



LUND UNIVERSITY

Riva, cirkulera, bygga nytt eller renovera? Energianvändning i hela livscykeln.

Janson, Ulla; Farsäter, Karin; Fransson, Victor; Johansson, Dennis

2022

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Janson, U., Farsäter, K., Fransson, V., & Johansson, D. (2022). *Riva, cirkulera, bygga nytt eller renovera? Energianvändning i hela livscykeln*. Energimyndigheten.

Total number of authors:
4

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Riva, cirkulera, bygga nytt eller renovera? Energianvändning i hela livsrytmen	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Demolish, circulate, build new or renovate? Energy use throughout the life cycle.	
Universitet/högskola/företag Lunds tekniska Högskola	Avdelning/institution Avdelningen för installationsteknik/Institutionen för Bygg och Miljöteknologi
Adress Box 118, 221 00 Lund	
Namn på projektledare Ulla Janson	
Namn på ev övriga projektdeltagare Karin Farsäter, Victor Fransson, Dennis Johansson	
Nyckelord: 5-7 st Energi, LCA, Renovera, Återbruk, Fönster, Kulturvärden, Tegel	

Förord

Detta projekt har möjliggjorts genom finansiering från Energimyndighetens program Spara och Bevara.

Region Skåne har stöttat projektet, främst genom fastighetsförvaltare Xhemile Ramadani och Anna Vesterberg, Enhetschef Teknikspecialister. Vi riktar vårt varmaste tack för all support!

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Summary	3
Inledning/Bakgrund	5
Kv Sjuksystem 2	5
Genomförande	7
Steg 1 – Statusinventering	7
Steg 2 – Renovering av befintliga byggnader	7
Steg 3 - Nybyggnation	7
Steg 4 – Återbruk	7
Deltagare i projektet.....	8
Resultat	8
Kulturvärden	9
Intervjuer.....	13
Återbruksinventering	14
Regelverk för byggprodukter	16
Kvalitetssäkring av återbrukade material med EAD	18
Prioriterade kulturvärden Systervägen.....	19

Status – byggnadskonstruktion	20
Status - inomhusklimat	21
Status energianvändning	25
Termografering	26
Energieffektivisering	28
Byggnadens utformning, geometri och klimat.....	28
Byggnadens egenskaper och tekniska system.....	29
Byggnadens användning	30
Renoveringsåtgärder	31
Fönsteråtgärder	31
Tilläggsisolering vindsbjälklag.....	31
FTX-ventilation	31
Invändig tilläggsisolering yttervägg	32
Nybyggnation.....	33
Resultat energiberäkningar	34
Global uppvärmningspotential (GWP)	36
Resultat GWP	40
Fönsteråtgärder	47
Nybyggnad.....	48
Diskussion.....	48
Publikationslista.....	50
Referenser, källor	50
Bilagor	52

Sammanfattning

Bostads- och servicesektorn i Sverige står idag för ungefär 40% av Sveriges totala årliga energibehov (Energimyndigheten, 2021). Förutom detta används en stor mängd energi för nyproduktion, underhåll och rivning av byggnader. Att minska energianvändningen i byggsektorns hela livscykel är en nyckel för att nå uppsatta energi- och klimatmål. I detta projekt analyseras vad som är bäst ur ett energiperspektiv, men även avseende global uppvärmningspotential, om en befintlig byggnad antingen ska rivas och ersättas med en ny energieffektiv eller om den ska renoveras och isåfall hur.

Ett faktiskt projekt i centrala Lund ligger till grund för analysen. Fem huskroppar på fastigheten Sjuksystem 2, en del av sjukhusområdet, behöver rivas för att ge plats för sjukhusets vidare expansion. En analys har utförts avseende energibehov för uppvärmning vid olika renoveringsåtgärder, möjlighet till återbruk av material och nyproduktion av byggnad med samma utformning som den befintliga. Analysen utgår från de kulturvärden som finns i byggnaderna och platsen. Eventuella renoveringsåtgärder och gestaltningen av den nya byggnaden som analyseras är alla utförda för att bibehålla de kulturvärden som framkommit vid intervjuer av tidigare brukare och arbetare på platsen, besiktning av byggnader och inventering av platsen.

Både mjuka och hårda kulturvärden lyftes fram, där några av de mjuka värdena översattes till hårda värden, för att kunna inkludera i de framtida byggnaderna.

Energibehov för uppvärmning beräknades för den befintliga byggnaden, vid valda energieffektiviserande åtgärder och för en nyproducerad, mycket energieffektiv byggnad. Global uppvärmningspotential beräknades även för de olika alternativen.

Resultatet visar att det går att minska energibehovet vid renovering med upp till hälften av det ursprungliga behovet med åtgärder som bibehåller kulturvärden; vindsisolering, invändig ytterväggsisolering, installation av FTX och byte av fönster. Ett alternativ till fönsterbyte är att byta den inre glasrutan mot en glaskassett. Energibehovet för uppvärmning minskar betydande även för detta alternativ, samtidigt som kulturvärden i befintliga fönster kan behållas.

Vid beräkning av global uppvärmningspotential (GWP) för de olika energieffektiviserande åtgärderna har val av energimix för uppvärmning avgörande betydelse. GWP från valda material är också avgörande för resultatet. För att de åtgärder som minskar energibehovet för uppvärmning mest ska minska total GWP behöver åtgärderna för ett energiscenario med låg GWP vara utförda med material med låg GWP. För alla andra energiscenarion minskar GWP även för åtgärder utförda med material med högt GWP.

Vid behov av åtgärd på fönster testades alternativen att behålla, byta innerglas till LE-ruta, byta innerglas till glaskassett eller att byta fönstret. Att sätta in en glaskassett beräknas till att minska energibehovet med 8%, jämfört med 13% för ett nytt fönster. Beroende på val av energimix ger de olika åtgärderna olika resultat för GWP. Värt att notera är att installation av ett nytt fönster kan innebära en högre total GWP trots avsevärd energieffektivisering medan en glaskassett alltid ger en lägre GWP oavsett val av energiscenario.

Beroende på val av energiscenario kan GWP från en nyproducerad mycket energieffektiv byggnad vara högre än vid renovering av en befintlig. Även om en nybyggnad har en lägre energianvändning än den befintliga byggnaden så resulterar en nybyggnad i högre GWP, vid energiscenario I-III som används i denna studie. Återbruk av tegel ger en något lägre GWP vid nyproduktion av byggnad. Det möjliggör dessutom bevarande av kulturvärden vid en eventuell rivning av befintlig byggnad.

Summary

The Swedish construction sector today accounts for approximately 40% of Sweden's total annual energy use (Swedish Energy Agency, 2021). In addition to this, a large amount of energy is used for new production, maintenance and demolition of buildings. Reducing energy use throughout the construction sector's entire life cycle is a key to achieving set energy and climate goals. This project analyses what is best from an energy perspective, but also in terms of global warming potential, whether an existing building should either be demolished and replaced with a new energy efficient one or whether it should be renovated and, if so, how.

An actual project in central Lund is the basis for the analysis. Five buildings on the Sjuksystem 2 property, part of the hospital area, was planned to be demolished to make way for the hospital's further expansion. An analysis has been carried out regarding energy needs for space heating demand during various renovation measures, the possibility of reusing materials and new production of buildings with the same design as the existing one. The analysis is based on the cultural values that exist in the buildings and the place. Any renovation measures and the design of the new building that is analysed are all carried out to maintain the cultural values that emerged from interviews with previous users and workers on the site, inspection of buildings and inventory of the site.

Both soft and hard cultural values were highlighted, where some of the soft values were translated into hard values, to be able to include in the future buildings. Energy demand for space heating were calculated for the existing building, for selected energy efficiency measures and for a newly produced, highly energy efficient building. Global warming potential was also calculated for the various alternatives.

The results show that it is possible to reduce the energy demand in a renovation process by up to half of the original need and with measures that preserve cultural values; wind insulation, interior exterior wall insulation, installation of FTX and replacement of windows. An alternative to window replacement is to replace the inner glass pane with a glass cassette. The energy demand for space heating is also significantly reduced for this alternative, while cultural values in existing windows can be retained.

When calculating global warming potential (GWP) for the various energy efficiency measures, the choice of energy mix for space heating is of major importance. GWP from selected materials is also crucial for the result. In order for the measures that reduce the energy requirement for space heating to reduce the total GWP the most, the measures for an energy scenario with low GWP need to be carried out with materials with low GWP. For all other energy scenarios, GWP also decreases for measures performed with high GWP materials.

If renovation is needed on windows, the options to keep, change inner glass to LE window, change inner window pane to glass cassette or to change the entire window were tested. Inserting a glass cassette is estimated to reduce energy requirements by 8%, compared to 13% for a new window. Depending on the choice of energy mix, the different measures give different results for GWP. It is worth noting that installing a new window can mean a higher total GWP despite considerable energy efficiency, while a glass cassette always gives a lower GWP regardless of the choice of energy scenario.

Depending on the choice of energy scenario, the GWP from a newly produced highly energy-efficient building may be higher than when renovating an existing one. Even if a new building has a lower energy use than the existing building, a new building results in a higher GWP, in the here simulated energy scenarios I-III. Reuse of bricks gives a slightly lower GWP in new construction of a building.

It also enables the preservation of cultural values in the event of a demolition of an existing building.

Inledning/Bakgrund

Bostads- och servicesektorn i Sverige står idag för ungefär 40% av Sveriges totala årliga energibehov (Energimyndigheten, 2021). Förutom detta används en stor mängd energi för nyproduktion, underhåll och rivning av byggnader. Att minska energianvändningen i byggsektorns hela livscykel är en nyckel för att nå uppsatta energi- och klimatmål. Detta tydliggörs i den färdplan mot klimatneutralitet som byggsektorn tagit fram och som implementeras i branschen med konkreta handlingsplaner (Fossilfritt Sverige, 2018). Cirkulära materialflöden pekas ut som en mycket viktig aspekt för att lyckas nå målet om en klimatneutral bygg- och anläggningssektor till 2045. Frågan är mycket aktuell inom både EU och i Sverige, som bland annat resulterat i en nationell strategi för cirkulär ekonomi (Regeringskansliet, 2021).

Energianvändningen i en byggnads driftfas har länge varit i primärt fokus vid arbete med energieffektivisering. Metoder för klimatkalkyler påvisar att energiinnehållet i en byggnads inbyggda material har en allt större roll för en byggnads klimatpåverkan under hela dess livscykel (Mattson, C., Odell, E., 2020). Genom att inkludera byggnadens inbyggda energi i form av material och tillverkning av dessa får byggnadens energianvändning en ny dimension. Ett beräknat resultat av det på detta sätt totala energibehovet för en byggnads livscykel kan innebära en helt annan typ av prioritering vid renovering och underhåll.

Kv Sjuksystem 2

Lunds Universitetssjukhus är i behov av modernisering och ombyggnad. Lokaliseringen av en ny akutmottagning har länge diskuterats och i den detaljplan som togs fram 2019 föreslogs att denna placeras där den tidigare panncentralen nu ligger. För att möjliggöra ombyggnaden behöver enligt denna detaljplan både panncentralen och de intilliggande bostadshusen rivas.

Den nya akutmottagningen kommer att uppföras på den fastighet där panncentralen nu är placerad, fastigheten Sjuksystem 2 där bostadshusen ligger kommer ej tas i anspråk, se Figur 1. Istället planeras nya bostadshus att uppföras på Sjuksystem 2 efter att den nya akutmottagningen är uppförd.



Figur 1: Historisk flygbild 1960, Lantmäteriet

Detta projekt studerar de fem bostadshusen placerade på fastigheten Sjuksystem 2 som ska rivas och sedan planeras att ersättas av nya. De kulturvärden som finns på platsen och i byggnaderna undersöks och sammanställs. Vidare undersöks om de byggnadsmaterial som finns inbyggda i byggnaderna i dag går att återbruka och i så fall hur. Den nuvarande energianvändningen för uppvärmning analyseras och hur energibehovet varierar om de befintliga byggnaderna kan energieffektiviseras istället för att rivas, samt ett simulerat energibehov för en nyproducerad byggnad med NNE-standard. Olika energieffektiviserande åtgärder analyseras, både enskilt samt i kombination, för att se vilka åtgärder som ger lägst energibehov för uppvärmning. Samtidigt inkluderas den globala uppvärmningspotentialen för de olika alternativen för att kunna inkludera även denna aspekt vid val av renoveringsåtgärder.

Projektets syfte är att undersöka om de kulturvärden som finns på platsen och i byggnaden kan bevaras, både vid renovering och vid ombyggnad, samtidigt som energibehovet för fastigheten minskar. Projektet ska även analysera återbrukspotentialen för inbyggda material och möjligheterna för återanvändning av dessa i de nya byggnader som ska uppföras på platsen.

Projektet har genomförts inom Energimyndighetens program Spara och Bevara under projektperioden 2020-2022, med forskare från Lunds Tekniska Högskola, från Kulturen i Lund och från Lunds kommun.

Genomförande

Projektet genomfördes i fyra arbetspaket enligt beskrivna steg nedan. Arbetet påverkades till viss del av den pågående pandemin, då Region Skåne använde byggnaderna som ingår i projektet som back-up för akutplatser för covidvård, samt senare som vaccinationscentral. Tillgängligheten till byggnaderna för inventering och mätning har därför varit begränsad. Pandemin har även påverkar intervjuresultatet, då den kvarboende sjuksköterskan med unik kunskap om byggnaderna och platsen gick bort i covid-19 innan intervjun kunde utföras.

Steg 1 – Statusinventering

Platsen inventerades med avseende på kulturhistoriska värden, både genom platsbesök och genom intervjuer med av tidigare brukare (yrkesverksamma o boende), framtida brukare (yrkesverksamma/beställare) och intresserade (boende/yrkesverksamma/studenterna) i närområdet boende/verksamma.

Detta kompletterades med en återbruksinventering.

En analys av befintliga byggnaders energianvändning utfördes baserat på driftstatistik från Region Skåne. Detta kompletterades med termografering av byggnaderna, för att undersöka värmeläckage genom klimatskalet.

Status avseende inneklimat i befintliga byggnader utfördes både med korttids- och långtidsmätningar.

Steg 2 – Renovering av befintliga byggnader

I nästa steg analyserades möjliga renoveringsåtgärder för befintliga byggnader. Detta inkluderande en parameterstudie avseende energieffektiviserande åtgärder för att se hur både enskilda och kombinationer av åtgärder påverkar energibehovet och vad åtgärderna innebär avseende global uppvärmningspotential.

De olika alternativen i kombinationsanalysen jämförs med den kulturhistoriska inventeringen för att se hur de ingående komponenter som visar sig vara avgörande för bevarandet av platsen förhåller sig till minskat energibehov och global uppvärmningspotential i renoveringsprocessen.

Steg 3 - Nybyggnation

En teoretisk modell för nya byggnader på fastigheten tas fram, där byggnaderna är utformade med krav på nära-noll-energibygnader och uppförda med material baserade på jungfruliga råvaror. En energisimulering utförs tillsammans med beräkning av global uppvärmningspotential. Belastningen från rivningen av de befintliga byggnaderna kvantifieras avseende global uppvärmningspotential.

Steg 4 – Återbruk

En analys utförs av nyttan av att återanvända byggnadsmaterial ur ett kulturmiljömässigt perspektiv, med speciellt fokus på vilka kulturhistoriska

värden och karaktärsdrag man kan ta med från den befintliga miljön till den nya bebyggelsen vid rivning.

Möjligt återbruk, återanvändning och återvinning inkluderas i modellen för de nyproducerade byggnaderna, där det återbrukade materialet valts baserat på resultat från teknisk inventering och klimatdrivande konstruktionsdelar men också viktiga komponenter att återbruka för att behålla platsens kulturhistoriska värden.

Det återbrukade materialets påverkan på energibehovet för uppvärmning och den globala uppvärmningspotentialen beräknas genom att byta ut material i modellen för de nyproducerade byggnaderna, som togs fram i steg 3.

Deltagare i projektet

Projektledare har varit Ulla Janson, Avdelningen för Installationsteknik på Lunds Tekniska Högskola.

Kulturhistoriskt arbete har utförts av Henrik Borg, tidigare stadsantikvarie i Lund, Niklas Ingmarsson, projektledare på Kulturen i Lund samt Kali Olsson, Avdelningen för Installationsteknik, LTH.

Återbruksinventering har utförts av konsultbolaget Kompanjonen.

Victor Fransson, Avdelningen för Installationsteknik, LTH, har ansvarat för energiberäkningar.

Karin Farsäter, Avdelningen för installationsteknik, LTH, har ansvarat för beräkning av global uppvärmningspotential.

Dennis Johansson, Avdelningen för installationsteknik, LTH, har ansvarat för inomhusklimatmätningar.

Akram Abdul Hamid, Avdelningen för byggnadsfysik, LTH, har ansvarat för fuktsimuleringar.

Resultat

Detta projekt baseras på ett planerat byggprojekt på Fastigheten Sjuksystem 2 med gatuadress Systervägen 3 – 15, som ligger i utkanten av sjukhusområdet i Lund. Fastigheten ägs och förvaltas av Region Skåne, som även ansvarar för det planerade byggprojektet avseende ny akutmottagning. De fem byggnaderna på fastigheten uppfördes i två etapper under åren 1948–1952, byggnaderna A-C under den första etappen och D-E under den andra, se Figur 2. Byggnaderna uppfördes som personalboende för sjuksköterskor och annan kvinnlig sjukvårdspersonal.



Figur 2: Google maps 24.1.2022

Fyra av de fem husen är uppresta symmetriskt längs omgivande gatu- eller tomtgränser och den femte av byggnaderna är placerad i mitten på fastigheten och fungerar som en skiljevägg som separerar de två gårdarna från varandra. Hus D byggdes delvis om till anhörihotell 1995 och denna byggnad har under en senare period använts som flyktingboende. Nu blockhyrs byggnaderna av Kemicentrum på Lunds universitet. Ett fåtal av de ursprungliga hyresgästerna bor dock fortfarande kvar i sina lägenheter.

