.3. I datormodellen lades det in en hel del annan indata också. Samtliga indata presenteras i en indatarapport i bilaga A.

Tabell 4.3 Indata till energimodell enligt BEN (Boverket 2021a).

| Indata | |
|------------------------------------|---------------------------|
| Innetemperatur | 21 °C |
| Luftflöden (enligt Östlund 2021) | |
| - 2 rok | - 30 l/s |
| - 3 rok | - 45 l/s |
| - 4 rok | - 50 l/s |
| - källare | - 0,35 l/s·m ² |
| Luftflöden | 30 min forcering |
| Solavskärmning (avskärningsfaktor) | 71 % |
| Hushållsenergi | 21 kWh/m ² ·år |
| Personvärme | |
| - 2 rok | - 1,63 personer |
| - 3 rok | - 2,18 personer |
| - 4 rok | - 2,79 personer |
| Tid (h/d/v) | 14/7/52 |
| Effektavgivning | 80 W |

Datorberäkningen utfördes för samma period som den uppmätta energistatistiken, det vill säga april till och med december 2023. Detta då det var först i april som hus 14 hade

färdigt injusterade ventilations- och värmesystem, NODA-systemet var inkopplat med nytt lågtemperatursystem och byggnaderna ansågs helt färdigställda.

4.2 Uppmätt energistatistik

Som ett komplement till energiberäkningarna gjordes även avläsning och granskning av den verkliga energianvändningen som uppmätts för renoverade och orenoverade hus. Denna metod utfördes genom avläsning av energianvändning för respektive månad, för orenoverat och renoverat hus, som sedan summerades ihop för en vald tidsperiod. Tidsperioden valdes så att injusteringen av värme och ventilation var utförd när energin mättes. Driftstatistiken erhöles via NODA-programmet där statistik redovisades i grafer, och där all statistik kunde hämtas och överföras till Excel.

Hus 14 granskades som renoverat hus och Hus 24 som orenoverat hus eftersom dessa har samma orientering och liknande grad av skuggning. Detta är också de hus som har de längsta tidsserierna med data som är jämförbara. Dessa hus har olika storlek och därmed A_{temp} , varför energianvändningen divideras med A_{temp} .

Normalårskorrigerig av uppmätt data:

I energimodellen användes SMHI Svebys klimatfil för Lund, som baserades på normalårskorrigerade data från åren 1981 - 2010. För att den uppmätta energidatan från NODA skulle vara jämförbar med den beräknade energianvändningen gjordes därför en normalårskorrigerig, då klimatet under april - december 2023 kunde skilja sig mot samma period för 1981 - 2010. Därmed utfördes en förenklad metod med normalårskorrigerig utifrån utemedeltemperaturer för april - december. Metoden gjordes genom att gradtimmarna beräknades för de olika månaderna, vilket redovisas i tabell 4.4 och 4.5 för hus 14, och i tabell 4.6 och 4.7 för hus 24. Normalårskorrigerigen genomfördes enligt bilaga 1 (Adalberth & Wahlström 2007).

Då internlasterna var okända kunde inte gränstemperaturen beräknas med tillräcklig noggrannhet. Genom avläsning av värmeeffektbehovsdiagram från styrsystemet för respektive byggnad, kunde gränstemperaturen uppskattas genom avläsning av utetemperaturen då effektbehovet når noll. Dessa diagram redovisas i figur 5.1 och 5.2, och gränstemperaturerna uppskattades vara 16 °C för hus 14 och 18 °C för hus 24.

Tabell 4.4 Graddtimmar för perioden 1981 - 2010 under april - december, för hus 14.

| <u>1981 - 2010</u> | Medel utetemperatur (°C) | T_g (°C) | Graddtimmar (°Ch) |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| April | 7,2 | 16 | 6 336 |
| Maj | 12,1 | 16 | 2 902 |
| Juni | 15,3 | 16 | 504 |
| Juli | 17,9 | 16 | 0 |
| Augusti | 17,5 | 16 | 0 |
| September | 13,5 | 16 | 1 800 |
| Oktober | 9,1 | 16 | 5 134 |
| November | 4,7 | 16 | 8 136 |
| December | 1,6 | 16 | 10 714 |
| | | | ∑ 35 526 |

Tabell 4.5 Graddtimmar för april - december 2023, för hus 14.

| <u>2023</u> | Medel utetemperatur (°C) | T_g (°C) | Graddtimmar (°Ch) |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| April | 7,5 | 16 | 6 120 |
| Maj | 12,7 | 16 | 2 455 |
| Juni | 18 | 16 | 0 |
| Juli | 17,6 | 16 | 0 |
| Augusti | 17,4 | 16 | 0 |
| September | 17,2 | 16 | 0 |
| Oktober | 10,4 | 16 | 4 166 |
| November | 4,3 | 16 | 8 424 |
| December | 2,3 | 16 | 10 193 |
| | | | ∑ 31 358 |

Metod för energirenovering av miljonprogramshus

Tabell 4.6 Graddtimmar för perioden 1981 - 2010 under april - december, för hus 24.

| 1981 - 2010 | Medel utetemperatur (°C) | T_g (°C) | Graddtimmar (°Ch) |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| April | 7,2 | 18 | 7 776 |
| Maj | 12,1 | 18 | 4 390 |
| Juni | 15,3 | 18 | 1 944 |
| Juli | 17,9 | 18 | 74 |
| Augusti | 17,5 | 18 | 372 |
| September | 13,5 | 18 | 3 240 |
| Oktober | 9,1 | 18 | 6 622 |
| November | 4,7 | 18 | 9 576 |
| December | 1,6 | 18 | 12 202 |
| | | | ∑ 46 196 |

Tabell 4.7 Graddtimmar för april - december 2023, för hus 24.

| 1981 - 2010 | Medel utetemperatur (°C) | T_g (°C) | Graddtimmar (°Ch) |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| April | 7,5 | 18 | 7 560 |
| Maj | 12,7 | 18 | 3 943 |
| Juni | 18 | 18 | 0 |
| Juli | 17,6 | 18 | 298 |
| Augusti | 17,4 | 18 | 446 |
| September | 17,2 | 18 | 576 |
| Oktober | 10,4 | 18 | 5 654 |
| November | 4,3 | 18 | 9 864 |
| December | 2,3 | 18 | 11 681 |
| | | | ∑ 40 022 |

Med hjälp av summan av graddtimmarna som erhöles ur tabellerna ovan, beräknades därefter en korrektionsfaktor för respektive hus som kvoten mellan graddtimmarna för den aktuella perioden (april - december 2023), samt normalperioden (april - december 1981 - 2010) enligt ekvationen nedan. Denna beräknades till ca 0,88 för hus 14 och 0,85 för hus 24.

$$\text{Korrektionsfaktor} = \frac{\text{antal graddtimmar för perioden}}{\text{antal graddtimmar för "normal" period}} \quad (-)$$

Dessa korrektionsfaktorer kunde därefter användas för att normalårskorrigera den uppmätta energianvändningen från NODA.

4.3 Utförande av enkätundersökning

För att kunna besvara frågeställningen om det termiska inneklimatet påverkades, hur det i så fall påverkades, samt hur folk upplevde renoveringen, utfördes därför en enkätstudie. Studien gick ut på att ett formulär skickades ut till de boende som frivilligt fick besvara ett antal frågor.

Enkätens struktur och frågor efterliknades i huvudsak Örebroenkäten, men ändringar gjordes för att bättre passa projektet (se bilaga B för den fullständiga enkäten). Frågorna som ställdes handlade till en början om vilket hus de bodde i, om personen bodde i ett av de hus som har renoverats/renoveras, samt hur länge de bott där. Därefter ställdes ett antal frågor om det termiska inneklimatet: Om personen under en viss tid bakåt känt sig besvärad av en för hög eller låg inomhustemperatur, en för varierad innetemperatur, samt om de känt sig besvärade av drag. Vidare ställdes även frågor om brukaren upplevt besvär av dålig luft. Dessa inledande frågor om det upplevda inneklimatet bevarades på en fyrgradig skala med svarsalternativen “Nej, aldrig”, “Ja, någon enstaka gång”, “Ja, någon gång i veckan”, samt “Ja, varje dag”. Enkäten fortlöpte därefter med en fråga om/hur ofta de använder sina vädringsluckor under vinter- och höstmånaderna, samt vad de brukar ha för innetemperatur. Till sist tillkom även en fråga där brukarna fick skriva en text om sina upplevelser och tycke om renoveringarna i helhet.

På detta sätt blev varje enkätsvar kopplat till ett hus och genom tidplaner kunde man således ta reda på vilken renoveringsstatus som respektive enkätsvar var kopplat till. Vid tolkning av enkätsvaren gjordes därför även en granskning av om aktuellt hus var orenoverat, under renovering eller färdigrenoverat för de frågor som behandlade det termiska klimatet under en viss tidsperiod. Några av enkätens frågor var av sorten att de svarande skulle reflektera över huruvida de upplevt en för hög eller låg inomhustemperatur under föregående sommar respektive vinter/höst. I de fall då renoveringen sammanföll med denna period ansågs inte svaret vara representativt för varken ett renoverat eller orenoverat hus och togs därmed bort från resultatet. För varje enkätsvar kontrollerades det på detta sätt när det aktuella huset renoverades (med hjälp av tidplanerna för renoveringen av husen), och detta avgjorde i sin tur om svaret ansågs gälla för ett renoverat hus, orenoverat hus, eller ingen av dessa. Således kunde ett enkätsvars olika svar på de olika frågorna både hamna som resultat på ett orenoverat och ett renoverat hus. Exempelvis om ett hus renoverades april till september kommer “förra vintern” innebära ett orenoverat hus, men “den senaste tiden” kommer gå under resultatet för ett renoverat hus och “den gångna sommaren” är inte representativt för någon av alternativen då huset var under renovering.

Enkäten skickades ut via Brf Tingvallens ordförande som publicerade denna i bostadsrättsföreningens Facebook-grupp tillsammans med en introduktionstext som förklarade undersökningen, dess syfte och tidsåtgång. Enkäten i sin helhet bifogas som bilaga B.

4.4 Lufttäthetsprovning och termografering

Som ytterligare en metod att bedöma renoiveringens effekt på husens energiprestanda utfördes dessutom lufttäthetsprovningar för ett antal lägenheter. Som en del i att nå ett hus med bättre energiprestanda är det av stor vikt med ett tätt hus och luftläckaget är således en viktig aspekt. Vid energirenoiveringar är det en extra stor utmaning att få ett tätt hus och därför är lufttäthetsprovningar ett bra komplement till att ytterligare bedöma renoiveringens effekt på husen och dess energiprestanda. Provningarna var således intressanta dels som ett komplement till de två andra metoderna för att granska energiprestandan, dels för att bedöma huruvida renoiveringmetoden som tillämpades, faktiskt uppnår en bra lufttäthet, då det är en kritisk och utmanande aspekt att lyckas med vid denna sorts renoivering. Vidare kan resultatet från detta metodval även ge ett visst komplement till frågeställningen om hur det termiska klimatet påverkades, då en dålig lufttäthet tenderar att ge mer drag som påverkar den termisk komforten negativt.

Lufttäthetsprovningen utfördes för 3 olika lägenheter i de nyrenoverade husen. Lägenheterna var belägna i 3 olika hus och hade olika utformning och konstruktioner. Två lägenheter var belägna i bottenplan medan en var belägen på tredje våningen, dvs högsta våningen. Inga mätningar utfördes för renoiverade hus, då det inte fanns tid och möjlighet att utföra detta i arbetet.

Utrustningen som användes var en Minneapolis Blower Door Model 4 med fläkt, fläktöverdrag, ram, ringar (A, B, C, D & E), fläktkontrolldosa, mätslangar, nylonduk, samt tryck- och flödesmätaren DG-700 Pressure & Flow gauge. Till detta användes en laptop med programmet TECTITE Express 5.0. All utrustning redovisas nedan i figur 4.1.



Figur 4.1. En bild ur instruktionsboken över samtlig utrustning som ingick och användes vid lufttäthetsprovingen.

Inför mätningarna användes planritningar och andra ritningar för att beräkna de utvalda lägenheternas invändiga omslutningsarea, volym och golvyta. Mätningarna för samtliga undersökta lägenheter utfördes enligt metod 2, ”test of building envelope”, i standarden SS-EN ISO 9972:2015. Fläkten och ramen med nylonduken placerades i balkongdörrens öppning i kontakt med utemiljön, se figur 4.2 nedan. På detta sätt ställdes utrustningen upp vid varje tryckprovning. Till en början kontrollerades att samtliga övriga dörrar och fönster var ordentligt stängda i lägenheten. Därefter stängdes alla avsiktliga öppningar - ventilationsöppningar - igen, dvs. frånluftsdon i kök och badrum, tilluftsdonen i fasaden bakom radiatorerna. Vilken tätningsmetod som tillämpades för respektive avsiktlig öppning varierade. För tilluftsdon och frånluftsdon avlägsnades donet med filer och tätningsballonger pumpades upp tills de täppte igen öppningen, se figur 4.3. För lägenhetsdörrar och liknande användes tejp för att tätas till brevinkast, nyckelhål och liknande, se figur 4.4. Innan tryckprovningen startade och fläkten sattes i gång kontrollerades även att samtliga interna öppningar, såsom dörrar och luckor, inom lägenheten var öppna. Vad som behövde tätas igen skiljde sig något mellan orenoverade och renoverade lägenheter då renoverade lägenheter fått tilluftsdonen flyttade ner bakom radiatorerna i fasadväggarna.

I samband med detta genomfördes termograferingen av konstruktionsdetaljer, skarvar och ventilationsdetaljer efter att ett undertryck på 30 Pa hade hållits i ca 20 minuter för att hitta eventuella otätheter genom kall inläckande luft. Detaljer som gav en kall yta kunde identifieras med hjälp av instrumentet och inspekterades. Efter att ha känt efter

luftläckage och känt på ytan bedömdes detaljen utgöra antingen en köldbrygga eller möjlig källa till läckage. Instrumentet som användes för att termografera var Flir E5-XT.



Figur 4.2 Uppställning av Minneapolis Blower Door 4 ihopkopplad med DG-700 Pressure & Flow Gauge och fläktkontrolldosa inför en mätning. Visar även datorn som användes . I detta fallet gjordes uppställning på en renoverad lägenhet där Blower Door satt i öppningen vid balkongdörren. Uppställningen är från lägenhet 1 men tillämpades på samtliga lägenheter.

Balkongen i lägenhet 1 var inglasad och flera rutor öppnades för att se till att trycket utjämnade sig mot utomhuströcket.



Figur 4.3. Exempelfoto på uppblåst tätningsballong som användes. Här i en tilluftskanal bakom radiator i yttervägg i en renoverad lägenhet.



Figur 4.4. Tätning av medvetna öppningar, så som brevinkast och nyckelhål på ytterdörrarna ut mot trappuppgångarna, tejpades på detta sätt igen.

I lägenhet 1 fanns det ett frånluftsdon som inte kunde nå då det täcktes till hälften av en möbel. Donet var otillgängligt och gick inte heller att montera av, varför hela detta rum tätades av och lägenhetens tryckprovning utfördes därför på tre rum i stället för fyra rum. Donet visas i figur 4.5 och tätning av innerdörren syns i figur 4.6.



Figur 4.5. Foto på frånluftsdonet som inte kunde tätas då det var placerat bakom en fastskruvad möbel.



Figur 4.6. Dörr i innvägg som avdelar köket mot sovrummet (med frånluftsdonet som inte gick att tätas) för lägenhet 1.

En Minneapolis Blower door monterades i samtliga fall i en balkongdörr. Montering av Minneapolis Blower Door skedde enligt följande: Ramens olika delar monterades ihop och kläddes in i nylonduken. Därefter justerades ramen för att passa in i dörröppningen. Dess gummilister trycktes mot ytterkanterna, duken veks in på insidan över hörnen och ramen spändes fast mot dörrkarmen med spännanordningarna. Sedermera kopplades strömkablar in och slangarna kopplas ihop mellan fläkt och tryck- och flödesmätaren enligt manual. Tryck- och flödesmätaren DG-700 Pressure & Flow gauge ställdes in i läge BD 4. Över eller undertryck (tryckskillnaden över fläkten) redovisades på den vänstra halvan av displayen och luftflödet genom fläkten visades på den högra halvan. På den gröna slangen som kopplades till uteförhållanden kopplades det dessutom till en förlängningsslang som tog intaget bort från fläkten längre ut utanför balkongen för att inte påverkas av fläkten (se figur 4.7). Slangen placerades aldrig i direkt solljus.



Figur 4.7 Slangen för uteluftstrycket hängdes ner från balkongen ca 1 meter ut i utemiljön och inte inne på balkongen.

Varje mätning inleddes med att fläkten sattes igång och skapade ett undertryck i lägenheten med en ungefärlig tryckskillnad på 50 Pa. Därefter skedde en kontroll av samtliga tätningar som monterats i avsiktliga öppningar där det granskades om det läckte in stora mängder luft genom någon tätning. Om så var fallet tätades dessa öppningar om tills inget ofrivilligt läckage förekom. Efter kontrollen inleddes varje mätning med att tillfälligt täcka över fläkten och registrera nollvärden för tryckskillnaderna mellan ute- och inneförhållanden, en så kallad "Baseline". Under denna mätning togs minst 10 mätvärden med ett intervall om ca 30 sekunder. Detta gjordes före och efter varje mätning. Därefter togs höljet från fläkten av och mätningen initierades. Första mätvärdet av luftflödet togs när trycket stabiliserats på ca 10 Pa, alternativt värdet som gavs när medelvärdet av baseline multiplicerades med 5. Exempelvis med medelvärdet av baseline på 2,5 Pa kan det första mätvärdet tas vid 12,5 Pa. Standarden tillåter även en tryckskillnad på +/- 3 Pa från detta basvärde eftersom det kan vara svårt att få exakta värden om det är blåsig.

Fläktens varvtal ökades så att en tryckökning på ca 5 Pa uppnåddes och ett nytt flöde lästes av. På detta sätt fortgick mätningen med en ökning av ca 5 Pa mellan varje mätpunkt, tills det att ett sista mätvärde på ca 60 Pa uppnåts. När mätningen var slutförd monterades återigen kappellet över fläkten för att mäta upp en ny baseline. Detta gjordes efter någon minut av att fläkten varit helt avstängd för att jämna ut alla tryckskillnader. Efter uppmätt baseline upprepades hela proceduren för övertrycksfallet. Då byttes riktningen på fläkten genom att den fysiskt vändes och blåste in luft i stället för att blåsa ut luft från lägenheten (som i undertrycksfallet).

Om önskat tryck inte lyckades nås med monterad fläktring byttes ringen under mätningen, varpå detta också korrigerades i datorprogrammet där det för varje mätvärde också registrerades vilken ring som var monterad. Använd fläktring registreras av datorprogrammet och protokollförs i rapporten vid mätvärdet.

Programvaran som användes för att sammanställa och visualisera datan var TECTITE Express 5.0. Vid överföring av data från kontroll dosa till datorprogrammet gjordes all avläsning manuellt.

5 Resultat

I kapitlet redovisas de olika resultaten som erhöles från utförda undersökningar.

5.1 Energiberäkning

Nedan presenteras beräknad energianvändning för uppvärmning enligt IDA-ICE, dels för ett helt år (tabell 5.1), dels för perioden april - december (tabell 5.2), vilket är samma period som data för uppvärmningsenergin också lästs av.

Tabell 5.1 Beräknad uppvärmningsenergi från IDA-ICE med data från BEN för ett helt år.

| | Före renoivering (Hus 14) | Efter renoivering (Hus 14) |
|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| A_{temp} | 2600 m ² | 2600 m ² |
| Uppvärmning | 238 598 kWh | 181 331 kWh |
| Uppvärmning/ A_{temp} | 92 kWh/m ² | 70 kWh/m ² |

Tabell 5.2 Beräknad uppvärmningsenergi från IDA-ICE med data från BEN för månaderna april - december.

| | Före renoivering (Hus 14) | Efter renoivering (Hus 14) |
|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| A_{temp} | 2600 m ² | 2600 m ² |
| Uppvärmning | 134 895 kWh | 100 421 kWh |
| Uppvärmning/ A_{temp} | 52 kWh/m ² | 39 kWh/m ² |

Energibesparingen för renoivering uppgår till 25 % för den beräknade uppvärmningsenergin i IDA-ICE för perioden april - december.

