



CHALMERS



Utredning av klimatskalets energiprestanda i ett 60 år gammalt småhus

Jämförelse av energiprestanda mellan nuvarande och renoverat klimatskal

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik

ALBIN JONSSON
ANDREAS LUOKKANEN

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

EXAMENSARBETE ACEX20

Utredning av klimatskalets energiprestanda i ett 60 år gammalt småhus

Jämförelse av energiprestanda mellan nuvarande och renoverat klimatskal

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

ALBIN JONSSON

ANDREAS LUOKKANEN

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2022

Utredning av klimatskalets energiprestanda i ett 60 år gammalt småhus
Jämförelse av energiprestanda mellan nuvarande och renoverat klimatskal
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

ALBIN JONSSON

ANDREAS LUOKKANEN

© ALBIN JONSSON ANDREAS LUOKKANEN, 2022

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola 2022

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Göteborg 2022

Utredning av klimatskalets energiprestanda i ett 60 år gammalt småhus
Jämförelse av energiprestanda mellan nuvarande och renoverat klimatskal

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

ALBIN JONSSON

ANDREAS LUOKKANEN

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Försöksbyggnaden, Tribunen, är belagd på Lilla Varholmen, Tribunen ägs av Hjuviks Båtklubb och är i dagsläget i dåligt skick. Tribunen är konstruerad under 1960-talet och fackmässig dokumentation över byggnadsförlopp och konstruktion är obefintlig. Energiprestandan antas dålig då byggnader konstruerade på 1960-talet har en större energiförbrukning än byggnader konstruerade de senaste 40 åren. På grund av Tribunens dåliga skick planerar båtklubben att bygga om byggnaden inom en snar framtid.

Studien har som mål att skapa dokumentation om konstruktion och energiprestanda för Tribunen i nuvarande och renoverat skick. Efter en okulär undersökning av byggnaden och klimatskalets lagerföljd beräknas U-värden för klimatskalets samtliga delar. Byggnadsfysiska mätmetoder: Co-heating test, Blower door test och termografering används sedan för att undersöka klimatskalet med hänsyn till värmeförlust och lufttäthet.

Undersökningarna av Tribunen indikerar att antagandet av byggnadens dåliga skick var korrekt. Mätvärden från Co-heating test, Blower door test och termografering visar att värmeförlusten via klimatskalet är signifikant. Utöver det mätvärdena beskriver är beräknat U_{medel} [W/m^2K] för Tribunen inte bra nog för att uppfylla kraven satta av Boverket.

Utifrån resultaten föreslås en total ombyggnad av Tribunen, då enbart en renovering av klimatskalet inte anses tillräcklig för att nå kraven. Ett förslag på den nya byggnadens utformning och lagerföljd i det nya klimatskalets samtliga delar redovisas, samt förbättringen av U_{medel} .

Nyckelord: Energiprestanda, U-värde, klimatskal, värmeförlust, lufttäthet, köldbrygga, co-heating, blower door, termografi

Assessment of the building envelopes energy performance of a 60 year old small building

Comparison of energy performance between present and renovated building envelope

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

ALBIN JONSSON

ANDREAS LUOKKANEN

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Building Technology
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The test building, Tribunen, is located on Lilla Varholmen. Tribunen is owned by Hjuviks Boat Club and is today in bad condition. Tribunen was constructed during the 1960's and therefore professional documentation about how it was built is non-existent. The energy performance is presumed poor considering buildings constructed during the 1960's have a greater energy usage than buildings constructed during the latest 40 years. Due to Tribunen's bad condition the boat club is planning to rebuild the building in the near future.

The goal of the study is to create documentation regarding the construction and energy performance of Tribunen in present and renovated state. After an ocular inspection of the building and the building envelope's stratification, U-values of all parts of the building envelope are calculated. Building physics measurement methods: Co-heating test, Blower door test and thermographing are used to examine the building envelope concerning heat-loss and air tightness.

The examinations of Tribunen indicate that the assumption of the building's poor condition is correct. The measured values from Co-heating test, Blower door test and thermographing show that the heat-loss through the building envelope is significant. Beyond what the measured values describe, the calculated U_{mean} is not good enough to reach the requirements determined by the Swedish National Board of Housing, Building and Planning.

According to the results, a total reconstruction of Tribunen is suggested, as only performing a renovation of the building envelope is expected to not be enough to reach the requirements. A proposition about the new building's design and the new building envelope's stratification is presented, as well as the improvement of U_{mean} .

Key words: Energy performance, U-value, building envelope, heat-loss, air tightness, Thermal bridge, co-heating, blower door, thermography

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 INTRODUCTION	1
1.1 Syfte	1
1.2 Metod	1
1.3 Avgränsningar	2
2 BESKRIVNING AV FÖRSÖKSBYGGNAD, TRIBUNEN	3
2.1 Byggnadens användningsområden	3
2.2 Byggnadens skick	4
2.3 Klimatskalets konstruktion	6
3 TEORI OM BYGGNADSFYSIK, FÄLTMÄTNINGSMETODER OCH U-VÄRDESBERÄKNINGAR	7
3.1 Värmeförlust	7
3.1.1 Co-heating test för att mäta värmeförluster och U_{medel}	7
3.2 Lufttäthet	8
3.2.1 Blower door test och termografering för att mäta lufttäthet	8
3.3 Köldbryggor	9
3.3.1 Termografering för att hitta köldbryggor	9
3.4 Teoretiska beräkningar av U-värden	10
3.5 Korrigering av U-värden och energibalans	11
4 UTFÖRANDE AV FÄLTMÄTNINGAR I FÖRSÖKSBYGGNADEN	13
4.1 Co-heating test	13
4.2 Blower door test	17
4.3 Termografering	19
5 RESULTAT FRÅN FÄLTMÄTNINGAR OCH U-VÄRDESBERÄKNINGAR	20
5.1 Mätresultat från Co-heating test	20
5.2 Mätresultat från Blower door test och termografering	23
5.3 Teoretiska U-värden för Tribunen	23
	III

5.4	Korrigerade U-värden för Tribunen utifrån mätvärden	27
6	UTVÄRDERING AV OMBYGGNAD	29
7	SLUTSATS	32
8	REFERENSER	33
9	APPENDIX	36

Förord

Detta arbete står som ett avslut för vår tid på samhällsbyggnad och Chalmers. Det har varit väldigt roligt att använda kunskapen vi har samlat på oss under åren och skapa något eget genom detta arbete. Tack till Hjuviks Båtklubb som gjorde studien möjlig. Utan möjligheten att låna deras lokal hade arbetet inte kunnat genomföras på sättet vi önskade. Hoppas att vi inte störde deras dagliga verksamhet allt för mycket.

Vi vill speciellt tacka vår handledare Ali Naman Karim för hans stora engagemang och stöd under arbetets gång. Riktat även ett stort tack till vår examinator Angela Sasic Kalagasidis. Ett slutligt tack till Chalmers för möjligheten att låna all utrustning arbetet krävde.

Göteborg maj 2022

Andreas Luokkanen & Albin Jonsson

Beteckningar

Romerska versaler

A	Area [m^2]
$Q_{\text{differens}}$	Differens mellan tillförd och förlorad värmeeffekt [W]
$Q_{\text{förlust}}$	Förlorad värmeeffekt [W]
$Q_{\text{tillskott}}$	Genomsnittligt värmeeffektillskott [W]
R	Värmemotstånd [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]
R_{se}	Utvändigt värmeövergångsmotstånd [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]
R_{si}	Invändigt värmeövergångsmotstånd [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]
\bar{T}_{inne}	Medelvärde innetemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
\bar{T}_{ute}	Medelvärde utetemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
U	Värmegenomgångskoefficient [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
U_{Korr}	Korrigerad värmegenomgångskoefficient [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
ΔU	Motsvarar ett påslag på värmegenomgångskoefficienten för köldbryggor på 20% [-]
Wh_{total}	Total energiförbrukning [Wh]

Romerska gemener

c_p	Specifik värmekapacitet för luft [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$]
d	Tjocklek på skikt [m]
q_{50}	Luftflöde vid 50 Pa [m^3/s]
q_{E50}	Luftflöde vid 50 Pa per m^2 omslutningsarea [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$]
q_{medel}	Luftflöde vid normalt tryck [m^3/s]

Grekiska gemener

λ	Värmeledningsförmåga [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$]
ρ	Densitet för luft [kg/m^3]

1 Introduktion

I denna studie undersöks energiprestandan hos en liten byggnad ägd av Hjuviks Båtklubb, benämnd Tribunen. Byggnaden har en golvyta på ca. 50 m² och består av ett rum på 10 m², en sal på 25 m² och övriga utrymmen på 15 m². Byggnaden används idag som samlingslokal och sekretariat. Tribunen är konstruerad under 1960-talet, enligt medlemmar i Hjuviks Båtklubb och en bok om båtklubbens historia (Bergstedt-Josefsson & Jonsson, 2012). Fackmässig dokumentation över byggnadsförlopp samt konstruktion är obefintlig. Tribunen är i dagsläget i dåligt skick, fasaden är rötskadad, utvändig isolering lossnar och delar av takutsprånget felar. Energiprestandan antas dålig då byggnader konstruerade på 1960-talet har en större energiförbrukning än byggnader konstruerade inom de senaste 40 åren (Energimyndigheten, 2016). Energianvändningen för uppvärmning och varmvatten för småhus byggda under 1960 överstiger 15 MWh/år. Medan energianvändningen för småhus byggda efter 1980 ligger runt 12 MWh/år. På grund av Tribunens antagna dåliga konstruktions- och energimässiga skick planerar båtklubben att bygga om byggnaden. För att skapa ett underlag för ombyggnationen har studien som mål att skapa dokumentation om nuvarande Tribuns konstruktion och energiprestanda. Detta används sedan för att undersöka om en total ombyggnad är nödvändig för att förbättra energiprestandan eller om en renovering av klimatskalet är tillräckligt.

1.1 Syfte

Arbetets syfte är att med byggnadsfysiska mätmetoder undersöka klimatskalets energiprestanda för byggnaden Tribunen. Utifrån mätresultat och teoretiska analyser föreslås renovering eller total ombyggnad av Tribunen för att förbättra energiprestandan. Fokus ligger främst på att utvärdera värmeförluster genom byggnadens klimatskal.

Frågorna som behandlas i studien är:

- Hur ser Tribunens konstruktion ut i dagsläget och hur presterar byggnaden energimässigt?
- Är en total ombyggnad nödvändig eller räcker det att renovera klimatskalet för att uppfylla kraven angående U-värden satta av Boverket?
- Hur ser en eventuell ombyggnad ut och hur bra energiprestanda kan uppnås?

1.2 Metod

Arbetet inleddes med att utföra en inventering av Tribunens klimatskal. Denna fältstudie utfördes för att skapa en förståelse kring förutsättningarna för arbetet. Aspekter som innefattades i fältstudien är främst rötskador, tydliga luftläckage och Tribunens konstruktion. Utifrån fältstudien skapades även ritningar över byggnaden.

En litteraturstudie utfördes för att hitta information om vilka problem relaterat till värmeeffektörluster en byggnad har och hur de kan undersökas praktiskt. Litteraturstudien baserades på svenska standarder, vetenskapliga artiklar, rapporter och ett antal böcker om byggnadsfysik och byggnadsteknik. Studien gav förståelse för vilka byggnadsfysiska problem en byggnad kan ha och varför de uppstår. Även

effekten de har på en byggnads funktion undersöktes. Utöver de byggnadsfysiska problemen studerades även fältmätmetoder för de faktorer arbetet inkluderar.

Teoretiska beräkningar på klimatskalets och innerväggarnas U-värden, se Kapitel 3, gjordes för att lägga en grund för arbetets praktiska metoder, se Kapitel 4. Beräkningarna utfördes i Mathworks MATLAB, dimensioner och värden till beräkningarna gavs av ritningarna som skapats tidigare i arbetet utifrån den okulära undersökningen av byggnaden, se Kapitel 2, samt Appendix 7. Resultatet av dessa beräkningar användes sedan för att analysera data från de praktiska mätmetoderna, se Kapitel 5. De teoretiska U-värdena korrigerades sedan utifrån mätvärden från fältmätningarna, se Kapitel 3.

Den första av de praktiska metoderna som utfördes var Co-heating test, se Kapitel 4. Testet utfördes enbart i Tribunens lilla på rum om 10 m², kallat Testrummet, detta val gjordes p.g.a. praktiska begränsningar och för att minimera störningen av verksamheten i byggnaden. Rummets öppningar tätades och rummet värmdes upp till en stabil temperatur. När stabila förhållanden uppnåtts samlades data över temperatur och energianvändning.

Den andra praktiska metoden, Blower-door test, se Kapitel 4, utfördes efter Co-heating testet var avslutat. Rummet behövde inte förberedas då det redan var tätat efter Co-heating-testet. Utrustningen för Blower-door test installerades och kalibrerades. Testet påbörjades och data över rummets lufttäthet samlades in. Tredje och sista praktiska metoden var en termografering, för att hitta köldbryggor och luftläckage, se Kapitel 4.

Med beräkningar och fältmätningar som grund togs ett ombyggnadsförslag för Tribunen fram. Den nya byggnadens energiprestanda undersöktes kortfattat genom att beräkna U-värden för klimatskalet, se Kapitel 6.

1.3 Avgränsningar

Den undersökta byggnaden består av flera rum. I denna studie utförs tester enbart på ett rum i byggnaden. Anledningen är praktiska begränsningar och minskad påverkan på verksamheten i byggnaden. Enbart värmegenomgång och lufttäthet undersöks med praktiska mätmetoder. Inga vidare studier angående ekonomiska och miljömässiga aspekter kopplade till värmeförlust eller ombyggnad kontra renovering behandlas.

2 Beskrivning av försöksbyggnad, Tribunen

Arbetet utförs på Tribunen placerad på Sofus Udde på Lilla Varholmen i Göteborgs kommun. Byggnaden ägs av Hjuviks Båtklubb, den är ett enplanshus som har en golvyta om cirka 50 m². Enligt äldre båtklubsmedlemmar är Tribunen uppförd på slutet av 1960-talet. På 1980-talet byggdes Tribunen om och en ny fasad installerades med utvändig isolering, se Figur 2.1.



Figur 2.1 Bild tagen av Tribunen från öst. Visar den nordöstra och sydöstra fasaden.

2.1 Byggnadens användningsområden

I detta kapitel beskrivs hur byggnaden har använts, hur den används nu samt vad planerna för framtiden är. Att kartlägga vad byggnaden använts till ger förståelse för vilket inneklimat som är önskvärt i byggnaden.

Byggnadens ursprungliga användningsområde var att utgöra en starttribun vid kappseglingar och tävlingar som arrangeras av Hjuviks Båtklubb. Detta ändamål förklarar varför byggnaden uppfördes på den utsatta platsen precis vid vattenbrynet. Byggnaden användes då för att utgöra ett väderskydd för organisationen och åskådare under tävlingar. Från första början var byggnaden enbart ett väderskydd likt en busskur, utan värme, el och vatten. I takt med att man sett nytta av att använda byggnaden till andra ändamål har byggnadens funktioner förändrats.

Idag används byggnaden främst som samlingslokal för båtklubbens medlemmar vid olika aktiviteter och möten. Byggnaden används främst under sommarhalvåret då evenemang arrangeras oftare. Idag har byggnadens läge kommit att uppskattas mer på grund av utsikten över Björköfjorden än av praktiska skäl som starttribun.

I framtiden har båtklubben som ett mål att förändra byggnaden invändigt genom att öppna upp planlösningen så att en större samlingsyta möjliggörs. När denna förändring sker behöver också klimatskalet renoveras, för att säkerställa en god miljö i den nya samlingslokalen.

2.2 Byggnadens skick

Vid en okulär utvändig besiktning konstateras byggnaden vara i tämligen dåligt skick. Taket har dock lagts om och ser ut att vara i bra skick. Stora ytor i fasaden är fuktskadade, bleck och plåtar är rostiga på grund av det salta, fuktiga klimatet och fasadfärgen har flagnat på stora ytor, se exempel på fel i Figur 2.2 och Figur 2.3. Det har inte gjorts några kända ingrepp för att förbättra skicket på byggnaden under de senaste 15 åren vilket har gjort att skicket försämrats. Yttersta skiktet består av en stående rödmålad lockpanel. Skicket på byggnadens fasad varierar mellan olika väderstreck. För ytterligare bilder av byggnaden se Appendix 1 och Appendix 2.



Figur 2.2 Till vänster; Rötskada och flagnad färg på Tribunens sydvästra fasad. Till höger; rostskada på skärmtakets metallram.

Sydvästra fasaden

Fasaden mot sydväst är den mest utsatta för slagregn och solstrålning (Pettersson, 2018). Detta har lett till att den är i betydligt sämre skick än motstående fasad. Fasaden har två stora partier där panelen är tydligt fuktskadad. Den största rötskadan utgör ett område på cirka 3 m² runt en igensatt lucka där fukt enklare har kunnat tränga in och bli kvar, se Figur 2.2. Övriga rötskador lokaliseras i närhet av ändträn, över fönster och längs med fasadens nederkant. I Figur 2.3 syns rötskadade områden markerade med maskeringstejp. Vid inspektion syns att ändträt inte har grundmålat och inte snedkapats. Fasadfärgen i övrigt har flagnat, troligen på grund av väderpåverkan. Takfotens inklädnad, som är av masonit har med tiden absorberat fukt, svällt och börjat hänga ner mellan takstolarna.



Figur 2.3 Fasad åt sydväst, tejp som markerar rötskadade områden.

Sydöstra fasaden

Fasadsidan är i något bättre skick än den sydvästra, dock finns vissa rötskador och färgen är blekt och flagnad. Dörren har blivit skavd och upplevs otät då kallluft drar in vid tröskeln. Plåten som täcker vindskivan har förmodligen bytts mer nyligen.

Nordöstra fasaden

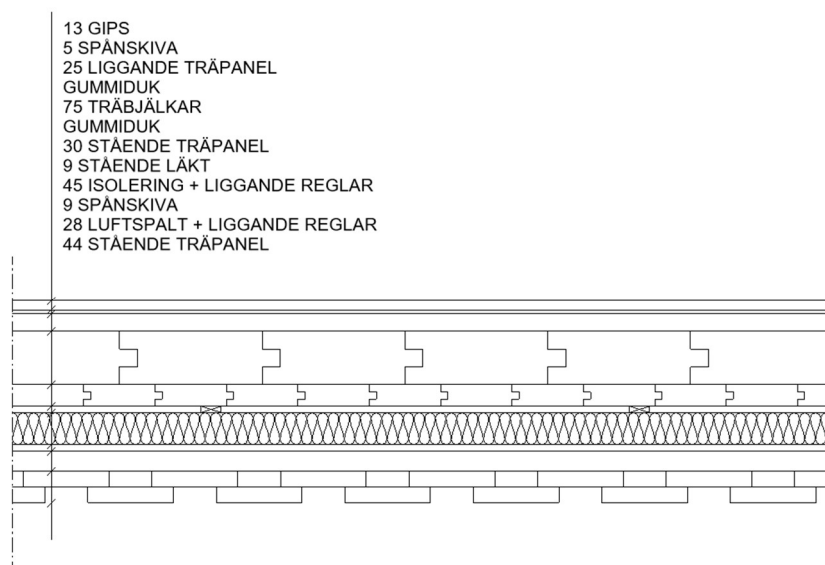
Fasaden mot nordost är mindre utsatt för vind, regn och sol. Detta antas vara anledningen till att fasadens skick är betydligt bättre. Inga rötskador uppdagades vid okulärgranskningen och färgen har bestått bättre på denna sida. De fönster som vetter mot nordöst är i godtagbart skick och håller tätt. Fönstren är tre-glas och är troligtvis inte original för byggnaden då tre-glasfönster först började tillverkas på 70-talet (Västernorrlands museum, u.å.). Vid altandörren känns liksom vid entrédörren ett drag av kallluft runt kanterna och fram för allt vid dörrens underkant. Mitt på fasaden finns en friskluftsventil med en invändig lucka.

