



CHALMERS

Aerogelputs som fasadmateriäl vid renovering av flerbostadshus i Torpa

Examensarbete inom högskoleingenjörspogrammet Samhällsbyggnadsteknik

ALBERT ANDERSSON
JAKOB JOHANSSON

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR BYGGNADSTEKNOLOGI**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Aerogelputs som fasadmateriel vid renovering av flerbostadshus i Torpa

*Examensarbete inom högskoleingenjörspogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Albert Andersson

Jakob Johansson

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
Byggnadsfysikalisk modellering
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2021

Aerogelputs som fasadmateriel vid renovering av flerbostadshus i Torpa

Examensarbete inom högskoleingenjörspogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

ALBERT ANDERSSON

JAKOB JOHANSSON

© ALBERT ANDERSSON, JAKOB JOHANSSON 2021

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2021

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för byggnadsteknologi

Byggnadsfysikalisk modellering

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Bild illustrerar applicering av aerogelputs

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2021

Aerogelputs som fasadmateriel vid renovering av flerbostadshus i Torpa

*Examensarbete inom högskoleingenjörspogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Albert Andersson

Jakob Johansson

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
Byggnadsfysikalisk modellering
Chalmers tekniska högskola

SAMMANDRAG

Allt högre krav ställs på byggindustrin ur ett energiperspektiv. När energieffektivisering blir allt mer väsentligt är det viktigt att utveckla metoder och material. Aerogelputs är ett energieffektivt material som har potential att bli en framtida standard för det svenska byggnadsbeståndet. Materialet används redan i andra delar av Europa och har påvisat bra resultat. Dess goda isolerande egenskaper gör det intressant att undersöka huruvida det skulle gå att använda i Sverige. Användningsområdet innefattar dels nybyggnation men kanske framförallt ger det möjligheten att effektivisera redan befintliga byggnader där dåligt isolerade klimatskal idag stora energibovar och applicering av aerogelputs skulle kunna vara en betydelsefull förbättringsåtgärd. Putsen läggs som ett nytt lager utanpå den redan befintliga konstruktionen och agerar nytt isolerande lager samtidigt som huset den sätts på får en vanlig putsad yta. Detta gör det möjligt att förbättra väggarna samtidigt som byggnadens ursprungliga utseende kan bibehållas.

Arbetet syftar till att undersöka huruvida ett område i Göteborg med 50-tals hus, i behov av renovering, skulle kunna tilläggsisoleras med aerogelputs för att lösa fuktproblem och samtidigt reducera energiförbrukningen. Genom att undersöka 8 olika väggkonstruktioner med olika tjocklek aerogelputs och mineralull fås skillnader i U-värde, varpå väggarna med 100 mm aerogelputs ger bäst resultat. Detta minskar i sin tur energiförbrukningen för byggnaden. Vid applicering av endast 50 mm SIP minskas energiförlusterna genom väggar med 45% i lättbetonghuset och 60% i tegelhuset. Däremot är aerogelputs dyrt i jämförelse med traditionella isoleringsmaterial. Ur ett energiperspektiv är aerogelputs en bra lösning men dagens materialkostnad gör det svårt att motivera materialvalet ur ett ekonomiskt perspektiv. En möjlig lösning kan vara att kombinera mineralull med ett tunnare lager aerogelputs för att minska mängden aerogel samt väggjocklek.

Nyckelord: Aerogel, puts, isolering, renovering, U-värde, Torpa, energieffektivisering, framtida material, energisignatur

Aerogel plaster as finish when renovating apartment buildings in Torpa

*Degree Project in the Engineering Program
Civil and Environmental Engineering*

Albert Andersson

Jakob Johansson

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Building technology
Building Physics Modelling
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

As the demands for sustainability in the building sector get tougher and more and more focus is put on energy efficiency it is important to improve methods and technology to meet the demand. Aerogel plaster is a material which has the potential to become an efficient new standard for Swedish buildings. The material is today used in other parts of Europe and its characteristics makes it highly interesting, but it needs more research on how it would behave in a Swedish climate. The potential is in both new building and renovation. Today there are many building facades that drains energy that needs renovation. The aerogel plaster could make a big impact on these and save lots of energy.

The study aims to investigate whether it is possible to insulate an area of apartment buildings built in the fifties made up of lightweight concrete and brick houses and by doing so solve the problems the buildings have had with moisture, all while making it more energy efficient. By comparing 8 different types of wall constructions with different layers of insulation it is possible to see which type is more efficient than the others. The walls with 100 mm SIP are the ones that reach the lowest U-values. By applying only 50 mm SIP the energy losses through walls drop with 45% in the lightweight buildings and 60% in the brick buildings. SIP is a good solution if looked upon in the light of energy efficiency, but the expensive price point makes it hard to justify as an actual investment. A possible solution could be to combine both traditional insulation with a thinner layer of SIP to use less of the material but still use the benefits the material has.

Key words: Aerogel, plaster, insulation, renovation, U-value, Torpa, energy efficiency, future materials, energy signature

Innehåll

SAMMANDRAG	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Historisk bakgrund	1
1.2 Syfte och frågeställningar	2
1.3 Avgränsningar	2
2 METOD	3
2.1 Litteraturstudie	3
2.2 Intervjustudie	3
2.3 U-värdesberäkningar	3
2.4 Förutsättningar energisignatur samt beräkningar	3
2.5 Beräknad energisignatur Sävenäs 69:1	4
2.6 Återbetalningstid för renovation med aerogelputs	5
2.7 Termografering	6
3 MATERIAL, BYGGTEKNIK OCH RENOVERING	7
3.1 Viktiga begrepp	7
3.2 Material – Aerogelputs	8
3.2.1 Tidigare forskningsstudier	9
3.3 Byggteknik	10
3.3.1 Regntäthet	10
3.3.2 Putsbärare	11
3.3.3 In- och utvändig isolering	11
3.3.4 Armering i puts	12
3.4 Tidigare renoveringsprojekt	13
4 RESULTAT	17
4.1 Termografering	17
4.2 Väggtyper	19
4.3 Energisignatur	23
4.4 Återbetalningstider	23

5	SLUTSATS/DISKUSSION	25
5.1	Väggar	25
5.2	Energisignatur	25
5.3	Återbetalningstider	26
6	REFERENSER	27

Förord

Detta arbete utförs i kursen Examensarbete vid Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik (ACEX20) och omfattar 15 högskolepoäng. Kursen ingår i högskoleingenjörsprogrammet i Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Vi vill rikta ett tack till Henrik Carlsson, Civilingenjör på WSP, för en lärorik intervju och även ett stort tack till vår handledare Pär Johansson, Docent vid Chalmers Tekniska Högskola, för allt stöd under arbetets gång.

Göteborg juni 2021

Albert Andersson
Jakob Johansson

Beteckningar

A	Area [m^2]
A_{temp}	Uppvärmad golvarea över $10\text{ }^\circ\text{C}$ [m^2]
a	Förväntat inbetalningsöverskott [SEK]
d	Tjocklek [m]
G	Grundinvestering [SEK]
$g_{fönster}$	G-värde för fönster. Beskriver hur mycket solljus som släpps igenom
I_{global}	Global strålning från solen [W]
K_i	Transmissionsförlust [W/K]
P_{EL}	Energibehov för fastighetsel [W/m^2]
P_{Intern}	Energi som kan tillgodoräknas från aktivitet inomhus [W]
P_{sol}	Energi som kan tillgodoräknas från solinstrålning genom fönster [W]
P_{tot}	En byggnads totala energibehov [W/m^2]
P_{TVV}	Energibehov för tappvarmvatten [W/m^2]
p	Kalkylränta [%]
R_{tot}	Totala värmegenomgångsmotståndet [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
R_{si}	Värmegenomgångsmotståndet inne [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
R_{se}	Värmegenomgångsmotståndet ute [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
SIP	Superisolerande puts
T	Återbetalningstid [år]
ΔT	Temperaturskillnaden mellan inne och uteluften [K]
U	U-värde [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
λ	Lambda-värde, värmekonduktivitet [W/mK]

1 Inledning

Den globala uppvärmningen blir allt mer påtaglig. Medeltemperaturen har ökat med 0,5 °C under de senaste tre årtionden på grund av mänsklig aktivitet. Enligt prognoser från International Energy Agency (IEA) kommer koldioxidutsläppen, år 2050, vara det dubbla (Calisesi, 2017). En anledning till detta är att energibehovet har ökat till följd av den industriella utvecklingen och befolkningstillväxten.

För att uppnå målen kring inga växthusgasutsläpp år 2045, och även FN:s globala mål för 2030, är det en stor fokus på att minska energiåtgången i byggnader (Del Curto & Cinieri, 2020). Byggsektorn utgör cirka 42% av den totala energiförbrukningen och cirka 20% av Sveriges totala koldioxidutsläpp (Karim, 2020). Man började applicera konceptet Livscykelanalys (LCA) där man följer en produkts livscykel, till exempel vaggas till grav, för att se vad energiförbrukningen går åt till och på så sätt kunna minska energikonsumtionen under ett hus livstid.

Största delen av Sveriges framtida bostäder är troligtvis redan i bruk idag. En av de största utmaningarna är därför att energieffektivisera redan befintliga byggnader genom renovering.

Putsfasader är vanligt förekommande och utgör cirka 27% av Sveriges flerfamiljshus enligt Karim (2020). Under miljonprogrammet år 1965–1974 byggdes det ungefär en miljon bostäder i Sverige. Lägenheterna har en teknisk livslängd på 50 år och endast drygt hälften av dessa har en registrerad renovering. Ungefär 400 000 lägenheter är i behov av renovering, varav 140 000 lägenheter är i ett akut renoveringsbehov (Ferm, 2019).