Kulturvärden

Metoden som den kulturhistoriska värderingen och byggnadsbeskrivningen grundar sig på är intervjuer av tidigare boende i byggnaderna och personer som arbetat i det närliggande värmeverket. Granskning av arkivmaterial och ritningar, litteraturstudier av arkitekten Ingeborg Hammarskjöld-Reiz samt okulärbesiktning och dokumentation på plats har även ingått i inventeringen.

Byggnaderna på kvarteret Sjukssystem 2 beskrivs utvändigt som en helhet eftersom kvarteret är byggnadsmässigt i stort sett oförändrad, och grönytemässigt endast delvis förändrad. Dess värden kan således beskrivas som en helhet i stort.

Arkitekt Ingeborg Hammarskjöld-Reiz har utformat byggnaderna och grönytorna på kv Sjukssystem 2. Hon är en av den tidens främsta arkitekter, med eget arkitektkontor i Lund och hade under sina 50 år som arkitekt en betydande roll i Lunds arkitektur och stadens utveckling. Hammarskjöld-Reiz var en mycket produktiv och framgångsrik arkitekt med sina över 600 uppdrag i Lund och Staffanstorp. I dessa uppdrag ingick över 3000 byggnader så som bostäder, ålderdomshem, bibliotek, skolor och studentbostäder. Många av dessa byggnader utgör en stil som nu är karaktäristisk för Lund. Hammarskjöld-Reiz var en del av den framväxande funktionalismens idéer med fokus på att skapa mänskliga boendemiljöer. Arkitekten präglas av en känsla av omsorg, med hög närvaro både under byggnation och efter hyresgästerna flyttat in. Hennes position i historieskrivningen bör ses i relation till andra arkitekter verksamma vid ungefär samma tid och geografiska område; som Hans Westman (1905-1991), Bengt

Edman (1921-2000), Klas Anshelm (1914-1980) och Bernt Nyberg (1927-1978). Hammarskjöld-Reiz var en av nyckelpersonerna i uppbyggnaden av den sociala bostadspolitiken i Lund och var med och formade staden under decennier (Jansson, K., 2016).

Val av rena och traditionella byggnadsmaterial var viktigt för Hammarskjöld-Reiz. Detta framkommer tydligt i byggnaderna på Systervägen, med exempelvis handslaget, rött fasadtegel, gråsvart skiffer och enkupigt falsat rött taktegel. Det röda fasadteglat är murat med tioskifts munkförband och springande kopp, putsat listverk utmed gavelfasadernas kantkontur, både som horisontell sockelvåningsmarkering och som vertikal trapploppsmarkering, se Figur 3.



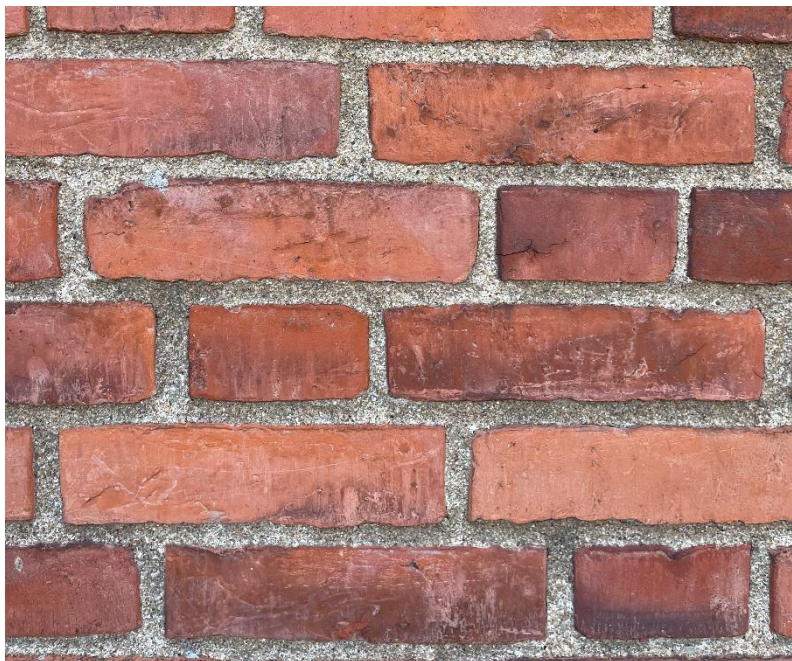
Figur 3: Trapphus med indragna balkonger.

De studerade byggnaderna har betongstomme och är uppförda i tre- eller fyra våningsplan, källare samt vind med lägenhetsförråd. Entré och trappartier är indragna i fasaderna, balkongerna är halvt indragna. Fönstren är en- till tvålufters perspektivfönster med maskindraget glas och vitmålade träbågar. Husens utvändiga socklar är täckta med tre centimeter tjocka svarta skifferplattor. Interiöra material är bland annat kolmårdsmarmor och öländsk kalksten som golv, trappsteg, golvsocklar och fönsterbänkar.

Byggnaderna på fastigheten Sjuksystem 2 är uppförda med en saklig arkitektur präglad av funktionalismens idéer. De är utformade med en pragmatisk och

omsorgsfull vardagsarkitektur, något som exteriört syns i den extra omsorgen i val av material, exempelvis natursten i sockel istället för KC-puts.

Fasadteglet är tillverkat av lera från den täkt som tidigare fanns där panncentralen nu är placerad, dvs på intilliggande fastighet. Teglet har hög kvalitet och ingen frostsprängning framkommer vid en okulär besiktning, se Figur 4.



Figur 4: Detalj tegelkonstruktion

Takteglet är från det numera nedlagda Weberöds Tegelbruk.

Inga tillbyggnader har uppförts på fastigheten och ingen yttre förändring har utförts, varken på byggnader eller platsmark. Kulturvärden har på detta sätt bevarats genom att byggnaderna är välbevarade, inga tilläggsbyggen har uppförts så som exempelvis miljöhus eller ändrade entréer.

Fasaderna är karakteristiska, där de som vätter ut mot Getingevägen har mest allmänintresse, om ett val måste göras, se Figur 5. Att tilläggsisolera exteriört är därför problematiskt om kulturvärden samtidigt ska bevaras.



Figur 5: Fasad mot Getingevägen

Invändigt har förändringar utförts i sällskapsrummen och källarutrymmen. I övrigt är byggnaderna i princip oförändrade, materialen i stort sett ursprungliga, trapphusen har ändrats endast färgsättningsmässigt. I de lägenheter som analyserats i detta projekt har originalgolven varit kvar, men väggarna är färgmässigt förändrade och de har nyare garderober, badrum och kök. Frånluftsfläktar har installerats för att förstärka självdragsventilationen.

Fastigheten har hög grönytefaktor och gårdarna är solvända för att släppa in mycket luft och ljus. En låg stenmur ramar in gården till väster (husen A-C) och formar en lugn, lummig oas, se Figur 6.



Figur 6: Västra trädgården

En häck av avenbok löper längst Systervägen och avgränsar gården från gatan. Den östra trädgården (husen C-E) är mer öppen och kal än den västra, se Figur 7.



Figur 7: Östra trädgården

Gräsytan är stor, med en lekplats omringad av en häck på gården under den senare tiden. En berså med tujor är placerad i det nordöstra hörnet.

Byggnaderna på Systervägen är anspråkslösa, enkla men gedigna och karaktäristiska till Hammarskjöld-Reiz stil. Det arkitektoniska värdet är högt. Dock ligger Kv Sjuksystem och intilliggande Kv Vårdbiträdet utanför Lunds riksintresse för miljövard och det finns inga specifika krav på bevarandevärden (Tengbom, 2019). Kulturvärden ska därför beaktas i enlighet med 8 kap 17§ PBL.

Intervjuer

Ett antal intervjuer har genomförts, främst med tidigare anställda på panncentralen och på lasarettets värmekraftverk men även med tidigare hyresgäster på Systervägen.

I intervjuerna med tidigare hyresgäster framgick att lägenheterna hade varit försedda med dusch men saknade kylskåp. Man hyrde möblerat. Hyran var låg och det var sjukhuset som tillhandahöll bostaden. Trädgården nyttjades för att dricka kaffe och umgås. Badkar fanns i källaren om man ville bada. När man sedan fick kylskåp kom is-leveranser en gång i veckan för att hålla dessa svala. De som intervjuades verkar mest sett bostaden som en plats att sova på, men en hyresgäst minns stavparkett, täljstensspis och sektionsradiatorer i sällskapsrummet.

De som tidigare arbetat på panncentralen och vid uttrycknings- och transportstationen beskriver en god gemenskap och hur de ser på platsen som en mötesplats.

Återbruksinventering






































Ett externt konsultbolag, Kompanjonen, anlätades för att utföra en återbruksinventering. Den utfördes enligt deras metodik, med huvudsakligt fokus på möjlig avyttring. Kompanjonen likställer återbruksinventering med efterfrågeanalys. Målgrupp för Kompanjonen är kunder som köper större volymer. Detta innebär att man inte återbrukar vitvaror, då detta främst attraherar privatpersoner.

Inventeringen av Sjuksystem 2 har utförts med ett något annat synsätt än hur Kompanjonen arbetar i traditionella projekt. Det är därför inte säkert att allt inventerat material kommer att kunna säljas. Det kan också vara så att visst inventerat material kanske inte går att demonteras separerat från annat material, tex parketten, och därför inte kan säljas.

I ett traditionellt projekt skulle Kompanjonen sälja materialet vidare då återbruksinventeringen är färdigställd. Det är på detta sätt Kompanjonen som sätter produkten på marknaden. Om kunder reklamerar varor får de en ny vara, om det finns tillgängligt, eller pengarna tillbaka. Alla produkter säljs i befintligt skick, Kompanjonen ser sig som mäklare av en vara och utför ingen kvalitetssäkring.

Återbruksinventeringen sammanställs i en tabell komplett med foton på respektive produkt, se Tabell 1, och innehåller produkttyp, antal, uppskattad koldioxidmängd, uppskattad intäkt per produkt samt en sifferbedömning avseende skick. Beräkningsmodellen avseende CO₂-ekvivalenter baseras på schabloner framtagna av IVL Svenska Miljöinstitutet. Kompanjonen anger att det är svårt att ange koldioxidmängd för sammansatta produkter, och att det är viktigt att titta på storhet och inte på decimal i framtida analys. Intäkter som anges i tabellen för respektive produkt är uppskattade baserat på erfarenhetsvärlden.

Tabell 1: Återbruksinventering

Produkt ID	Ev Artnr	Produkt Benämning	Huvudkategori	Underkategori	Antal	Styck	Sum	Co2/Kg	Styck	Sum	Styck	Sum	Skick	Bild	
4450		Badrumsskåp - 40x50	Byggmaterial	Kök & Badrum	2	7	14,0		2	14	28	500	1 000	5	
4443		Blandare Oras	Byggmaterial	Kök & Badrum	2	2	4,0		2	4	8	500	1 000	4	
4449		Bänkskiva Kolmårdsmarmor - 83x25	Byggmaterial	Käkel & Klinkers	1	20	20,0		1	20	20	156	156	5	
4463		Bänkskiva Kolmårdsmarmor - 145x25	Byggmaterial	Käkel & Klinkers	1	36	36,0		1	36	36	272	272	5	
4447		Bänkskiva Kolmårdsmarmor - 145x30	Byggmaterial	Käkel & Klinkers	1	44	44,0		1	44	44	326	326	5	
4448		Bänkskiva Kolmårdsmarmor - 85x25	Byggmaterial	Käkel & Klinkers	2	21	42,0		1	21	42	159	318	5	
4464		Bänkskiva Kolmårdsmarmor - 86x25	Byggmaterial	Käkel & Klinkers	1	22	22,0		1	22	22	161	161	5	
4446		Bänkskiva Kolmårdsmarmor - 86x30	Byggmaterial	Käkel & Klinkers	1	26	26,0		1	26	26	194	194	5	
4453		Elskåp - 24x25	Byggmaterial	El	2	1,5	3,0		0	0	0	500	1 000	5	
4582		Fasadregel	Byggmaterial	Fasad & Tak	1	5	5,0		1	5	5	4	4	4	
4461		Fastighetsbox / Postbox Svensboxen - 16 fack	Byggmaterial	Tillbehör & Övrigt	1	67	67,0		2	134	134	3000	3 000	3	
4456		Garderob - Björk	Möbler	Skåp & Förvaring	2	25	50,0		2	50	100	300	600	4	
4436		Kroklis - 2 krok	Byggmaterial	Kök & Badrum	1	0,1	0,1		1	0	0	20	20	4	
4451		Kroklis - 4 krok	Byggmaterial	Kök & Badrum	2	0,2	0,4		1	0	0	40	80	4	
4444		Kylskåp	Byggmaterial	Kök & Badrum	1	30	30,0		0	0	0	500	500	4	
4442		Köksfläkt -	Byggmaterial	Kök & Badrum	2	5	10,0		0	0	0	300	600	3	
4445		Köksinredning - Björk	Byggmaterial	Kök & Badrum	1	80	80,0		1	80	80	2000	2 000	4	
4459		Parkett	Byggmaterial	Golv	50	10	500,0		1	10	500	500	25 000	4	
4437		Radiator - 119x58	Byggmaterial	Vvs	2	47	94,0		2	94	188	400	800	3	
4439		Radiator - 41x60	Byggmaterial	Vvs	1	15	15,0		2	30	30	400	400	3	
4462		Radiator - 45x58	Byggmaterial	Vvs	1	18	18,0		2	36	36	400	400	3	
4440		Radiator - 52x58	Byggmaterial	Vvs	1	21	21,0		2	42	42	400	400	3	
4438		Radiator - 58x58	Byggmaterial	Vvs	1	23	23,0		2	46	46	400	400	3	
4467		Räcke 80x44	Byggmaterial	Galler & Smide	1	30	30,0		2	60	60	500	500	3	
4583		Räcke, handledare - Trapphus	Byggmaterial	Galler & Smide	1		0,0		0	0	0		0	0	
4466		Skiffer	Byggmaterial	Käkel & Klinkers	99	100	9 900,0		1	100	9 900	500	49 500	3	
4441		Spis - 30x52	Byggmaterial	Kök & Badrum	2	10	20,0		0	0	0	1000	2 000	4	
4435		Säkerhetsdörr Daloc S43 - 10x21 HH EI30/35dB/RC3	Byggmaterial	Ståldörr & Säkerhetsdörr	9	91	819,0		3	273	2 457	3500	31 500	3	
4468		Säkerhetsdörr Daloc S43 - 10x21 VH EI30/35dB/RC3	Byggmaterial	Ståldörr & Säkerhetsdörr	6	91	546,0		3	273	1 638	3500	21 000	4	
4458		Takarmatur - Glob	Belysning	Tak- & Väggbelysning	1	1	1,0		9	9	9	150	150	3	
4455		Toilettappershållare - Krom	Byggmaterial	Kök & Badrum	1	0,5	0,5		2	1	1	100	100	4	
4454		Trycke -	Byggmaterial	Dörrtillbehör	1	0,3	0,3		5	2	2	100	100	3	
4433		Tvättställ - 50x36	Byggmaterial	Kök & Badrum	1	7	7,0		2	14	14	500	500	3	
4457		Ugn -	Byggmaterial	Kök & Badrum	2	15	30,0		0	0	0	500	1 000	4	
4460		Undertak - 60x60 (40mm) Kant A	Byggmaterial	Akustik & Isolering	30	1,5	45,0		2	3	90	89	2 670	5	
4434		Wc - 43 cm	Byggmaterial	Kök & Badrum	1	15	15,0		2	30	30	1000	1 000	3	
							0,0		0	0			0		

En prioritering av ingående produkter sammanställs i en slutsats, som Kompanjonen baserar på åtta bedömningskriterier. För alla kriterier sätts betyg med en skala på 1 – 5, där 5 är högsta betyg.

Kompanjonens bedömningskriterier är:

1. Efterfrågan (internt resp. externt)
2. Demonterbarhet
3. Kommersiell volym
4. Ålder
5. Form
6. Funktion
7. Skick
8. Framförhållning (tid)

De tre första kriterierna, Efterfrågan, Demonterbarhet och Volym, måste vara betygsatta mellan 3-5 för att Kompanjonen ska rekommendera återbruk överhuvudtaget. Produkter som inte klarar detta anses av Kompanjonen ej vara återbrukbara. Kompanjonen bedömer generellt att återbrukbara produkter är mellan 5-15 år gamla, men anger att undantag förekommer.

Återbrukspotentialen för Kv Sjuksystem 2 för olika inventerade material och komponenter anges i Tabell 2. Någon intern efterfrågan eller uppskattat inbyggt värde för återbruk i egen organisation är inte framtagen då Kompanjonen inte har varit i kontakt med fastighetsägaren Region Skåne.

Tabell 2: Återbrukspotential kv Sjuksystem 2

Kriterier / Produkt	Extern efterfr.	Demonterbarhet	Volym	Ålder	Form	Funkt.	Skick	Tid
Säkerhetsdörrar	4	4	5	3	4	4	4	5
Golv	3	3	5	4	3	4	3-4	5
Köksutrustning	4	4	5	4	3-4	5	4	5
Badrumsporslin	4	3-4	5	3-4	4	5	4	5
Fasadtegel	5	3	5	5	5	5	4-5	5
Skiffer	4	4	5	4	4	4	4	5
Radiatorer	3-4	3	5	4	5	5	4	5
Stenskivor (fönsterbänk bl.a.)	3	3	5	4	3	5	4	5

Kompanjonen anger att inventeringen visar att överlag har samtliga artiklar några år på nacken vilket gör dem svårare att få avsättning för i befintligt skick. Funktionen är däremot välbevarad så vill man uppgradera ytskikt så finns det en rejäl återbrukspotential inom projektet (främst golvmaterial och smidesartiklar). Vidare anger Kompanjonen att det finns en hel del mindre detaljer som dörrhandtag, vred, hatthyllor etc som sannolikt har ett återbruksvärde. Fastighetsboxarna i respektive trapphus anges vara absolut värda att återbruka.