Nordvästra fasaden

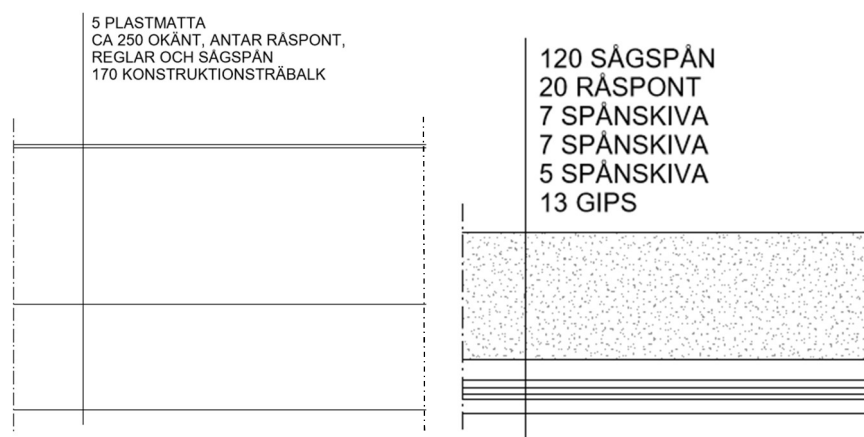
Denna fasad utgörs främst av ett fönsterband bestående av fem fönster ut mot havet. Dessa fönster är likt övriga fönster, fasta av treglastyp, inget luftläckage observeras runt dessa fönster. Över fönsterbandet sitter ett skärmtak med stålram, detta hålls upp av vinklade stag i metall som går in igenom fasaden och sitter fast med fransk träskruv in i plankväggen. Även stålramen hålls fast med fransk träskruv. De flesta metalldelar på denna fasad är mycket rostskadade. Fasaden i övrigt är i jämbördigt skick med nordöstra fasaden, alltså något bättre än de sydliga, men är i behov av målning.

2.3 Klimatskalets konstruktion

Under den okulära besiktningen undersöktes även Tribunens klimatskals konstruktion. Den befintliga väggkonstruktionen undersöktes genom att montera bort en självdragsventil och inspektera lagren i tvärsnittet. Från utsidan gick det även att inspektera de lager som hänger ut över grundsockeln underifrån. Figur 2.4 visar befintlig väggkonstruktion. Kartläggning av takkonstruktionen utfördes genom ett litet hål i taket inne i Tribunens förråd. Golvkonstruktionen undersöktes genom inspektion i krypprunden samt genom att knacka med hammare på golvet och lyssna på skillnader i ljudfrekvens. Väggs uppbyggnad är således tämligen noggrant dokumenterad medan taket och golvets exakta uppbyggnad är något mer ovisst då isolertjockleken inte gick att mäta exakt. En rimlig tjocklek antogs därför primärt, se Figur 2.5 som beskriver takets och golvets lageruppbyggnad.



Figur 2.4 Väckonstruktionens lagerföljd snittad horisontellt, (insida uppåt).



Figur 2.5 Till vänster; Golvkonstruktionens lagerföljd snittad vertikalt, (insida uppåt). Till höger; takkonstruktionens lagerföljd snittad vertikalt, (insida nedåt).

3 Teori om byggnadsfysik, fältmätningmetoder och U-värdesberäkningar

Kapitlet behandlar teori kring byggnadsfysiska fenomen och fältmätningmetoder för att undersöka dem. Även teori om hur U-värden beräknas och korrigeras berörs.

3.1 Värmeförlust

Värmemotstånd, R [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$], beskriver hur bra isoleringsförmåga ett lager av ett godtyckligt material har (Petersson, 2018). Värmemotståndet beräknas genom att dividera lagrets tjocklek, d [m], med materialets värmeledningsförmåga, λ [W/mK]. Värmegenomgångskoefficienten, U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$], beskriver hur bra en byggnadsdel stoppar värmegenomgång. För att beräkna U -värdet inverteras R -värdet. En stor värmegenomgång, vilket beskrivs med ett högt U -värde, kan leda till stora energiförluster för en byggnad. Om byggnaden är uppvärmd men klimatskalet har ett högt U -värde kommer mer värme att läcka ut. Detta leder till att uppvärmningsbehovet för byggnaden ökar för att uppnå en stabil innetemperatur. En byggnads genomsnittliga U -värde brukar kallas U_{medel} [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].

I BBR (Boverket, 2020) finns det krav på en byggnads genomsnittliga U -värde. För småhus, mellan $50 - 90 \text{ m}^2$, som är aktuellt i denna studie, får det genomsnittliga U -värdet inte överstiga $0,33 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.

3.1.1 Co-heating test för att mäta värmeförluster och U_{medel}

En metod för att mäta en byggnads U -medelvärde är Co-Heating test (Brycke & Nilssen, 2015). Detta test innebär att byggnaden värms upp med en känd effekt till en stabil temperatur runt 25°C . Mätningar påbörjas när stationära förhållanden kan antas. Med detta menas att innetemperaturen och energianvändningen har stabiliserat sig. När stationära förhållanden har uppnåtts kan värden för temperatur och energiförbrukning loggas. Med hjälp av dessa temperatur- och energivärden kan det genomsnittliga U -värdet för byggnaden, U_{medel} [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$], beräknas.

U_{medel} [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] är en extra viktig parameter att skapa sig kännedom om vid en byggnadsbesiktning, då värdet ger en stor indikation på en byggnads energiprestanda (Petersson, 2018). Är U_{medel} [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] högt för byggnaden innebär det att mycket värmeenergi går förlorad genom klimatskalet, vilket i sin tur ökar elförbrukning och således elkostnader och negativ miljöpåverkan.

3.2 Lufttätet

Lufttätet syftar till en byggnads luftläckage genom klimatskalet. Den drivande kraften bakom luftläckage är tryckskillnader (Petersson, 2018). Den uppvärmda inneluften har ett annat tryck än uteluften vilket skapar en luftrörelse genom byggnadens otätheter. Luftläckage är svårt att undvika och kommer att uppstå i de flesta byggnader. Vanligtvis sker luftläckage vid anslutningar i klimatskalet, till exempel där väggen möter taket (Kalamees m.fl., 2008). Ett visst luftläckage är accepterat så länge det inte har en för stor påverkan på byggnadens funktion (ByggaL, 2017, Bilaga 10). Blir dock luftläckaget omfattande kan det leda till ett flertal problem. I Boverkets byggregler (Boverket, 2020) benämns problem som beror på dålig lufttätet.

- Dålig termisk komfort: Kravet för att uppnå termisk komfort med avseende på lufthastigheten i en byggnads vistelsezon är att lufthastigheten inte får överstiga 0,15 m/s (Boverket, 2020). Är byggnaden inte tät finns det risk att denna hastighet överskrids, vilket gör att det kan upplevas som att det drar inne i byggnaden.
- Värmeläckage och hög energianvändning: Dålig lufttätet har även en stor påverkan på energianvändningen för en byggnad. Läckage av varm inneluft eller att uteluften sugas in skapar ett större behov av uppvärmning då temperaturen inomhus sjunker. (Boverket, 2020).
- Förorening av inneluften: Förorenad luft från markradon och trafik kan påverka luftkvalitén i en byggnad om den tar sig in via otätheter i klimatskalet (ByggaL, 2017, Bilaga 10).
- Fuktskador: Risken för fuktskador drastiskt om byggnaden inte är lufttät. Inneluften har generellt en högre ånghalt än uteluften. Konvektion av ånga på grund av luft som rör sig inifrån byggnaden ut genom klimatskalet kan leda till stora problem då ångan från inneluften kondenserar inne i väggen när den kommer i kontakt med den svalare uteluften (Boverket, 2020).

Boverket (2020) har fastställt kriterier för att uppnå en god lufttätet. Luftläckaget får inte överstiga 0,60 l/s per m² klimatskalsyta vid en tryckskillnad på 50 Pa, i lokaler ≤ 50 m².

3.2.1 Blower door test och termografering för att mäta lufttätet

För att utföra en lufttätetsmätning på en byggnad kan man använda sig av Blower door test och värmekamera (The Energy Conservatory, 2012). Ett Blower door test går ut på att skapa en tryckskillnad på cirka 50 Pa mellan inne och ute.

Tryckskillnaden skapas genom att en öppning, till exempel en dörr eller fönster, ersätts med en fläkt, monterad i en tät nylonduk som sluter tätt i öppningen. Tryckskillnaden skapar ökade luftrörelser genom klimatskalets otätheter. Mätning sker sedan på luftflödet genom fläkten, där luftvolymen som rör sig genom fläkten är summan av alla små volymer som läcker in genom klimatskalet (The Energy Conservatory, 2012). Det uppmätta läckaget vid 50 Pa, q_{50} [m³/s] kan enligt SS-EN

ISO 13789:2017 (Svenska Institutet för Standarder, 2017) användas för att beräkna läckaget under neutralt trycktillstånd, q_{medel} [m^3/s]. Därför kan blower door test utgöra ett redskap för att kartlägga värmeförluster via luftläckage, $Q_{läckage}$ [W].

För att Blower door test skall ge så bra resultat som möjligt är det optimalt att utföra det i vindstilla förhållanden då vindkast en blåsig dag kan förändra trycket inne i byggnaden med så mycket som 10 - 20 Pa, (The Energy Conservatory, 2012). Om testet utförs i stationära yttre förhållanden reduceras påverkan av faktorer som är svåra att mäta.

För att lokalisera uppmätta lufttätheter är Blower door test kombinerat med värmekamera det optimala tillvägagångssättet (The Energy Conservatory, 2012). Proceduren sker förslagsvis genom att man skannar av byggnadens insida och utsida med värmekameran innan Blower door testet utförs, för att sedan skanna av igen när testet är igång och byggnaden är trycksatt. Vid undertryckstest skannas förslagsvis insidan för att observera kall uteluft som letar sig in i byggnaden medan vid övertryckstest skannas utsidan för att se utsipprande varm luft. Med denna metod skall man kunna identifiera läckorna även om skillnaden i lufttemperatur ute och inne inte är speciellt stor. En större temperaturskillnad gör dock att läckorna syns tydligare (The Energy Conservatory, 2012).

3.3 Köldbryggor

En köldbrygga är en lokal försvagning i klimatskalet där värme lättare strömmar genom klimatskalet (Hagentoft & Sandin, 2017). Ordet köldbrygga, tyder på att kyla vandrar där, vilket är missvisande då det i fysikalisk mening är värme som transmitteras. Köldbryggor är alltså punkter eller områden med högre värmeledningsförmåga. Några vanliga exempel på köldbryggor är reglarna i en träregelvägg, fönster och dörrar och deras anslutningar, hörnen på byggnader och anslutningar mellan olika byggnadselement. Köldbryggor leder bland annat till ökade värmeförluster (Hagentoft & Sandin, 2017).

Om materialen i en byggnad är känt samt hur anslutningar och detaljer är uppbyggda kan datorprogram räkna ut värmeförluster och temperaturnivåer runt en köldbrygga (Hagentoft & Sandin, 2017). I gamla byggnader där man inte vet exakt vilka material som använts eller hur detaljer ser ut går det i stället att mäta köldbryggornas inverkan med hjälp av mätinstrument. I detta arbete är konstruktionen inte helt känd vilket innebär att köldbryggorna måste uppskattas, till exempel med hjälp av termografering. Schablonmässigt utgör köldbryggor en ökning av U-värdet med 5 - 20%, (Pettersson, 2018).

Det finns inga direkta krav för köldbryggor utan det går under byggnadens totala värmemotstånd, se Kapitel 3.1. Däremot säger ett EU-direktiv att köldbryggor skall minimeras (Europaparlamentets och rådets direktiv 2018/844/EU). Detta görs genom god isolering.

3.3.1 Termografering för att hitta köldbryggor

En metod som används för att hitta köldbryggor är användning av värmekamera. Detta görs genom att observera varierande temperaturer i olika byggnadsdelar och

anslutningar med värmekameran (The Energy Conservatory, 2012). Syns från utsidan en punkt eller områden på byggnaden där temperaturen är varmare betyder det att värme lättare transporteras ut där. Det visar alltså att en köldbrygga finns i punkten. Det går även att använda kameran från insidan av byggnaden och identifiera punkter som är kallare, det betyder på samma sätt att värme leds ut här och att det är en köldbrygga. Utöver att vara en metod för att hitta köldbryggor kan termografering användas för att hitta stora variationer i en byggnadskonstruktion. Det kan också vara ett hjälpmedel för att undersöka värmeövergång genom en byggnadsdel.

3.4 Teoretiska beräkningar av U-värden

Beräkningar på byggnadens energibalans utifrån information från Co-heating test och Blower door test, se Kapitel 3.1.1 och Kapitel 3.2.1, kräver en vetskap om samtliga U-värden för berörda byggnadsdelar. Ytterväggar, grund, tak, innerväggar, fönster och dörrar har separata U-värden som teoretiskt kan beräknas med hjälp av ekvation (3.1) - (3.4). För mer information om U-värde, se Kapitel 3.1.

Formel för att beräkna värmemotståndet, R , för godtyckligt skikt i en byggnadsdel.

$$R = d / \lambda \quad (3.1)$$

R	Värmemotstånd [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
d	Tjocklek på skikt [m]
λ	Värmeledningsförmåga [W/mK]

Formel för att summera värmemotståndet för en godtycklig byggnadsdel bestående av flera skikt. R_n syftar till det sista värmemotståndsvärdet för n antal skikt i en byggnadsdel.

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 \dots + R_n + R_{se} \quad (3.2)$$

R_{se}	Utvändigt värmeövergångsmotstånd [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
R_{si}	Invändigt värmeövergångsmotstånd [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

Formel för att beräkna värmegenomgångskoefficient, U , för godtycklig byggnadsdel.

$$U = 1/R_{tot} \quad (3.3)$$

U	Värmegenomgångskoefficient [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
-----	--

Formel för att beräkna värmegenomgångskoefficient för ett sammansatt skikt eller byggnadsdel, benämns U-värdesmetoden (Träguiden, 2017). A_n och U_n syftar till det sista värdet för n antal delar i skikt eller byggnadsdel.

$$U_{medel} = (A_1U_1 + A_2U_2 \dots + A_nU_n)/A_{tot} \quad (3.4)$$

A Area av ingående sektion i sammansatt skikt eller byggnadsdel [m^2]
 A_{tot} Sammanlagd area av samtliga ingående delar i skikt eller byggnadsdel [m^2]

3.5 Korrigering av U-värden och energibalans

Med mätvärden från Co-heating test och Blower door test skapas en energibalans, se Ekvation (3.11). Under stationära förhållanden ska tillförd värmeeffekt vara lika stor som förlorad värmeeffekt. Genom att korrigera U-värden för klimatskalet ändras energibalansen till kriteriet uppnås.

Formel för att beräkna värmeförluster genom delar av klimatskalet. Ett påslag på 20% görs på U-värdet för att ta hänsyn till köldbryggor (Petersson, 2018).

$$Q_{förlust} = A * U_{korr} * (1 + \Delta U) * (\bar{T}_{inne} - \bar{T}_{ute}) \quad (3.5)$$

$$Q_{förlust,summa} = \sum Q_{förlust} \quad (3.6)$$

$Q_{förlust}$ Förlorad värmeeffekt [W]
 A Area [m^2]
 U_{korr} Korrigerat värmegenomgångskoefficient [W/m^2K]
 ΔU Motsvarar ett påslag på värmegenomgångskoefficienten för köldbryggor på 20% [-]
 \bar{T}_{inne} Medelvärde, innetemperatur [$^{\circ}C$]
 \bar{T}_{ute} Medelvärde, utetemperatur [$^{\circ}C$]

Formel för att beräkna den totala elförbrukningen inom intervallet. Det divideras sedan med antalet timmar, detta ger ett genomsnittligt värmeeffektillskott under intervallet.

$$Wh_{total} = \sum Wh \quad (3.7)$$

$$Q_{tillskott} = Wh_{total}/t \quad (3.8)$$

Wh_{total} Total energiförbrukning [Wh]
 $Q_{tillskott}$ Genomsnittligt värmeeffektillskott [W]

Blower door ger luftläckaget vid ett tryck på 50 Pa. Detta luftläckagevärde används sedan för att anta ett medelvärde enligt SS-EN ISO 13789:2017 för byggnadens luftläckage vid normalt tryck genom att dividera q_{50} med 20 (Swedish Standard Institute, 2017). Medelvärdet används sedan för att beräkna värmeförlust via luftläckage.

$$q_{medel} = \frac{q_{50}}{20} \quad (3.9)$$

$$Q_{läckage} = q_{50,medel} * c_p * \rho \quad (3.10)$$

q_{medel}	Luftflöde vid normalt tryck [m^3/s]
q_{50}	Luftflöde vid 50 Pa [m^3/s]
$Q_{läckage}$	Förlorad värmeeffekt via luftläckage [W]
c_p	Specifik värmekapacitet för luft [J/kgK]
ρ	Densitet för luft [kg/m ³]

Formel för att beräkna differensen mellan tillförd och förlorad värmeeffekt hos byggnaden.

$$Q_{Differens} = Q_{tillskott} - Q_{förlust,summa} - Q_{läckage} \quad (3.11)$$

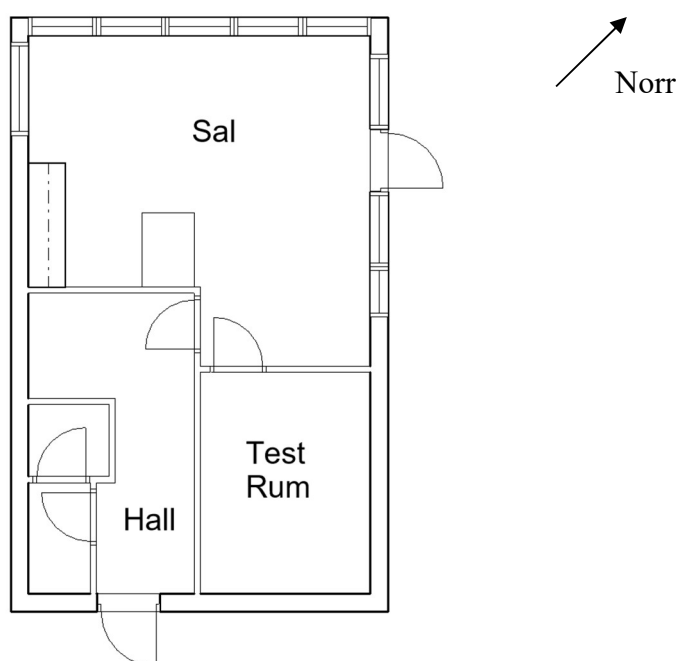
$Q_{differens}$	Differens mellan tillförd och förlorad värmeeffekt [W]
-----------------	--

4 Utförande av fältmätningar i försöksbyggnaden

Kapitlet behandlar hur Co-heating test, Blower door test och termografering utfördes i försöksbyggnaden, Tribunen. Förberedelser och tillvägagångssätt beskrivs, samt eventuella problem som uppstod med utrustning och metod.