Vid större renoveringar av klimatskärmen ska ett U-värde på maximalt 0,18 W/m²K eftersträvas enligt BBR (Boverket, 2020) om primärenergitalet ej uppfyllts. För att minska energiförbrukningen i branschen och uppnå boverkets föreskrifter finns det möjligheter att använda sig av effektivare isolermaterial, ett så kallat superisolerande material (SIP). Ett sådant material är aerogelputs som kan appliceras vid fasadrenovering för att minska en byggnads energiförbrukning.

1.1 Historisk bakgrund

Bostadsområdet Torpa består av totalt 28 flerbostadshus byggda på 50-talet. 15 av dessa har putsfasader med bärande ytterväggar av lättbetongblock och resterade 13 har fasadtegel med bakmurat hålstentegel. Enligt den tekniska rapport som gjordes åt ägaren, Bostadslaget AB, framgår det att området är i stort behov av renovering (Danielsson et al., 2014). Både tegel och puts-husen hade då stora problem med fuktgenomslag genom fasaderna. Bristande ventilerings av väggarna har gjort att de fått svårt att torka och problem med mögel och fukt har uppstått inuti lägenheterna som följd. Några av tegelhusen har vid byggnation, på grund av sämre precision, fått en liten luftspalt. Detta har lätt till att dem klarat sig bättre från fuktproblemen.

Några noteringar kring tidigare renovationer är att gavlar i sydväst på putshusen har tilläggsisolerats då dessa har varit värst drabbat av fuktläckage. Taket renoverades 1992. Nån gång mellan 2013 och 2018 påbörjades renovationer av tegelhusen i området. I ett samtal med fastighetsskötaren¹ framgick det att bygglovsrelaterade problem gjort att planerade renoveringar av putshusen skjutits upp men har fått klartecken och skall igång inom snar framtid. Husen har självdragsventilation vilket gör att stora energiförluster uppstår i brist på återvinning av energi.

1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med projektet är att undersöka renoveringsmöjligheterna för området ur ett energiperspektiv med aerogelputs som fasadmaterial, ett så kallat superisolerande material, samtidigt som krav på bevarande av kulturvärden uppfylls. Hur stor vinning går att göra vid applicering av aerogelputs ur ett energiperspektiv? Är det hållbart ur ett ekonomiskt perspektiv att investera i aerogelputs som fasadmaterial?

1.3 Avgränsningar

Arbetet gäller putsade byggnader uppförda på 1950-talet i Torpa, Göteborg och förhåller sig till svenska krav och regelverk. Arbetet undersöker aerogelputs som fasadmaterial med fokus på värmekonduktivitet och fuktsäkerhet samt kostnadseffektivitet.

¹ Johansson, R. Fastighetsskötare i Torpa. 25 februari 2021.

2 Metod

2.1 Litteraturstudie

Litteratur söks via Chalmers bibliotek. Vetenskapliga studier av aerogelputs samt teknisk rapport och bildmaterial från Torpa fås via handledare, Pär Johansson. Tidigare forskningsartiklar från andra europeiska länder används för att studera materialet, aerogelputs.

2.2 Intervjustudie

I intervjustudien intervjuades Henrik Carlsson, civilingenjör på WSP med många års erfarenheter av både nybyggnation och renoveringar med putsade fasader. Intervjun genomfördes i syfte att utreda hur regntätthet och fuktsäkerhet uppnås med puts som fasadmaterial och varför byggnader med puts historiskt sätt varit drabbade av problem.

2.3 U-värdesberäkningar

Med hjälp av Revit tas olika skisser på ytterväggar fram. U-värde beräknas enligt ekvation (1) där R_{tot} är det totala värmegenomgångsmotståndet.

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}] \quad (1)$$

$$R_{tot} = \frac{d}{\lambda} + R_{si} + R_{se} \quad [\text{m}^2\text{K}/\text{W}] \quad (2)$$

I ekvation (2) är λ värmekonduktiviteten för givet material, d är materialets tjocklek, R_{si} och R_{se} är värmeövergångsmotståndet för insidan respektive utsidan av väggen.

2.4 Förutsättningar energisignatur samt beräkningar

Nedan följer förutsättningar samt antaganden gjorda för att beräkna energisignaturen mm. Antagna värden redovisas i Tabell 2.1, 2.2 och 2.3.

Effektsignaturen bygger på Sävenäs 69:1 där uppmätta värden för fastighetsel och uppvärmning hämtats från energideklarationen för byggnaden (Boverket, 2020). Tappvarmvattnet ges ett schablonvärde på 25 kWh/m². Huset har självdragsventilation vilket gör att transmissionsförlusterna från ventilationen blir relativt höga i brist på värmeåtervinning. Luftomsättningen beräknas till 0,52 oms/h där utgångspunkt varit ett projekterat genomsnittligt hygieniskt luftflöde på 0,35 l/s, m² som använts i energideklarationen. Läckaget antas vara 0,8 l/s genom klimatskalet vilket innebär att byggnaden antas vara någorlunda dragig (Persson, 2012). I beräkningarna före och efter renovering antas fönstren vara originalfönstren på byggnaden. Detta för att tydligare se resultatet av fasadbytet. Dock är det en väldigt kostnadseffektiv åtgärd att byta dessa i samband med renoveringen. U-värdet sätts tills 2,0 W/m²K. Grundplattan i byggnaden

antas vara 0,2 m tjock med ett u-värde på 0,14 W/m² K. Tegeltaket har nyligen bytts. U-värdet antas vara 0,144 W/m²K. Personvärme används som enda internvärmepost. Internvärmens sätts till 80 W/lägenhet (Sveby, 2012). Vid termografering noterades inga större avvikelser i klimatskärmen och därför försummas köldbryggor för att förenkla beräkningarna. Den beräknade uppvärmningseffekten bygger på klimatdata från på Göteborg under ett år.

Tabell 2.1 Olika materials värmekonduktivitet. Från Jernkontorets energihandbok, (u.å).

Material	Värmekonduktivitet [W/mK]
Lättbetong	0,12
Betong	1,7
Tegel	0,6
Aerogelputs	0,028
Mineralull	0,037

Tabell 2.2 Areor från Arkitektbyrån AB:s ritningar (2011) och U-värden

Byggnadsdel	Area (m ²)	U-värde [W/m ² K]
Yttervägg	1062	-
Fönster	315	2,0
Grund	620	0,14
Tak	744	0,144
Ytterdörrar	8	1,5

2.5 Beräknad energisignatur Sävenäs 69:1

För att beräkna energianvändningen och kunna jämföra olika varianter på ytterväggar och den påverkan dem kommer få görs en energisignatur i Excel. I (3) är P_{tot} det totala energibehovet i byggnaden, P_{upp} det totala uppvärmningsbehovet vilket regleras av (7) där uppvärmning stängs av så fort utetemperatur rör sig ovanför $T_{Ute.balans}$. A_{temp} är den uppvärmda arean, P_{TVV} är effektbehovet för tappvarmvatten, P_{EL} är effektbehovet för fastighetsel.

$$P_{tot} = \frac{P_{upp} + P_{TVV} + P_{EL}}{A_{temp}} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (3)$$

$$P_{upp} = K_{tot} * \Delta T - P_{Intern} - P_{sol} \text{ [W]} \quad (4)$$

I (4) är K_{tot} byggnadens totala transmissionsförluster som fås genom att addera alla transmissionsförluster i byggnaden, se (5), ΔT är temperaturskillnaden mellan inne och ute, P_{Intern} är den effekt som kan tillgodoräknas från aktivitet

inomhus, till exempel personvärme. P_{sol} är den effekt som kan tillgodoräknas från solinstrålning genom fönster.

$$K_{tot} = K_{yttervägg} + K_{fönster} + K_{grund} + K_{ventilation} + K_{tak} + K_{ytterdörrar} + K_{läck} + K_{köldbryggor} \text{ [W/K]} \quad (5)$$

$$P_{sol} = 0,65 * g_{fönster} * I_{global} * A_{fönster} \text{ [W]} \quad (6)$$

I (6) används 0,65 för att estimeras solinstrålning genom fönster från alla väderstreck (Mata, E., & Sasic Kalagasidis, A. S, 2009), $g_{fönster}$ är fönstrenas G-värde, I_{global} är den globala strålningen från solen, $A_{fönster}$ är den totala fönsterarean på byggnaden.

$$T_{Ute.balans} = T_{inne} - \frac{P_{intern} + P_{sol}}{K_{tot}} \quad (7)$$

I (7) är $T_{Ute.balans}$ den temperatur där uppvärmning ej längre behövs. Detta gör att byggnaden endast värms medan utetemperaturen understiger $T_{Ute.balans}$. T_{inne} är temperaturen inomhus.

2.6 Återbetalningstid för renovation med aerogelputs

För att beräkna återbetalningstiden används paybackmetoden (8). Excel används som kalkyleringsprogram. För prisuppgifter används underhållsprogrammet Planima.

$$T = \frac{G}{a} \text{ [år]} \quad (8)$$

I paybackmetoden (8) tas hänsyn till G, grundinvesteringen och a, den uppskattade inbetalningsöverskottet som i detta fall är den besparing som beräknas göras på uppvärmningskostnaden.

Energipriset per kWh för fjärrvärme antas kosta 1,0 SEK (Eon, 2021).