- Uppskattat inbyggt ekonomiskt värde vid återbruk i egen organisation: Ej angivet.
- Uppskattat inbyggt ekonomiskt värde vid extern försäljning: 20 - 40 000 kr/lgh exkl. moms, där spannet anges främst bero på osäkerheter kring demontering och värde på parkettgolv respektive säkerhetsdörr.

Pris per artikel är uppskattat baserat på Kompanjonens egen erfarenhet och rådande efterfrågan. Intäkten anges vara svårbedömd för Sjuksystem 2, då möjlig demontering anses vara ett osäkerhetsmoment.

Installationsprodukter anses vara svårt att sälja, dels då antalet produkter av varje sort är lågt och dels då garantier är avgörande för att kunna sälja detta segment.

Regelverk för byggprodukter

Den som säljer byggprodukter i Sverige måste försäkra sig om att produkten uppfyller samtliga uppsatta krav. Byggproduktförordningen är det regelverk som

ställer krav på de aktörer som tillhandahåller byggprodukter på marknaden. (Boverket 2021).

För alla byggprodukter som omfattas av en s.k. harmoniserad standard eller har en europeisk teknisk bedömning (ETA) är en prestandadeklaration och en CE-märkning obligatorisk för att produkten ska få säljas. Beroende på innehåll kan även krav finnas på redovisning av produktens innehåll av farliga ämnen eller åtföljas av ett säkerhetsdatablad i enlighet med REACH (Kemikalieinspektionen 2022).

I byggproduktförordningen identifieras tre typer av aktörer för byggprodukter: tillverkare, import eller distributör. Det finns ingen roll som leverantör, återförsäljare eller grossist - dessa typer är distributörer enligt byggproduktförordningen. Det är tillverkarens ansvar att ta reda på vilka krav en produkt omfattas av och att upprätta relevant produktdokumentation. Den som säljer produkterna vidare ansvarar för att skicka med dokumentationen. För en återbrukad produkt finns ej angivet om den som tillhandahåller produkten på marknaden tillhör någon av de tre typerna av aktörer som anges. Det finns på detta sätt inget tydligt tillverkaransvar för ett företag som sätter en återbruk produkt på marknaden.

Ansvar för att den återbrukade produkten har rätt kvalitet och är lämplig för ändamålet ligger på Byggherren, oavsett om byggherren är ett företag eller privatperson, reglerat enligt Plan och Bygglagen (8 kap 19§PBL). En byggherre är den som för egen räkning utför eller låter utföra projekterings-, byggnads-, rivnings- eller markarbeten. Byggherren behöver inte vara en fysisk person utan kan även vara en juridisk person som till exempel ett företag, en bostadsrättsförening, en kommun, en region eller en statlig myndighet (1 kap 4§PBL). För att byggherren ska kunna göra denna bedömning bör egenskaperna vara noga beskrivna. Om produktdokumentationen inte redovisar tillräckligt underlag för att kunna avgöra lämpligheten behöver byggherren verifiera dessa, exempelvis genom provning.

En CE-märkning används ofta av en byggherre som hjälp i bedömning av byggprodukters lämplighet, och ställs ofta som krav. Saknas en harmoniserad standard för en produkt, vilket ligger till underlag för CE-märkningen, kan en frivillig CE-märkning underlätta för att få in en produkt på marknaden.

I Boverkets Byggregler anges fyra olika bedömningssätt för icke-harmoniserade byggprodukter. Förutom att vara CE-märkta kan produkterna vara typgodkända i enlighet med 8 kap 22-23§§PBL, certifieras av ackrediterat certifieringsorgan eller tillverkats i en fabrik där produktionen övervakats av ett ackrediterat certifieringsorgan (Boverket 2021). Bedömningen av dessa byggprodukter ska ha en sådan omfattning och kvalitet att det säkerställs att byggproduktens deklarerade egenskaper överensstämmer med de faktiska egenskaperna. Det anges att verifieringen minst ska motsvara det som är beslutat för CE-märkning av liknande produkter. Den framtagna informationen används sedan av byggherren för att avgöra om produkten är lämplig för användning. En byggprodukt anses vara lämplig om den har sådana egenskaper att det byggnadsverk som produkten ska

ingå i kan uppfylla gällande krav, när byggnadsverket är korrekt projekterat och uppfört.

Kvalitetssäkring av återbrukade material med EAD

För produkter, sammansatta produkter och byggsystem där en harmoniserande standard saknas eller inte kan användas kan CE-märkning utföras på frivillig väg. Som bas ligger då istället för en harmoniserad standard en EAD, som är ett Europeiskt bedömningsdokument (EOTA,2022). EAD kan tas fram för nya produkter på uppmaning av en tillverkare som vill kunna CE-märka en produkt, trots att harmoniserad standard saknas.

Om det finns en harmoniserad standard så behövs ingen EAD och det behövs inte ansökas om ETA för att förtydliga metoderna, utan detta finns redan i EN-normen/harmoniserade standarden. För en CE-märkning vid dessa förutsättningar kontaktar tillverkaren ett notifierat organ med sin produktionskontrollplan (FPC) och ber om certifiering enligt gällande standard.

Tillverkaren av den produkt som saknar harmoniserad standard för kvalitetssäkring, beställer en europeisk teknisk bedömning (ETA), som utförs av ett tekniskt bedömningsorgan. En ETA är en Europeisk Teknisk bedömning och är det dokument som möjliggör en CE-märkning. I en ETA beskrivs och förtydligas metoderna för att uppfylla regelverket i en EAD.

ETA är en teknisk specifikation som beskriver produktens egenskaper, tillverkningsställen och tillverkningskontroll och är första steget för att kunna få en CE-certifiering av en EAD. När en ETA är framtagen ska tillverkaren upprätta en prestandadeklaration och CE-märka produkten, vilket utförs av ett Notifierat organ, som är ackrediterad för en specifik EAD. Produkten omfattas då av byggproduktförordningens krav, vilket gör att de formella kraven på prestandadeklarationen och CE-märkning är samma som för den obligatoriska CE-märkningen. Det är den specifika produkt som tillverkaren tagit fram en ETA för som kan CE-märkas, för en konkurrent som tillverkar en liknande produkt utan en ETA gäller inte krav på prestandadeklaration och CE-märkning (Boverket 2021).

I detta projekt har fasadteglet stor betydelse för bevarandet av byggnadernas kulturvärde och det finns en stark önskan om att återbruka teglet. Regelverket för återbrukat tegel beskrivs av Jacob Steen, VD på Bruksspecialisten och återförsäljare av återbrukat tegel i Sverige. För återbrukat tegel har EU tagit fram en EAD, ämnat för utvändigt murning i fasad. Nyttillverkat fasadtegel har en harmoniserad standard, EN-771. Den inkluderar bland annat prövning av teglets tryckstyrka, vattenupptagning och frostbeständighet. I testet ingår även hur den jungfruliga råvaran klassas och kontrolleras samt hur normal produktkontroll uppfylls. Den harmoniserade standarden EN-771 för tegel tillverkad av jungfrulig råvara ligger till grund för framtagen EAD för återbrukat fasadtegel.

Det är främst delen om råvara som skiljer processen åt mellan jungfrulig råvara och återbrukat produkt. För återbrukat tegel behöver producenten påvisa hur de

säkerställer att rivningsteglet kan bedömas och kvalitetssäkras för att uppfylla kraven för tryckstyrka, vattenupptagning och frostklassning. Det innebär bland annat att det är strängare krav på stickprovskontroller under produktion så att cirka en sten per tusen skall plockas ut och köras tester på. Nyttillverkat har alltifrån 1 på 10.000 upp till 1 på 50.000 som det skall utföras stickprover på.

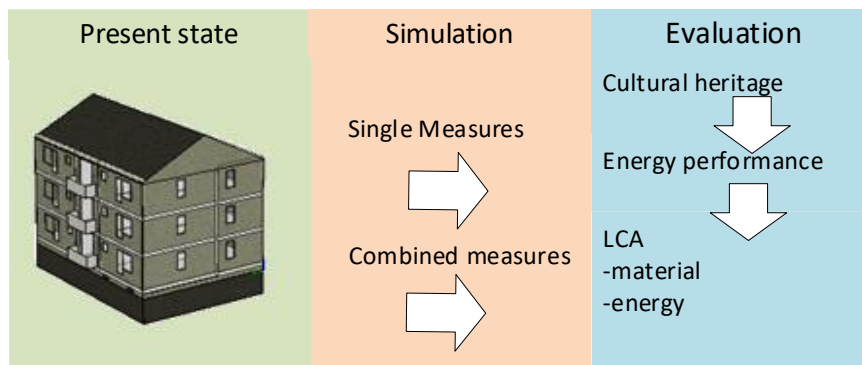
Proverna skall testas på certifierad utrustning och ingår sedan i CE-certifieringen. För att kunna få CE märka på återbrukat tegel baserat på gällande EAD, behöver man först ansöka om ETA och sammanställa en FPC-plan (Produktionskontrollplan) som förklarar hur man uppfyller kraven i uppställd EAD.

FPC och ETA ansökan godkänns av notifierat organ, som efter godkännande gör att man kan gå vidare för normal CE-certifiering och dess löpande kontroll på samma sätt som de harmoniserade standardprodukterna (ex EN-771 för nytt fasadtegel).

Prioriterade kulturvärden Systervägen

Resultatet från projektets sammanställning av kulturvärden resulterade i både mjuka och hårda värden.

De kulturvärden som finns för en plats är unika och det är svårt att värdera dessa i ett mer generellt sammanhang. I denna studie görs ett försök att översätta de mjuka kulturvärdena för platsen till hårda värden, för att kunna bevaras i byggnaderna. De sammanställda värden som önskas bevaras ligger till grund för de valda renoveringsåtgärderna och hur en energieffektivisering av de befintliga byggnaderna kan utformas, metoden beskrivs i Figur 8.



Figur 8: Övergripande metod för studien.

Valda kulturvärden att prioritera vid en ombyggnad eller vid återbruk av byggnaderna på Systervägen är:

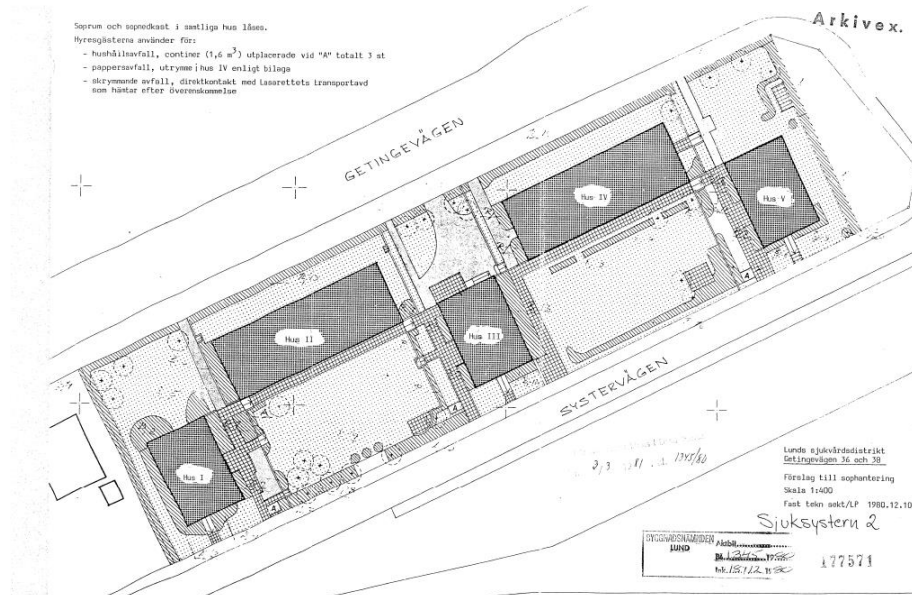
Mjuka värden: Mötesplats, Dagsljus, Funkis, Stabilitet, Trygghet

Hårda värden: Fasadtegel, öländsk kalksten, kolmårdsmarmor

De mjuka värdena översattes till att bevara gården, behålla byggnadernas storlek, höjd och placering på tomten samt att behålla fönsterstorlekar, glaspartier och dess placering.

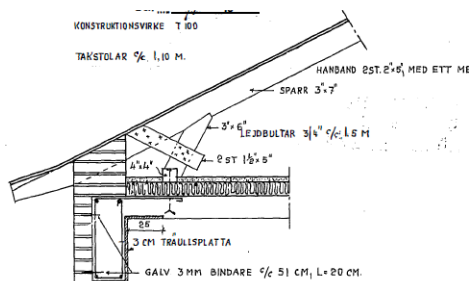
Status – byggnadskonstruktion

Befintliga konstruktioner inventerades både på plats och med hjälp av ritningar. En byggnad valdes ut för simulering, Hus 1, se Figur 9.



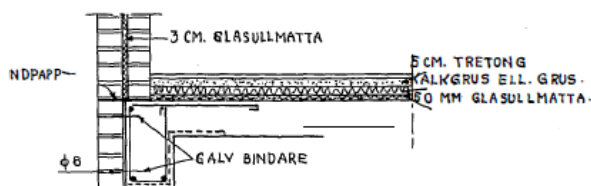
Figur 9: Situationsplan för området Sjuksystem 2.

Byggnaden är konstruktionsmässigt intakt, med tre plan, vind och källare. Total Atemp är 800 m² med fem lägenheter på varje våningsplan, samt trapphus. Vinden innehåller förråd, med en träkonstruktion, se Figur 10.



Figur 10: Vindskonstruktion.

Väggkonstruktionen består av en dubbel tegelkonstruktion med mellanliggande glasullsmatta, se Figur 11.



Figur 11: Väggekonstruktion.

Befintliga U-värden på konstruktionerna beräknades med hjälp av befintliga ritningar, se Tabell 3.

Tabell 3: Egenskaper för byggnadsdelar.

Byggnadsdel	Egenskaper
Yttervägg	0.77 W/(m ² ·K)
Vindsbjälklag	0.65 W/(m ² ·K)
Fönster	2.8 W/(m ² ·K)
Källarvägg	3.6 W/(m ² ·K)
Källargolv	4.4 W/(m ² ·K)
Luftläckage	1,6 l/(s·m ²) vid 50 Pa
Köldbryggor	15 % av U·A

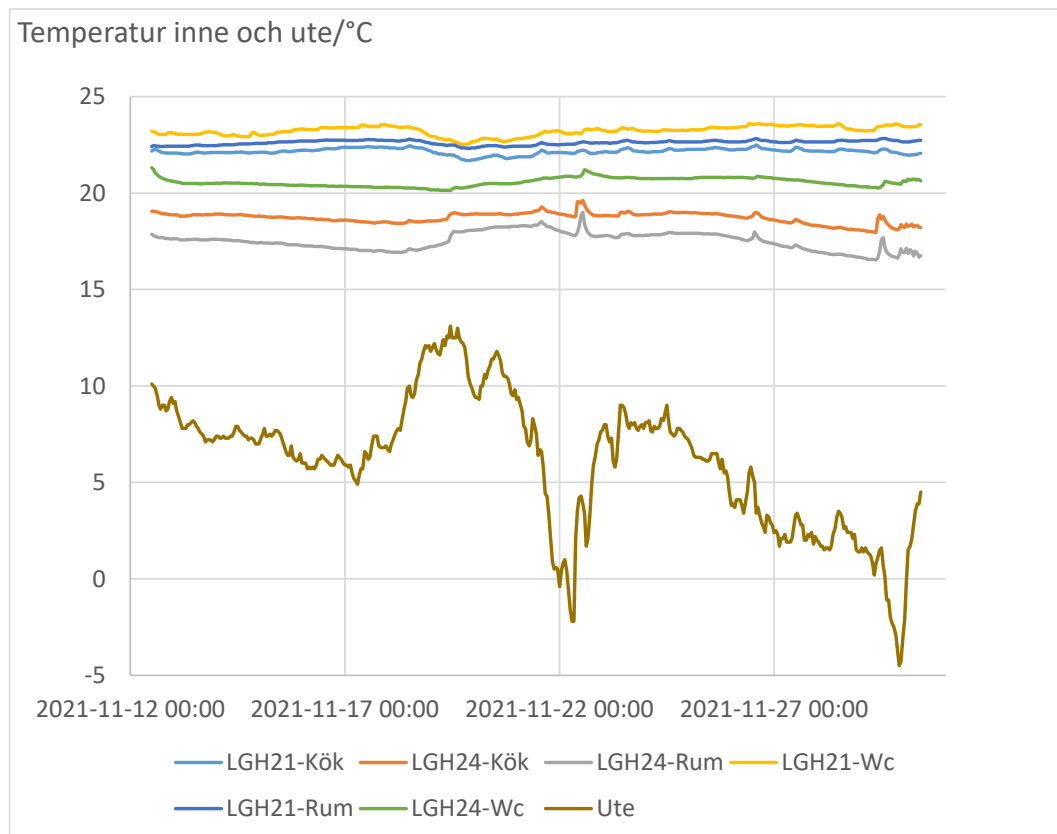
Status - inomhusklimat

För att bedöma eventuella problem eller inbyggda värden med att behålla eller riva bygganden gjordes mätningar av inneklimatet. Om byggnaderna verkar klara moderna inneklimatkrav är det rimligt att inneklimatet inte är ett hinder för att behålla byggnaderna. Mätningar gjordes av innetemperatur, relativ luftfuktighet (RF), koldioxidkoncentration i rumsluften och luftflöden i ventilationssystemet.