4.1 Co-heating test

För information om Co-heating test, se Kapitel 3.1. Testet av Tribunen är genomfört genom att analysera och mäta det rum som är placerat i byggnadens östra hörn, se Figur 4.1. Valet att genomföra testet på detta sätt har praktiska fördelar som att spara tid och minimera störningen för båtklubbens medlemmar som nyttjar Tribunen. Testrummet omsluts av två ytterväggar samt två innerväggar. Innerväggen som angränsar hallen saknar öppningar. Den som vetter mot salen har en kiosklucka, en dörr och ett fönster som påverkar väggens totala U-värde. Testrummet har ett fönster utåt, det sitter i den nordöstra ytterväggen, i denna väggdel finns även en friskluftsventil. Den sydöstra ytterväggen har inga håligheter eller skikt som avviker från väggens lageruppbyggnad, se Kapitel 2.3. Eftersom enbart omslutande väggar, tak och golv för ett rum är valt för att utföra testet finns det en risk att testresultatet får en viss deviation från verkligheten när värdena skalas upp för att representera hela byggnaden. Kritiska fel som köldbryggor och otätheter som eventuellt finns dolda i andra byggnadsdelar kan ha en påverkan på U_{medel} [W/m²K] för hela byggnaden. Detta beaktas genom ett 20% tillägg på U_{medel} [W/m²K] (Petersson, 2018).



Figur 4.1 Visar placering av testrum.

Under vinterhalvåret används Tribunen väldigt lite, endast vid ett par tillfällen var någon inne i byggnaden, skyltar sattes dessutom upp för att minska onödigt spring in till byggnaden. Varje gång ytterdörren öppnades kan testet ha påverkats då de stationära förhållandena förändras.

Det är optimalt att utföra Co-heating test under en kall årstid då temperaturskillnaden mellan inne och ute är stor och således drivkraften för värmetransport, som testet mäter. Solintensiteten är också låg vilket är önskvärt då solens värmestrålning kan påverka testet (Brycke & Nilssen, 2015). Testperioden löper från den 16 mars 2022 till den 7 april 2022. Medel-utetemperaturen låg under testet på 4,2°C, testrummets medeltemperatur var 26,9°C. Detta ger en medeltemperaturdifferens på 22,7°C mellan ute och inne.

Materiel för att genomföra Co-heating test inkluderar:

- Radiator
- Temperaturmätare
- Elmätare
- Plastfilm
- Aluminiumfolie
- Tejp
- Häftpistol
- Fläkt

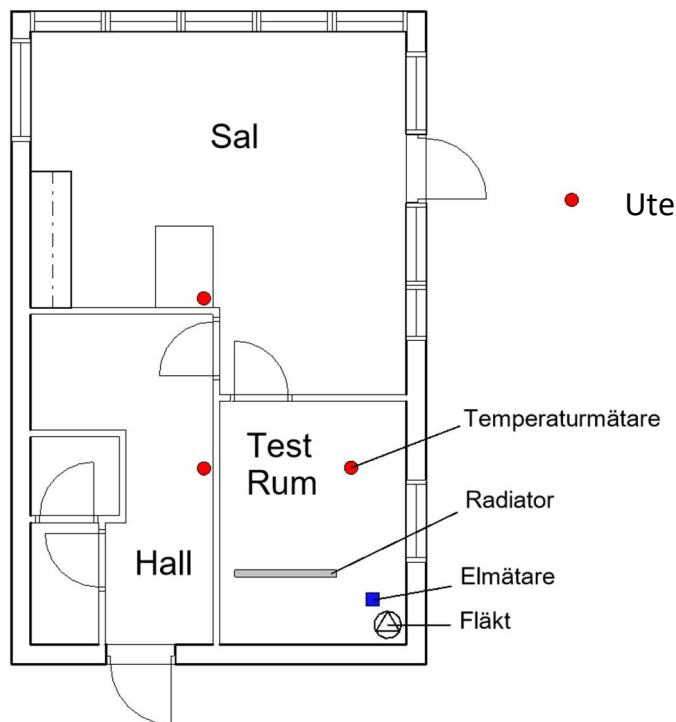
För att initiera testet tätas alla öppningar i rummet som kan påverka värmeenergiförluster via luftläckage, ventilationsöppningar tejpas. För att stoppa solinstrålningens påverkan på innetemperaturen täcks fönstret i testrummets yttervägg utvändigt med reflekterande aluminiumfolie och sedan med en plastfilm, även innerväggens fönster täcks med aluminiumfolie, se Figur 4.2. Genom att täcka fönstret med ett reflektivt material kan påverkan av solinstrålning hållas låg. Eftersom aluminiumfolie reflekterar bort solens strålar minimeras värmeeffekten som solen tillför rummet. Testrummets läge i byggnaden, fönster åt nordöst, gör även att direkt solinstrålning inte är så hög, (Petersson, 2018).



Figur 4.2 Fönster täckt med aluminiumfolie.

Kioskluckan i innerväggen täcks med en plastfilm för att stoppa obehindrade luftrörelser ut ur rummet, se Figur 4.4. Fyra styck temperatursensorer, modell Testo 174, se bilaga 1, programmeras att logga temperaturen var 15:e minut och placeras

sedan ut på punkter i tribunen och utomhus, se Figur 4.3. Temperaturgivarna placeras i hallen, salen, utomhus och i testrummet för att logga alla omslutande temperaturer. Radiatorn som är på 1250W, kopplas in till elmätaren som sitter kopplad inne i testrummet. Elmätaren av modell Nedis Smartlife Wi-Fi Smart Plug loggar energiförbrukningen dygnsvis under fas 1. Elmätare byttes den 3 April 2022 till Eve Energy Smart Plug. Elmätaren Eve loggar energiförbrukningen timvis, vilket ger möjligheten att räkna på kortare intervall än dygnsvis. Radiatorns termostat justeras till måltemperaturen 25°C. All övrig uppvärmning stängs av i hela byggnaden. För att cirkulera luften inne i testrummet används en panorerande fläkt. Fläktens kapacitet är 50W på full effekt och 30W på lägsta effekt. Under testet kördes den på lägsta effekt. Fläktens jämnar ut eventuella temperaturskillnader i luften inne i testrummet. Efter att temperaturloggningen startats låses dörren in till testrummet och förseglas med tejp över springan mellan dörr och dörrkarm, se Figur 4.4. Förberett testrum ses i Figur 4.5. För bilder av använt materiel se Appendix 3.



Figur 4.3 Visar placering av temperaturmätare, radiator, elmätare och fläkt



Figur 4.4 Väggen mellan salen och testrummet under pågående test.



Fläkt

Elmätare

Temperaturmätare

Radiator

Figur 4.5 Förberett testrum.

Elmätaren loggar elförbrukningen automatiskt via en applikation på en utav testpersonernas mobiltelefoner. Under fas 1 användes mobilapplikationen Nedis SmartLife och under fas 2, Eve for HomeKit. Via applikationerna kan också förbrukningen övervakas i realtid. Temperaturdata loggas i sensorernas inbyggda minne och kan sedan överföras och analyseras via ett datorprogram, Testo Comfort Software Basic 5.0.

Perioder för avläsning av Co-heating test mätvärden valdes genom att leta efter jämna temperaturer i alla rum. Två intervall hittades där temperaturen över de fyra mätarna inte varierade betydligt, se Kapitel 5. Medelvärdet för dessa temperaturer användes sedan i energibalansen och korrigering av U-värdet för Tribunen, se Kapitel 5.4.

4.2 Blower door test

För information om Blower door test, se Kapitel 3.2. Blower door test av Tribunen utförs i samma testrum som Co-heating test, se Kapitel 4.1. För testet användes en automatiserad testutrustning, Minneapolis Blower Door™. Testet utfördes 7 april 2022. Vindhastigheten var cirka 5 m/s (ViVa, 2022). För temperaturer och naturligt tryck använda under testet, se Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Klimatdata använt för Blower door test.

Innetemperatur [°C]	Utetemperatur [°C]	Barometriskt tryck [kPa]
25,0	5,0	101,325

Materiel för att genomföra Blower door test inkluderar:

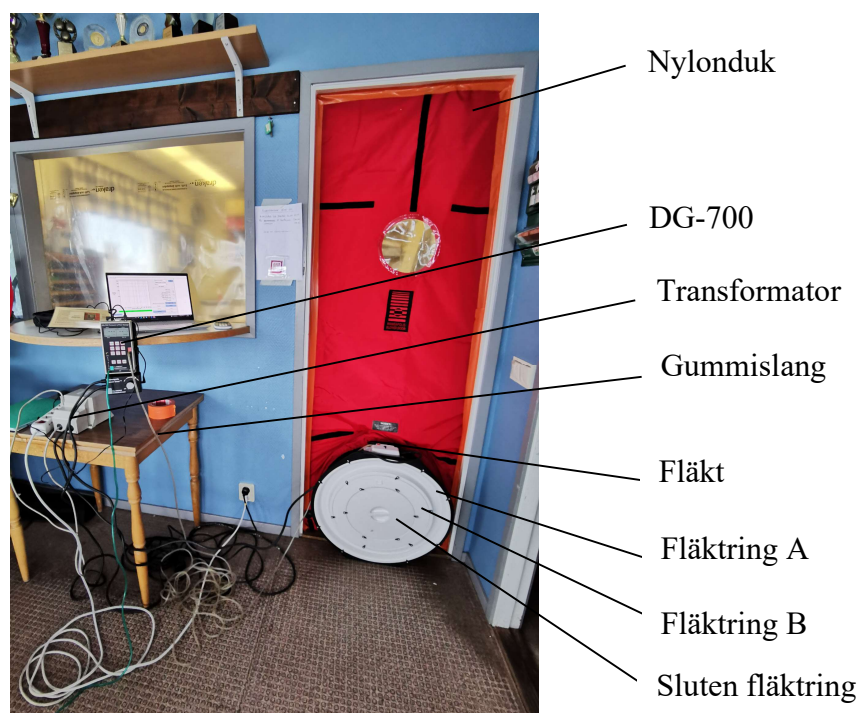
- Lufttät tejp
- Plastfolie
- Dator
- Blower door-utrustning: Minneapolis Blower Door™:
 - Fläkt, Model 3, 110V. Inklusive avtagbara fläktringar som ändrar diameter på fläktens inloppssida.
 - Nätkabel till fläkt inklusive transformator
 - Gauge/Styrpanel, DG-700
 - Kabel, Gauge-fläkt
 - Nätkabel till Gauge/Styrpanel
 - Datorkabel/USB-kabel
 - Dörrkarmsram
 - Tätningsduk
 - Två styck trycksensorslangar

För att initiera testet ses tätningen av alla självdragsventiler och kioskluckan över så att de är lufttäta. Eftersom dörren in till testrummet ersätts med testutrustningen hängs den av. Testrummets dimensioner mätas, se Tabell 4.2.

Tabell 4.2 Ingående byggnadsdata för Blower door test.

Intern volym [m ³]	25,65
Golvvyta [m ²]	10,14
Omslutningsarea [m ²]	52,71
Takhöjd [m]	2,53
Dimensionsosäkerhet [%]	1
Byggnadsår [±5år]	1965
Typ av uppvärmning [-]	Elektrisk radiator, 1250 W
Typ av ventilation [-]	Saknas
Vindutsatthet [-]	Högt utsatt
Vindklass	Lätt bris

Blower door-utrustningen installeras i dörröppningen och kopplas ihop med testdatorn, se Figur 4.5. För att uppnå god täthet mellan nylonduken och dörrkarmen tejpas det extra runt om. Trycksensormslangar placeras ut och kopplas in i styrpanelen och fläkten.



Figur 4.5 Uppriggad testutrustning för Blower door test.

Programmet Tectite Express 5.0 styr testförloppet enligt ett standardiserat testförfarande, ISO 9972. Datorprogrammet Tectite hämtades från The Energy Conservatory:s hemsida, se Appendix 5 för länk till vidare läsning. Innan testet startas konfigureras förutsättningar och byggnadsspecifikationer, se Tabell 4.2. Planen för testutförandet var att följa förfarandet enligt SS-EN ISO 9972:2015 (Svenska Institutet för Standarder, 2015), detta kunde dock inte följas helt då utrustning saknades i form av avtagbara fläktringar C och D och en gummislang. Fläktring C och D avser ringar med en mindre diameter och därav mindre öppning än fläktring A och B, se Figur 4.5. En lösning hittades där en medverkande testansvarig höll en sluten fläktring med en springa över fläkten för att simulera fläktring C och D. För simulering av fläktring C hölls en springa på cirka 4 cm i överkant, ring D simulerades med en springa i överkant på cirka 2 cm. Enbart trycksättning av rummet kunde utföras då en gummislang saknades.

4.3 Termografering

För att få ytterligare uppfattning om vilka och hur omfattande köldbryggor som finns i byggnaden är användes en värmekamera, Bosch Professionell GCT 400 C för att utföra en termografering av byggnaden. Detta utfördes den 7 april 2022. Vädret denna dag var molnigt, 5°C varmt och uppskattningsvis 5 m/s vindhastighet (ViVa, 2022). Inne i testrummet hölls en inomhustemperatur på 25°C och i övriga delar av byggnaden hölls cirka 17°C. Detta innebär en temperaturskillnad stor nog mellan ute- och inneklimat för att utföra en termografering (The Energy Conservatory, 2012). Först utfördes termografering av punkter på byggnadens insida i normaltryckstillstånd, därefter utfördes det i samband med Blower door testet. Genom att göra termograferingen på detta sätt kan eventuella läckagepunkter synas då samma byggnadsdel jämförs normaltrycksatt och trycksatt.

Vid första termograferingen fokuserades uppmärksamheten på anslutningar mellan olika byggnadsdelar då det oftast är där som köldbryggor uppdragas. I testrummet hittades köldbryggor längs med taket och väggarnas anslutning samt i ytterhörn där väggar möts. Vid friskluftsventiler och runt fönster syns också kallare ytor med hjälp av kameran.

När termografering sedan utfördes i samband med Blower door testet förväntades en annan bild som skulle visa mer kalla ytor men det visade sig att det inte skiljde sig så mycket som förutspått. Anledningen till att ingen större skillnad syns på termograferingen trots det stora luftläckaget, se Kapitel 5, antas vara att läckaget eventuellt sker igenom innerväggarna. För bilder från termograferingen se Appendix 6.

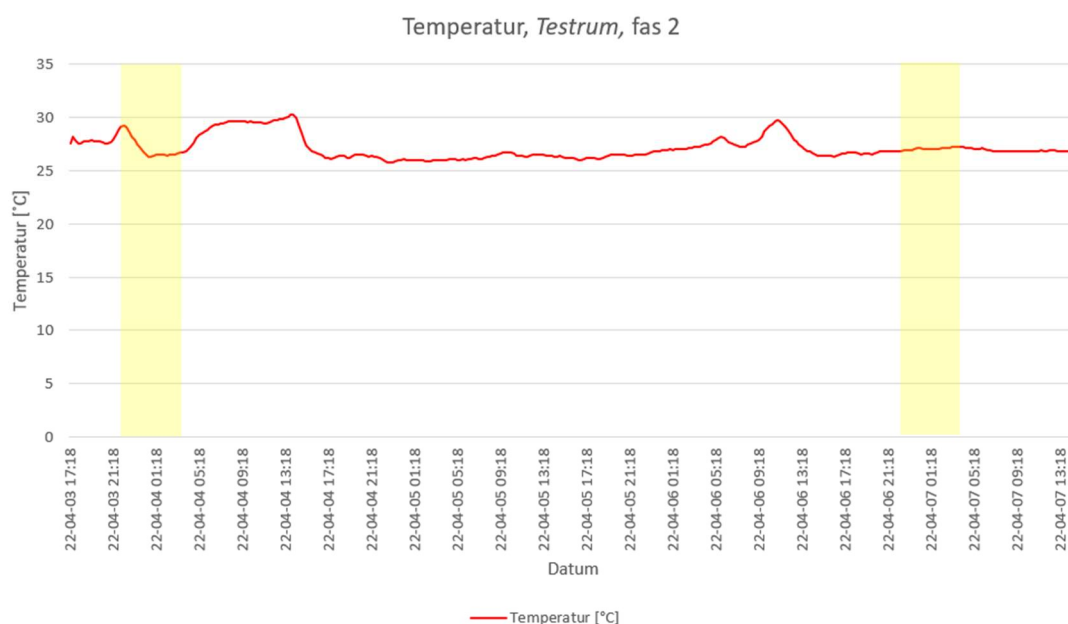
Variation i bildernas motiv på grund av okunskap kring metoden leder till att resultaten från termograferingen inte använts i stor utsträckning i beräkningar.

5 Resultat från fältmätningar och U-värdesberäkningar

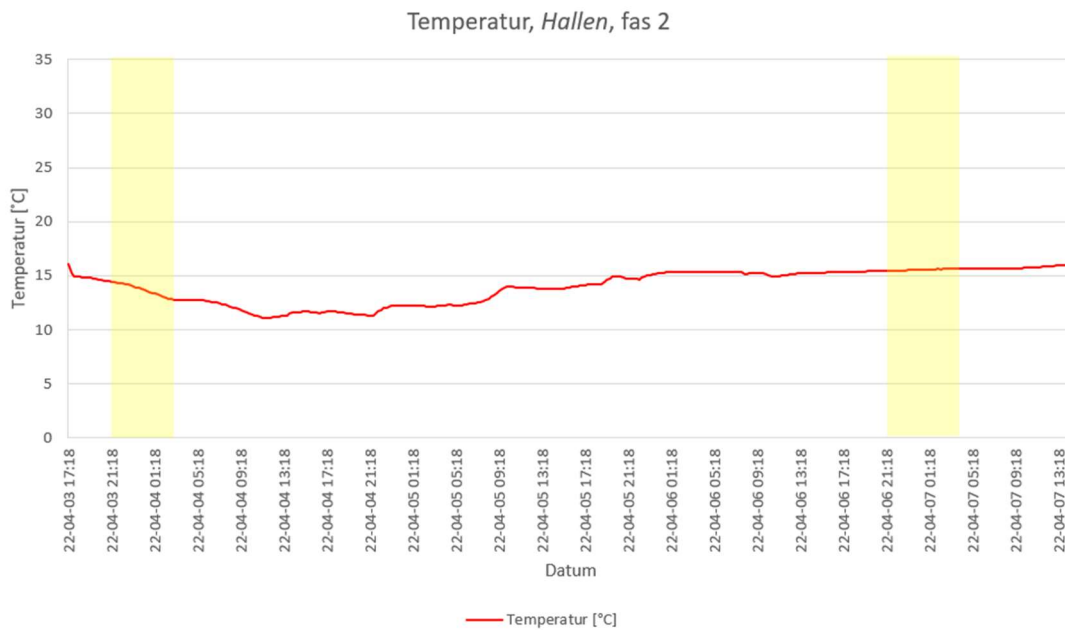
I kapitlet redovisas mätresultat från Co-heating test, Blower door test samt beräkningsresultat av teoretiska och korrigerade U-värden för Tribunen.