5.2 Uppmätt energistatistik

Uppgifter från värmemängdsmätare presenteras nedan i tabell 5.3. Mätare mäter endast energin till uppvärmning och alltså inte varmvatten som också försörjs med fjärrvärme.

Tabell 5.3 Uppmätt uppvärmningsenergi från NODA (från april - december)

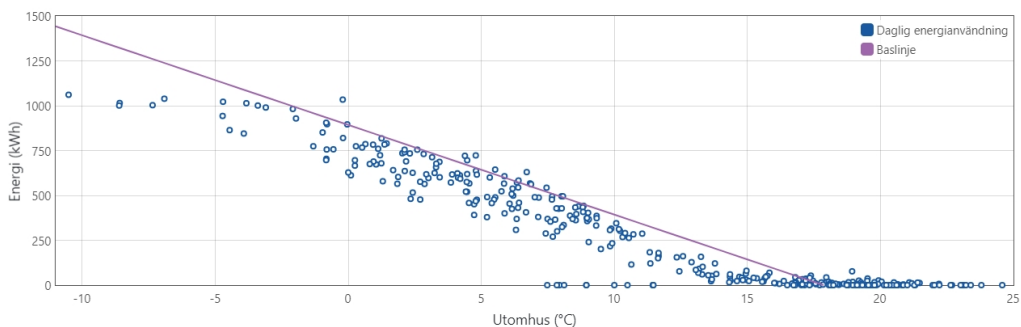
| | Före renoveringen (Hus 24) | Efter renovering (Hus 14) |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|
| A_{temp} | 3 540 m ² | 2 600 m ² |
| Uppvärmning | 114 870 kWh | 61 670 kWh |
| Uppvärmning/ A_{temp} | 33 kWh/m ² | 24 kWh/m ² |

Tabell 5.4 Normalårskorrigerad uppmätt uppvärmningsenergi från NODA (från april - december)

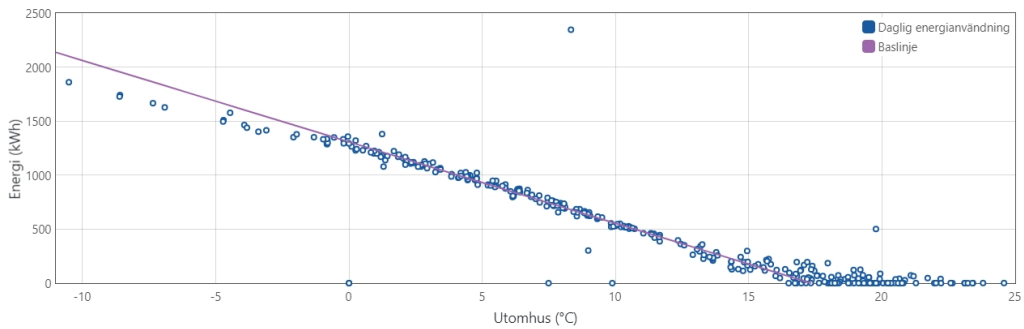
| | Före renoveringen (Hus 24) | Efter renovering (Hus 14) |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|
| A_{temp} | 3 540 m ² | 2 600 m ² |
| Uppvärmning | 135 784 kWh | 69 864 kWh |
| Uppvärmning/ A_{temp} | 38 kWh/m ² | 27 kWh/m ² |

Med normalårskorrigerad och beräknad korrektionsfaktor för hus 14 uppgick den normalårskorrigerade energianvändningen efter renoveringen till 69 864 kWh, det vill säga 27 kWh/m². För hus 24 blev den normalårskorrigerade energianvändningen 135 784 kWh, alltså 38 kWh/m². Detta visas ovan i tabell 5.4.

Den uppmätta energistatistiken från NODA visar på en energibesparing på 29 % relativt före renoveringen.



Figur 5.1 Energianvändning som funktion av utomhustemperatur för hus 14.



Figur 5.2 *Energianvändning som funktion av utomhustemperatur för hus 24.*

I figur 5.1 och figur 5.2 ovan, visas energianvändningen från 6 februari 2023 fram till 10e januari 2024 för hus 14 och hus 24 som en funktion av utetemperatur. I figurerna visas även en baslinje (lila) som är byggnadens teoretiskt uppskattade energianvändning om NODA-tjänsten är avstängd för byggnaden.

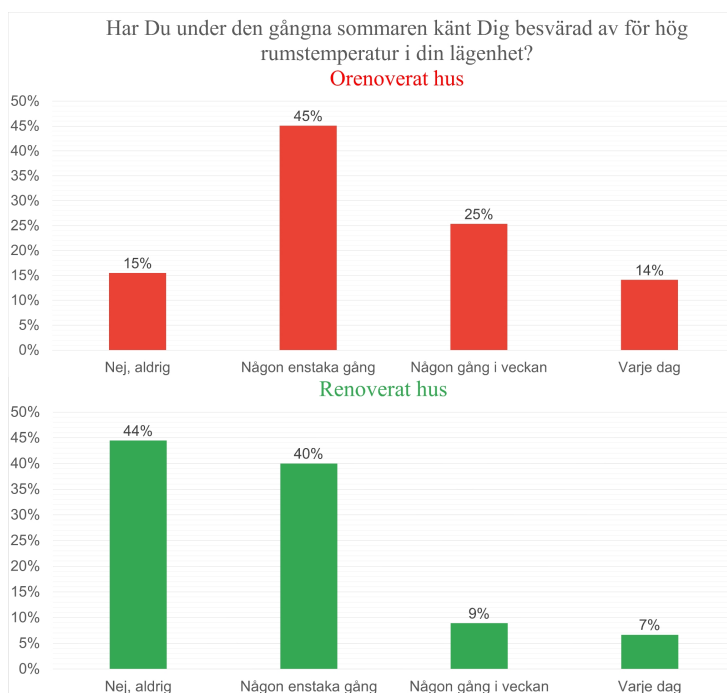
5.3 Enkätsvaren

Nedan presenteras resultatet från enkätstudien före och efter renoveringen. Inledningsvis visas resultaten för frågorna om det termiska inneklimatet, och därefter redovisas resultatet från frågan om hur ofta boende vädrade med vädringsluckorna, följt av textsvaren från frågan om de boendes upplevelse av renoveringen i helhet.

Det termiska inneklimatet

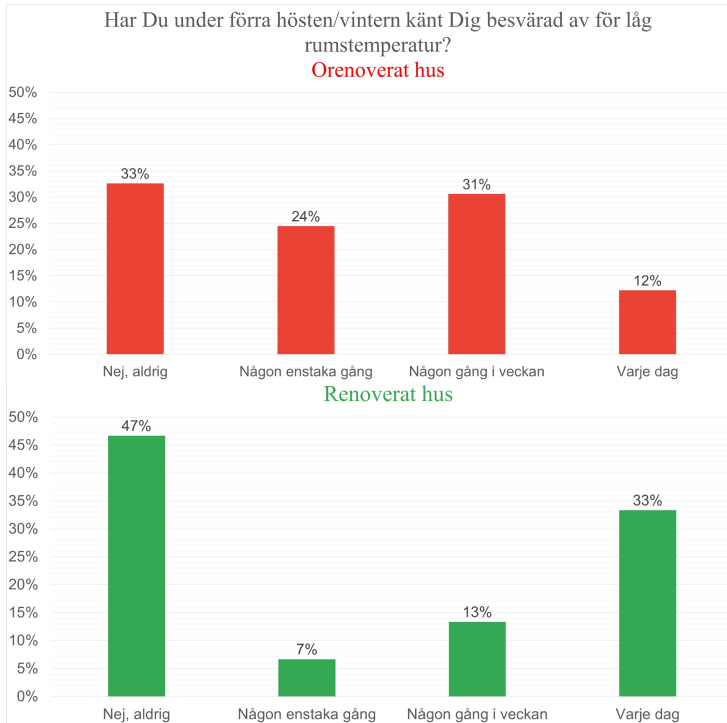
Nedan i figur 5.3 visas en sammanställning av resultatet för enkätens första fråga om boende upplevt besvär av för hög rumstemperatur under sommarmånaderna. Därefter presenteras svaren för frågan om boende upplevt besvär av för låga innetemperaturer under förra hösten och vintern, se figur 5.4. Följaktligen visas svaren för frågan om boende känt sig besvärad av varierande rumstemperatur (figur 5.5), om boende upplevt besvär av drag (figur 5.6), samt om boende upplevt besvär av instängd luft (figur 5.7).

I figur 5.3 syns att det för de orenoverade husen fanns en större spridning i hur boende upplevde höga innetemperaturer. I de renoverade husen var det en väldigt liten andel som någon gång i veckan eller varje dag upplevde besvär till följd av hög innetemperatur sommartid, medan denna andel var betydligt högre för orenoverade hus.



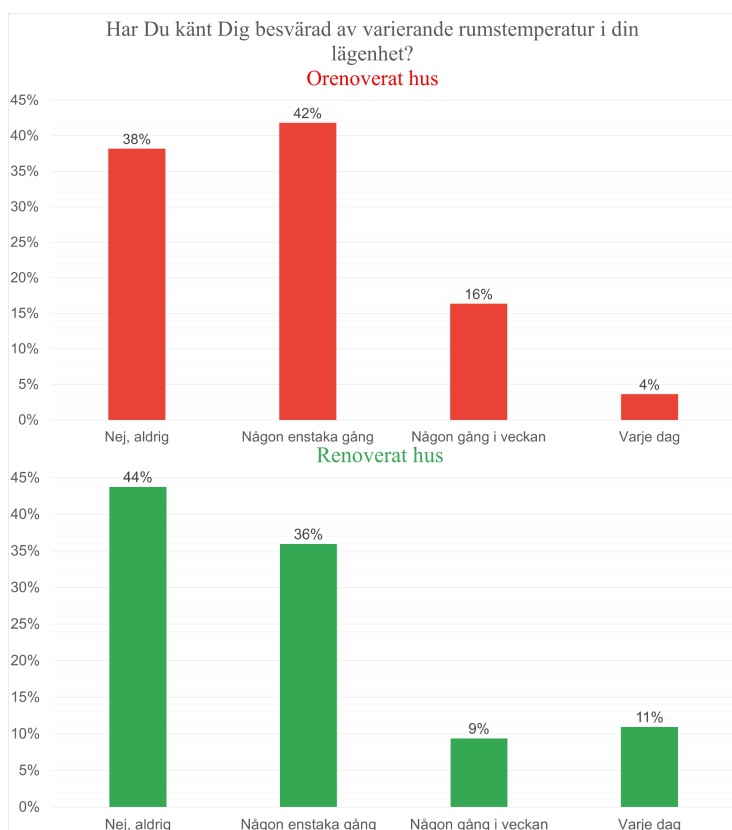
Figur 5.3. Figuren visar en sammanställning av svaren på frågan "Har Du under den gångna sommaren känt Dig besvärad av för hög rumstemperatur i din lägenhet?" utifrån en fyrgradig skala. Resultatet är uppdelat mellan svaren för orenoverade hus (överst, i rött) och renoverade hus (nederst, i grönt).

Vidare i figur 5.4 syns det att det även för upplevd innetemperatur vintertid finns en större spridning bland brukarna i de orenoverade husen relativt de renoverade. I diagrammet syns dock att upplevda problem är koncentrerade till svarsalternativen “nej, aldrig” och “ja, varje dag” för de renoverade husen.



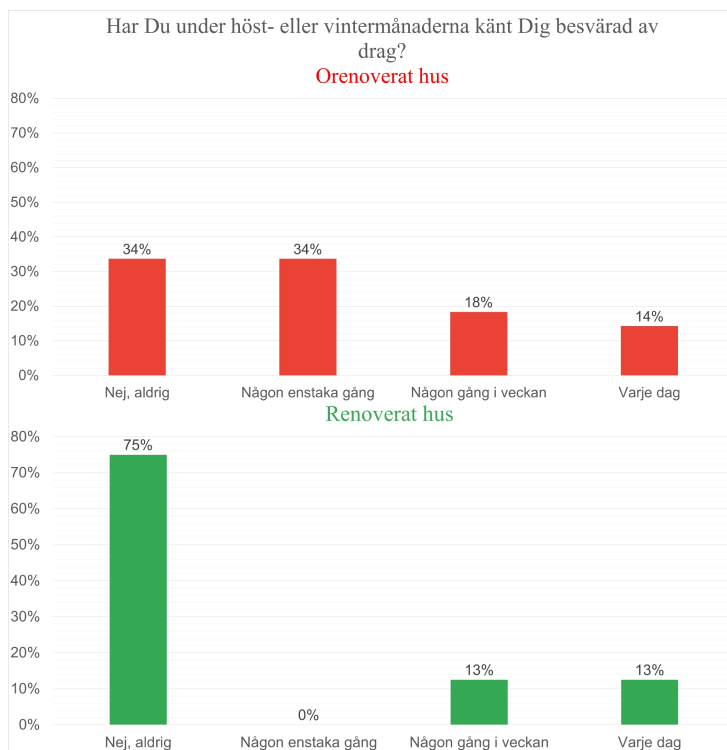
Figur 5.4 Figuren visar en sammanställning av svaren på frågan “Har Du under förra hösten/vintern känt Dig besvärad av för låg rumstemperatur?” utifrån en fyrgradig skala. Resultatet är uppdelat mellan svaren för orenoverade hus (överst, i rött) och renoverade hus (nederst, i grönt).

Resultatet i figur 5.5 visar på att variation i innetemperaturen var något som brukarna i renoverade och orenoverade hus upplevde liknande besvär av. I renoverade hus var det dock en större andel som upplevde besvär av detta varje dag.



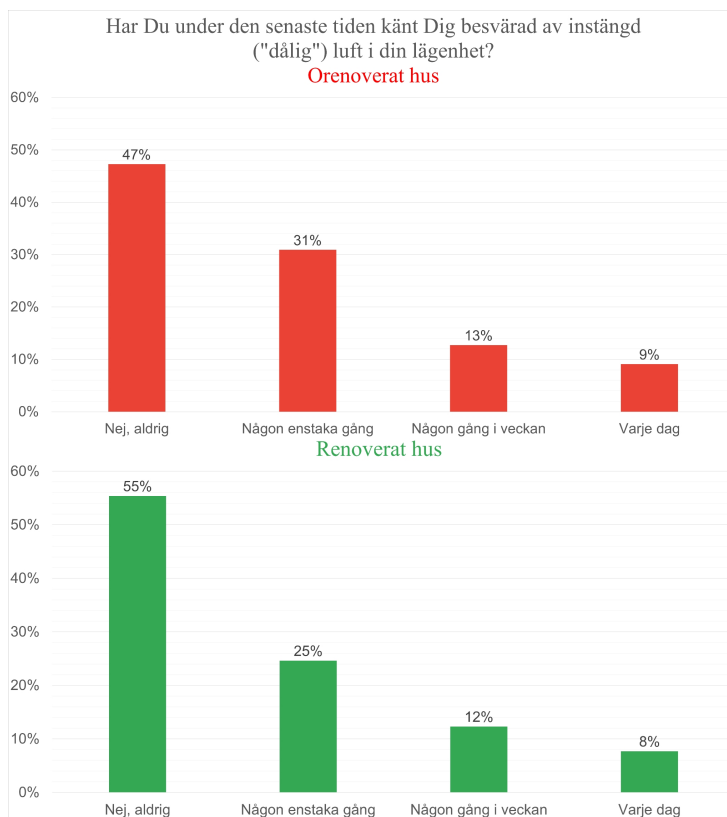
Figur 5.5 Figuren visar en sammanställning av svaren på frågan "Har Du under den senaste tiden känt Dig besvärad av varierande rumstemperatur i din lägenhet?" utifrån en fyrgradig skala. Resultatet är uppdelat mellan svaren för orenoverade hus (överst, i rött) och renoverade hus (nederst, i grönt).

Figur 5.6 visar att det finns en viss skillnad mellan husen när det kommer till upplevt drag under vintermånaderna. De renoverade husen har en betydligt större antal brukare som aldrig upplever något drag, och de orenoverade husen har en stor spridning i hur folk upplever frågan.



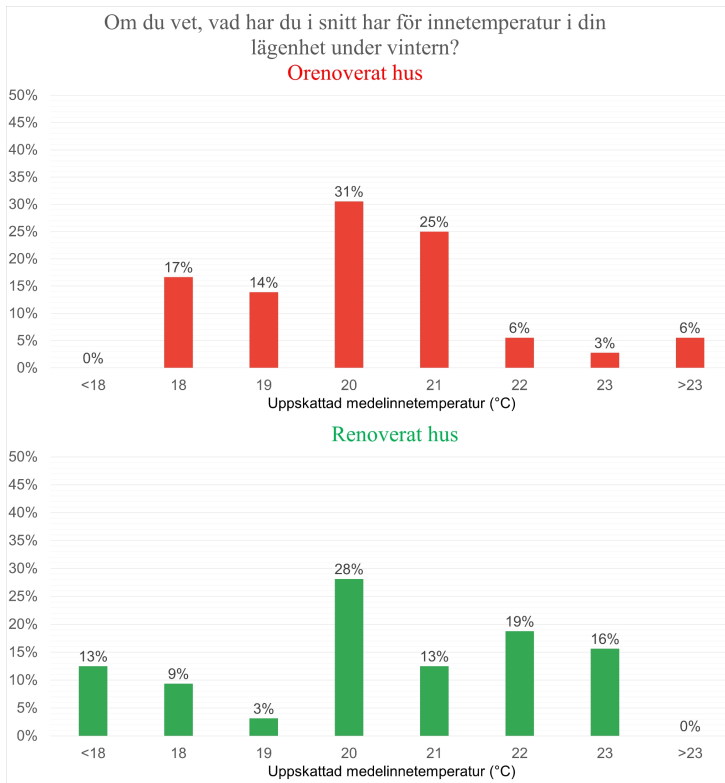
Figur 5.6 Figuren visar en sammanställning av svaren på frågan "Har Du under förra hösten/vintern känt Dig besvärad av drag?" utifrån en fyrgradig skala. Resultatet är uppdelat mellan svaren för orenoverade hus (överst, i rött) och renoverade hus (nederst, i grönt).

För frågan om upplevd instängd luft visar resultatet i figur 5.7 att orenoverade och renoverade hus brukare upplever problemen ganska snarlikt, men de renoverade husens boende lite mindre andel boende som upplever problemen.

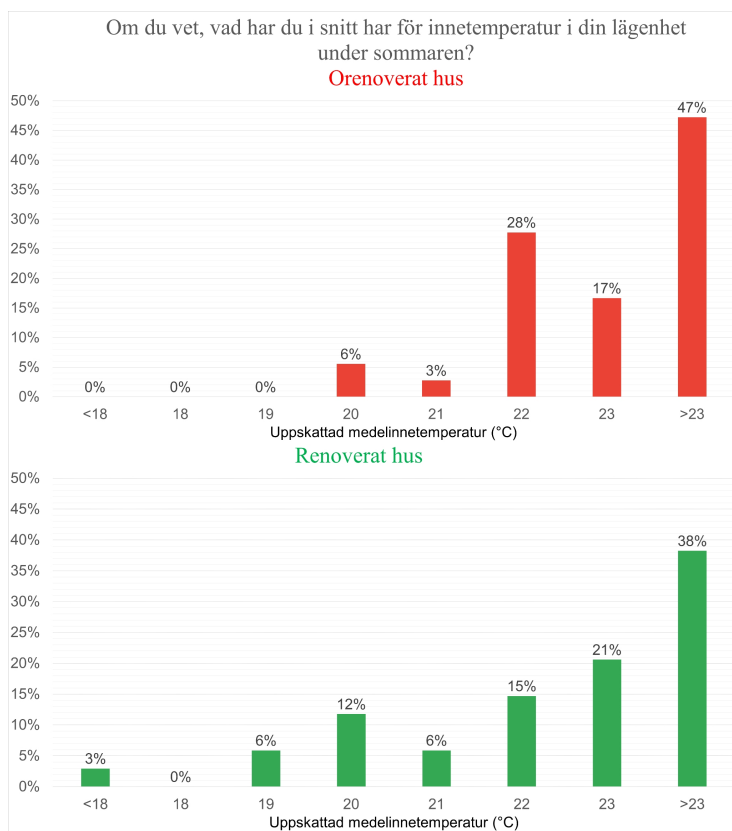


Figur 5.7 Figuren visar en sammanställning av svaren på frågan "Har Du under den senaste tiden känt Dig besvärad av instängd ("dålig ") luft i din lägenhet?" utifrån en fyrgradig skala. Resultatet är uppdelat mellan svaren för orenoverade hus (överst, i rött) och renoverade hus (nederst, i grönt).