Tabell 2.3 Prislista, kostnad för 10 mm av varje material

Material	Pris [SEK/m ²]	Area [m ²]	Total kostnad [kr]	Källa
Aerogelputs (2020)	312	1065	353 000	Fixit, 2020
Aerogelputs (2013)	368	1065	391 000	Fixit, 2013
Vanlig puts	80	1065	85 000	Bauhaus, 2021
Mineralull	5	1065	5 000	Byggmax, 2021

2.7 Termografering

Besök på plats i Torpa för att undersöka befintlig klimatskärm samt skillnaderna mellan de olika typerna (tilläggsisolerade, oreoverade m.m.) av ytterväggar som finns i nuläget.

3 Material, byggt teknik och renovering

3.1 Viktiga begrepp

U-värde (Värmegenomgångskoefficient) – Beskriver en byggnadsdels isoleringsförmåga och beräknas enligt (1). Ett lågt värde är att önska för en god isoleringsförmåga. Värdet bygger på värmeledningsförmågan λ samt byggnadsdelens tjocklek d där värdet får enheten $W/(m^2K)$ (Petersson, 2015).

Värmekonduktivitet – Beskriver ett materials isoleringsförmåga där lågt värde är att önska för god isolerande förmåga. Värdet beskriver den värmemängd som släpps igenom ett material på en kvadratmeters yta med tjocklek en meter då temperaturdifferansen är $1\text{ }^\circ\text{K}$. Värdet beskriver all värmeöverföring så både värmen som leds genom den fasta delen av materialet samt överföring som sker via strålning och konvektion. Värdet skrivs som λ med enhet $W/(mK)$

A_{temp} – Begreppet avser den golvarea inomhus som uppvärms över $10\text{ }^\circ\text{C}$ inom en byggnad. Schakt, trappor och dyligt tillhör arean. Garage inomhus inräknas inte. A_{temp} är den referensarea som används för att beräkna den specifika energianvändningen per m^2 i en byggnad (BBR, 2018).

Köldbryggor – Lokala avvikelser i U-värde ger upphov till att mer energi kan ta sig ut genom denna avvikelse jämfört med resten av klimatskalet. Detta kallas köldbrygga och kan till exempel bero på att fasadens geometri inte gör det möjligt att isolera lika bra överallt. Det är vanligt med köldbryggor i skarvar och infästningar. Köldbryggor kan också uppstå vid till exempel spikar som leder värme inifrån och ut.

Transmissionsförlust – kallas de värmeförluster genom klimatskärmen, till exempel genom väggar och fönster.

Termografering – Värmefotografering är ett verktyg för att upptäcka avvikelser i en byggnads klimatskal. En värmekamera tar en bild som visar olika yttemperaturer på klimatskalet och det går således att se vart på byggnaden värme leds ut. Kameran som används för att ta dessa bilder funkar så att den registrerar värmestrålning och med hjälp av strålning producerar den en värmebild i olika färger beroende på temperaturen på ytan av det som visas i bilden. Instrumentet kan användas för att upptäcka bland annat köldbryggor, fuktskador, läckage med mer.

SIP – Super insulation plaster eller superisolerande puts är material som är väldigt isolerande med U-värde ner mot $0,030\text{ W}/m^2K$. Materialet kan användas som både utvändigt och invändigt isolering. Skillnaden mot vanlig puts är att istället för sand så används aerogelpartiklar i ballasten när materialet framställs och detta ger då den extra värmeisolerande effekten.

Ånggenomsläpplighet – Beskriver ett materials förmåga att släppa igenom vattenånga. Värdet bygger på hur snabbt vattenångan tar sig igenom ett material på en

kvadratmeters yta och en meters tjocklek då ånghaltsdifferansen är 1 kg/m^3 . Ånggenomsläpplighet har enheten m^2/s .

Kapillaritet – Kapillärsugning är ett fenomen där ett material kan suga upp vatten kapillärt från fri vattenyta. Detta är viktigt när det kommer till delar av klimatskalet som gränsar till grundvatten eller i fasader som utsätts för regn då vattnet ej får tränga sig in i konstruktionen. Det viktigaste att tänka på för klimatskal är kapillariteten som drivkraft för fukttransport (Petersson 2015).

Frostsprängning – Kallas det när till exempel puts eller betong spricker på grund av frost. Vatten tar sig in i små sprickor i materialen och när vattnet sedan fryser så expanderar det och skadar då materialet vilket kan leda till att bitar faller av eller större sprickor uppstår.

Energisignatur – Beskriver en byggnads totala energianvändning och är ett bra underlag för att kunna undersöka åtgärder och energieffektiviseringar. Är summan av de energiförluster och intäkter som hör till en byggnad. Förlusterna består av bland annat transmission genom klimatskal, ventilation och läckage medan intäkterna består av internvärme och solinstrålning.

Dagpunkt – Är temperaturen då den relativa luftfuktigheten når 100% under förutsättning mängden vattenånga i luften är densamma.

Paybackmetoden – Beräknar tiden det tar för en investering att återbetala sig. Det krävs att investeringen minskar utgifter eller på något sätt skapar en framtida intäkt som sedan mynnar ut i att investeringen betalas. Metoden används för att få en uppfattning om när i tiden man kan förvänta sig att detta skall ske.

K-märkning – Är ett allmänt begrepp för lagskydd avsedda att skydda bebyggelse och miljöer av kulturhistoriskt intresse. En byggnad ej får rivas eller förändras om det innebär att det kulturhistoriska värdet minskas.

3.2 Material – Aerogelputs

Aerogel är en typ av material med mycket hög porositet vilket ger materialet en låg värmekonduktivitet samt låg densitet. Detta ger materialet väldigt bra egenskaper lämpat för ett isolerande material. Aerogel används i flera olika isoleringsprodukter som aerogelputs, vakuumisoleringspaneler och aerogelfiltar som kan användas vid drevning runt fönster eller tilläggsisolering

Aerogelputs, SIP, tillverkas på nästintill samma sätt som vanlig puts med skillnaden att aerogelpartiklar används i ballasten istället för sand (Karim et al., 2020). Förhoppningen är att putsen skall kunna användas som fasadmateriäl i Sverige och bidra till att göra framtida nybyggnationer och renovationer mer energieffektiva. Putsen kan bli väldigt fördelaktig att använda vid just renovation där befintliga byggnader inte får förändra utseende i allt för stor utsträckning. Materialet kan då förutom att isolera byggnaden och förbättra förutsättningarna invändigt också se till att krav på utseende från bygglov kan uppfyllas.

Det som ses som största fördelen med aerogelputsen är dess låga värmekonduktivet, 0,028 W/(mK) (Fixit, 2011), detta är att jämföra med vanlig isolering som mineralull med värdet 0,037 W/(mK) samt vanlig puts med värdet 1,0 W/(mK) (Jernkontoret, u.å). Det innebär att man sparar ungefär en fjärdedel av tjockleken jämfört med traditionell isolering för att uppnå samma U-värde för byggnadsdelen. Detta är oerhört viktigt ur ett ekonomiskt perspektiv där uthyrbar yta kan skapas bara på att vägg-tjocklekar kan minska där krav från boverket ändå uppnås. Kravet på U-värde för en yttervägg enligt BBR är 0,18 W/(m²·K). Det krävs 150 mm aerogelputs respektive 200 mm mineralull för att tillgodose detta vilket ger en tydlig bild av att det finns uthyrbar area att spara på att använda ett SIP som fasadmateriel.

Materialet har tidigare inte använts i svenskt klimat vilket gör att det krävs mer studier och kunskap om hur det beter sig under svenska förhållanden under en längre period för att det skall kunna användas på ett samhällsäkert sätt där skador på byggnader undviks. Det används däremot med goda resultat i andra delar av Europa. I Schweiz finns över 200 byggnader där materialet använts som isolering och forskning visar goda resultat under andra klimat. Det är därför lovande för möjligheten att kunna använda liknade material i svenska byggnader. Fastighetsägare som vill testa nya tekniska lösningar, såsom aerogel, kan få bidrag från Energimyndigheten (Cato, 2016).

3.2.1 Tidigare forskningsstudier

En studie utförd i Österrike hade som utgångspunkt att aerogelputsen var intressant för att kunna underhålla och bevara historiska byggnader utan att ändra dess utseende (Schuss et al., 2017). I testet användes aerogelputsen som fasadmateriel på ytterväggar av tegel på en befintlig byggnad. Testet innehöll väggar med och utan armerad aerogelputs och med olika fin yta. Testet pågick under 3 år och data gällande fukt och termiska förändringar i väggen samlades in. Förväntade värden som byggts på beräkningar innan testet av väggarna påbörjats stämde bra överens med insamlade data. Resultatet pekar på att U-värden sänktes rejält jämfört med vanliga putsprodukter. Foton togs under en tvåårsperiod för att notera visuella skillnader på ytan. Resultatet visade att i de väggar där man ej armerat putsen samt använt en slätare putsyta hade små sprickor uppstått. I de fall där man använt en grövre putsyta fanns inga tecken på uppsprickning, oberoende av armeringsinnehåll.

Slutsatsen av studien var att trots relativt tunna lager kunde stora förbättringar med hänsyn till U-värdet göras, vilket ger betydande förbättringspotential ur ett termiskt perspektiv för historiska byggnader. Den kom också fram till att slätare yta i kombination med avsaknad av armering kan göra putsen mer benägen att spricka.