5.1 Mätresultat från Co-heating test

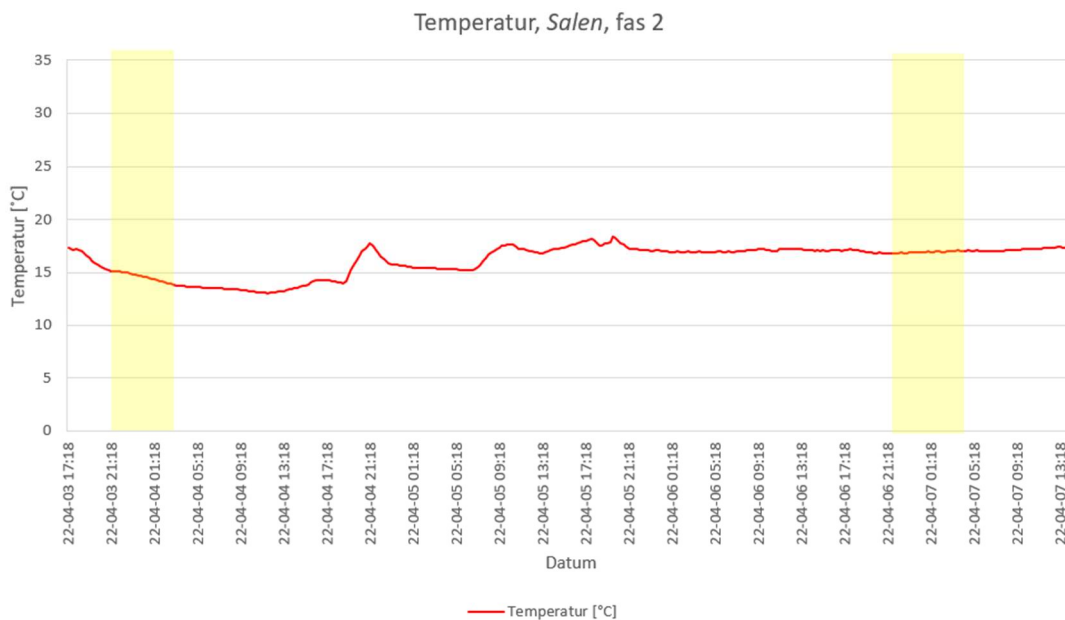
Graferna nedan visar mätresultat över loggade temperatur- och elförbrukningsdata från temperatursensorerna och elförbrukningsmätaren under fas 2. De gula områdena markerar de två intervall där data plockats för beräkning av resultat. Under dessa perioder har antagande om rådande stationära förhållanden gjorts. Intervallet mellan den 6 april och 7 april identifierades först, då det tydligt råde stationära förhållanden under intervallet. Sedan valdes och testades flera ytterligare intervall tills ett andra intervall som ledde till att kriteriet bestämt i energibalansen uppfylldes. Under intervallet 3 april till 4 april är samtliga temperaturer inte helt stationära, dock uppfylls toleransen som är satt i energibalansen. Användning av två intervall sker för att minska inverkan av yttre faktorer som kan påverka temperaturerna hos ett av intervallen. Figur 5.1 - Figur 5.4 visar temperaturdata över de fyra rummen, se respektive temperaturmätarens placering i Figur 4.3. I Figur 5.5 visas elförbrukningsdata från elmätaren. För övriga mätresultat, se Appendix 4.



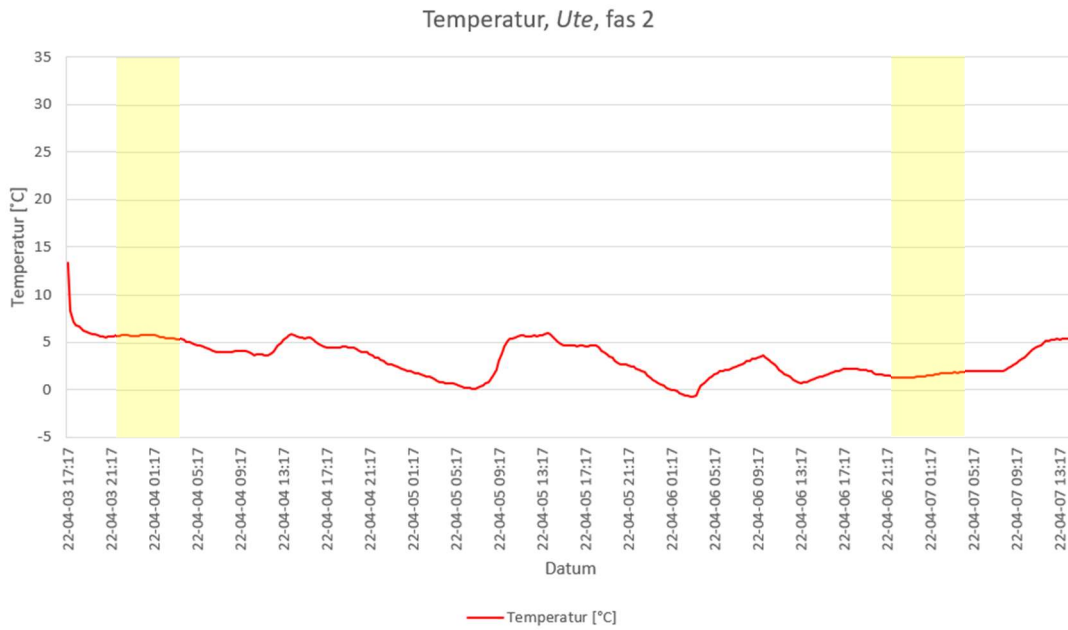
Figur 5.1 Temperatur i Testrummet under loggningsfas 2, gula områden markerar perioder där data hämtats.



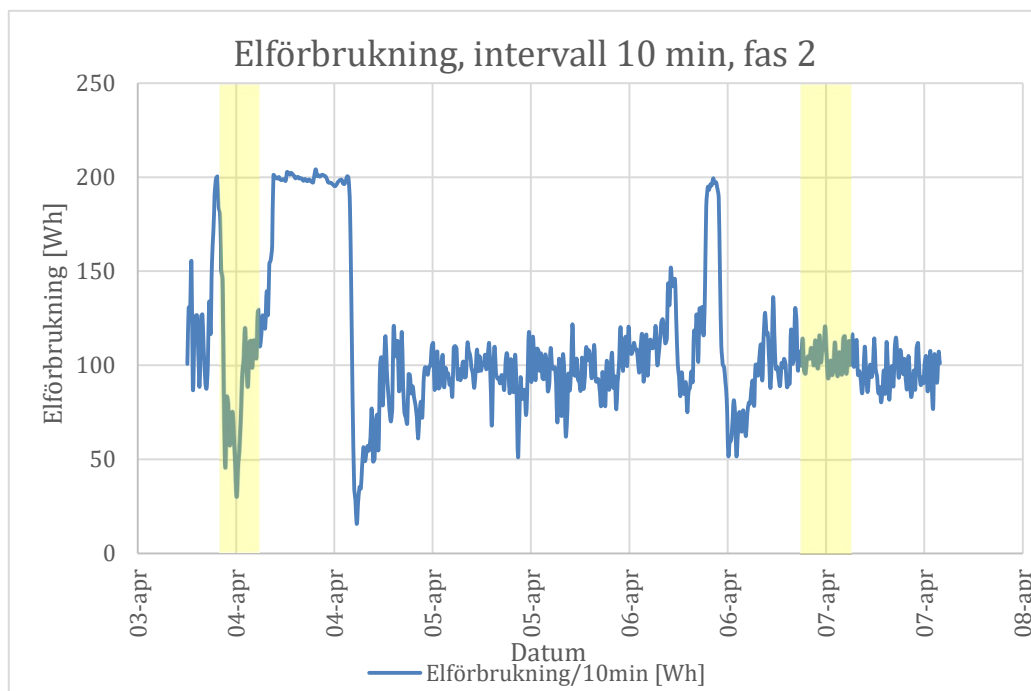
Figur 5.2 Temperatur i Hallen under loggningsfas 2, gula områden markerar perioder där data hämtats.



Figur 5.3 Temperatur i Salen under loggningsfas 2, gula områden markerar perioder där data hämtats.



Figur 5.4 Temperatur Utomhus under loggningsfas 2, gula områden markerar perioder där data hämtats.



Figur 5.5 Radiatorns elförbrukning under fas 2, gula områden markerar perioder där data hämtats.

5.2 Mätresultat från Blower door test och termografering

Testet gav att q_{E50} är $2,50 \text{ l/s/m}^2$, se Tabell 5.1. Enligt Boverket (2020) får inte q_{E50} överstiga $0,6 \text{ l/s/m}^2$ för lokaler $\leq 50 \text{ m}^2$. Slutsatsen kan därmed dras att testrummet har ett luftläckage som är markant större än riktvärdet. Det är oklart var dessa luftläckage förekommer i rummet. Det är möjligt att det är otätheter i innerväggarna, vilket inte är ett stort problem energimässigt då hela byggnaden är uppvärmd. Är det dock ytterväggarna, golvet eller taket som är otäta är det nödvändigt att leta efter eventuella lösningar. Utifrån termografering under Blower door testet ses att hörnen i rummet är kallare än omliggande ytor, se Figur 5.6. Eftersom rummet var trycksatt så är det inneluften som trycks ut och inte kall luft som strömmar in, hörnen borde inte bli kallare på grund av luftläckage. Därför kan det konstateras att det inte är ett lokalt luftläckage som ses i Figur 5.6 utan en köldbrygga. Utifrån denna vetskap om köldbryggor i byggnaden görs ett påslag på 20% på U-värden för klimatskalets olika delar i Kapitel 5.4.

Det saknades utrustning för att utföra Blower door testet och en alternativ lösning användes, se Kapitel 4.2, det är möjligt att resultatet är missvisande.

Tabell 5.1 Luftflöde, q_{50} [l/s], och luftflöde/omslutande area, q_{E50} [l/s/m²], givet av blower door, för kompletta mätvärden se Appendix 6.

Testresultat vid 50 Pa	
q_{50} , luftflöde [l/s]	132 (+/- 17,5%)
q_{E50} , luftflöde, omslutningsarea [l/s/m ²]	2,50



Figur 5.6 Termografisk bild på ett av testrummets hörn under Blower door test.

5.3 Teoretiska U-värden för Tribunen

Genom användning av Ekvation (3.1) – Ekvation (3.4) har samtliga U-värden beräknats för Tribunen. Värdena redovisas i form av tabeller.

Värmeledningsförmågan för skikten som är uppbyggda av flera material, illustreras med ett snedstreck i tabell, beräknas med ekvation (3.4). Det totala värmemotståndet för respektive byggnadsdel inkluderar invändigt, och utvändigt värmeövergångsmotstånd, R_{si} och R_{se} [m²K/W].

Tabell 5.2 R- och U-värde för innervägg.

Skikt/ material [-]	Tjocklek d [mm]	Värmeledningsförmåga λ [W/mK]	Värmemotstånd R [m ² K/W]
Gips	9	0,24	0,038
Regelstomme, trä/ luft	70	0,14/ 0,026*	2,02
Gips	9	0,24	0,038
Totalt värmemotstånd R [m ² K/W]		Värmegenomgångskoefficient U [W/m ² K]	
2,27		0,44	

* Antar stillastående luft, p.g.a. låg temperaturskillnad över väggen under daglig användning (Kommunförbundet Stockholms Län, 2009).

Tabell 5.3 R- och U-värde för innervägg med öppningar.

Skikt/ material [-]	Tjocklek d [mm]	Värmeledningsförmåga λ [W/mK]	Värmemotstånd R [m ² K/W]
Gips	9	0,24	0,038
Regelstomme, trä/ luft	70	0,14/ 0,026	2,02
Gips	9	0,24	0,038
Fönster	-	-	0,40*
Dörr, spånskiva/ luft	8/ 50	0,14/ 0,026	2,41
Totalt värmemotstånd R [m ² K/W]		Värmegenomgångskoefficient U [W/m ² K]	
1,25		0,80	

* Äldre 2-glasfönster (SP Fönster, 2019).

Tabell 5.4 R- och U-värde för yttervägg.

Skikt/ material [-]	Tjocklek d [mm]	Värmeledningsförmåga λ [W/mK]	Värmemotstånd R [m ² K/W]
Gips	9	0,24	0,038
Spånskiva	5	0,14	0,038
Liggande träpanel	25	0,14	0,18
Träbjälke	75	0,14	0,54
Stående träpanel	30	0,14	0,21
Läkt/ Luftspalt	9	-	0,18* ¹
Isolering	48	0,048	0,94
Spånskiva	9	0,14	0,064
Luftspalt	28	-	0,15* ²
Lockpanel	22	0,14	0,16
Totalt värmemotstånd R [m ² K/W]		Värmeegenomgångskoefficient U [W/m ² K]	
2,66		0,38	

*¹ Oventilerad luftspalt, Tabell 9.6 (Träguiden, 2017).

*² Svagt ventilerad luftspalt, Tabell 9.6 (Träguiden, 2017).

Tabell 5.5 R- och U-värde för yttervägg med fönster.

Skikt/ material [-]	Tjocklek d [mm]	Värmeledningsförmåga λ [W/mK]	Värmemotstånd R [m ² K/W]
Gips	9	0,24	0,038
Spånskiva	5	0,14	0,038
Liggande träpanel	25	0,14	0,18
Träbjälke	75	0,14	0,54
Stående träpanel	30	0,14	0,21
Läkt/ Luftspalt	9	-	0,18
Isolering	48	0,048	0,94
Spånskiva	9	0,14	0,064
Luftspalt	28	-	0,15
Lockpanel	22	0,14	0,16
Fönster	-	-	0,50*
Totalt värmemotstånd R [m ² K/W]		Värmeegenomgångskoefficient U [W/m ² K]	
1,7		0,59	

*³ Från produktbeskrivning fäst på fönstret

Tabell 5.6 R- och U-värde för golv.

Skikt/ material [-]	Tjocklek d [mm]	Värmeledningsförmåga λ [W/mK]	Värmemotstånd R [m ² K/W]
Plastmatta	9	0,24	0,040
Spånskiva	22	0,14	0,16
Träbalk/ kutterspån	220/ 135	0,14/ 0,07	1,9
Bräda	22	0,14	0,16
Totalt värmemotstånd R [m ² K/W]		Värmeledningkoefficient U [W/m ² K]	
2,3		0,43	

Tabell 5.7 R- och U-värde för innertak.

Skikt/ material [-]	Tjocklek d [mm]	Värmeledningsförmåga λ [W/mK]	Värmemotstånd R [m ² K/W]
Spånskiva	5	0,14	0,035
Spånskiva	7	0,14	0,050
Spånskiva	7	0,14	0,050
Bräda	20	0,14	0,14
Kutterspån	11	0,07	1,57
Totalt värmemotstånd R [m ² K/W]		Värmeledningkoefficient U [W/m ² K]	
2		0,50	

5.4 Korrigerade U-värden för Tribunen utifrån mätvärden

I Tabell 5.8 redovisas resultaten från värmebalansberäkningarna enligt Ekvation (3.5) – (3.11). Stationära förhållanden gäller så den tillförda värmeeffekten ska vara lika stor som den förlorade, $Q_{\text{differens}}$ ska vara noll. Med hänsyn till osäkerheter i mätvärden och yttre påverkan på testet har en tolerans på 0,5% av radiatorns effekt, 1250W, satts på $Q_{\text{differens}}$. Toleransen innebär att $Q_{\text{differens}}$ behöver vara inom $\pm 6,25\text{W}$ från noll.

För att hitta ett U-värde för klimatskalet av Tribunen passningsräknas U-värdet för innertaket och golvet så att $Q_{\text{differens}}$ uppfyller toleransen. Valet att passningsräkna U-värdet för innertaket kommer av osäkerheten om innertakets isoleringstjocklek och det yttre takets påverkan på hela takets isoleringsförmåga. Golvets konstruktion är även delvis okänd, främst mängden isolering mellan balkarna.

Ett påslag på 20% på samtliga U-värden har gjorts för att ta hänsyn till köldbryggor (Pettersson, 2018), Se kapitel 5.2.

Tabell 5.8 Resultat från energibalansberäkningar på samtliga delar av Tribunens klimatskal samt värde för $Q_{differens}$ [W].

Byggnadsdel	Mätvärden	Intervall 1, 3/4 22:03– 4/4 03:03	Intervall 2, 6/4 22:03 – 7/4 04:03
Innervägg			
	$Q_{förlust}$ [W]	83,82	67,42
	U [W/m ² K]	0,96	0,96
	Area [m ²]	6,88	6,88
Innervägg			
	$Q_{förlust}$ [W]	59,53	50,32
	U [W/m ² K]	0,53	0,53
	Area [m ²]	8,27	8,27
Yttervägg			
	$Q_{förlust}$ [W]	67,43	80,0
	U [W/m ² K]	0,46	0,46
	Area [m ²]	6,88	6,88
Yttervägg			
	$Q_{förlust}$ [W]	136,14	161,50
	U [W/m ² K]	0,71	0,71
	Area [m ²]	8,94	8,94
Tak			
	$Q_{förlust}$ [W]	119,43	141,68
	U [W/m ² K]	0,56	0,56
	Area [m ²]	9,85	9,85
Golv			
	$Q_{förlust}$ [W]	106,73	132,64
	U [W/m ² K]	0,53	0,53
	Area [m ²]	9,85	9,85
	Wh_{total} [Wh]	2919,33	3876,32
	$Q_{tillskott}$ [W]	583,87	646,05
	$Q_{förlust,summa}$ [W]	578,17	633,55
	q_{50} [m ³ /s]	0,132	0,132
	q_{medel} [m ³ /s]	0,0066	0,0066
	$Q_{läckage}$ [W]	7,92	7,92
	$Q_{differens}$ [W]	-2,22	4,59

6 Utvärdering av ombyggnad

Utifrån okulärgranskningen och de tester, Co-heating test, Blower door test och termografering, som har gjorts i denna studie, rekommenderas en total ombyggnad av Tribunen. I dagsläget är byggnaden dåligt isolerad och otät, se Kapitel 5.