Nedan presenteras resultatet på frågorna som berörde innetemperaturen i lägenheterna under vintern (figur 5.8), samt under sommaren (figur 5.9). I diagrammen syns att de renoverade husen hade en något större spridning mellan de olika lägenheterna enligt brukarna. På vintern upplevde större andel av brukarna i de renoverade lägenheterna extremfallen, det vill säga en större andel hade lägre än 18 °C och högre än 23 °C relativt de oreonverade lägenheterna.

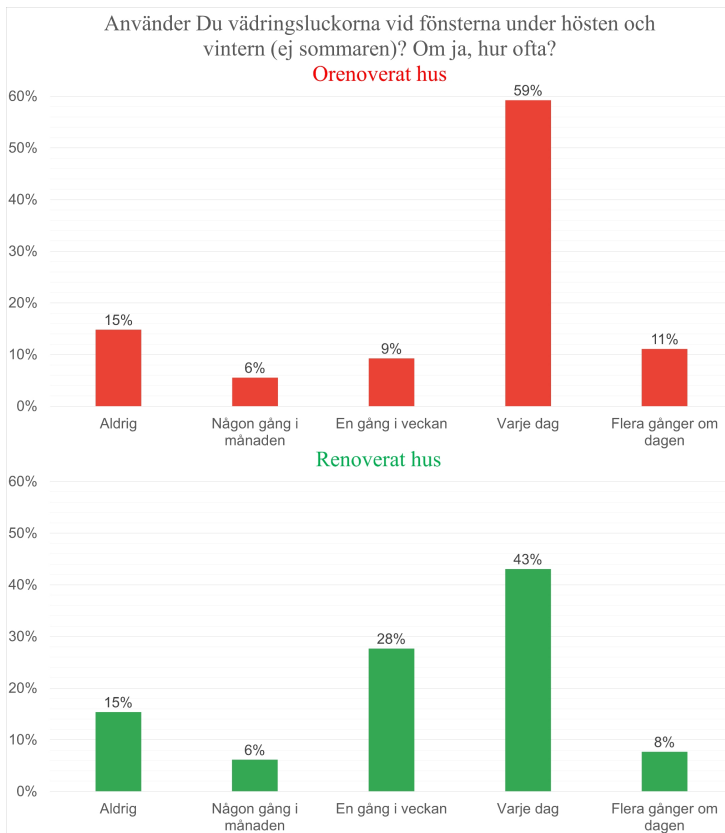


Figur 5.8. Figuren visar en sammanställning av svaren på frågan "Om du vet, vad har du i snitt har för innetemperatur i din lägenhet under vintern?". Resultatet är uppdelat mellan svaren för orenoverade hus (överst, i rött) och renoverade hus (nederst, i grönt).



Figur 5.9. Figuren visar en sammanställning av svaren på frågan "Om du vet, vad har du i snitt har för innetemperatur i din lägenhet under sommaren?". Resultatet är uppdelat mellan svaren för orenoverade hus (överst, i rött) och renoverade hus (nederst, i grönt).

I enkäten ställdes även en fråga om hur ofta vädringsluckorna användes av brukarna i de orenoverade och renoverade husen, vilket visas nedan i figur 5.10.



Figur 5.10. Figuren visar en sammanställning av svaren på frågan "Använder Du vädringsluckorna vid fönsterna under hösten och vintern (ej sommaren)? Om ja, hur ofta?". Resultatet är uppdelat mellan svaren för orenoverade hus (överst, i rött) och renoverade hus (nederst, i grönt).

Hur upplevdes renoveringen av brukarna?

Hur renoveringen upplevdes av de boende varierade. Nedan sammanställs brukarnas olika åsikter från den sista frågan i formuläret, där det fanns möjlighet - om man bodde i något av husen som genomgår/hade genomgått renovering - att ge sina åsikter på hur renoveringen hade upplevts. Svaren var av mycket olika karaktär och upplevelsen av renoveringen hade en stor spridning. De åsikter som sammanställts nedan är endast de åsikter som flertalet brukare uttryckt. Många av svaren var specifika för en lägenhet/brukare, ensamma i sitt slag och utan att andra svar hade liknande tycken. Sådana, personspecifika svar, tas inte upp i presentationen nedan.

Något som många brukare upplevde besvärligt var hur kall och fuktig lägenheten blev under renoveringen. Flertalet av dessa yttrade att det under vintersäsong innebar mycket låga temperaturer även efter att väggarna monterats, eftersom värmesystemet inte

kopplades in först efter några veckor. Många brukare hade problem med att få sin tvätt torr i lägenheten och behövde i flera veckor ha vinterkläder inomhus. Emellertid upplevde ett antal av de boende att inomtemperaturen var tillfredsställande så länge man höll sig i den halvan av lägenheten som var uppvärmd. Trots att värmen ska ha varit på i ena sidan av lägenheten fanns det även de som sa att de inte hade någon värme alls i perioder (under uppvärmningssäsong).

Något många brukare också uttryckte missnöje över var den nya ventilationen som ofta sågs som ett stort besvär då de inte längre kunde styra hur mycket luft som kom in genom tilluftsventilerna, såsom vädringsluckorna kunde regleras förr. Flertalet boende gav även kommentarer om att de nya radiatorerna gav höga ljud ifrån sig.

Därtill underströk många av de boende missnöje över tidsåtgången på det invändiga arbetet som enligt några kunde ta månader. En stor mängd boende gav dessutom klagomål på att saker tog lång tid och då främst ”småfix” och kvarglömt skräp som många upplevde att de behövde tjata och påminna om många gånger innan någon åtgärd kom. Ett antal boende upplevde också kommunikationen som bristfällig med olika information från olika håll (föreningen relativt entreprenören), ingen information om när och vilka farliga ämnen som hanterades, samt att tidplaner inte hölls med förseningar och saker som släpar efter.

Många boende uttryckte vidare missnöje över konsekvenserna av att bo på en byggarbetsplats med klagomål om hög ljudvolym från borring och maskiner, hög musik, damm, smuts, konstiga lukter, platsbrist och byggnadsställningens plast som gjorde att folk inte såg ut på flera månader. Detta gällde främst brukare som var hemma dagtid. Många av dessa svar uttryckte dock samtidigt förståelse för att det var naturliga följder av en byggarbetsplats och underströk i många fall att föreningen och byggentreprenören gjorde ett bra jobb.

Kortfattat och generellt var de två absolut vanligaste klagomålen under renoveringen dels det kalla inneklimatet, dels bullernivån.

Bortsett från negativa aspekter såg många boende dock på renoveringen som något mycket positivt med ett utfall som uttryckligen, definitivt var värt besväret. Boende uttryckte inte bara att renoveringen i sig blev bra med en väldigt smidig process, utan att den dessutom gav ett lyft för hela området och att det oftast var bra kontakt och kommunikation mellan boende, föreningen och byggentreprenören. Flera brukare uttryckte det hela kortfattat som att, med tanke på hur stort ingrepp det var och hur stor förändring som skedde av husen och området, så var renoveringen problemfri i perspektiv till detta faktum.

5.4 Lufttäthetsprovning och termografering

Lufttäthetsprovningar utfördes i 3 lägenheter. De fullständiga lufttäthetsrapporterna finns bifogade som bilaga D. Nedan visas endast resultatet för de olika

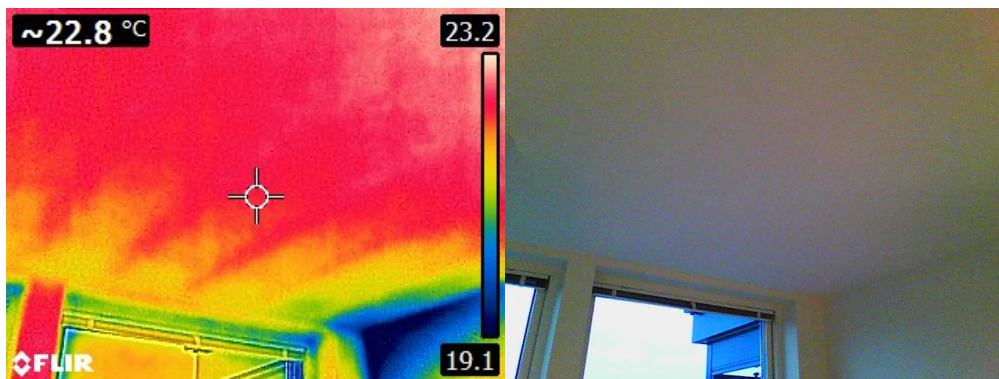
lufttäthetsprovningarna sammanställda i tabell 5.5, för respektive lägenhet som undersöktes.

Tabell 5.5. Lufttäthetsresultat uttryckt i l/s·m² omslutningsarea

| Lägenhet | Lufttäthet vid 50Pa (l/s·m ²) | Renoveringsstatus vid test |
|------------|---|----------------------------|
| Lägenhet 1 | 0,26 | Renoverad |
| Lägenhet 2 | 0,25 | Renoverad |
| Lägenhet 3 | 0,33 | Renoverad |

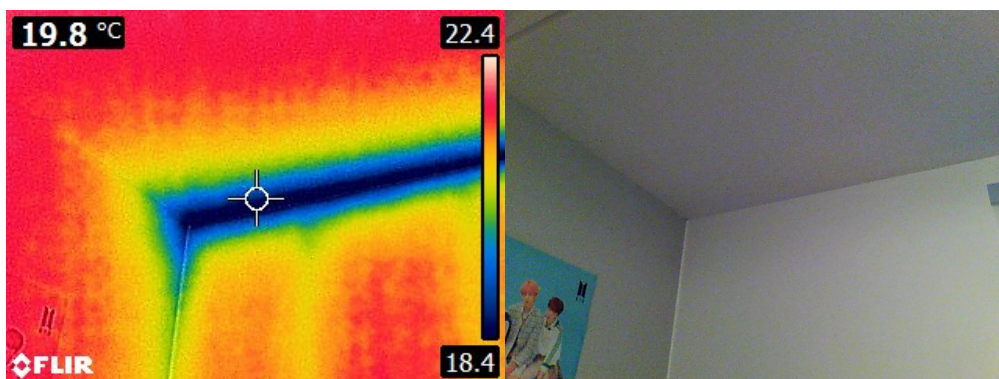
5.4.1 Termografering i lägenhet 1

Första lägenheten testades den 15 november 2023 och den uppmätta temperaturen utomhus var +6 °C med mycket lite vind.



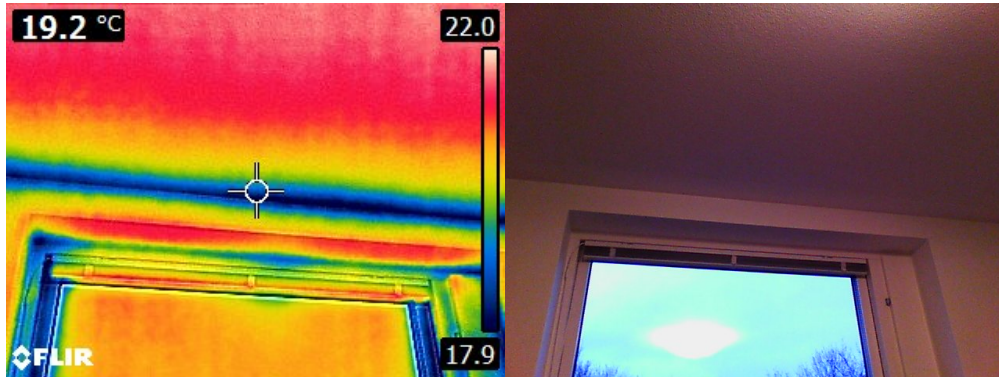
Figur 5.11. Termografering av tak samt betongvägg YV5 mellan kök och balkong i lägenhet 1.

Ovan syns termografering av en lägenhet på översta våningen i en hörna mellan yttervägg, innervägg och tak (figur 5.11). Man ser regelbunden temperaturförändring i taket samt en köldbrygga i betongväggen som avskiljer köket och balkongen.



Figur 5.12. Termografering av tak samt utfackningsvägg YV1 och invändigt avskiljande vägg i lägenhet 1.

Ovan syns vidare termografering av hörna med anslutning mellan tak, yttervägg och innervägg där det framgår en köldbrygga vid anslutningen (figur 5.12).

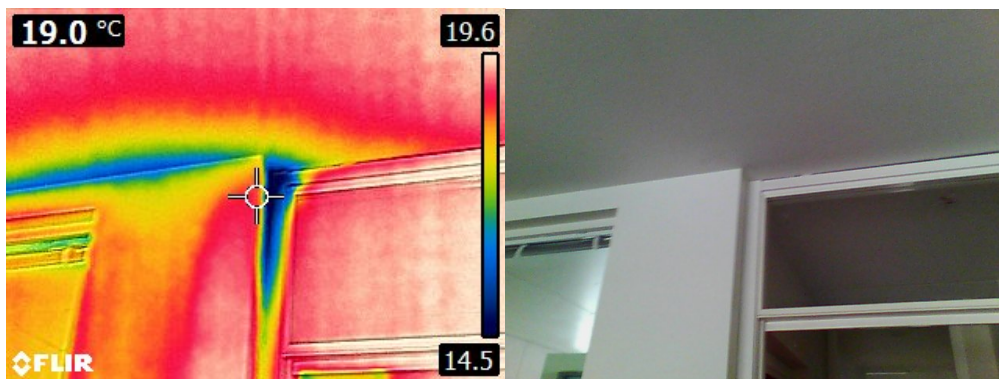


Figur 5.13. Termografering av tak samt utfackningsvägg YV1 med fönster i lägenhet 1.

I figur 5.13 redovisas anslutning mellan tak och yttervägg med en tydlig köldbrygga längst med anslutningen.

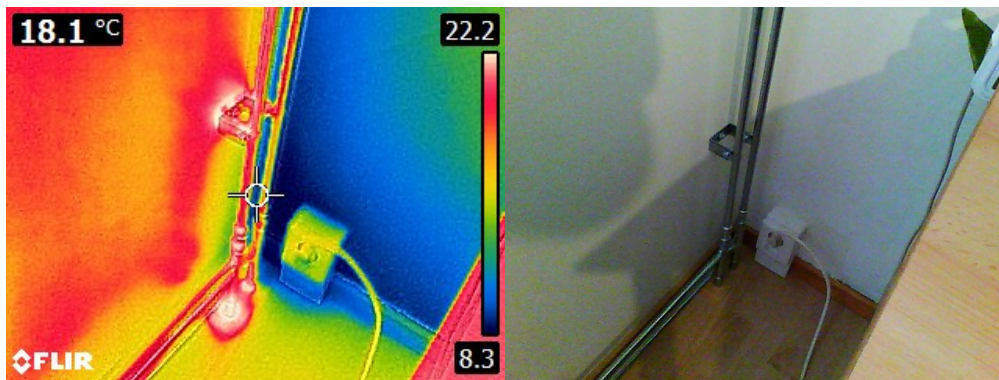
5.4.2 Termografering i lägenhet 2

Andra lägenheten testades den 1 december 2023 och den uppmätta temperaturen utomhus var -3 °C med mycket lite vind - nästan helt vindstill.

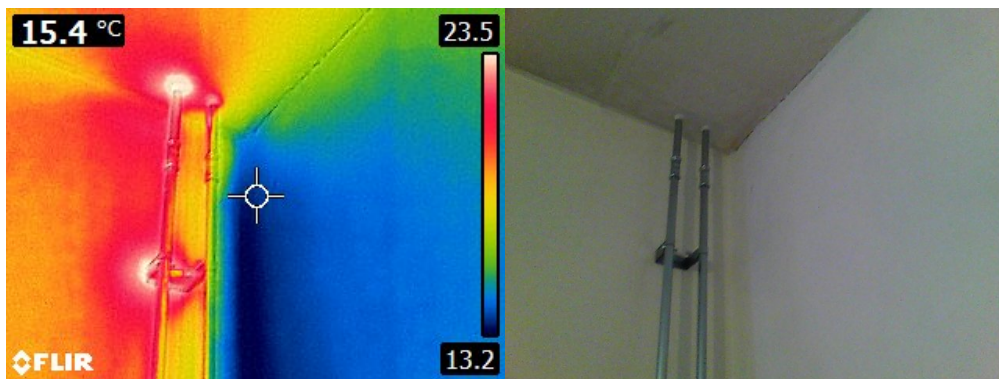


Figur 5.14. Termografering av tak samt YV1B vid uteplats i lägenhet 2.

Det syns tydliga temperaturskillnader i termograferingsbilderna i figur 5.14, speciellt i skarven mellan ytter och innervägg.

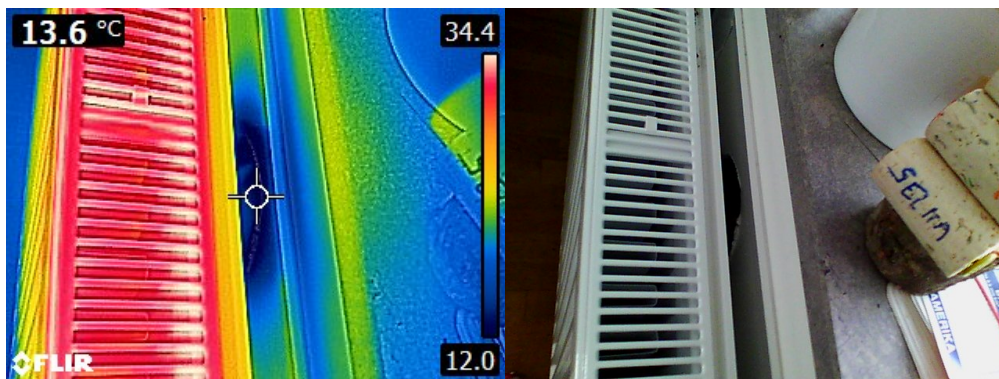


Figur 5.15. Termografering av värmerör till radiatorerna vid golv i lägenhet 2.



Figur 5.16. Termografering av värmerör till radiatorerna vid mellanbjälklag i lägenhet 2.

I figur 5.15 och 5.16 syns låga temperaturer i anslutningen mellan innervägg och ytterväggen från en köldbrygga. Det framgår även hur temperaturen från framledningsrören sprider sig in i golvet, ytterväggen och mellanbjälklaget vilket ger upphov till extra förluster.