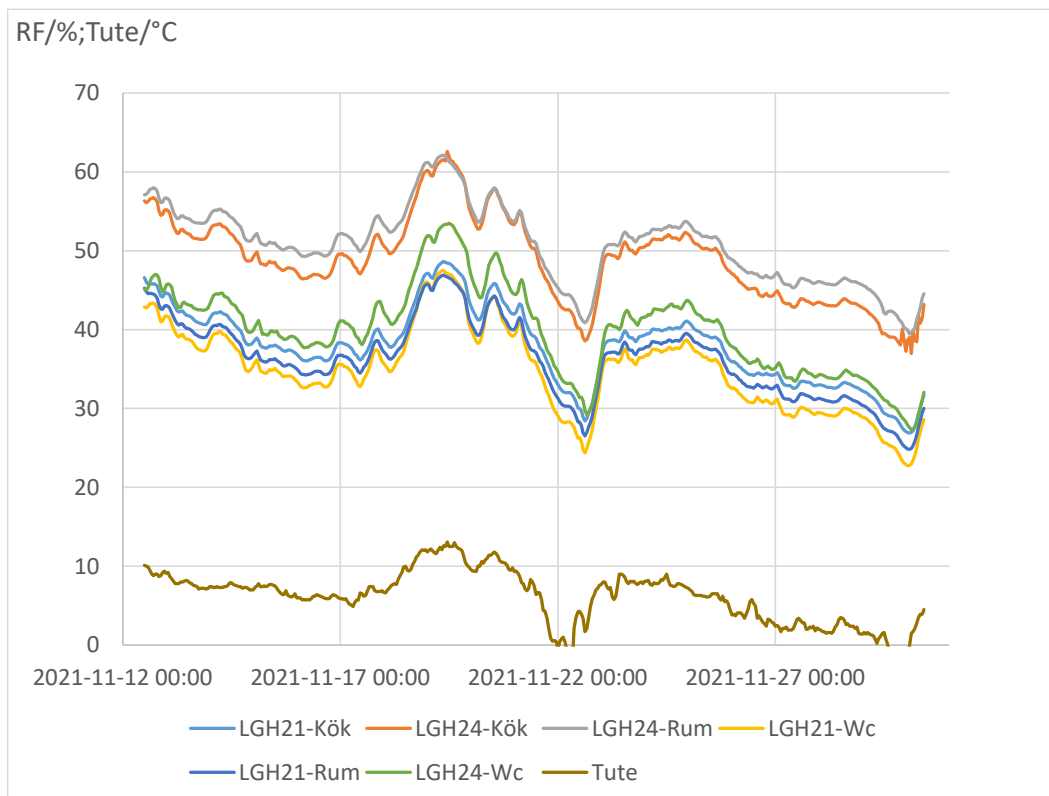
Två lägenheter mättes med loggrar varje minut mellan 2021-11-12 och 2021-11-30. Loggrarnas noggrannhet avseende temperatur var $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$, avseende RF $\pm 3\%$ och avseende koldioxid ± 50 ppm där repeterbarheten är betydligt bättre än så eftersom loggrarna kalibrerades till 400 ppm ute. I lägenheterna mättes kök, badrum och vardagsrum. Avklingning av koldioxid efter utplaceringen av loggrarna kunde användas för att uppskatta luftomsättningen. Mätningar av ventilationsflödena gjordes i det skick som lägenheterna var i vid besöket med hjälp av luftflödesstos där noggrannheten anges till $\pm 10\%$.

Figur 12 visar resulterande temperatur inne och ute. Temperaturen i ena lägenheten, LGH21, är något högre än i den andra men ganska stabil under mätperioden och rimlig. Förmodligen går det utmärkt att variera temperaturen med hjälp av injustering och termostatventiler. Figur 13 visar RF för mätperioden,

och här ser man tydligt att RF beror på utetemperaturen vilket är väntat eftersom kallare uteluft normalt innehåller mindre fukt. Relativa fuktigheten går ner mot 30% i den varma lägenheten. Lägre än så börjar medföra problem med hälsa och komfort, men med någon boende så hade också fuktillskottet ökat. Problemet finns även i moderna bostäder och är stort i norra Sverige.

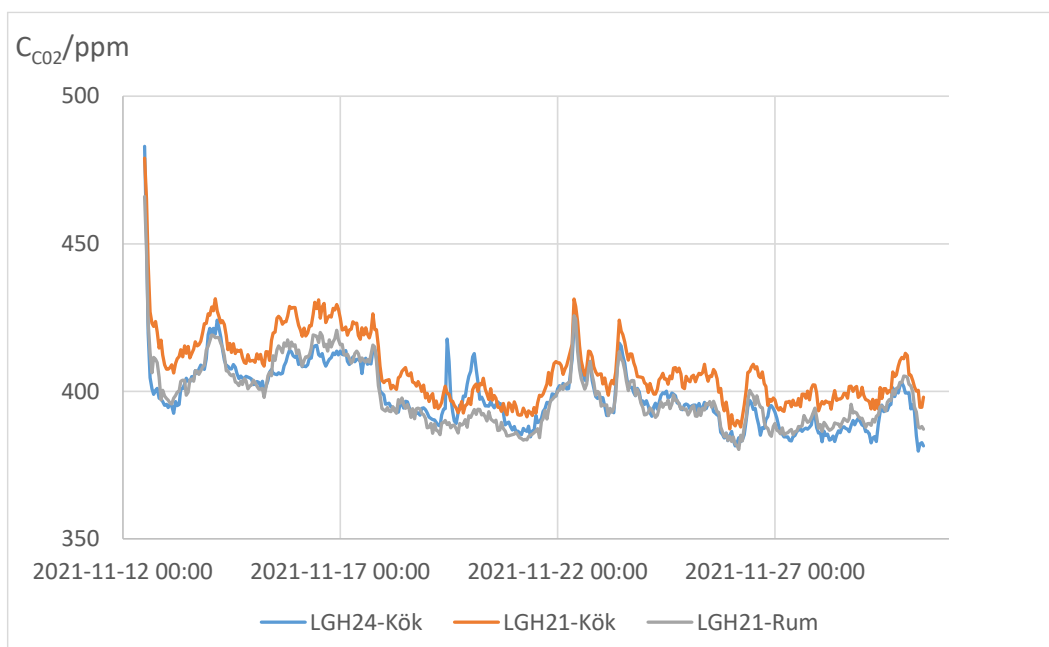


Figur 12: Mätta temperaturer ute och inne i olika rum i de två lägenheterna.



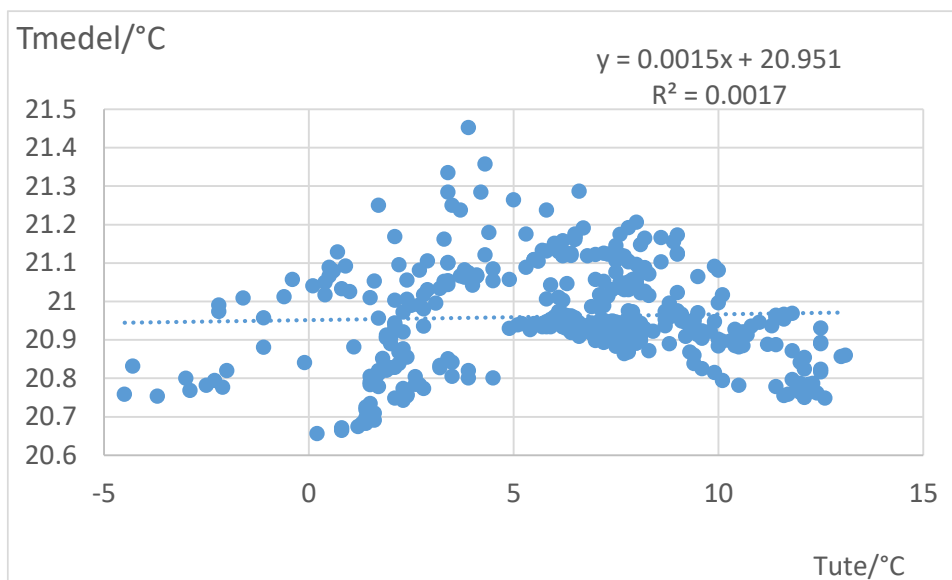
Figur 13: Mätta RF inne i olika rum i de två lägenheterna samt temperatur ute.

Figur 14 visar koldioxidkoncentrationen som förutom i starten när det var personer på plats är nära 400. Variationerna kan bero på läckage från bebodda grannlägenheter och mätvariationer i koldioxidgivaren.

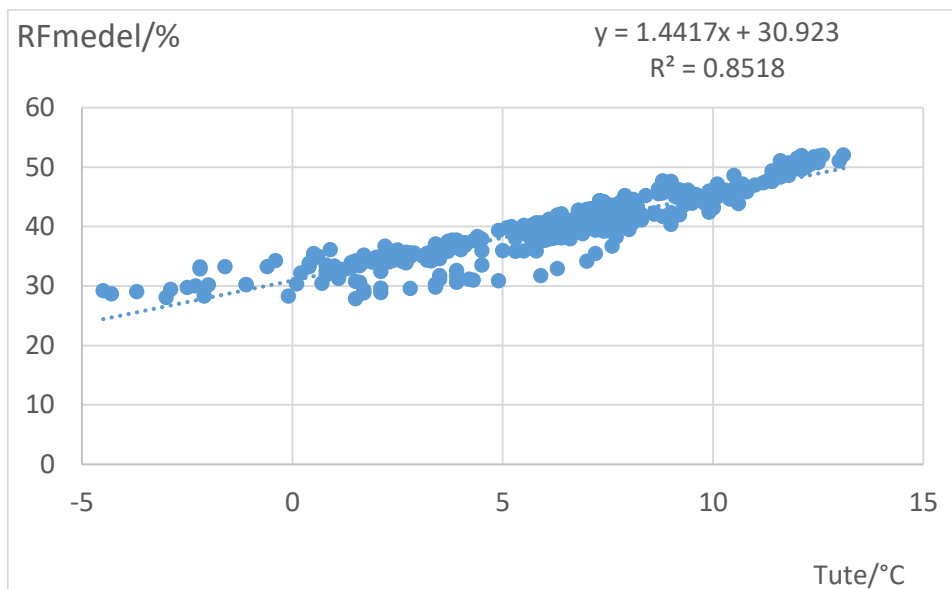


Figur 14: Mätta koldioxidkoncentrationer inne i olika rum i de två lägenheterna. Vid startpunkten har loggrarna placerats ut och det har varit personer i lägenheterna.

Figur 15 visar innetemperaturen som funktion av utetemperaturen, där den nästan konstanta regressionslinjen indikerar att regleringen av innetemperaturen fungerar tillfredsställande. Variationen i innetemperatur är liten, och det man vill ha av ett sådant diagram är att temperaturen inne är konstant tills det blir för varmt ute då den ökar med utetemperaturen. Figur 16 visar RF som funktion av utetemperaturen och även här ser man att det blir en direkt påverkan på grund av utetemperaturens påverkan på vatteninnehållet.



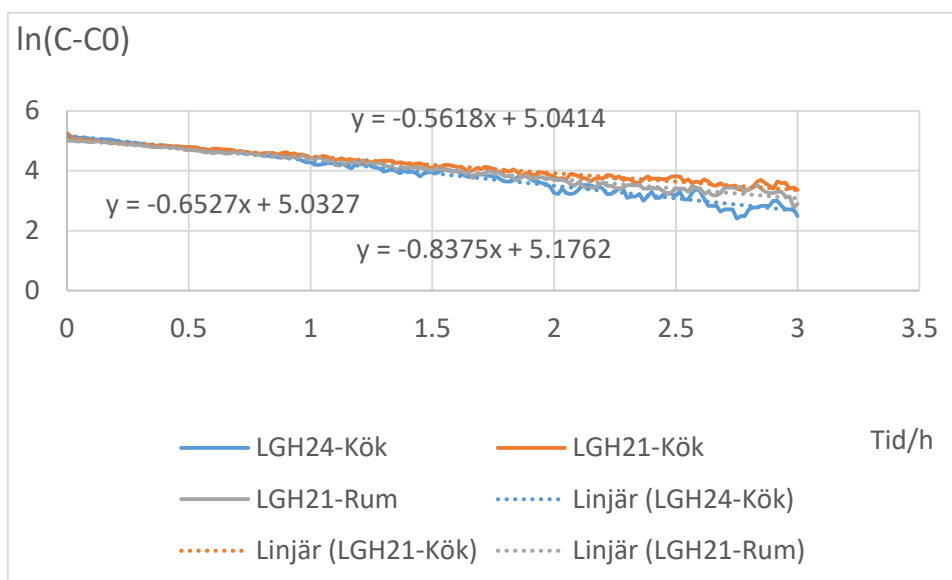
Figur 15: Mätt innetemperatur som funktion av utetemperatur med regressionslinje.



Figur 16: Mätt RF inne som funktion av utetemperatur med regressionslinje.

Luftomsättningen kan beräknas om en spårgas klingar av mot ett konstant värde på koncentrationen som tillkommande luft har. Detta mättes till i genomsnitt 396 ppm koldioxid. Figur 17 visar avklingningsförloppet från besöket vid placeringen

av mätutrustningen. Lutningen på regressionslinjerna ger omsättningstalen 0.56 /h, 0.65/h respektive 0.84/h för de olika mätpunkterna. Detta är lite mer än 0.35 l/(s·m²), men det rör sig om små lägenheter där man förväntar sig högre flöde.



Figur 17: Koldioxidavklingning efter placerandet av loggrarna med regressionslinjer.

Donmätningarna gav för LGH21 18,8 l/s = 0,78 l/(s·m²) och för LGH24 25,1 l/s = 1,05 l/(s·m²). Detta svarar mot högre flöden än avklingningen visade, där 0,35 l/(s·m²) svarar mot cirka 0,5 /h. Förklaringen till skillnaden kan ligga i dålig luftomsättning och luftutbyteseffektivitet med vissa kortslutningar, men också i viss mätosäkerhet.

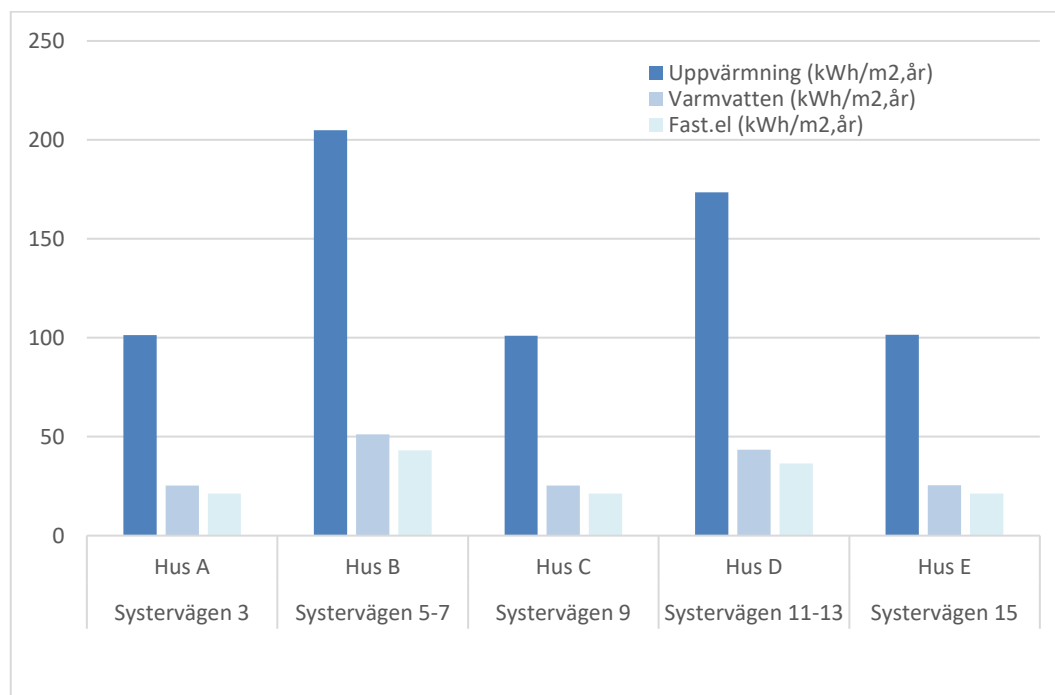
Inneklimatet i lägenheterna är rimligt och värme och ventilation fungerar och kan justeras och justeras så att inneklimatet blir bra, även om injustering behövs. Vid besöket var vissa ventiler och don igentjupade, troligen på grund av drag och buller, vilket pekar på vikten med rätt injustering, information och, om det är rimligt, en FTX-konvertering som också skulle minska energianvändningen. Detta gäller de allra flesta flerbostadshus i Sverige, eftersom de allra flesta saknar den typen av värmeåtervinning. Mätningar har inte gjorts på sommaren, men att det skulle vara omfattande problem med övertemperatur är inte troligt i jämförelse med nybyggda bostäder.

Status energianvändning

Energistatistik för fastigheten erhöles från Region Skåne. Det är en fjärrvärmecentral för de fem huskropparna, med värmefördelning via kulvertsystem. Undermätning av energi per byggnad saknas. Energiförbehovet per byggnad är därför kvoterat baserat på Atemp. UC ligger på Systervägen 9.

Mätdata är normalårskorrigerad med energiindex. Det är en stor avvikelse pga normalårskorrigerad i framförallt maj och juni. Detta har i detta projekt noterats men ej analyserats ytterligare.

Undermätning för energi till varmvatten saknas. Region Skåne använder schablon för varmvatten, där man räknar att 20% av den köpta fjärrvärmens går till varmvatten, 80% till uppvärmning. Denna schablon har använts vid framtagande av den energistatistik för Sjuksystem 2 som använts i detta projekt. Energianvändningen för 2021 för Sjuksystem 2 presenteras i Figur 18, uppdelat på energi till uppvärmning, varmvatten och fastighetsel, fördelat per m², Atemp.