En annan studie utsatte aerogelprodukter, däribland aerogelputs, för extrema klimatpåfrestningar (Nosrati & Berardi, 2017). Testerna syftade till att utsätta proverna för påfrestningar överstigande dem som en byggnad rimligen kan antas utsättas för under sin livstid och på så sätt åldra produkterna för att kunna se hur egenskaperna förändras. Detta gjordes genom att utsätta olika prover för temperatursvängningar, höga temperaturer och hög fuktighet. Slutsatser och resultat

drogs sedan genom att undersöka hur värmekonduktiviteten ändrats hos materialet. Resultatet för putsmaterialen visade att den största skillnaden upptäcktes efter påfrestningar motsvarande 15 års åldrande under extrema frys- och upptiningscyklar. Värmekonduktivitet ökade där avsevärt. Det visade också på att putsen ökar i värmekonduktivitet snabbare än till exempel aerogelfiltar eller linkande. Detta antogs bero på att porstrukturen i putsen förändras i takt med att materialet åldras. Trots resultatet var det fortfarande stor skillnad på termisk prestanda när man jämförde aerogelprodukterna med konventionella isoleringsmaterial även efter åldrandeprocesserna.

En slutlig fallstudie bygger på renoveringen av en hög betongbyggnad byggd 1989 i Tyskland (Ghazi Wakili et al., 2018). Huset är byggt av prefab-element i betong. Ett 60 mm tjockt putslager fästes med hjälp av ett vågigt armeringsnät på den 30 m höga byggnaden. Innan appliceringen gjordes en hygro-termisk analys av byggnaden för att kunna lokalisera risker och undvika skada på konstruktionen. Resultaten av analysen gav att putsen måste vara vattenavvisande men ha god ånggenomsläpplighet. Detta för att byggnaden inte skall skadas när fukt samlas i materialet. Speciellt i detta fallet då höga byggnader har stora ytor som utsätts för slagregn.

Isolering med 60 mm aerogel fick väggens U-värde att förändras från runt 1,0 W/(m²K) till ungefär 0,3 W/(m²K). Termografiska bilder före och efter putsens visade också att monteringen hade en stor positiv inverkan på köldbryggorna som tidigare fanns i infästningarna mellan prefabelementen. Putsen gjorde att dessa så gott som försvann. En sista slutsats som drogs var att den vågiga armeringen som användes i putsen verkade funka trots de ökade påfrestningarna från vind och regn som kommer med höghus kontra lägre byggnader.

3.3 Byggteknik

Genom olika byggtekniker kan man spara energi och även bidra till en bättre termisk komfort. När man skall genomföra en renovering är det viktigt att vara medveten om olika byggnadsteknikers för- och nackdelar för att på så sätt välja rätt metod för ändamålet.

3.3.1 Regntäthet

Historiskt har enstegstätade putsfasader haft problem med fukt i Sverige. Detta har orsakats av brist på dränerad och ventilerad luftspalt bakom fasadskiktet när fukt trängt sig in i väggarna. I en intervju med Henrik Carlsson², framgick det att det är främst fasader med tunnputs som drabbats av problem. Tunnputsens drabbas av mikrosprickor som suger vatten in till bakomliggande material och i brist på dränerande skikt kan fukten sedan vandra kapillärt längre in i väggen. Tjockputsen har inte haft samma problem då den ej släpper igenom regn och fukt på samma sätt. För att förbättra regntäthet rekommenderades att putslagret är minst 20 mm tjockt.

² Henrik Carlsson, Civilingenjör på WSP. 30 mars 2021.

3.3.2 Putsbärare

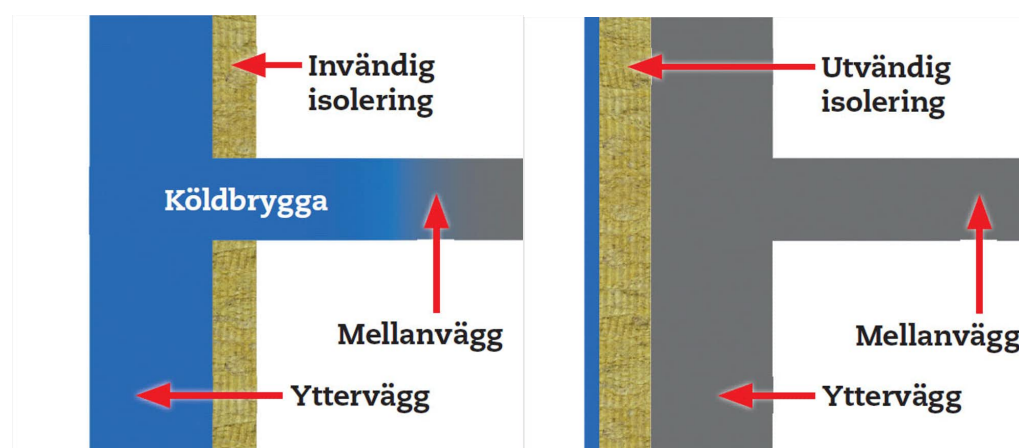
Den optimala putsbäraren är tegel. Detta då tegel har en grövre porstruktur än putsen som gör att teglet inte kan suga vatten kapillärt från putsen. Omvänt gäller att putsen kan suga från teglet vilket gör att vattnet ej tränger längre in i väggen. Detta gör att teglet innanför putsen inte uppfuktas vid regn. När putsen så småningom blir vattenmättad så avbördas ytterligare vatten på fasadytan.

I hälften av bostadshusen är ytterväggarna byggda av lättbetong vilket är en mycket sämre putsbärare. Detta då lättbetongen har en finare porstorlek och förhållandet mellan materialen ger istället omvänd effekt och fukten kan kapillärt vandra från utsidan inåt i väggen. Den blöta lättbetongen kan, förutom problem på insidan, leda till frostsprängning av putsen när det blir kallare. Det blir därför viktigt att se till att fasadskiktet/regnkappan ges möjlighet att göra sig av med fukten och att förbättra regntäthet genom exempelvis tjockputs.

3.3.3 In- och utvändig isolering

Värmeförluster genom klimatskalet står för ungefär en fjärdedel av den totala energiförbrukningen i ett modernt flerbostadshus men i ett äldre hus kan värmeförlusterna utgöra en större post beroende på dess isoleringsförmåga (Kurkinen, 2019). För att förbättra äldre byggnaders prestanda samt energieffektivisera dem, är tilläggsisolering ett bra alternativ. Applicering av tilläggsisolering kan tillämpas på olika sätt med många olika materialmöjligheter. Antingen appliceras tilläggsisoleringen på insidan eller utsidan av fasaden, därav in- och utvändig isolering.

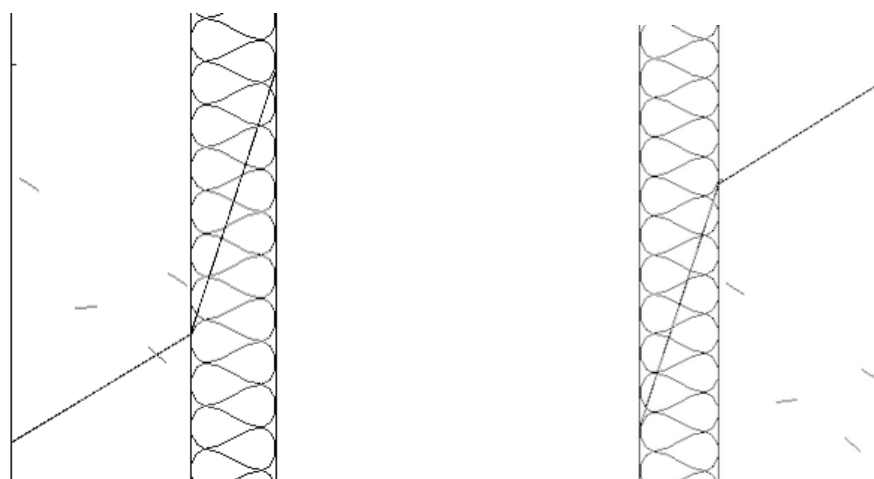
Vid invändig isolering finns det potentiella köldbryggor kring bjälklag och mellanväggar som bland annat kan leda till kalla golv och väggar, detta undviks vid utvändig isolering eftersom man bryter sådana köldbryggor, se Figur 3.1 nedan.



Figur 3.1. Vänster: En potentiell köldbrygga i en vägg med invändig tilläggsisolering. Höger: En vägg med utvändig tilläggsisolering utan köldbrygga. Hämtad från Gör det själv (GDS).

En tilläggsisolering förändrar temperaturprofilen i väggen, där placering av isoleringen har stor betydelse, se Figur 3.2, vilket ändrar dagpunkten i väggen och påverkar fuktförhållanden och uttorkningsmöjligheter som kan resultera i fukt- och

mögelproblem. Materialet som utsätts måste klara av att torka och hantera fukt. Om materialet inte klarar av detta kan ytterligare skador såsom frostsprängning uppstå. Då isolering i detta fall sker utvändigt fås en positiv effekt och risken för frostsprängning bedöms vara liten efter konsultation med Henrik Carlsson³. Detta beror på att väggen blir varmare och daggpunkten förskjuts utåt mot fasad och den kritiska relativa fuktigheten hamnar i de nya materialen som därmed måste klara denna fuktbelastning.



Figur 3.2. Vänster: Temperaturfördelningen i en vägg med invändig tilläggsisolering (kall vägg). Höger: Temperaturfördelningen i en vägg med utvändigt tilläggsisolering (varm vägg). Figur skissad i Revit.

Ytterligare en positiv effekt med utvändigt isolering är att viktig yta sparas. Applicering av 100 mm isolering på en byggnad i Torpa motsvarar ungefär 14 m² per våning. Baserat på de 3 våningar med totalt 42 m² uthyrbar yta och medelhyran i Göteborg på 1167 kr per m² och år (Ramböll, 2018) skulle detta resultera i ungefär 49 tkr om året i förlorad intäkt per byggnad vid invändig isolering.