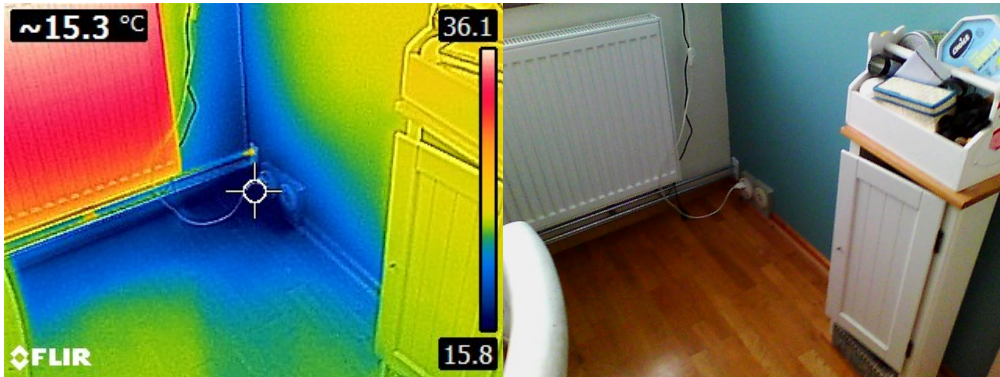


Figur 5.17. Termografering av tilluftskanal i lägenhet 2.

Runt tilluftskanalen in till tilluftsdonet bakom radiatoren, ser man en betydligt lägre temperatur. Här tas uteluft in utan uppvärmning. Ytterväggen var kall och utgör också en köldbrygga (figur 5.17).

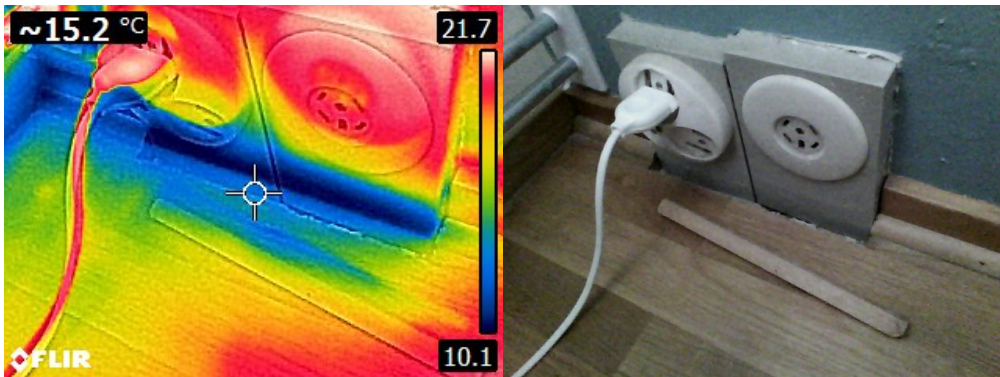
5.4.3 Termografering i lägenhet 3

Den tredje lägenheten testades den 1 december 2023 och den uppmätta temperaturen utomhus var $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ med mycket lite vind och nästan helt vindstilla.



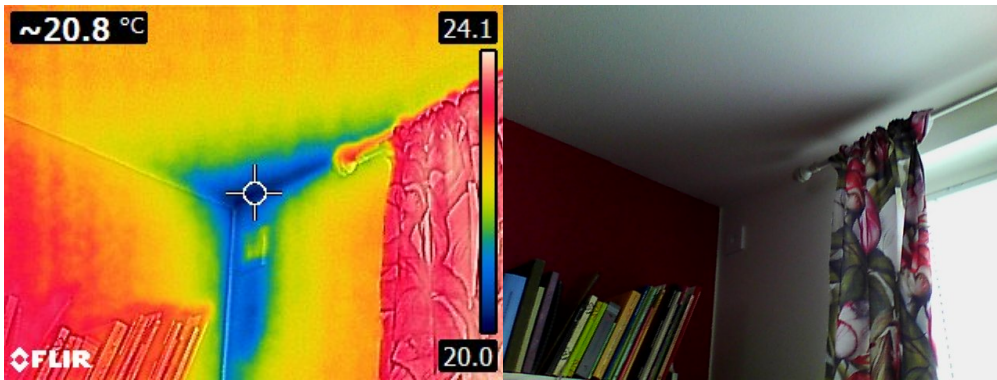
Figur 5.18. Termografering av yttervägg och golv i lägenhet 3.

I hörnan mot golvet (figur 5.18) ser man en stor temperaturskillnad och låga yttemperaturer. Här fanns även ett inläckage av kall luft vid vägguttagen, se vidare figur 5.19.



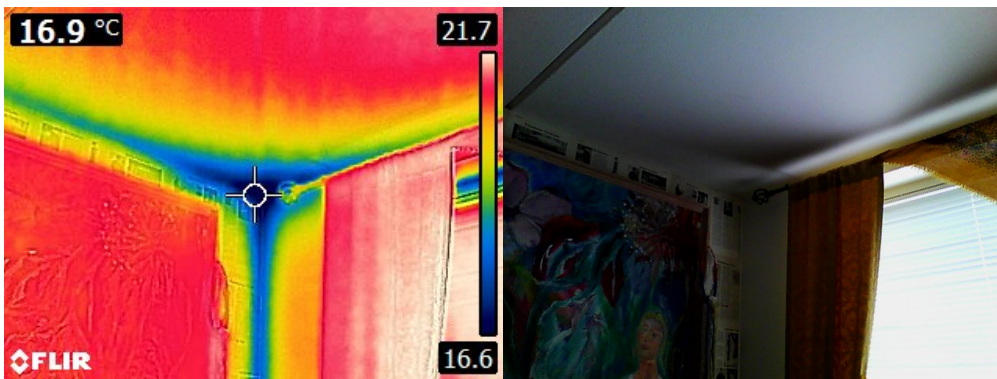
Figur 5.19. Termografering av eluttag i lägenhet 3.

Ovan, i figur 5.19 syns ett eluttag där de boende hade uppmärksammat att det drog kallt. Efter kontroll kunde man känna att det sipprade in kall luft genom uttagen.



Figur 5.20. Termografering av mötet mellan yttervägg och mellanbjälklag i lägenhet 3.

Endast en liten temperaturdifferens kunde ses i taket i anslutningen mellan vardagsrum och kök (figur 5.20). Denna detalj hade inget inläckage och konstaterades utgöra en köldbrygga.



Figur 5.21. Termografering av mötet mellan yttervägg och mellanbjälklag i lägenhet 3.

En större temperaturdifferens kunde ses i taket, i anslutningen i sovrummet på andra sidan av lägenheten (figur 5.21). Detta tolkades också utgöra en köldbrygga på grund, då det inte fanns något inläckage.

6 Diskussion

Resultatet indikerar att renoveringen har lett till en minskning av energianvändningen för uppvärmning. Det bättre klimatskalet i kombination med ett uppdaterat, avancerat uppvärmningssystem har lett till en minskning av energianvändning med 29 % enligt den uppmätta statistiken i NODA. Den simulerade besparingen i IDA-ICE uppgick till en lägre siffra på 25 % besparing av uppvärmningsenergi. Den uppmätta och den beräknade energibesparingen är mycket lika. Däremot är den totala energianvändningen betydligt högre i den beräknade energimodellen än de uppmätta värdena. Detta kan förklaras av ett antal faktorer som diskuteras nedan.

6.1 Energianvändningen

Anledningen till att det var perioden april till december som granskades, var att det var först i april som hus 14 var helt driftsatt och färdigrenoverat. Av denna anledning simulerades även datormodellen enligt denna period. Datormodellen gjordes som två olika modeller (en före och en efter renovering), men för den uppmätta datan fanns ingen individuell mätning för energianvändningen för varje hus från innan renoveringen. Av den orsaken togs referenshuset (hus 24) med, eftersom detta hus har haft individuell mätning lika länge som hus 24, men har inte genomgått renovering eller injusteringar i detta skede, vilket möjliggjorde en jämförelse mellan denna energianvändning och driftstatistik för det färdigrenoverade hus 14 för att försöka fastställa ändringen i energiprestanda. Hus 24 och hus 14 är dock av olika storlek och därmed olika A_{temp} , varför energianvändningen översattes till kWh/m² A_{temp} . På så vis fås en mer jämförbar siffra relativt den totala uppvärmningsenergin i kWh. Detta utgör dock en osäkerhet eftersom hur hus 14 tidigare presterade (före renovering) baseras på ett annat hus, men eftersom husen har samma orientering och förmodligen liknande brukarbeteende var detta en förenkling som ansågs rimlig.

Efter normalårskorrigerig motsvarade den uppmätta energianvändningen för hus 14, 69 864 kWh, vilket motsvarar 26,9 kWh/m² och för hus 24, 135 784 kWh, alltså 38,4 kWh/m². Detta är alltså vad energianvändningen normalt hade varit, sett till klimatdatan för 1981 - 2010. Alltså har april till december 2023, varit varmare än det normala för 1981 till 2010, och därmed hade exempelvis hus 14 för detta år "normalt" haft en energianvändning på 26,9 kWh/m² relativt, den uppmätta 23,7 kWh/m².

Som konstaterats är den beräknade och uppmätta energibesparingen för hus 14 snarlika, vilket dock inte gäller när det kommer till den beräknade respektive uppmätta totala energianvändningen, trots normalårskorrigerig. Som en del i att försöka förstå sig på denna stora skillnad utreddes ett antal olika aspekter som diskuteras nedan. IDA-ICE modellen är simulerad med brukare enligt BEN vilket är praxis enligt Boverket för energiberäkningar. Denna indata låg till grund för simuleringen, men det finns samtidigt en stor variation mellan olika hushålls elanvändning och brukarbeteende, det vill säga hur mycket hushållsel som används, vilket visas i Zimmermanns rapport över hushållsel

(Zimmermann 2009). Ju färre antal lägenheter som man kollar på ju större är risken för att man hamnar långt ut på en av extremerna, det vill säga väldigt mycket internlast eller väldigt lite internlast. Då hus 14 består av endast 18 lägenheter kan skillnaden mellan deras beteende och BEN:s indata skilja sig markant. Brukarna blir således alltid en osäkerhet vid energiberäkningar då energiberäkningar är helt teoretiska. I en annan studie, från E2B2, undersöktes brukarnas inverkan på det årliga uppvärmningsbehovet. 1300 undersökta lägenheter med mätningar varje timme låg till grund för resultatet som visade på att uppvärmningsbehovet kunde variera 17 kWh/m² för moderna 2-lägenhetshus i södra Sverige. Studien visade dessutom att även vid hushåll med samma årsanvändning kunde dessa beteenden variera stort under olika perioder. Även denna studie visar på att medelanvändningen stabiliseras ju fler lägenheter och brukare det finns i byggnaden, men att det fortfarande finns mycket stora spridningar (Bagge, Fransson, Hiller, Johansson & Rydén 2018). Brukarbeteende och internlasternas variation kan säkerligen utgöra en möjlig förklaring till skillnaden mellan beräkningarna och den uppmätta datan. Därav följer en utredning nedan:

Internlaster:

I datormodellen har internlasterna baserats på brukarindatan enligt tabell 2.2 i BEN (Boverket 2021a). Personlasten utgörs av 14 timmars närvaro alla dagar om året och en värmeavgivning motsvarande 80 W/person. Antal personer är framtagna enligt tabell 2.3 vilket uppgår till 43,7 personer för hela byggnaden. Personerna är placerade i lägenheterna beroende på lägenhetens antal rum och kök. För hushållsenergin gratisvärme utläses ur BEN att det är 30 kWh/m² A_{temp} år, samt att 70 % av denna tillgodogörs under uppvärmningssäsong. Detta gav totalt 3,2 W/m² hushållsenergi och värmeavgivning från personer. En av de möjliga anledningarna till att modellen visar så pass mycket högre energianvändning till uppvärmningen skulle kunna bero på att denna siffra är högre i verkligheten. Mängden internlast från apparater och belysning kan variera kraftigt mellan olika hushåll. Studien av E2B2 som ovan nämndes visade att exempelvis hushållselens medeleffekt för en enpersonslägenhet kunde variera mellan 80 W och 450 W (Bagge, Fransson, Hiller, Johansson & Rydén 2018). Mycket av denna utrustning har med åren blivit alltmer energisnåla och ger således mindre värmeavgivning, men samtidigt ökar mängden apparater som man har i ett normalt hushåll, där många av dessa har standbyfunktioner som gör att utrustningen avger värme även när de inte direkt används (Adolfsson 2011).

Utifrån antagandet att förlusterna för huset fortfarande stämmer, kunde således den krävda gratisenergin tas fram, det vill säga den värmeavgivningen från hushållsapparater och personer som krävs för att huset ska ha den energianvändningen som anges av den uppmätta driftstatistiken. Med handberäkningar erhöles de totala förlusterna (ventilations- och transmissionsförlusterna) till ca 2 631 W/K. Ekvation 1 till 4 nedan är alla hämtade från Lars Jensens rapport "Utetemperaturberoende årsenergibehov" (Jensen 2008). Transmissionsförluster beräknades enligt ekvation 1 (se nedan) och ventilationsförlusterna enligt ekvation 2 (se nedan) i Lars Jensens rapport "Utetemperaturberoende årsenergibehov" från 2008 (Jensen 2008). En metod för att ta fram gratisenergin är att få fram den så kallade gränstemperaturen T_g. Vid denna utetemperatur motsvaras skillnaden mellan inne- och utetemperatur av de internvärmestillskott som finns i byggnaden, det vill säga om utetemperaturen är lika med

eller över denna temperatur behöver ingen aktiv uppvärmning tillföras huset (Jensen 2008).

$$Q_t = \sum^j A_j U_j + \sum^j a_j u_j + \sum^j \rho c q_j \quad (\text{W/K}) \quad (1)$$

$Q_t =$ Totala transmissionsförluster

$A =$ Area för ytan

$U =$ Värmegenomgångskoefficient för ytan

$a =$ Längd för köldbrygga

$u =$ Specifik värmeförlust för köldbrygga

$q =$ Infiltrationsflöde

$\rho =$ Densitet för luft

$c =$ Specifik värmekapacitet för luft

$$Q_v = \sum^j \rho c q_j (1 - v_j) \quad (\text{W/K}) \quad (2)$$

$Q_v =$ Totala ventilationsförluster

$\rho =$ Densitet för luft

$c =$ Specifik värmekapacitet för luft

$q =$ Tilluftsflöde

$v =$ Temperaturverkningsgrad för luftflöde

Det totala effektbehovet ges av summan av ekvation 1 och 2.

Genom att därefter beräkna antalet gradtimmar för de aktuella månaderna (april - december) för Lund under 2023 (SMHI 2023), kunde gränstemperaturen T_g iterativt beräknas i Excel med hjälp av ekvation 3 då det uppmätta energibehovet var känt sedan tidigare från NODA. Gradtimmar är produkten av antalet timmar som utetemperaturen är lägre än gränstemperaturen multiplicerat med skillnaden mellan utetemperaturen och gränstemperaturen. Förenklat beräknades antalet gradtimmar för 2023 månad för månad (april - december), där antalet timmar multiplicerades med differensen mellan gränstemperaturen och medelutetemperaturen för månaden, med hjälp av statistik från SMHI.

$$E_n = Q G_t(T_g) \quad (\text{Wh}) \quad (3)$$

$Q =$ Totala förluster

$G_t =$ Gradtimmar

$T_g =$ Gränstemperatur

Energibehovet erhöles av förlusterna (W/K) multiplicerat med gradtimmarna för perioden, och för att nå energianvändningen som driftstatistiken visade, dvs. 61 670 kWh, krävdes en gränstemperatur på ca 14,1 °C. Detta gav i sin tur en

gratisenergi på 18 066 W (med hjälp av ekvation 4), det vill säga 6,95 W/m² jämnt fördelat över huset.

$$P_g = Q (T_i - T_g) \quad (\text{W}) \quad (4)$$

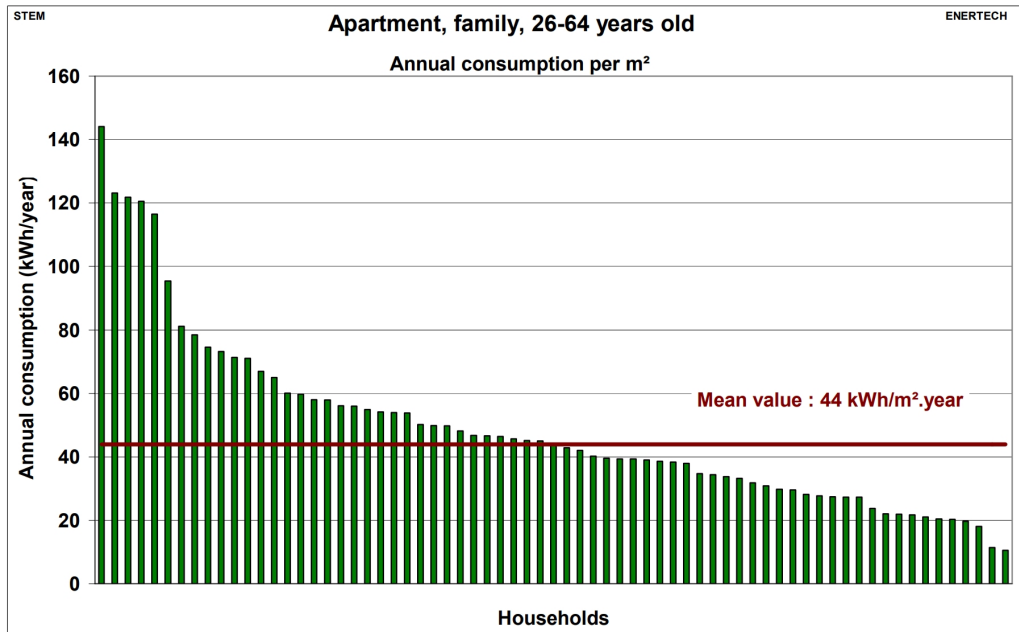
$$\begin{aligned} Q &= \text{Totala förluster} \\ T_i &= \text{Inomhustemperatur} \\ T_g &= \text{Gränstemperatur} \end{aligned}$$

Således visar denna beräkning, som bland annat förutsätter att förlusterna och ventilationsflödena är korrekta, att gratisenergin är mer än dubbelt så hög relativt den som använts i modellen enligt BEN. Dock tar denna metod inte hänsyn till gratisvärmen man får från solinstrålning. Energin som tillgodoses byggnaden från solen beräknades med hjälp av IDA-ICE och uppgick till 1,55 W/m². Det vill säga att internlasten från belysning, apparater och människor behöver uppgå till 5,40 W/m². Den framräknade internlasten på 5,40 W/m² ligger ca 70 % högre än indatan från BEN.

Indatan från BEN ska användas för att beräkna energianvändningen i en byggnad vid normal användning och ett normalår men är desto sämre när det kommer till att beräkna den faktiska energianvändningen i en specifik byggnad. Brukarnas användning av apparater och levnadsvanor påverkar den totala energianvändningen. Det kan finnas andra faktorer som påverkar. Exempelvis kan transmissionsförlusterna som ovan beräkning baserats på, skiljer sig från verkligheten, eftersom en noggrann beräkning av köldbryggorna inte var del av detta arbete. Följaktligen har köldbryggor endast uppskattats med en schablon på 20 % av transmissionsförlusterna. Denna uppskattning baserades på att köldbryggorna för byggnaden ansågs låga för mellanbjälklagen med 95 mm mineralull eller 50 mm PIR utanpå, för fönsterna, då det finns isolering intill karmen som inte sticker ut utanför isoleringen (ut i luftspalten), samt för geometriska köldbryggor vid hörn och takfot. Köldbryggorna antogs dock större för balkongerna med armeringskvastar som agerar köldbryggor mellan bjälklag och balkongplatta, samt för originalsockeln av betong. Vid en enklare analys av antalet löpmeter för respektive köldbrygga kunde det konstateras att de små köldbryggorna för mellanbjälklagen mot yttervägg, samt för detaljer runt fönsterna motsvarade betydligt fler löpmeter än de stora köldbryggorna vid balkonginfästningar och sockeln. Att beräkna köldbryggor i detalj var något som avgränsades från arbetet på grund av bristfälligt ritningsunderlag och således behövde denna grova uppskattning göras. Uppskattningen på 20 % var även ett värde som ansågs rimligt enligt Karin Adalberth (Adalberth 2024). Detta schablonvärde kan mycket väl avvika från det verkliga värdet och är en osäkerhet som också delvis kan förklara skillnaden i energianvändning.