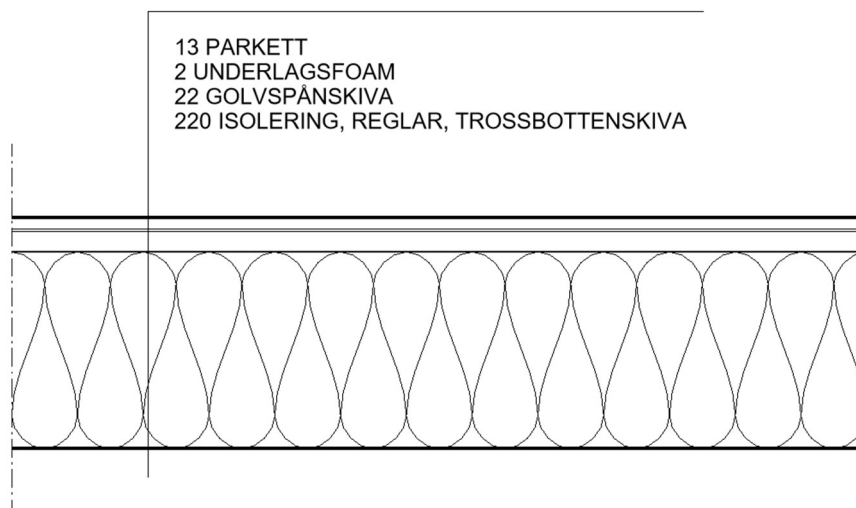
Byggnaden är idag enbart isolerad med ca 45 mm mineralull utvändigt. Detta är inte tillräckligt för att uppnå kraven satta i BBR (Boverket, 2020), som för småhus mellan 50 - 90 m² är att U_{medel} [W/m²K] skall vara mindre än 0,33 W/m²K. Tribunens U_{medel} [W/m²K] är i dagsläget 0,67 W/m²K. Enbart ett byte av fasad och yttre isolering uppskattas ej vara tillräckligt för att höja byggnadens isoleringsförmåga, då isoleringen som går att lägga till inte kan vara mycket djupare än 45 mm på grund av byggnadens nuvarande konstruktion. En vidare breddning av väggen kan leda till fuktskador då takfotens överhäng riskerar att bli för kort. Detta antagande grundas i att byggnaden är placerad vindutsatt vid havet och utsätts kraftigt av slagregn. Takfoten skyddar de övre delarna av fasaden mot slagregn och stoppar vatten från att rinna in bakom fasaden (Thomsson, 2018). Det går inte heller att isolera mer i väggens stomlager då det består av massivt spontat plank utan håligheter.

I Tabell 6.1 ses en jämförelse mellan nuvarande byggnads U-värden och föreslagen ombyggnads U-värden. Notera att U-värden för väggar inkluderar dörrar och fönster. I befintlig byggnad har U-värdet för fönster och dörrar antagits till 2 W/m²K, utifrån produktbeskrivningar på vissa av de nuvarande fönstren. I ombyggd byggnad har U-värdet för fönster antagits till 0,9 W/m²K (SP Fönster, 2019) och dörrar till 0,69 W/m²K (SWEDOOR, u.å.). Samtliga U-värden för byggnadsdelar och U_{medel} [W/m²K] beräknas enligt beräkningsgången i Kapitel 3, se Ekvation (3.1) – (3.4). Ett påslag med 20% på nuvarande byggnads U_{medel} [W/m²K] har gjorts för att ta hänsyn till köldbryggor (Petersson, 2018). Efter ombyggnad görs ett påslag av enbart 5% på U_{medel} [W/m²K]. Påslaget för köldbryggor är lägre efter ombyggnad då byggnaden önskvärt konstrueras på ett sätt som minimerar köldbryggor.

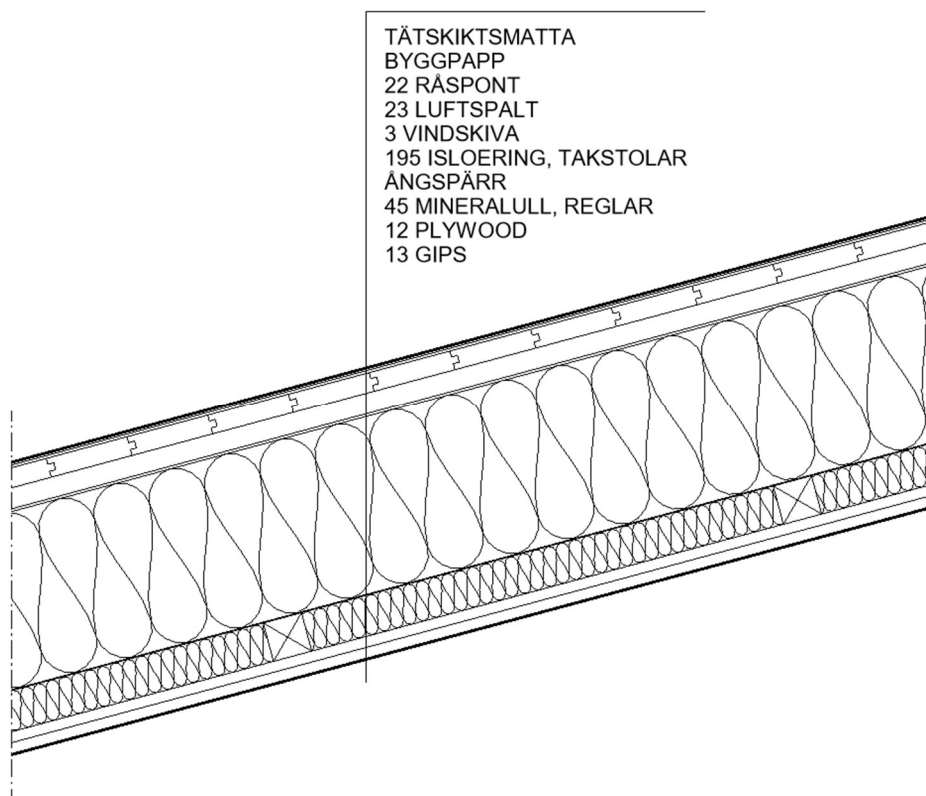
Presenterat ombyggnadsförslag kan sänka U_{medel} från 0,67 W/m²K till 0,31 W/m²K, detta gör att byggnaden klarar kravet på U-värde $\leq 0,33$ W/m²K från BBR (Boverket, 2020). För föreslagen lagerföljd i samtliga byggnadsdelar se Figur 6.1 – 6.3, inspiration till lagerföljd taget från Träguiden (2021a, 2021b, 2021c). För föreslagen utformning av den nya Tribunen, se Appendix 7.

Tabell 6.1 Tabell över U-värden med 20% påslag för köldbryggor på U_{medel} [W/m^2K] för befintlig byggnad och 5% påslag på U_{medel} [W/m^2K] för ombyggd byggnad.

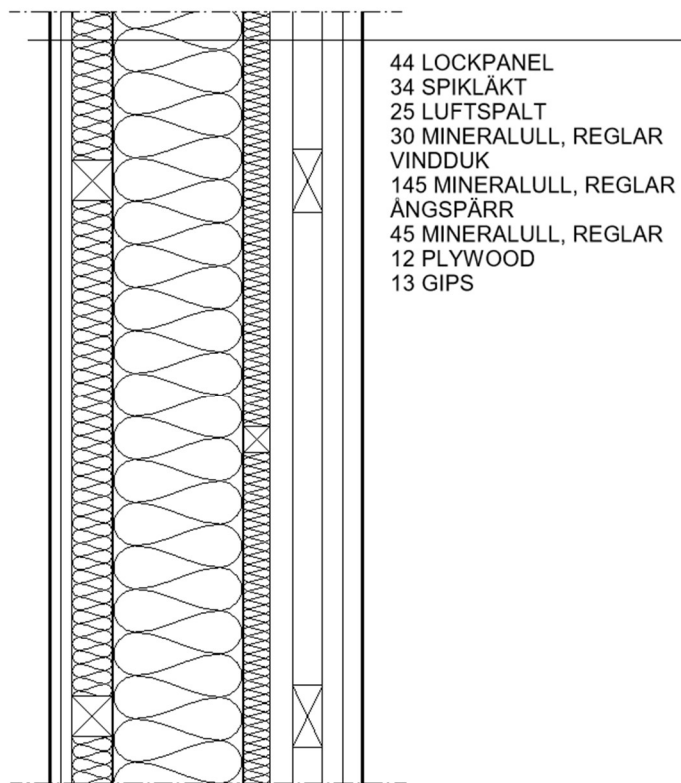
Nuvarande			Ombyggd		
Byggnadsdel [-]	U-värde [W/m^2K]	Area [m^2]	Byggnadsdel [-]	U-värde [W/m^2K]	Area [m^2]
Vägg nordväst	1,1	13,82	Vägg nordväst	0,95	16,42
Vägg nordost	0,82	22,32	Vägg nordost	0,36	23,91
Vägg sydväst	0,5	22,32	Vägg sydväst	0,41	23,91
Vägg sydost	0,52	13,82	Vägg sydost	0,32	16,42
Tak	0,47	49,33	Tak	0,16	51,72
Golv	0,42	49,33	Golv	0,14	50,00
U_{medel}	0,67		U_{medel}	0,31	



Figur 6.1 Föreslagen lagerföljd, golv, snittad vertikalt (insida uppåt).



Figur 6.2 Föreslagen lagerföljd, tak, snittad vertikalt (insida nedåt).



Figur 6.3 Föreslagen lagerföljd, vägg, snittad vertikalt (insida vänster).

7 Slutsats

Utifrån okulär besiktning, U-värdesberäkningar och fältmätningar kan det konstateras att Tribunens energiprestanda och klimatskalets konstruktionsmässiga skick är dåligt. På grund av detta rekommenderas det att bygga om Tribunen. U_{medel} [W/m²K] för Tribunen är i dagsläget 0,67 W/m²K vilket är högre än vad kraven satta av Boverket (2020) tillåter för småhus mellan 50 – 90 m² vilket är $U_{medel} < 0,33$ W/m²K. Föreslagen ombyggnad av Tribunen kan sänka U_{medel} till 0,31 W/m²K och samtidigt uppfylla båtklubbens önskan om en större samlingslokal.

8 Referenser

Bergstedt-Josefsson, K., & Jonsson, E. (2012) *Hjuviks Båtklubb – 50 år 1962-2012*. Hjuviks Båtklubb.

Boverket. (2020). *Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd*. Boverket. [Boverkets byggregler \(2011:6\) – föreskrifter och allmänna råd - Boverket](#)

Brycke, E., & Nilssen, J. (2015). *Assessment of Co-heating Test-A Practical Method to Evaluate the In-situ Heat Transfer Coefficient in Dwellings*. [Masteruppsats, Chalmers Tekniska Högskola]. Chalmers ODR. <https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/228073?locale=sv>

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

Energimyndigheten. (2016). *Energistatistik för småhus 2016* (ES 2017:3). [Energistatistik för småhus 2009 \(energimyndigheten.se\)](#)

Europaparlamentets och rådets direktiv 2018/844/EU av den 30 maj 2018 om ändring av direktiv 2010/31/EU om byggnaders energiprestanda och av direktiv 2012/27/EU om energieffektivitet. *Europeiska unionens officiella tidning*, L156/75, 19 juni 2018, 75-91. [Europaparlamentets och rådets direktiv \(EU\) 2018/ av den 30 maj 2018 om ändring av direktiv 2010/31/EU om byggnaders energiprestanda och av direktiv 2012/27/EU om energieffektivitet](#)

Hagentoft, C. Sandin, K. (2017). *Byggnadsfysik: Så fungerar hus* (1.1 uppl.). Studentlitteratur.

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

Kalmees, T, Korpi, M, Eskola, L, Kurnitski, J, Vinha, J, *The distribution of the air leakage places and thermal bridges in Finnish detached houses and apartment buildings* (2008), Helsinki University of Technology and Laboratory of Structural Engineering at Tampere University of Technology. [Kalamees: The distribution of the air leakage places... - Google Scholar](#)

Kommunförbundet Stockholms Län. (2009). *Att tilläggsisolera hus – fakta, fördelar och fallgropar*. Energimyndigheten. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/ResourceComment.mvc?resourceId=109685>

Petersson, B. (2018). *Tillämpad byggnadsfysik* (6 uppl.). Studentlitteratur.

Sjöfartsverket. (2022). *ViVa – Sjöfartsverket vind & vatten* (2.4.4) [Mobilapplikation]. Google Play.

<https://play.google.com/store/apps/details?id=se.sjofartsverket.viva&hl=sv&gl=SE>

Skellefteå Museum. (u.å.). *Isoleringsmaterial*.

<https://hallahus.se/renovera/stommen/isolering/isoleringsmaterial/>

SP Fönster. (2019, 15 augusti). *Vad är U-värde på fönster*.

<https://spfonster.se/inspiration/vad-ar-u-varde/>

Svenska Institutet för Standarder. (2015). *Byggnaders termiska egenskaper – Bestämning av byggnaders lufttäthet – Tryckprovningssmetod* (ISO 9972:2015).

<https://www.sis.se/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/skydd-av-och-i-byggnader/varmeisolering/sseniso99722015/>

Svenska Institutet för Standarder. (2017). *Byggnaders termiska egenskaper – värmeväxlingskoefficienter – Beräkningsmetod* (ISO 13789:2017).

<https://www.sis.se/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/skydd-av-och-i-byggnader/varmeisolering/ss-en-iso-137892017/>

Svenska Institutet för Standarder. (2006). *Byggnadsutformning – Bostäder – Funktionsplanering* (SS 914222:2006).

<https://www.sis.se/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnader/bostadshus/ss9142222006/>

SWEDOOR. (u.å.). *CHARACTER LUNA ECO*. <https://www.swedoor.se/produkter-sv/ytterdorrar/character/character-luna-eco-ytterdoerrar>

The Energy Conservatory (2012). *Minneapolis Blower Door™, Operation Manual for Model 3 and 4 Systems*. Minneapolis: The Energy Conservatory

Thomsson, J. (2018). *Takfotens inverkan på byggnaden*. [Examensarbete, Högskolan i Gävle]. Digitala Vetenskapliga Arkivet. <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1257486&dswid=-7586>

Träguiden. (2021a, 24 februari). *Grundläggning*.

<https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktionsexempel/grundlaggning/>

Träguiden. (2017, 7 juli). *KL-trä och värmeisolering*.

<https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/kl-tra-och-varme-och-fukt/9.3-kl-tra-och-varmeisolering/kl-tra-och-varmeisolering/>

Träguiden. (2021b, 2 december). *Tak*.

<https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktionsexempel/tak/>

Träguiden. (2021c, 22 februari). *Ytterväggar*.

<https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/stomme/vaggar/yttervaggar/>

Västernorrlands museum. *Fönstrets historia & varför du bör renovera dina gamla fönster.* (u.å). [Fönstrets historia & varför du bör renovera dina gamla fönster – Västernorrlands museum \(vnmuseum.se\)](https://www.vnmuseum.se)

9 Appendix

Appendix 1	Bilder på Tribunens utsida	1
Appendix 2	Bilder på Tribunens insida	5
Appendix 3	Bilder på materiel för Co-heating test	7
Appendix 4	Grafer över temperatur, relativ fuktighet och energiförbrukning under Co-heating test	9
Appendix 5	Testrapport från Blower door test	14
Appendix 6	Bilder från termografering innan och under Blower door test	17
Appendix 7	Fasadvyer, planritning och 3D-vy för befintlig och ombyggd Tribun	20
Appendix 8	Länk till nedladdning av Matlabscrip och kompletta mätvärdestabeller från Co-heating test	27

Appendix 1 Bilder på Tribunens utsida



Figur 1.1 Bilder på rötskadade områden på sydvästra fasaden.



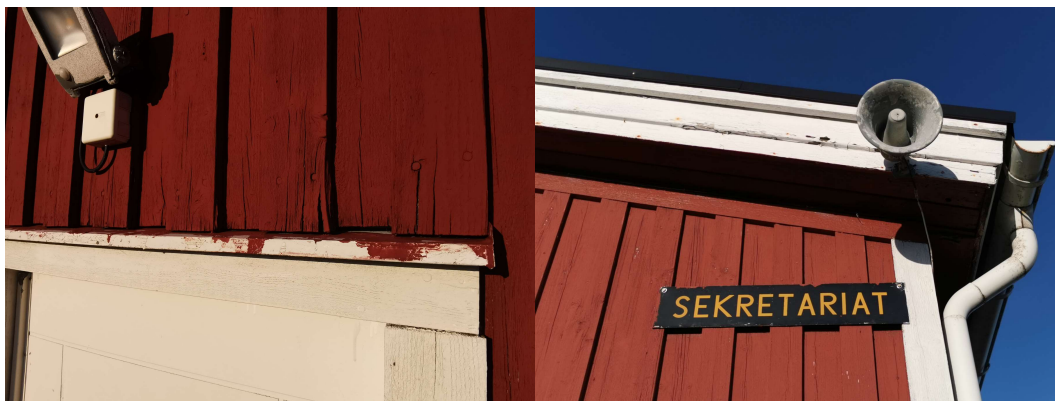
Figur 1.2 Till vänster; hängande takfotsinklädning och fuktskadad fasad över fönster åt SV. Till höger; överhängande materiallager i byggnadens yttervägg åt SV.



Figur 1.3 Till vänster; Sockel och kryplucka till krypgrund. Till höger; Inuti krypgrunden



Figur 1.4 Till vänster; Fasad, SÖ. Till höger; Tribunens läge vid havet, sedd från SV.



Figur 1.5 Till vänster; Skadad fasad över ytterdörr. Till höger; Utsnitt av fasad åt SÖ.



Figur 1.6 Till vänster; Takutsprång. Till höger; Fasad utanför testrum åt NV.



Figur 1.7 Till vänster; Tak. Till höger; Fönsterband åt NÖ.



Figur 1.8 Till vänster; Fasad åt NV, fönsterband och skärmtak. Till höger; Tak.



Figur 6.9

Rötskadad fasad åt SÖ.

Appendix 2 Bilder på Tribunens insida



Figur 2.1 *Till vänster; Salen, vy åt SV. Till höger; Salen, vy åt NÖ.*



Figur 2.2 *Till vänster; Salen, vy åt SÖ. Till höger; Salen, vy åt NV.*



Figur 2.3 *Till vänster; Hallen, vy åt SÖ. Till höger; Testrum, vy åt syd.*



Figur 2.4 *Till vänster; Inuti förråd, proppskåp. Till höger; Förråd, friskluftsventil, inspektionshål.*



Figur 2.5

Till vänster; Observerad lagerföljd inne i friskluftsventil. Till höger; friskluftsventil som användes för att inspektera väggkonstruktion.