En nackdel med utvändigt isolering kan vara att byggnadens arkitektoniska värden ändras, det vill säga att man byter eller förändrar fasadbeklädnaden. I och med att fasadens utseende förändras är det inte alltid möjligt att välja detta alternativ. I BBR finns det bestämmelser om skydd av kulturvärden. I ett samtal med fastighetsskötare för Torpaområdet framstår det att bygglov har försenats i området på grund av k-märkning.

3.3.4 Armering i puts

Putsen riskerar att spricka när den utsätts för påfrestningar som ger upphov till dragspänningar (SBUF, 2006). En orsak till detta är att putsen krymper med tiden, framförallt under den initiala fasen. Detta beror på vattenavgång från materialet. Ytterligare en faktor till sprickor kan vara klimatrelaterat, så som fukt- och temperaturvariationer. Det ställs extra höga krav på produkten med hänsyn till det svenska varierande klimatet.

³ Henrik Carlsson, Civilingenjör på WSP. 30 mars 2021.

För att motverka och minska sprickor används putsarmering som hjälper putsen att ta upp spänningar. En viktig faktor är placeringen av armeringen i putsen som påverkar dess förmåga att ta upp drag- och böjspänningar, som i sin tur påverkar sprickfördelningen.

Om man placerar armeringen innerst mot byggnaden ger det sämst förutsättningar att motverka breda sprickor på ytan. Vid denna typ av spricka ökas sprickvidden med tiden och det är inte möjligt att måla över med bestående resultat. Genom att placera armeringen ytterst begränsas sprickvidden i ytan men kan däremot spricka upp inifrån. En annan metod är att placera armeringen centralt i putsen, vilket begränsar sprickvidden men det blir fortfarande möjligt för fukt att tränga in. Ytterligare ett alternativ är att använda sig av två lager armering, ett lager ytterst och ett innerst, för att bästa resultat. Om man endast använder ett lager är placering ytterst mot ytan att rekommendera.

3.4 Tidigare renoveringsprojekt

3.4.1 Brogården

Brogården i Alingsås är 16 flerbostadshus med ungefär 300 bostäder, byggda 1973. Dessa renoverades av AB Alingsåshem och Skanska AB och man lyckades sänka energibehovet för byggnaderna med över 55% (Mjörnell et.al., 2011), se tabell 3.1.

Huset byggdes 1976 och bestod av bärande platsgjutna betongytterväggar med utanpåliggande tegel som fasadmateriäl. Teglet var skadat vilket tros ha varit frostrelaterat. Utfackningsväggar längs långsidorna bestod av isolerade regelstommar med gips inåt. På byggnaden satt treglasfönster med U-värde på 2,0 W/m². Grunden bestod av en 180 mm oisolerad platta av betong. I husen ansågs balkongplattorna som satt infästa på betongstommen vara stora köldbryggor. Taket bestod av råspont och takpapp med 300 mm isolering.

Den inspektion som låg till grund för renoveringen kom fram till att lägenheterna hade problem med drag och att betongplattan var utsatt för fuktskador. För att åtgärda detta renoverades taket och på råsponten lades ett lager av 100 mm isolering. Takfoten förlängdes för att täcka den nu tjockare tilläggisolerade fasaden. På vindbjälklaget lades 300 mm isolering. Fasaderna revs ner och nya utfackningsväggar av plåregelväggar byggdes. Balkongerna byggdes in och gav mer yta inuti lägenheterna och istället byggdes nya balkonger utanpå den nya fasaden. Slutligen sattes nya fönster in med U-värden på 0,9 W/m²

De största effekterna och energibesparingarna gjordes på uppvärmningen, se Tabell 3.1

Viktigt att notera är att den givna energianvändningen här är den energi som köpts in och är inte detsamma som energibehovet. Energiförbrukningen kan därför, i fall där energiåtervinning används, överstiga givna värden.

Tabell 3.1 Specifik energianvändning före och efter renovering. Källa: AB Alingsåshem och Alingsås energi.

Energianvändning	Energianvändning före renovering [kWh/m ²]	Energianvändning efter renovering [kWh/m ²]
Uppvärmning	115	27
Total energianvändning	216	92

Tabell 3.2 U-värden före och efter renovering. Källa: AB Alingsåshem.

Byggnadsdel	U-värde före renovering [W/m ² K]	U-värde efter renovering [W/m ² K]
Yttervägg	0,4	0,11
Fönster	2,0	0,9
Tak	0,3	0,1
Grund	0,5	0,26

Som Tabell 3.1 och 3.2 visar så har renovationen lyckats sänka U-värden och uppvärmningskostnader avsevärt. Det är givetvis en väldigt omfattande renovation men resultatet är i klass med nybyggnation. Brogården är därmed ett bra exempel på hur en renovation kan göra stor skillnad i energianvändning för en byggnad.

3.4.2 Backa röd

Backa röd består av 1 574 lägenheter som byggdes i Göteborg under miljonprogrammet. I detta fall beskrivs ett punkthus med 16 lägenheter och 4 våningar. Ägaren, Bostads AB Poseidon, genomförde dessa renovationer tillsammans med projektör från Byggtekniska Byrån i Göteborg och lyckades sänka energibehovet med över 65% (BeBo, 2014), se Tabell 3.3.

Byggnaden byggdes 1971 med prefabricerad betongstomme och sandwichelement som ytterväggar. Fasaderna behövde renoveras på grund av karboniseringsskador. Ytterligare ett problem var otäthet genom fasad och mellan väggar, som ledde till drag och köldbryggor som orsakade kalla golv. Lägenheterna ventilerades av FT-ventilation, det vill säga utan värmeåtervinning.

För att förbättra byggnadens prestanda genomfördes en hel del renoveringsåtgärder. Byggnadens klimatskal tilläggsisolerades med 200 mm EPS för ytterväggar, 500 mm lösull för tak och 500 mm leca för kryppgrund. För att tätas fasaden byggdes nya lufttäta utfackningsväggar samt nya balkongen för att minska tidigare köldbryggor. Ytterligare en åtgärd att ersätta de gamla fönstren med nya treglas lågenergifönster. Man bytte även ut ventilationssystemet till FTX-ventilation med roterande värmeväxlare.

Byggnadens struktur och klädnad bevarades under renoveringen, dock ändrades fasadens färg. Genom dessa renoveringsåtgärder lyckades man sänka byggnadens U-värde markant, se tabell 3.4, som beräknas ge en årlig energibesparing på 118 kWh/m².

Renoveringen har dessutom förbättrat den termiska komforten och luftkvalitén. Återbetalningstiden har uppskattats till 25 år för energisparåtgärderna.

Tabell 3.3 Specifik energianvändning för och efter renovering. Källa: Bostads AB Poseidon.

Energianvändning	Energianvändning före renovering [kWh/m ²]	Energianvändning efter renovering [kWh/m ²]
Uppvärmning	134	25
Total energianvändning	178	60

Tabell 3.4 U-värden före och efterrenovering. Källa: Bostads AB Poseidon.

Byggnadsdel	U-värde före renovering [W/m ² K]	U-värde efter renovering [W/m ² K]
Yttervägg	0,31	0,12
Fönster	2,40	0,90
Tak	0,14	0,10
Grund	0,40	0,10

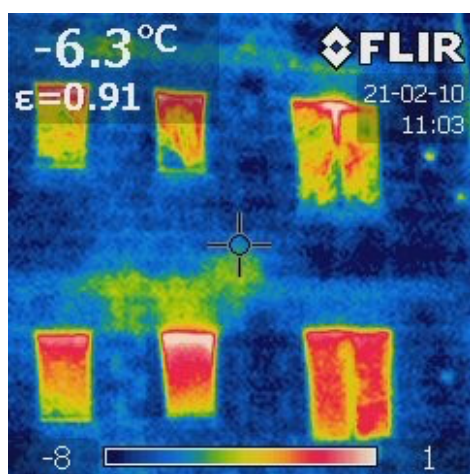
4 Resultat

4.1 Termografering

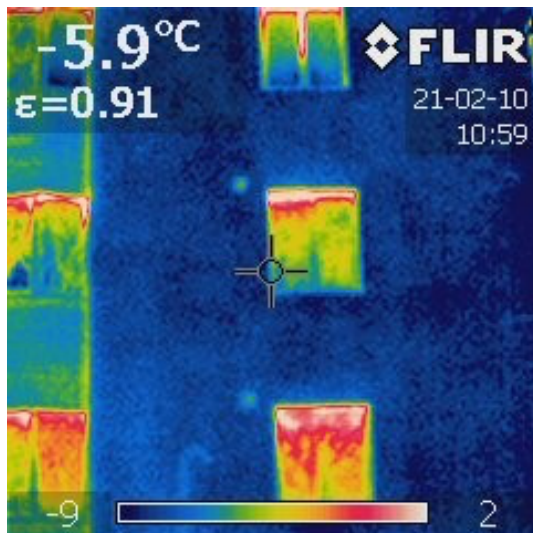
I ett tidigt skede av arbetet togs bilder på nuvarande fasader för att undersöka det befintliga skicket. Detta kan vara ett bra underlag för att jämföra värdena före och efter renovering men även för att se avvikelser i klimatskalet i form av köldbryggor som man kan förbättra vid en eventuell renovering. Termograferingen av området skedde på förmiddagen 10 februari 2021 under molniga förhållanden med en ungefärlig utetemperatur på $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Innetemperatur antas vara $21\text{ }^{\circ}\text{C}$.

I det fotograferade material upptäcktes några sådana avvikelser. Genom att jämföra Figur 4.1 och 4.2 går det se skillnaderna mellan de oisolerade och de tilläggsisolerade väggarna. Väggen i Figur 4.2 har en lägre ytemperatur och det syns inga ojämnheter i väggen till skillnad från Figur 4.1.