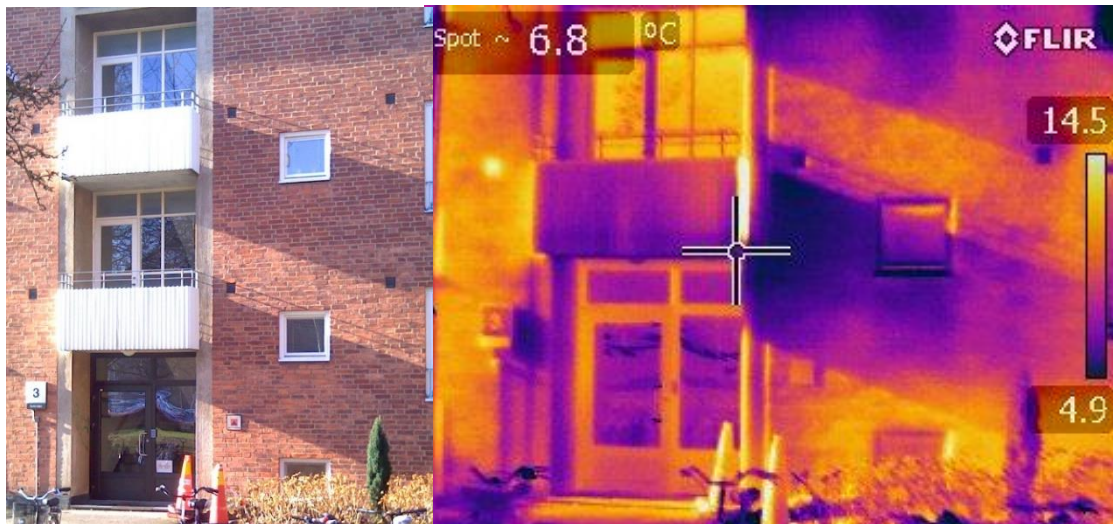
Figur 18: Uppmätt energibehov 2021 för Systervägen 2, fördelat per Atemp och byggnad.

Energianvändningen för uppvärmning ligger enligt denna mätning på en bra nivå och indikerar inte på omfattande behov av energieffektivisering.

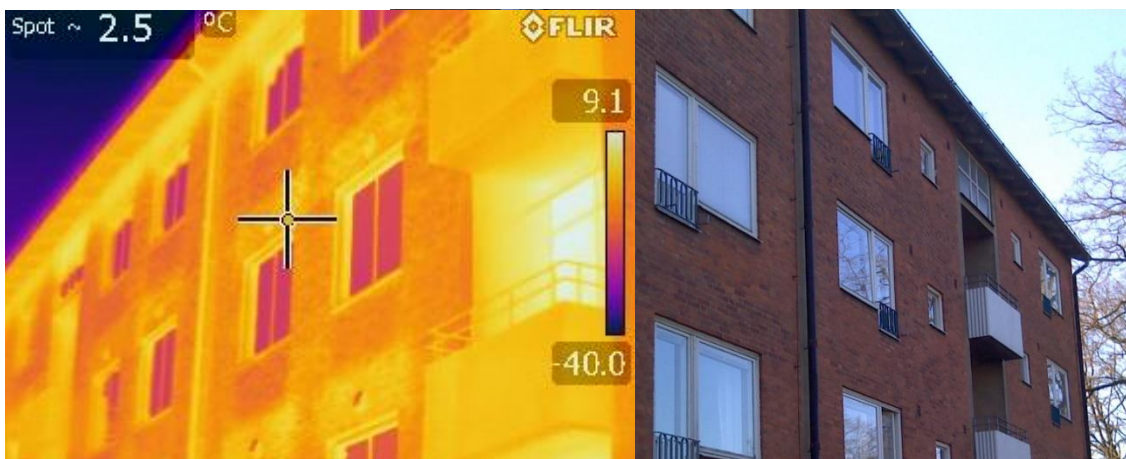
Termografering

Byggnaderna fotograferades med en värmekamera för att undersöka värmeläckage genom klimatskalet. Termograferingen utfördes i februari 2021 vid klart väder, en utomhustemperatur på ca 5 °C och mycket låg vindhastighet.

Vid termograferingen lades extra fokus på de troliga köldbryggorna i och runt fönster och de tvärgående betongbanden. Resultatet visade stora värmeförluster från fönsterpartierna i trapphuset och från fönstren i bostäder, se Figur 19 och Figur 20.



Figur 19: Termografering av trapphus.



Figur 20: Termografering fönster.

De förväntade köldbryggorna i de tvärgående betongbanden kunde inte bekräftas vid termograferingen, se Figur 21.



Figur 21: Termografering av betongband i fasad.

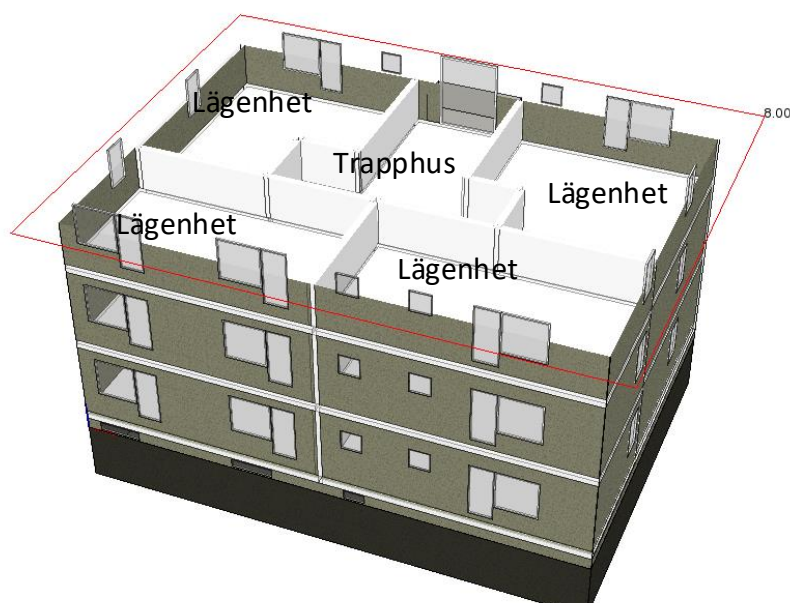
Termograferingen påvisade energiförluster genom fönster, vilket användes vidare vid val av renoveringsåtgärder. Det fanns också värmeläckage vid takfot och bakom radiatorer. I övrigt syntes inga specifika köldbryggor, dock var byggnaderna endast delvis uthyrda vid fotograferingstillfället, vilket kan ha påverkat resultatet.

Energieffektivisering

För att utvärdera olika sätt att energieffektivisera byggnaden användes simuleringssverktöget IDA-ICE (EQUA, 2020). Detta används både i branschen i Sverige och flera andra Europeiska länder men också för forskningsändamål och har verifierats i flera studier, (EQUA, 2010a), (EQUA, 2010b). För att utvärdera olika åtgärder måste ett grundfall etableras, det vill säga en modell av den befintliga byggnaden innan åtgärd. För att göra detta med så stor överensstämmelse med den verkliga byggnaden hade ett stort underlag varit nödvändig. I detta fall har i huvudsak ritningar men också några mätningar gjorts varefter antaganden har gjorts för att fylla luckorna. Då det är den relativa inverkan av olika åtgärder som undersöks är det framförallt viktigt att användningen av byggnaden modelleras på samma sätt före och efter åtgärd, inte att den representerar verkligheten exakt. Vidare är det endast energibehovet för uppvärmning av byggnaden som undersöks, dvs bruttobehovet för byggnaden utan eventuella reduktioner för värmepumpar eller distributionsförluster. Inte heller tappvarmvatten eller fastighetselen undersöks. För påverkan ur global uppvärmningssynpunkt har antagandet att fläktelen för FTX-system och F-systemet är densamma gjorts, det som skiljer är att materialet som adderas för nya fläktar och kanaler för FTX-systemet.

Byggnadens utformning, geometri och klimat

Byggnaden modellerades med tre plan enligt Figur 22 där varje hörn av byggnaden utgjordes av en lägenhet. Varje plan hade arean 200 m² varav ca 17 % utgjordes av trapphuset som modellerades i mitten av byggnaden men med en yttervägg. Källare och vind modellerades vardera som en stor zon. Fönstren placerades enligt ritning och presenteras i Figur 22 och utgjorde ca 12-20% av golvytan i lägenheter. Klimatet som byggnaden simulerades i är SVEBYs normalår för Lund mellan konstruerad av data för åren mellan 1981-2010 (SVEBY, 2016).



Figur 22: Bild av byggnad modellerad i IDA-ICE i genomskärning för att visa fördelning av lägenheter och placering av trapphus.

Byggnadens egenskaper och tekniska system

Värmeförlusterna sker främst genom transmission, ventilation och luftläckage. För att modellera det förstnämnda modellerades klimatskalet efter befintliga ritningar. Dvs värmetransmissionen för väggarna är inte uppmätta utan blir summan av delarna från ritningen där de olika materialens egenskaper antas, se exempel för yttervägg i Tabell 4. På samma sätt modellerades övriga byggnadsdelar och dess U-värden visas i Tabell 5. I samma tabell visas också den antagna inverkan av köldbryggor som i denna studie gjorts med ett schablonpålägg om 15 % av den totala transmissionsförlusten för samtlig byggnadens ytor ($U \cdot A$). I tabellen sätts också antagandet om luftläckaget vilket modelleras sin att vinddrivet (tryckskillnad) luftläckage med läckageflödet $1,6 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2)$ ytteryta vid 50 Pa tryckskillnad. Den tredje aspekten vilken genererar värmeförluster i byggnaden är ventilationen. I projektet uppmättes ventilationen i en av de andra huskropparna och visade på höga flöden i jämförelse med av Boverket föreskrivna värdet på $0,35 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2)$. Detta kan motiveras med att lägenheterna är små och att frånluftsflödet för att bortföra fukt och föroreningar istället varit dimensionerande. Detta applicerades också för denna byggnad och resulterade i ett flöde på $0,6 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2)$. Detta flöde appliceras för samtliga ytor i byggnaden som innefattas av tempererad area, dvs area uppvärmd till mer än 10°C .

Tabell 4: Ytterväggens uppbyggnad enligt ritning men med antagna materialegenskaper.

<i>Yttervägg Utsida-In</i>			
Material	d [m]	λ [W/mK]	densitet [kg/m³]
Fasadtegel	0,12	0,6	1600
Glasullsmatta	0,03	0,037	15-200
Månghålstegel	0,12	0,5	1500

Tabell 5: Egenskaper för byggnadsdelar.

Byggnadsdel	Egenskaper
Yttervägg	0.77 W/(m ² ·K)
Vindsbjälklag	0.65 W/(m ² ·K)
Fönster	2.8 W/(m ² ·K)
Källarvägg	3.6 W/(m ² ·K)
Källargolv	4.4 W/(m ² ·K)
Luftläckage	1,6 l/(s·m ²) vid 50 Pa
Köldbryggor	15 % av U·A

Byggnadens användning

För att kunna uppskatta en byggnads årsenergianvändning behövs förutom byggnadens utformning och tekniska egenskaper användningen av byggnaden ansättas. Användningen av byggnaden ur ett energiperspektiv där vi undersöker energianvändningen för uppvärmning är de aspekter som påverkar effektbalansen. Människor och den hushållsel som används alstrar värme innanför klimatskalet och blir därför ett tillägg i effektbalansen som påverkar mängden värme som systemet behöver tillföra. Då det inte finns någon mätdata med avseende på dessa parametrar modelleras dessa utifrån boverket's föreskrifter om normalt brukande BEN 2, (Boverket, 2017). Där hushållselenergin sätts till 30 (kWh/m²·år) av vilken 70 % tillgodogörs byggnaden som värme. Personlasten utgår från de fem

lägenheterna och 1,43 (personer/lgh) som sedan slås ihop till fyra lägenheter varefter det blir 1,8 personer/lgh som enligt BEN2 är närvarande 10 timmer per dygn året runt. Börvärdet eller den önskade temperaturen inomhus påverkar också mängden energi som behöver tillföras och denna väljs till 21°C enligt BEN2. Här skulle man kunna använda uppmätta värden men med tanke på att det är den relativa skillnaden för olika åtgärder som är av intresse är det viktigare att bibehålla samma användning av byggnaden snarare än att försöka modellera den så lik verkligheten som möjligt. Källare och trapphus modelleras med en inomhustemperatur på 15°C för att man inte behöver värma dessa lika mycket då dessa inte är boytor. Vinden modelleras som en kall vind utan uppvärmning och ingår inte i den temperade arean.

Renoveringsåtgärder

De energieffektiviserande åtgärder som valdes utgick ifrån att kunna bibehålla fönsterstorlekar och placeringar för att kunna åstadkomma samma mängd dagsljus, bibehålla form och gårdar för trygghet, stabilitet och mötesplats, samt bibehålla byggnadernas uttryck och känsla av funkis. Invändig isolering möjliggör att fasadteglet kan behållas. För att säkra ett gott inneklimat inkluderas även mekanisk ventilation med till- och frånluft och värmeväxlare (FTX).

Fönsteråtgärder

Fönsteråtgärderna kan delas in i tre olika lösningar där med successivt minskande U-värde men med olika påverkan på bevarandet av ursprungsfönstret. För att kunna jämföra de olika fallen ur energisynpunkt har fönstrets g-faktor eller egenskap att släppa igenom solvärme inneburit samma förändring för alla åtgärder, från 0,75 till 0,65. Det nya fönstrets egenskaper har därför skapats utifrån denna premiss samt att sänka U-värdet till 1 W/(m²·K) för både fönster och karm. För invändig kassett där det adderas en glasruta till det befintliga fönstret har sänkning ansatts till 1,3 W/(m²·K) enligt data från tillverkare av sådana lösningar. I det sista fallet byts den inre rutan mot lågemissionsglas och får en sänkning till 1,8 W/(m²·K), (Fredlund, 1999).

Tilläggsisolering vindsbjälklag

Detta görs med 180 mm mineralull på vinden med motivet att det anpassas till befintliga regelstorlekar och att man då kan bibehålla ytan på vinden för eventuella förråd. Ingen hänsyn till brand har tagits.

FTX-ventilation

Motivet till att testa även FTX-ventilation gjordes med delvis på grund av att det är en rimlig energibesparande åtgärd med tanke på det höga ventilationsflödet. Men också med tanke på det som påträffades vid inventering och mätning av inneklimatet där uteluftsventilerna ofta varit stängda och igensatta vilket skulle kunna tyda på komfortproblem. Ur energisynpunkt så kopplades samtliga ytor representerade av Atemp till en värmeväxlare med temperaturverkningsgrad på 70 % med begräsning uppåt för tilluften på 20°C och nedåt med 1°C för avluften vilket betyder att verkningsgraden sjunker då tilluften inte behöver mer värme samt när avluften understiger 1°C.

Invändig tilläggsisolering yttervägg

Invändig tilläggsisolering valdes för att inte påverka det yttre fasadteglet. Tilläggsisolering är dock väldigt känsligt ur fuktskadesynpunkt varför en separat studie med beräkningsverktyget WUFI, (2022), genomfördes (se bilaga 1). Fem olika lösningar för tilläggsisolering undersöktes såsom cellplast, minarallull, cellulosa fibrer och kalciumsilikatskiva enligt Tabell 6. Samtliga anpassades med en tjocklek som motsvarade en halvering av det befintliga U-värdet för ytterväggen. Analysen undersökte dels fuktkänsligheten invändigt men också om den adderade isoleringen ökade risken för en kallare fasad och därmed ökad risk för frostsprängning. Den lösning som fungerade bäst ur fuktsynpunkt var kalciumsilikatskivan (CaSi-Board), vilket därför användes i vidare simuleringar.

Tabell 6: Olika lösningar för invändig tilläggsisolering.

Lösning	Tjocklek [m]	Diffmotstånd vattenånga [-]	Koeff. Suction max [m²/s]
EPS Grey 032	0.04	57	0
ROCKWOOL Klemmrock 035 + vapour retarder (sd=100m)	0.043	1,3+100 000	0
CaSi-Board (Lüneburg)	0.067	3,23	2,0*10 ⁻⁵
Cellulose Fibre (heat cond.: 0,04 W/mK)	0.058	1,5	0
ROCKWOOL Klemmrock 035 + ISOVER Vario KM Duplex	0.043	1,3+4000	0

Övriga byggnadsdelar bibehöll samma standard före och efter renovering. I Tabell 7 listas åtgärderna tillsammans med tidigare egenskaper och egenskaperna som erhöles efter renovering. Angående lufttätheten så testades för varje lösning olika nivåer av ökad täthet då detta är en faktor med stor osäkerhet.

Tabell 7: Energieffektiviserande åtgärder.

Byggnadsdel	Åtgärd	Tidigare egenskaper	Nya egenskaper
Yttervägg	Invändig 7 cm Kalcium silikat skiva	0,77 W/(m ² ·K)	0,385 W/(m ² ·K)
Vindsbjälklag	180 mm mineralull	0,65 W/(m ² ·K)	0,18 W/(m ² ·K)
Fönster	Nytt fönster	2,8 W/(m ² ·K)	1 W/(m ² ·K)
	Adderad glasruta/kasett		1,3 W/(m ² ·K)
	Byta inv glas mot LE-glas		1,8 W/(m ² ·K)
Källarvägg	Ingen åtgärd	3.6 W/(m ² ·K)	
Källargolv	Ingen åtgärd	4.4 W/(m ² ·K)	
Luftläckage	Tätning i samband med åtgärd	1,6 l/(s·m ²) vid 50 Pa	0,4-1,6 l/(s·m ²) vid 50 Pa
Köldbryggor	Förbättrar eventuella konstr. KB men relativ påverkan ökar	15 % av U·A	15 % av U·A

Nybyggnation

För att bibehålla tanken om bevarande av byggnadens uttryck, utformning, storlek och placering modellerades nybyggnationen med exakt samma utformning som den befintliga byggnaden med skillnaden att egenskaperna på klimatskalets olika delar förbättrades, enligt Tabell 8. Man kan ha i åtanke att även den uppvärmda ytan bibehållits vilket medför att den nya byggnaden i själva verket blir något större än den befintliga på grund av den ökade väggjockleken. Värderna för respektive byggnadsdel har hämtats från olika typlösningar av moderna konstruktioner. Luftläckaget ansätts till det tidigare passivhuskravet på 0,3 l/(s·m²) vid 50 Pa. Ventilationsflödet samt användningen av byggnaden modelleras på samma sätt som i grundfallet och vid renoveringarna. Resultatet av energiberäkningen för nyproduktion redovisas i Figur 24.

Tabell 8: Byggnadsskalets egenskaper för nybyggnation.