Appendix 3 Bilder på materiel för Co-heating test



Figur 3.1 Elektrisk radiator, 1250 W



Figur 3.2 Eve Energy Smart Plug

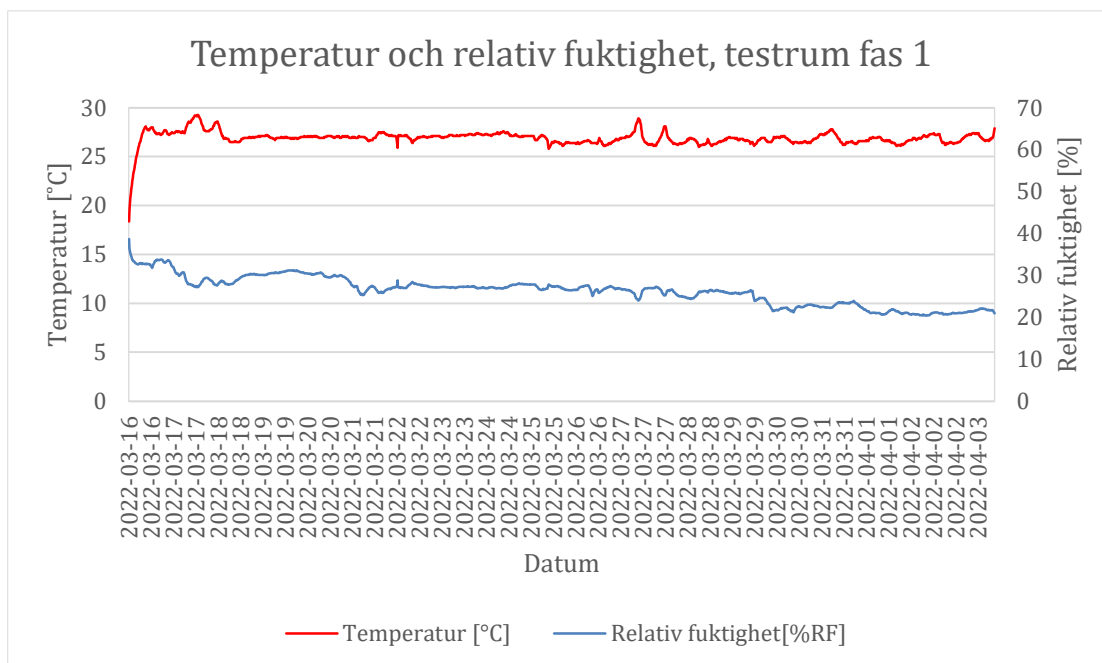


Figur 3.3 Nedis Smartlife Wi-Fi Smart Plug

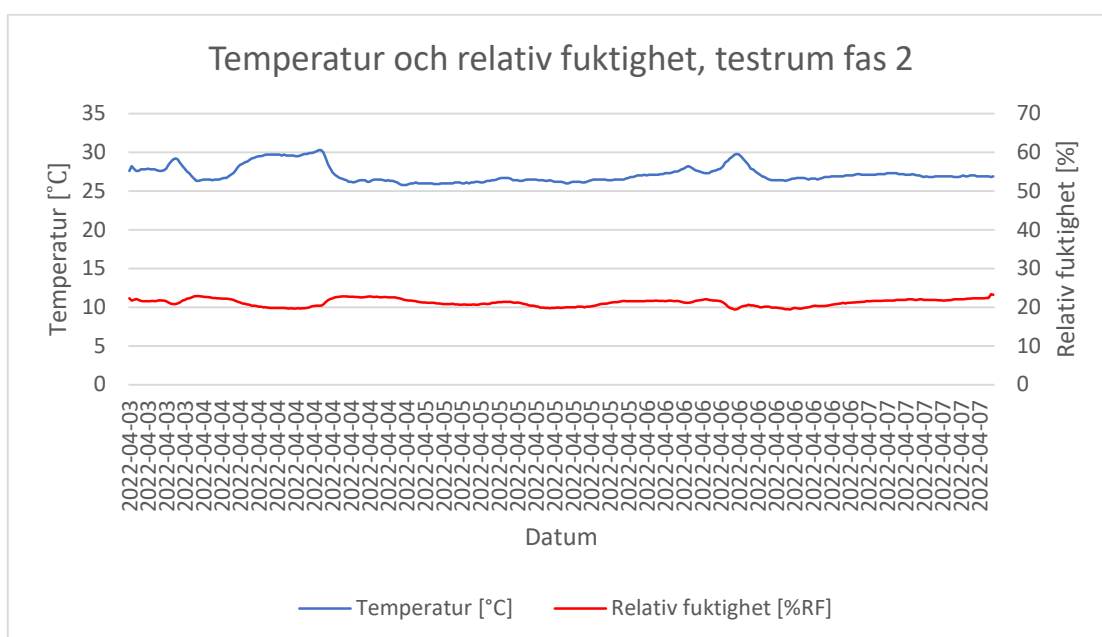


Figur 3.4 Temperatursensor Testo 174H

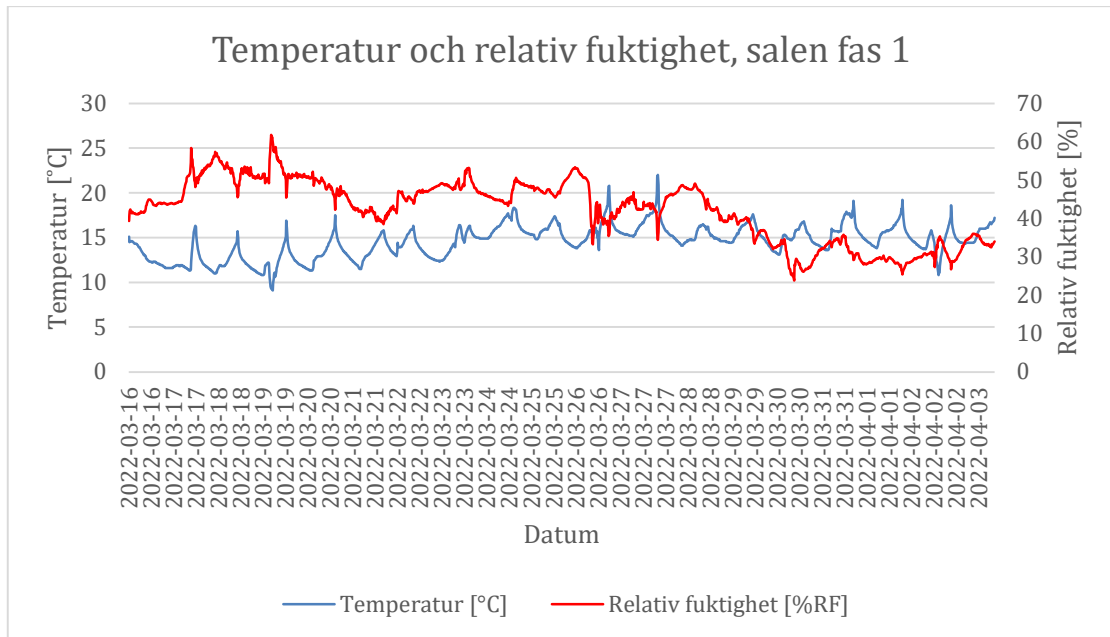
Appendix 4 Grafer över temperatur, relativ fuktighet och energiförbrukning under Co-heating test



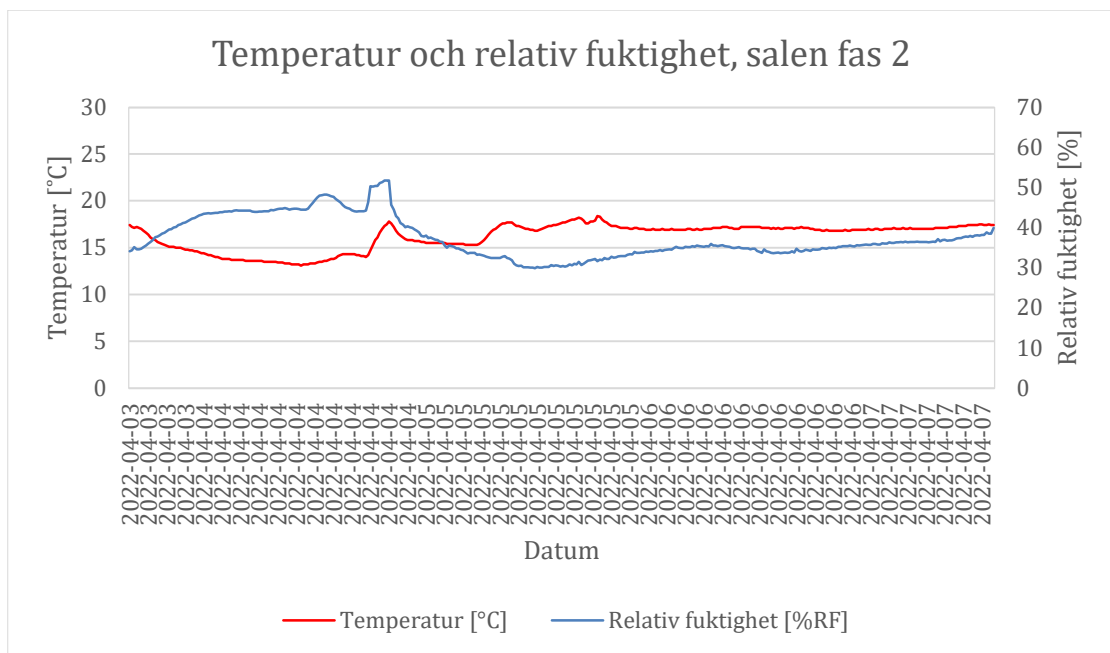
Figur 4.1 Temperatur och relativ fuktighet i testrummet under loggningsfas 1.



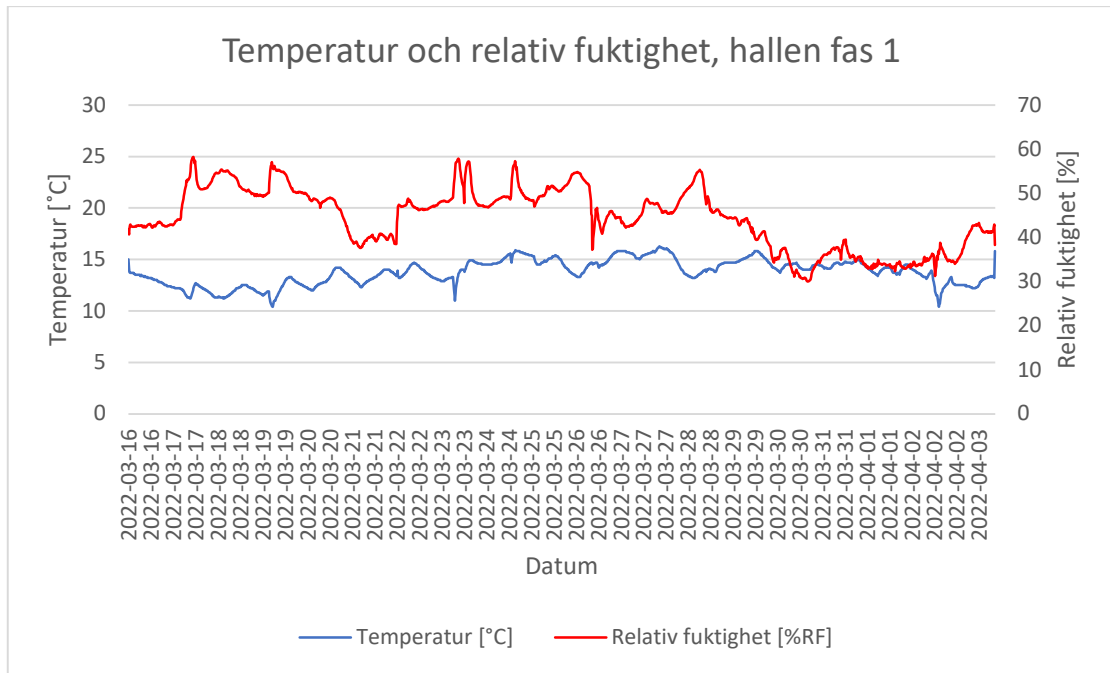
Figur 4.2 Temperatur och relativ fuktighet i testrummet under loggningsfas 2.



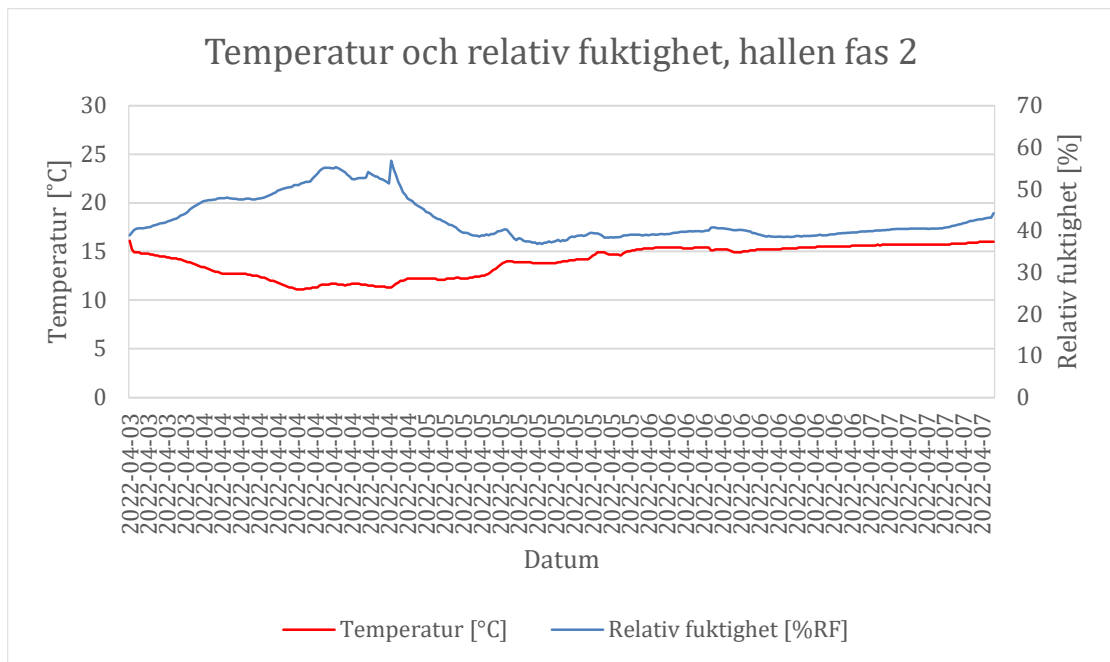
Figur 4.3 Temperatur och relativ fuktighet i salen under loggningsfas 1.



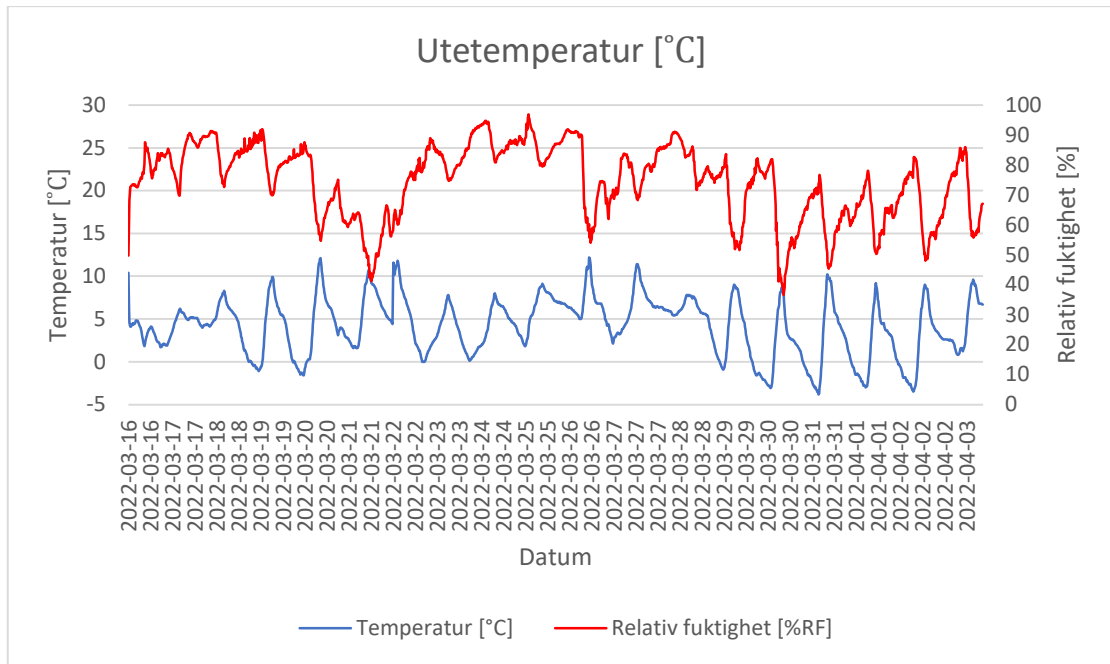
Figur 4.4 Temperatur och relativ fuktighet i salen under loggningsfas 2.



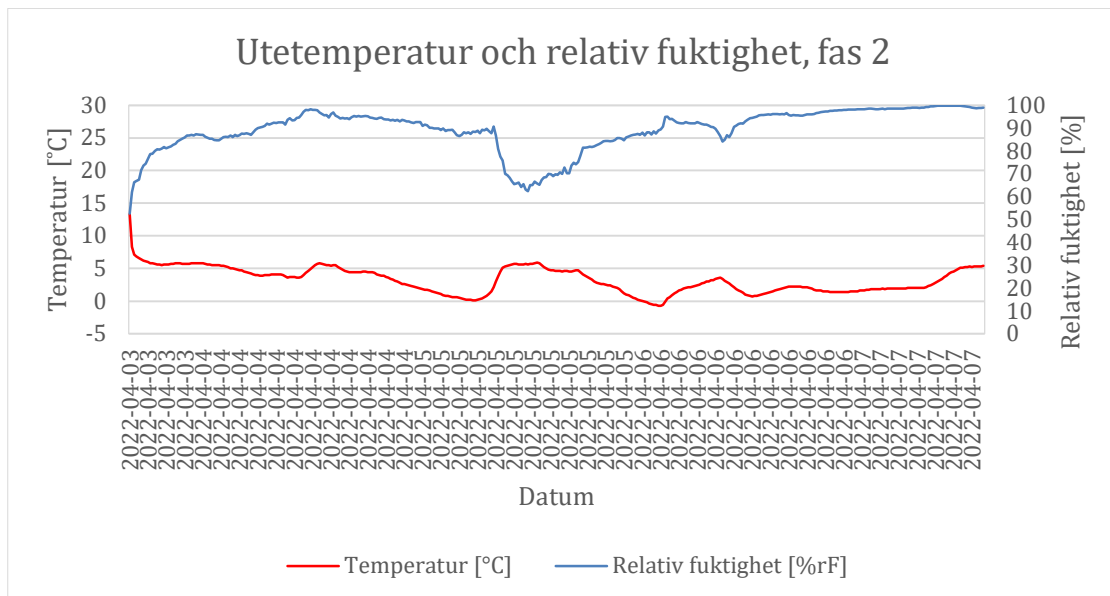
Figur 4.5 Temperatur och relativ fuktighet i hallen under loggningsfas 1.