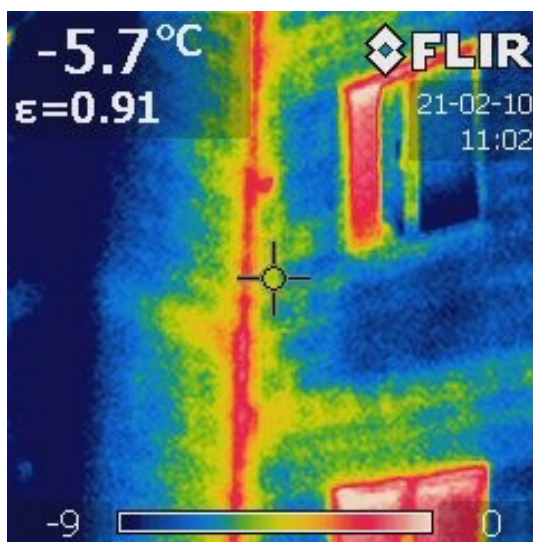
I Figur 4.3 och 4.4 visas exempel på två olika typer av köldbryggor. Den första beror på byggnadens geometri och den andra tros bero på ventilation eller annan installation bakom ytterväggen. I figur 4.5 visas ett gammalt fönster där man tydligt kan se dess brister. I och med sin utstickande utformning är det en väldigt utsatt detalj med hög exponering för slagregn. Detta syns i termograferingen i form av stora köldbryggor kring fönstren, där mycket energi försvinner ut från byggnaden.



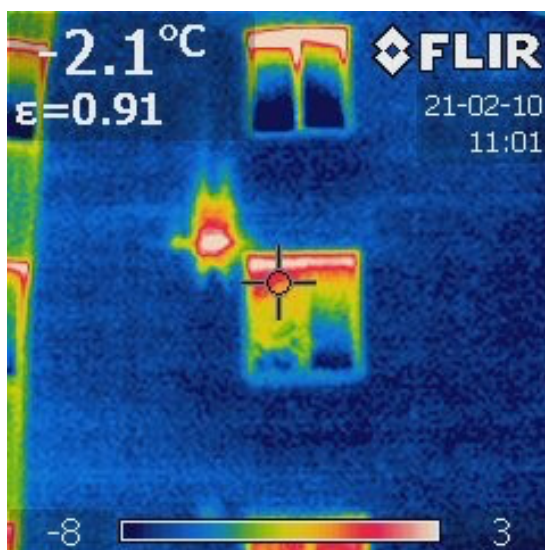
Figur 4.1 Termografiskt foto på fasad utan tilläggsisolering.



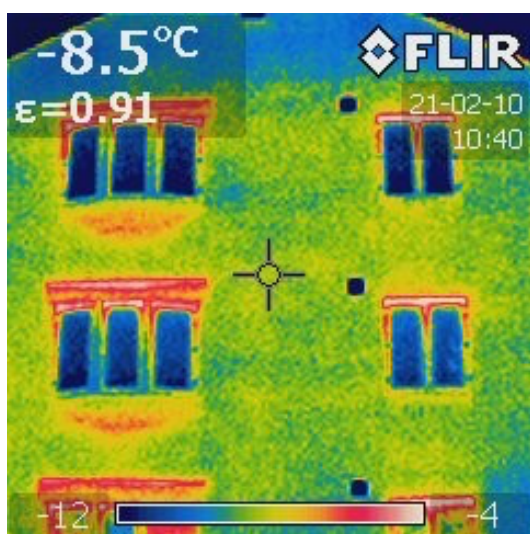
Figur 4.2 Termografiskt foto på fasad med tilläggsisolering med friskluftsventiler.



Figur 4.3 Termografiskt foto på köldbrygga vid kant av fasad utan tilläggsisolering.



Figur 4.4 Termografiskt foto på fasad med köldbrygga. Möjligen en ventilationskanal som ligger emot fasaden på insidan.



Figur 4.5 Termografiskt foto med fokus på köldbryggor från gamla fönster. Även här finns friskluftsventiler.

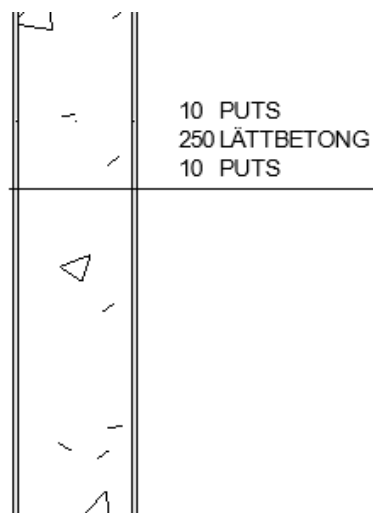
4.2 Väggtyper

I grunden finns det två olika väggkonstruktioner för flerbostadshusen i Torpa. En del består av putsad lättbetongstomme medan andra består av $\frac{1}{2}$ -stens tegelfasad med bakmurning av 1-stens 78-hålstegel. I denna rapport hamnar fokus på sju stycken olika fall med bas utifrån de två befintliga väggtyperna. I dagsläget har delar av byggnaderna redan blivit tilläggsisolerade. Dessa olika fall presenteras och undersöks utifrån energisynpunkt genom att beräkna U-värden för respektive vägg. De olika väggkonstruktionerna illustreras genom figurer skapade i Revit. Detta för att ge tydligare förståelse över väggens uppbyggnad och vilka dimensioner U-värdet grundas på.

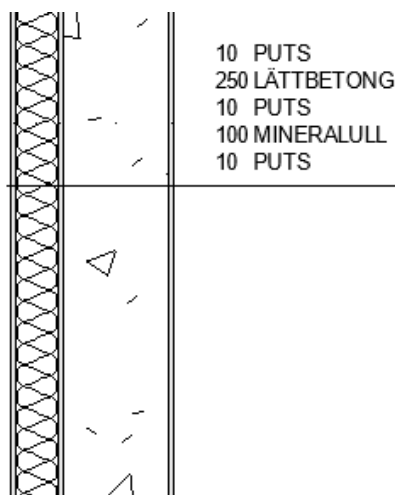
I Figur 4.6 och Figur 4.10 visas de två befintliga väggarna som byggdes under 50-talet. Den förstnämnda består av en lättbetongstomme med in- och utvändigt puts där putsen ger byggnaden dess karaktär. Den andra ursprungliga väggen består av en $1 \frac{1}{2}$ stens tegelstomme med invändig puts där teglet ger byggnadens dess karaktär. Dessa väggkonstruktioner har resulterat i att fuktskador uppkommit redan från start, och invändigt upplevs termisk diskomfort. Tegelkonstruktionen har generellt sett haft störst problem med fukt men några av dem har vid byggnation, på grund av sämre precision, fått en liten luftspalt. Detta har lätt till att de klarat sig bättre från fuktproblem eftersom fukten har kunnat ventileras ut. Väggen är dessutom sämre ur ett energiperspektiv utan luftspalt, med ett högre U-värde. I beräkningar antas tegelväggen ha en luftspalt på 10 mm.

I Figur 4.7 och Figur 4.11 visas de befintliga väggarna med mineralull som tilläggsisolering. Detta är det vanligaste sättet att tilläggsisolera byggnader. Man fäster mineralullen direkt på väggen och täcker det med spritputs. Vissa byggnader i Torpa har redan blivit tilläggsisolerade. I Figur 4.7 visas hur lättbetongväggen redan blivit tilläggsisolerad. Däremot har tegelfasaden ej blivit tilläggsisolerad. Detta beror troligtvis på att en utvändigt tilläggsisolering förändrar byggnadens karaktär.

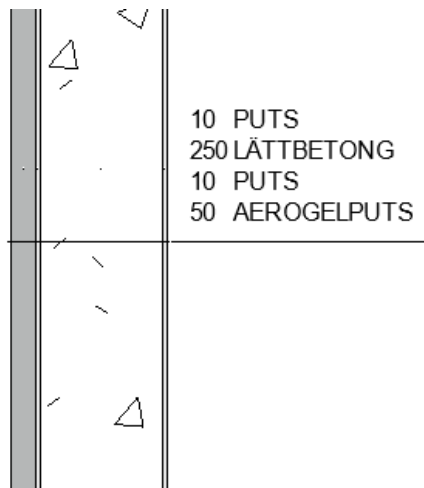
I Figur 4.8, 4.12 samt 4.9, 4.13 visas väggkonstruktionen med SIP applicerad direkt på fasaden. Där de två förstnämnda består av 50 mm SIP och ytterligare två består av 100 mm SIP.