Det finns studier som visar att användningen av hushållsel varierar kraftigt mellan olika hushåll. Enligt en rapport av Zimmermann (2009) varierade hushållens årliga elanvändning mellan ca 10 och 145 kWh/m² år med ett medianvärde på 44 kWh/m². 44 kWh/m² motsvarar en hushållsel om 5 W/m². Beroende på vilken typ av brukare som finns i huset kan hushållselen således variera kraftigt vilket i sin tur påverkar

uppvärmningsbehovet. Det är således möjligt att skillnaden kan bero på att huset i fråga har en användning av hushållsel som ger en högre internlast relativt den antagna internlasten i energiberäkningarna. Detta då det dessutom endast är ett hus som har undersökts.



Figures 2.8: Total annualized electricity consumption per m² – Apartments

Figur 6.1. Varaktighetsdiagram för Hushållsel i lägenheter med familjer i åldrarna 26-64 år (Zimmermann 2009)

Anledningen till att uppskattade värden, samt värden från BEN användes i energiberäkningen, var att elfakturor inte tillhandahållits och dessa uppskattningar var således nödvändiga att utgå från. Med elfakturor för de olika husen hade en uppskattning av internlasternas storlek kunnat göras för mätperioden. Ovan beräkning är därför gjord för att försöka uppskatta mängden internlast som behövts för att uppnå de uppmätta värden.

Ventilationsflödet:

Ventilationsflöden som användes i IDA-ICE antogs enligt Mats Östlunds bok "Minimikrav för luftväxling" från 2021 och redovisas i tabell 4.3. Dessa ventilationsflöden har använts då ingen OVK eller flödesprotokoll kunnat erhållas för husen. Med tillämpade värden uppgick det totala flödet till totalt 0,43 l/s·m², jämnt fördelat över hela huset. Eftersom detta är en uppskattning som gjorts följer en viss osäkerhet och ytterligare en orsak till skillnaden i beräknad och uppmätt energianvändning skulle därför kunna vara att dessa antagna ventilationsflöden är högre än verklighetens ventilationsflöden. Som en del i felsökningen testades därför modellen med ett sänkt ventilationsflöde till BBR-kravet på 0,35 l/s·m² i stället. Efter att tillämpat

detta flöde i originalmodellen erhöles en energianvändning på 32,7 kWh/m², det vill säga en minskning med 5,9 kWh/m². Eftersom det inte finns någon värmeåtervinning på frånluften påverkar ett sänkt flöde energianvändningen markant. Denna faktor kan således också vara en del av förklaringen till skillnaden mellan den simulerade energianvändningen och den uppmätta energianvändningen.

NODA:s möjliga påverkan:

NODA-systemet är ännu en faktor som kan förklara en del av skillnaden mellan uppmätt och beräknad energianvändning. Detta då NODA skapar en viss besparing genom sin anpassning av systemets framledningstemperatur. I figur 5.1 och 5.2 kan man se NODA:s effekt på energibesparingen. I figur 5.1, som visar hus 14 där NODA är aktiverat, kan man se att en majoritet av alla punkter vid uppvärmningsperioden ligger under baslinjen, samtidigt som det i referenshuset, hus 24 (figur 5.2), ligger betydligt närmare baslinjen. Detta då NODA:s styrsystem för korrigering av radiatorkurvan inte har aktiverats i hus 24 utan det är endast mätarna som är installerade. I hus 24 styrs systemet av ett traditionellt (momentant) styrsystem som, till skillnad från NODA, inte kan lära sig av tidigare temperaturer eller anpassa efter framtiden. Varje blå markör är ett dygns energianvändning för en viss utetemperatur. Ju längre ner en markör är från baslinjen, ju större energibesparing har NODA åstadkommit genom styrningen, eftersom baslinjen utgör energianvändningen för ett motsvarande momentant styrsystem, varför de blå markörerna för hus 24 är placerade utefter denna linje, men för hus 14 kan en större besparing utläsas. Hur stor denna besparing är uppskattades genom att data för samtliga uppmätta dygn under året med en uppvärmningsenergi större än 0 kWh sammanställdes i Excel, varpå kurvan plottades. Därefter anpassades en rät linje för den uppmätta datan och en för baslinjen. Hur stor besparingen i energianvändning blev erhöles därefter genom att jämföra arean av de två trianglarna, varpå en besparing på drygt 6 % uppnåddes relativt att inte ha NODA:s styrning aktiverad alls. Detta lär således vara ytterligare en aspekt som kan förklara skillnaden, eftersom denna avancerade styrning inte är något som går att tillämpa på energimodellen i IDA-ICE.

Själva energimätaren är också en möjlig felkälla som inte granskats i någon större utsträckning och på motsatt håll är en möjlighet därför också att det kan vara fel på de uppmätta värdena. Det finns alltid en möjlighet att mätarna inte monterats korrekt eller är defekta och därför inte rapporterar rätt värden till databasen. Detta är något som inte kunnat kontrolleras. Värmemätaren är placerad vid schuntgruppen i källaren för respektive hus och några kulvertförluster ska därför inte finnas.

6.2 NODA - Lärande och framåtblickande styrning av värmekurvor

NODA minskar den totala energianvändningen genom avancerad styrning som blickar framåt i tiden och anpassar sig efter detta, samt lär sig hur byggnaden reagerat på tidigare förhållanden och korregerar uppvärmningen efter huset och dess värmeförmåga (beror mycket på stommen). Det leder till att effekttopparna i systemet bli lägre, något som kan bli mycket fördelaktigt för fastighetsägarna då det på sina ställen har införts rörliga energipriser på fjärrvärmens. Detta kan även leda till att mindre spetsvärme behöver

tillsätts till fjärrvärmenätet, något som ofta är kostsamt och bidrar till större klimatpåverkan för uppvärmningen än den vanliga fjärrvärmen. Det finns redan fjärrvärmeleverantörer som börjat prissätta energiuttaget från fjärrvärmen beroende på efterfrågan och detta blir bara vanligare, ett system som NODA eller ett liknande system kan minska användningen av fjärrvärme vid de absolut dyraste timmarna. NODA:s styrning av värmekurvorna ger alltså en energibesparing via sättet det blickar framåt och lär sig av erfarenhet.

I styrsystemet för NODA kan det dock konstateras att det används en del energi till uppvärmning även på sommaren. Detta på grund av hur NODA är inställt från driften. Här skulle systemet kunna avvakta längre tid då det behöver vara under en viss temperatur innan NODA skickar värme till radiatorerna eftersom det mycket sällan behövs någon värmeförsel till radiatorerna under hela sommarsäsongen över huvud taget. Att värma på natten ger även lägre möjlighet till att kyla ut lägenheterna för brukarna. Man kan tycka att brukarna bör stänga av sina radiatorer själva men alla boende har inte kunskap om detta. Denna energianvändning är liten relativt resterande delar av året, men det kan dock leda till en onödig energianvändning och risk för högre temperaturer under sommaren.

6.3 Förutsättningar för renoveringsmetoden och dess lämplighet

För att renoveringsmetoden ska anses lämplig behöver ett antal förutsättningar vara uppfyllda. Metoden är riktad mot denna tidstypiska miljonprogramsdesign och för att över huvud taget ha möjlighet att riva ut och byta en hel fasad på detta vis, krävs för det första att byggnaden har en bokhyllestomme där husets utfackningsväggar inte är bärande. Eftersom ett av huvudsyftena med denna typ av renovering är att kunna behålla just stommen som har en betydligt längre teknisk livslängd än många andra delar i huset. Hustypen är, som tidigare konstaterats, en av de absolut vanligaste för miljonprogrammets hus och därför finns ett stort antal fastigheter med just denna stomtyp, som många har ett renoveringsbehov.

En annan viktig förutsättning är att fasaden inte anses ha något kulturvärde. Detta då strategin bygger på att man byter ut den gamla fasaden helt och hållet till en helt ny. I detta fall var den befintliga fasaden otät och mängder av fuktskador hade uppstått bakom den. Ett alternativ är att byta till en ny regelvägg, men där fasadmaterialet återanvänds ytterst - detta för att bevara fasadens kulturvärde och bebyggelsens karaktär. Riksantikvarieämbetet konstaterar i sin rapport att skiv- och lamellhus från miljonprogrammet är i behov av underhåll och påpekar vikten av att bevara kulturvärdet från denna epok för framtiden och förespråkar varsamhet i renoveringar och ombyggnationer (Riksantikvarieämbetet 2006). Detta vore också mer hållbart med återbruk på detta sätt, men det kräver att existerande fasad är något man vill behålla och ser ett värde i, samt att den är tillräckligt tät och fyller sin funktion, vilket här inte var fallet.

Ytterligare en förutsättning som är viktig för att renoveringen ska kunna fortgå så pass smidigt som denna gjort, är att det är ett hus med precisa mått, ett hus med prefabricerad stomme. Detta var av stor vikt för att kunna planera, beställa material med exakta mått och att kunna räkna på den ekonomiska aspekten. Med ett hus som inte hade haft denna precision i prefab-element, krävs en mer varsam renovering som troligtvis innebär mer problem som äventyrar ekonomin, tidplanerna och som kräver mer skraddarsydd lösningar. Denna metod bygger i stället, precis som miljonprogrammets byggtekniker i sig, på ett standardiserat och produktionseffektivt tillvägagångssätt.

Vid denna renoveringsmetod är en lätt utfackningsvägg fördelaktig. Om utfackningsväggarna i stället hade haft tegelfasad hade det inneburit ett tyngre arbete, men här behövde endast skivor plockas ner, träreglar kapas och fönster lyftas ut. Hela rivningen av en vägg gick på ca 1 timme för två arbetare, vilket hade kunnat ta längre tid för andra sorters utfackningsväggar.

Eftersom samtliga lägenheter är genomgående kan man vid denna typ av renovering dessutom stänga av värmekretsen till ena halvan av huset medan man river, men låta den vara i gång på andra sidan av huset. Detta gör att utkyllningen av husen inte blir lika illa som om man vore tvungen att stänga av hela värmekretsen i husen. Om detta inte är möjligt på grund av att man inte har genomgående lägenheter kan man behöva fundera på tillfällig uppvärmning i de lägenheterna som renoveras under uppvärmningssäsongen, något man kan ha som en backup i kommande projekt. En låg innetemperatur har dock varit en punkt flera boende tagit upp som besvär under renoveringen, men samtidigt verkar det enligt enkätsvaren vara något boende var redo att stå ut med, med tanke på resultatet. Att lägenheterna är genomgående är oftast förenat med att det är en bokhyllstomme och för denna byggnadstyp är det alltid genomgående lägenheter.

Idag hamnar även återbruk och återvinning i allt större fokus i byggbranschen, vilket säkerligen kommer bli mer aktuellt framöver. I detta projekt var dock så stora delar av det som revs mögelskadat vilket föranledde att man inte valde att arbeta med återbruk av materialen i ytterväggarna som revs. Det är fortfarande också en omogen marknad för återbruk i så stor skala som hade behövts för att vara aktuell för projektet. Det som möjligtvis hade gått att ta till vara på var fönster och fasadskivor, men fasadskivorna innebar sedan innan en otät fasad, varför detta inte gjordes här. Då de befintliga fönsterna var från 1960-talet med påhängda kassetter under 80-talet ansågs dess tekniska livslängd vara uppnådd.

I 50 år gamla lägenheter kommer det att finnas renoveringar och andra ändringar som gör att lokala lösningar kommer behövas göras. Detta har upptäckts under projektets gång i form av, exempelvis, innerväggar som inte funnits på ritningar. Där detta har upptäckts har det lokalt fått göras ändringar för att fortfarande kunna använda sig av den tänkta lösningen. Ett annat problem med att renovera 50 år gamla byggnader har varit dåligt ritningsunderlag. Detta har lett till att nya ritningar och många platsundersökningar har fått genomföras för att undersöka förstå hur det faktiskt ser ut.

En stor energieffektivisering som redan utförts är att vindsbjälklaget har tilläggsisolerats med lösull. Detta är en energirenoiveringsåtgärd som ofta är lönsam, se figur 2.5, om man har rätt förutsättningar som tillåter en att tilläggsisolera med lösull.

Projektet har fått stora bidrag från EU för de energieffektiviserande åtgärderna, nästan hälften av kostnaden är betalad av bidrag. Utan detta bidrag är det högst osannolikt att en renoivering i denna omfattning hade varit ekonomiskt möjlig. Detta visar på hur viktigt det kan vara med styrmedel från EU eller från staten om man vill få renoiveringsprojekt av denna storlek att vara ekonomiskt genomförbar. Som tidigare presenterats i figur 2.1 är det bevisligen inte så många fastighetsägare som gjort större renoiveringar på miljonprogramshus, varför det behöver bli mer lönsamt.

Vid en renoivering av denna sort är det av stor vikt att hålla boende nöjda, då det trots allt är de som bestämmer. Detta medförde att kompromisser behövde göras gentemot energiprestandan. Exempelvis behölls lägenheternas vädringsluckor, och ytterväggarna ut mot balkongen (YV1B och YV5) kunde gjorts mer välisolerade, men det hade tagit mer yta av balkongerna i anspråk, varför man höll tillbaka på isoleringsmängden. Detta är en svår men viktig balans att göra då standarden för lägenheten samtidigt inte kan försämrats och genom att lägga vikt på attraktivitet kan det få som följd att boende trivs och mår bättre, samt att området kan få ett lyft med större attraktivitet. För de boendes skull hölls också renoiveringen smidig och effektiv och vid prefab-stomme hade hela prefab-väggar kunnat installeras som nya utfackningsväggar, vilket man undvek för att inte ha för mycket tung trafik och maskiner på området. Således har många detaljer kompromissats för att möta komforten för de boende.

I projektet har inte någon ändring av ventilationsprincipen gjorts, en renoiveringsaspekt som hade kunnat ge stora energibesparingar är ett FTX eller frånluftsvärmepumpar för att återvinna energin i frånluften. I projektet på Brf Tingvallen har det ansetts för kostsamt för att vara genomförbart.

En annan aspekt gällande renoiveringen är att den blev lönsam att utföra för föreningen, tack vare EU-bidraget som täckte hälften av kostnaderna kopplade till energiförbättrande åtgärder. Generellt blir renoiveringar blir mer kostnadseffektiva om det är flera bostäder som renoveras samtidigt (Nobs u.å.), och i detta projekt var det ett mycket stort antal lägenheter som renoverades samtidigt. Renoiveringsprojekt, relativt nyproduktionsprojekt, kan vara svårare att prissätta för en entreprenör då det är fler okända variabler och generellt större osäkerheter. Detta leder till att entreprenörer inte vill riskera stora förluster i denna typ av projekt vilket trycker upp priserna. Entreprenörer har en osäkerhet eftersom en renoivering kan vara svår att prissätta. En entreprenadform som passar renoiveringsprojektet är en samverkansentreprenad med löpande räkning, vilket är entreprenadformen som arbetats efter i projektet Tingvallen. Detta eftersom det i början av renoiveringsprojektet är svårare att räkna ut entreprenadens totala kostnad än i ett nybyggnadsprojekt. Dessa faktorer har varit en ytterligare viktig förutsättning för att projektet skulle ske. En utmaning är att få renoiveringsprojekt mer attraktiva, lönsamma och säkra för beställare och entreprenörer och detta utgör en stor bromskloss för en höjd renoiveringstakt.

Olika entreprenadformer passar bättre för renoveringsprojekt eftersom det kan vara svårt att få en bra uppskattning av projektets totalkostnad tidigt. En sån entreprenadform som funkar bra är samverkansentreprenad som är fördelaktig för komplexa projekt eller projekt som innefattar stora osäkerheter.

6.4 Enkätresultaten

Enkätresultat är bra för att fånga in åsikter från brukarna men har sina svagheter i subjektivitet och påverkan av faktorer som är svåra att hantera, såsom de svarandes humör, stressnivå, etc. Det kan också vara så att endast vissa målgrupper väljer att svara på enkäter, och de som svarar kan exempelvis vara de som är mest missnöjda då enkäten erbjuder ett tillfälle att vädra sina åsikter, medan de som är nöjda kanske tenderar att ha mindre entusiasm för att svara. Dessutom var det fler enkätsvar från orenoverade hus än renoverade, eftersom betydligt fler hus var orenoverade vid de perioder som de boende skulle svara på frågor om. Detta fick som följd att svaren för de renoverade husen inte är lika tillförlitliga. Därtill finns det andra osäkerheter i enkätsvaren då det ibland var svårt att veta om ett enkätsvar relaterade till en renoverad eller orenoverad lägenhet. Som beskrevs i metoden (kapitel 4.3) gjordes en bedömning för varje svar utefter när renoveringarna pågick för varje hus. Det gick dock inte att med säkerhet veta hur respektive svarande tolkade frågan och om de svarade för när huset var renoverat eller orenoverat. Vissa enkätfrågor kan därmed delvis öppna för tolkning, varför det finns en viss osäkerhet i frågorna som redovisas i figurerna 5.3 till 5.10. Enkäten hade därför kunnat utformas på ett sätt som gav den svarande möjlighet till att vara mer specifik till om de syftar på sin renoverade eller orenoverade lägenhet. I enkäten erhöles 122 inkomna svar och i föreningen finns det totalt 414 lägenheter, vilket får anses vara en relativt hög svarsgrad.

Enkätresultatet visar inte på någon större skillnad när det kommer till varierande temperaturer i lägenheter, en majoritet upplevde fortfarande inte besvär av varierande temperaturer mer än några enstaka gånger. Det har varit en liten ökning av personer som tycker att varierande temperatur är ett problem som de upplever varje dag. Det är svårt att besvara varför det är på detta vis, men det är olika brukare som svarar för renoverade och orenoverade hus vilket kan leda till olika resultat eftersom det är högst subjektivt vad som anses besvärande. När NODA-data innehållande innetemperaturer i de renoverade och orenoverade husen syns inga uppenbara skillnader i variationen av rumstemperaturer.

Svaren visar också på att det fanns en större spridning i om man upplevde lägenheten för kall vintertid, för de orenoverade husen relativt de renoverade. En minskning av spridningen skulle kunna förklaras av att värmesystemet injusterats, varför vissa av lägenheterna fått det varmare och andra fått det kallare, då det efter renoveringen har blivit en jämnare temperatur mellan lägenheterna.

Enkätsvaren visar på en tydlig upplevd förbättring när det kommer till hur drag upplevs i de renoverade lägenheterna jämfört med de orenoverade lägenheterna. Detta visar på att den nya lösningen med tilluften inte verkar orsaka några större problem för brukarna,

hittills. Detta är intressant då en motsatt effekt också hade kunnat förväntas när tilluftsdon placeras bakom lågtempererade radiatorer där det inte finns någon möjlighet att stänga ventilen. Med låg temperatur skulle det kunna bli svårt för radiatorerna att motverka ett kallras, framför allt vid vissa vädertyper då det är relativt kallt ute, men med exempelvis stark solinstrålning kommer givarna visa en hög innetemperatur, varpå radiatorerna stängs av helt till följd av gratisenergin. Då finns ingen uppvärmd radiator som kan värma upp tilluften som riskerar att ge drag. Alternativt vid mycket låga utomhustemperaturer och köldknäppar finns risken att de lågtempererade radiatorerna inte kan bli tillräckligt varma för att motverka ett kallras. Detta skulle även kunna ge för låga innetemperaturer, men i de enkätundersökningar som utförts, finns inga solklara resultat som indikerar detta. Lägenheterna har inte varit färdigställda länge, och ett möjligt scenario är att detta blir ett större problem i framtiden vid köldknäppar eller andra ogynnsamma förhållanden.

När det kommer till frågan om instängd eller dålig luft har brukarna i de nyrenoverade husen till större del svarat att de aldrig har besvär av dålig eller instängd luft och folk som haft besvär någon enstaka gång har minskat nästan motsvarande andel. Skillnaden för ventilationen är att det har gjorts nya tilluftsventiler i väggarna samt att luftflödet har justerats efter renoveringen för att uppfylla gällande BBR-regler. Detta kan ha lett till att luftflödet efter en injustering blivit större än tidigare.