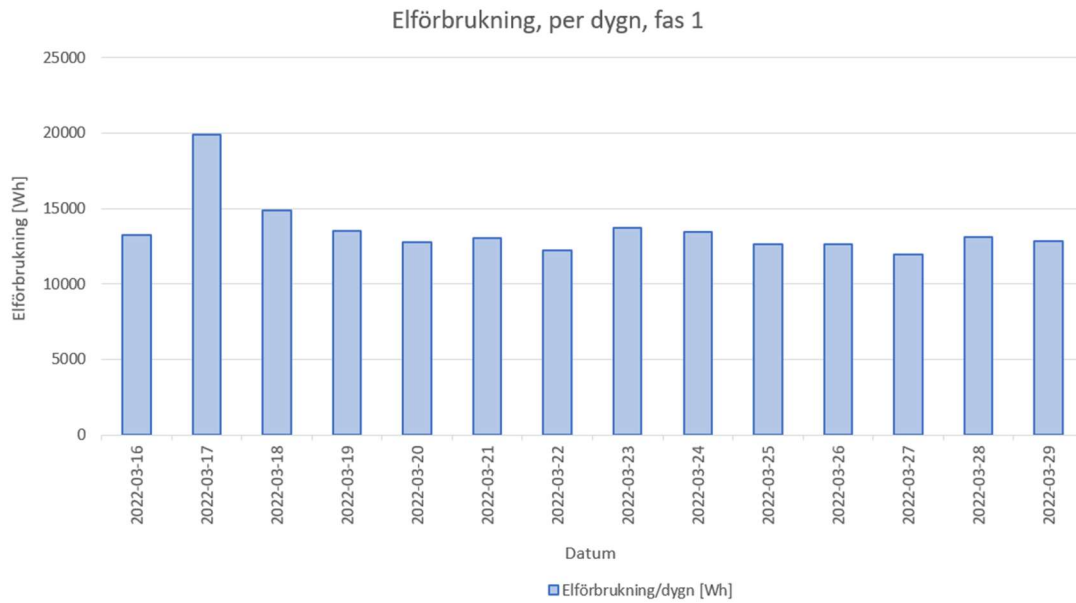
Figur 4.6 Temperatur och relativ fuktighet i hallen under loggningsfas 2.



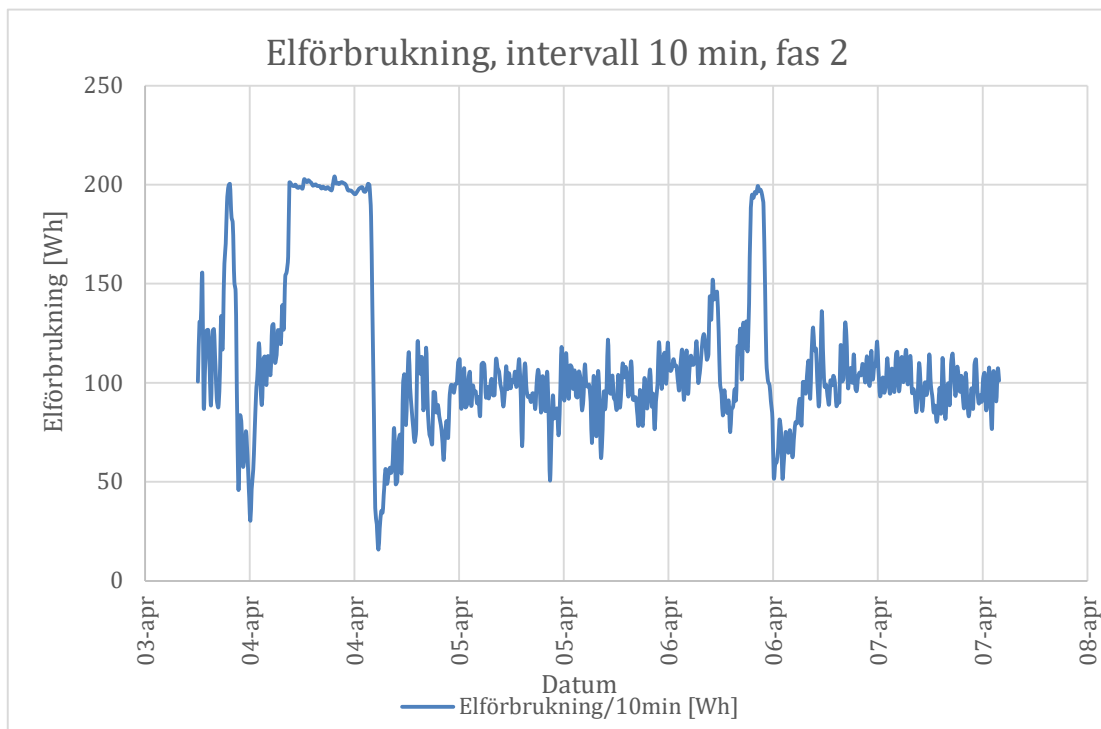
Figur 4.7 Temperatur och relativ fuktighet utomhus under loggningsfas 1.



Figur 4.8 Temperatur och relativ fuktighet utomhus under loggningsfas 2.



Figur 4.9 Radiatorns elförbrukning under fas 1, Mätvärden dygnsvis.



Figur 4.10 Radiatorns elförbrukning under fas 2. Mätvärde var 10: onde minut.

Appendix 5 Testrapport från Blower door test

Nedan visas testrapporten som skrevs ut i samband med Blower door test. Rapporten Skrivs ut automatiskt av *Tectite 5.0*.

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 2022-04-07 Test File: Untitled

Technician: Andreas Luokkanen, Albin Jonsson

Project Number: 1

Customer:

Building Address: Tribun, Hjuviks Båtklubb
Sofus Udde
Torslanda, Göteborg

Test Results at 50 Pascals:

q ₅₀ : l/s (Airflow)	132 (+/- 17.5 %)
n ₅₀ : 1/h (Air Change Rate)	18.53
q _{F50} : lps/m ² (Floor Area)	13.02
q _{E50} : lps/m ² (Envelope Area)	2.50

Leakage Areas:

ELA ₅₀ : m ²	0.0145 (+/- 17.5 %)
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0014287
ELA _{E50} : m ² /m ²	0.0002748

Building Leakage Curve:

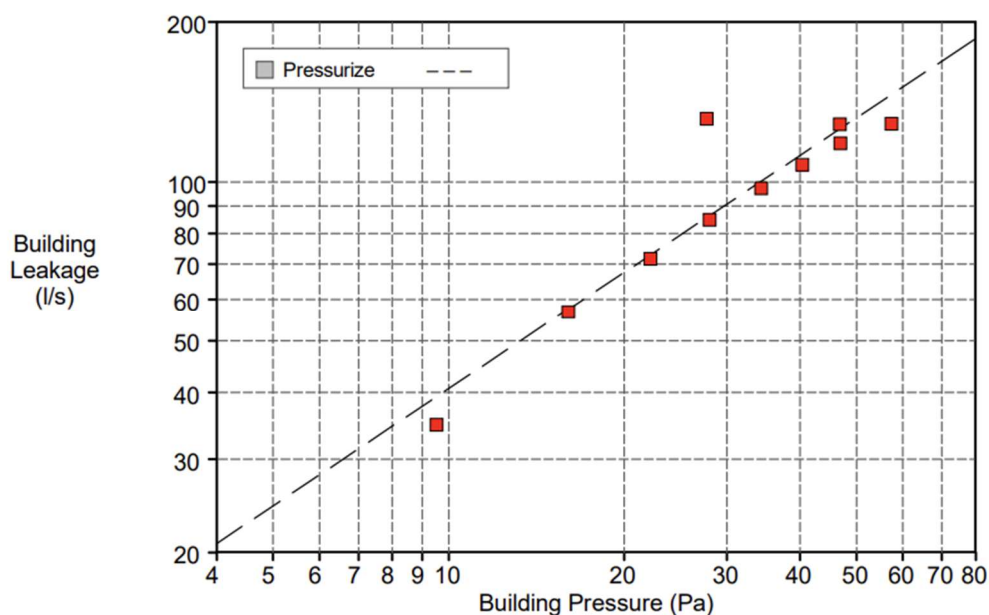
Air Flow Coefficient (C_{env}) = 7.6 l/s/Paⁿ (+/- 79.8 %)
Air Leakage Coefficient (C_L) = 7.5 l/s/Paⁿ (+/- 79.8 %)
Exponent (n) = 0.732 (+/- 0.233)
Coefficient of Determination (r²) = 0.86717

Test Standard: ISO 9972

Test Mode: Pressurization

Type of Test Method: Method 2 - Test of Building Envelope

Purpose of Test: Undersöka lufttätet i byggnadens testrum



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 4

Date of Test: 2022-04-07 Test File: Untitled

Building Information

Internal Volume, V (m ³) (according to ISO)	25.65
Net Floor Area, A _F (m ²) (according to ISO)	10.14
Envelope Area, A _E (m ²) (according to ISO)	52.71
Height (m)	2.53
Uncertainty of Dimensions (%)	1
Year of Construction	1965
Type of Heating	Elektriska radiatorer
Type of Air Conditioning	
Type of Ventilation	None
Building Wind Exposure	Highly Exposed Building
Wind Class	Light Breeze

Equipment Information

Type	Manufacturer	Model	Serial Number	Custom Calibration Date
Fan	Energy Conservatory	Model 3 (110V)		-
Micromanometer	Energy Conservatory	DG700	33973	2012-02-02

BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 4

Date of Test: 2022-04-07 Test File: Untitled

Pressurization Test:

Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
25.0	5.0	101325.0

Pre-Test

Baseline Pressure Data

Post-Test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
0.0	0.6	0.6	-0.0	0.1	0.1

Data Points - Automated Test (TTE 5.0.8.4)

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow q _r (l/s)	Adjusted Flow q _{env} (l/s)	Adjusted Flow q _L (l/s)	% Error	Fan Configuration
0.6	n/a	n/a					
28.0	27.7	138.1	127	132	132	53.4	Ring C
57.7	57.4	19.2	124	129	129	-12.0	Ring B
47.2	46.9	131.4	123	129	128	1.8	Ring C
47.3	47.0	112.2	114	119	118	-6.3	Ring C
40.7	40.4	93.5	104	108	108	-4.7	Ring C
34.7	34.3	76.8	94	98	97	-3.0	Ring C
28.3	28.0	58.6	81	85	85	-2.0	Ring C
22.5	22.2	42.2	69	72	72	-1.8	Ring C
16.4	16.0	26.8	55	57	57	-1.4	Ring C
9.9	9.5	101.8	33	35	35	-11.6	Ring D
0.1	n/a	n/a					

Deviations from Standard ISO 9972 - Test Parameters

- Coefficient of Determination (0.867) outside of acceptable limits ($0.98 \leq r^2 \leq 1$).
- An interval between building pressures exceeds 10 Pa.

Date of Test: 2022-04-07 Test File: Untitled

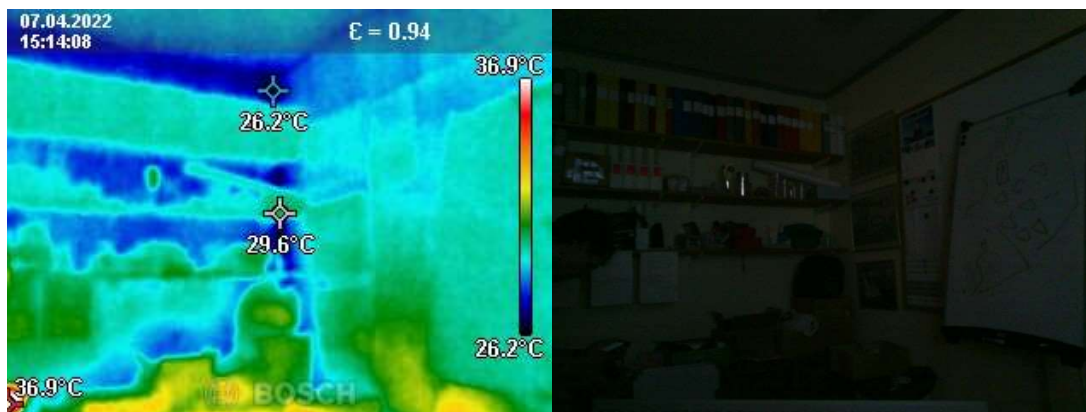
Comments

Blower door test för Examensarbete, ACEX20, VT22, Chalmers Tekniska Högskola

Länk till *The Energy Conservatory's hemsida* för nedladdning och vidare läsning om *Tectite Express 5.0*

[The Energy Conservatory | Blower Door | Duct Blaster TECTITE Express 5.0 - The Energy Conservatory | Blower Door | Duct Blaster](#)

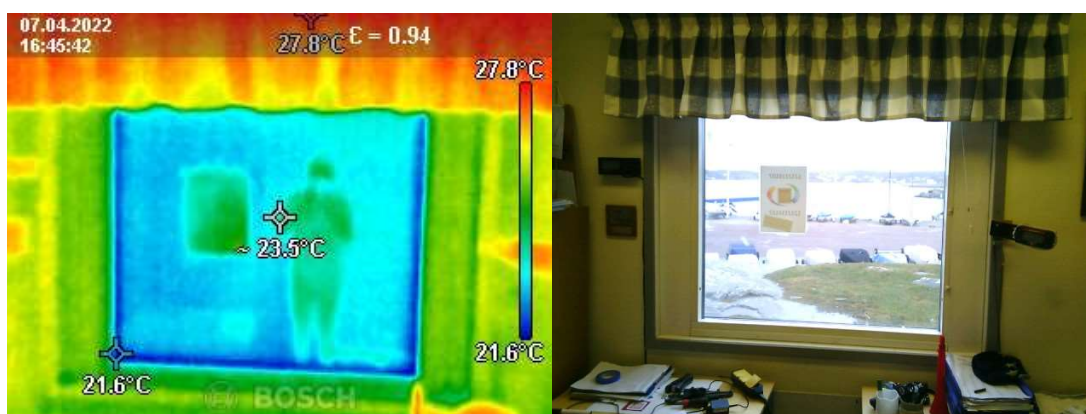
Appendix 6 Bilder från termografering innan och under Blower door test



Figur 6.1 Bild av ett av testrummets hörn innan blower door. OBS. köldbrygga anslutning vägg-tak.



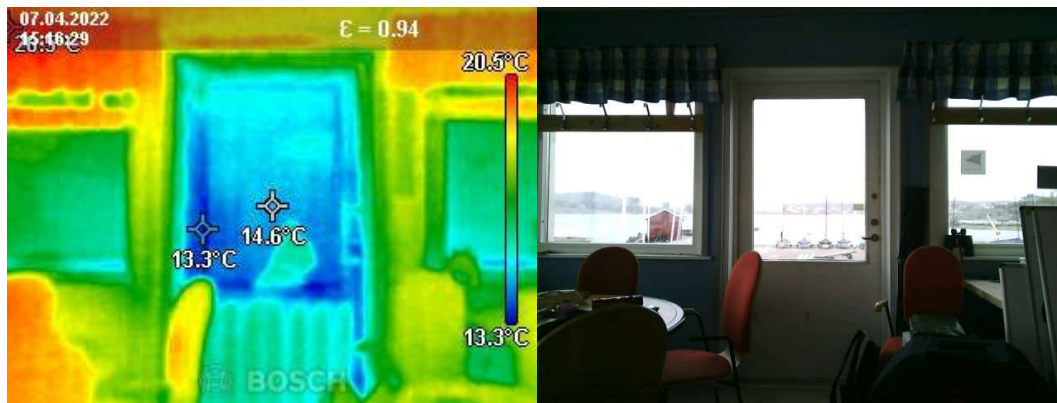
Figur 6.2 Bild av testrummets vägg mot salen innan blower door. OBS. köldbrygga vid innerdörr samt kiosklucka.



Figur 6.3 Bild av testrummets fönster under blower door. OBS. köldbrygga vid fönster.



Figur 6.3 Bild av testrummets fönster under blower door. OBS. köldbrygga vid friskluftsventil samt fönster.



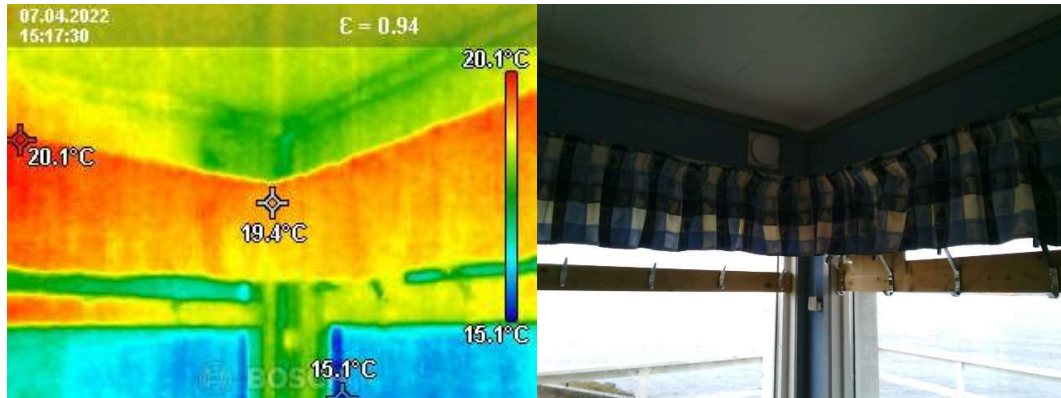
Figur 6.3 Bild av Salen, vy åt NÖ. OBS. köldbrygga vid altandörr och fönster.



Figur 6.3 Bild av Testrummet sett utifrån från Salen. OBS. köldbrygga vid kiosklucka och innerdörr.

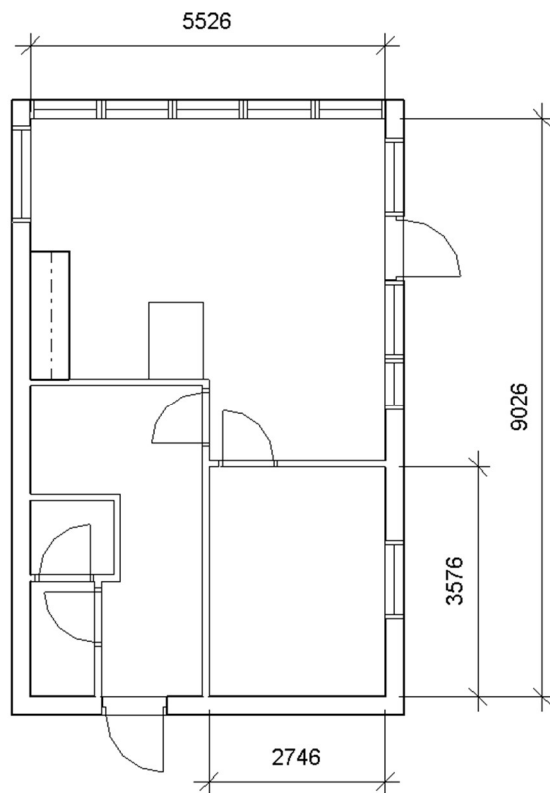


Figur 6.3 Bild av Salen, vy åt NV. OBS. köldbrygga vid fönsterband.