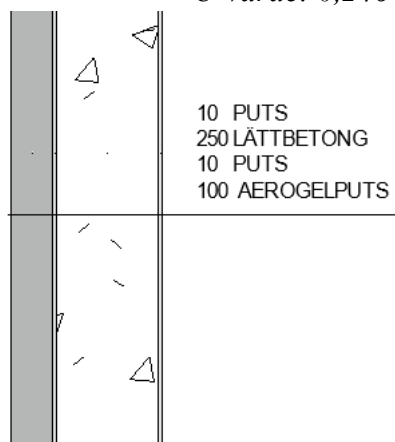
Figur 4.6 Befintlig lättbetongvägg [mm].
 U -värde: $0,440 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



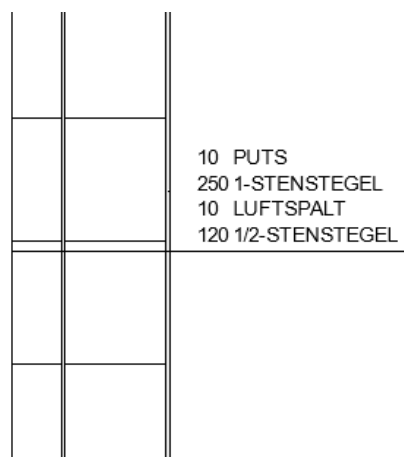
Figur 4.7 Lättbetongvägg med traditionell tilläggsisolering [mm]
 U -värde: $0,201 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



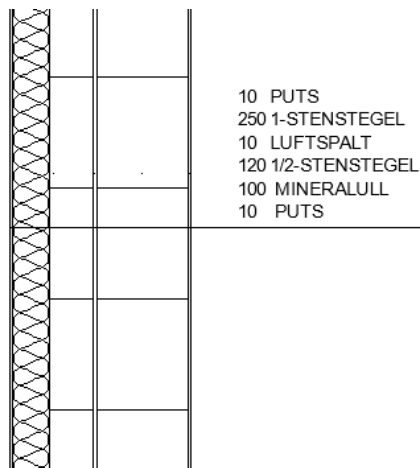
Figur 4.8 Lättbetongvägg med 50 mm aerogelputs [mm]
U-värde: 0,246 W/m²K



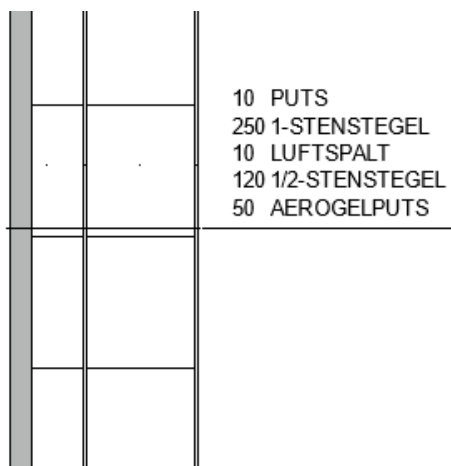
Figur 4.9 Lättbetongvägg med 100 mm aerogelputs [mm]
U-värde: 0,171 W/m²K



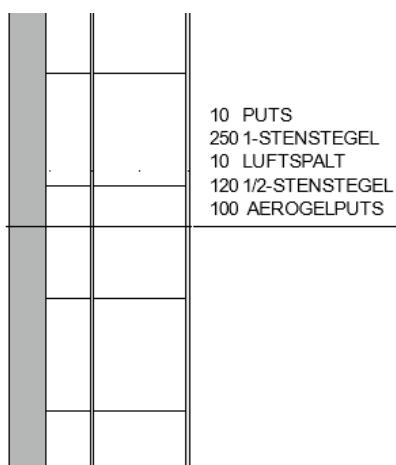
Figur 4.10 Befintlig tegelvägg [mm]
U-värde: 0,847 W/m²K



Figur 4.11 Tegelvägg med traditionell tilläggsisolering [mm]
U-värde: 0,26 W/m²K



Figur 4.12 Tegelvägg med 50 mm aerogelputs [mm]
U-värde: 0,337 W/m²K



Figur 4.13 Tegelvägg med 100 mm aerogelputs [mm]
U-värde: 0,210 W/m²K

4.3 Energisignatur

Energisignaturen är baserad på Sävenäs 69:1 som är ett av de putsade husen i Torpa. Enligt energideklarationen som gjordes 2020 av boverket har den uppmätta energiförbrukningen uppgått till 125 kWh/m². Excelmodellen som togs fram avsedd att efterlikna denna gav ett värde enligt ekvation (3) motsvarande 114 kWh/m² för putshuset och 131 kWh/m² för tegelhuset. Detta ger en indikation på att modellen är tillräckligt pålitlig för ändamålet att jämföra olika väggtyper och vilken betydelse dessa har för uppvärmningen av husen.

Tabell 4.1 visar att i lättbetongväggarna står $K_{yttervägg}$ för ca 17% av den totala energiåtgången 50 mm SIP minskar här energiåtgången med 9 kWh/m² eller 45% och 100 mm SIP minskar den med 12 kWh/m² eller 60%.

I tegelväggarna står $K_{yttervägg}$ för ca 28% av den totala energiåtgången. Med 50 mm SIP minskar energin som försvinner genom väggarna med 20 kWh/m² eller 60% och 100 mm SIP minskar den med 28 kWh/m² eller 75%.

Appliceringen av SIP är därmed effektivast på tegelväggarna.

Tabell 4.1 *Energianvändning för byggnaden med olika väggtyper*

Väggtyp	Energianvändning [kWh/m ²]	Energiförlust vägg [kWh/m ²]	U-värde [W/m ² K]	Se Figur
Befintlig Lättbetong	114	20	0,44	Figur 4.6
Lbttg + mineralull + puts	103	9	0,20	Figur 4.7
Lbttg + SIP 50 mm	105	11	0,24	Figur 4.8
Lbttg + SIP 100 mm	102	8	0,17	Figur 4.9
Befintlig Tegel	131	37	0,84	Figur 4.10
Tegel + mineralull + puts	106	12	0,26	Figur 4.11
Tegel + 50 mm SIP	109	15	0,34	Figur 4.12
Tegel +100 mm SIP	103	9	0,21	Figur 4.13

4.4 Återbetalningstider

I Tabell 4.2 visas återbetalningstiderna med paybackmetoden. Notera att investeringskostnaden endast avser materialkostnaden då kostnaden för arbetskraft antas vara snarlik i båda fallen, sannolikt något större utgift för tilläggsisolering med mineralull då putsning också ingår i en sådan renovering. Beräkningarna tar heller inte hänsyn till vunnen area inomhus utan antar att väggarna i båda fallen isoleras utvändigt.

Tabell 4.2 Paybackmetoden där kostnad och besparing avser uppvärmning med fjärrvärme (1kWh=1,0 SEK). Investering avser endast materialkostnad.

Vägg [mm]	Investering [SEK]	Besparing [SEK/år]	Återbetalningstid [år]
Tegel + 100 mineralull + 20 puts	220 000	64 650	3
Tegel + 50 SIP	1 660 000	56 892	29
Tegel + 100 SIP	3 320 000	72 408	46
Lbtg + 100 mineralull + 20 puts	220 000	28 446	8
Lbtg + 50 SIP	1 660 000	23 274	71
Lbtg + 100 SIP	3 320 000	31 032	107

5 Slutsats/Diskussion

5.1 Väggar

Det känsligaste fallet är lättbetongväggen då denna vid fel utformning kan låta fukt vandra kapillärt inåt i väggen. Det är därför viktigt att systemet har de diskuterande egenskaperna där putsen behöver vara vattenavvisande på ytan men ha en god ånggenomsläpplighet i det fall fukt kommer in i materialet. Utan dessa egenskaper kan fuktproblem på insidan av väggen komma att uppstå. I Figur 4.8, 4.9, 4.12 & 4.13 där aerogelputs används uppfylls rekommendation på tjocklek för regntäthet. Genom att använda aerogelputs som fasadmateriäl har resultatet flertalet europeiska studier påvisat stor förbättring av U-värden.

Det framställs två möjliga tillvägagångssätt för tilläggsisolering, invändig samt utvändig isolering. Det framkommer att utvändig isolering rekommenderas på grund av dess förmåga att bryta köldbryggor vid bjälklag och mellanväggar. En utvändig isolering ger också en varmare vägg och den kritiska relativa fuktigheten förskjuts utåt, vilket minskar risken för fuktproblem och frostsprängning. Ytterligare en positiv effekt med utvändig isolering är att viktig yta sparas invändigt, som ger en ekonomisk besparing.

Även armeringen i putsen är av stor betydelse för fuktskador. För att undvika sprickor i fasad bör putsen armeras ytterst, då det motverkar spänningar i putsen som resulterar i sprickor. Beroende på putsens tjocklek kan det även bli aktuellt att armera i ett yttre och ett inre lager som ger ett bättre skydd mot spänningar.

Ett problem med utvändig isolering kan vara att byggnadens arkitektoniska värde påverkas då fasaden till exempel byter utseende. Detta kan påverka möjligheten att få bygglov. Vid ett samtal med fastighetsvärden framkom det att detta har försenat bygglov för tegelbyggnaderna.

5.2 Energisignatur

Som resultaten i Kapitel 4.3 visar minskar appliceringen av 50 mm SIP energiförlusterna genom väggar med 45% i lättbetongväggen och 60% i tegelväggen. Detta visar att de i nuläget minst isolerade väggarna, är dem som får störst positiv effekt efter applicering.

Skillnaden mellan SIP och isolering med mineralull är relativt liten då tjocklekens betydelse för U-värdet minskar när aerogelputsen nått 50 mm. Slutsatsen dras därför att det vore intressant att undersöka en kombination av vanlig isolering och SIP då en utvändig tilläggsisolering ändå måste putsas med ett tillräckligt tjockt lager med avseende på fukt och regntäthet. Om detta lager bestod av SIP skulle lägre U-värden kunna nås då vanlig puts inte är särskilt isolerande, alternativt skulle en mindre dimension på isolerskiva kunna användas. Detta faller även i linje med slutsatser som dras för kostnadseffektivitet i Kapitel 4.4.

Det syns dock tydligt att det mest energieffektiva alternativet av de väggtyper som undersökts är att isolera med 100 mm SIP då materialet har en så pass låg värmekonduktivitet. Lättbetongväggen med 100 mm SIP är också den enda väggen i undersökningen som skulle klara av BBR:s krav om ett U-värde mindre än 0,18 W/m²K. Förutom vinningen av bättre U-värden för fasaden kommer sannolikt även förluster via köldbryggor minska, något som ej syns i Tabell 4.1.