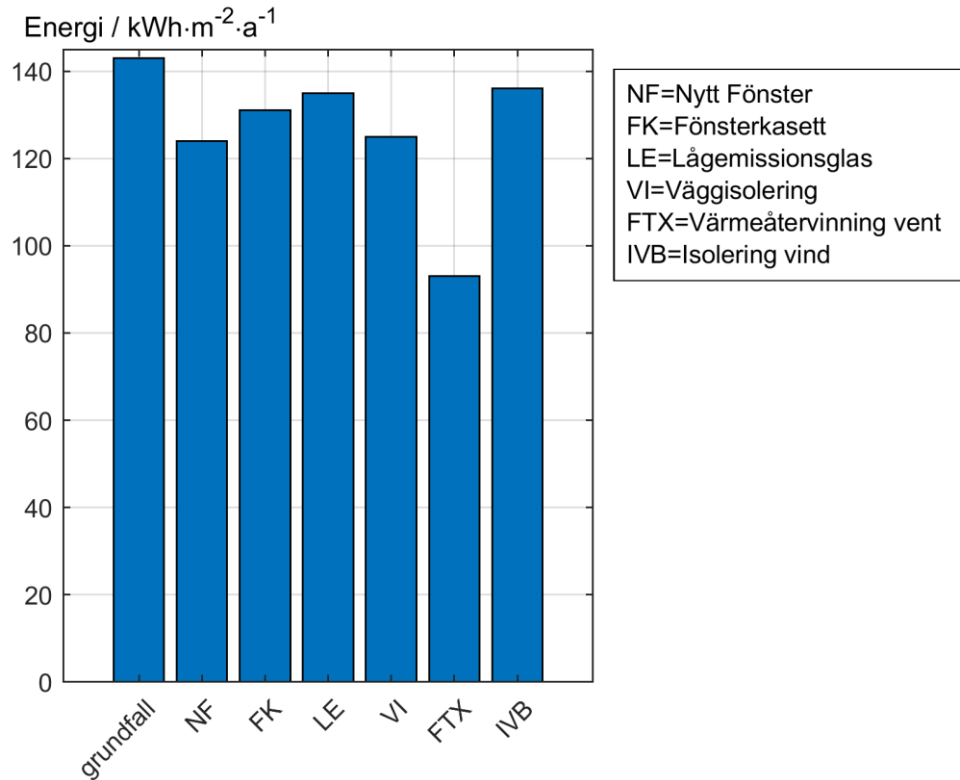
Byggnadsdel	Egenskaper
Yttervägg	0.11 W/(m ² ·K)
Vindsbjälklag	0.09 W/(m ² ·K)
Fönster	1 W/(m ² ·K)
Källarvägg	0,17 W/(m ² ·K)
Källargolv	0,12 W/(m ² ·K)
Luftläckage	0,3 l/(s·m ²) vid 50 Pa
Köldbryggor	15 % av U·A

Resultat energiberäkningar

Energianvändning för den befintliga byggnaden (grundfallet) blev efter antaganden strax över 140 kWh/(m²·år) och redovisas tillsammans med de enskilda åtgärderna i Tabell 9. I Figur 23 visas medelvärdet av den beräknade energianvändningen för åtgärden, som testats för olika luftläckage. De beräknade energiintervallen som Figur 23 bygger på visas i Tabell 9. I denna tabell visas också den procentuella inverkan av de respektive åtgärderna.

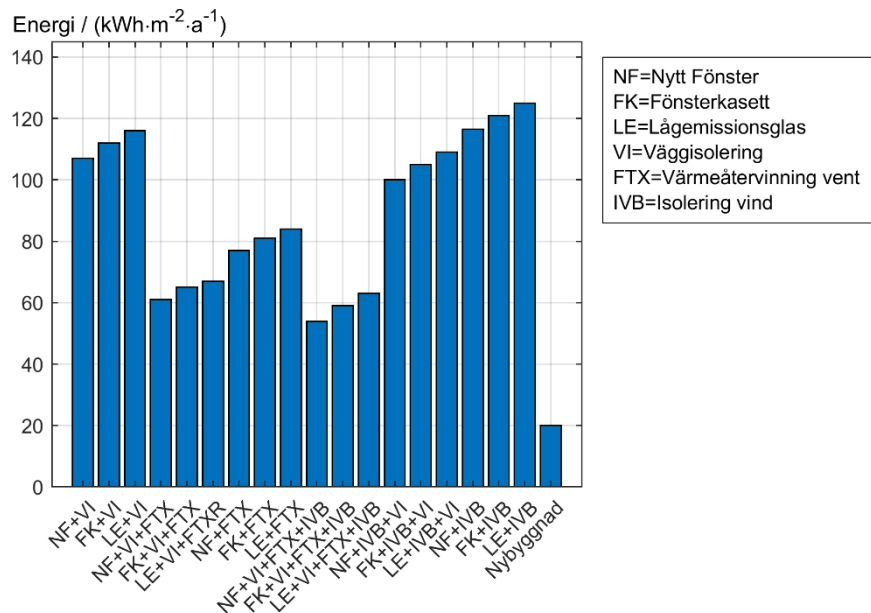
Tabell 9: Energianvändning för grundfallet och enskilda renoveringsåtgärder.

Åtgärd	Luftläckage [l/(s·m ²) vid 50 Pa]	Energi [kWh/(m ² ·år)]	Procentuell minskning
Lågemissionsglas	0,8-1,6	133-137	4-7 %
Fönsterkassett	0,8-1,6	129-133	7-10 %
Nytt fönster	0,8	124	14%
Tilläggsisolering yttervägg	0,8-1,6	123-127	11-14 %
Isolering vindsbjälklag	1,6	136	5%
FTX	0,4-1,6	90-96	33-37 %



Figur 23: Årlig energianvändning per kvadratmeter uppvärmd yta för grundfallet samt de enskilda åtgärderna.

I Figur 24 redovisas energianvändningen för olika kombinationer av åtgärder samt i förhållande till nybyggnation av en likadan byggnad med modernt byggnadsskal.



Figur 24: Årlig energianvändning per kvadratmeter uppvärmd yta för olika kombinationer av åtgärder samt nybyggnation.

Global uppvärmningspotential (GWP)

Med hjälp av livscykelanalyser (LCA) bedöms hur den globala uppvärmningspotentialen (GWP) varierar med olika renoveringsåtgärder. Den funktionella enheten för analyserna är 1 m² uppvärmd yta av renoverad byggnad som uppfyller BBRs krav för en renoverad byggnad. Beräkningsperioden är 50 år. I bedömningen av GWP har material och energianvändningen för uppvärmning av byggnaden inkluderats med samma antagande om material och materialegenskaper har använts i energiberäkningen. Bedömningen har gjorts som en jämförelse mellan olika alternativ för vad man kan göra med byggnaden. Eftersom bedömningen görs som en jämförelse mellan olika alternativ för samma byggnad så är bara det som skiljer de olika alternativen som är inkluderat i bedömningen. Allmänt underhåll av byggnaden som behövs för att den ska hålla i 50 år antas vara detsamma oavsett vilken eller om energieffektiviseringsåtgärderna genomförs eller ej, därav inkluderas inget underhåll i bedömningen.

Initialt simulerades GWP för om ingen energieffektiviserade åtgärd utförs på byggnaden. Detta grundfall ligger sedan till grund för att se om en renoveringsåtgärd ger en högre eller lägre GWP. Den globala uppvärmningspotentialen för de fem olika renoveringsalternativen har bedömts och jämförts med grundfallet. I grundfallet, är det enbart den globala uppvärmningspotentialen från byggnadens energianvändning för uppvärmning som är med i bedömningen då det för detta alternativ inte tillförs några material.

Förutom simuleringen av den befintliga byggnaden (grundfallet) och de olika renoveringsåtgärderna har även GWP beräknats för nybyggnationen som förslagits som ett alternativ. Nybyggnationen har samma form och utförande som den befintliga byggnaden. I livscykelanalysen för nybyggnaden har klimatskalet och den bärande konstruktionen samt byggnadens energianvändning inkluderats i bedömningen. Den funktionella enheten för analyserna är 1 m² uppvärmd yta av byggnad som uppfyller BBRs krav. Beräkningsperioden är 50 år. Bedömningen har gjorts i tre olika utförande. Först beräknades GWP för att uppföra den nya byggnaden enligt ovan angivna förutsättningar. Efter det genomfördes beräkningen där rivningen av den befintliga byggnaden inkluderades. En tredje bedömning genomfördes där den nya byggnaden uppförs med återbrukat tegel från den befintliga byggnaden. Det återbrukade teglet antas inte ha någon GWP för produktionen av materialet.

De livscykelstadier som inkluderas för materialen är materialproduktionen (A1-A3) samt slutskedet (C1-C4). Förutom den globala uppvärmningspotentialen för materialen så inkluderas också den globala uppvärmningspotentialen för byggnadens energianvändning för uppvärmning, B6. Byggnadens övriga energianvändning, fastighetsel, hushållsel och uppvärmning av varmvatten antas förbli den samma oavsett energieffektiviseringsåtgärder genomförs eller inte samt för nybyggnaden.

GWP för energianvändningen i byggnaden har simulerats i programvaran OpenLCA (version 1.10.3). Simuleringarna gjordes med beräkningsmetoden "ILCD 2011 midpoint v.1.0". För livscykelinventeringsdata användes den

kostnadsfria europeiska referensdatabasen från Joint Research Center, version 3.2 (ELCD).

Byggnaden är ansluten till Lunds fjärrvärmenät. Därav har bedömningen av GWP för energianvändningen för uppvärmning utgått från den mix av olika energislag som Lunds fjärrvärmenät bestod av 2020 enligt Energiföretagens sammanställning av energislag, enligt Tabell 10 (Energiföretagen, 2020).

Tabell 10: Energislag i Lunds fjärrvärmenät.

Energislag (Energiföretagen, 2020)	Andel energislag /% (Energiföretagen, 2020)	Källor i ELDC databas /Antagande
Industriell spillvärme	2.1	Allokerad till huvudprocessen.
Rökgaskondensering	10.9	Allokerad till huvudprocessen.
Köpt hetvatten från annat fjärrvärmeföretag, förnybar eller återvunnen energi	14.3	Allokerad till huvudprocessen.
Köpt hetvatten från annat fjärrvärmeföretag, fossilt	0,07	Allokerad till huvudprocessen.
Värme från värmepumpar (netto) (är värme från värmepumpar minus tillförd el till värmepumpar)	14.2	Anges som noll i GWP. GWP för energislaget pga. värmepumpen är inkluderat i den totala användningen av el.
Förnybar el till elpannor, värmepumpar och hjälpel till distribution	9.8	Källa i ELDC database: "Electricity mix – (Electricity grid mix 1kV-60kV, consumption mix, at consumer, AC, 1kV - 60kV - EU-27)"
Sekundära biobränslen	24.7	Källa i ELDC database: "Pellets – (Heat, consumption mix, at consumer, residential heating systems from wood pellets, boiler, max. heat output 14,9 kW, at a temperature level of 70°C"
Bioolja och tallbeckolja	2.9	
Pellets, briketter och pulver	0.3	
RT-flis	19	
Deponi-och rötgas	1.6	Källa i ELDC database: "process steam from natural gas"
Eldningsolja	0.1	Källa i ELDC database: "Light fuel oil – (Process steam from light fuel oil, consumption mix, at plant, heat plant, MJ – SE)"

För simuleringen av GWP för byggnadens energianvändning så antas fem olika energiscenarion. De olika energiscenariorna har tagits fram utifrån att fyra olika parametrar har varierats. För varje scenario så har en av de fyra parametrarna ändrats, enligt Tabell 11. Parametrarna som varierats är:

- Källa för energislagens GWP. Beroende på vilket källa man använder sig av för hur stor GWP olika energislag har, varierar resultaten. I denna studie har GWP beräknats från ELCD databasen som finns tillgänglig via mjukvaran OpenLCA. I scenario I har en alternativ källa för information använts. Beräkningarna gjorts med den GWP per kWh energi som är redovisat i Energiföretagens sammanställning av fjärrvärmens GWP.
- Eventuell förändring i energimix under beräkningsperioden. Det är stor osäkerhet i vilka källor till energin som kommer att användas i fjärrvärmensätet så långt fram som 50 år. I scenario II antas att man inte använder några fossila bränslen i fjärrvärmemixen. För Lunds fjärrvärmemix innebär det att andelarna av naturgas och olja ersätts genom att andelarna elektricitet och biobränslen blir större.
- Vilket fjärrvärmensät (energimixen). Utgångsläget för energimixen i fjärrvärmensätet är Lund, då det är i Lund byggnaderna ligger. I scenario V, har bedömningen gjorts med energimixen som fjärrvärmensäten i Sverige har i medel. Detta är gjort för att ge en mer geografisk generaliserande bild av GWPen för byggnaden.
- Vilken elektricitetsmix som är med i fjärrvärmemixen. I Lunds fjärrvärmensät är nästan 10% av energin från elektricitet. Som utgångsläge för simuleringarna så har GWP för den svenska elmixen använts. I scenario IV har den svenska elmixen byts ut mot den europeiska elmixen.

Tabell 11: De olika varierade parametrarna i bedömda energiscenario.

Energiscenario	Fjärrvärmensät	Energimix under beräkningsperioden	Källa för LCI	Elmix
Scenario I	Lund	Dagens energimix	Energiföretagen	Svensk
Scenario II	Lund	Dagens energimix utan naturgas och olja	ELCD databasen	Svensk
Scenario III	Lund	Dagens energimix	ELCD databasen	Svensk
Scenario IV	Lund	Dagens energimix	ELCD databasen	Europeisk
Scenario V	Svenskt	Dagens energimix	ELCD databasen	Svensk

GWP de byggnadsmaterial som ingår i beräkningarna är baserat på information från EPD:er. Då det är mycket oklart vilka material som kommer att användas har EPD:er från många olika tillverkare av samma produkt sammanställts. Simuleringar för renoveringsåtgärderna har sedan utförts för min- och max-värden

av materialens GWP, så att resultatet visar det spann där den globala uppvärmningspotentialen sannolikt ligger. För nybyggnationen har samma mängd av liknande material som finns i den befintliga byggnaden idag använts. Konstruktionsdelarnas olika materialskikt och relevanta egenskaper för genomförd LCA är presenterade i Tabell 12. I Tabell 12 redovisas också vilka materialval som har gjorts i bedömningen av GWP för nybyggnationen.

Tabell 12: Konstruktionsdelarnas materialskikt och egenskaper för nybyggnation.

Konstruktionsdel	Materialsikt	Egenskaper	Källor till GWP
<i>Ytterväggar</i>	Stenull	419 m ² R-värde: 8,4 m ² K/W	Medelvärde mellan minimala och maximala materialvalen: - (Steinull hf., 2019) - (Steinull hf., 2018)
	Betong	419 m ² Tjocklek: 150 mm Densitet: 2400 kg/m ³	(AF Prefab Mälardalen, 2022)
	Tegelfasad	419 m ² Tjocklek: 120 mm Densitet: 1600 kg/m ³	A1-A3, medelvärde från tre olika tegel i: (Marshalls Bricks & Masonry, 2021) C1-C4: (HELUZ cihlárský prumysl v.o.s., 2015)
<i>Tak</i>	Betong	400 m ² Tjocklek: 200 mm Densitet: 2400 kg/m ³	(Strängbetong AB, 2019)
	Stenull	400 m ² Tjocklek: 400 mm R-värde: 10,8 m ² K/W	Medelvärde mellan minimala och maximala materialvalen: - (Steinull hf., 2019) - (Steinull hf., 2018)
<i>Fönster</i>	Fönster	89 m ² U-värde: 0,9 W/m ² K	Medelvärde av min och max-värde för: - (NorDan AS, 2020) - (Nordvestvinduet AS, 2015)

	Lister	180 m	
<i>Källare - vägg</i>	Betong	116 m ² Tjocklek: 200 mm Densitet: 2400 kg/m ³	(AF Prefab Mälardalen, 2022)
	XPS	116 m ² Tjocklek: 200 mm R-värde: 5,4 m ² K/W	(Brodr Sunde AS, 2022)
<i>Källare - golv</i>	Betong	400 m ² Tjocklek: 100 mm Densitet: 2400 kg/m ³	(Strängbetong AB, 2019)
	XPS	400 m ² Tjocklek: 300 mm R-värde: 8,1 m ² K/W	(Brodr Sunde AS, 2022)
<i>Ytterdörrar</i>	Dörrar	Antal: 12	(Kundsen Dørfabrik AS, 2020)
	Lister	82 m	

Den förväntade livslängden för komponenterna som ingår i denna studie bedömdes enligt de metoder som beskrivs i ISO 15686-2:2012 och ISO 15686-8:2008. För material som byggs in t.ex. isoleringsmaterial och betongstommen, antas de ha samma livslängd som byggnaden, vilket är 50 år. Fönster och dörrar antas ha en livslängd på 30 år, enligt EN 15459:2007. När det gäller ventilationsåtgärden var den förväntade livslängden för det nya luftbehandlingsaggregatet (AHU) 20 år (Dodd, Cordella, Traverso, & Donatello, 2017), för det nya kanalsystemet 30 år (ASHRAE, 2013) och för tilluftsdonen 25 år (Klimatbyrån, 2015). Efter 20 år antogs att ventilationssystemet skulle behöva en större översyn eller att delar måste bytas ut för att förlänga systemets livslängd.