Den upplevda temperaturen i lägenheterna har ökat i snitt under vintertid enligt de boende som svarade på enkäten medan de som upplever att de har övertemperatur över 23 grader på sommaren har minskat betydligt. Detta kan bero på att det i samband med renoveringen installeras fönster med solskyddsbeläggning som släpper in mindre solenergi. Detta mönster fortsätter i frågan om personerna har känt sig besvärade av för hög rumstemperatur under sommarmånaderna.

På frågan om de boende använde vädringsluckorna vid fönsterna var det en kraftig minskning av brukare som använde vädringsluckorna varje dag och även en minskning av folk som använde den flera gånger om dagen. Motsvarande ökade personer som använde vädringsluckan någon gång i veckan med minskningen av dem som använde den dagligen och flera gånger dagligen. Detta kan vara en indikator på bättre luftkvalitet, speciellt om man väger in enkätsvaren på de indikatorerna, samt svaren från frågan om instängd dålig luft, som båda blivit bättre i de renoverade husen än i de orenoverade. Att behålla vädringsluckorna innebär troligen stora energiförluster med tanke på hur ofta folk enligt enkätsvaren verkar vädra. Samtidigt är det av stor vikt att brukarna känner att de har kontroll - de behöver känna sig trygga och känna att man har kontroll över sitt inneklimat och sin boendesituation. Detta syns i resultatet då många brukare uttryckte starkt missnöje över att inte ha kontroll över tilluftsventilerna som inte går att stänga.

6.5 Lufttätetsprovning i renoveringsprojekt

Det finns inga skarpa krav på vad lufttäteten bör vara för flerbostadshus i BBR utan det finns endast för små byggnader $<50 \text{ m}^2 A_{\text{temp}}$ där läckaget ska vara mindre än $0,60 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$ omslutningsarea.

Upphandlingsmyndigheten har satt 3 olika kravnivåer för lufttätethet som man kan använda sig av vid upphandling av totalentreprenader. Dessa är ”Basnivå”, ”Avancerad nivå” och ”Spjutspetsnivå” och kravtexten för läckage är 0,50, 0,40 respektive 0,30 l/s·m² omslutningsarea vid 50 Pa tryckskillnad (Upphandlingsmyndigheten u.å.). Upphandlingsmyndigheten hänvisar även till ByggaL för vidare fördjupning om lufttätethet. ByggaL sätter lite högre krav än de som upphandlingsmyndigheten föreskriver i sina kravtexter, enligt ByggaL anses 0,20 l/s·m² omslutningsarea vid 50 Pa tryckskillnad vara ett lämpligt krav för projekt med mycket ambitiösa lufttätethetsmål men man medger upp till 0,50 l/s·m² omslutningsarea vid 50 Pa tryckskillnad för projekt där lufttätetheten inte är lika kritisk (ByggaL 2017).

Lufttätetheten påverkar byggnadens energiprestanda och fuktsäkerhet, det är därför viktigt att bygga med erforderligt god lufttätethet. Bakgrunden till renoveringen av Brf Tingvallen var att energiprestandan och fuktsäkerheten inte var bra, det är därför viktigt att det blir bra efter renovering för att husen ska kunna stå i många år innan några nya renoveringar behövs.

Det finns ett antal möjliga felkällor för lufttätethetsprovningarna. Exempelvis sattes en Blower Door i balkongdörrarna för att vara i kontakt med uteklimatet, men enligt standarden SS-EN ISO 9972:2015 ska denna placeras i en öppning som man annars tror inte ger ett stort läckage. En balkongdörr skulle dock kunna vara mer otät än en vanlig ytterdörr och man får således inte med balkongdörrens läckage i täthetsprovningens resultat. Andra felkällor är mer specifika för respektive mätning. Exempelvis fanns det vid ett frånluftsdon i den första lägenheten där det fanns små otätheter i väggen bredvid, som gav en lite öppning in i övriga byggnaden. I samma lägenhet fanns frånluftsdonet som i metoden (se figur 4.5) inte var möjlig att tätat, varför dörren in till sovrummet behövde tätas. Detta skulle också kunna vara en möjlig felkälla då, trots att tätning skedde av nyckelhål och hela vägen runt dörrbladet, skulle det kunna smita in/ut luft bakom listerna och vidare in i gliporna mellan dörrkarmen och betongmellanväggen, och därefter vidare till tilluftsventil och frånluftsdon.

6.6 Termografering

Termografering gjordes i samband med alla lufttätethetsprovningar som en del i att hitta läckage. Med hjälp av termografering kunde det konstateras att det förekommer normala köldbryggor som uppstår vid fönster och anslutningar mellan väggar och tak.

Köldbryggor uppstår vid alla typer av byggnader och kan bidra med en stor andel 20 % – 30 % av en byggnads värmeförluster. Det kan även leda till obehag för brukarna då det uppstår kalla ytor som gör att temperaturen upplevs lägre, så kallad operativ temperatur. Vid en renovering där man sparar stommen blir man något fast i hur man kan hantera köldbryggorna eftersom stomval och grunden är kostsam att göra ändringar på, och många köldbryggor orsakas av hur stommen är utformad (exempelvis genomgående balkonger). I projektet Brf Tingvallen har man byggt bort och minskat köldbryggor genom att isolera utanpå betongväggar där det varit möjligt. Man har även gått från en konstruktion med genomgående reglar till en med ett yttre skal som bryter genomgående

köldbryggor, varför storleken på köldbryggorna lär ha minskat. Däremot har hela klimatskalet renoverats och fått högre energiprestanda, varför andelen köldbryggor av de totala transmissionsförlusterna inte nödvändigtvis har minskat, trots de aktiva åtgärderna för att bryta köldbryggorna.

7 Slutsats

Syftet med arbetet var att undersöka renoveringsmetodens effekter närmare genom att besvara ett antal frågor:

Hur mycket ändrades byggnadernas uppvärmningsenergi före relativt efter renoveringen?

Byggnadernas ändring i uppvärmningsenergi undersöktes genom att jämföra energin före och efter renoveringen, vilket gjordes med två olika metoder. Dels genom avläsning av uppmätt driftstatistik, dels genom simulering av energimodeller i datorprogrammet IDA-ICE. Det uppmätta resultatet, efter normalårskorrigerig, uppgick till en förbättring av energiprestandan på 29 % och motsvarande för energimodellen uppgick till 25 %. Den totala energianvändningen (april - december) för hus 14 avvek dock mer mellan uppmätt och beräknad användning: Den uppmätta energianvändningen uppgick till 27 kWh/m² (normalårskorrigerad) och den beräknade till 39 kWh/m². Den exakta verkliga användningen är troligtvis närmare den uppmätta mängden, då det finns en hel del osäkerheter i antagna parametrar, såsom ventilationsflöden, storleken på internlasterna och NODA-systemet som inte kunde tillämpas i beräkningen.

Hur upplevdes renoveringsprocessen av de boende?

Många upplevde att lägenheterna var väldigt besvärliga att bo kvar i under renoveringen på grund av låga innetemperaturer, buller, damm och smuts och förseningar. Dessa negativa aspekter är dock oftast naturliga och svåra att undvika på en byggarbetsplats och många uttryckte samtidigt att det hela hade hanterats smidigt och att renoveringen utan tvekan var värd besväret då det gav ett stort lyft för lägenheterna och området. Slutsatsen blev att renoveringen var mycket smidig och effektiv, relativt storleken på ingreppet.

Upplevde boende en förändring i termisk komfort före relativt efter renoveringen? I så fall på vilket sätt?

Resultatet från projektet indikerar att renoveringen har gett en förbättring av den termiska komforten då det finns en mindre spridning i vad folk tycker om innetemperatur och drag för de renoverade lägenheterna, samt att över lag har mer boende i renoverade lägenheter svarat positivt på enkäten. Detta trots att tilluftsventilerna är placerade bakom lågtemperaturradiatorer. Det finns dock en risk att detta kan ge en negativ effekt på den termiska komforten vid ogynnsamma väderförhållanden i framtiden.

Kan metoden tillämpas på andra miljonprogramsbyggnader? Vilka förutsättningar är i så fall nödvändiga?

Metoden verkar fungera bra för just miljonprogramshus i och med att många av dessa är byggda med bokhyllstomme, vilket möjliggör att man på ett effektivt sätt kan byta ut utfackningsväggar och i förtid beställa material med precisa mått i och med de prefabricerade stommarnas enhetlighet. Viktiga förutsättningar är dock att det inte finns kulturvärden i fasaden, men samma metod hade kunnat tillämpats även om man återanvände mer av fasaden och inte rev ut hela partier, som i detta fall.

7.1 Reflektion

I detta skede var endast en liten andel av byggnaderna helt färdigrenoverade med uppvärmningssystem och injusteringar som endast varit aktiverade i ett antal månader. För att få en mer samlad och rättvis bedömning av renoveringsmetoden och dess effekter hade det varit fördelaktigt om uppvärmningsstatistik för flera år funnits och enkätsvar hade tagits in och granskats efter att de boende haft mer tid i sina nya lägenheter. Många hus hade nyrenoverade klimatskal, men för sanningsenliga resultat behövde även samtliga värmesystem, injusteringar och ytterligare detaljer också vara helt färdiga för att få ut energistatistik, vilket resulterade i att hus 14 var det enda huset som undersöktes ur energisynpunkt mot referenshuset (hus 24). Vid ett senare stadie, med betydligt fler undersökta hus, hade mer tillförlitliga och representativa resultat kunnat nås.

7.2 Vidare forskning och möjligheter

I framtida studier hade mer fokus kunnat läggas på återbruksaspekten och om det finns mer av byggnaden som hade gått att behålla eller återanvända. Intressant hade också varit att ta liknande renoveringar steget längre och införa värmeåtervinning med hjälp av exempelvis FTX-system, alternativt värmepumpar.

Det genomförs årligen någon form av renovering i ca 11 % av EU:s byggnadsbestånd men denna siffra är mycket lägre om man kollar på renoveringar som påverkar energiprestandan för byggnaden. Där är siffran endast 1 % av byggnadsbeståndet som påverkas varje år. Takten för renoveringar som minskar byggnaders energiprestanda avses minst dubblas. Byggnader som minskar sin energianvändning med 60 % eller mer ligger i dagsläget på endast 0,2 %. EU:s mål att minska byggnaders energianvändning med 60 % från år 1990 års nivåer fram till 2050 kommer med dagens renoveringstakt således ta hundratals år att uppnå, renoveringstakten bör därför ökas om detta mål ska uppfyllas (Europeiska kommissionen 2020). Metoder som denna som på ett effektivt sätt kan tillgodose behovet av fler energirenoiveringar är följaktligen önskvärd.

Det finns fortfarande många aspekter att undersöka när det kommer till energirenoiveringar och vilka metoder som funkar bra. Om takten på renoveringar ska komma upp i de nivåerna som behövs för att nå klimatmålen behövs mer kunskap på området och en snabb omställning för branschen. Styrmedel och bidrag från EU och staten för att uppmåna till denna sorts renovering är troligtvis av stor vikt. Utan bidraget som erhöles vid denna renovering, hade projektet troligtvis inte genomförts i denna skala. Detta bidrag är inte längre möjligt att söka, men liknande åtgärder hade behövts för att uppfylla EU:s direktiv för byggnaders prestanda, samt övriga klimatmål. Det är alltså svårt att få renoveringarna lönsamma rent ekonomiskt, men samtidigt ger det så många andra positiva aspekter då områdena lär bli mer attraktiva och kan ge lyft för så många, samtidigt som det är viktigt för klimatet och en hållbar framtid. Förhoppningen är att detta arbete kan bli ytterligare ett arbete som kan bidra till utvecklingen av

renoveringsmetoder för att hantera det stora renoveringsbehovet som finns för miljonprogramshusen och på lång sikt minska branschens och landets klimatpåverkan.

Referenser

Adalberth, K. (2024) muntl. korrespondens 2024-01-19.

Adalberth, K. & Wahlström, Å (2007). *Energibesiktning av byggnader - flerbostadshus och lokaler*. SIS Förlag AB.

Adolfsson, M. (2011). *Energieffektivisering av det befintliga byggnadsbeståndet - En fallstudie på ett flerbostadshus*. LTH, Lunds universitet. <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=2339198&fileId=8961433>

Bagge, H., Fransson, V., Hiller, C., Johansson, D. & Rydén, J. (2018). *Brukarnas påverkan på energianvändning och effektbehov i NNE-byggnader*. E2B2. https://www.e2b2.se/library/4057/brukarnas_paverkan_pa_energianvandning_och_effektbehov_i_nne-byggnader.pdf

BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4. *Boverkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd, BBR*

Björk, C., Kallstenius, P., & Reppen, L. (1984). *Så byggdes husen 1880-1980*. 2:a uppl., Svens byggtjänst.

Boverket (2008). *Den kommunala allmännyttans historia - Särtryck av underlag till utredningen om allmännyttans villkor (SOU 2008:38)*. https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2008/den_kommunala_allmannyttans_historia.pdf

Boverket (2020). *Under miljonprogrammet byggdes en miljon bostäder*. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/stadsutveckling/miljonprogrammet/> [2023-09-07]

Boverket (2021a). *Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår*. <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/ben---bfs-201612/>

Boverket (2021b). *Klimatdeklarationens omfattning*. <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/omfattning/> [2023-09-06]

Boverket (2023a). *Bygg- och fastighetssektorns energianvändning uppdelat på förnybar energi, fossil energi och kärnkraft*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/energianvandning/> [2023-09-11]

Boverket (2023b). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/> [2023-09-06]

Boverket (2023c). *Miljöindikatorer – aktuell status*. <https://www.boverket.se/miljoindikatorer> [2023-11-23]

Boverket och Energimyndigheten (2019). *Underlag till den tredje nationella strategin för energieffektiviserande renovering*. <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2019/underlag-till-den-tredje-nationella-strategin-for-energieffektiviserande-renovering.pdf>

Burke, S. (2023) muntl. korrespondens 2023-11-15.

ByggaL (2017). *Branschstandard ByggaL - metod för byggande av lufttäta byggnader*. <https://byggal.se/wp-content/uploads/2017/09/Branschstandard-ByggaL-inkl-bilagor.pdf>

EASAC (2021). *Decarbonisation of buildings: for climate, health and jobs*. https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Decarb_of_Buildings/EASAC_Decarbonisation_of_Buildings_Web_publication030621.pdf

Energimyndigheten (2023). *Parisavtalet*. <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/internationella-klimatsamarbeten/parisavtalet/> [2023-11-23]

Europeiska kommissionen (2020). *En renoveringsvåg för Europa – miljöpåverka våra byggnader, skapa jobb och förbättra liv*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:52020DC0662>

Fröhlin, I. & Svedberg, R. (2022). *Brottsförebyggande arbete i Miljonprogrammets utsatta områden*. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1678601/FULLTEXT01.pdf>

HSB (2023). *Om föreningen - Välkommen till Tingvallen, Skarpskyttevägen i Lund!*. <https://www.hsb.se/skane/brf/tingvallen/tingvallens-brf/> [2023-09-06]

HSB (2020). *Välkommen till Brf Tingvallen!*. <https://www.hsb.se/contentassets/d6a575a5a2494e4abeae9d1271621a8e/valkommen-till-brf-tingvallen-2015-ver-2020-slutversion.2.pdf>

Höjer, M. & Mjörnell, K. (2018). *Measures and steps for more efficient use of buildings*. Sustainability 10(6), 1949. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/6/1949>

Itard, L., Klunder, G., (2007) *Comparing environmental impacts of renovated housing stock with new construction*. Building Research & Information, 35(3). <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613210601068161>

Jensen, L. (2008). *Utetemperaturberoende årsenergibehov - Teoridel*. (TVIT; Vol. TVIT-7023). Avd Installationsteknik, LTH, Lunds universitet.

Klimatpolitiska rådet (2023). *2023 - Klimatpolitiska rådets rapport* (Rapport nr 6).
<https://www.klimatpolitiskaradet.se/wp-content/uploads/2023/05/krrapport202317maj.pdf>

Kurkinen, E.-L., Ylmén, P., Wisell, L. & Warfvinge, C., (2012). *Energieffektivisering av flerbostadshus - Status och hänsyn till värmetröghet*.
https://www.byggnadsmaterial.lth.se/fileadmin/byggnadsmaterial/Research/CERBOF/SP_Rapport_2012_35_.pdf

La Fleur, L. & Moshfegh, B. (2021). *Renovera eller riva och bygga nytt? Analyser av livscykelkostnad, energieffektivisering och livscykelnytta*. Linköpings universitet.
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1687619/FULLTEXT01.pdf>

La Fleur, L., Rohdin, P., Moshfegh, B., (2019) *Energy Renovation versus Demolition and Construction of a New Building—A Comparative Analysis of a Swedish Multi-Family Building*. *Energies*, 12(11).
<https://www.mdpi.com/1996-1073/12/11/2218>

Lantmäteriet (2023). *Min karta*.
<https://minkarta.lantmateriet.se/> [2023-09-06]

Liljenström, C., Malmqvist, T., Erlandsson, M., Fredén J., Adolfsson, I., Larsson, G., Brogren, M., (2015) *Byggandets klimatpåverkan*.
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:728593/FULLTEXT02>

Länsstyrelsen (2004). *Hej bostad - om bostadsbyggande i Storstockholm 1961-1975*.
https://catalog.lansstyrelsen.se/store/39/resource/2004__7

Mät & Byggprojekt i Viksberg AB (u.å.). *Varför är termografi en del i en lyckad värmeisolering?*.
https://www.mobyggprojekt.se/lufttathetsprovning/termografi?fbclid=IwAR0cZOTXf5ZG0Op-aduHPmkaM3I1puLX7_w3qmF1BwRR6j6dsn-jau40IGU [2024-01-29]

NODA (u.å. a). *NODA Building*.
<https://noda.se/erbjudanden/fastigheter/> [2023-10-17]

NODA (u.å. b). *Funktioner NODA Building*.
<https://noda.se/erbjudanden/fastigheter/funktioner-noda-building/> [2023-10-19]

Naturvårdsverket (2023). *Sveriges del av EU:s klimatmål*.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-del-av-eus-k>

[limatmal/#:~:text=EU%3As%20%C3%B6vergripande%20klimatm%C3%A5l%2C%20enligt,Determined%20Contributions\)%20i%20december%202020. \[2023-09-06\]](#)

Naturvårdsverket (u.å.). *Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk.*

<https://www.naturvardsverket.se/annesomraden/klimatomställningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-klimatmal-och-klimatpolitiska-ramverk/> [2023-11-23]

Nobs, M., Tornell, K., Masthagen, G., Grängzell, L., Belarbi, H., Tovatt, O., Inner, S., (u.å.). *Hållbar upprustning av miljonprogrammet.*

<https://www.ncc.se/siteassets/vart-erbjudande/bygga-bostader/ncc-perspektiv---hallbar-upprustning-av-miljonprogrammet-211028.pdf>

Ragazzo, J. (2023) muntl. korrespondens 2023-11-06.

Regeringskansliet (u.å.). *Mål för energipolitiken.*

[Riksantikvarieämbetet \(2006\). *Strategi för varsamhet - Skivhus och lamellhus.*](https://www.regeringen.se/regeringens-politik/energi/mal-och-visioner-for-energi/#:~:text=%E2%80%93Sverige%20ska%20%C3%A5r%202030%20ha,relation%20till%20bruttonationalprodukten%20(BNP) [2023-09-08]</p></div><div data-bbox=)

<https://raa.diva-portal.org/smash/get/diva2:1234629/FULLTEXT01.pdf>

RISE (u.å.) *Lufttäthetsmätning av byggnader.*

<https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/tjanster/lufttathetsmatning-av-byggnader> [2023-09-19]

Sandin, K. (2010). *Praktisk byggnadsfysik*. Uppl. 1:9, Studentlitteratur.