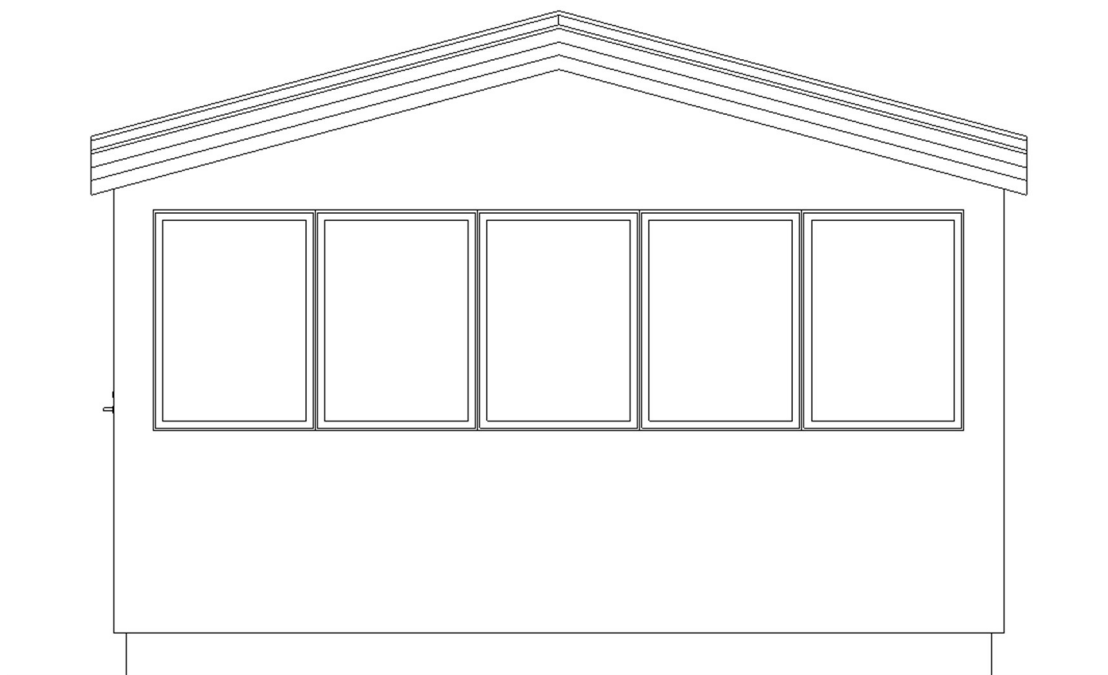


Figur 6.3 Bild av Salen, vy åt V. OBS. köldbrygga vid fönster.

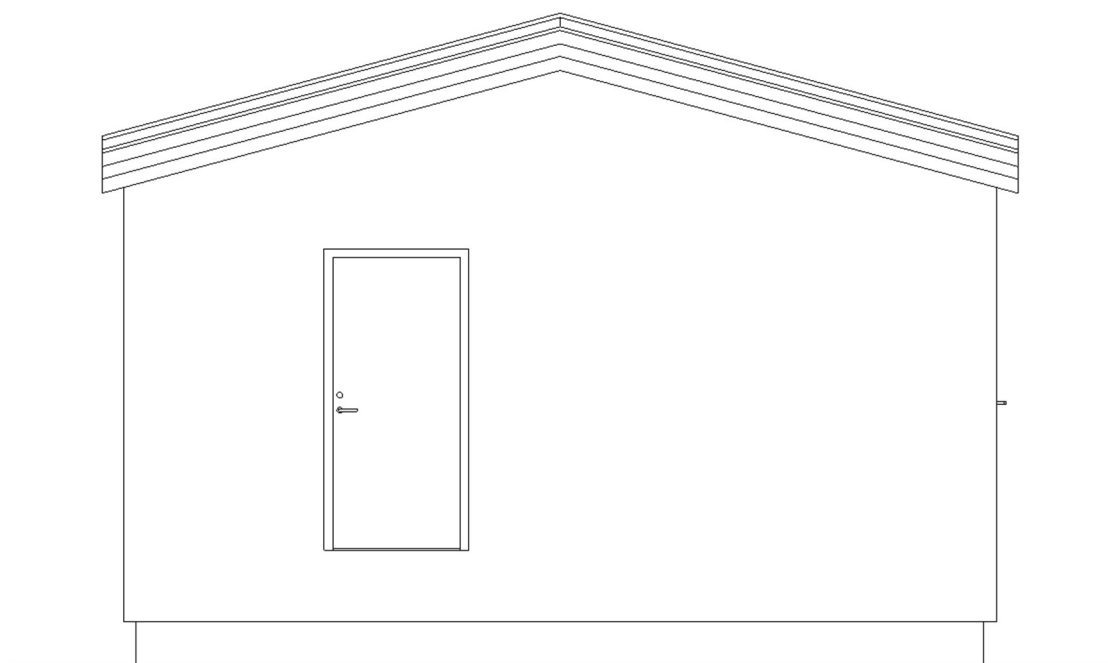
Appendix 7 Fasadvyer, planritning och 3D-vy för befintlig och ombyggd Tribun



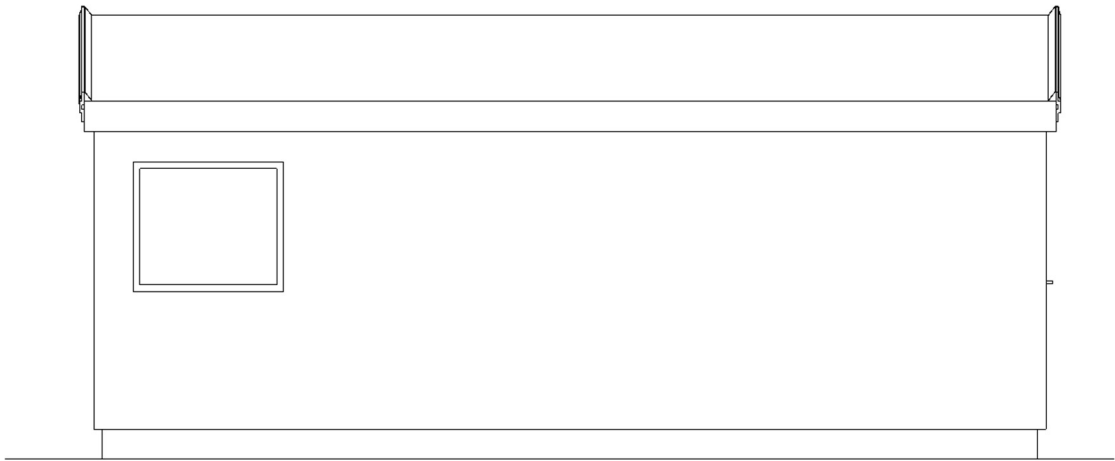
Figur 7.1 Planlösning, befintlig byggnad.



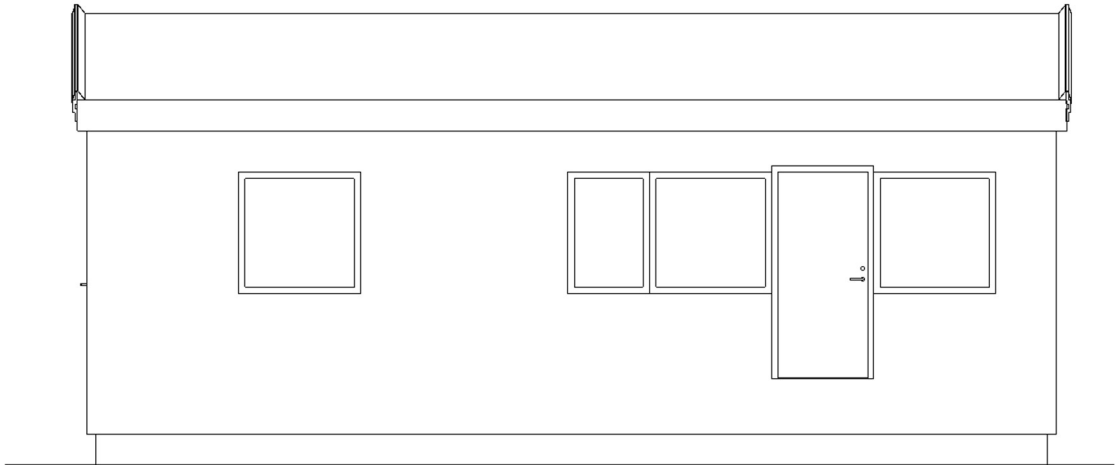
Figur 7.2 Fasad nordväst, befintlig byggnad.



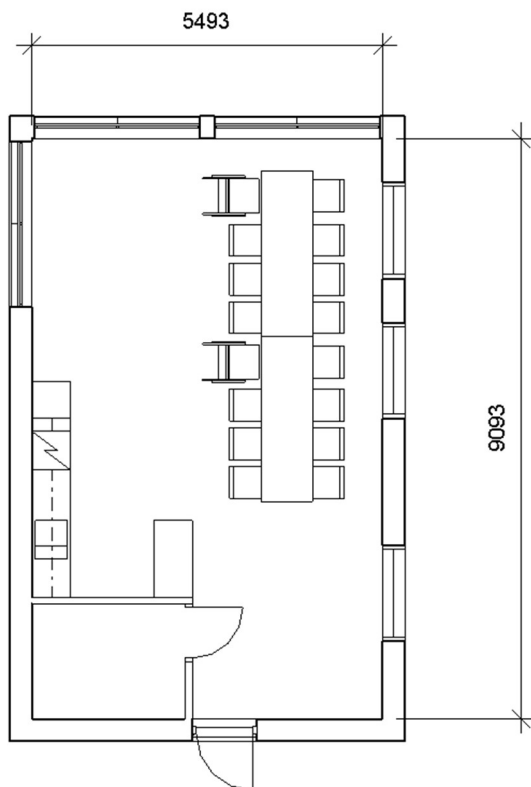
Figur 7.3 Fasad sydost, befintlig byggnad.



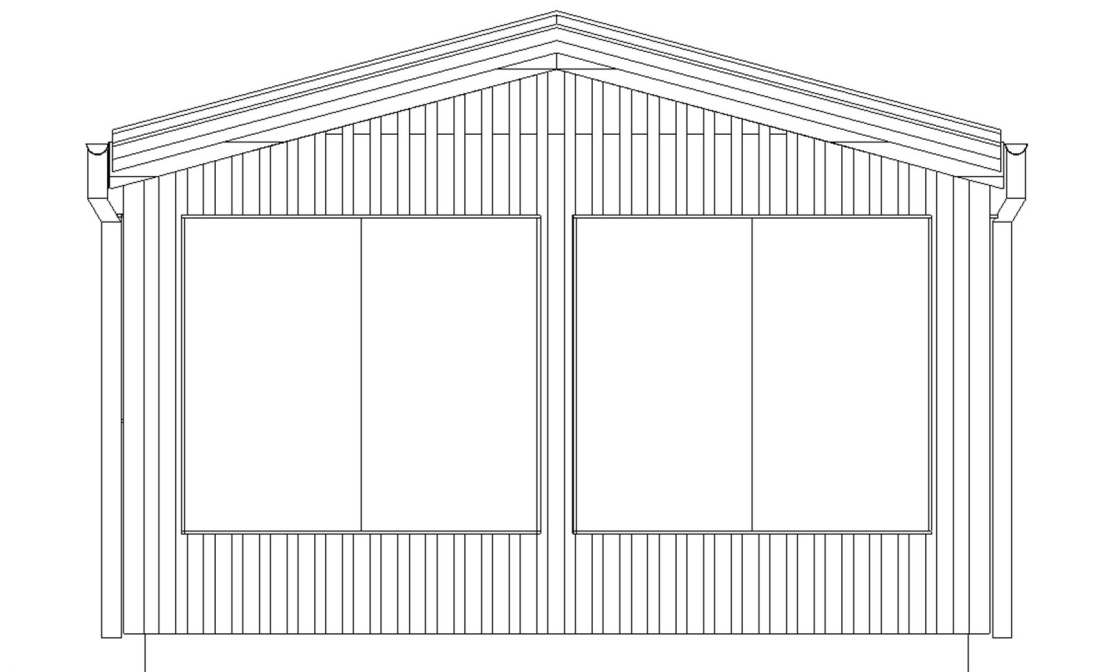
Figur 7.4 Fasad sydväst, befintlig byggnad.



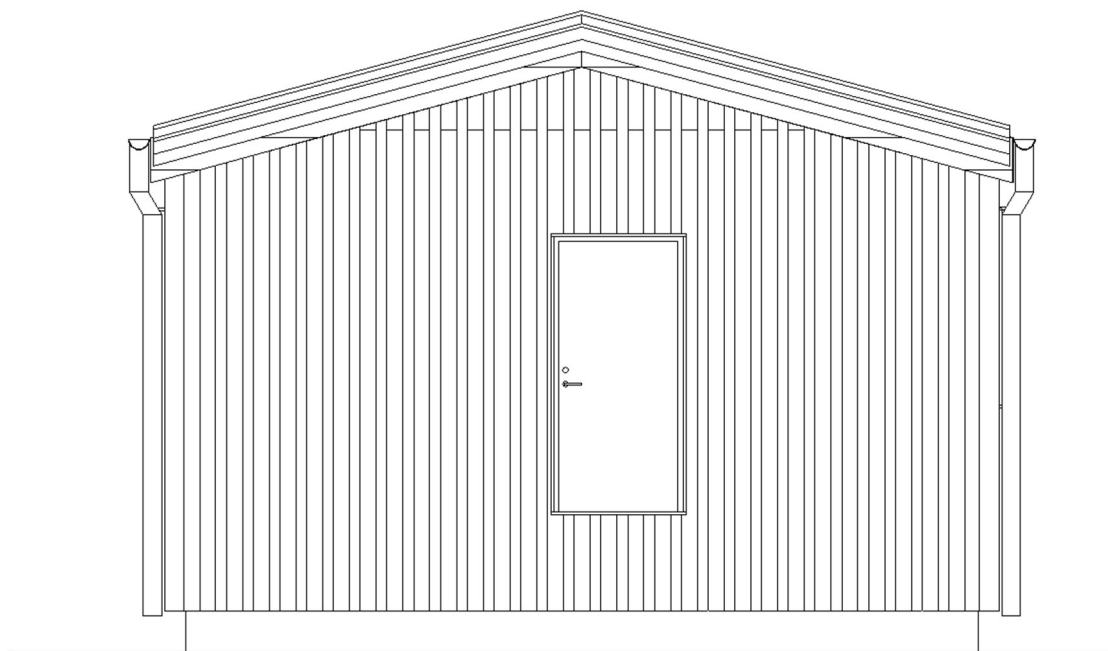
Figur 7.5 Fasad nordost, befintlig byggnad.



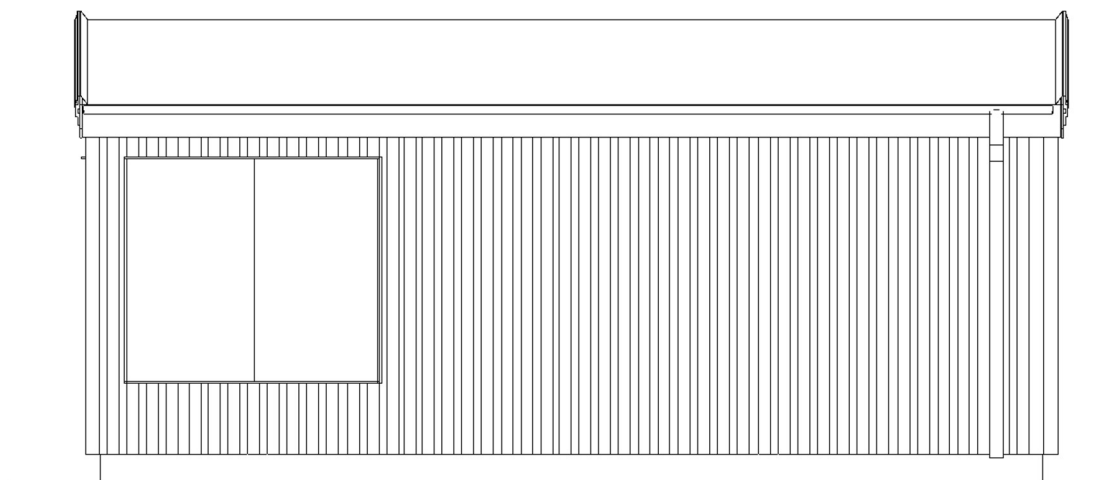
Figur 7.6 Planlösning, föreslagen ombyggnad.



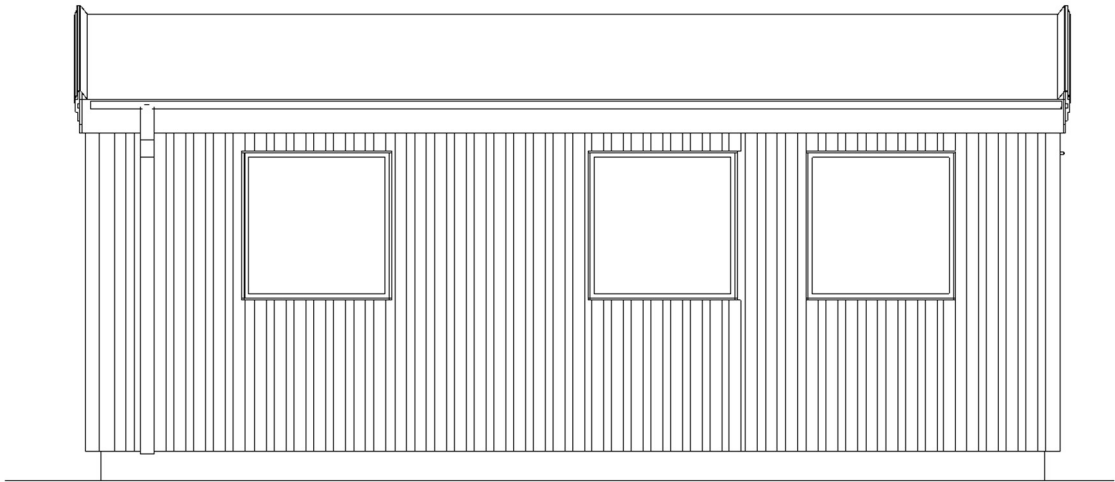
Figur 7.7 Fasad nordväst, föreslagen ombyggnad.



Figur 7.8 Fasad sydost, förslagen ombyggnad.



Figur 7.9 Fasad sydväst, förslagen ombyggnad.



Figur 7.10 Fasad nordost, förslagen ombyggnad.



Figur 7.11 Tredimensionell vy, förslagen ombyggnad



Figur 7.12

Tredimensionell vy insida, förslagen ombyggnad

Appendix 8 Länk till nedladdning av MATLAB-script och kompletta mätvärdestabeller från Co-heating test

MATLAB-script använt för att beräkna U-värden och tabeller med alla mätvärden från Co-heating test går att hämta via länken nedan.

https://drive.google.com/drive/folders/19v-P_4S3-W-zuq3hoIs08I5xPExyT-nl?usp=sharing

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se



CHALMERS