Resultat GWP

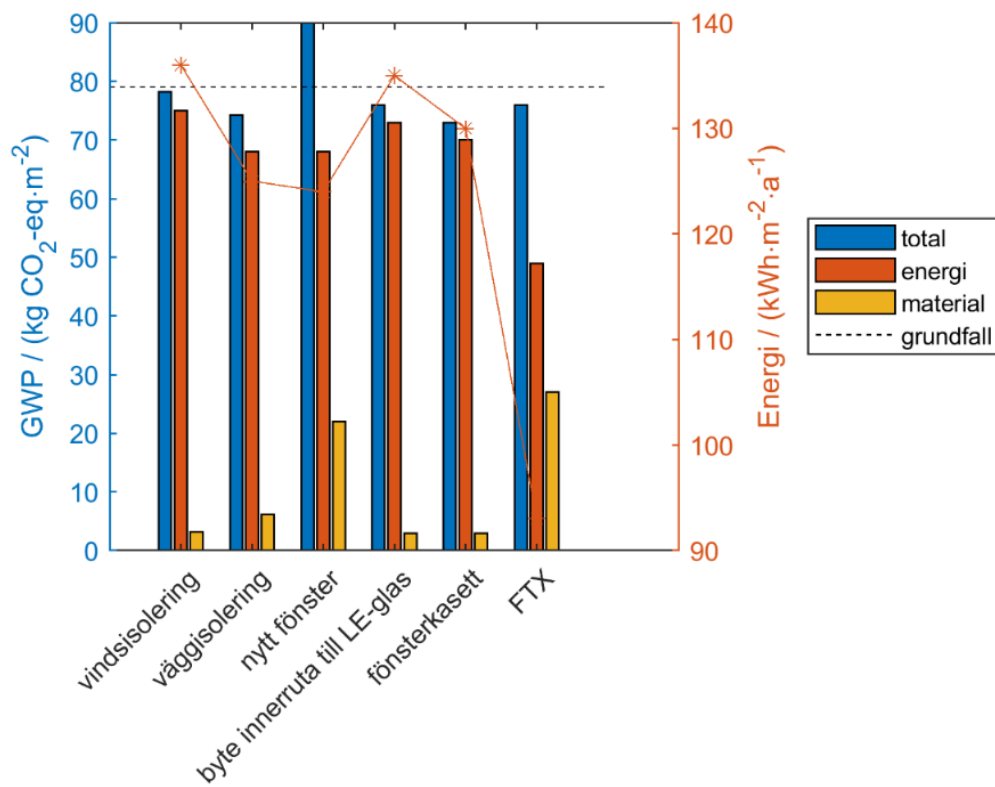
Resultaterande GWP per kWh energi för de olika energiscenarierna är redovisade i Tabell 13.

Tabell 13: Resulterande GWP för energiscenario I-V.

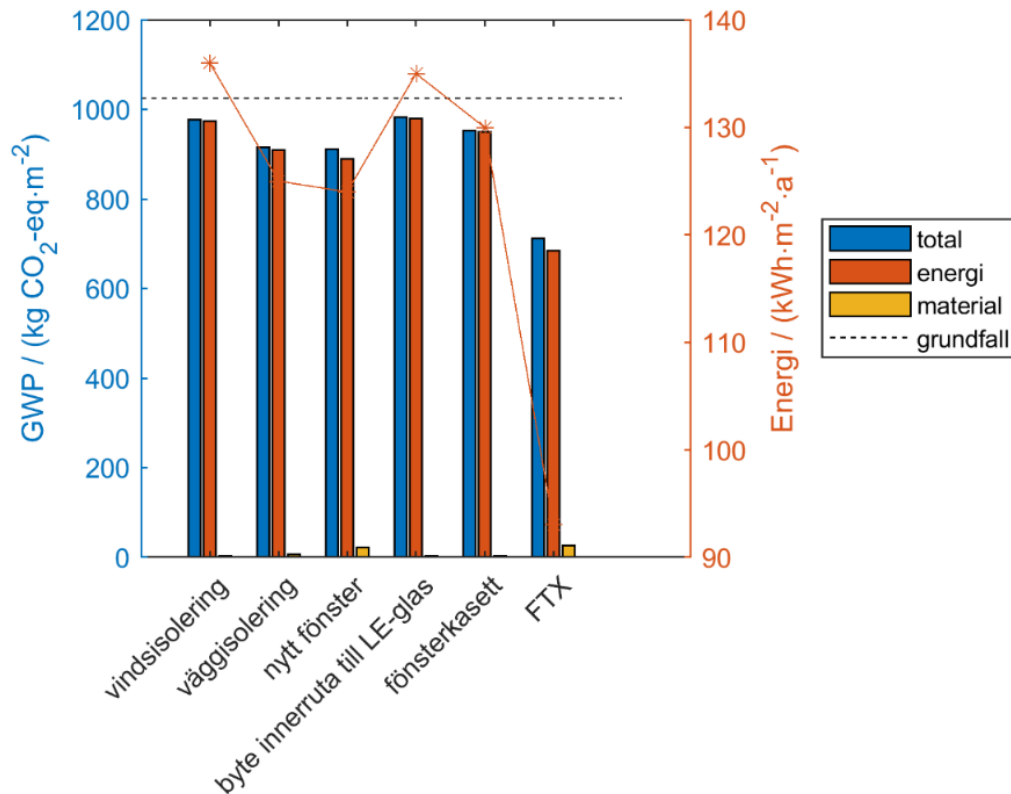
Energiscenario	GWP [kg CO₂ eq. per kWh]
Scenario I: Lunds fjärrvärmenät med svensk elmix. Lokala miljövärden från Energiföretagen	0,55
Scenario II: Lunds fjärrvärmenät med svensk elmix. Antaget att naturgas och olja har exkluderats från fjärrvärmen.	0,80
Scenario III: Lunds fjärrvärmenät med svensk elmix.	0,98
Scenario IV: Lunds fjärrvärmenät med Europeisk elmix.	3,00
Scenario V: Svensk fjärrvärmemedelmix med svensk elmix.	7,14

I Figur 25 och Figur 26 presenteras den globala uppvärmningspotentialen för byggnaden om de olika energieffektiviseringsåtgärderna genomförs. I figurerna visas GWP och den resulterande energianvändningen för de olika renoveringsåtgärderna. Den globala uppvärmningspotentialen är redovisad som tre staplar för respektive åtgärd; den totala samt uppdelat på inverkan av energianvändningen och de material som adderats.

I Figur 25 visas den bästa energimixen (scenario 1) i kombination med material med högst inverkan. I Figur 26 visas den sämsta energimixen (scenario 5) i kombination med material med högst inverkan. Värdet för den globala uppvärmningspotentialen i kg CO₂-ekvivalenter·m² för respektive åtgärd läses av på vänstra y-axeln och jämförs med den streckade linjen som är den globala uppvärmningspotentialen för grundfallet, vilken endast innefattar energianvändning. Detta innebär att om den blåa stapeln med total global uppvärmningspotential är över den streckade linjen är påverkan större då man genomför åtgärden än om man inte gör någon renoveringsåtgärd alls. Är stapeln under den streckade linjen är den globala uppvärmningspotentialen lägre om man genomför åtgärden än om man inte genomför den. Energianvändningen är kopplad till de orange punkterna och läses av på den högra y-axeln.



Figur 25: Total global uppvärmningspotential för de olika åtgärderna samt redovisad uppdelat på posterna energi och material för bästa energimix och material med högst påverkan.



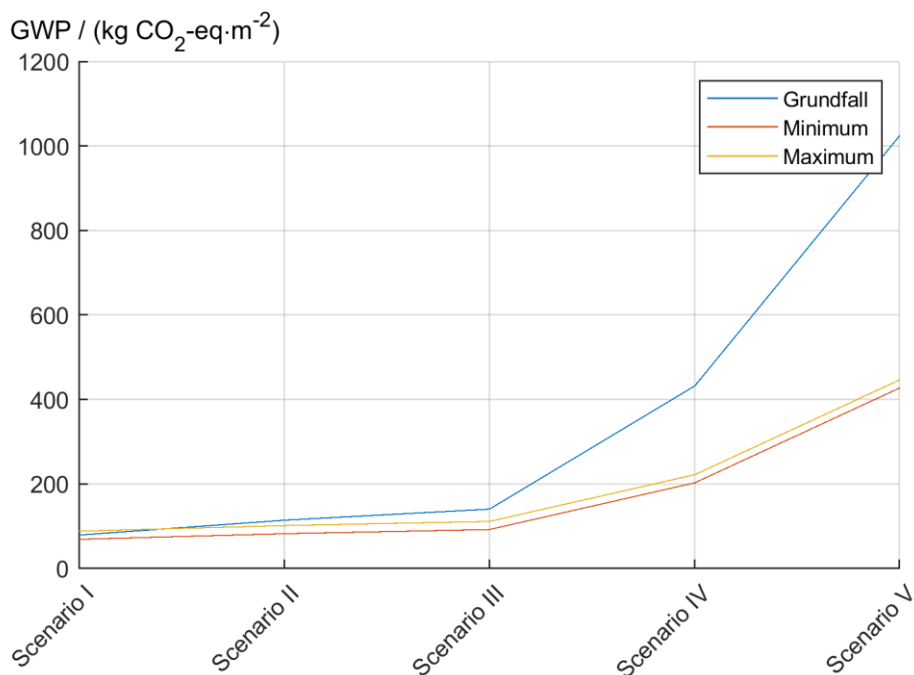
Figur 26: Total global uppvärmningspotential för de olika åtgärderna samt redovisad uppdelat på posterna energi och material för sämsta energimix och material med högst påverkan.

GWP för de två olika energiscenarierna I och V som presenteras i Figur 25 och Figur 26 skiljer sig i skala, vilket kan ses i de vänstra y-axlarna. De streckade linjerna i figurerna, som representerar GWP för grundfallet ligger på 79 kg CO₂-ekvivalter·m² för energiscenario I och 1025 kg CO₂-ekvivalter·m² för energiscenario V. Som syns i Figur 25, blir det en högre GWP vid byte till nytt fönster jämför med om ingen åtgärds genomförs. Vid energiscenario II-V, ger samtliga åtgärder en lägre GWP än grundfallet.

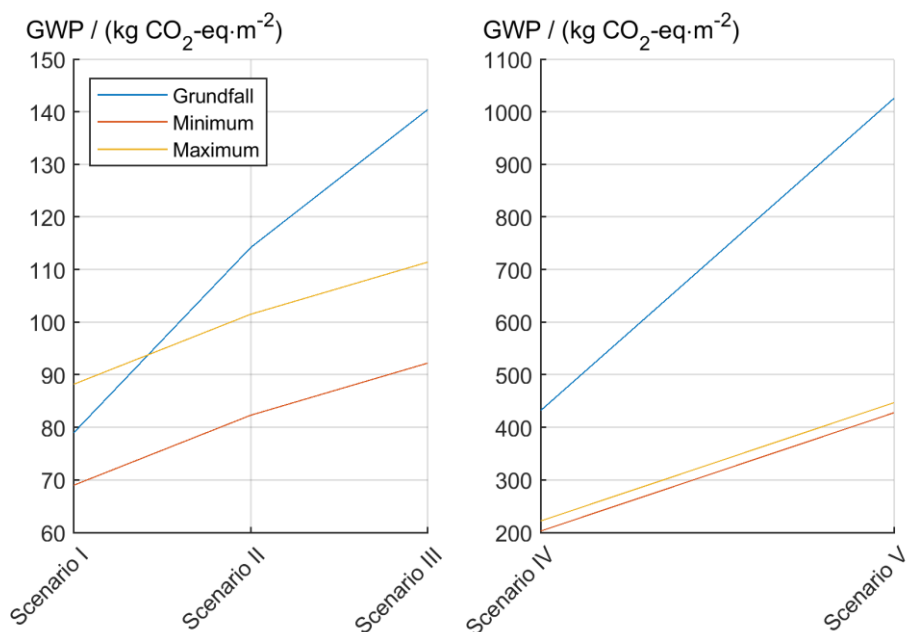
I följande figurer ligger fokus på att redovisa skillnaderna som valet av energimix innebär för den globala uppvärmningspotentialen. I Figur 27 jämförs grundfallet med den kombination av renoveringsåtgärder som gav störst minskning i energianvändning, dvs byte till nya fönster, vindsisolering, ytterväggsisolering samt installation av FTX-ventilation. Den beräknade globala uppvärmningspotentialen för dessa renoveringsåtgärder visas på x-axeln för alla fem energiscenarion, med korresponderande global uppvärmnings potential läses på y-axeln och sammanfogas med en linje. Detta är gjort för två fall av materialval, det med minst respektive högst påverkan på den globala uppvärmningspotentialen.

Figur 28 visar samma värden som i Figur 27, men zoomar in för att bättre se skillnaderna mellan de två olika materialvalen för olika energiscenarion. Här bör noteras att skalan på y-axeln skiljer sig åt beroende på energiscenario. Om linjerna för minimum eller maximum ligger över grundfallet är påverkan större om

åtgärden genomförs vid den valda energimixen. Detta inträffar endast för bästa energimix (Scenario I) och sämsta materialval där linjen med maximum ligger över grundfallet, se Figur 28.



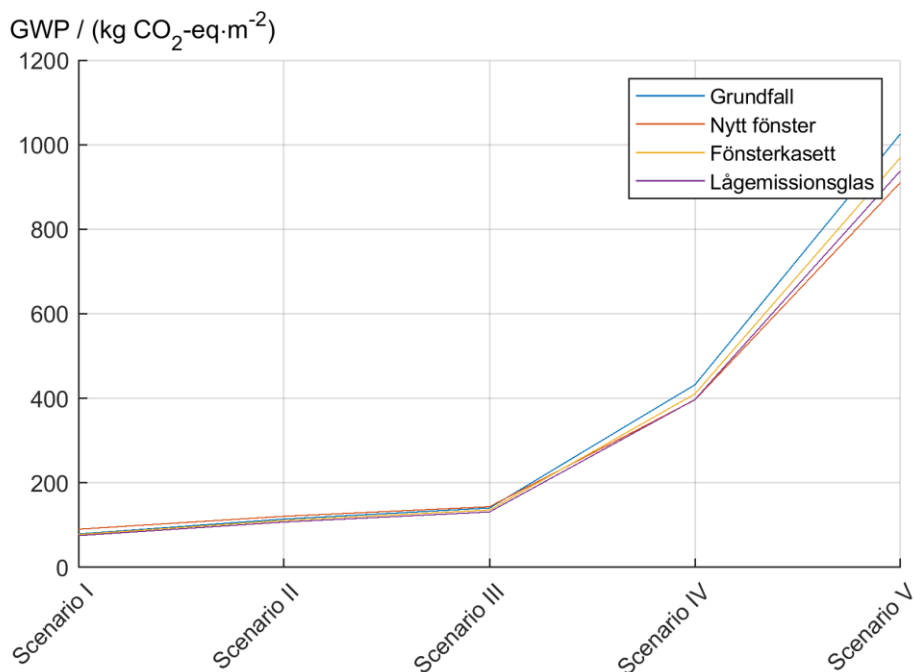
Figur 27: Global uppvärmningspotential för kombinationen av renoveringsåtgärder med lägst energianvändning som en funktion av energimix och för sämsta och bästa materialval.



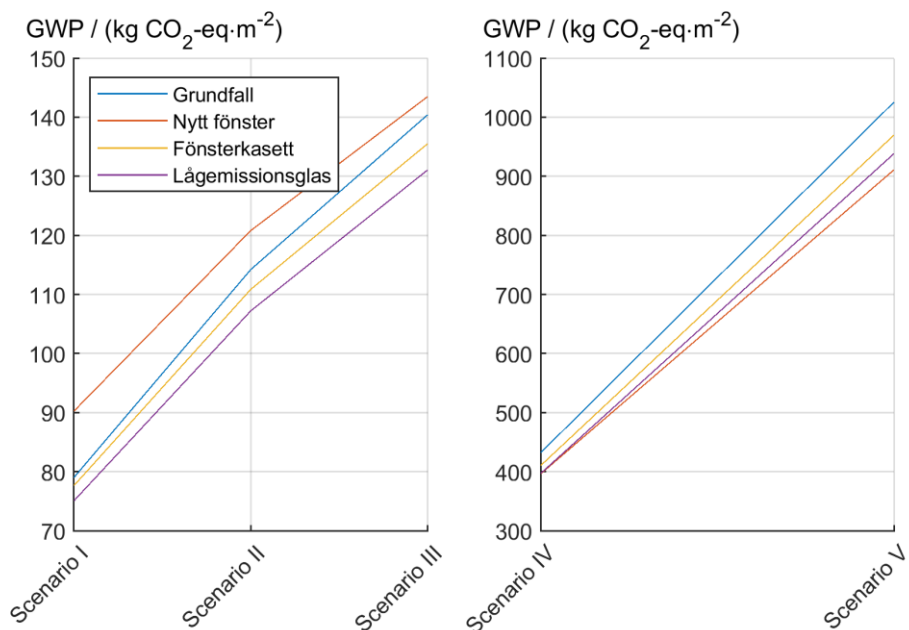
Figur 28: Global uppvärmningspotential för kombinationen av renoveringsåtgärder med lägst energianvändning som en funktion av energimix och för materialval med högst- respektive lägst påverkan.

I Figur 29 och Figur 30 studeras på samma sätt inverkan av val av energimix men istället för att bara undersöka kombinationen av de mest energieffektiviserande

åtgärderna undersöks istället de tre olika fönsteråtgärderna individuellt. För denna analys har generellt material med högst GWP valts. Resultatet redovisas i Figur 29. Likt tidigare har åtgärden högre påverkan på global uppvärmningspotential om linjen ligger över grundfallet. I den in-zoomade grafen i Figur 30 är detta fallet för åtgärden byte till nytt fönster, som har en högre beräknad GWP för energiscenario I-III jämfört med grundfallet. Övriga fönsteråtgärder ligger under grundfallet för alla val av energimix.