5.3 Återbetalningstider

Resultatet visar på väldigt långa återbetalningstider. Det är dock viktigt att notera att vid en renovation är det inte bara själva putsen eller isoleringen som skall stå för hela återbetalningen. I ett fall där fasaden renoveras skulle också fönsterbyten ske, något som enligt beräknad signatur står för ungefär lika stor del av transmissionsförlusterna som väggarna. Det är också rimligt att anta att huset blir tätare vid renovering och läckageförlusterna som i nuläget står för en betydande del av det totala uppvärmningsbehovet hade minskat. Det är dock svårt att sätta en exakt siffra på hur stor förbättring en renovering hade inneburit för förluster via läckage. Vad för typ av uppvärmning som byggnaden har spelar också roll. Fjärrvärme som finns i Torpa minskar kostanden för uppvärmning och därmed besparingen jämfört med om huset varit elvärt.

Detta gör att den verkliga återbetalningstiden sannolikt är lägre än de som fås i Tabell 4.2 men när man jämför SIP med traditionell tilläggsisolering är det ändå svårt att motivera ett val av SIP över mineralull rent ekonomiskt.

Ifall 50 mm SIP sparar 50 mm vägg tjocklek skulle besparingen på uthyrbar area jämfört med en invändig mineralullslösning då uppgå till 25 000 kr årligen. Detta skulle innebära att återbetalningstiden för tilläggsisolerade väggar i tegelbyggnaden skulle närma sig 6 år istället för 3 enligt Tabell 4.2. Detta specifika scenario visar att det trots minskade intäkter betalar sig alternativet betydligt snabbare än ett SIP. Slutsatsen dras därför att i nuläget är det endast under väldigt specifika förutsättningar det skulle vara möjligt att genomföra en renovering med SIP ur ett ekonomiskt perspektiv. Detta på grund av att besparingen rent uppvärmningsmässigt inte är tillräcklig i de flesta fall, trots att SIP generellt sätt isolerar 25% bättre än t.ex. mineralullsskivor. Det vi däremot vet är att priset på aerogelputs från 2013 till 2020 sjunkit med ca 15% och det finns ingen anledning att anta något annat än att ju mer forskning som görs samt att det blir mer kommersiellt tillgängligt desto lägre blir priset.

Av resultaten i Tabell 4.1 samt 4.2 kan också slutsatsen dras att den mest kostnadseffektiva tjockleken på SIP ligger sannolikt under 50 mm. Besparingen i uppvärmningskostnad inom intervallet 50-100 mm översätts till 320 kr/mm SIP medan intervallet 0-50 mm sparar 1140 kr/mm, hela 3,5 gånger så mycket.

Ovanstående diskussion leder till antagandet att ifall SIP skall kunna konkurrera som utvändigt isolermaterial i framtiden behöver den bidra med både sänkta uppvärmningskostnader samt ökade intäkter från hyra. Detta kombinerat med ett lägre pris skulle skapa möjligheter för användning av materialet i större skala i Sverige.

6 Referenser

- Arkitektbyrandesign. (2011).
<https://arkitektbyrandesign.se/>
- Bauhaus. (u.å). *KALKBRUK FIN CS-I 20KG*.
<https://www.bauhaus.se/kalkbruk-grov-cs-i#go-to-description>
- BeBo. (2015). *Backa röd – lågenergirenovering*.
<https://www.bebostad.se/library/1776/godaex-backa-roed-2014.pdf>
- Bonnier Publications International AS. (2021). *Utvändig isolering & Invändig isoleringtäcker*.
<https://gds.se/spara-energi/isolering/isolera-utvandigt>
- Boverket (2018). *Byggregler*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/bygga-nytt-om-eller-till/byggregler/>
- Boverket. (2020). *Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, BBR*.
https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf
- Boverket. (2020). *Energideklaration Uddeholmsgatan 9A*.
- Boverket (2021). *Bestämmelser om skydd av kulturvärden och rivningsförbud*.
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/Allmant-om-PBL/teman/kulturvarden/kulturvarden-i-plan---och-bygglagen/detaljplan-och-kulturvarden/skyddsbestammelser-och-rivningsforbud/>
- Byggmax. (u.å). *STENULLSSKIVA PAROC SOLID*.
<https://www.byggmax.se/stenullsskiva-paroc-solid-p16890>
- Calisesi, M. (2017). *Aerogel Incorporated Plasters and Mortars: the case study of precast panels*.
<https://amslaurea.unibo.it/13043/1/Aerogel%20Incorporated%20Plasters%20and%20Mortars%20the%20case%20study%20of%20precast%20panels.pdf>
- Cato, M. (2016). *Smart fasad*. *Fastighetstidningen*.
<https://fastighetstidningen.se/smart-fasad/>
- Danielsson, A. Wannerskog, A, S. Femenias, P. Thuvander, L. (2014). *Case Torpa*.
https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/240706/local_240706.pdf
- Del Curto, D. Cinieri, V. (2020). *Aerogel-Based Plasters and Energy Efficiency of Historic Buildings*. Literature Review and Guidelines for Manufacturing Specimens Destined for Thermal Tests.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/22/9457/htm#B1-sustainability-12-09457>

ENIVA ISOLERPROFFS. (u.å). *Termografering*.
<https://www.isolerproffs.se/tjanster/besiktning-av-klimatskalet/termografering/>

Eon. (2021). *Fjärrvärmepris*.
<https://www.eon.se/fjarrvarme/priser>

Ferm, M. (2019). *Forskaren: Var femte lägenhet i miljonprogrammet måste renoveras akut*.
<https://www.svt.se/nyheter/lokalt/stockholm/akut-renoveringsbehov-i-miljonprogrammen>

Fixit. (2020). *Preisliste / Liste de prix 2020*.
https://mamview.fixit-holding.com/CIP/mediadelivery/rendition/100_228745/

Ghazi Wakili, K., Dworatzky C., Sanner, M., Sengespeick, A., Paronen, M., Stahl, T. (2018). *Energy efficient retrofit of a prefabricated concrete panel building (Plattenbau) in Berlin by applying an aerogel based rendering to its façades*. Energy and Buildings, vol. 165, 2018, sid. 293-300

Jernkontoret. (u.å). *Värmeledningsförmåga och U-värden för olika material*.
<https://www.energihandbok.se/konstanter/varmeledningsformaga-och-u-varden-for-olika-material>

Karim, A., Johansson, P., Sasic Kalagasidis, A. (2020). *AEROGELBASERAD PUTS SUPERISOLERING FÖR FRAMTIDEN*.
https://www.husbyggaren.se/annons-admin/cms/api.php?table=ads&action=generate-pdf&art_id=2678&s=537816a19ede0364c5bbd85b1d3d7666

Karim, A., Johansson, P., Sasic Kalagasidis, A. (2020). *Super insulation plasters in renovation of buildings in Sweden: energy efficiency and possibilities with new building materials*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 588(4).
<http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/588/4/042050>

Kurkinen, E. (2019). *Guide Tilläggsisolering* <https://ichb.se/innehall/guider/guide-tillaggsisolering/>

Mata, E., Sasic Kalagasidis, A., (2009). *Calculations of the energy use in the Swedish housing*. (2009:4). Chalmers University of Technology.
<https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/122325.pdf>

Mjörnell, K., Gustavsson, T., Fyhr, K., Gervind, P., Sasic, A., (2011). *Milparena - Miljonprogramsarena Innovativa åtgärdsförslag för renovering av byggnadsskal och*

installationer (39). SP. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962627/FULLTEXT01.pdf>

Nosrati, R., Berardi, U. (2017): *Long-term performance of aerogel-enhanced materials*. Energy Procedia, vol. 132, 2017, sid. 303-308.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217348841>

Persson, J. (2012). *Lufttäthetens inverkan på energiberäkningar* [Master thesis, Umeå Universitet]. DiVA. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:550800/fulltext01.pdf>

Petersson, B-Å., (2015). *Tillämpad Byggnadsfysik*. Studentlitteratur.

Ramböll. (2018). *Marknadshyror för hyreslägenheter i Göteborgs Kommun*
<https://www.hyresgastforeningen.se/globalassets/faktabanken/rapporter/marknadshyrerapporter/2018/marknadshyror-for-hyreslagenheter-i-goteborgs-kommun-2018.pdf>

Schuss, M. Pont, U. Mahdavi, A. (2017). *Long-term experimental performance evaluation of aerogel insulation plaster*. Energy Procedia, vol. 132, 2017, sid. 508-513.

Sveby. (2009). *Brukarindata för energiberäkningar i bostäder*.
http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2011/06/brukarindata_bostader.pdf

Svendsen, P. (2021). *Isolera utvändigt*.
<https://gds.se/spara-energi/isolering/isolera-utvandigt>

Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF) och Föreningen Tungt murat och putsat byggande. (2016). *UNDVIK MISSTAG I MURAT OCH PUTSAT BYGGANDE*.
https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/6053e4c4-e4fd-44be-908b-834f8118e78b/FinalReport/SBUF%2012983%20Slutrapport%20Murat%20och%20putsat%20byggande.pdf?fbclid=IwAR3t6feE1yFcgQCV5UMzETfWHG66XqGtQ_PcIBDyjbOvSLYw2EY21-hpZmI

Upphandlingsmyndigheten. (u.å). *Olika typer av investeringskalkyler*.
<https://www.upphandlingsmyndigheten.se/om-hallbar-upphandling/ekonomiskt-hallbar-upphandling/lcc-for-langsiktigt-hallbara-inkop/olika-typer-av-investeringskalkyler/>



CHALMERS