Sedláková, A., Vilčeková, S., Burák, D., Tomková, Ž., Moňoková, A. & Doroudiani, S. (2020). *Environmental impacts assessment for conversion of an old mill building into a modern apartment building through reconstruction, Building and Environment*. Technical University of Košice.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132320300925?via%3Dihub>

Servicekuben (u.å.). *Brf. Tingvallen, Lund.*

<https://servicekuben.se/byggprojekt/brf-tingvallen-lund/> [2023-09-06]

Servicekuben (2022). *Som att köra bil utan katalysator.*

<https://servicekuben.se/nyheter/som-att-kora-bil-utan-katalysator/> [2023-09-07]

SMHI (2023). *Års- och månadsstatistik.*

<https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/manadens-vader-och-vatten-sverige/manadens-vader-i-sverige/ars-och-manadsstatistik> [2024-01-08]

SOU 2008:38. *EU, allmännyttan och hyrorna - Bilagor.*

SS-EN ISO 9972:2015. *Byggnaders termiska egenskaper - Bestämning av byggnaders lufttäthet - Tryckprovningmetod (ISO 9972:2015)*. Svenska institutet för standarder (SIS).

Stannow, M. (2022). "Framtidens byggnader är redan byggda". *Arkitekten*, 16 februari. <https://arkitekten.se/debatt/debatt-framtidens-byggnader-ar-redan-byggda/>

Stenberg, E. (u.å.). *Vi borde lära oss av miljonprogrammets innovationer*. Vi lyfter miljonprogrammet. <https://vilyftermiljonprogrammet.victoriahem.se/artikel/vi-borde-lara-oss-av-miljonprogrammets-innovationer/> [2023-09-05]

Svahn, G. (2023). Fyra väggar om dagen byts ut. *Sydsvenskan*, 2 mars.

Söderqvist, L. (1999). *Rekordår och miljonprogram - Flerfamiljshus i stor skala*. Diss. Stockholms universitet. <https://pubs.sub.su.se/5170.pdf>

Upphandlingsmyndigheten (u.å.). *Lufttäthet*. <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/kriterier/bygg-och-fastighet/flerbostadshus-ombyggnad/totalentreprenad/lufttathet/basniva/> [2023-11-23]

Vi lyfter miljonprogrammet (u.å.). *Hur stort är renoveringsbehovet? Om det tvistar de lärde*. <https://vilyftermiljonprogrammet.victoriahem.se/artikel/hur-stort-ar-renoveringsbehovet-om-det-tvistar-de-larde/> [2023-09-05]

Westerbjörk, K. (2015). *Halvera Mera 2.0*. Energimyndighetens beställargrupp för energieffektiva flerbostadshus (BeBo). <https://www.bebostad.se/library/1981/halvera-mera-20-slutrapport.pdf>

Zawieja, J. (2022). Kampen mot rivningsraseriet. *Arkitektur*, 4 oktober. <https://arkitektur.se/reportage/rasera-rivningsnormen/>

Zimmermann, J.P. (2009). *End-use metering campaign in 400 households In Sweden - Assessment of the Potential Electricity Savings*. Enertech AB. https://www.energimyndigheten.se/globalassets/statistik/festis/elmatning-i-bostader/final_report.pdf?fbclid=IwAR2a9SZlvab-O9cxSAOIDMuZdWD-D1xe30vCP9QpRwdU-PZvb69MkmihFk

Östlund, M. (2021). *Minimikrav för luftväxling*. 12 uppl., Svensk byggtjänst.

Bilagor

Innehållsförteckning

Bilaga A:

Indata energiberäkning - Indatarapport med samtliga indata till energiberäkningen i IDA-ICE

Bilaga B:

Enkät - Enkäten som skickades ut till de boende

Bilaga C:

Ritningar - Ett urval plan- och fasadritningar för en av hussorterna på Brf Tingvallen. Här redovisas hus 4 (samma som hus 6, 8, 24, 26 och 28). Övriga hus har antingen en mindre trappuppgång eller några fler, men i övrigt är husen lika varandra

Bilaga D:

Lufttäthetsrapporter - Lufttäthetsrapporterna från datorprogrammet TECTITE Express 5.0, för de olika lufttäthetsprovningarna som utfördes

Bilaga A – Indata energiberäkning

Energi: Brf Tingvallen

BRF Tingvallen
Skarpskytten 2 Hus 14, Lund
Flerbostadshus

Energiberäkning

Lund 2024-01-12

. prime project AB

Esbjörn Lindh och Assar Zätterstrom

Esbjorn@primeproject.se

mobil 073 515 88 92

1. Bakgrund

Undertecknad har prognostiserat kommande energiprestanda (uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten, drift av pumpar, fläktar och övrig fastighetsel) för Skarpskytten 2 Hus 14, Lund. Byggnaden är uppvärmd med fjärrvärme.

2. Beräkningsförutsättningar

Beräkningar är gjorda m.h.a.

- Planer från PE daterade 2021-01-04
- Fasader från PE daterade 2021-01-11
- Byggnadskonstruktioner från PE daterade 2021-01-04
- Ram VVS-installationer från T Holmgrens Ing Byrå AB prel. 2020-12-28
- Luftflöden från Mats Östlunds bok *minimikrav för luftväxling* från 2021.

Följande förutsättningar har ansatts eller erhållits:

| | |
|---|---------------------------------|
| 1. Area $A_{te,mp}$ | 2600 m ² |
| 2. Andel fönster av m ² $A_{te,mp}$ | 16,6 % |
| 3. U-värden för konstruktioner, antar Area | |
| a. Källargolv, 0 m isolering | 0,34* W/(m ² ·K) |
| b. Källaryttervägg, 70 mm träullit * inkl. mark | 0,42* W/(m ² ·K) |
| c. YV1, 195 mm isol λ_{37} +50 mm isol λ_{34} | 0,21 W/(m ² ·K) |
| Slitsade stålreglar + z-profiler för fasadpanel | |
| YV1B 120 mm isol λ_{37} +50 mm isol λ_{34} | 0,29 W/(m ² ·K) |
| Slitsade stålreglar + z-profiler för fasadpanel | |
| d. YV2 YV3 YV4, 100 mm isol λ_{37} +50 mm isol λ_{20} | 0,23 W/(m ² ·K) |
| fasadläkt genomgående Z-profiler för skärmtegel | |
| e. YV5, 50 mm isol λ_{20} | 0,43 W/(m ² ·K) |
| fasadläkt genomgående Z-profiler för fasadpanel | |
| f. Tilläggsisolering uteplatser P10 120 mineralull | 0,30 W/(m ² ·K) |
| g. Yttertak, 300 mm lösull λ_{37} | 0,12 W/(m ² ·K) |
| h. Fönster och fönsterdörrar | 1,05 W/(m ² ·K) |
| 4. g-värde för glas, antar | 50% |
| 5. g-värde justering enligt BEN 0,71 | 35% |
| 6. Köldbryggor | 20% av transmissionsförlusterna |
| 7. Lufttäthet vid 50 Pa tryckdifferens inne-ute | 0,3 l/(s·m ²) |
| 8. Inomhustemperatur | |
| a. Lägenheter | 21 °C |
| b. Trapphus och källare | 18 °C |
| 9. Värmekällas verkningsgrad: fjärrvärme | 100 % |
| 10. Komfortkyla | finns ej |
| 11. Uppvärmningssystem på samtliga plan | Radiatorer |
| 12. Distributions- och reglerförluster | +5% av uppvärmning |
| 13. Ventilation | F-system ingen värmeåterv. |
| 14. SFP, generellt | 0,8 kW/(m ² /s) |

15. Luftflöde drift kl 00-24 m-s
16. Ventilationsflöde CAV
- Lägenhet 2 rok 30 l/s
 - Lägenhet 3 rok 45 l/s
 - Lägenhet 4 rok 50 l/s
 - Källare 240 l/s
 - Trapphus 0,35 l/s*m²
17. Vådringspåslag 4 kWh/(m²·år)
18. Forcering av luftflöde i kök 30 min/dygn
19. Värmeslingor i mark och hängrännor finns ej
20. Varmvattenanvändning, enligt BEN3 25 kWh/m² *
* korrigeras -10% för energieffektiv A-klassade tvättställs-, köks- och duschbandare
21. VVC-förluster, antar 2 kWh/m²·år
22. Internvärmestillskott, enl. BEN 3 2,4 W/m²
23. Fastighetsel, antar 10 kWh/m²
24. Solceller*: årlig produktion ca 24 000 kWh = 8,8 kWh/m²
Användning att el stäms av timme för timme mot produktion av solelsproduktion.
Producerad solet som kan nyttjas i byggnaden bedöms uppgå till 1/3 av total användning, d.v.s. 3 kWh/m²A_{temp}

3. Resultat

Med förutsättningar enligt ovan prognostiseras byggnadens energiprestanda till följande:

| | Köpt energi kWh/(m ² ·år) | | PE _i | F _{geo} | | EP _{net} kWh/(m ² ·år) |
|-----------------|---|---|-----------------|------------------|-----------|---|
| Uppvärmning | 70 | X | 0,7 (fj.v) | 0,9 | = | 54 |
| Distr.förluster | 3 | | 0,7 (fj.v) | 0,9 | | 3 |
| Vådringspåslag | 4 | | 0,7 (fj.v) | 0,9 | | 3 |
| Varmvatten | 22,5 | | 0,7 (fj.v) | - | | 16 |
| VVC-förluster | 2 | | 0,7 (fj.v) | - | | 1 |
| Fastighetsel | 10 | | 1,8 (el) | - | | 18 |
| Solceller | -3 | | 1,8 (el) | - | | -5 |
| Totalt | 109 | | | | 90 | |

I första kolumnen redovisas energibehovet i form av köpt energi. I sista kolumnen redovisas resultat efter att korrigering för primärenergifaktorer och geografisk justeringsfaktor 0,9 för Lund tillämpats i enlighet med BBR29.

4. Slutsats

- > Med förutsättningar enligt ovan prognostiseras den köpta energin till **109 kWh/(m²·år)** och energiprestandan till **90 kWh/(m²·år)**.
Nybyggnadskravet i BBR29 är en energiprestanda på 75 kWh/(m²·år).
- > U-medelvärdet inklusive köldbryggor är **0,47 W/(m²·K)**.
Nybyggnadskravet i BBR29 är ett U-medelvärde om max 0,40 W/(m²·K).

Energiprestanda

Bilaga B - Enkät

Inomhusklimat enkätundersökning

Vi heter Esbjörn och Assar, och vi skriver vårt examensarbete vid Lunds tekniska högskola inom väg- och vattenbyggnad. Arbetet handlar om Brf Tingvallen och de pågående renoiveringarna. Därför hade vi varit oerhört tacksamma om ni kunde lägga några minuter på att fylla i enkäten nedan. Den tar ca 2 - 4 min att göra, svaren är helt anonyma och raderas efter att arbetet är färdigt.

** Anger obligatorisk fråga*

1. Hur länge har du bott i din lägenhet?

2. Vilket hus bor du i/vilken adress? *

Markera alla som gäller.

- Hus 2
- Hus 4
- Hus 6
- Hus 8
- Hus 10
- Hus 12
- Hus 14
- Hus 16
- Hus 18
- Hus 20
- Hus 22
- Hus 24
- Hus 26
- Hus 28
- Hus 30

3. Bor du i något av husen som genomgår/har genomgått renoivering? *

Markera alla som gäller.

- Ja
- Nej

4. Har Du under den gångna sommaren känt Dig besvärad av för hög rumstemperatur i din lägenhet? *

Markera alla som gäller.

- Nej, aldrig
 Ja, någon enstaka gång
 Ja, någon gång i veckan
 Ja, varje dag

5. Har Du under förra hösten/vintern känt Dig besvärad av för låg rumstemperatur? *

Markera alla som gäller.

- Nej, aldrig
 Ja, någon enstaka gång
 Ja, någon gång i veckan
 Ja, varje dag

6. Har Du under den senaste tiden känt Dig besvärad av varierande rumstemperatur i din lägenhet? *

Markera alla som gäller.

- Nej, aldrig
 Ja, någon enstaka gång
 Ja, någon gång i veckan
 Ja, varje dag

7. Har Du under förra hösten/vintern känt Dig besvärad av drag? *

Markera alla som gäller.

- Nej, aldrig
 Ja, någon enstaka gång
 Ja, någon gång i veckan
 Ja, varje dag

8. Har Du under den senaste tiden känt Dig besvärad av instängd ("dålig ") luft i din lägenhet? *

Markera alla som gäller.

- Nej, aldrig
- Ja, någon enstaka gång
- Ja, någon gång i veckan
- Ja, varje dag

9. Använder Du vädringsluckorna vid fönsterna under hösten och vintern (ej sommaren)? Om ja, hur ofta? *

Markera alla som gäller.

- Ja, ca en gång i månaden
- Ja, ca en gång i veckan
- Ja, varje dag
- Ja, flera gånger varje dag
- Nej

10. Om du vet, vad har du i snitt har för innetemperatur i din lägenhet under vintern?

Markera alla som gäller.

- Under 18°C
- 18°C
- 19°C
- 20°C
- 21°C
- 22°C
- 23°C
- Över 23°C
- Vet ej

11. Om du vet, vad har du i snitt har för innetemperatur i din lägenhet under sommaren?

Markera alla som gäller.

- Under 18°C
- 18°C
- 19°C
- 20°C
- 21°C
- 22°C
- 23°C
- Över 23°C
- Vet ej

12. Om du bor i ett av husen som genomgår eller har genomgått renovering - har du upplevt några problem under renoveringen? Motivera gärna

Det här innehållet har varken skapats eller godkänts av Google.

Google Formulär

Bilaga D - Luftt hetsrapporter

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 2023-12-01 Test File: 18A bottenvåning ny omslut

Technician:

Project Number:

Customer:

Building Address:

Test Results at 50 Pascals:

| | Depressurization | Pressurization | Average |
|---|--------------------|--------------------|-----------|
| q ₅₀ : l/s (Airflow) | 75 (+/- 4.2 %) | 81 (+/- 0.3 %) | 78 |
| n ₅₀ : | | | |
| qF50 : | | | |
| qE50 : lps/m ² (Envelope Area) | 0.32 | 0.35 | 0.33 |
| Leakage Areas: | | | |
| ELA 50 : m ² | 0.0083 (+/- 0.3 %) | 0.0089 (+/- 0.3 %) | 0.0086 |
| ELA F50 : | | | |
| ELA E50 : m ² /m ² | 0.0000352 | 0.0000379 | 0.0000365 |

Building Leakage Curve:

| | | |
|---|-------------------|-------------------|
| Air Flow Coefficient (C _{env}) l/s/Pa ⁿ | 3.2 (+/- 17.0 %) | 6.4 (+/- 1.8 %) |
| Air Leakage Coefficient (C _L) l/s/Pa ⁿ | 3.3 (+/- 17.0 %) | 6.4 (+/- 1.8 %) |
| Exponent (n) | 0.799 (+/- 0.050) | 0.648 (+/- 0.005) |
| Coefficient of Determination (r ²) | 0.99311 | 0.99989 |

Test Standard:

ISO 9972

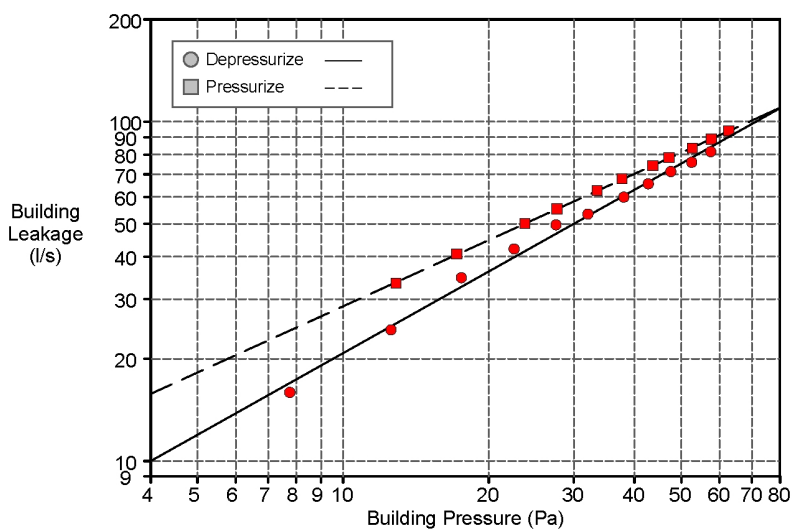
Test Mode:

Depressurization and Pressurization

Type of Test Method:

Method 2 - Test of Building Envelope

Purpose of Test:



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 5

Date of Test: 2023-12-01 Test File: 18A bottenvåning ny omslut

Building Information

| | |
|--|-------------------------|
| Internal Volume, V (m³) (according to ISO) | |
| Net Floor Area, A_F (m²) (according to ISO) | |
| Envelope Area, A_E (m²) (according to ISO) | 235 |
| Height (m) | 2.5 |
| Uncertainty of Dimensions (%) | |
| Year of Construction | |
| Type of Heating | |
| Type of Air Conditioning | |
| Type of Ventilation | None |
| Building Wind Exposure | Partly Exposed Building |
| Wind Class | Light Air |

Equipment Information

| Type | Manufacturer | Model | Serial Number | Custom Calibration Date |
|-----------------------|---------------------|----------------|---------------|-------------------------|
| Fan | Energy Conservatory | Model 4 (230V) | | - |
| Micromanometer | Energy Conservatory | DG700 | | |

Metod för energirenoivering av miljonprogramshus

BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 5

Date of Test: 2023-12-01 Test File: 18A bottenvåning ny omslut

Depressurization Test 1:

Environmental Data

| Indoor Temperature (°C) | Outdoor Temperature (°C) | Baro metric Pressure (Pa) |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 21.5 | -2.0 | 101325.0 |

Pre-Test

Baseline Pressure Data

Post-Test

| Δp _{0,1-} | Δp _{0,1+} | Δp _{0,1} | Δp _{0,2-} | Δp _{0,2+} | Δp _{0,2} |
|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| -2.6 | 0.0 | -2.6 | -2.3 | 0.0 | -2.3 |

Data Points - Data Entered Manually (TTE 5.0.8.4)

| Nominal Building Pressure (Pa) | Baseline adjusted Building Pressure (Pa) | Fan Pressure (Pa) | Nominal Flow q _r (l/s) | Adjusted Flow q _{env} (l/s) | Adjusted Flow q _L (l/s) | % Error | Fan Configuration |
|--------------------------------|--|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------|-------------------|
| -2.6 | n/a | n/a | | | | | |
| -10.2 | -7.8 | 24.2 | 17 | 16 | 16 | -6.2 | Ring D |
| -15.0 | -12.6 | 56.3 | 26 | 24 | 24 | -2.4 | Ring D |
| -20.0 | -17.6 | 113.6 | 37 | 34 | 35 | 6.3 | Ring D |
| -25.0 | -22.6 | 167.5 | 45 | 42 | 42 | 5.8 | Ring D |
| -30.0 | -27.6 | 231.9 | 53 | 49 | 50 | 6.2 | Ring D |
| -34.5 | -32.1 | 97.9 | 57 | 53 | 53 | 1.2 | Ring C |
| -40.5 | -38.1 | 122.5 | 64 | 59 | 60 | -0.9 | Ring C |
| -45.2 | -42.8 | 145.8 | 70 | 65 | 66 | -1.3 | Ring C |
| -50.0 | -47.6 | 171.0 | 76 | 70 | 71 | -1.6 | Ring C |
| -55.0 | -52.6 | 193.5 | 81 | 75 | 76 | -3.1 | Ring C |
| -60.0 | -57.6 | 222.3 | 87 | 80 | 82 | -3.2 | Ring C |
| -2.3 | n/a | n/a | | | | | |

Deviations from Standard ISO 9972 - Test Parameters

None

Metod för energirenovering av miljonprogramshus

BUILDING LEAKAGE TEST Page 4 of 5

Date of Test: 2023-12-01 Test File: 18A bottenvåning ny omslut

Pressurization Test 1:

Environmental Data

| Indoor Temperature (°C) | Outdoor Temperature (°C) | Baro metric Pressure (Pa) |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 21.5 | -2.0 | 101325.0 |

Pre-Test

Baseline Pressure Data

Post-Test

| Δp _{0,1} - | Δp _{0,1} + | Δp _{0,1} | Δp _{0,2} - | Δp _{0,2} + | Δp _{0,2} |
|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| -2.5 | 0.0 | -2.5 | -2.8 | 0.0 | -2.8 |

Data Points - Data Entered Manually (TTE 5.0.8.4)

| Nominal Building Pressure (Pa) | Baseline adjusted Building Pressure (Pa) | Fan Pressure (Pa) | Nominal Flow q _r (l/s) | Adjusted Flow q _{env} (l/s) | Adjusted Flow q _L (l/s) | % Error | Fan Configuration |
|--------------------------------|--|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------|-------------------|
| -2.5 | n/a | n/a | | | | | |
| 10.2 | 12.9 | 32.0 | 32 | 33 | 33 | -0.6 | Ring C |
| 14.5 | 17.2 | 46.9 | 39 | 41 | 41 | 0.4 | Ring C |
| 21.1 | 23.8 | 70.1 | 48 | 50 | 50 | 0.0 | Ring C |
| 25.0 | 27.7 | 85.0 | 53 | 55 | 55 | 0.1 | Ring C |
| 30.8 | 33.5 | 108.1 | 60 | 63 | 63 | 0.2 | Ring C |
| 35.0 | 37.7 | 126.3 | 65 | 68 | 68 | 0.5 | Ring C |
| 41.0 | 43.7 | 149.9 | 71 | 74 | 74 | -0.2 | Ring C |
| 44.5 | 47.2 | 166.7 | 75 | 78 | 78 | 0.2 | Ring C |
| 50.0 | 52.7 | 188.9 | 80 | 84 | 83 | -0.5 | Ring C |
| 55.0 | 57.7 | 212.5 | 85 | 89 | 89 | -0.3 | Ring C |
| 60.0 | 62.7 | 237.4 | 90 | 94 | 94 | 0.0 | Ring C |
| -2.8 | n/a | n/a | | | | | |

Deviations from Standard ISO 9972 - Test Parameters

None

BUILDING LEAKAGE TEST Page 5 of 5

Date of Test: 2023-12-01 Test File: 18A bottenvåning ny omslut

Comments

None

Metod för energireovering av miljonprogramshus

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 2023-12-01 Test File: Axels lägenhet 30A Envelope area

Technician:

Project Number:

Customer:

Building Address: 30A
Lund,

| Test Results at 50 Pascals: | Depressurization | Pressurization | Average |
|---|--------------------|--------------------|-----------|
| q ₅₀ : l/s (Airflow) | 48 (+/- 3.7 %) | 69 (+/- 2.9 %) | 58 |
| n ₅₀ : | | | |
| qF50 : | | | |
| qE50 : lps/m ² (Envelope Area) | 0.20 | 0.29 | 0.25 |
| Leakage Areas: | | | |
| ELA 50 : m ² | 0.0052 (+/- 2.9 %) | 0.0076 (+/- 2.9 %) | 0.0064 |
| ELA F50 : | | | |
| ELA E50 : m ² /m ² | 0.0000222 | 0.0000323 | 0.0000273 |
| Building Leakage Curve: | | | |
| Air Flow Coefficient (C _{env}) l/s/Pa ⁿ | 2.1 (+/- 16.8 %) | 4.6 (+/- 15.8 %) | |
| Air Leakage Coefficient (C _L) l/s/Pa ⁿ | 2.2 (+/- 16.8 %) | 4.6 (+/- 15.8 %) | |
| Exponent (n) | 0.791 (+/- 0.049) | 0.691 (+/- 0.045) | |
| Coefficient of Determination (r ²) | 0.99328 | 0.99270 | |

Test Standard:

ISO 9972

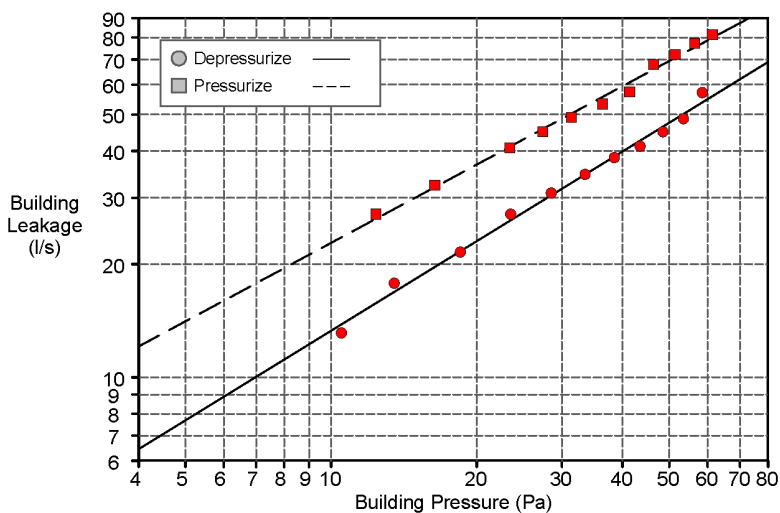
Test Mode:

Depressurization and Pressurization

Type of Test Method:

Method 2 - Test of Building Envelope

Purpose of Test:



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 5

Date of Test: 2023-12-01 Test File: Axels lägenhet 30A Envelope area

Building Information

| | |
|--|-------------------------|
| Internal Volume, V (m³) (according to ISO) | |
| Net Floor Area, A_F (m²) (according to ISO) | |
| Envelope Area, A_E (m²) (according to ISO) | 235 |
| Height (m) | 2.5 |
| Uncertainty of Dimensions (%) | |
| Year of Construction | |
| Type of Heating | |
| Type of Air Conditioning | |
| Type of Ventilation | None |
| Building Wind Exposure | Partly Exposed Building |
| Wind Class | Light Air |

Equipment Information

| Type | Manufacturer | Model | Serial Number | Custom Calibration Date |
|-----------------------|---------------------|----------------|---------------|-------------------------|
| Fan | Energy Conservatory | Model 4 (230V) | | - |
| Micromanometer | Energy Conservatory | DG700 | | |

Metod för energirenoivering av miljonprogramshus

BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 5

Date of Test: 2023-12-01 Test File: Axels lägenhet 30A Envelope area

Depressurization Test 1:

Environmental Data

| Indoor Temperature (°C) | Outdoor Temperature (°C) | Baro metric Pressure (Pa) |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 21.0 | -3.0 | 101325.0 |

Pre-Test

Baseline Pressure Data

Post-Test

| Δp _{0,1-} | Δp _{0,1+} | Δp _{0,1} | Δp _{0,2-} | Δp _{0,2+} | Δp _{0,2} |
|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| -1.5 | 0.0 | -1.5 | -1.5 | 0.0 | -1.5 |

Data Points - Data Entered Manually (TTE 5.0.8.4)

| Nominal Building Pressure (Pa) | Baseline adjusted Building Pressure (Pa) | Fan Pressure (Pa) | Nominal Flow q _r (l/s) | Adjusted Flow q _{env} (l/s) | Adjusted Flow q _L (l/s) | % Error | Fan Configuration |
|--------------------------------|--|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------|-------------------|
| -1.5 | n/a | n/a | | | | | |
| -12.0 | -10.5 | 16.5 | 14 | 13 | 13 | -5.2 | Ring D |
| -15.0 | -13.5 | 30.2 | 19 | 17 | 18 | 5.4 | Ring D |
| -20.0 | -18.5 | 44.1 | 23 | 21 | 22 | -0.6 | Ring D |
| -25.0 | -23.5 | 70.0 | 29 | 27 | 27 | 3.8 | Ring D |
| -30.0 | -28.5 | 90.5 | 33 | 30 | 31 | 1.4 | Ring D |
| -35.0 | -33.5 | 113.6 | 37 | 34 | 35 | 0.0 | Ring D |
| -40.0 | -38.5 | 139.3 | 41 | 38 | 38 | -0.7 | Ring D |
| -45.0 | -43.5 | 160.2 | 44 | 40 | 41 | -3.3 | Ring D |
| -50.0 | -48.5 | 190.5 | 48 | 44 | 45 | -3.2 | Ring D |
| -55.0 | -53.5 | 223.3 | 52 | 48 | 49 | -3.0 | Ring D |
| -60.0 | -58.5 | 111.7 | 61 | 56 | 57 | 6.1 | Ring C |
| -1.5 | n/a | n/a | | | | | |

Deviations from Standard ISO 9972 - Test Parameters

None

Metod för energirenovering av miljonprogramshus

BUILDING LEAKAGE TEST Page 4 of 5

Date of Test: 2023-12-01 Test File: Axels lägenhet 30A Envelope area

Pressurization Test 1:

Environmental Data

| Indoor Temperature (°C) | Outdoor Temperature (°C) | Baro metric Pressure (Pa) |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 21.0 | -3.0 | 101325.0 |

Pre-Test

Baseline Pressure Data

Post-Test

| Δp _{0,1} - | Δp _{0,1} + | Δp _{0,1} | Δp _{0,2} - | Δp _{0,2} + | Δp _{0,2} |
|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| -1.4 | 0.0 | -1.4 | -1.3 | 0.0 | -1.3 |

Data Points - Data Entered Manually (TTE 5.0.8.4)

| Nominal Building Pressure (Pa) | Baseline adjusted Building Pressure (Pa) | Fan Pressure (Pa) | Nominal Flow q _r (l/s) | Adjusted Flow q _{env} (l/s) | Adjusted Flow q _L (l/s) | % Error | Fan Configuration |
|--------------------------------|--|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------|-------------------|
| -1.4 | n/a | n/a | | | | | |
| 11.0 | 12.4 | 56.3 | 26 | 27 | 27 | 2.9 | Ring D |
| 15.0 | 16.4 | 79.9 | 31 | 32 | 32 | 1.2 | Ring D |
| 22.0 | 23.4 | 126.1 | 39 | 41 | 41 | -0.5 | Ring D |
| 26.0 | 27.4 | 153.1 | 43 | 45 | 45 | -1.6 | Ring D |
| 30.0 | 31.4 | 182.7 | 47 | 49 | 49 | -2.2 | Ring D |
| 35.0 | 36.4 | 214.9 | 51 | 53 | 53 | -4.1 | Ring D |
| 40.0 | 41.4 | 249.6 | 55 | 57 | 57 | -5.5 | Ring D |
| 45.0 | 46.4 | 126.3 | 65 | 68 | 68 | 3.3 | Ring C |
| 50.0 | 51.4 | 141.8 | 69 | 72 | 72 | 2.1 | Ring C |
| 55.0 | 56.4 | 162.4 | 74 | 77 | 77 | 2.7 | Ring C |
| 60.0 | 61.4 | 179.8 | 78 | 82 | 81 | 2.1 | Ring C |
| -1.3 | n/a | n/a | | | | | |

Deviations from Standard ISO 9972 - Test Parameters

None

BUILDING LEAKAGE TEST Page 5 of 5

Date of Test: 2023-12-01 Test File: Axels lägenhet 30A Envelope area

Comments

None

Metod för energireovering av miljonprogramshus

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 2023-11-15 Test File: Mikael's lägenhet 20A Envelope area

Technician:

Project Number:

Customer:

Building Address: 20A Mikael

| Test Results at 50 Pascals: | Depressurization | Pressurization | Average |
|---|--------------------|--------------------|-----------|
| q ₅₀ : l/s (Airflow) | 69 (+/- 0.4 %) | 85 (+/- 0.7 %) | 77 |
| n ₅₀ : | | | |
| qF ₅₀ : | | | |
| qE ₅₀ : lps/m ² (Envelope Area) | 0.24 | 0.29 | 0.26 |
| Leakage Areas: | | | |
| ELA ₅₀ : m ² | 0.0076 (+/- 0.7 %) | 0.0093 (+/- 0.7 %) | 0.0085 |
| ELA _{F50} : | | | |
| ELA _{E50} : m ² /m ² | 0.0000261 | 0.0000320 | 0.0000290 |
| Building Leakage Curve: | | | |
| Air Flow Coefficient (C _{env}) l/s/Pa ⁿ | 4.8 (+/- 5.3 %) | 6.6 (+/- 8.2 %) | |
| Air Leakage Coefficient (C _L) l/s/Pa ⁿ | 4.8 (+/- 5.3 %) | 6.7 (+/- 8.2 %) | |
| Exponent (n) | 0.680 (+/- 0.013) | 0.650 (+/- 0.022) | |
| Coefficient of Determination (r ²) | 0.99923 | 0.99887 | |

Test Standard:

ISO 9972

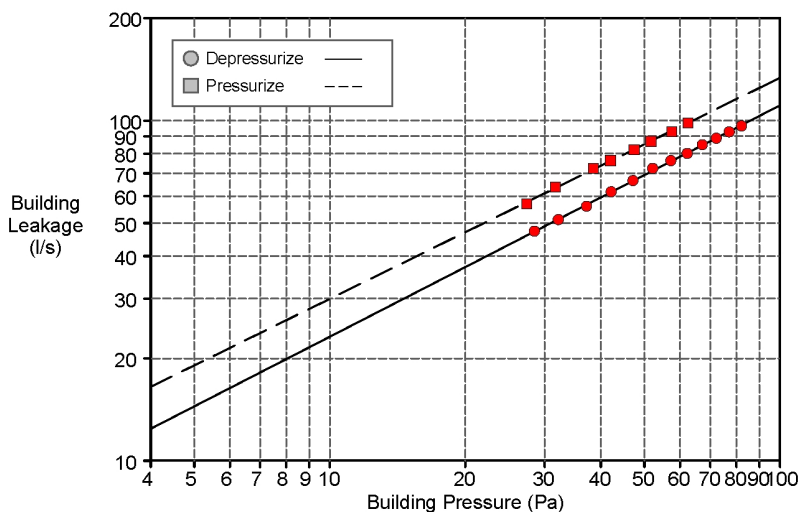
Test Mode:

Depressurization and Pressurization

Type of Test Method:

Method 2 - Test of Building Envelope

Purpose of Test:



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 5

Date of Test: 2023-11-15 Test File: Mikael's lägenhet 20A Envelope area

Building Information

| | |
|--|-------------------------|
| Internal Volume, V (m³) (according to ISO) | |
| Net Floor Area, A_F (m²) (according to ISO) | |
| Envelope Area, A_E (m²) (according to ISO) | 291.8 |
| Height (m) | 2.5 |
| Uncertainty of Dimensions (%) | |
| Year of Construction | |
| Type of Heating | |
| Type of Air Conditioning | |
| Type of Ventilation | None |
| Building Wind Exposure | Partly Exposed Building |
| Wind Class | Light Air |

Equipment Information

| Type | Manufacturer | Model | Serial Number | Custom Calibration Date |
|-----------------------|---------------------|----------------|---------------|-------------------------|
| Fan | Energy Conservatory | Model 4 (230V) | | - |
| Micromanometer | Energy Conservatory | DG700 | | |

Metod för energirenovering av miljonprogramshus

BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 5

Date of Test: 2023-11-15 Test File: Mikael's lägenhet 20A Envelope area

Depressurization Test 1:

Environmental Data

| Indoor Temperature (°C) | Outdoor Temperature (°C) | Baro metric Pressure (Pa) |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 21.0 | 6.0 | 101325.0 |

Pre-Test

Baseline Pressure Data

Post-Test

| Δp _{0,1-} | Δp _{0,1+} | Δp _{0,1} | Δp _{0,2-} | Δp _{0,2+} | Δp _{0,2} |
|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| -2.9 | 0.0 | -2.9 | -2.8 | 0.0 | -2.8 |

Data Points - Data Entered Manually (TTE 5.0.8.4)

| Nominal Building Pressure (Pa) | Baseline adjusted Building Pressure (Pa) | Fan Pressure (Pa) | Nominal Flow q _r (l/s) | Adjusted Flow q _{env} (l/s) | Adjusted Flow q _L (l/s) | % Error | Fan Configuration |
|--------------------------------|--|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------|-------------------|
| -2.9 | n/a | n/a | | | | | |
| -31.3 | -28.5 | 73.0 | 49 | 47 | 47 | 0.2 | Ring C |
| -35.0 | -32.2 | 85.0 | 53 | 50 | 51 | -0.3 | Ring C |
| -40.0 | -37.2 | 101.2 | 58 | 55 | 56 | -1.1 | Ring C |
| -45.0 | -42.2 | 122.5 | 64 | 61 | 62 | 0.1 | Ring C |
| -50.0 | -47.2 | 141.8 | 69 | 66 | 67 | 0.1 | Ring C |
| -55.0 | -52.2 | 166.7 | 75 | 71 | 72 | 1.6 | Ring C |
| -60.0 | -57.2 | 184.3 | 79 | 75 | 76 | 0.5 | Ring C |
| -65.0 | -62.2 | 202.9 | 83 | 79 | 80 | -0.2 | Ring C |
| -70.0 | -67.2 | 227.2 | 88 | 84 | 85 | 0.3 | Ring C |
| -75.0 | -72.2 | 247.7 | 92 | 87 | 89 | -0.1 | Ring C |
| -80.0 | -77.2 | 269.0 | 96 | 91 | 93 | -0.4 | Ring C |
| -85.0 | -82.2 | 291.2 | 100 | 95 | 97 | -0.6 | Ring C |
| -2.8 | n/a | n/a | | | | | |

Deviations from Standard ISO 9972 - Test Parameters

- The minimum pressure is not within +/- 3Pa of the greater of 10 Pa or (5 * zero-flow pressure Δp₀₁).

Metod för energireovering av miljonprogramshus

BUILDING LEAKAGE TEST Page 4 of 5

Date of Test: 2023-11-15 Test File: Mikael's lägenhet 20A Envelope area

Pressurization Test 1:

Environmental Data

| Indoor Temperature (°C) | Outdoor Temperature (°C) | Baro metric Pressure (Pa) |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 6.0 | 21.8 | 101325.0 |

Pre-Test

Baseline Pressure Data

Post-Test

| Δp _{0,1} - | Δp _{0,1} + | Δp _{0,1} | Δp _{0,2} - | Δp _{0,2} + | Δp _{0,2} |
|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| -2.4 | 0.0 | -2.4 | -2.3 | 0.0 | -2.3 |

Data Points - Data Entered Manually (TTE 5.0.8.4)

| Nominal Building Pressure (Pa) | Baseline adjusted Building Pressure (Pa) | Fan Pressure (Pa) | Nominal Flow q _r (l/s) | Adjusted Flow q _{env} (l/s) | Adjusted Flow q _L (l/s) | % Error | Fan Configuration |
|--------------------------------|--|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------|-------------------|
| -2.4 | n/a | n/a | | | | | |
| 25.0 | 27.4 | 104.7 | 59 | 56 | 57 | -1.0 | Ring C |
| 29.3 | 31.7 | 130.1 | 66 | 63 | 64 | 0.7 | Ring C |
| 36.1 | 38.5 | 166.7 | 75 | 71 | 72 | 0.8 | Ring C |
| 39.6 | 42.0 | 184.3 | 79 | 75 | 76 | 0.3 | Ring C |
| 45.0 | 47.4 | 212.5 | 85 | 81 | 82 | -0.2 | Ring C |
| 49.3 | 51.7 | 237.4 | 90 | 85 | 87 | -0.1 | Ring C |
| 55.1 | 57.5 | 269.0 | 96 | 91 | 93 | -0.6 | Ring C |
| 60.0 | 62.4 | 302.6 | 102 | 97 | 99 | 0.1 | Ring C |
| -2.3 | n/a | n/a | | | | | |

Deviations from Standard ISO 9972 - Test Parameters

- The minimum pressure is not within +/- 3Pa of the greater of 10 Pa or (5 * zero-flow pressure Δp01).

BUILDING LEAKAGE TEST Page 5 of 5

Date of Test: 2023-11-15 Test File: Mikael's lägenhet 20A Envelope area

Comments

None