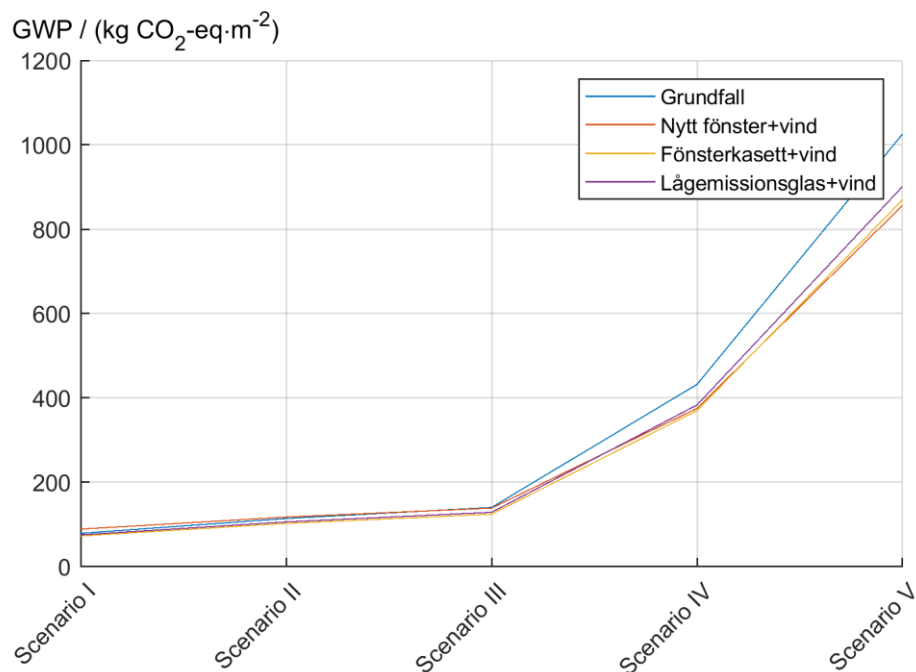


Figur 29: Global uppvärmningspotential för tre olika val av fönsteråtgärder som en funktion av energimix och för material med högst påverkan.

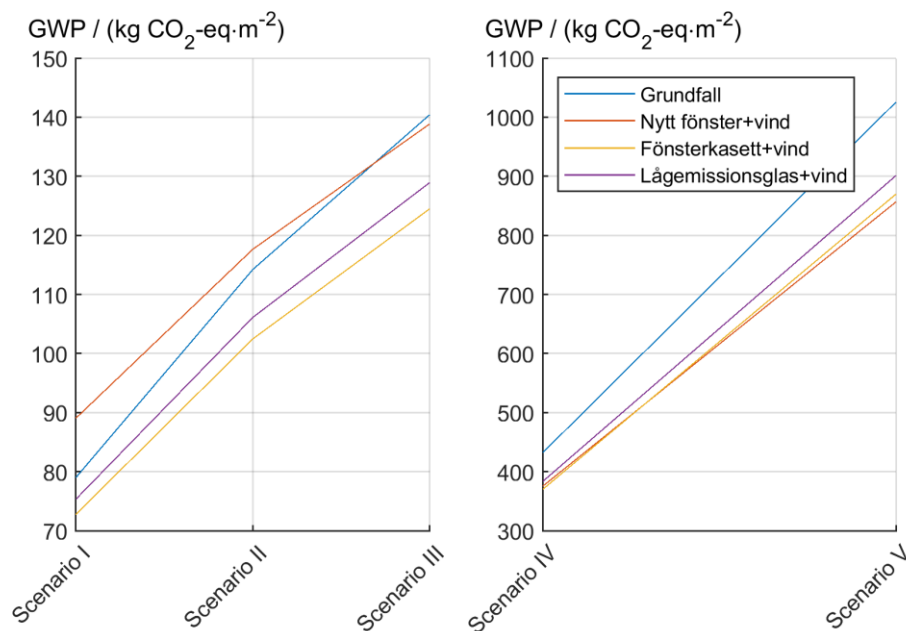


Figur 30: Global uppvärmningspotential för tre olika val av fönsteråtgärder som en funktion av energimix och för material med högst påverkan.

I Figur 31 och Figur 32 studeras på samma sätt inverkan av val av energiscenario för kombinationen vindsisolering plus någon av fönsteråtgärderna, då denna renoveringsåtgärd kan utföras med liten påverkan på byggnadens inre och yttre utseende. Material med högst GWP har valts. Likt tidigare har åtgärden högre påverkan på global uppvärmningspotential om linjen ligger över grundfallet vilket endast sker för energimix med låg påverkan (scenario I) och ses tydligast i den inzoomade grafen i Figur 32. Byte till nytt fönster i kombination med isolering av vindsbjälklag har högre påverkan för Scenario I-II men ligger i övrigt under grundfallet. De andra fönsteråtgärderna i kombination med vindsisolering har lägre påverkan än grundfallet oavsett energiscenario.



Figur 31: Global uppvärmningspotential för kombinationen av olika fönsteråtgärder i kombination med isolering av vindsbjälklag som en funktion av energiscenario och för materialval med högst påverkan.



Figur 32: Global uppvärmningspotential för kombinationen av olika fönsteråtgärder i kombination med isolering av vindsbjälklag som en funktion av energimix och för materialval med högst påverkan.

Fönsteråtgärder

En mycket vanlig frågeställning är hur ett fönster bäst hanteras vid en renovering av en byggnad för att optimera både energianvändning och minimera GWP. I detta projekt har olika alternativ för fönster hanterats; behålla befintligt, sätta in en ny glasruta med LE-skikt, sätta in en ny glaskassett eller byta fönstret till ett nytt. Energiberäkning gjordes för varje enskild åtgärd för att se hur de olika alternativen påverkar energibehovet för uppvärmning. Samtidigt beräknas GWP för de olika åtgärderna samt GWP för materialet och uppvärmningsenergi.

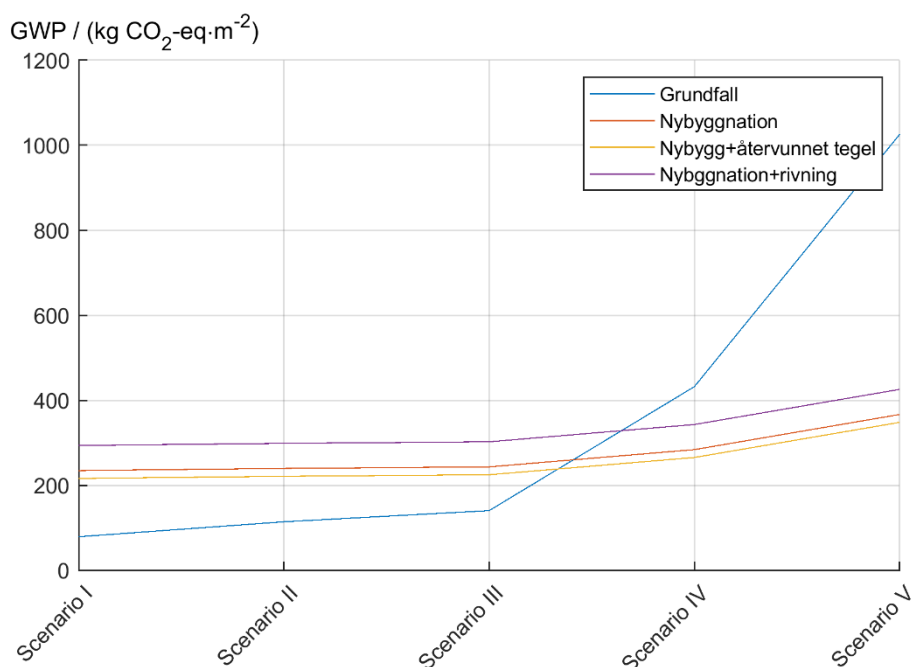
Tabell 14: Energi och GWP för tre olika fönsteråtgärder samt den procentuella minskningen jämfört med grundfallet.

Åtgärd	Energibehov [kWh/m ²]	Procentuell minskning [%]	GWP material [kg CO ₂ -eq./m ² , 50 år]	GWP material och energi [kg CO ₂ -eq./m ² , 50 år]	Procentuell minskning [%]
Behålla befintligt	143	-	-	79/1021	-
Ny glasruta	135	5	3,20	77/967	1,5/5,3
Ny glaskassett	131	8	3,04	75/938	4,5/8,1
Nytt fönster	124	13	21,8	90/907	-14/11

Förvaltaren Region Skåne anger att montage av fönsterkassett är den lösning som för dem är mest lönsam, och därför det alternativ de helst numera använder. Detta då denna åtgärd kan räknas som energiinvestering.

Nybyggnad

GWP för att uppföra en ny byggnad istället för den befintliga är presenterat i Figur 33. Att använda sig av återbrukat tegel ger en lägre GWP än om man använder nyproducerat. I Figur 33 är skillnaden mellan den röda linjen och den gula linjen, sänkningen av GWP om man använder återbrukat tegel. Den lila linjen i Figur 33 är GWP för nybyggnationen samt om man inkluderar GWP för rivningen av den befintliga byggnaden. Jämfört med den befintliga byggnaden, grundfallet (där ingen renovering genomförs) innebär en ny byggnad en högre GWP för energiscenario I-III. För energiscenario IV och V resulterar den nya byggnaden i en lägre GWP än den befintliga.



Figur 33: Global uppvärmningspotential för nybyggnad, med och utan återvunnet tegel, med och utan rivning av befintlig byggnad samt grundfallet för den befintliga byggnaden.

Diskussion

Resultaten visar att energibehovet för uppvärmning kan minska avsevärt med valda renoveringsåtgärder, valda för att möjliggöra att kulturvärden samtidigt behålls. Energibehovet för uppvärmning kan halveras vid installation av en fönsterkassett, invändig ytterväggsisolering, vindsisolering och installation av FTX. Skillnaden i energibesparing mellan de två alternativen byte av fönster eller installation av fönsterkassett är inte betydande, 8% respektive 13%, vilket tydliggör att energieffektivisering av byggnader är möjliga utan att behöva byta

hela fönstret. För enskilda energieffektiviserande åtgärder är installation av FTX-ventilation det alternativ som minskar energibehovet för uppvärmning mest.

Det är tydligt i denna studie att valet av energikälla för uppvärmning har avgörande betydelse för vilken GWP olika renoveringsåtgärder innebär. Även GWP från valda material har stor betydelse. Om de material som väljs har låg GWP, genererar alltid kombinationen med mest energibesparing en lägre GWP, oavsett energisystem. För fönsteråtgärder med material med hög GWP har byte till lågemissionsglas lägst GWP för energiscenarion I – III, medan energiscenarion IV–V med hög GWP istället påvisar att ett fönsterbyte ger lägst total GWP. Det är värt att notera att det skiljer en faktor 7 i GWP för materialet mellan alternativen ny glasruta eller kassett jämfört med att byta till ett nytt fönster.

För fönsteråtgärder i kombination med vindsisolering och materialval med hög GWP visar beräkningarna att för energiscenario I och II är det bäst att byta till fönsterkassett och för detta scenario är byte till nya fönster sämre ur ett GWP-perspektiv än att inte göra någon renoveringsåtgärd alls. Om istället energiscenario IV används är GWP lika för fönsterkassett och nytt fönster, medan fönsterbyte är något bättre avseende GWP vid energiscenario V.

Även om en nybyggnad har en lägre energianvändning än den befintliga byggnaden så resulterar en nybyggnad i högre GWP, vid energiscenarion I-III. Vid dessa scenarier, med en lägre GWP per kWh, har materialet en större inverkan på resultatet. Vid ”värre” energiscenario, har energianvändningen en större inverkan på resultatet, vilket ger nybyggnaden, med en lägre energianvändning, en fördel ur GWP synpunkt. Oavsett om man inkluderar rivning och återbrukat tegel i bedömningen så är det vid samma energiscenario som samtliga beräkningar av nybyggnationen blir ett sämre alternativ ur GWP synpunkt än den befintliga.

Energianvändningens påverkan på totalt beräknad GWP vid olika val av energiscenarion vid fastighetsunderhåll tydliggör vikten av kunskap om och korrekt beräkning av denna. En nationell samsyn på hur GWP för fjärrvärme ska beräknas är av största vikt för att ha korrekt beslutsunderlag i framtida underhållsprocesser.

Regelverket kring återbruk av byggmaterial är svårhanterat, då gällande regelverk är framtaget för att passa processer med jungfruliga råvaror. Strukturen behöver anpassas för att möjliggöra en cirkulär byggindustri. Vid en återbruksinventering är det viktigt att noga fundera igenom syftet med denna och inventera utefter detta. För en beställare är kunskapen om syftet avgörande, då återbruksinventeringens inriktning måste vara anpassad till det faktiska projektet.

Under projekttidens gång har kostnaden för byggmaterial ökat, samtidigt som byggbranschen visat ett ökat intresse för återbruk av material. De byggnader som ingått i denna studie är heller inte längre direkt rivningshotade, då sjukhusbygget planeras att placeras på annan plats i Lund. Dock är de inte optimalt placerade, då de ligger på sjukhusområdet. Ett alternativ för byggnader som dessa, med hög kvalitet men felplacerade, kan vara att flyttas i sin helhet. Platsens kulturvärden

kommer inte att kunna bevaras, men väl kulturvärden i byggnaderna. Ett framtida forskningsområde är hur denna typ av flytt kan ske och i större skala, för att undvika rivning och därmed minska energibehov, klimatpåverkan och generering av avfall i byggprocessen.

Publikationslista

Konferensartikel SBFin2022 Helsinki.

Titel: Demolish, recycle, build new or renovate – energy use throughout the life cycle.

Abstract: The building industry has a major impact on the global carbon emissions, the use of natural resources and generation of waste. A drastic change is needed for this industry to be a part of a sustainable future. Within this research, a case study is performed to investigate how cultural values of a building can be preserved when energy efficiency measures are taken, with a low global warming potential (GWP). Keeping the cultural values of the red brick façade, the original window shape and the natural stone in the plinth, there is still an energy saving potential of halve the energy use for space heating. The GWP of the measures taken is strongly dependent on the energy mix in the district heating system.

Examensarbete: Circular economy in the Swedish building sector: Investigating options for old windows. LUP Student papers <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9067521>

Conclusions: A few conclusions from this study indicates the following:

- The market for recycling flat glass in Sweden needs to be developed.
- Reusing windows reduces waste residues but does not necessarily result in the lowest amount of released emission.
- The biggest limitation for reusing or recycling windows is the immature/undeveloped business market, along with responsibility and warranty issues.
- The best alternatives for managing windows of the building complex in Lund is either replacing the interior windowpane with an energy glass, or replacing the interior windowpane with an insulating cassette

Referenser, källor

AF Prefab Mälardalen. (2022). Environmental Product Declaration Prefabricated concrete wall.

ASHRAE. (2013). ASHRAE Equipment Life Expectancy chart.
https://doi.org/http://www.culluminc.com/wp-content/uploads/2013/02/ASHRAE_Chart_HVAC_Life_Expectancy%201.pdf

Boverket, 2017. Boverkets föreskrifter och allmänna råd om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår, BEN 2 (BFS 2017:6). 2017.

- Boverket, 2021. Att sälja byggprodukter. Websida, granskad 26 maj 2021.
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/byggprodukter/att-salja-byggprodukter/>
- Brodr Sunde AS. (2022). Sundolitt XPS insulation board.
- Dodd, N., Cordella, M., Traverso, M., & Donatello, S. (2017). Level(s)-A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings Part 3: How to make performance assessments using Level(s) (Draft Beta v1.0). Sevilla.
- Energiföretagen. (2020). Lokala miljövärden 2020.
- Energimyndigheten (2021) Energiläget 2021. En översikt.
- EOTA, 2022. EOTA- European Organisation for Technical Assessment. Websida, nedladdad 2022-04-12 <https://www.eota.eu/what-ead>.
- EQUA, 2010a. Validation of IDA Indoor Climate and Energy 4.0 build 4 with respect to ANSI/ASHRAE Standard 140-2004.
- EQUA, 2010b. Validation of IDA Indoor Climate and Energy 4. 0with respect to CEN Standards EN 15255-2007 and EN 15265-2007.
<https://www.equa.se/en/ida-ice/validation-certifications>.
- EQUA 2020. IDA ICE 4.8 <https://www.equa.se/se/>.
- Fossilfritt Sverige, 2018. Färdplan för fossilfri konkurrenskraft, Bygg och Anläggningssektorn.
- Fredlund, B. 1999. *Lågmissionsglas och renovering förbättrar äldre fönsters värmeisolering*, Lund, Lunds universitet.
- HELUZ cihlárský prumysl v.o.s. (2015). EPD Hollow bricks and brick products from HELUZ.
- Jansson, K., 2016. Folkhemsarkitekt i periferin. Avdelningen för konsthistoria och visuella studier, Institutionen för kulturvetenskaper. Examensarbete KOVM10 Lunds universitet
- Kemikalieinspektionen 2022. Reachförordningen, Websida, senast konsoliderad 2022-03-01. <https://www.kemi.se/lagar-och-regler/reach-forordningen>
- Klimatbyrån. (2015). BYGGVARUDEKLARATION BVD 3.
- Kundsen Dørfabrikk AS. (2020). EPD Dør.
- Marshalls Bricks & Masonry. (2021). EPD Perforated Dense Facing Bricks.

Mattson, C., Odell, E., 2020. Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan Klimatförbättringsalternativ vid byggproduktion av ett äldreboende. Avdelningen för Installationsteknik Examensarbete TVIT—20/5076 Lund 2020.

NorDan AS. (2020). EPD NorDan NTech Tilt & turn (3- Handle) - ND 105 / 80 (without aluminium cladding).

Nordvestvinduet AS. (2015). Nordvestvinduet Toppsving vindu.

Regeringskansliet, 2021. Cirkulär ekonomi – strategi för omställningen i Sverige.

Steinull hf. (2018). Steinull hf. stone wool insulation, density group 100-200 kg/m³.

Steinull hf. (2019). Steinull hf. stone wool insulation, density group 20-75 kg/m³. Retrieved from <https://portal.environdec.com/api/api/v1/EPDLibrary/Files/8a5b645b-298b-4243-b8f6-08d8d1855218/Data>

Strängbetong AB. (2019). EPD Håldäcksbjälklag (HD/F).

SVEBY, 2016. Klimatdatafiler för Sveriges kommuner.

Tengbom, 2019. Flerbostadshus och Ångkraftverk. Kv Sjuksystemen resp Kv Vårdbiträdet, Lund. Antikvarisk förundersökning 2019-04-09.

2022. Fraunhofer IBP "Product overview | WUFI (en)". <https://wufi.de/en/software/product-overview/>.

Bilagor

Bilaga 1: Riskanalys av mögelpåväxt på yttervägg, tillämpningsfall Lund

Bilaga 2: Konferensartikel SBEfin 2022

Bilaga 3: Administrativ bilaga